

ホログラフィック・グレーティング

研究所 永田 浩

はじめに

ホログラフィック・グレーティングとは、コヒーレントな二光束がつくる干渉縞を、感光材料中に記録する方法でつくられる、回折格子のことです。従来は、回折格子といえば、金属表面に機械的に溝を刻んでいく方法によるものがほとんどでしたが、強力なコヒーレント光源であるレーザと、高分解能の感光材料の出現により、光学的な方法でも機械的に刻線したものに匹敵する回折格子が得られるようになりました。そこで機械的に刻線するものをルーラード・グレーティング、光学的な方法によるものをホログラフィック・グレーティングと呼んでいます。

回折格子には、上記の製作法の違いによるほかに、平面か凹面か、透過型か反射型か、明暗格子か位相格子かなど、いくつも種類があります。一般に光学の本では、等しい幅のスリットがいくつもならんだ、透過型の明暗格子で回折格子の特性を説明しています。しかし、実際に分光器などに組込まれているのは、回折効率の大きな反射型の位相格子ですから、本稿でも、反射型の位相格子として用いるものを対象に説明することにします。

1. 回折格子の製作

ホログラフィック・グレーティングをつくるため現在最もよく用いられているのは、光源としてアルゴンレーザを、感光材料としてフォトレジストを用いて干渉縞を記録する方法です。アルゴンレー

ザでは、波長が 0.45μ から 0.52μ の間に数本の発振線があり、 0.4880μ と 0.4579μ の2本の線がよく使われます。これは、レーザの出力とフォトレジストの感度の関係で、露光の効率が高いためです。フォトレジストは、現像すると光の強度にしたがって、表面に凹凸ができる感光材料で、光のあたった部分が溶解するポジタイプと、その逆のネガタイプがあります。それぞれいくつかの種類がありますが、ポジタイプのAZ-1350というフォトレジストが最もよく使われています。現像後のフォトレジスト層にアルミニウムなどの金属を蒸着すれば、反射型の位相格子が得られます。

図1に示すように、基板に塗布したフォトレジストに二つの平面波が、それぞれ角度 γ , δ で入射とします。感光層上では、二つの光の干渉によって正弦波状の露光分布が得られ、その周期 d は光の波長を λ_0 として、

$$d = \lambda_0 / (\sin \delta - \sin \gamma) \dots\dots\dots ①$$

となります。ただし、角度は感光層にたてた法線を基準として、反時計まわりに

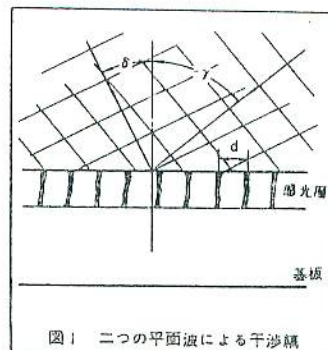


図1 二つの平面波による干渉縞

測るものとします。これを現像すれば周期 d の凹凸が得られますから、回折格子の格子定数は①式で与えられます。たとえば $\delta = -\gamma = 30^\circ$ とすれば、 d は λ_0 と等しくなり、アルゴンレーザの 0.488μ の光では、1mm当り約2,000本の溝を持つ回折格子が、容易につくれます。

実際に回折格子を製作する場合には、フォトレジストの塗布、露光、現像の各段階に、より良い結果を得るための処理工程が加わってきます。基板に塗布したフォトレジストは、まず80℃程度の温度で乾燥させてから使うことは、カタログにも載っています。次に水銀ランプなどで前露光します。ポジタイプのフォトレジストで露光量と現像後の減少量の関係を見ると、ある程度以上の露光量を与えないと、フォトレジストが減少し始めないことが分かります。前露光は、その閾(しきい)値までの露光を与えるもので、これによりレーザの露光時間を減少させ、かつ現像後にレーザの露光量にほぼ比例した凹凸を得ることができます。例えば出力0.5Wのアルゴンレーザ(0.488μ)で50mm角の基板に塗布したフォトレジストを露光するのに、10分から15分かかりますが、数秒の前露光で、レーザの露光時間はほぼ1/10に短縮できます。露光と現像の時間を一定にしても、現像液の疲労度が異なれば、できる溝の深さが変わってしまいうから、同一の溝を精度よく得るには別の制御方法が必要です。そこで、溝の深さが変わると回折光の強さが変わることを利用して、回折光量を測定しながら現像する方法が考えられています。

MSS-010

2. 回折格子の特性²⁾

2.1 回折の関係式

図2のような二種類の平面反射型位相格子を考えます。後に述べるように、光学的な方法で(a)の鋸歯状の溝もつくれますが、一般には、(a)は機械的な方法で、(b)の正弦波状の溝は光学的な方法でつくられると考えられます。(a)の格子に平面波が入射すると、光は個々の溝で回折され、隣り合う溝で回折された光が、波長の整数倍だけ進んだり遅れたりする回折の方向では、光は干渉して強め合います。この干渉の効果は、溝の本数を増すにつれて強くなります。回折格子は等幅の反射溝を非常に多く並べたものですから、波長の整数倍の光路差を生ずる方向では、すべての溝からの回折光が強め合い、他の方向では、互いに打ち消しあって、結局、非常に鋭い方向性を持った回折光が得られます。平面波の入射角を α 、回折角を β 、光の波長を λ 、格子定数を d とすれば、隣り合う溝による光路差は $LM+MN$ ですから、

$$d(\sin \alpha + \sin \beta) = m\lambda$$

$$(m=0, \pm 1, \pm 2, \dots) \dots\dots(2)$$

という関係が成立します。 m は回折の次数と言い、一つの入射光についていくつかの回折光が、それぞれ $m=0, \pm 1, \dots$ に対応する角度 β の方向に生じます。

同じ入射角と次数でも、 $m \neq 0$ の回折光では、波長が変わると回折角がずれることがこの式から分かります。これが回折格子による光の分散で、分光器などで

は回折格子のこの特性を利用しているわけですが、分散を大きくするには、②式により m/d を大きくすればよいのですが、あまり大きいと、異なる次数の回折光が同じ方向に重なってしまうので、制限があります。また実際、格子定数をむやみに小さくはできません。

分散とともに、分解能と回折効率も回折格子の性能を評価するうえで重要な項目です。分解能 R は、格子の総本数を N として、

$$R = mN \dots\dots\dots(3)$$

で表われます。これは理論値で、回折格子の平面度が悪かったり、結像系に収差があれば、実際に観測される値はこれより小さくなります。理論分解能を上げるには、分散の場合と同じく格子定数を小さくするか、あるいは一定の格子定数で大きな回折格子をつくらばいいのですが、これも製作上の制限がでます。この制限は特に機械的な刻線と顕著です。後に述べるように、光学的な方法では、格子定数が小さくサイズの大きい回折格子でも、機械的な方法より、はるかに容易につくることができ、これはホログラフィック・グレーティングの一つの利点といえます。市販されているルールド・グレーティングの例としては、溝の本数が600本/mm、1,200本/mm、大きさが50mm×50mmのものがあげられます。

2.2 回折効率

もう一つの重要な性能として回折効率があります。回折効率 η は、

$$\eta = \frac{\text{ある波長と次数で回折される回折格子と同じ条件の鏡からのエネルギー}}{\text{反射エネルギー}} \dots\dots\dots(4)$$

で与えられます。(最近回折効率の理論計算との関連で、分母を回折格子への入射エネルギーとした絶対効率も用いられています)前節で述べた回折の方向、分散、分解能は、どれも格子定数と格子の本数で定まり、溝の形によらない値でした。しかし回折効率は溝の形で異なり、図2に示した二つの格子では、全く違ってきます。回折光はいくつかの次数で得られますが、測光には、ある一つの次数と波長範囲で回折効率が特に大きくなるようなものが適しています。図2の(a)に示した鋸歯状の格子は、この条件を満足しているのですが、それは次のようにして理解することができます。

一つの溝の面だけで回折を考えると、回折光の強さは、溝の表面での反射の方向で最大となり、その方向からずれるにつれて小さくなります。鋸歯状の格子では、溝の表面のすべての点での反射の方向が同じですから、②式で決まる回折の方向が、反射の方向とほぼ一致する場合には、回折効率が大きくなると考えられます。しかし正弦波状の格子では、溝の表面の点ごとに反射の方向が異なるので、特定の次数の回折効率だけ大きくすることはできません。図2の二つの格子に垂直に光が入射したとすると、正弦波状の格子では左右に同じ強さの回折光が生じますが、鋸歯状の格子では、左側より

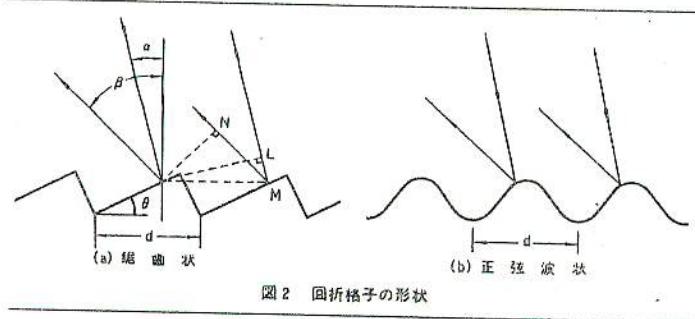


図2 回折格子の形状

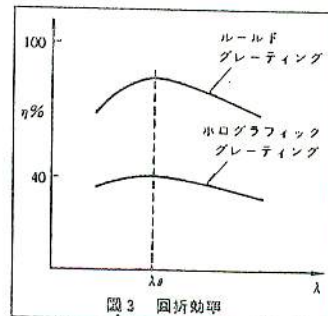


図3 回折効率

強く光が回折されることが容易に推測されます。それはここに述べた理由によっているのです。

特定の次数と波長範囲に回折光が集中するように溝の形を鋸歯状にすることをブレースすると目い、一つ一つの溝表面の格子面からの傾き θ をブレース角と言います。

図3に、回折効率の波長による変化を示しましたが、ブレースすることの効果は明らかです。通常、ブレースした回折格子では80%以上の効率が得られますが、正弦波状の回折格子では、せいぜい40%程度です。ブレースした回折格子では、回折効率のグラフにピークが現われますが、それは各々の溝表面に垂直に入射し(格子全体からみると入射角が θ の時)、垂直に回折するような波長の時に対応しています。これをブレース波長といい、②式で $\alpha = \beta = \theta$ において、

$$\lambda_0 = 2d \sin \theta / m \quad (m=1, 2, \dots) \quad \text{⑤}$$

となります。ルールド・グレーティングは、まず m と λ_0 を定めて、 d と θ の組を計算し、それに合わせて刻線してつくられます。可視光用の回折格子として、ブレース波長 $5,000\text{\AA}$ 、1次で使うとすれば、格子本数600本/mmでブレース角は $8^\circ 38'$ となります。

2.3 ゴーストと迷光

実際につくられる回折格子には、格子間隔が一樣でないとか、溝の表面に小さな凹凸があるなど、完全なものからのずれがあり、回折格子のノイズの原因となります。このうち、格子間隔の周期的な誤差により生ずる小さな回折光を、ゴーストと呼んでいます。機械的な刻線では、送りねじの偏心など、ゴーストの原因となる誤差が不可避で、それを除去するために、干渉計による送りの制御などの処置が必要となります。しかし光学的な方法では、周期誤差は原理的に存在せず、ゴーストは生じません。また、格子間隔

がランダムにずれていると、回折光のピークの幅が広がってしまい、これも誤差の一つとなりますが、この点でもホログラフィック・グレーティングのほうがすぐれています。

迷光とは、溝の表面にある小さな凹凸によって、あらゆる方向に散乱される光のことです。どちらの製作法のほうが迷光が少ないかは定性的にはいえませんが、測定結果では、ルールド・グレーティングのほうがすぐれているようです。いずれにしろ、こうしたゴーストや迷光をどれだけ小さくできるかは、実際に回折格子を製作する際の重要な課題です。

3. 凹面格子^{2),3)}

凹面の回折格子はそれ自身に結像作用があるので、分光器などの光学系は簡単になります。特にレンズの吸収が大きいとか、鏡の反射率の小さい波長領域では、これは大きな利点となります。しかし、結像作用があるということは、収差を生じることも意味します。回折像の収差は、分解能の低下や光量の損失をもたらしますから、凹面格子では回折格子と入射・出射スリットの配置(これをマウンティングと言います)、およびその時の収差が、回折格子の性能を評価する重要な基準の一つとなります。

凹面のホログラフィック・グレーティングでは、溝を鋸歯状にする方法はまだ見出されていませんから、回折効率はあまり大きくありません。しかしルールド・グレーティングでは、溝は格子中心での接平面への投影が、等間隔の直線(以後これを等間隔の直線と呼びます)となるように刻線するのが普通ですが、ホログラフィック・グレーティングでは、記録用光源の位置を変えれば何種類もの溝をつくれます。したがって、マウンティングによってはルールド・グレーティングより収差を小さくできる可能性があり、実際に、ある種のものでは収差を小さく

したり、特定の波長に対して完全に収差をなくすこともできます。ですから、回折効率よりも収差の影響が問題となる場合には、ホログラフィック・グレーティングが、より適しています。この点について、もう少し詳しく述べてみます。

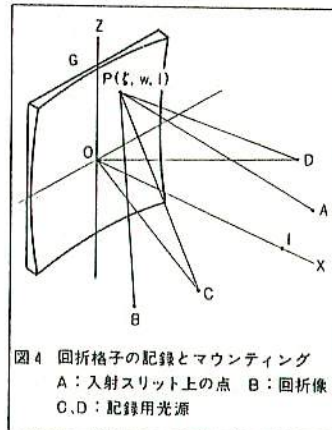


図4 凹面格子の記録とマウンティング
A: 入射スリット上の点 B: 回折像
C, D: 記録用光源

3.1 光路関数

いま、図4において、点光源C、Dからの光で干渉縞を凹面G上に記録し、これを回折格子として、入射スリット上の一点Aから出た光がBに回折像をつくると考えます。CとDからの光による干渉縞は、CとDを焦点とする双曲面群となり、その凹面Gによる断面が記録されます。そこで、凹面上の点Pが格子の中心Oから数えて n 番目の干渉縞にあるとすれば、記録用光源の波長を λ_0 として、

$$n\lambda_0 = (CP - DP) - (CO - DO) \quad \text{⑥}$$

という関係が成立します。次にこの干渉縞を回折格子として、Aから出た光のうちPで回折されるものをとると、AからBまでの光路は $AP + PB$ となります。もし、この光路長と、Oで回折される光との光路差が $n\lambda$ であれば、すべての溝から回折された光は、像面上で強め合うことになります。ただし m は回折の次数、 λ は入射波長です。このことを考えに入れて光路関数 F は、

$$F = AP + PB + n\lambda \quad \text{⑦}$$

と定義され、これに⑥式を代入した、

$$F = AP + PB + (m\lambda/\lambda_0) \dots (8)$$

がホログラフィック・グレーティングの光路関数となります。

さて、PBが真の回折光であるためには、Pの位置が微小量変化しても、光路の変化は零でなければなりません。これをフェルマーの原理といいます。Oを原点とし、Oでたてた格子面の法線をX軸とする直交座標をとって、Pの座標を (ξ, w, l) とすると、この原理は、

$$\partial F/\partial w = 0 \text{ かつ } \partial F/\partial l = 0 \dots (9)$$

と書けます。もし点Pの位置によらずFが常に一定なら⑨式は成り立ち、回折像Bは無収差となります。しかし一般にはFの値はPの位置で変化する、⑨式が成り立たず、収差が生じることになります。この収差はFをwとlで偏微分した量と関係があり、⑨式の各々の左辺の、なるべく多くの低次の項を零とするように、記録用光源の位置とマウンティングを選べば、全体に収差を小さくできます。またある特定の収差をなくしたければ、対応する項が零となるように考えればよいわけです。

Fのwとlによる展開式を計算すれば、収差の様子と、収差を減らす方法がわかります。簡単のために記録用光源C、DとOがつくる平面がXY面を含むようにC、Dをとり、この面をXY面とします。また入射スリット上の点Aもこの面内にとると、BもXY面内になります。その結果、円筒座標で表示すれば、A、B、C、Dはそれぞれ $A(r_A, \alpha, 0)$ 、 $B(r_B, \beta, 0)$ 、 $C(r_C, \gamma, 0)$ 、 $D(r_D, \delta, 0)$ と書けます。凹面の半径をRとすれば、前に定めたP (ξ, w, l) とあわせてFが求まります。結果だけ示しますと、

$$F = r_A + r_B - w(\sin \alpha + \sin \beta) - \frac{m\lambda}{\lambda_0} (\sin \delta - \sin \gamma) + \frac{w^2}{2} \left(M_2 + \frac{m\lambda}{\lambda_0} \right) + \frac{l^2}{2} \left(M_2 + \frac{m\lambda}{\lambda_0} H_2 \right) + \frac{wl}{2} \left(M_3 + \frac{m\lambda}{\lambda_0} H_3 \right) + \frac{w^2 l}{2} \left(M_4 + \frac{m\lambda}{\lambda_0} H_4 \right) + \frac{wl^2}{2} \left(M_5 + \frac{m\lambda}{\lambda_0} H_5 \right) + \dots$$

$$H_2) + \frac{w^2 l}{8} \left(\dots \right) \dots (10)$$

となります。M_iとH_iの具体的な式は文献3)を参照していただくとして、その性質だけ述べると、M_iは凹面の半径RとA、Bの位置、つまりマウンティングで定まる値であり、H_iはRと二つの記録用光源C、Dで定まる値です。等間隔の直線溝を持つルールド・グレーティングの光路関数は、⑩式でH_iの項をすべて零とした式と等しくなり、このことからH_iがホログラフィック・グレーティングに特有の項であることがわかります。

回折格子の中心Oで回折される光線は、基準の光ですから収差は零となり、⑨式を満足します。これにより、 $\partial F/\partial w(w=l=0) = 0$ とすれば、

$$\frac{\lambda_0}{\sin \delta - \sin \gamma} (\sin \alpha + \sin \beta) = m\lambda \dots (11)$$

が導かれます。これが凹面格子の回折の式で、②式と比較して、

$$\sigma = \frac{\lambda_0}{\sin \delta - \sin \gamma} \dots (12)$$

を有効格子定数と呼びます。凹面格子では一般に格子間隔が一定ではありませんが、①式から分かるようにσは平面格子の場合の格子定数と等しく、これを用いて⑩式を②式と同じように扱うことができます。

すでにホログラフィック・グレーティングを製品として市販しているJobin Yvon社では、収差と結像特性によって凹面格子を次の三つのタイプに分類しています。それは、

タイプI：ルールド・グレーティングと等価なもの

タイプII：ルールド・グレーティングと同じマウンティングで、ある種の収差を減少あるいはなくしたもの

タイプIII：特定のマウンティングと波長で全く収差をなくしたもの
です。ここでも、その分類にしたがって考えを進めていくことにします。

3.2 タイプIの回折格子

二つの平行光を格子の法線に関して対称な方向から入射してつくられる回折格子は、ルールド・グレーティングと同じく等間隔の直線溝をもちます。したがって、溝の形は鋸歯状でないで回折効率も低くなりますが、収差は同じになります。実際、干渉縞の記録条件を $r_C = r_D = \infty$ 、 $\gamma = -\delta$ としてH_iを計算すると、H_iはすべて零になります。この回折格子では、あまり利点はありせんし、マウンティングも普通のルールド・グレーティングと同じですが、タイプIIの説明の準備として、いくつかマウンティングをあげてみます。

マウンティングは⑩式の回折の式を満たさねばなりませんから、 r_A と r_B は任意に変えられますから、さらに⑩式の w^2 や l^2 の項を零にできます。この二つの項は非点収差に関係し、 w^2 の項は像の水平方向の収差、 l^2 の項は垂直方向の収差を与えます。回折格子による分散は水平方向に生じますから、この方向の収差は分解能を低下させます。ですからまずM₂を零とすることを考えます。M₂の具体的な式は、

$$M_2 = \cos \alpha \left(\frac{\cos \alpha}{r_A} - \frac{1}{R} \right) + \cos \beta \left(\frac{\cos \beta}{r_B} - \frac{1}{R} \right) \dots (13)$$

で、これを零とする解としては、

$$(i) r_A = R \cos \alpha, \quad r_B = R \cos \beta$$

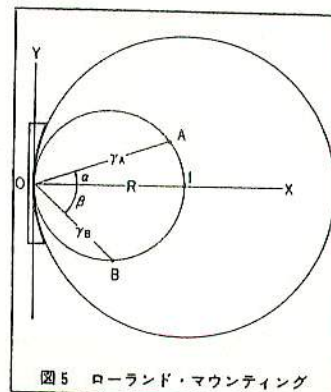


図5 ローランド・マウンティング

MSS-010

(ii) $r_a = \infty$, $r_b = \frac{R \cos^2 \beta}{\cos \alpha + \cos \beta}$

がよく知られています。(i)はローランドマウンティングと言い、AとBは図5に示すように、Oを通り凹面の半径Rを直径とする円周上にきます。この円をローランド円と言います。この条件では、 M_2 も零とできるので収差が小さく、凹面格子のマウンティングの基本形というべきものです。(ii)は平面波を入射させると像がレムニスケートと呼ばれる曲線上にできることを示しています。この条件でさらに $\beta=0^\circ$ とすると M_2 も零となり、 β を零の近傍にとれば非点収差の小さい配置ができます。これはワッツウォースマウンティングと呼ばれています。

この他にも、 $M_1=0$ の近似解がいくつか考えられており、代表的な例として、瀬谷一波岡マウンティングが知られています。これは入射・出射スリットを固定し、回折格子を回転させて、ある波長範囲を走査する機構で、その波長範囲での収差を十分小さくしたもので、光電測光やモノクロメータなどに適したマウンティングです。

3.3 タイプIIの回折格子

ホログラフィック・グレーティングをローランドマウンティングで用い、ルールド・グレーティングより収差を小さく

することを考えます。この時、⑩式の M_1 と M_2 は零となりますから、少なくとも H_1 と H_2 も零としなければなりません。これに対し、記録用光源の位置に関する変数は四つありますから、 $H_1=0$ 、 $H_2=0$ とする他に、 σ を定めたとしても、まだもう一つ条件式をつくれます。これにより、ルールド・グレーティングより収差を小さくすることが可能となります。

例えば I^2 の項がなくなるように、

$$M_2 + \frac{m \lambda}{\lambda_0} H_2 = 0 \quad \text{⑪}$$

とすれば、ローランド円を用いた非点収差のないマウンティングが可能となります。この条件を満たす波長はただ一つなので、タイプIIの回折格子をつくる時は、走査波長範囲のほぼ中央の波長で、この条件を満たすように設定します。こうすると、全走査範囲で非点収差をルールド・グレーティングよりほぼ一倍小さくできます。同じようにしてもう一つの条件式を wI^2 の項がなくなるように、

$$M_1 + \frac{m \lambda}{\lambda_0} H_1 = 0 \quad \text{⑫}$$

とすれば、コマ収差をなくすることができます。そして、ある場合には、非点収差とコマ収差を同時に特定の波長に対して零とすることもできます。

タイプIIの変形として、ローランド円を用いないマウンティングで特定の収差

を零としたり、走査波長範囲で収差を最小とする回折格子も考えられます。このタイプでは、マウンティングが異なれば、違う条件式となりますから、多種多様な回折格子ができることになります。一例として、瀬谷一波岡マウンティングで走査波長範囲を0~7,000Å、回折次数を1、 σ を1/600(mm)として非点収差やコマ収差を小さくする回折格子の設計と製作結果が報告されています。

3.4 タイプIIIの回折格子

すでに述べたように、FがPの位置によらず一定であれば、無収差の回折格子が得られます。A、B、C、Dを固定してこの条件を満たそうとすると、Pは ξ 、 w 、 l の16次の曲面上にあればよいことになりますが、これは現実的な解とはいえません。そこでこれまで通り凹面で、A、B、C、DがXY面内にある解を考えると、三つの波長に対して完全に無収差の回折像を与える回折格子の記録方法、およびマウンティングがいくつかあることが分かります。凹面の曲率中心をIとして、それらは次の三つの場合に大別できます。

- ケース1：CがIにあり、Dが凹面に関してCと同じ側にある場合
- ケース2：CがIにあり、Dが凹面に関してCと反対側にある場合、

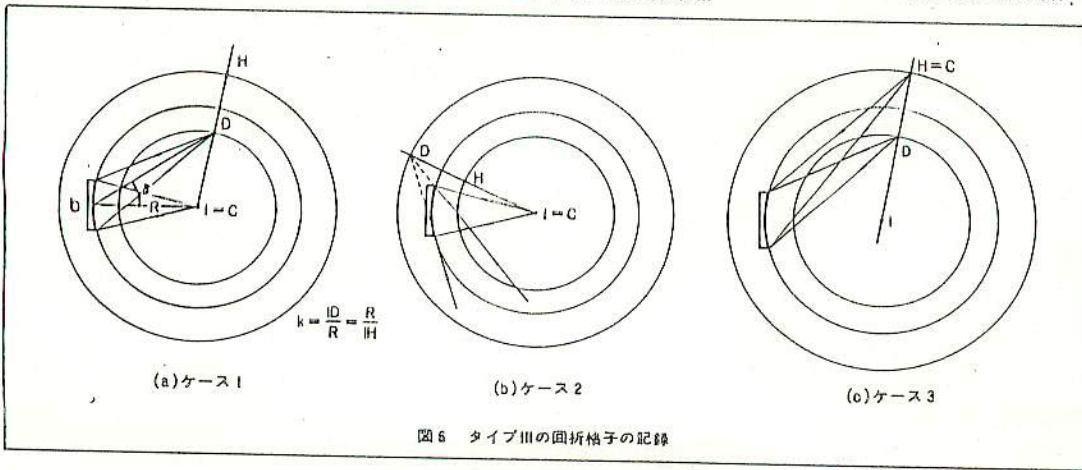


図5 タイプIIIの回折格子の記録

ケース3: CとDが曲率円に関して互いに共役な点にある場合

まずケース1について考えます。ケース1でDを適当な点に定め、さらにAをDに等しくしてみます。この時、COとDOはある値に定まり、またPの位置によらずCP=R、AP=DPとなりますから、⑧式のFが一定という条件は、

$$PB - \left(\frac{m}{\lambda_0} - 1 \right) DP = \text{一定} \quad \text{⑩}$$

と書けます。したがって、

①PBが一定、つまりB=Iとすると $\lambda = \lambda_0/m$ で、

②PB=DP、つまりB=Dとすると $\lambda = 2\lambda_0/m$ で、

③PB=k・DPとすると、 $\lambda = (k+1)\lambda_0/m$ で、

それぞれ条件式を満たすことが分かります。③のPB=k・DPという条件は、Bが、凹面の曲率円に関するDの共役点となることを意味します。この共役点をHとすると、I、D、Hは一直線上にある、

$$k = R/ID = IH/R \quad \text{⑪}$$

という関係が成り立っています。回折格子の有効格子定数 a と無収差像を得たい波長 λ を定めると、この③の条件でこれを満たすものが求められます。それを図6(a)で説明します。DはIを中心として半径R/kの円周上にありますから、 λ の式からkを逆算してこの円が決まります。一方 a の式⑩で $\gamma=0$ として δ が求められますから、この円周上で $\angle IOD = \delta$ となる点がDとなります。Dが決まれば共役点Hも決まり、A=D、B=Hとして求める記録方法とマウンティングが得られます。

A=Dとして、三つの場合を導いたと同じようにして、A=I、A=Hとした時にも、それぞれBをI、D、Hにとると、ある波長に対して無収差像が得られます。その波長の一覧表を表1に示します。

表1 C=Iの場合の無収差像を与える波長

	I	D	H
I	$\lambda = 0$	$\lambda = \lambda_0/m$	$\lambda = k\lambda_0/m$
D	$\lambda = \lambda_0/m$	$\lambda = 2\lambda_0/m$	$\lambda = (k+1)\lambda_0/m$
H	$\lambda = k\lambda_0/m$	$\lambda = (k+1)\lambda_0/m$	$\lambda = 2k\lambda_0/m$

ケース2と3についても、ケース1と同じく三つの波長について無収差像を得ることができます。その記録方法を図6(b)、(c)に示します。このうちケース2では、Dは記録用光源ではなく、記録用光束の収束点であることが他の場合と異なります。Fは光路関数ですから、収束する光に対しては光路長を負の値とすればよく、他はケース1と同じになります。その結果、AとBをI、D、Hにとって無収差像が得られ、その時の波長は、表1でkのかわりに-kと置いたものとなります。ただし、波長は常に正の値ですから、無収差像はケース1と違って負の次数で得られることになります。

ケース2の一例としてA=D、B=Hとしてkを1に近づけると、無収差像を与える波長を十分小さくできます。こうしてつくられた回折格子は、X線領域で用いられ、従来の斜入射型の分光器で欠点とされていた大きな収差を除去できます。

さて、以上の議論はすべて干渉縞を凹面に記録するとして導かれました。しかし結像性能を持つ回折格子は凹面に限らず一般の非球面でもつくることができます。その例として、上に述べたX線領域

で用いる斜入射型の回折格子を、トロイド面（球を、直線を軸にして回転して得られる曲面で、直線が球の外にあればドーナツ型になる）につくり、非点収差を小さくしたものが 있습니다。この回折格子は溝の形もラミナー型という矩形状で、鋸歯状あるいは正弦波状のものとは異なっています。⁴⁾

最近、こうしたホログラフィック・グレーティングにおける成果を、ルールド・グレーティングにも適用する試みが現われています。タイプIIIの回折格子でA=1とすると、格子の溝はすべてABに垂直な平面と平行になります。そこで、あらかじめ溝の間隔を計算し、機械的な送り量を変えながらこの平面に沿って刻線すれば、無収差のルールド・グレーティングをつくることができます。⁴⁾ こうしてつくられた回折格子は、ブレースでできすし、ホログラフィック・グレーティングでは、無収差像を与える波長が記録用のレーザ波長で決まっていたのを、任意の波長にとれるという利点があります。

これらの詳細はここではふれませんが、凹面と非球面、あるいは溝の形や製作法の違いによらず、回折格子の収差を減らす研究は今後さらに盛んになるものと期待されます。

4. 平面格子のブレース

平面に干渉縞を記録するホログラフィック・グレーティングは、凹面の曲率を無限大にした場合になります。図7に示すように、凹面格子のタイプIII、ケース2と似た配置にすると、光路関数下は、干渉縞を記録したと同じ波長の1次の回折光に対して一定となり、無収差像を結像させられます。しかし、回折効率が小さいとか、結像特性は凹面格子で十分であるとかいう理由から、結像性能のある平面格子はあまり検討されていません。ですから平面格子は、ルールド・グレー

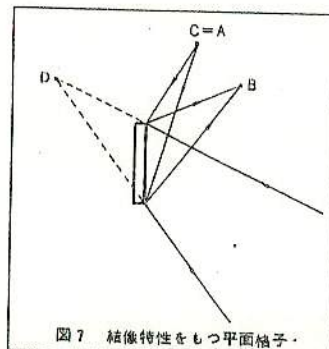


図7 結像特性をもつ平面格子

ティングと同じく等間隔の直線溝をもつ、と考えることができます。現在、平面格子の製作は、格子本数を増すとか、格子の大きさを大きくすることを主とする方向と、溝の形を鋸歯状や矩形状にすることを主とする方向の、大別して二つの方向で、それぞれ研究が進められています。ここでは簡単に前者の方向について述べてから、溝の形を鋸歯状にする方法についてややくわしく説明します。

第一の方向では、溝の形は図2(b)の正弦波状、あるいはそれに類似した形で、回折効率はあまり大きくありません。しかし格子定数が小さいとか格子面の大きな回折格子は、機械的な刻線では時間や精度の面で困難が増し、光学的な方法の容易さが大きな利点となってきます。図1の配置で $\delta = -\gamma$ としてアルゴンレーザの 0.488μ の光を用いれば、格子定数は最小 0.244μ 、つまり4,000本/mm程度の回折格子が得られます。さらに波長の短いレーザ（例えばHe-Cdレーザの 0.325μ ）を用いるとか、感光層の前にプリズムをおいで実効波長を $1/n$ (n はプリズムの屈折率) にすれば、6,000本/mm以上のものもつくれます。機械的な方法では、格子定数の小さいものは格子間隔を一定に保つのがむずかしく、製作は困難となります。また、格子定数を小さくしたり、格子面を大きくすると、それだけ刻線にかかる時間が長くなります。例えば、3,000本/mmで大きさ10cm角程度の回折格子は、光学的な方法では露光10分、現像1分程度で

得られますが、機械的な方法では刻線に2週間以上かかります。

第二の方向は、溝の形を変えて回折効率を上げようとするものです。このうち矩形状のものは前に述べたと同じくX線領域で使う特殊例といえます。紫外から可視、赤外の波長領域では鋸歯状の格子とすることによって回折効率を上げるのが普通ですから、ここでは鋸歯状の溝を得る方法について二つあげてみます。

4.1 フーリエ合成の方法⁷⁾

任意の周期構造は、フーリエ合成により適当な正弦波の重ね合わせで得られます。図1のように二つの平面波で得られる干渉縞の強度分布は、正弦波状となりますから、フーリエ合成にもとづき、適当な露光を重ねれば、露光分布を鋸歯状にできます。現像後の感光層の減少量が、露光回数によらず露光量に比例するなら、多重露光によって鋸歯状の溝が得られます。これはシュマールが提案している方法で、図8のような光学系で、鋸歯状の露光分布を得ています。図中Sは感光層を塗布してある基板、Gはあらかじめつくられた正弦波状の回折格子、Pは位相を変えるためのガラス板です。図の左から平面波がGに入射し、まずGの1および1'の部分で回折した1次と-1次の光でSに干渉縞をつくり、ついで2および2'の部分で回折した2次と-2次の光でSに干渉縞をつくるというように、2回の露光を重ねます。光の波長を λ 、Gの格子定数を d とすると、 ± 1 次の回折角は②式で $\alpha = 0$ として、

$\sin \beta = \pm \lambda / d$ ②

となり、これがSへの入射角に等しくなりますから、 ± 1 次の回折光でできるS上の露光分布は正弦波状で、その周期 d_1 は①式により、

$$d_1 = \lambda / 2 \sin \beta = d / 2$$
 ③

となります。また、 ± 2 次の回折光による干渉縞も同じようにして求め、その周期 d_2 は $d/4$ となります。ガラス板Pを適当に配置すれば、二つの干渉縞の相対的な位置を変えられ、また露光時に振幅を変えられますから、これにより周期 $d/2$ の鋸歯状の露光分布をフーリエ合成する最初の二項が得られます。露光、現像の条件を適当にとれば、この二回の露光だけでも、かなり良い鋸歯状の溝が得られますし、この方法をくり返して、さらに高次の項まで重ねればより良い近似が可能となります。

4.2 シェリドンの方法⁸⁾

平面格子に関しては、4.1の例も含めて、一回の露光では正弦波状の溝ができるという考えによっています。二つの平面波の干渉では、強度分布は正弦波状になりますし、実際に干渉縞の腹や節が感光層に垂直になる時($\delta = -\gamma$)には、溝は正弦波状、もしくはそれに近い形になります。しかし、干渉縞が感光層に対して傾いてくると、溝の形は正弦波からずれてきます。基板に塗布された感光層へ、図9のように表と裏から平面波が入射したとすると、干渉縞は、感光層表面に対してかなり傾いてできます。このような露光の後に現像すると、ポジタイプの感光材料であれば干渉縞の節で、ネガタイプであれば干渉縞の腹で現像が進まなくなり、結局図に示すように干渉縞の傾きに沿った鋸歯状の溝が得られます。この

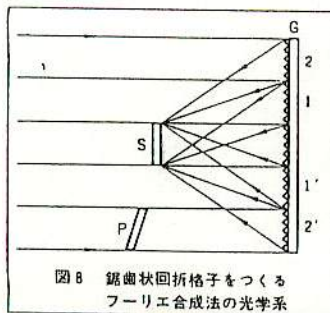


図8 鋸歯状回折格子をつくるフーリエ合成法の光学系

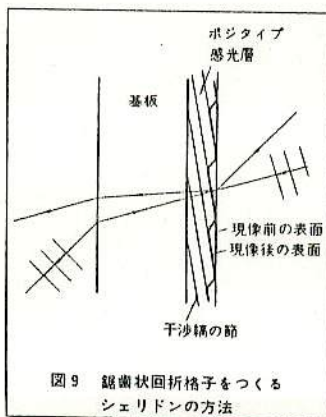


図9 鋸歯状回折格子をつくるシェリドンの方法

MSS-010

方法を考案者の名をつけてシェリドンの方法といいますが、この一例として、図10(a)に示すきわめて簡単な光学系が考えられています。図の左側からきた平面波が反射鏡Mで反射されて、もとの方向へ戻っていきます。この時、反射鏡Mの近くでは光の場は定在波となり、鏡面に平行で、 $\lambda/2$ ごとに節の面を持つ干渉縞Wができています。感光層を塗布した基板Sを鏡に対して傾けて、この定在波の中に配置すれば、干渉縞は感光層の表面に対して斜めになりますから、露光後の現像で鋸歯状の溝が得られます。図10(b)は、この方法でつくられた回折格子の干渉顕微鏡写真で、干渉縞が溝の形を示しており、きわめて良好な鋸歯状の溝が得られていることが分かります。

ブレースしたホログラフィック・グレーティングでは、回折効率正弦波状のものより大きくなりますが、70~80%で、ルールド・グレーティングよりいくらか低くなります。これは溝の形がルールド・グレーティングほど鋭くならず、なめらかさが残るためと考えられます。しかし、同じ格子本数、格子面の大きさのルールド・グレーティングと比較すると、第一の方向と同じく、時間や精度の点での有利さがあります。したがって、露光や現像処理の条件を変えて回折効率をあげるとか、あるいはブレース波長を可視領域から紫外、軟X線の領域まで幅広く変えることなどを中心として、これからさら

に平面格子に関する研究が進められるものと思われます。

おわりに

一般にホログラフィック・グレーティングは回折効率が低く、溝の形や深さが化学的な変化で決まるので、画一化しにくいという欠点があります。しかし同時に、製作のための設備や時間の面で、あるいは得られる回折格子のゴーストや収差の面で、ルールド・グレーティングより有利であったり、すぐれているところも多く見出されており、現在すでにJobin Yvon社から数種の製品が市販されるにまでなっています。けれどもルールド・グレーティングに比べてはるかに歴史が浅く、まだ多くのものが研究の段階にあると言えます。それだけにこの分野における今後の発展が期待されます。

ちょうど昨年夏に東京で、国際光学会議および回折格子シンポジウムが開催され、ホログラフィック・グレーティングの分野でもいくつかの報告がなされました。現在の動向を知るうえで参考となると思われるので、なるべくそれらの報告を例として示すようにして、この文をまとめました。参考文献の4)以降はすべてこの二つの会議で報告されたものです。

また現在、回折格子の収差や溝のブレースという問題の他に、平面回折格子においては、得られる溝の形や蒸着する金

属、あるいは入射する光の波長による回折効率の変化が、理論と実験の両面から大きなテーマとして扱われています。この点に関してもいくつかの報告が上記の会議でなされましたが、これは本題からややはずれますし、話も面倒になるので省くことにしました。

参考文献

- (1) M.J. Beesley and J.G. Castledine: Appl. Opt. 9 (1970) 2720.
- (2) Jobin Yvon 社 回折格子ハンドブック
- (3) 渡辺 武、野田英行: 光学 3 (1974) 25.
- (4) H.Noda, T.Namioka and M.Seya: Japan. J. appl. phys. 14, Supplement 1 (1975) 187.
T.Namioka, H.Noda and M.Seya: J. Spectrosc. Soc. Japan 23, Supplement 1 (1974) 29.
- (5) R.J. Speer: J. Spectrosc. Soc. Japan 23, Supplement 1 (1974) 53.
- (6) T.Harada, S.Moriyama and T.Kita: Japan. J. Appl. Phys. 14, Supplement 1 (1975) 175.
- (7) G.Schmahl: J. Spectrosc. Soc. Japan 23, Supplement 1 (1974) 3.
- (8) H.Nagata and M.Kishi: Japan. J. appl. Phys. 14, Supplement 1 (1975) 181.

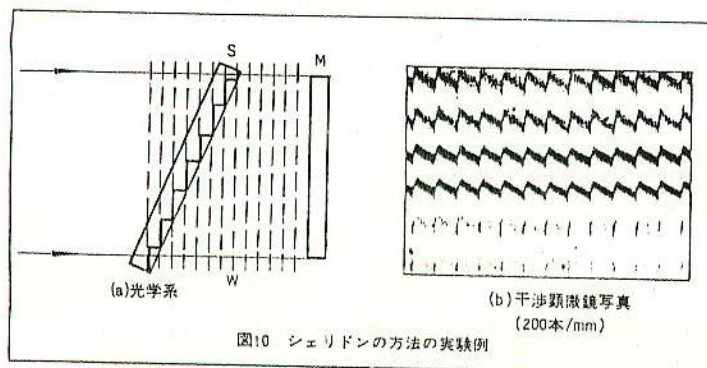


図10 シェリドンの方法の実験例

写真流星測定用紙

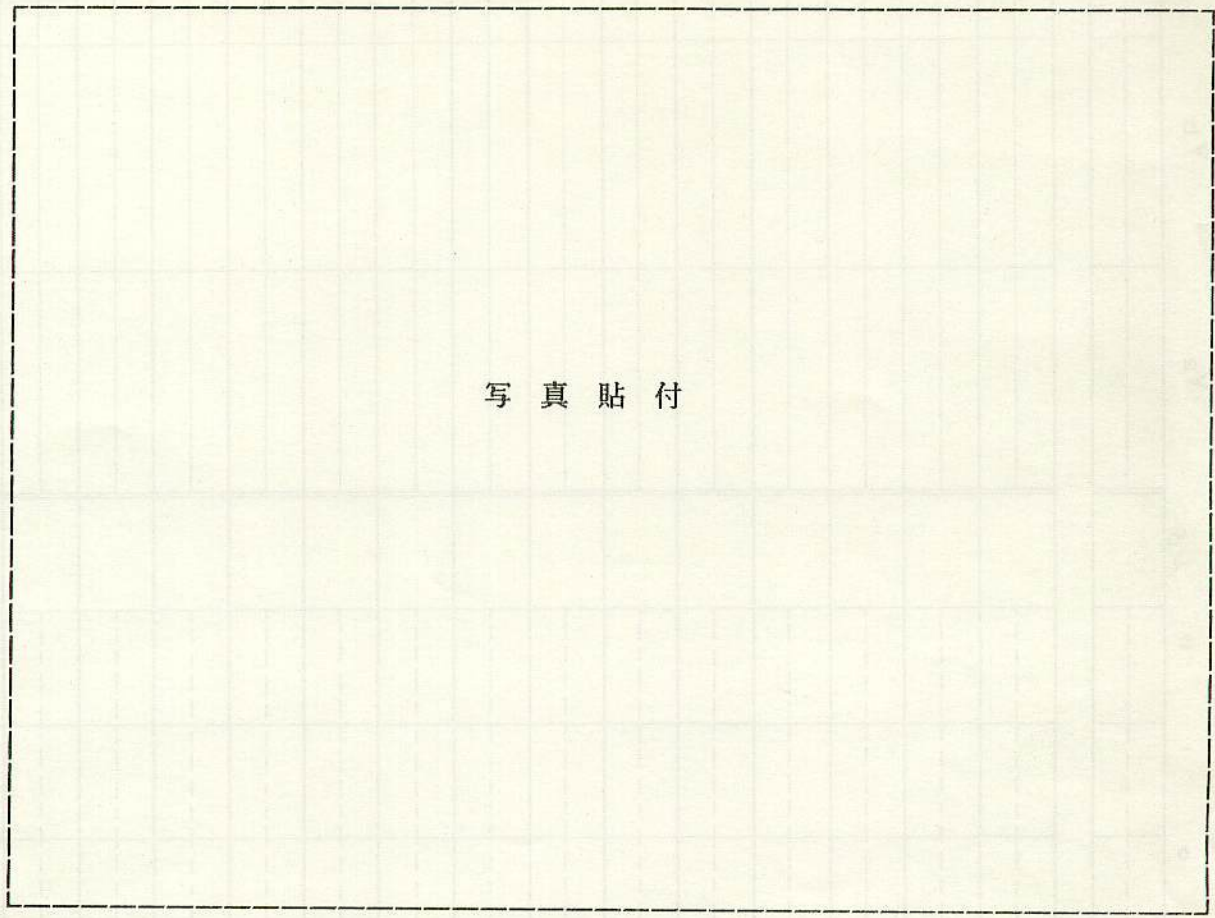
(/)

観測者

コード

仮No.

KPM.NO.



写真貼付

出現時刻 年 月 / 日 時 分 秒

光度: 群: コード: 出現星座

露出時間 時 分 秒 ~ 時 分 秒

タイムマーク 時 分 秒 ~ 分 秒 回転シャッター 秒/切断

カメラ: フィルム: 現像:

観測地 コード

東経 (度, 分, 秒)

北緯 (度, 分, 秒) 高度 (m)

測定者: 測定日時 年 月 日

測定法: (コンパレーター、方眼焼付法、他)

備考:

中心星 · 比較星

		R.A.				DECL.				$\frac{X_a}{Y_a}$	$\frac{X_b}{Y_b}$	$\frac{X_m}{Y_m}$
Cat. No.	Mag.	h	m	s	$\mu\alpha$	°	'	"	$\mu\delta$			
*												
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												

X

Y

発光点	127 各種列灯		
-----	----------	--	--

切断点

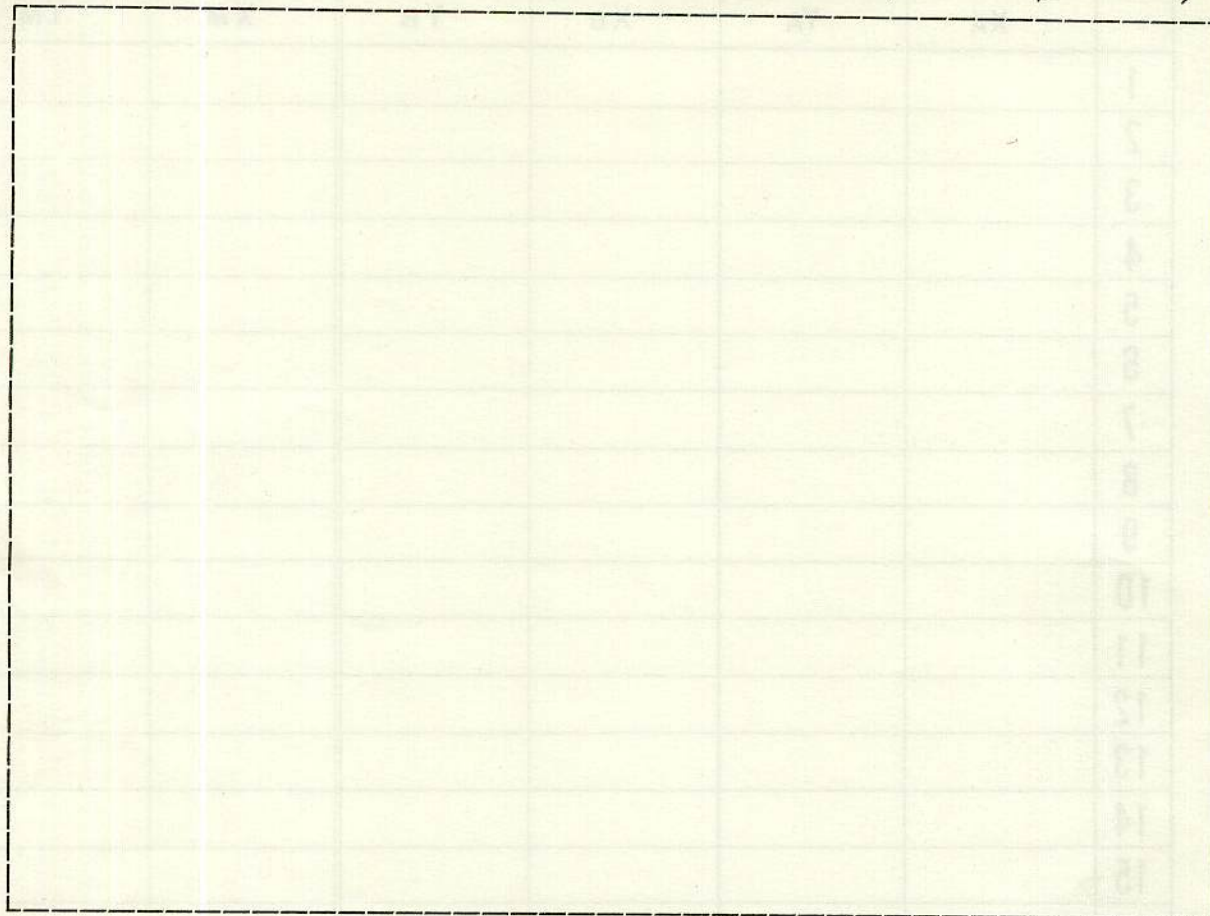
	XA	YA	XB	YB	XM	YM
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

概略図

(/)

(,)

(,)



(,) ← 四スミの (α, δ) → (,)

備考:



グリニッジ視恒星時 _____

回転シャッター中心方向

太陽赤道直角座標 ・ 太陽黄経

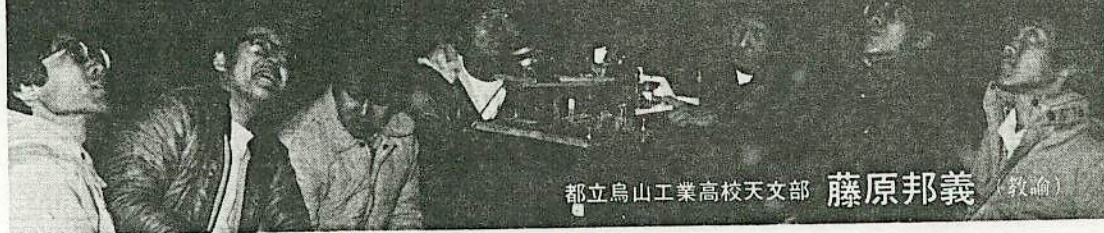
	X	Y	Z	太陽黄経
day - 1				
day				
day + 1				
day + 2				

測定分点 1950. 2000.

ΔT sec

流星の尾をとらえた

流星のガイド撮影成功!



都立烏山工業高校天文部 藤原邦義 (教諭)

流星のガイド撮影?! ウッソー、いえいえ大まじめです。私たちの行なった楽しく、なかなかエキサイティングな試みを紹介します。

流星は尾をひいて流れる?

1980年10月、私の担当する天文部で流星投影装置を作りました。天文ファンなら、一生に一度は遭遇してみたい大流星雨。せめてイミテーションでもいいから見てみたかったのです。私たちのいだいた夢の表現。これがその後、クラブの方向を大きく変えてしまうことになるとは、この時、だれひとり思ってもいませんでした。

さてその装置ですが、「天文と気象」誌に載った記事(1978年11月号プラネタリウム図鑑)がヒントになりました。3枚のプレートA、B、Cを作り、これを重ねて回転させ、オーバーヘッド・プロジェクターで教室いっばいに投影します。できればはすばらしく、輻射点から乱れ飛ぶ、毎分数百個の大流星雨を見てみると、まるで私

たちが、そちらへ引き込まれるような錯覚にとらわれるのです。有名なレオニーズやジャコビニ流星雨も、こんな景観ではなかったかと空想の翼を広げ、秋の文化祭では、一般生徒にも公開して絶賛をうけました。

しかしここで、私たちは今まで考えもしなかった一つの盲点につきあたったのです。

それは次のようなことでした。プロジェクターのプレートCを見れば明らかなように、この装置で作られる流星は「尾を引いて」流れていくのです。しかし、これは事実そうなのでしょうか? 本当の流星は点が動くものではないのでしょうか? まさに星が流れるように、一生徒から出されたこの素朴な疑問は、クラブ内に大きな波紋を投げかけました。

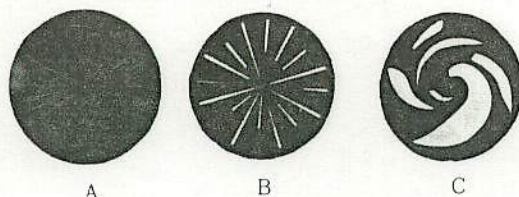
私自身は、流星は当然尾を引くものと思い込んでいたのですが、改めて聞かれると返答に窮しました。「確かにそう見える。尾があった方が流星らしいではないか」これではまるで説得力がありません。他のメンバーも根拠は似たりよったりですが、いずれも自分の目にはかなり自信を持って、「尾がある」「いや点が動く」「尾はしだいに発生してあとで消える」「いや流星によりけりだ」など、勝手な意見が続出。おまけにお互い自説を譲らず、議論はエスカレートするばかり。さあ、みなさんはどう思いますか。いずれにしても眼視では目の残像があることを考えると、判定は困難かもしれません。

これをきっかけに、その後一年間にわたって、私たちはこのテーマを追いかけていくことになったのです。

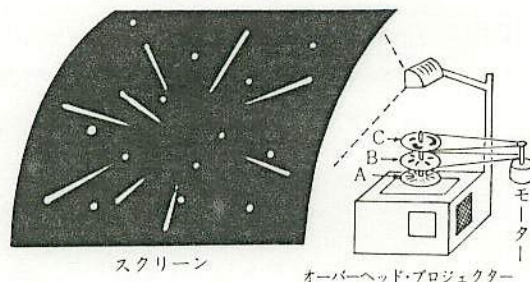
流星をガイド撮影したらどうか

流星は尾を引いて流れていくのか点光源が動くのか? この疑問に決着をつけようと、各種参考書や天文雑誌類を調べましたが、意外なほど資料は見あたりません。そこで私たちで、独自に、どこまでできるかやってみることにしました。

とりあえず流星写真の検討からスタート。もちろん普

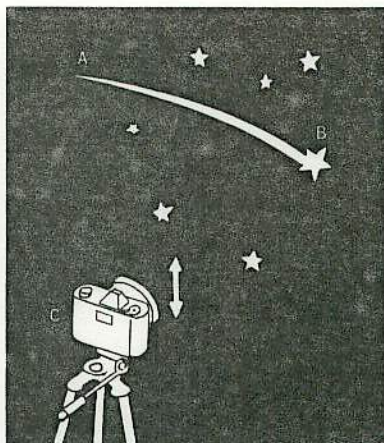


【第1図】 3枚のプレート

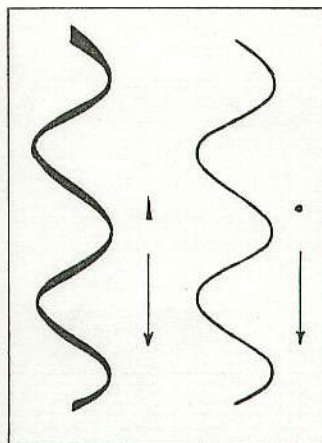


【第2図】 流星投影器

普通の流星写真では、流星に尾があってもなくても線状に写るだけで、判定は不可能。しかし、回転シャッターによる写真は充分意味がありそうです。回転シャッターでとられた流星は、こまぎれになって点線状に写ります。もし流星が点であるなら、この点線はくっきり写るはずだし、尾があるなら、点線はぼやけたりつぶれてしまって、全く点線に写らなかったりするでしょう。天文雑誌にのった回転シャッターによる写真を、多数あたってみました。その結果は、点線のくっきりしたもの、ぼやけたもの、全くつぶれているものとさまざまです。こうしてみると、流星には尾のあるものとないものと2種あるのでしょうか。



【第3図】 振動カメラの発想



【第4図】 流星の写り方

一方、回転シャッターによる写真には、疑問もいくつか出てきました。一つは、点線のぼやけには尾によるものといえるかどうかという点。つまり、流星の光度増大によるフィルムのイラジェーション、あるいはシャッターの羽根がレンズをしばいにおおう口径食のためだっと考えられる。反面、くっきりした点線であっても尾がないと決められるか。つまり、回転シャッターの1コマより短い尾があるかもしれないし、フィルムには写らなくても暗い尾を引いている可能性は否定できない。これらを考えると、この種の写真は、どうも尾の有無についてははっきりしないのです。

流星を8ミリやビデオにとる方法は、原理は単純なもの、現実的にはフィルム感度や経費の点から難しい。またかりに写っても、コマ送り速度が相当早くないと、1コマ写す間にも流星は動いてしまうから、やはり無理。何かもっと決定的な方法はないでしょうか。それのできるのなら、私たちの手で直接決着がつけられる方法は？

こうして最後に残されたのが、流星をガイド撮影しようという案でした。これに成功すればすべては解決します。流星のガイド撮影?! どんな装置を考えたらいいのでしょうか。ガイドの難しさは長焦点望遠の比ではなく、まさにガイド撮影の極限といった感じ。カメラを同架した望遠鏡を、ものすごい勢いで振り回しているさまを想像すると、さすがに気乗りがなくなります。

まず常識的にはとうてい不可能というべきですが、私たちはちょっとユニークなアイデアで、これに近い撮影を試みることにしました。

振動カメラ法のアイデア

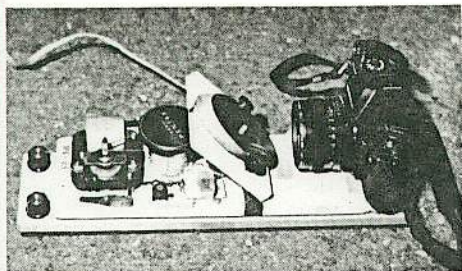
それは次のような発想によるものでした。今流星がA→Bに流れ、これをカメラCで撮影します。この時、カメラを何らかの方法で矢印のように振動させたとします。そうすると、流星はフィルム上で波形(サインカーブ)を描くはずですよ。

さて、ここで流星が点であるなら、このサインカーブは細い線となって写り、また流星に尾があるなら、尾の長さにあたる分だけ幅広くベルト状に写るはず。これで尾があるかどうかは決着がつくという考えです。これを振動カメラ法と命名しました。

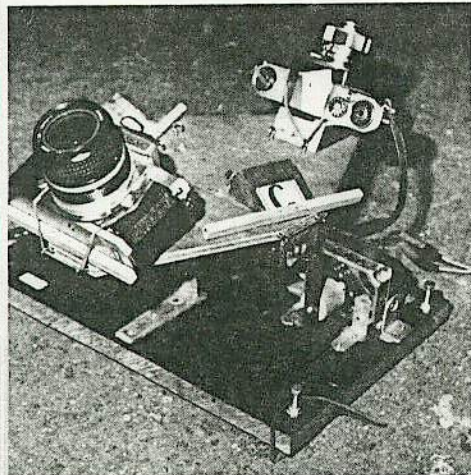
しかし、この方法の本当の目的は、実はもう一つの点にあるのです。今までの話しは、流星がカメラの振動方向に直角に流れたと考えているわけですが、実際にはさまざまな角度になるはずですよ(完全に平行になると、流星は普通の線状に写ってしまってダメ)。流星の流れる方向とカメラの振動方向、また両者の速さが変化すると、サインカーブは複雑な曲線になります。この時、この複雑な動きによって、曲線の途中で短時間、流星がフィルム上で止まります(流星の動きとカメラの動きが同じになる)。つまりこの短時間だけ、流星はガイドされたことになるわけです。このもくろみは、その後の観測で見事に適中しました。

二つのタイプのカメラの製作

とりあえず、カメラを振動させる装置を作らなければなりません。振動させるメカニズムの前に、振動の幅や振動数を決める必要があります。カメラは標準レンズを使うとして、まず振動の幅ですが、あまり大きく振ってフィルムから流星が飛び出しては話しにならず、小さす



【第5図】ミラー式振動カメラ



【第6図】クランクシャフト式振動カメラ

ぎてはサインカーブの形状が分かりません。形状が分かる範囲でできるだけ小さくしようと考え、フィルム面で2ミリくらい、実視野 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ としました。

次に振動数ですが、これもあまり多いとカーブの長さが短かすぎて具合が悪く、少なくとも間のびした感じになります。流星の見かけの速さを回転シャッターによる流星写真から測定し、平均を求めると $25^{\circ}/\text{秒}$ とな

ります。理想的なサインカーブの波長を 5° とすると、振動数 $f = v/\lambda$ より、 $25^{\circ}/\text{秒} \div 5^{\circ} = 5 \text{ Hz}$ 。

こうして振動カメラの振動幅は角度で $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 、振動数 5 Hz くらいと見積りました。

ようやく振動装置の試作にかかり、試行錯誤の中から二つのタイプの振動装置が完成しました。

●ミラー振動式カメラ

カメラの前にミラー（20 cm 反射望遠鏡の斜鏡）を置いて、このミラーをモーターで振動させるタイプです。ミラーに偏心円板を接触させ、この円板をモーターで回します。

振動とはいってもこの場合無限遠を写すため、平行移動の振動ではだめで、回転振動とでもいうべきものです。振動角 1° （反射角は2倍の 2° となる）、振動数 5.2 Hz です。

●クランクシャフト式振動カメラ

そのものずばり、カメラ本体を振動させます。モーターの軸にクランクをつけ、上の板が振動します。これはカメラにとってはまことに残酷な装置ですが、反射鏡が手もとになかったため、やむなく考えたものです。振動角 3° 、振動数 5.0 Hz です。

ついに流星の尾をとらえた

装置が完成したのは1981年7月初旬。そしていよいよ夏休み。7月末から観測態勢に入りました。カメラの絞りは開放で、カブリを防ぐため、露出は3分以内におさえ、一晚中写真をとり続ける計画です。

初めての観測は7月28日～30日、埼玉県三峰山頂で行ないました。この期間中はみずがめ δ 、 ϵ 、やぎ、やぎ α などの活動期にあたり、かなりの出現が期待されました。

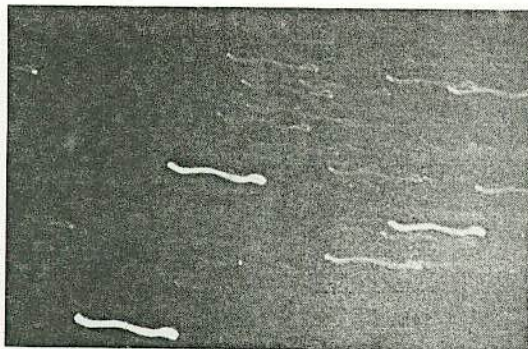
折りから絶好の快晴に恵まれ、2台の振動カメラは一晚中ぶっ通しで振動し続けました。しかしついに明るい流星は出現せず、ただひとつ、0等級の流星がキャッチされましたが、皮肉なことに、振動カメラの振動方向と完全に平行に流れたため、かすかな線状に写っただけでした。

続く8月10日～14日、今年最大のチャンスであるベルセウス群に希望を託しました。月明の条件は良くないものの、月没後の空をねらって4日間、八王子市高尾山山頂にこもりました。あいにくこの期間中、東京地方は全く天候に恵まれず、いずれも雲のすき間からときおり星が顔をのぞかせるといった状態。山頂に陣どった100名を超すアマチュア天文ファンの気勢も、全くあがりません。カメラの砲列も空しく天空を見あげるのみでした。それでも、わずかな雲の切れ間をぬって精一杯撮影を続けましたが、視野を横切る流星はひとつも現われませんでした。

この観測のせめてもの救いは、私たちの観測がまわりの天文ファンの関心を集め、寄ってたかって見学に押しかけられたことです。みんなで得意になって装置の説明につとめました。それでも、中には観測している所をいぶかしげに見ている人もいます。カメラをガタガタ振動させながら天体写真をとっているのですから、正統派天体写真家から見れば、狂気のさに思えたのかもしれない。

こうしてベルセウスを含め、夏休み中の10日間の観測は、流星の写っていない膨大なフィルムを残して失敗に終わりました。

二学期に入り、カメラの台数をふやすことにしました。クランクシャフト式振動カメラの上に台を置き、4連カメラに改造し、観測の犠牲となるカメラはさらに増えました。他のカメラはともかく？、自分のカメラが台の上で激しく振動しているのを見るのは、あまりいい気分ではありません。この観測はカメラの耐久テストも兼ねているのです。



【第7図】最初にとらえた流星（上部の波形）

念のためつけ加えると、私たちが使ったカメラはすべてこのテストに合格しました。

初観測から数えて15回目、10月3日22h16m、0等級の流星が北北東から南南西に流れ、カメラの視野を横切りました。振動カメラのとらえた最初の流星でした（第7図）、明らかに細線状に写り、尾は見られません。

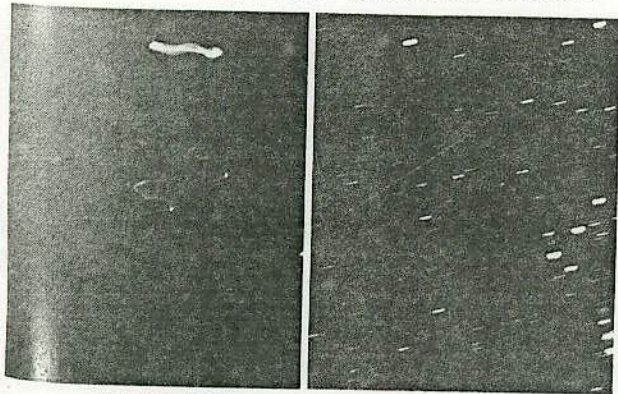
続く10月11日4h10m、薄明の中を再び-2等級の明るい流星が飛び、私たちのねらいは見事に当たりました（第8図）。

A, B, Cの部分で、流星はフィルム上に止まりました。よく見るとABの部分からは短い光芒が見え、Aの上部はかすかですが明るく写っています。ついに流星の尾はとらえられました。しかし私たちの予想とは違う形状で。

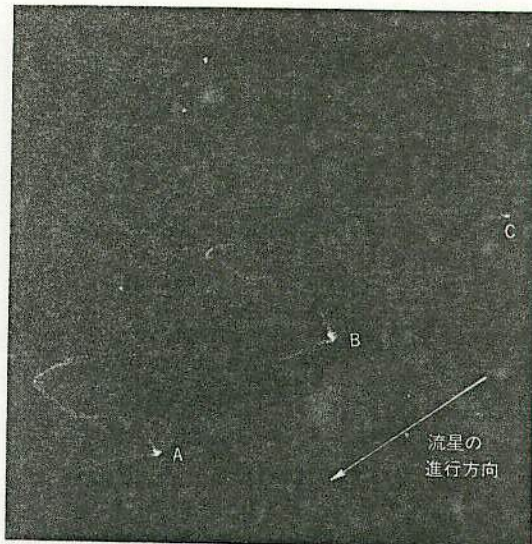
美しい流星のガイド写真を

1981年7月28日から10月24日までに、私たちは3個の流星の撮影に成功しました。データはわずかですが、事実の一端ははっきりしたのです。

流星には点光源状の核があること、少なくとも、輝やく核のうしろに暗い尾を引く流星が存在することなど。



【第8図】振動カメラがとらえた流星（左）と静止カメラがとらえた同一流星



【第9図】第8図の流星の拡大

ところで流星の尾とは何なのでしょう。いずれにしても、流星の発光状態は、流星のもととなる微小天体が空気と摩擦して変化しようすを示したものであり、この微小天体の物理的性質や化学的性質とも、関係していると思われます。流星の尾のようすや途中の変化は、流星の明るさ、速度、あるいは流星群など何らかの関係があるのでしょうか。疑問は次々と浮かび、そして私たちはまだ何も分かっていないのです。

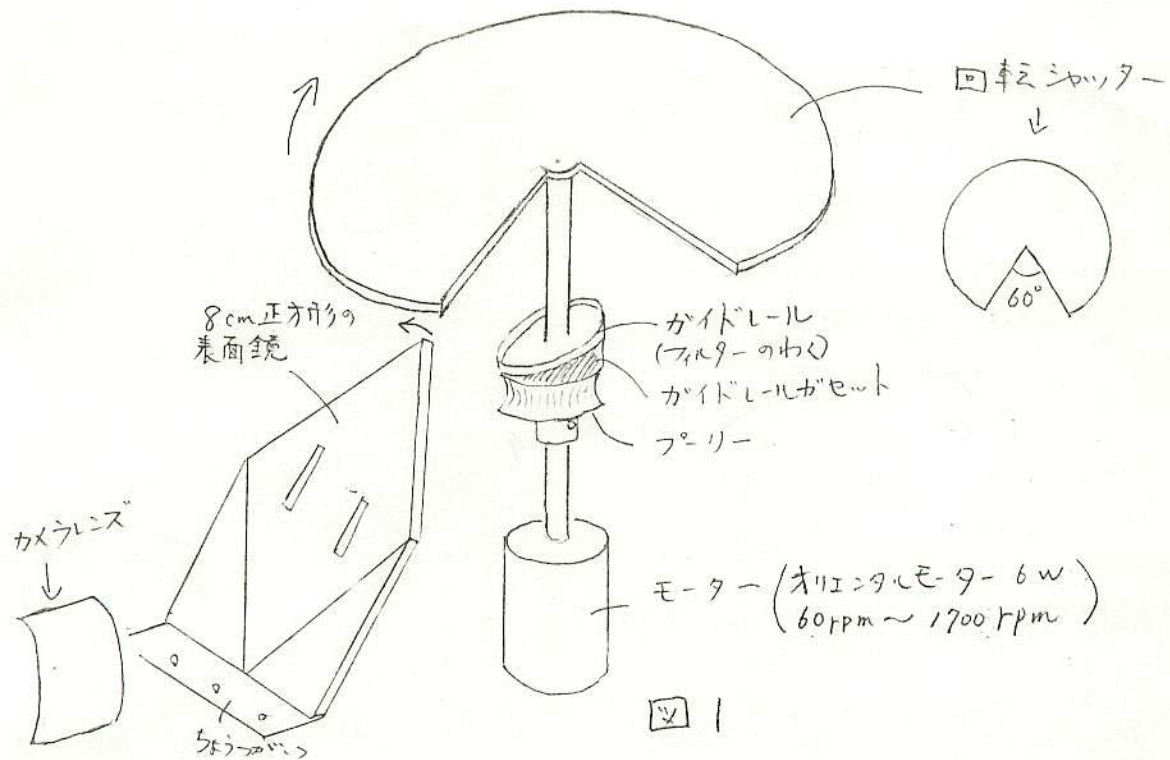
さて、流星の尾の謎はともかく、振動カメラ法は流星のガイド撮影からすれば、妥協案の一つにすぎません。もっと確実に、また美しい流星のガイド写真はとれないでしょうか。夢はさらに広がっていきます。

おわりに

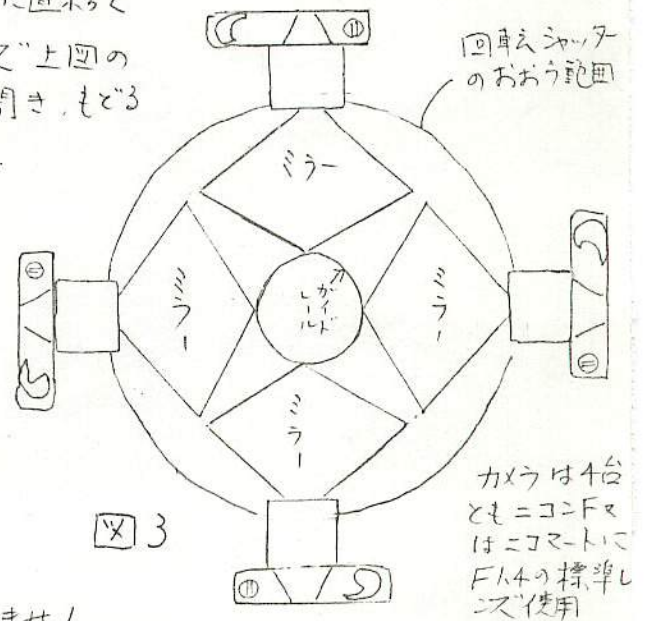
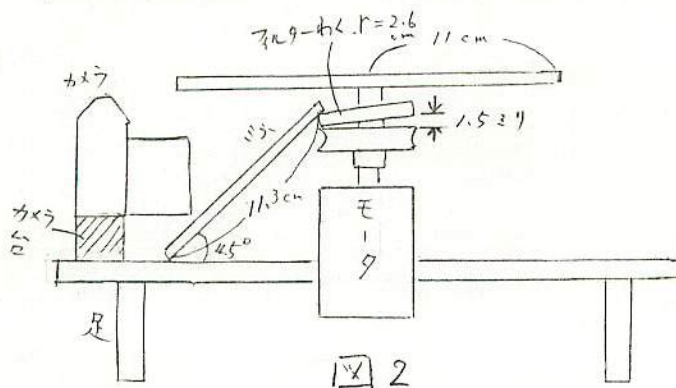
流星の尾を追いかけて一年後、私たちは新たな観測のスタート地点につきました。再び文化祭の季節。流星投影装置のプレートCの幅を一部細くし、昨年に引き続きこの投影を行なうことになりました。暗い尾を引いて飛ぶ明るい流星、点状に消えていくかすかな流星。これらが入り乱れて、流星雨は見事によみがえりました。このささいな変化は、一般の人にはほとんど気がつきません。しかし私たちの目には、この変化に特別の意味がこめられて見えたのです。

このレポートに対するご意見・ご質問等ありましたらぜひお寄せください。連絡先 東京都世田谷区北烏山9の22の1 都立烏山工業高校天文部 藤原邦義

☆ この研究は第25回日本学生科学賞高校の部で総理大臣賞を受賞しました。



回転シャッターと、傾けたガイドレールがモーターに直結して時計方向に回転すると、ミラーは振動する。ここで上図のように、矢印方向にミラーが動く時、シャッターが開き、もどる時はシャッターがとじる。これで片道ガイドになる。



概略図で縮小は正確ではありません

4つのミラーは各々45°と中心として振動し、4台のカメラで天頂の同一視野を収める。この領域に流星が来れば、4つのうちどれかがかなりいいガイドになる見込みがある。

ミラーの回転角(θ)と時間(t)グラフ

ただし回転シャッター 9-14.4回/秒

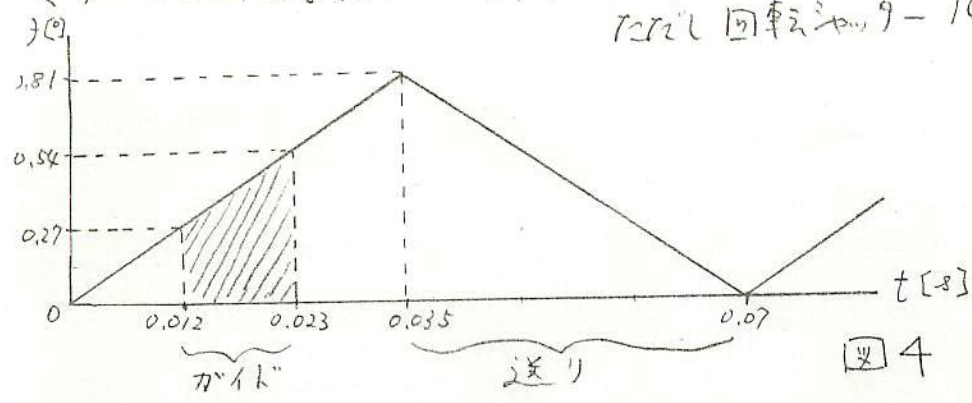


図4

角速度 $23^\circ/\text{秒}$ の流星が「ガイド」方向に流れた時の様子
 発光時間 0.5秒

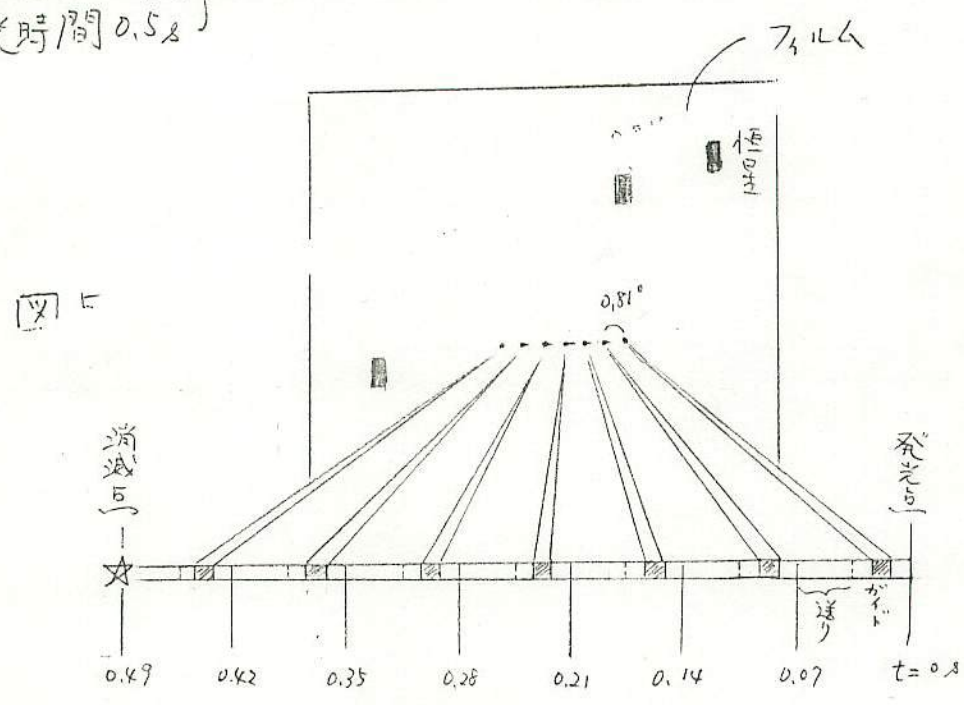
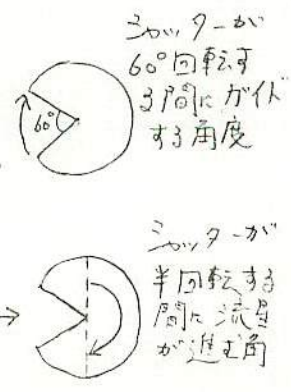


図5

ガイド装置のデータ

想定流星角速度	$23^\circ/\text{秒}$	
有効ミラー反射回転角	0.27°	→
シャッター回転数	14.4回/秒	→
1周期の流星ガイド時間	0.012秒	
角	0.27°	→
1周期の流星送り時間	0.035秒	
角	0.81°	→



*) 1車の学者、超高速回転シャッター 6/10000 sec 切断で撮影、16年前

昭和 57 年度 高等学校理科実験講座 研究報告 書

愛知県立豊川工業高等学校

鈴木 和 博

「液晶板を利用した電子シャッターの開発」

1. はじめに

液晶発見の歴史は意外に古く、19世紀末にオーストリアの植物学者 Reinitzer がコレステロールのエステルを合成していて、コレステリル安息香酸が 144.5°C で完全に溶けるが、その外観は不透明で濁っていて通常の液体と異なり、それを更に 178.5°C まで上昇させるとはじめて透明な液体となることを認めたのが最初である。この不透明液体は液体が持っている流動性と結晶体が持っている複屈折性とを兼ね備えており、このような中間相を示す液体物質のことを液晶と呼ぶ。

近年、室温で動作する液晶が開発されるに及んで、エレクトロニクス分野における文字・数字・絵図の表示装置として盛んに用いられるようになった。市場に出まわっている中で時計などの表示部として、液晶がいかに使われているかは周知のとおりである。

液晶を使用した表示装置の原理などを、半ば好奇心で探っていくうちに理科実験器具に応用できるのではないかと考えるようになった。幸い、筆者は工業高校に勤務しているため、電子技術に関する新しい情報を手に入れやすく、電子回路に熟達している同僚も多い。思いがけなく、松下電子部品(株)の協力を得て、わが国でも初めてという $50\text{ mm} \times 50\text{ mm}$ のネマテック液晶板の試作品を入手し、実験を行なった。

2. TN - FE 形 液 晶 表 示 パ ネ ル

2-1. 構 造

TN - FE 形の液晶パネルの構造は(図-1)に示すように、透明電極と液晶分子を一定方向に並べるための処理がなされた絶縁層を持った2枚のガラス

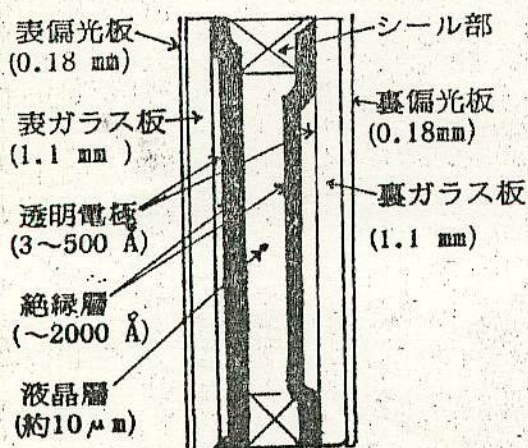
化 15 - 2

板を一定の間隔ではり合わせ、その空間に液晶物質を注入し、2枚のガラス板の外側に偏光板をおいたものである。

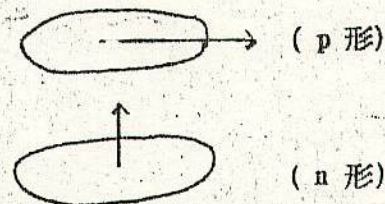
2-2. 動作原理

ネマテック液晶は (図-2) に示すように、細長い形状の分子で、その長軸方向に近く、双極子モーメントをもったもの (p 形) と、分子の長軸方向に垂直に双極子モーメントをもったもの (n 形) とがある。TN- FE 形に使用される液晶は (p 形) で (図-3) に示すように、配向処理によって、表ガラス板上では液晶分子は紙面に平行に、双極子モーメントの方向を左側に向けて並べられる。一方、裏ガラス板上では液晶分子は紙面に垂直に双極子モーメントは紙面の向こう側を向けて並べられる。そして、その中間の液晶分子は、(図-4) に示すように双極子モーメントの方向を連続的に変化させる。即ち液晶分子はラセン階段状に並ぶようになる。

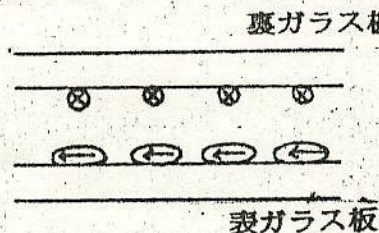
このように、液晶分子を並べたところに表ガラス板の前方より (図-4) に示すような波面をもった光が (今後はヨコ波と記述) くと、光は液晶分子がつくる「ラセン階段」を通過して裏ガラス板からでてくる時は (図-4) に示すように、波面が紙面と垂直な光 (今後はタテ波と記述) となっている。



(図-1) FE 形構造図



(図-2) ネマテック液晶の種類

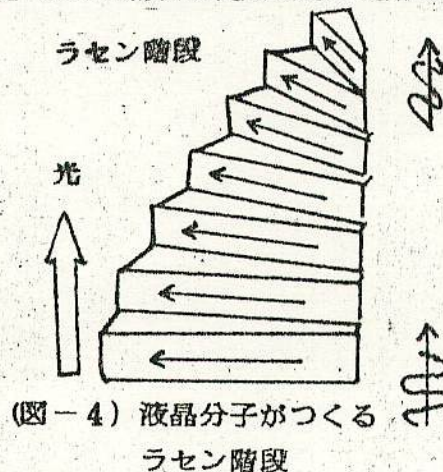


(図-3) 液晶分子の並べ方

次に透明電極に電圧を印加すると 液晶分子がもっている双極子モーメントにより液晶分子は電界方向に並べられて「ラセン階段」はなくなってしまう。このような時に図に示すようなヨコ波の光がきても、「ラセン階段」がなくなっているために裏ガラスを出る時もヨコ波のままてくる。

更に、電圧の印加をやめると表ガラス、裏ガラス板上の絶縁層上に施された配向処理により元の「ラセン階段」が形成される。そこで、表ガラス板の前にヨコ波のみを通すように表偏光板をおくと、光は 表偏光板→表ガラス板→液晶層→裏ガラス板 と通過する。そこで裏ガラス板の次に裏偏光板を「タテ波」のみを通すようにおくと、電圧印加がない時は、光が通過するが、電圧印加されている時は「ヨコ波」が出てくるので光は通過することができない。また裏偏光板を「ヨコ波」のみ通すようにおくと電圧が印加されていない時は光が通過せず、電圧が印加されると光が通過することになる。

即ち、上記の動作原理からわかるように、TN-FC 形の液晶パネルは2枚の偏光板を利用した光のシャッターであることがわかる。液晶表示パネルを充分な電圧で駆動した場合のコントラストは使用する2枚の偏光板の「平行」と「垂直」にした場合の比であることがわかる。



2-3. 駆動方法

液晶表示パネルは直流では駆動できない。(直流では表示ができないか、または、液晶層が電気分解されパネル内に気泡が発生する。) 駆動電圧は交流電圧が使用され、半導体回路で駆動する場合は p. A. C (ク形波交流) 電圧が使用される。

そこで、他の表示管のような直流駆動する出力をつかって液晶表示パネルを駆動するには exclusive OR Gate を使用することにより可能となる。

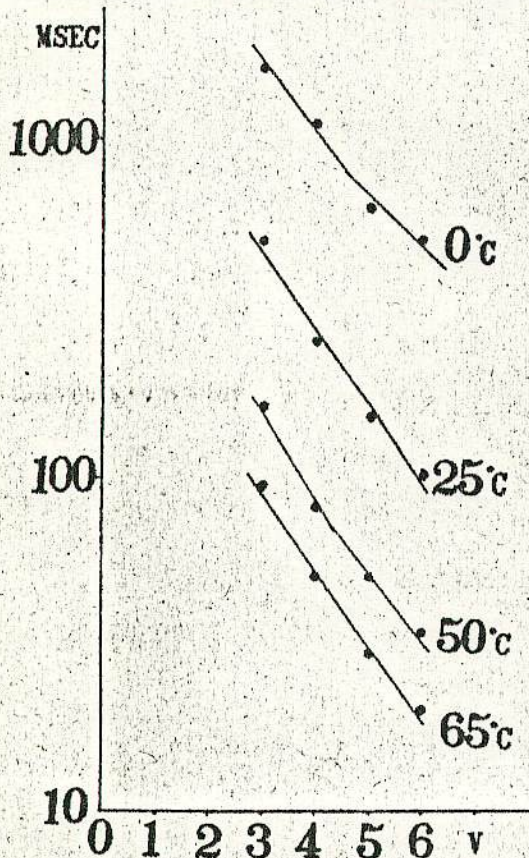
各セグメントは必ず、共通電極にかかっている電圧と同位相か、反対位相か

化 15- 4

をかけることにより、OFF、ON するのであって、消す時にセグメントを浮かした状態にしてはならない。使用しないセグメントはすべて共通電極と同位相の電圧を印加しなければならない。

3. 実験装置と方法

試作された液晶板は表偏光板と裏偏光板が平行におかれており、電圧を印加した場合にはじめて透明になる。どのような原理で液晶板が電子シャッターの役割を果たすのかということについては 2-2 に述べてきたとおりであるが、この偏光板をカメラのレンズの前におき、ワンシーンの撮影のためのシャッターとして応用することは、さして意味がない。というのは、液晶板に電圧を印加して、液晶分子の配列が変わり、それまで光を通さなかった板に光が通るようになるのに、およそ数 10 msec の時間がかかるのだ。(図-5 参照)



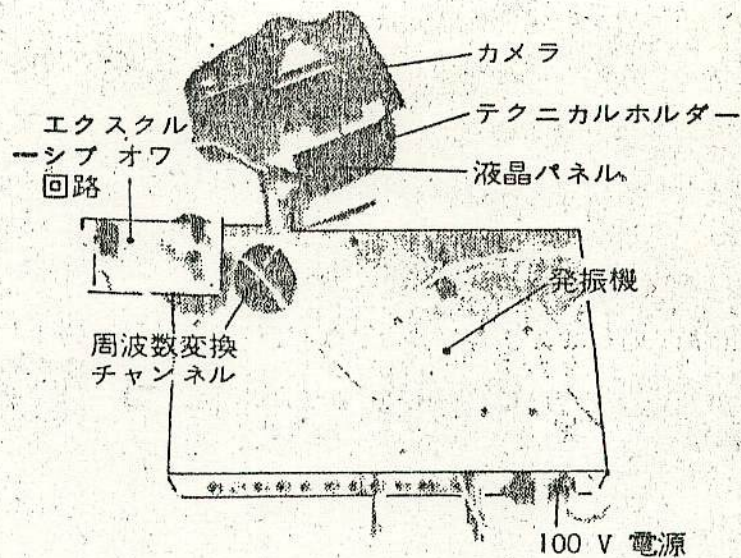
(図-5) ネマテック液晶の応答速度

(松下電子部品 K.K. の資料より)

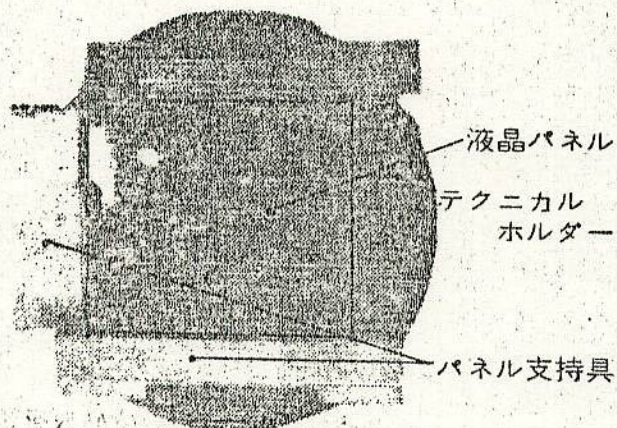
実用的にはほとんど影響を及ぼさないとしても、これでは在来のシャッター機構の方が有効である。

従って、同様にカメラのレンズの前に液晶板をおいて、一定間隔の時間で液晶板を透明にしたり、光を通さないようにしたらどうかということになった。

液晶板の応答速度 (シャッターを閉じるという信号を与えて現実にシャッターが閉じるまでの経過時間=これは液晶板に電圧を印加し→液晶が配列をかえ→光を通すように



(図-6) 実験装置



(図-7) 液晶パネルのとりつけ

「なるまでの時間に相当する。）が数 10 msec ということは上述したが、連続シャッターとして使用するのであれば（シャッターをおろした時間、そのものが重要でなく、開いている時間と閉じている時間との間隔が大切であるような使い方

をすれば）応答速度がわずかにあったとしても、ほとんど影響がない。

水晶発振を使ったうで時計は IC 数個を組み合わせ、正確に時間をカウントしているのであり、そのような技術を使えば、適当な周波数を有して液晶板に電圧を印加することは容易であり、その周波数の変更も自在である。

現実に使用したのは（図-6）に示すような装置で、テクニカルホルダーに液晶板を接着し、それをカメラにとりつける。（図-7）。発振機とエクスクルーシブ・オワ回路を組み合わせ、液晶板に 5 V の電圧を印加するが、そ

化 15-6

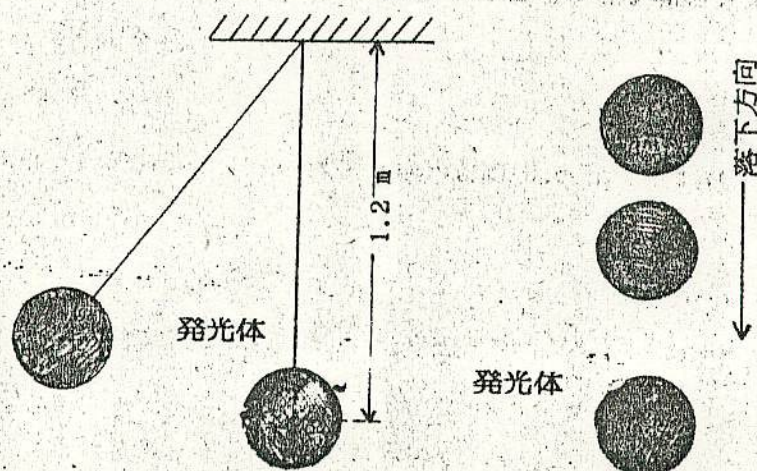
の周期は、1 sec、 $1/2$ sec、 $1/5$ sec、 $1/6$ sec、 $1/10$ sec、 $1/15$ sec、 $1/30$ sec の7段階ほど可能である。（※発振機は同僚の山本 豊 氏が 12 月の研究発表のために製作されたもので、本レポートの駆動装置として借用させていただいた。）指定された周波数で液晶板を透明にしたり、暗くしたりしておいたうえで、カメラのシャッターをバルブにして適当な時間開放すれば、発光体の運動であれば光跡が、周波数に応じて切断されるというわけだ。

液晶板が透明になっている時でも、光の透過率は 45 %ほどに落ちているが、よほど暗い光源でない限り、レンズを / しぼりしぼったということではかない。

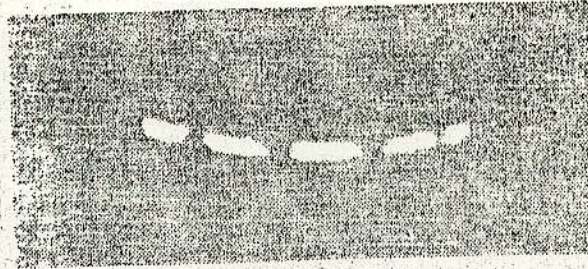
種々の運動をこの電子シャッターを使って写真撮影すればストロボ写真の代わりになりうる。特に長い距離を有した発光体の運動の様子を知るには有効である。

4. 結果 と 考 察

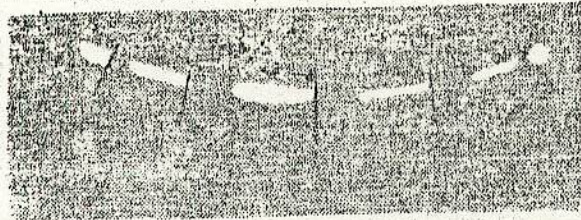
(図-8) に示すような発光体の振り子運動と落下運動をこの電子シャッターを使って写真撮影した。(図-9) は 1.2 m の糸の先端に発光体をぶらさげて振り子運動をさせ、その光跡を $1/5$ sec、 $1/6$ sec の周期で切断して得



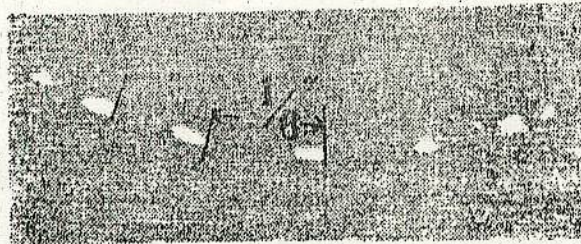
(図-8) 発光体の振り子運動と落下運動



○切断周期 $1/5 \text{ sec}$ $l = 1.2 \text{ m}$



○切断周期 $1/5 \text{ sec}$ $l = 1.2 \text{ m}$



○切断周期 $1/6 \text{ sec}$ $l = 1.2 \text{ m}$

(図-9) 電子シャッターを利用して
撮影された振り子運動

そのこともよく確認できる。振り子の長さ $l = 1.2 \text{ m}$ の時、 $T = 2.20 \text{ s}$ のはずであり、 $T/2 = 1.10 \text{ s}$ 、即ち、(図-9)の振り子が右から左へ移動するのには 1.10 sec かかる。 $1/5 \text{ sec}$ のものは光点が 5.5 個ほど、 $1/6 \text{ sec}$ 周期のものは光点が 6.5 個ほど写っており、 $T/2 = 1.10$ とよく一致している。

(図-10) は電子シャッターを使って発光体の落下運動を撮影したものである。写真の下に記したように切断周期は、 $1/15 \text{ sec} \cdot 1/10 \text{ sec} \cdot 1/6 \text{ sec} \cdot 1/5 \text{ sec} \cdot 1/2 \text{ sec}$ の5種である。落下運動は重力の加速度による等加速直線運動であり落下距離 y は

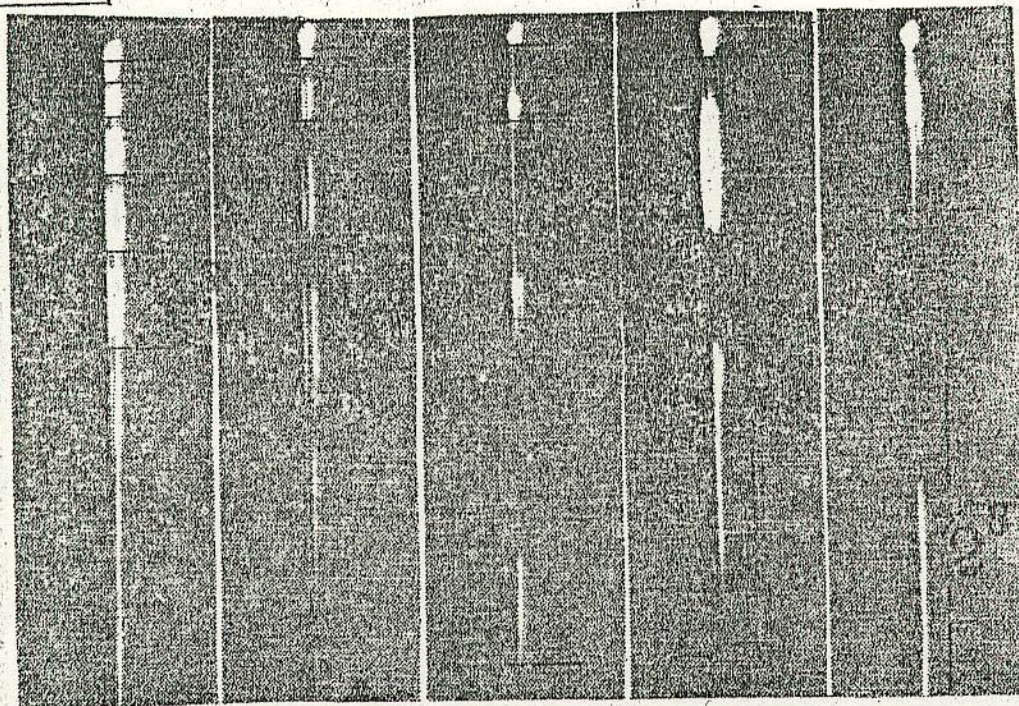
$$y = \frac{1}{2} g t^2 \quad \dots\dots ① \quad \text{で与えられる。}$$

た写真である。写真(上)と(中)は共に $1/5 \text{ sec}$ 周期で切断したものであるが、振幅が異っている。ところが振り子の周期 T は

$$T = 2\pi \sqrt{l/g}$$

(ここで、 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ：重力の加速度、 $l = 1.2 \text{ m}$ ：振り子の 糸の長さ) で与えられるように振幅に関係しない。従って振幅の大きい(上)ほど振り子の速さは大きくなっていることが、光跡の長さが長いことでよくわかる。

また、振り子の速さは振れていない状態で最大、最も振れている状態で最小となるが



○切断周期 ○切断周期 ○切断周期 ○切断周期 ○切断周期
 1/15 s 1/10 s 1/6 s 1/5 s 1/2 s

(図-10) 電子シャッターを利用して撮影された落下運動

この時、 $y = 1.5 \text{ m}$ であったから、①に代入して $1.5 = 1/2 \times 9.8 \times t^2$
 $t^2 = 0.31$ $\therefore t = 0.55 \text{ sec}$ である。即ち、発光体が自由落下運動
 をはじめてから 0.55 sec 後に視野から消える。

この電子シャッターでは落下運動をはじめると同時にシャッターを開くことはむずかしい。特に切断周期が長くなるとその影響が顕著にあらわれる。従って、1/2 sec 周期の写真ではシャッターの閉じるわずか前より、落下運動がはじまっているという状態である。

このように、液晶板を使った電子シャッターを利用して振り子運動や落下運動をしている発光体の光跡を切断して、その運動の様子を調べてみた。光跡の切断箇所がシャープではないが、これについては 液晶板を暖めて応答速度を速くすれば改善されるであろう。切断周期によってデューティー比が 1 : 1 で

ないものもあるが必要があれば改善が可能である。

ストロボ写真と若干異ったイメージで種々の運動の様子をとらえることが出来、実験の所期の目的は達したと思われる。

5. おわりに

液晶板による電子シャッターを試作しようと考えた時点から、「果たしてこれが化学の実験か？」という心配が常に頭にあった。液晶自体は、これは紛れもない「化学の領域」なのだが、それを使つての実験も落下運動だとか振り子の運動だとか、どうも「物理」的になってしまった。

そんな中で、液晶の本質について生徒はほとんど何も知らない。また、一般的には技術革新によって生まれる新しい情報・システム・物質などが身の回りにはらんしていて「こういうものだ」という感覚で、どんどん受け入れてしまう。それを使いこなすことはできるのだが、そのものについて原理的に掘り起こしてみようという考えを持たない、あるいは持つ余裕がないという生徒がほとんどである。

特に工業高校の理科教育ということで、今まで電気回路の一部として使っていた液晶パネルが実は、物質の三態の変化としてとらえられる液晶の特殊な性質に依存しているということだけでも確認できれば、電子工作にたずさわる態度も自ずと変わってくるのではないだろうか。

試作された電子シャッターは、人工衛星の角速度を決定し、軌道を確定するなど種々な応用が可能だが、何よりも広く一般に行きわたっている液晶板の働きをダイレクトに示すものとして教材にも使いたいと考えている。

このレポートを書くにあたって 試作品を提供していただいた松下電子部品(株)の清水 氏、電子回路について同僚の 山田賢治 氏(数学)、山本 豊 氏(理科)には多大な協力をいただきました。記して厚く感謝致します。

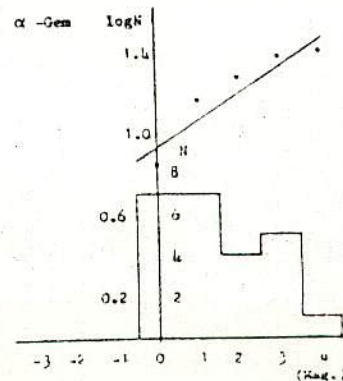
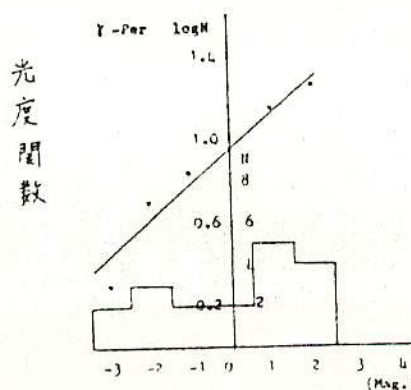
B 87 高感度TVカメラによる流星観測

田中光久, 大木俊夫 (福島大教育)
富田弘一郎, 斎藤馨児 (東京天文台)

高感度TVカメラが流星の観測に有効であることは昨年秋の年會に報告した(古川 et al.). すなわち, SIT または ISIT カメラを用い, 流星をビデオに記録し, 実験室で再生し測定するという方法である. 昨年まではモニター画面を写真にとり, フィルムを測定した. しかしこの方法では測定可能な流星の等級に限界がでるばかりでなく, モニター像の歪曲等が原因で, かなり複雑な補正を加えても位置測定の精度は約 $10'$ にもなった.

今回は, ビデオ画面にマイコン出力を重畳し, 画面上で直接測定した上, 結果をマイコンに戻し直ちに計算処理を行なうという方法を用いた. 使用器材は市販のマイコンとスーパーインポーズユニット (PC6001mkII + PC60254) である. この方法で測定できる限界等級, 測定精度は格段に向上し, 処理時間, 費用は大幅に縮減できた. 位置測定の精度は $4.7'$ であり, これはモニターの走査線解像度に近い. 以下に '83 α Gem \swarrow と '83 r Per \swarrow の測定結果を示す.

	Solar Longitude (deg.) 1950.0	Meteors number	Radiant (deg.)	Point (deg.) 1950.0	Range (deg.)
放射点位置					
r-Per All	138.0	18	43.9	58.6	1.4
α -Gem All	258.6	24	112.3	33.1	2.2
α -Gem 11/12	258.0	7	110.4	32.2	1.4
α -Gem 12/13	258.6	8	111.1	32.7	0.8
α -Gem 13/14	260.0	9	113.4	33.0	0.4



——露取りヒーター 製作記——

重野 好彦

1.はじめに 1986年5月のオーストラリア遠征では何と云ってもレンズの露にやられましたので、今年は何としてもこれに対応するため、露取りヒーターを製作しました。初めはサリマンらしく、時間をかけずにお金をかけてと思い、天文雑誌を

調べ出したのですが、これが以外と値段が高く(表1)、またヒーター部分だけの未完成品が多いので、カメラ取り付け部分を作らなければなりません。いろいろ考えたうちに、一から全部作ってしまうかめんどろでないことがわかり、結局安価で完成度の高いものができました。

2.製作 表2に部品表を示します。費用はとにかく安く、1台用で410円、4連用でも860円でできました。

表 1

メーカー	価格(円)	出力(w)	ヒーター長さ(mm)
サン光学	2000	1.15	55 (カメラ用)
	2000	2.8	48 (望遠鏡用)
アトム	8500	2.6	655 (")
	6000	1.7	300 (")
ビクセン	7200	9.0	665 (")

表 2.

ヒーター	30円
コード 3m	200円
1台用 シムシクテープ×2	60円
マジックテープ	120円

ヒーター部は、「日本金属工業」製の電熱線 100V 150W のものを半分に切って使用しました。電力は表3の通りです。

$$12V/30\Omega = 0.4A$$

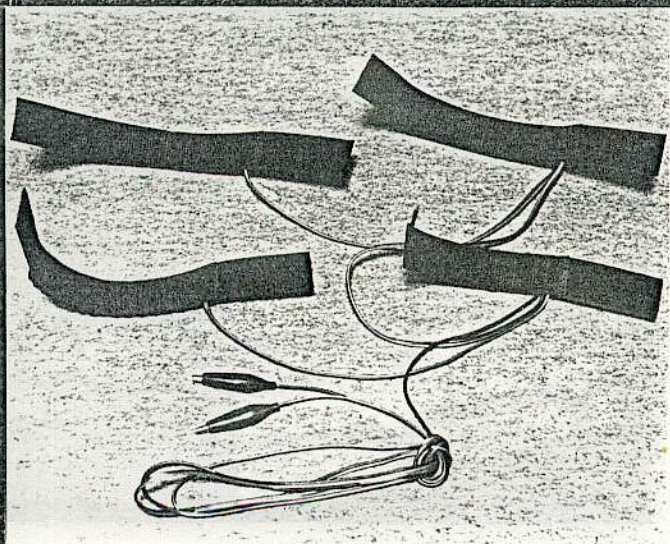
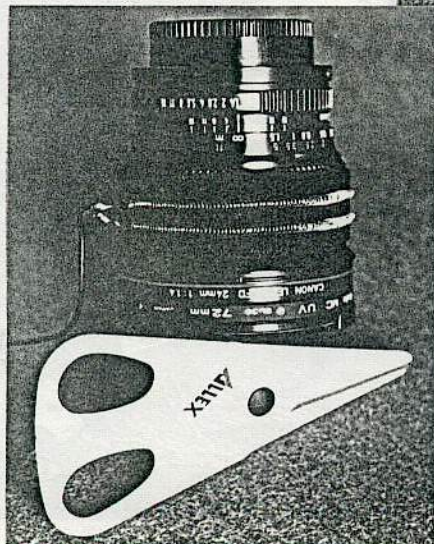
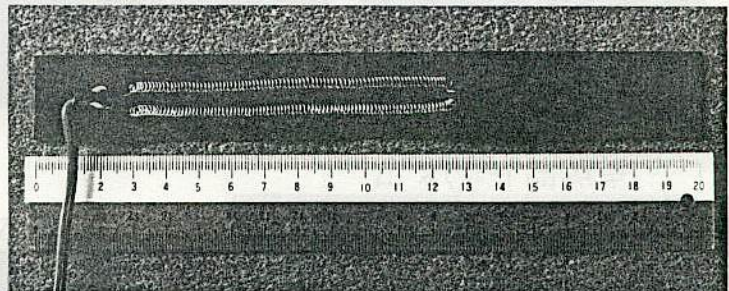
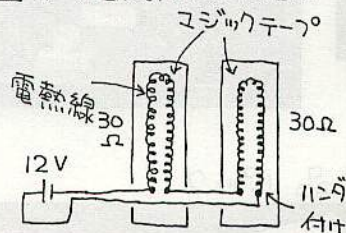
$$0.4^2 \times 30 = 4.8W$$

表3. 2連用 $12V / (30\Omega + 30\Omega) = 0.2A$ (消費電流)

$$(0.2A)^2 \times 30\Omega = 1.2W$$
 (1台のワット数)

結果ですが、1.2W は少々電力不足でした。その後の実験により、1.8W が良いようです。つまり 100V 150W の電熱線を 1/3 に切って (20Ω になる)、6V で使用するか、2本直列につないで 12V で使用すれば良いわけです。1987.9.5.

図1. 今回製作した2連用



—— 水晶制御 DC-AC インバータ 製作記 ——

重野 好孝

1. はじめに 4速カメラの回転シャッター用シンクロスモーターを回す制御装置を考え出したのは、1980年4月ごろのことです。その当時考えていた回路は発電機のAC100Vから、100V 50.0 Hz を作るというものでした。そして部品を買って、組み立て、ハンダ付けを行いました。結果は失敗でした。大学の研究室でシンクロスコップを借りて調べてみましたが、確かに水晶は発振しているものの、出力はさっぱりありませんでした。

その後、オーストラリア遠征が計画され、なんとしてでもインバータかパルスモーター制御装置が必要となりました。デジタル回路、電源回路、電子部品などの本を調べた結果、いまのモーターがそのまま使用でき、回路も簡単なインバータ方式を採用しました。

2. 開発 まずは市販のインバータを買って来て見ました。インバータの出力波形は矩形波なので、これにシンクロスモーターが同期するかどうか調べるのが目的です。

結果はうまく同期しましたが、買って来たインバータは入力電圧によって出力周波数が変化するという

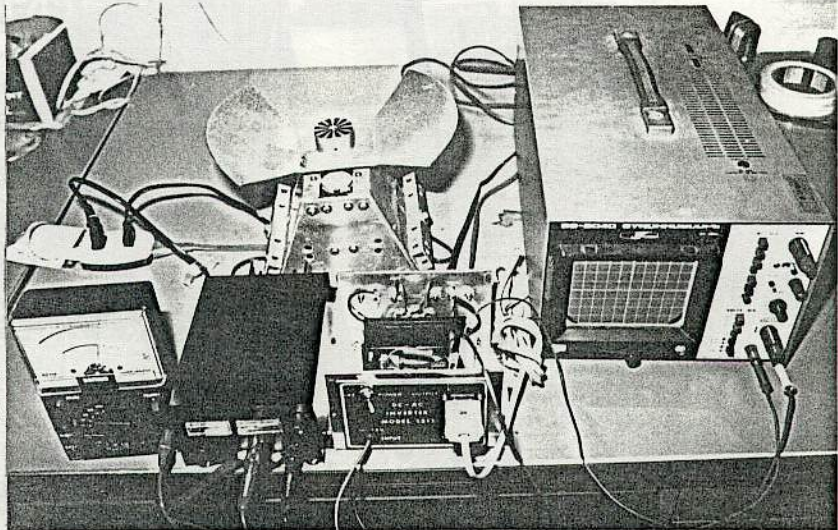
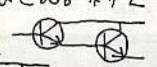

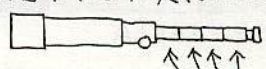


図1. 市販のインバータを使って動作実験をしているところ

代物で、とても回転シャッター用には使えませんでした。そこで一から設計をすることになり、まずは部品を調べることから始めました。

インバータの心臓とも言える水晶発振器・ICトに関しては、秋葉原を歩き回っているうちに、プログラマブル発振器というものを発見しました。以前は高周波を分周につづ分周を行って、低周波を作っていましたが、今ではICのピン接続によって種々な周波数を作り出すことができ、大変便利になりました。これは諏訪サイコ SPG 8651Aのおかげです。

次に重要なのが、パワー・トランジスタです。8651Aからは0.3mA程度しか取り出せないで、これを増幅につづ増幅を行って、5A程度まで上げなければなりません。約2万倍が必要なので、この様な場合一般にはトランジスタをダーリントン接続  して増幅をはかります。しかし電子回路に素人の私は、 の様な回路を作っていました。実際には、前の2つと後の2つがそれぞれ1パッケージになっているダーリントン内蔵型のトランジスタを2つ使っただけなのですが、その増幅率たるや実に2000万倍にもなりました。当然うまく重くわけがありません。考えてみれば  接眼レンズにバーローレンズを4段つなげて見ている様なものですから、

見えないのは当然です。

そんなことがさんざん続き、デバッグにつぐデバッグも行うために、秋葉原には20回も通い、お金もすでに電源やら、むだな部品代も含めて10万円を越えていました。かくして構想6年、開発6ヶ月を要して、やっと完成にこぎつけたわけです。

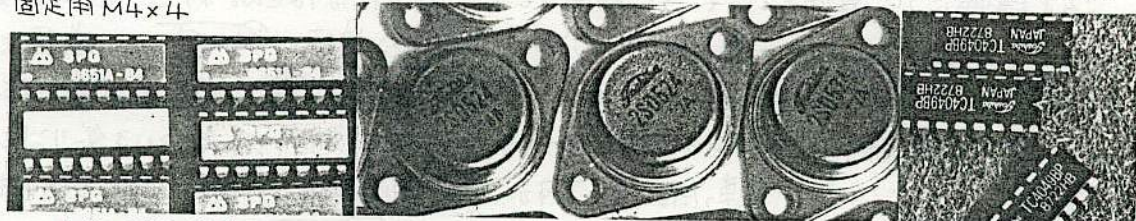
3. 発売 昨年夏にこの回路を発表すると、ささく作ってみる人が現れました。しかし憶えた人でないとなかなか難しい点もあり、結局その人の作ったインバータは動きませんでした。そんなこともあって、なんとか作って売ってくれないかという話も幾つか出ていたので、ついに今年の夏休みを使って、インバータの生産を行ったのです。

以下は、のべ9日間に渡る悪戦苦闘の記録です。1987.9.6.



表1. 買い出した全部品

水晶 SPG8651A、C-MOS1 μ 7 μ インバータ4049、東芝2SC1000 \times 2、東芝2SD524 \times 2、ICソケット16 π \times 2、安定化IC5 ν 、チョークコイル47 μ H130mA、電解コンデンサ100 μ F25 ν v、10 μ F16 ν v、タンタルコンデンサ0.22 μ F50 ν v、0.1 μ F50 ν v、ダイオード100V1A、100V6A、抵抗15 $k\Omega$ 1/4W \times 2、スパークキラー250 ν 、ネオンランプ100 ν 用 \times 2、トランス3AトコデンHT243、プリント基板8.5 \times 6cm、黒・赤端子、同バツナクリップ、同ミムシクリップ \times 2、AC100 ν 用ソケット、プリント基板スペーサ \times 4、コードバッテリーから赤黒3m、内部配線赤と白細1m、内部配線赤と白中1m、ストロボスコープ用中3m、ストロボスコープ用AC100 ν プラグ、箱、トグルスイッチ大、トグルスイッチハネカエリ、DIPスイッチ2ピン用、ボルトカットトランス固定用M4 \times 4



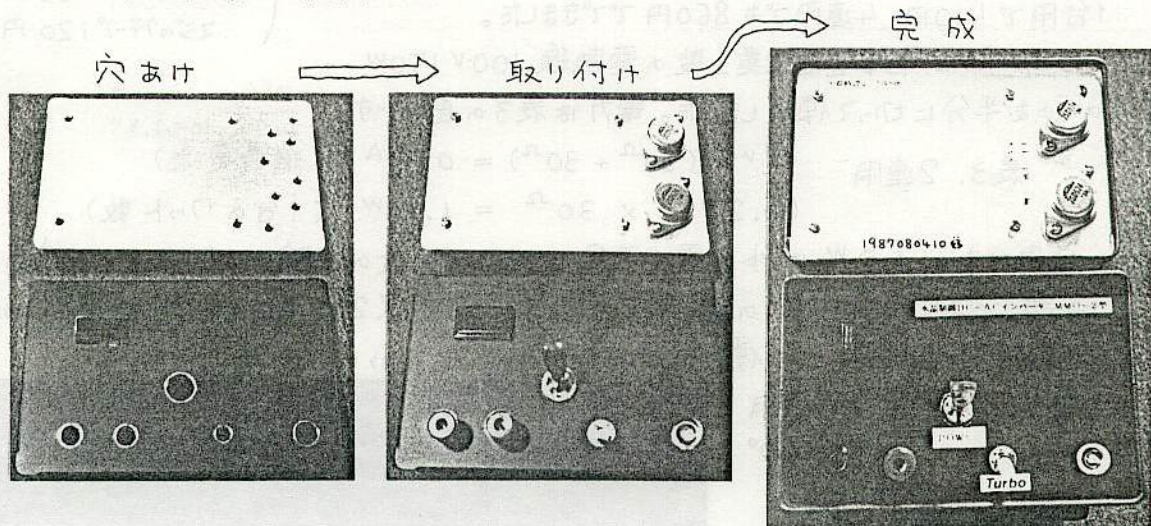
水晶 SPG 8651A

パワートランジスタ 2SD 524

1 μ 7 μ インバータ 4049

1987年 表2、作業日程

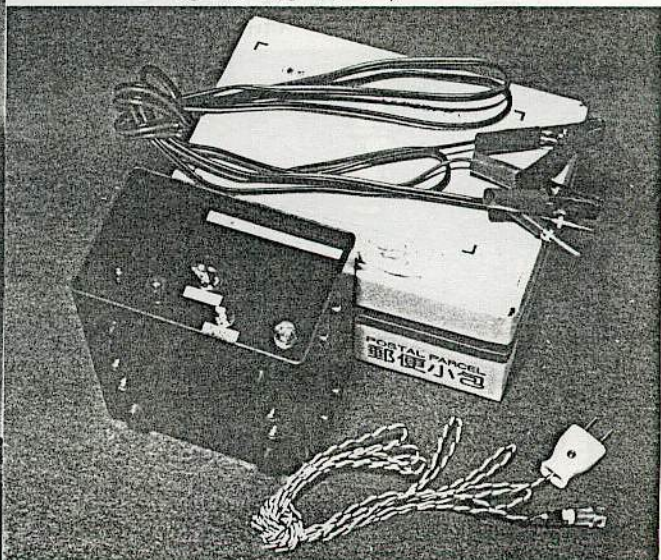
- 7/26 日 秋葉原へ部品買い出し
 28 火 基板に安定化電源、ICソケットなどハンダ付け
 30 木 δ Aqr 観測
 31 金 昼過ぎから箱にケガキ作業
 8/ 1 土 箱に穴あけ、ヤスリかけ、部品の取り付け
 2 日 夜から朝3時30分までハンダ付け
 3 月 昼2~3時間ハンダ付け、夜から朝3時過ぎまでハンダ付け、1台目が正常作動
 4 火 昼少々ハンダ付け、夜10台全て作動テスト
 5 水 10台全てエイジングテスト及び郵便小包の箱に梱包
 6 木 郵便局へ持って行く



完成品 パックの山



完成品 パック



SDRC I-DEAS 4.0: Model Solution

2-JUL-88 11:40:32

DATABASE: BANKIN
VIEW: No stored VIEW
Task: Linear Statics
Model: 1-FE_MODEL1

UNITS : GM
DISPLAY : No stored OPTION

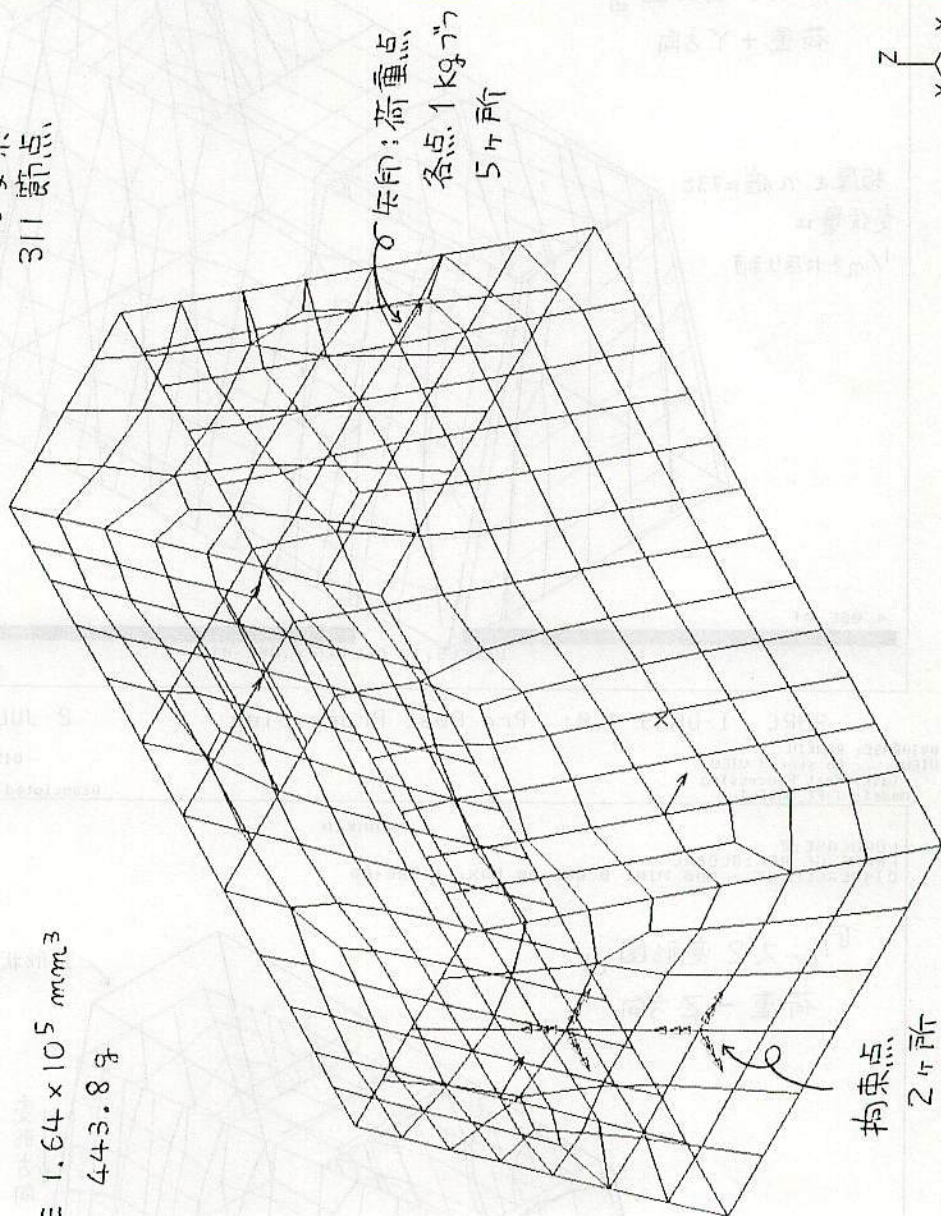
Associated Workset: 1-WORKING_SET1

『モデル図』 板厚 2mm アルミ板

VOLUME $1.64 \times 10^5 \text{ mm}^3$

MASS 443.8 g

276要素
311節点



拘束点
2ヶ所

σ矢印: 荷重点
各点 1 kgf
5ヶ所

z
y
x

MSS-048

48M59

DATABASE: BANKIN
VIEW : No stored VIEW
Task: Post Processing
Model: 1-FE_MODEL1

UNITS : GM
DISPLAY : No stored OPTION

Associated Workset: 1-WORKING_SET1

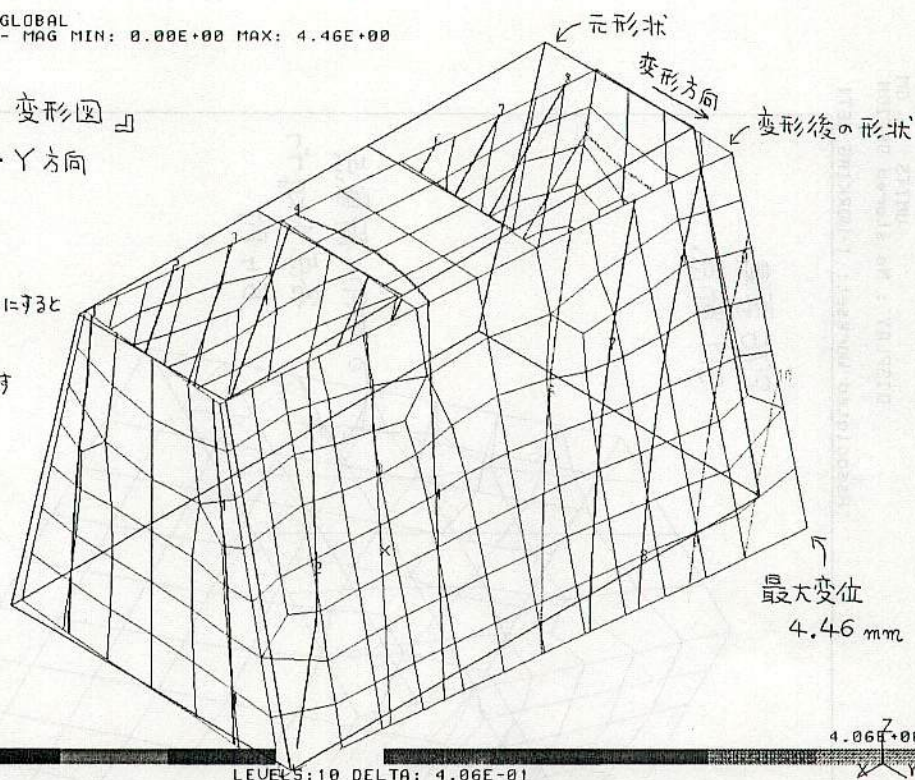
LOADCASE: 1
FRAME OF REF: GLOBAL
DISPLACEMENT - MAG MIN: 0.00E+00 MAX: 4.46E+00

BANKIN

『ケース1 変形図』

荷重 +Y 方向

板厚を n 倍にすると
変位量は
 $1/n^3$ になります



SDRC I-DEAS 4.0: Pre/Post Processing

2-JUL-88 13:31:06

DATABASE: BANKIN
VIEW : No stored VIEW
Task: Post Processing
Model: 1-FE_MODEL1

UNITS : GM
DISPLAY : No stored OPTION

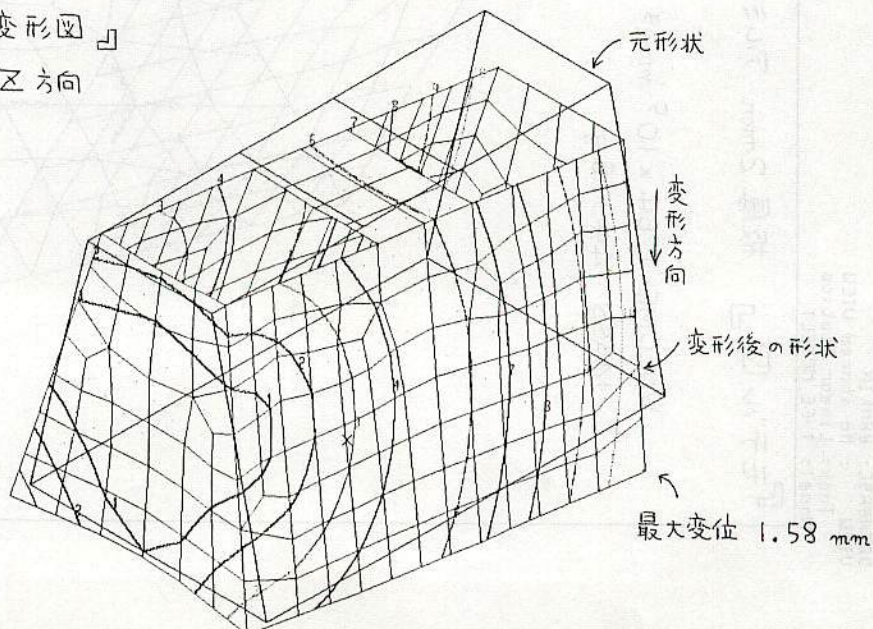
Associated Workset: 1-WORKING_SET1

LOADCASE: 2
FRAME OF REF: GLOBAL
DISPLACEMENT - MAG MIN: 0.00E+00 MAX: 1.58E+00

BANKIN

『ケース2 変形図』

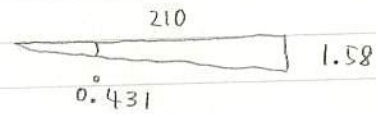
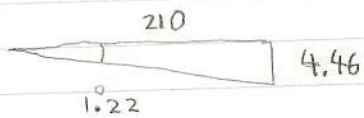
荷重 -Z 方向





No. _____

Date _____



7.11.4.5

7.11.4.5

6時間 : 1.22 : 1.06 mm

6時間 : 0.431 : 0.376 mm

360分 : 73.2

360分 : 25.86

4.92分 : 1' : 0.0145 mm

13.9分 : 1' : 0.0145 mm

キャノンT-70を利用した全自動流星カメラの製作

明大流星OB 重野好彦 (川崎市木月)

戸田雅之 (杉並区和泉)



1、はじめに

流星写真用の自動カメラには以下の機能が必要です。

- 1) カメラのシャッターのON/OFF
- 2) 赤道儀の方向戻し
- 3) 回転シャッター、モードラ電源のON/OFF
- 4) 出現時刻の決定
- 5) 曇り、雨降り対策

以上の内、1)～3)までをキャノンT-70を利用することによって、比較的簡単に実現できましたので、報告します。

2、T-70用コマンドバッグの機能

T-70のコマンドバッグを使用すると、以下のシャッターON/OFFが可能です。

- 1) 今から、h時間、m分、s秒後に露出開始
- 2) S_o秒間撮影して、S_c秒間閉じる
- 3) nコマ撮ったらやめる

この情報をなんとかして、外に取り出せないものかと調べたところ、以下のことがわかりました。

T-70のボディには、図1のリモート端子(シャッターリリース用)が付いています。これの(a)と(c)を接続すると、シャッターボタン半押し状態となり、露出計がONになります。そして(b)と(c)を接続するとシャッターが切れます。

一方、コマンドバッグを使用して、シャッターをON/OFFさせると、その情報がリモート端子の(b)～(c)間に現れます。

(キャノンに内部構造を問合せたところ、「一切公表できない」とのことでした。わかったことは全て、実際にテストして確かめた結果です。)

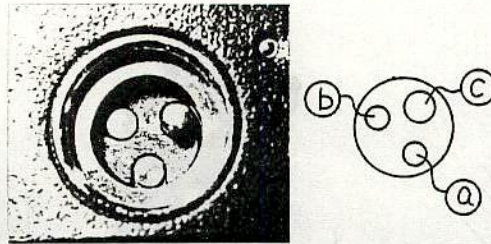


図1、リモート端子

詳細な仕様はわかりませんが、一応次のことが可能です。

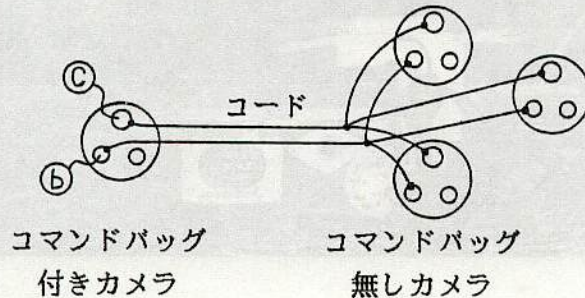


図2、コマンドバッグ付きカメラのON/OFFによって、コマンドバッグ無しカメラのON/OFFを行う。

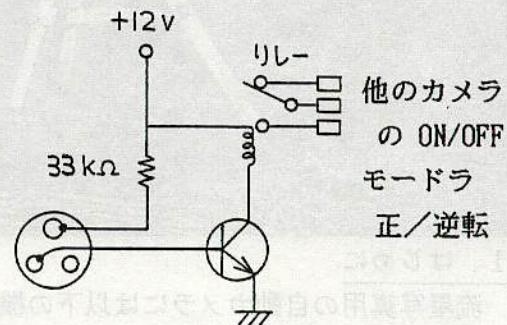
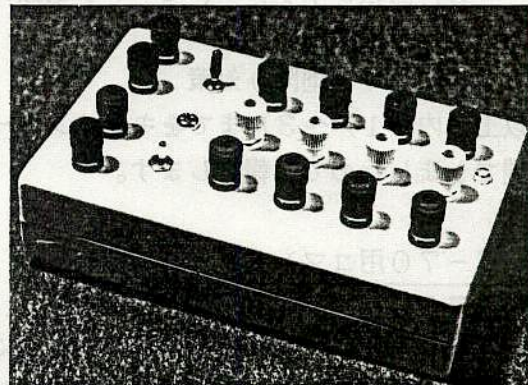


図3、トランジスタとリレーを使用して、他の装置の制御。

図3の機能を実現させたものが、図4、図4の装置です。

図4、



3、赤道儀の方向戻し

この機構としては、いろいろな方法が考えられますが、簡単で確実な、「モードラ高速逆転方式」を採用しました。機種はビクセンMD-6で、16倍速が可能です。この価格レベルの機種では、これ以上高速のものは無いようです。

表1、露出/戻しサイクル

サイクル	露出	戻し
5m	4m42s	18s
10	9 25	35
20	18 49	1m11
30	28 14	1 46

4、全自動カメラの製作

T-70用コマンドバッグとMD-6の機能を利用して開発したのが、「全自動カメラ用タイマー」です。図5が外観。図6が全回路です。

機能としては、

- 1) 1コマ目のシャッターONに連動して、「回転シャッター、モードラ電源ON」、「モードラ正転」。
- 2) 1コマ目のシャッターOFFに連動して、「モードラ逆転16倍速」。
- 3) 2コマ目のシャッターONに連動して、「モードラ正転」。
- 4) 2コマ目のシャッターOFFに連動して、「モードラ逆転16倍速」。

- ⋮
- n) 最後のシャッターOFFに連動して、「モードラ逆転16倍速」。
- この状態が Soff 秒間続くと、電源OFFタイマー回路が働いて、「回転シャッター、モードラ電源OFF」。

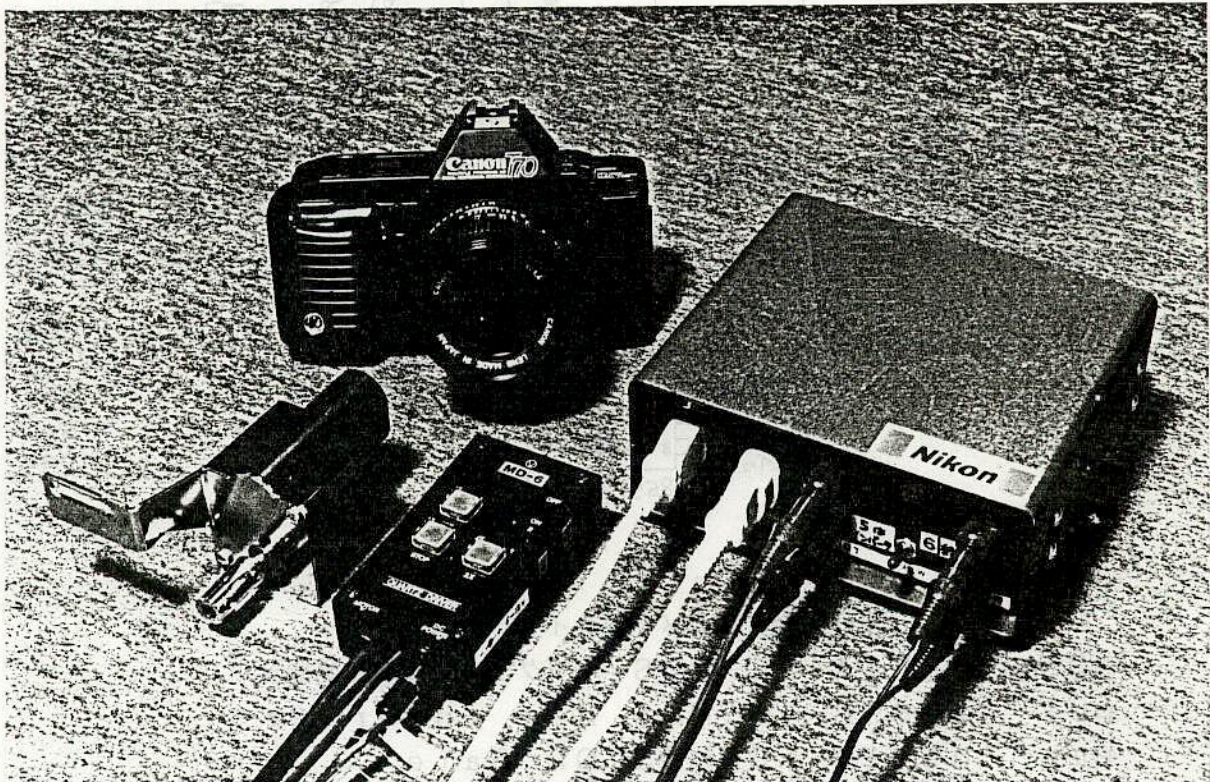


図5、全自動カメラ用タイマー外観

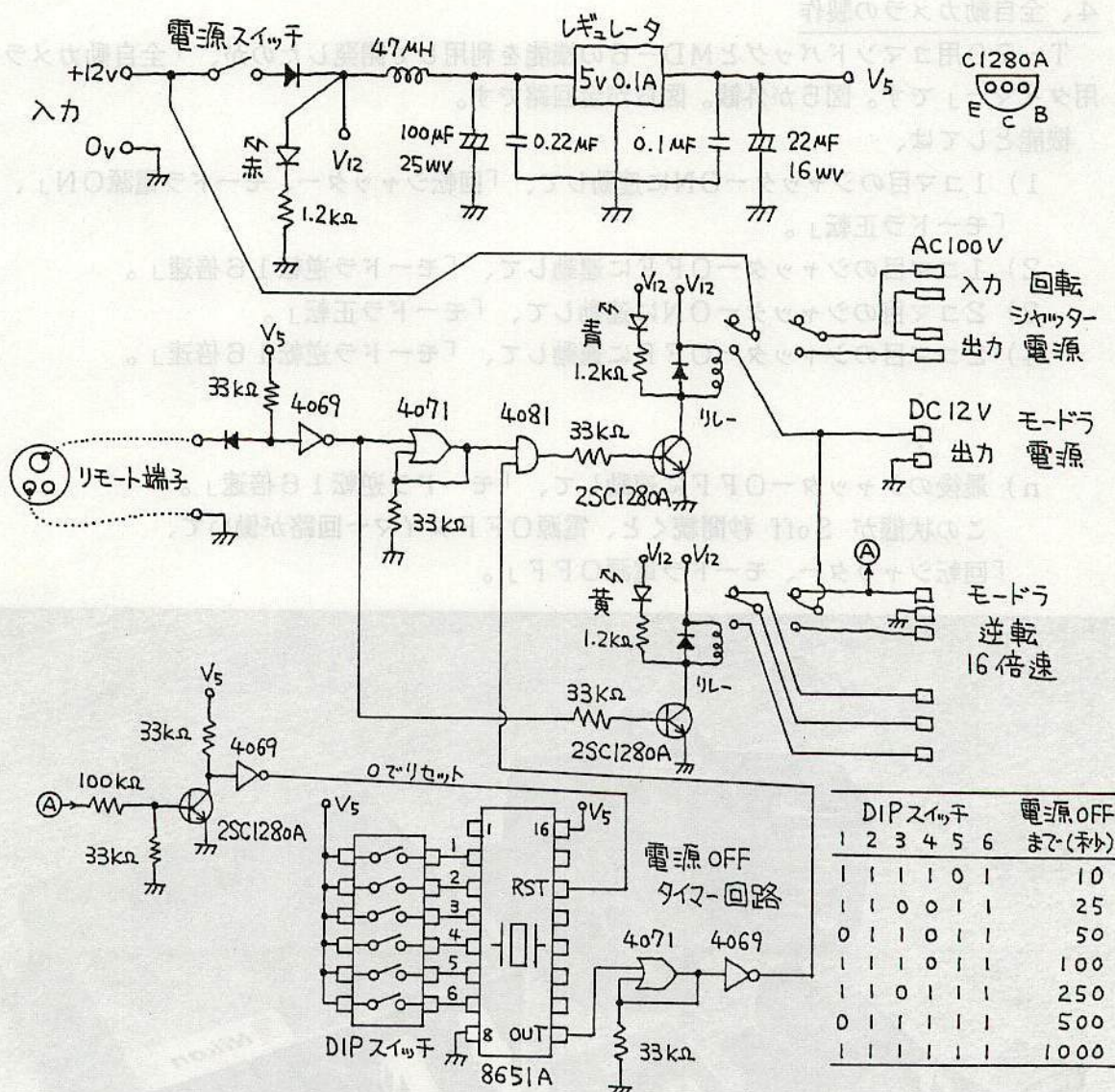


図6、全自動カメラ用タイマー全回路

諏訪サイコ	8651A	C-MOS	プログラマブル水晶発振器
ヒル	4069B	C-MOS	Hex Inverter
ヒル	4071B	C-MOS	OR Gate
ヒル	4081B	C-MOS	AND Gate
日電	2SC1280A	VCB0:40v IC:300mA hFE:30,000	ダーリントン内蔵

●仕様

対物レンズマウント方式	ニコン(Ai), キヤノン(FD), ミノルタ(MD), オリンパス(OM), ペンタックス(K), C-マウ ントの各マウントが可能
接眼レンズマウント方式	特殊ネジマウント
ファインダ倍率(200mm 対物レンズ使用時)	4.3倍
ファインダ視野角(200mm 対物レンズ使用時)	7.15°
イメージンテンシファイヤ: 平均ゲイン	6×10 ⁴
	: 限界解像度 30lp/mm
	: 幾何学的歪 5%以下
ゲイン調節	自動ゲイン調整(AGC)
対過大光保護回路	光電面上の照度約10lx以上で作動
画面(蛍光面)	黄緑色
消費電力	約75mW
使用電源(いずれかを使用)	単四乾電池2個または、ACアダプタ (オプションのハンドグリップを使用 することにより単三電池使用可能)
電池寿命	: 単四乾電池 約10時間 : 単四アルカリ電池 約15時間 : 単三乾電池 約50時間 : 単三アルカリ電池 約75時間 : 単三水銀電池(H・T) 約100時間
使用温度範囲	: アルカリ電池、ACアダプタ使用時 -20～+40℃ : 乾電池、水銀電池使用時 0～+40℃
保存温度範囲	-30～+50℃
使用湿度	40℃にて85%以下
重量(対物レンズ・電池を除く)	約930g

ナイトビュー動作原理

光は性質上そのまま増強することはできません。そこで、ナイトビューに内蔵されているイメージンテンシファイヤは光を一度電子に変え、その電子を増倍し、再び光に戻しています。右図の様に、レンズを通してイメージンテンシファイヤの光電面に結ばれた光学像は、ここで電子像に変換されます。電子像はMCP(マイクロチャンネルプレート)を通過する時、電子増倍され蛍光面に当たり、ここで再び光学像に変換。その結果、入射光は約6万倍に増強されます。光学像は蛍光面の特性上、黄緑色の像として現われます。

光電面直径 φ25mm

蛍光面直径 φ25mm

(白黒パターン分解能)

解像度(蛍光面上) 30本/mm …… 対物レンズf:100mm使用のとき

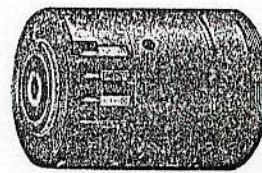
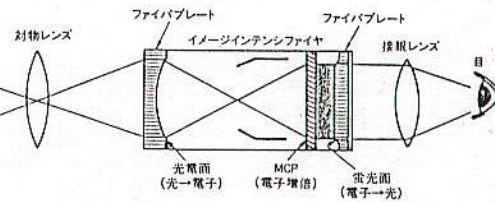
II寿命 数千時間

角度で 69°

幾何学的歪 5% (電子レンズ
による歪曲収差)

(トライクxの解像度 約80本/mm)

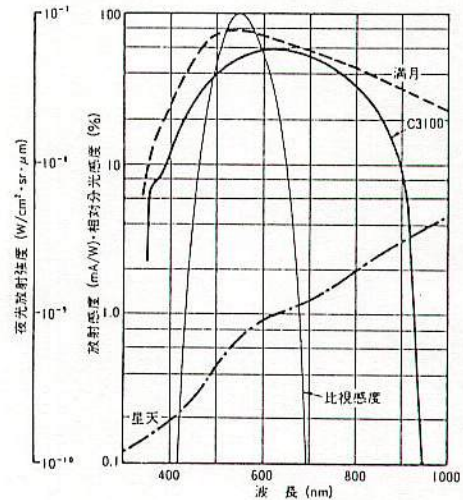
イメージンテンシファイヤ V1366P



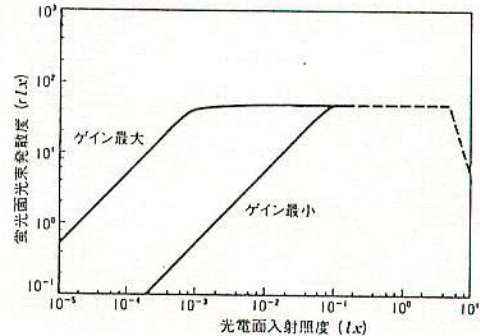
$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{1/30}{135} \right) = 51''$$

$$\theta' = \tan^{-1} \left(\frac{1/30}{50} \right) = 52''$$

●夜光強度分布とC3100の分光感度特性



●光電面照度・蛍光面光束発散度特性



浜松ホトニクス株式会社

機器営業部 □ 〒430 静岡県浜松市砂山町325番地の6 日本生命駅前ビル
☎ 0534(52)2141(代表) ファックス0534(56)7889
東京営業所 □ 〒105 東京都港区虎ノ門三丁目8番21号 第33森ビル5F
☎ 03(436)0491(代表) ファックス03(433)6997
大阪営業所 □ 〒541 大阪市東区備後町四丁目41番地 静岡県産業ビル1F
☎ 06(271)0441(代表) ファックス06(271)0450
中部営業所 □ 〒435 静岡県浜松市市野町1126番地の1
☎ 0534(34)3311(代表) ファックス0534(35)1037

HAMAMATSU

定価 995,000円

値引き率 5% (一般)

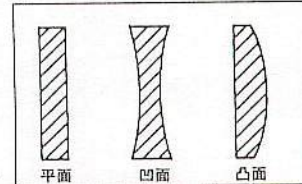
よれ物定価 30万円

ケンコーF.P.フィルターの種類

フィルター基板	P.C. (ポリカーボネート樹脂)	C.R. (C.R.39樹脂)	S-P.C. (ポリカーボネート樹脂)
特 長	両面下F.P.コート。 軽くて、強い P.C.の一般タイプ。	両面F.P.コート。 光学性能に優れ、 映像用フィルターに適す。	片面：スーパーハード コート 片面：FPコート
最大寸法(有効面)	450×435mm	250×115mm	450×435mm
厚 さ	1.0～3.0mm	1.5mm	1.0～3.0mm

《特注仕様も承ります。》

各基板の最大寸法は上記の通りですが、ご希望の指定寸法(角型・丸型)にも加工いたします。
また、平面、凹面、凸面など各種形状のレンズ素材にも応用できますので何なりとお問合せください。
F.P.加工により防曇効果と共に表面硬度が基板の約5倍強くなります。



※F.P.加工の素材はポリカーボネート樹脂に限ります。※各種スクリーン印刷も可能です。

加工性

● 裁断に際しては丸鋸を使用し、下記の条件が適しています。

鋸径	刃数	刃 型	回転数 (rpm)	切断高さ
255mm 305mm	80山	TC+20	3500～ 6000	10～20mm

● 穴あけに際しては金属用ドリルが利用できます。発熱しないよう、回転数、送り速度を落とし作業します。

性能表

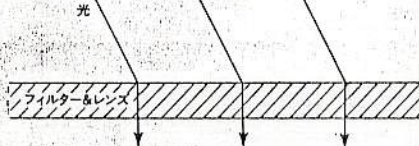
特 性	製品 テスト内容	P.C.	C.R.	S-P.C.
防 曇 性	湿度100%内24時間放置	くもらない	くもらない	くもらない(F.P.面)
耐 擦 傷 性	落砂硬度400gカミ度 しんちゅう製ワイヤーブラシでこする	1.2% 傷つかず	1.2% 傷つかず	0.8%(ハードコート面) 傷つかず
耐 衝 撃 性	127cmより約16gの鋼球落下	割れず	割れず	割れず(ハードコート面は200g)
膜 強 度 性	・クロスハッチテスト付着性 ・メタノール・エタノール 煮沸10時間後	剥離せず	剥離せず	剥離せず
対 薬 品 性	塩酸(10%)・硫酸(10%)・硝酸(10%)	5日以上	5日以上	～5日以上
対 熱 性		-30°C～+100°C	-30°C～+100°C	-30°C～+100°C
帯電防止性	半減期 初期100%減	0.2秒 7～8秒	0.2秒 7～8秒	0.2秒(F.P.面) 7～8秒(F.P.面)
透 過 率	(可視域)	91%	91%	91%
使 用 条 件		瞬時絶対温度差20°C		

フィルター基板にコーティングされた特殊吸水性樹脂が水滴を吸収/過酷な条件下でも曇ることはありません。

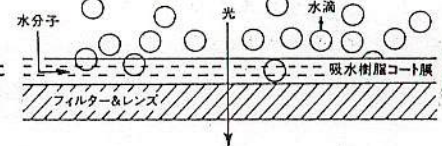
一般のレンズ・フィルターの例

ケンコーF.P.フィルター&レンズの例

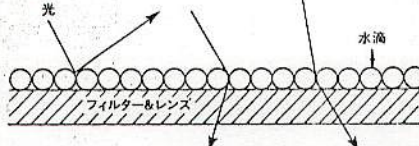
図①
通常の状態では
光は平行に通過します。



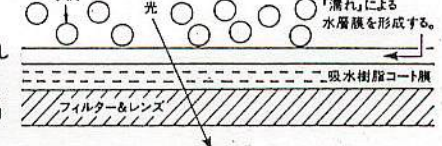
図③
表面にコートされた樹脂
が付着した水滴を瞬時に
吸収して曇りを防ぎます。



図②
水滴が付くと光は散乱し、
反射光が増え曇りの現象
が起こります。



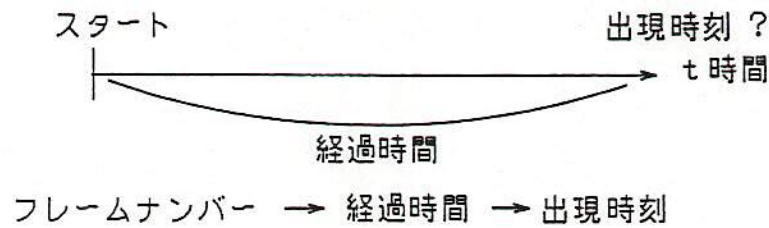
図④
水分吸収が飽和点に達し
ますと表面に水層膜を形
成し以後付着する水滴は
さえぎられ、曇ることはあ
りません。



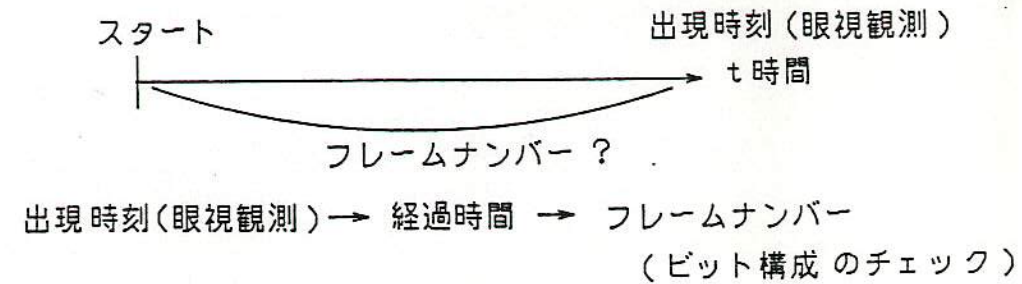
● このカタログの掲載内容は昭和63年8月1日現在のものです。
★ カタログ掲載の製品につきましては予告なく規格の変更をされる場合もありしますのでご了承ください。

< 観測 1 > 写真3の説明

52-MSS

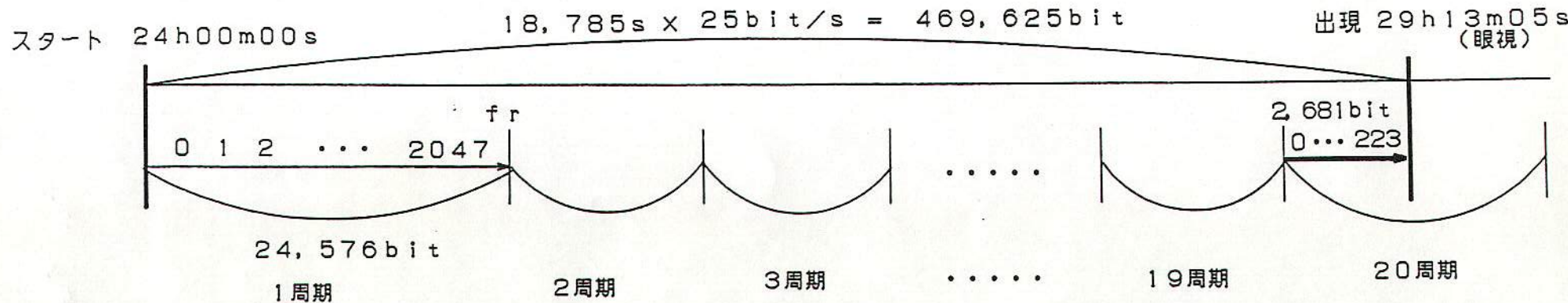
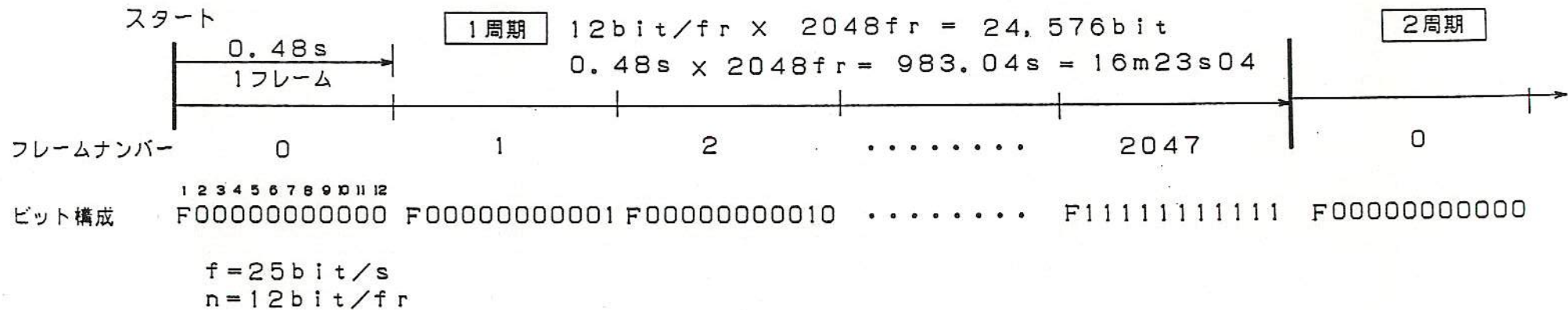


出現時刻の決定方法



出現時刻の検定方法

..... 写真3の解析では
こちらを行なった。



<観測2> 写真4の説明

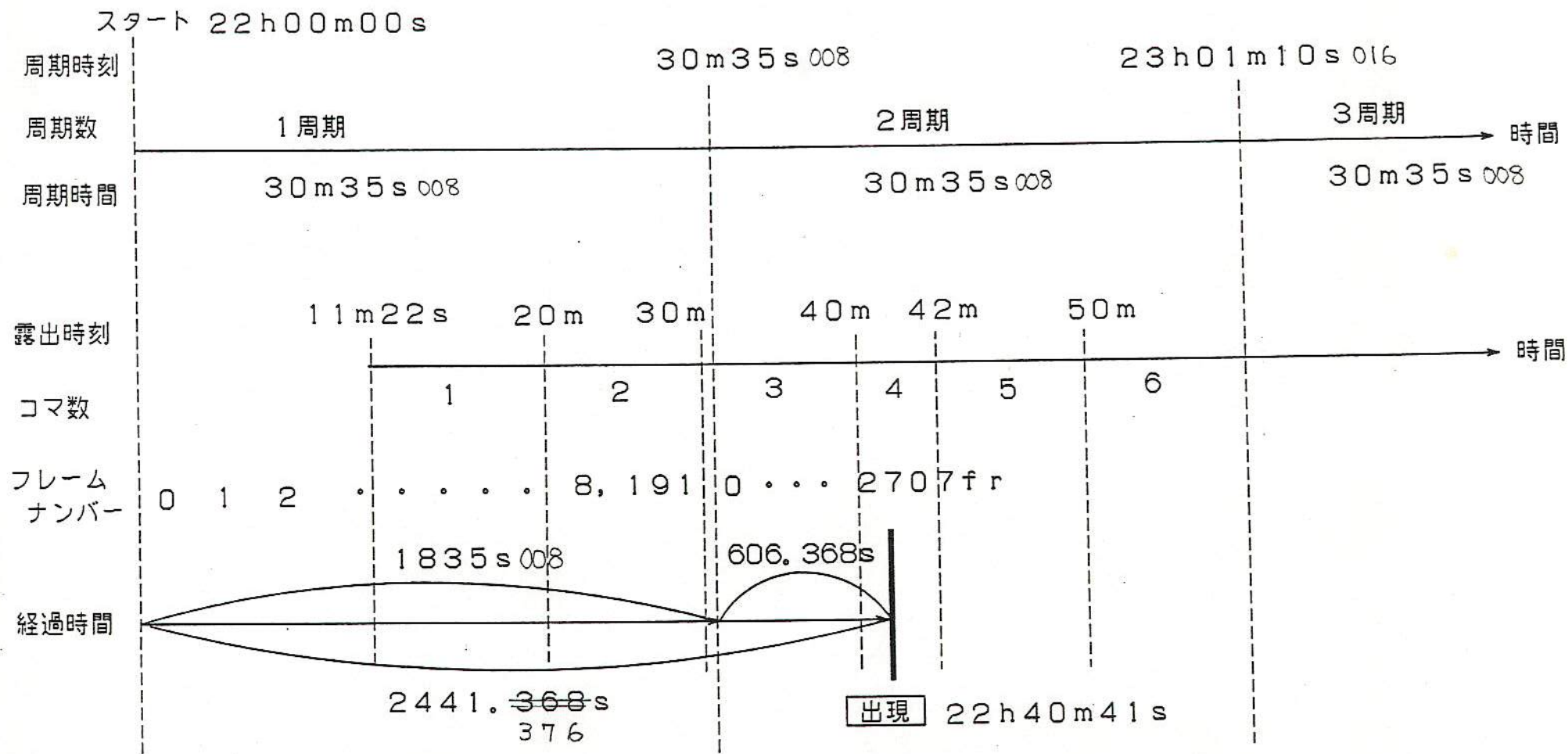
























写真4の眼視観測記録表

***** 流星写真記録用紙 *****

撮影日： 年 月 / 日 場所： 最微等級：
 ESAO仕様 デイプスリッチ： スタート： 日 h m s
 カメラ仕様： フィルム仕様： 赤道儀仕様：

No: Z-10

NO	カメラ	露出開始			露出終了			露出		撮影方向	出現		群	等	場所	出現		群	等	場所	出現		群	等	場所	備考
		h	m	s	h	m	s	m	s		m	s				m	s				m	s				
4	A	22	40	00	22	42	00																			
	B																									
	C									→	40	41	27	-2	7232											
	D																									
5	A	22	42	00																						
	B																									
	C										44	51	27	1	202											
	D										46	58	27	-2	2122											
6	A	22	50	00	23	00	00																			
	B																									
	C																									
	D																									

														増光部							
軌 跡																					
	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	F	1	?	?	1	0	0	0	0	
F	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	F	10	9	8	7	6	5	4	3	
F	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	F	1	0	1	1	0	0	0	0	
解 析																					

りゅう座と流星群のESAOによる観測結果の解析

<写真測定による出現時刻>

ビット9,8付近に爆発に起因すると思われる増光があり、解析に困難を来した。そこで、ESAOのフレーム同期を開始した時刻 21h36m00s と、該当する駒の露出時刻 28h18m00s~28h20m28s より、実存しうるフレームナンバー 1251~1812 との整合性を考慮して、?? 部分のビット構成を図、下部に示すように解釈することにより、フレームナンバー 1407 を得た。

フレーム構成： $f=45.45\dots(\text{bps})$, $n=12(\text{b/fr})$, $t=0.264(\text{s/fr})$, $T=540.672(\text{s})$

同期時刻：1991年1月3日21h36m00s 月の輝面比：0.88

当駒撮影開始までの経過時間： $28\text{h}18\text{m}00\text{s} - 21\text{h}36\text{m}00\text{s} = 6\text{h}42\text{m}00\text{s} = 24,120\text{s}$

$24,120\text{s} = 44 \times 540.672\text{s} + 330.432\text{s} \rightarrow 44\text{循環} + 1251.64\text{フレーム}$

当駒撮影終了までの経過時間： $28\text{h}20\text{m}28\text{s} - 21\text{h}36\text{m}00\text{s} = 6\text{h}44\text{m}28\text{s} = 24,268\text{s}$

$24,268\text{s} = 44 \times 540.672\text{s} + 478.432\text{s} \rightarrow 44\text{循環} + 1812.24\text{フレーム}$

従って、撮影された軌跡のフレームナンバーは 1251~1812 の範囲に存在するはずである。

<出現時刻>

ビット構成： $F101,0111,1111(\text{B})=1407(\text{D})$

出現時刻 = $21\text{h}36\text{m}00\text{s}$ (同期) + 44 (循環) $\times 540.672\text{s} + 1407(\text{フレーム}) \times 0.264\text{s}$
 $= 28\text{h}18\text{m}41\text{s}02$

増光を生じた時刻 = 出現時刻 + $15(\text{ビット}) / 45.4545(\text{b/s}) = 28\text{h}18\text{m}41\text{s}35$

<写真データ>

撮影地：山梨県大泉村

赤道儀：タカハシJP-160にて自動ガイド

カメラ：ペンタックスA3デイトS, 4連カメラ $f=50\text{mm}$, $F1.4 \rightarrow 2$

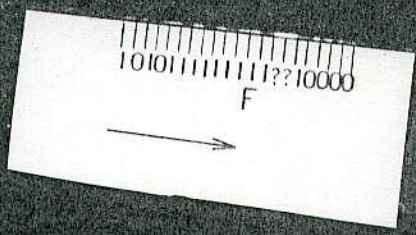
露出：2m28s インターバルタイマー使用

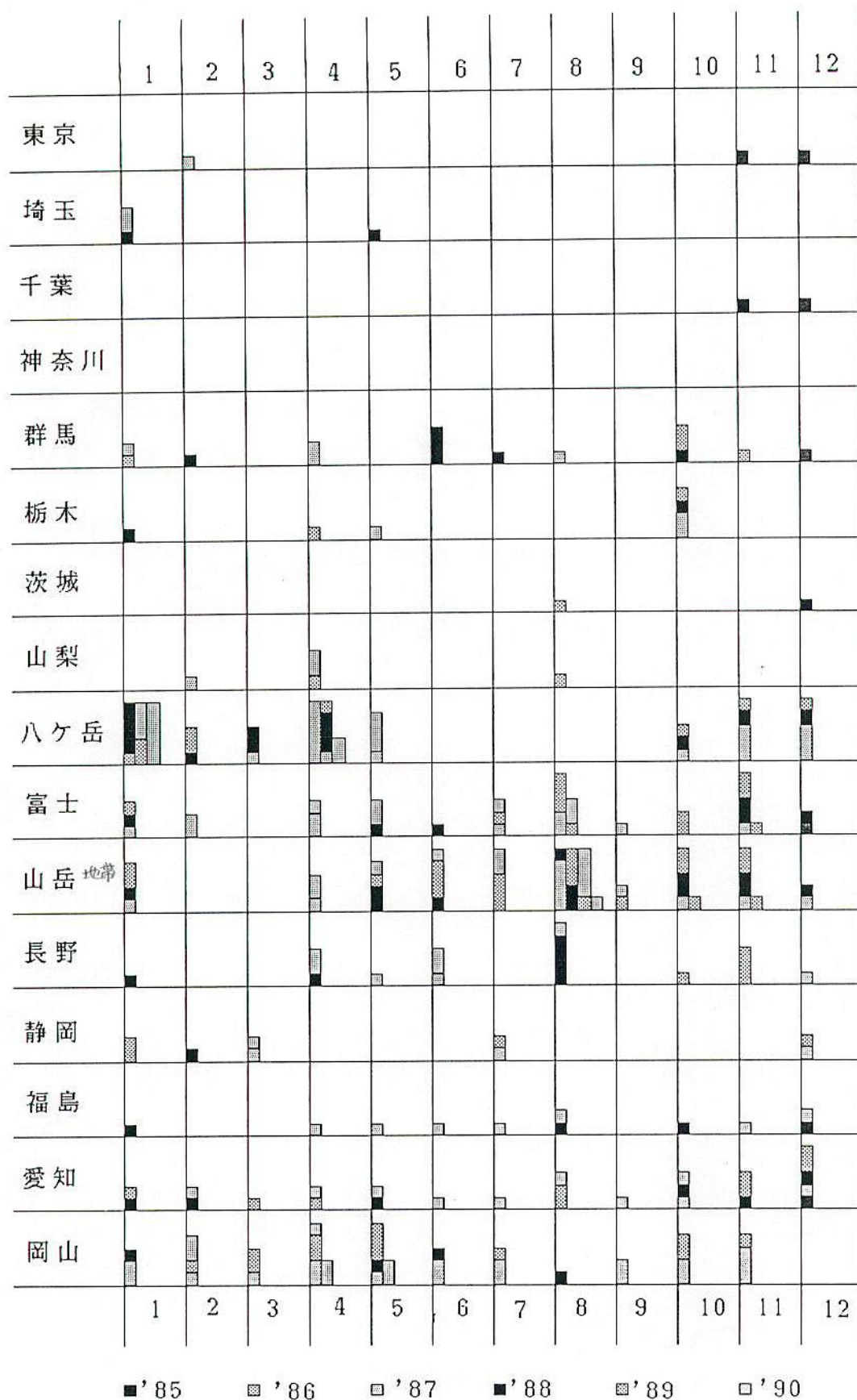
フィルム：T-MAX 3200, T-MAX ディベロッパーにて増感(26°C 10m(E16400))

出現星座：てんびん座(群流星)

FILE
X

18





天文用・統計的局地天気予報（1985-11～1990-10）

天文ガイド掲載のカラー写真の撮影地／撮影月の件数（露出1分以上）を地域別に抽出した。これより、月別の撮影適地を捜すことができる。例えば、夏期は2000m級の山岳地が良いことが分かる。

1990-12-24 作成 渡辺朝雄

1991-07-07 関戸信雄、渡辺朝雄

1・はじめに:

我々は電子シャッターを用いて、流星の出現時刻をきわめて正確に測定する方式を既に関連している(*1)。今回、これを人工天体の軌道計測に応用し、満足すべき結果を得たので報告する。

2・測定法:

測定原理は、流星の出現時刻測定に用いたものと同じである(*1)。移動天体の通過時刻と通過速度の双方をきわめて正確に測定できる。ただし、人工天体の場合は、流星の場合に比し天空上での移動速度が遅いので、計時シャッターの切断速度をそれに見合うように遅くする(コンピュータ制御故、容易に実現できる)。また通過する場所や時刻を予測できるので、予報からのズレの測定が主な仕事になる。今回は人工天体の軌道予報プログラム KOCMOC(*2) により予報された衛星 8803902(コスス1943) について観測を行った。なお、測定条件は下記の通りである。

撮影地: 埼玉県芦ヶ久保 $\lambda = 139^{\circ}08'$, $\phi = 35^{\circ}59'$

撮影日時: 1991-05-19 2h35m~40m(JST) (こと座付近)

フィルム/現像: T-Max 3200 / T-Max デイバロップ, 26°C, 10m, (E16400)

光学系: ニッコール $f=135\text{mm}$, $F=3.5$ (開放)

赤道儀: 五藤, マークX (自動ガイド)

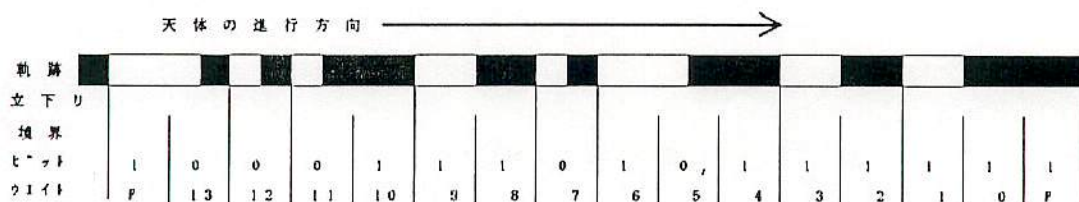
ESAO(*3)設定: $f=5$ bits/sec, $n=15$ bits/frame, $t=3$ sec/frame, CMI 符号

$T=13\text{h}39\text{m}12\text{s}$ (全てのフレーム番号が一巡するに要する時間)

フレーム同期(リセット)時刻: 1991-05-19, 1h05m00s (JST)

3・測定結果:

撮影された移動天体の写真を文末に示す。軌跡は $1/5$ sec 毎に、0 または 1 の情報(ビット)に切断されており、1 ビットからなるフレームマーク F の後に、該当するフレームのフレーム番号を示す 14 ビットの 2 進数が続く。従って、1 フレームを撮影するのに 3 秒を要する。写真では、3 フレーム以上が撮影されているが、この内 1 フレームについて解析を行った結果を下図に示す。



$$\text{フレーム番号} = 2^{10} + 2^9 + 2^8 + 2^6 + 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0 = 1887$$

$$3\text{sec/frame} \times 1887\text{frame} = 5661\text{sec} = 1\text{h}34\text{m}21\text{s}.0$$

解析は、下記の手順により可能である。

- ①天体の進行方向に向かい、撮影された軌跡が、明→滅する点にマークを入れる。これはビット同士の境を示す。(立下り)

- ②内挿／外挿により、他のビット境を入れる。（境界）
- ③ビットの途中で減→明するビットは0である。それ以外のビットは、一応1とする。（ビット）
- ④ビット1の内、一つ前のビット1と同符号（明／減を反転しない）、または、1フレームの先頭にあるものはフレームビットFである。
- ⑤フレームビットに続くビット列は、順に $2^{13} \sim 2^0$ の重みを持つ。（ウェイト）
- ⑥各々のビット1に、各々の重みを乗じ、それらの合計を採ると該当のフレーム番号となる。この場合は、図示のように1887フレームとなる。（フレーム）
- ⑦1フレームが経過するのに3秒を要するので、装置をリセットしてから、このフレームの先頭までに経過した時間は、1h34m21s.0となる。
- ⑧上記の経過時間に、装置をリセットした時刻、1h05m00s.0(JST)を加える事により、該当フレームの先頭の時刻は、1991-05-19, 2h39m21s.0(JST)となる。

4・結論：

今回の実験により、電子シャッターを用いた写真観測法は、流星の出現時刻の測定その他、人工天体の通過時刻の測定にもきわめて有効であることが判った。

なお、今回は、時刻の測定に重点を置いたため、フィルム整約、さらには、人工天体の通過位置／時刻の予報からのズレの検討は行っていない。

5・謝辞：

人工天体の位置／時刻予報プログラム KOCMOC の製作者・川端氏及び、同プログラムの入手に関しては、本研究の意義に理解を頂き、パソコン通信設備を持たない我々のためにプログラムのコピーをして頂いた横浜市青少年科学普及協会・山田陽志郎氏に感謝する。

*1 関戸、渡辺、第21回アマ天 A-3 1988-10-02

関戸、渡辺、東京アマ天連合第5回研究発表会論文 1989-10-15

関戸、渡辺、「流星の出現時刻の撮影」流星物理セミナー資料集(1989)下 P107～

*2 KOCMOC ver 2.00, 川端武史

*3 an Electronic Shutter for Astronomical Observations

第62回 流星物理セミナー 資料

流星の出現時刻自動撮影装置の試作

1992-04-12 関戸信雄、渡辺朝雄

1・概要:

筆者等は、計時用符号に従って電子シャッターを開閉しながら流星の写真撮影を行い、撮影されたフィルム上の軌跡を解析することにより、流星の出現時刻を極めて正確に解析する装置 ESA0 (*1) を完成させた (*2)。今回、これにカメラシャッターの自動制御機能を加え、制御装置をP板化した実用器 ESA0_B を完成させたので報告する。

*1 Electoronic Shutter for Astronomical Observations

2・特長:

- ① CMI 符号に従って ON/OFF を繰り返す電子シャッターにより流星を撮影し、後程、撮影されたフィルム上の軌跡を解析することにより、流星の出現時刻を極めて正確に測定できる。
- ② 最短フレーム継続時間 0.242sec, フレーム循環時間 4m07s808 が得られる。従って、発光時間の短い流星にも対応可能で、かつ適切な露出時間が得られる。(フレーム継続時間 0.264sec では、フレーム循環時間 9m00s672 が得られる)
- ③ 上記、電子シャッターを最大4台まで並列作動させることが出来る。
- ④ 電子式のフィルム自動巻き上げ機構付のカメラを最大4台まで制御して自動撮影を行えるので、本格的に流星の自動観測を行える。
- ⑤ 上記、各駒の撮影タイミングを、計時用電子シャッターのフレームが循環する時間の $1/N$ ($N=1, 2, 4, 8$) に同期させて自動制御する事が出来る。従って、適切な露出時間を選択できる上、同一のフレーム番号が同一の駒に現れる事はない。また、同一の駒内ではフレーム番号の若いものほど早い時刻に撮影されており、軌跡の解析に便利である。
- ⑥ 計時用電子シャッターの作動温度を適切に保つための、自動温度制御機能を有するので、安定した撮影が行える。更に、制御装置自身の保温機能も有する。
- ⑦ 軽自動車用の小型バッテリーにより、4台のカメラを用いて1晩の撮影が行える省電力設計である。
- ⑧ 制御装置本体の寸法は $135 \times 85 \text{mm}^2$ と小型である。
- ⑨ 種々の符号構成を設定出来るので、例えば、人口天体の通過時刻の測定 (*3)、自動車等の移動物体の通過時刻の測定等に応用することが出来る。

3・測定原理:

まず、符号の作り方を説明する。電子シャッターを図1に示すタイミングで開閉させる(上が開、下が閉)。フレームと称する一定数のビットの集まりを並べる。簡単のため、図は1フレームが3ビットからなる例を示す(適切な符号速度と符号長を採用することにより、実際の流星の撮影を行える)。フレーム番号は、スタートの時点をもととし、以後1ずつ順に増加させる。フレームを構成するビットの先頭はフレームの先頭であることを識別するためのフレームビットである。フレームビットに続く残りのビット列(図の例では2ビット)により前記のフレーム番号が2進数で示される。各ビットはCMI (*4) 変調される。ビット0はビットの中央で立ち上がり、ビット1は自分より1つ前に現れるビット1に対し極性を反転する(途中に介在するビット0には関係しない)。フレームビットはビット1であるが、1つ前のビット1と同極性であり、上記の符号化の規約に反することによりビット1と区別される。もし、上記の符号列により開閉される電子シャッターを用いて撮影中に、図示のタイミングで流星が出現したとすると、シャッターが開閉する結果、図の塗り

つぶされた部分の軌跡のみがフィルムに撮影される。

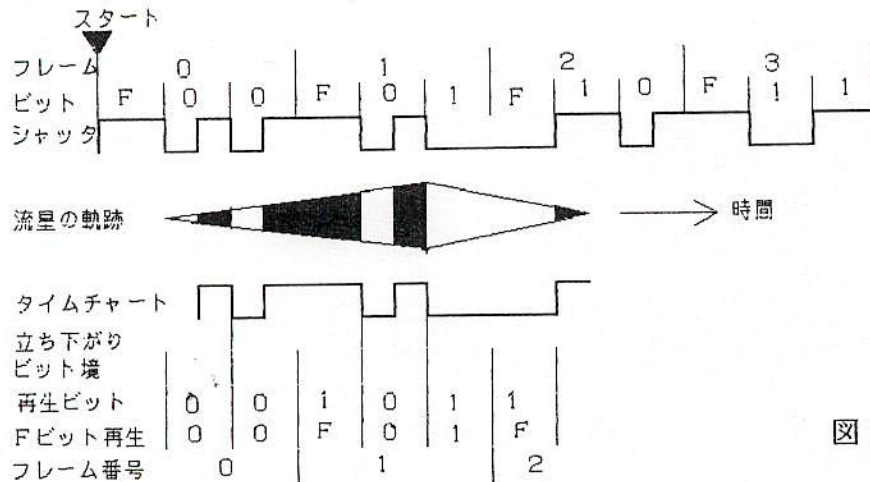


図 1

流星の軌跡が1フレーム以上撮影されていれば、次に示す手順により流星の出現時刻を知ることが出来る。

軌跡の明暗をタイムチャートに見立て、その立ち下がりの時点にマークをいれると、それは前記各ビットの境を示す。なぜなら、ビットの途中で生じる変化はビット0に於ける立ち上がりのみだからである。

このマークから内挿、外挿により、他のビット境をいれる。

次に、ビットの途中で立ち上がるものをビット0、それ以外をビット1とする。ビット1の内、自分より1つ前のビット1と同極性のものをフレームビットとする。又、1つ前のビット1は見つからないが、1フレームのビット数から言ってフレームの先頭に有ると見られるものもフレームビットとする。

最後に、フレームビットに続くビット列からそのフレーム番号を読み取る。もし、フレームビットに続く同一フレーム内の残りのビット列が全部は写っていないときは、不足のビット列を1つ前のフレームから読み取る。但し、1つ前のフレーム番号は1つ小さいことに注意する。

1フレームの継続時間は一定であるから、フレーム番号を知ることにより、フレーム0を同期引き込みしてから流星が出現するまでの経過時間を知ることが出来る。従って、フレーム0を標準時刻に同期させてスタートさせれば、流星の出現時刻を正確に決定できる。また、ビット境は一定のリズムで刻まれるので、同時に流星の見かけ速度の測定も行える。

以下に、出現時刻決定のために必要な理論的説明を行う。

ビットレートを f (ビット/秒)、1フレームのビット数を n (ビット/フレーム) とすると、 f 及び n を適切に定めることにより実際の流星の観測を行うことが出来る。

第 p フレームの第 q ビットの始まりは、第0フレームのフレームビットの立ち上がりから

$(p * n + q) / f$ (秒) 経過している。ただし、フレーム内のビットの位置は0から数えるものとする。

流星が輝いている間 (t 秒) に1フレームが終わるためには、 $t \geq n / f$ を満足する必要がある。(フレーム継続時間)

又、撮影期間 (T 秒) 中に (カメラのシャッターが開いている間に) 同じフレーム番号が1度しか現れないようにするためには、 $T \leq n / f * 2^{n-1}$ を満足する必要がある。(フレーム循環時間)

以上のように f 及び n を定め、標準時刻に正確に同期させて第0フレームの先頭ビット (= フレームビット) をスタートさせればよい。

例えば、 $f = 45.4545 \dots$ 、 $n = 12$ とすると、 $t = 0.264$ 秒/フレーム、 T

=9分00秒672 となり実際の流星の撮影に用いることが出来る。

*4 Code Mark Inversion

4・装置の構成

図2に示すように、本装置はマイクロコンピュータを中心に構成される（プログラムサイズ約 850B）。マイコン内蔵のタイマーによる割り込み処理によりCM I 符号を発生させ、液晶からなる電子シャッターを駆動させる。液晶をドライブするためのキャリア（1KHz）も内蔵タイマーにより発生させる。ディップスイッチの設定によってf、n及びカメラの露出時間を可変出来るように構成した。抵抗器から成る発熱体とサーミスタによる温度センサー（マイコン内蔵のA/D変換器により測定）を用いて液晶の温度制御も行った。写真1に示すように、制御部はP板化されており容易に製作できる。写真2にシャッター部を示す。

5・仕様詳細：

5-1・計時シャッター仕様：

6ビット・ディップスイッチのビット1～3により設定する。設定された仕様に従い、シャッター同期ボタンを押下した時刻に同期してカウントを開始する。LED（赤）が、表に示すパターンに従って点滅する。

SW	LED パターン	f(bps)	n(b/fr)	t(s/fr)	T	T/t
0	11111100	0.5	7	14	14m56s	64
1	10000000	1	8	8	17m04s	128
2	10100000	5	10	2	17m04s	512
3	10101000	10	11	1.1	18m46s4	1024
4	10101010	25	12	0.48	16m23s04	2048
5	11100000	40	12	0.3	10m14s4	2048
6	11010000	45.4545..	12	0.264	9m00s672	2048
7	11010100	45.4545..	11	0.242	4m07s808	1024

注1：SW= (dsw_bit 1)*4 +(dsw_bit 2)*2 +(dsw_bit 3)

注2：計時シャッターリセットボタンを押下される前、LED は単純に点灯し、電源 ON を示す。LEDの輝度を適切な値に加減することが出来る。

SW	T/1	TT/1	T/2	TT/2
0	14m56s	8h57m36s	7m28s	4h28m48s
1	17m04s	10h14m24s	8m32s	5h07m12s
2	17m04s	10h14m24s	8m32s	5h07m12s
3	18m46s4	11h15m50s4	9m23s2	5h37m55s2
4	16m23s04	9h49m49s44	8m11s52	4h54m54s72
5	10m14s4	6h08m38s4	5m07s2	3h04m19s2
6	9m00s672	5h24m24s192	4m30s336	2h42m12s096
7	4m07s808	2h28m41s088	2m03s904	1h14m20s544

SW	T/4	TT/4	T/8	TT/8
0	3m44s	2h14m24s	1m52s	1h07m12s
1	4m16s	2h33m36s	2m08s	1h16m48s
2	4m16s	2h33m36s	2m08s	1h16m48s
3	4m41s6	2h48m57s6	2m20s8	1h24m28s8
4	4m05s76	2h27m27s36	2m02s88	1h13m43s68
5	2m33s6	1h32m09s6	1m16s8	46m04s8
6	2m15s168	1h21m06s048	1m07s584	40m33s024
7	1m01s952	37m10s272	30s976	18m35s136

計時シャッターとカメラ撮影間隔設定（次章参照）の組合せによる、1 駒（T/N）

及び36枚撮り (TT/N) 当りの撮影可能時間は前表の通りである。

5-2・カメラ撮影間隔制御: (デバッグスイッチ・ビット 4,5)

SW	N
0	1
1	2
2	4
3	8

撮影 START/STOP ボタンを押下する度に、カメラのシャッターは ON/ OFF を繰り返す。ただし、左記に示すカメラシャッター時間制御ビットの設定値により、5-1に示す T 値の 1/N の期間 (T/N) の先頭で、一旦シャッター OFF となり (フィルム自動巻上)、1秒後、次の駒の撮影を開始する (両者の AND を採る)。フィルム自動巻き上げ機構

付のカメラを用いれば、この間にフィルムは自動的に巻き上げられる。カメラ本体のシャッターはバルブにセットすること。本器にはフィルム駒数をカウントする機能はない。

カメラ撮影間隔表示 LED パターンは 5-1 の SW=0~3 の場合と同一である。ただし、電源 ON 直後、LED は OFF している。

注: カメラ撮影間隔を変更するときは、予めカメラシャッターを OFF 状態にセットしてから操作すること。ON 状態のまま、T/N ~ T/N+1sec 時点で操作すると誤動作することがある。

6・観測結果:

下表に示すように、4連カメラから成る ESA0 を用い1年間にわたり6夜、延べ23.5時間の撮影を行った結果、3個の流星を撮影し各々の出現時刻の解析に成功した。これは7.8時間に1個の割合に相当する。また、1991-1-19/20の撮影時には外気温 -7.5°C を記録している。この時刻に撮影された流星の軌跡の切断の様子から (写真5)、電子シャッターの保温状態は良好と判断される。なお、観測は、いずれも山梨県大泉村にて行った。

撮影日	撮影時間	撮影成功	外気温
1991-01-03/04	5.5 時間	1	-2~-5°C (推定)
1991-01-19/20	2.5	1	-7.5°C (05AM)
1991-02-10/11	4	0	0°C
1991-05-05/06	3.5	0	-2°C
1991-06-08/09	2	0	
1992-01-03/04	6	1	-2~-5°C (推定)

写真3に、Dra 群の流星を本装置により撮影した例を示す。撮影データは下記の通りである。なお、この写真は六つ切りの印面をトリミングしてキャビネサイズに引き伸ばしたものである。

撮影地 : 山梨県北巨摩郡大泉村 $\lambda=138^{\circ}24'$, $\phi=35^{\circ}53'$

赤道儀 : タカハシ J P-160 にて自動ガイド

カメラ : ペンタックス A3 D3デットS 4連カメラ

レンズ : f=50mm, F1.4 開放

撮影時刻: 1992-01-04, 05h12m33s2~05h17m02s5 (露出時間 4m29s3)

フィルム: T-Max3200

現像 : T-Max デベロップ 27°C, 10.5m (EL 12500)

出現星座: うみへび座 α 星と θ 星の間、群流星

電子シャッター設定: $f=45.454545\dots$ (bps), $n=12$ (b/fr),
 $\rightarrow t=0.264$ (s/fr), $T=9m00s672$

シャッター同期時刻: 22h00m00s (JST)

撮影された流星の軌跡の符号のビット構成は

0101F01000110110F010001

で有ることが写真より判明する。ここで、FからFまでの符号から読み取れるフレーム番号は 566(D) であり、時間に換算すると $566 \times 0.264s = 2m29s424$ となる。

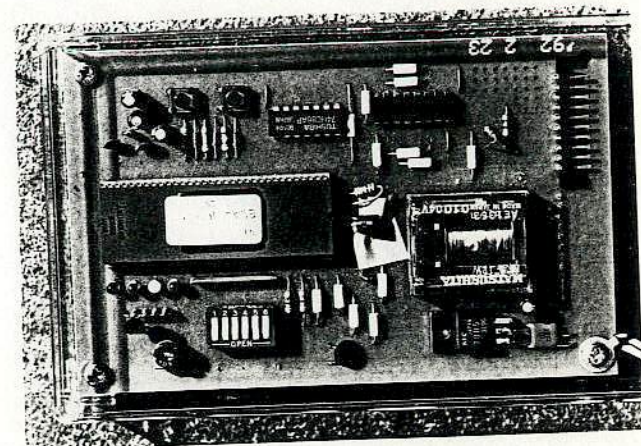
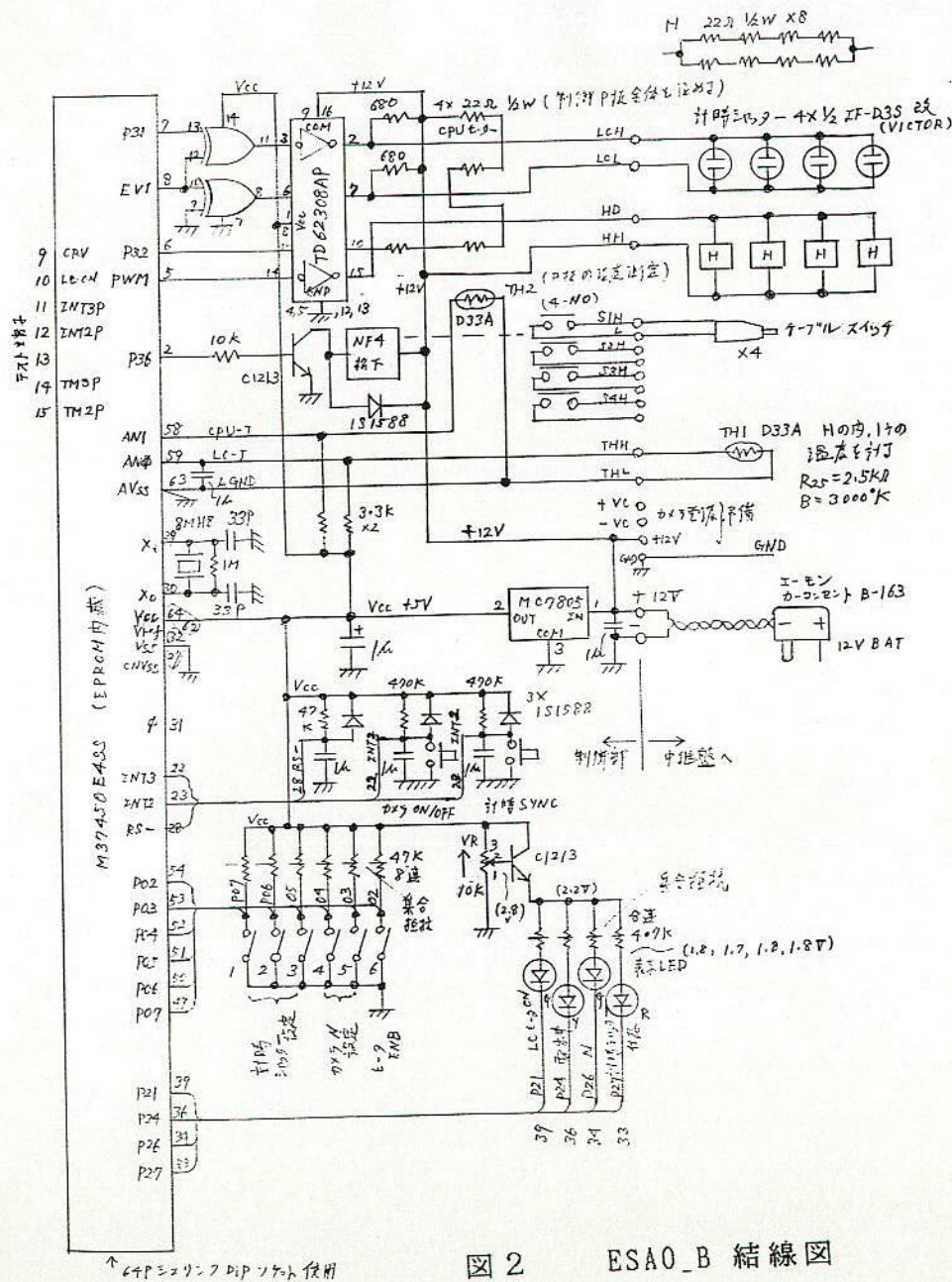


写真1 制御部

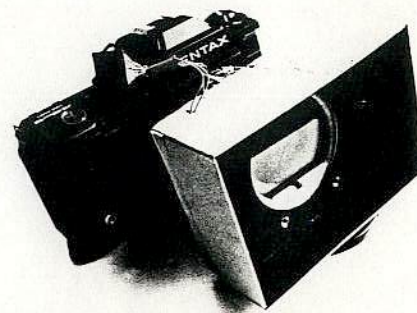


写真2 電子シャッター部

MSS-062



写真3 出現時刻 1992-01-04-5h15m01s680

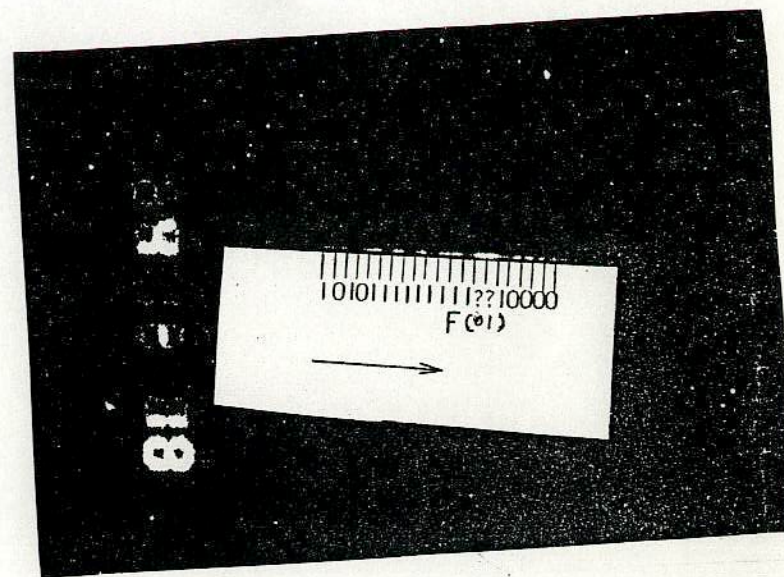


写真4 出現時刻 1991-01-04-4h18m41s02



写真5 出現時刻 1991-01-20-4h54m18s096

MSS-062

また、シャッターを同期させてからの経過時間を考慮すると、この駒の撮影が開始されるまでの間には

$22\text{h}00\text{m}00\text{s}$ (同期時刻) $+48$ (循環) $\times 9\text{m}00\text{s}672$ (ノ循環) $= 05\text{h}12\text{m}32\text{s}256 + 24\text{h}$
経過している。両者を加算して、 $05\text{h}12\text{m}32\text{s}256 + 2\text{m}29\text{s}424 = 05\text{h}15\text{m}01\text{s}680$ より、
出現時刻 (始めのFビットの始まりの時点) : 1992-01-05 05h15m01s680(JST)
が得られる。

流星が出現した座標及び流星の見かけ速度は、通常の写真解析と同様にして求めることが出来る。

写真4は 1991-01-04 4h18m00s~20m28s に撮影されたものである。(ι Dra 群流星)

シャッター設定は、 $f=45.4545\dots$, $n=12$, 同期引き込み 1991-01-03 21h36m00s (JST)である。

撮影された符号は、10101111111F1??10000 であり、F及び後続のビット1に続く2ビットが $n=12$ のビット構成から推定して異常である。そこで、Fの前のフレームの先頭にFビットを補って見ると、??の代わりに01とするのが良いと判断される。結局、F1に続くビットがもともと0であったものが流星の急激な増光によりカブリを生じ、1に見誤られたものと考えられる。この結果、Fビットの前後でフレーム番号は 10101111111→10110000000(B)即ち 1407(D)→1408(D)となり、2進数での桁上げが生じていることが分かる。以上により、この流星の出現時刻 (補ったFビットの始まり) は

1991-01-04 4h18m41s02(JST), また、増光を生じた時刻は 4h18m41s35(JST)であると結論される。

写真5は 1991-01-20 4h50m00s~54m56s に撮影されたものである (散在流星)。シャッター設定は、 $f=45.4545\dots$, $n=12$, 同期引き込み 1991-01-20 0h10m00s(JST)である。

撮影された符号は、0001100110F10001 であり、Fビットの前の符号列は、Fに続くビットを参照して

$F10001100110F \rightarrow 1126(D)$ であることが分かる。

従って、この流星の出現時刻は、1991-01-20 4h54m18s096(JST)である。

以上により、ESAOを用いて、写真撮影による流星の出現時刻の自動観測が実用的に行えることが証明された。

7・結言:

ESAO_Bの完成により、流星等の移動天体の出現時刻の写真撮影による測定が容易になった。今後、さらに電子シャッター部の製作についてのドキュメント化等を行い、ESAO_Bを容易に利用できるようにする予定である。

8・参考文献:

- *2 第21回7天 A-3 関戸、渡辺、1988-10-02
- 第50回記念・流星物理セミナー資料集・下 P107 他
- *3 第59回流星物理セミナー資料 1991-07-07

画像処理を利用した流星の座標測定

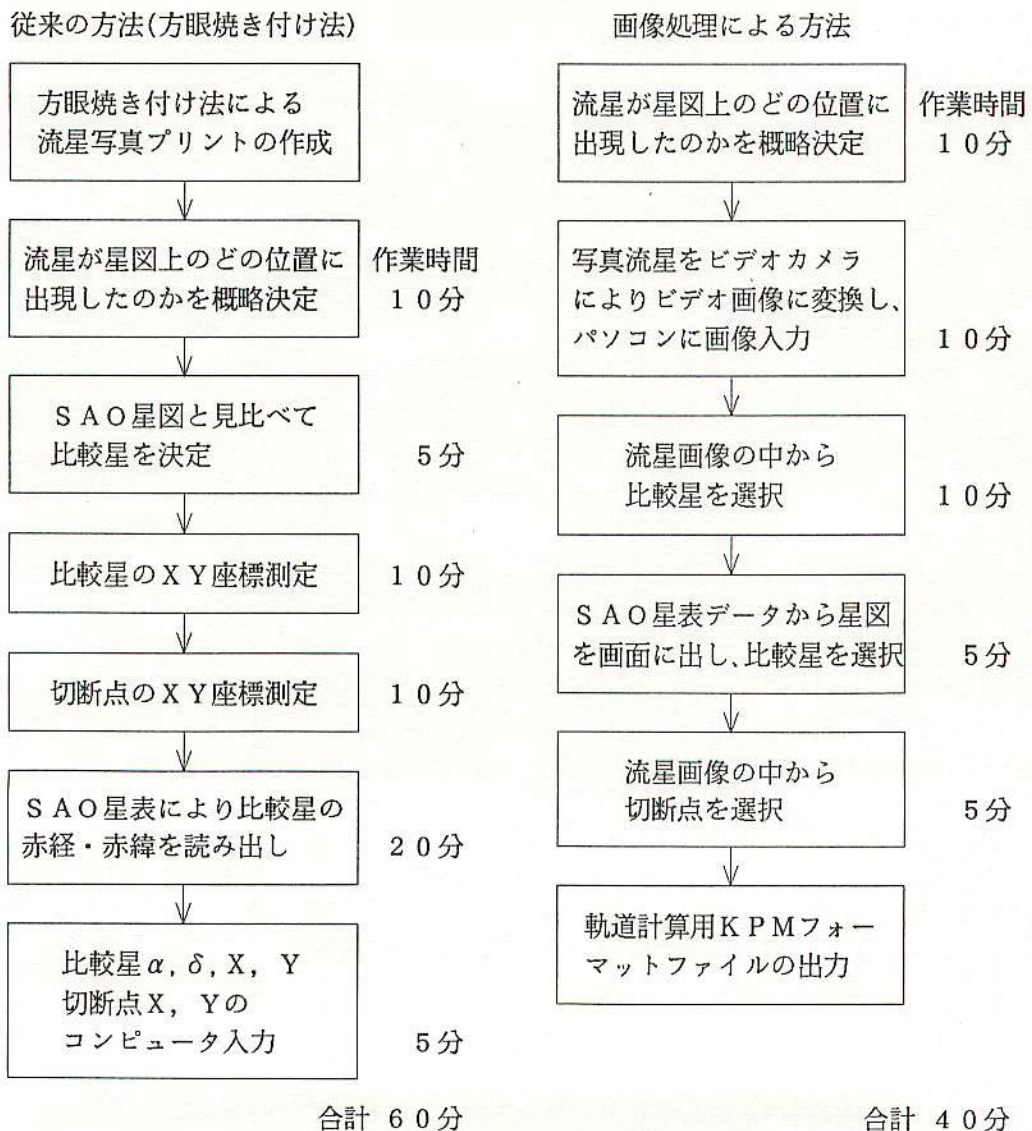
流星物理セミナー・ 重野好彦 戸田雅之 塩井宏幸
ワーキンググループ 柳信一郎 進藤泰昭

1、はじめに

流星の軌道計算を行う場合、写真流星の切断点の座標測定に大変手間がかかります。星図、星表、XY座標測定機の他に測定ノウハウも必要なため、一部の研究者のみが行っているにすぎません。このためパソコンを利用した座標測定の支援が従来から検討されて来ました。そしてこのたび「パソコンによる画像処理を利用した流星の座標測定システム」が完成しましたので紹介します。

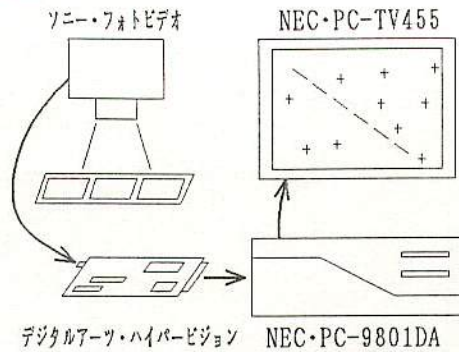
2、座標測定作業処理の流れ

従来の座標測定方法と新しい座標測定方法の処理の流れを図1に示します。



[図1、座標測定作業の比較]

3、利用機器



[図2、画像処理用機器]

4、座標測定情報の流れ

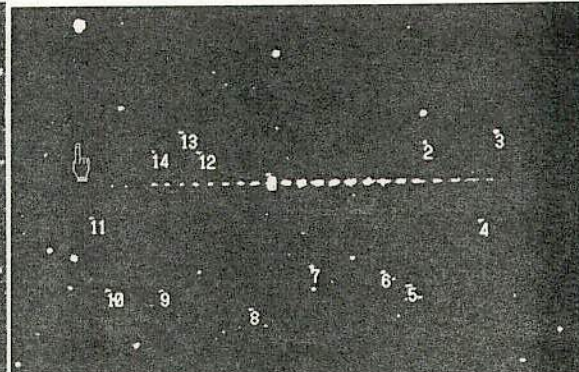
MSS-063



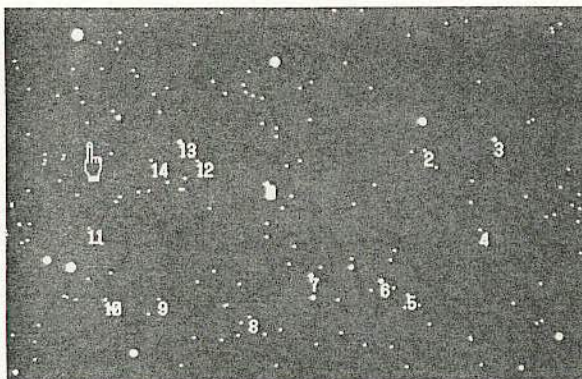
[写真1、画像処理用機器]



[図3.1、流星写真(G9113N)]



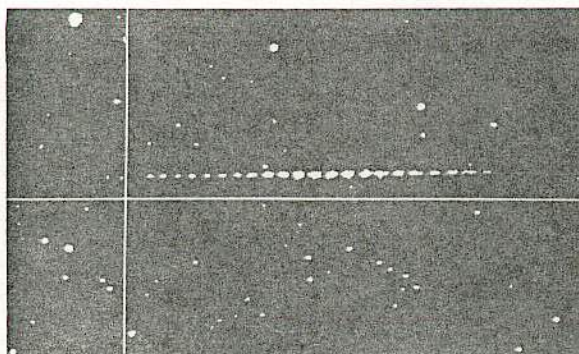
[図3.2、パソコンに画像を取り込み比較星を選択]



[図3.3、SAO星図から比較星を選択]

NO.	赤経	赤緯	X値	Y値	O-C
1	5.3700	+20.5399	287.4	183.6	6.02
2	5.2588	+21.7407	441.0	157.0	6.26
3	5.2075	+22.2294	509.9	148.1	18.81
4	5.1852	+21.1666	494.8	222.7	30.23
5	5.2167	+20.0710	425.5	277.6	4.28
6	5.2426	+20.0793	393.8	265.9	18.15
7	5.2908	+19.7654	330.4	261.5	20.58
8	5.3303	+18.9643	271.3	297.6	16.45
9	5.4072	+18.6767	183.2	281.6	11.19
10	5.4483	+18.3786	130.6	281.2	20.89

[図3.4、乾版決定精度の確認]



[図3.5、流星画像から切断点を選択]

g9113n ;↑
1991 12 15 01 24 24;↑
MSS-WG ;↑
AKAGI-YAMA ;↑
139.0767 ;↑
36.5300 ;↑
577 ;↑
13 ;↑
23 ;↑
0 ;↑
0.02 ;↑
0 0 0 5 22 11.80 0 20 32 23.0 0 2.872 1.836↑
0 0 0 5 22 11.80 0 20 32 23.0 0 2.872 1.836↑
0 0 0 5 15 31.60 0 21 44 26.0 0 4.411 1.571↑
0 0 0 5 12 27.10 0 22 13 45.0 0 5.096 1.479↑
0 0 0 5 11 6.60 0 21 9 59.0 0 4.946 2.226↑
0 0 0 5 13 10 0 20 4 15.0 0 4.257 2.775↑

[図3.6、軌道計算データファイルの出力]

5、座標測定結果

フィルム上の $7.12 \times 4.45\text{mm}$ の範囲をパソコン上の 640×400 ピクセルに取り込みます。よって 50mm 標準レンズで撮影されたフィルムなら、1 ピクセルあたり 45.8 秒の解像度となります。星像は複数のピクセルにまたがって存在しているので、それぞれのピクセルの輝度を加重として星像中心を求めるため、実際の解像度はこれよりも向上します。

ピクセルの輝度は 256 階調 (8 ビット) で取り込みます。 640×400 ピクセルで 256 K バイトの情報量となります。

実際の写真流星の座標測定結果を表 2 の乾版 S D (標準偏差) に示しました。これをまとめたのが表 1 です。P 9 1 の測定結果はほぼ満足が行きますが、G 9 1 の測定結果は少々劣っています。これはフィルムの違いによるもので、P 9 1 : トライ X、G 9 1 : T-MAX3200 を使用しましたが、T-MAX3200 は粒子が粗く、カブリもひどいため 8 ~ 9 等の暗い比較星が写っておらず、測定誤差を大きくする原因となりました。なお歪曲収差補正は行っていません。

	I D	測定枚数	平均乾版 S D
表 1、	P9102~06	1 0	20.6 秒
	G9110~63	1 6	30.0 秒

6、まとめ

28 枚の写真流星を測定した感想をまとめてみました。

利点	欠点
・作業が少し楽になる	・機器に多くの費用がかかる (約 50 万円)
・データの入力ミスがない	・作業時間が大幅には短縮されない
・ほぼ満足できる測定精度である	・コンパレータよりは精度が落ちる
・比較星を多く取ることが苦痛でない	

7、同時流星観測データ

撮影レンズは全て 50mm F:1.4

P91N カリフォルニア州 Oroville北	G91N 群馬 赤城山	E92N 千葉 井戸野浜
-121° 39' 30'	139 04 36.0	140 38 32.1
39 39 17	36 31 48.0	35 40 43.0
119m	577	5
トライ X バンドール 12分 (20°C)	T-MAX3200 T-MAX16分 (20°C)	T-MAX3200 T-MAX13分 (20°C)
チョッパー無し 1連	50切断/秒 6連	50切断/秒 6連
P91S カリフォルニア州 Oroville南	G91S 埼玉 児玉	E92S 千葉 三門
-121 23 20	139 06 49.2	140 22 18.2
39 18 59	36 10 53.0	35 16 22.5
198m	126	17
トライ X T-MAX16分 (20°C)	T-MAX3200 T-MAX11分 (20°C)	T-MAX3200 T-MAX16分 (20°C)
50切断/秒 6連	50切断/秒 6連	50切断/秒 6連
地球楕円体定数		
アメリカ Clarke 1866 楕円体	日本 Bessel 1841 楕円体	
赤道半径 $a=6378.2064\text{km}$	赤道半径 $a=6377.3972\text{km}$	
離心率 ² $e^2=0.0067685658$	離心率 ² $e^2=0.0066743722$	

[表2、軌道計算表]

(1950.0)

ID	J.S.T.	観測 場所	等 級	比較 星数	切断 点数	乾版SD	経路長	見込角	高度 発光点 消滅点		視幅射点		真幅射点		
1991.08.12														[ペルセウス群]	
P9103	20:07:30	N	1	11	(7	19.2	4.9	35	107.7	94.7	48.96	55.42	49.02	55.66	
		S		11	12	15.2	3.6								
P9104	20:14:14	N	1	10	(9	16.0	2.5	51	107.0	97.0	44.21	57.26	44.17	57.52	
		S		11	10	15.6	2.3								
P9105	20:15:45	N	1	11	(9	15.8	3.7	38	106.8	96.6	45.78	58.37	45.77	58.66	
		S		11	10	25.9	2.6								
P9106	20:32:30	N	0	12	(9	28.0	4.0	26	113.3	94.1	44.51	57.17	44.40	57.43	
		S		12	18	42.2	6.6								
														[散在]	
P9102	19:02:30	N	0	10	(5	11.6	3.0	59	105.3	90.8	353.44	65.13	352.52	65.52	
		S		11	17	16.3	2.6								
1991.12.15														[双子群]	
G9110	1:15:05	N	1	10	20	20.7	3.0	27	93.7	81.3	113.08	32.31	112.53	32.23	
		S		11	15	15.7	2.8								
G9120	1:37:22	N	-2	15	34	43.0	6.9	26	99.3	71.1	113.14	32.16	112.46	32.05	
		S		16	31	31.7	7.5								
G9135	2:16:58	N	0	11	12	27.6	1.7	43	90.3	83.8	114.20	32.61	113.31	32.47	
		S		13	11	22.8	1.6								
G9144	2:40:36	N	-2	17	36	39.2	5.0	82	98.9	70.3	114.15	32.59	113.12	32.40	
		S		17	39	42.6	6.4								
G9148	3:02:15	N	-1	13	36	38.7	4.9	44	97.3	74.2	113.97	32.60	112.86	32.37	
		S		12	34	30.3	5.7								
G9163	4:29:09	N	1	14	25	32.9	6.7	25	94.5	81.2	114.76	32.92	113.23	32.43	
		S		14	12	36.6	3.7								
														[散在]	
G9113	1:24:24	N	-1	13	23	20.8	4.2	21	102.3	84.4	102.69	7.82	102.10	7.28	
		S		14	24	26.2	7.6								
G9150	3:10:37	N	0	13	16	23.6	3.1	13	107.9	92.2	138.73	34.89	138.32	34.89	
		S		14	11	28.1	3.2								
1992.05.04														[散在]	
E9201	2:53:10	N	1	17	16	42.2	4.5	23	104.3	88.1	302.19	14.01	302.11	13.86	
		S		13	18	23.9	3.7								
ID	平均 観測速度	速度 SD	日心速度	Ω	i	ω	q	e	a	P					
[ペルセウス群]															
P9103	61.8	1.8	41.7	138.68	117.00	147.33	0.934	0.987	70.60	593.17					
P9104	60.6	2.8	41.5	138.68	113.34	154.14	0.963	0.970	31.78	179.16					
P9105	59.8	2.4	41.3	138.68	111.49	150.90	0.951	0.950	19.01	82.88					
P9106	60.9	1.5	41.7	138.69	113.66	154.11	0.963	0.987	73.73	633.10					
天文観測年表	60			141	112	155	0.951	0.947	18	76					
スフィート・タートル				139.4	113.6	152.8	0.963	0.960	24.3	120					
[散在]															
P9102	48.0	1.5	40.7	138.64	81.75	195.12	0.997	0.892	9.22	27.98					
[双子群]															
G9110	35.3	1.9	33.5	261.57	21.74	323.57	0.151	0.884	1.30	1.49					
G9120	36.1	1.5	34.0	261.59	22.39	323.86	0.144	0.895	1.37	1.61					
G9135	35.1	1.7	33.1	261.62	22.55	324.25	0.149	0.882	1.26	1.41					
G9144	35.3	2.6	33.4	261.64	22.66	324.13	0.147	0.886	1.29	1.47					
G9148	35.8	1.9	33.8	261.65	23.07	323.94	0.145	0.893	1.35	1.57					
G9163	35.2	1.8	33.4	261.71	22.79	324.13	0.147	0.886	1.29	1.47					
天文観測年表	35			261	23.3	324.3	0.141	0.897	1.37	1.61					
バートン				265.7	22.0	321.7	0.139	0.890	1.27	1.43					
[散在]															
G9113	42.2	2.2	41.7	81.60	33.99	125.51	0.212	0.986	14.67	56.20					
Mellish				82.1	32.5	128.3	0.190	0.9931	27.643	145.35					
G9150	58.8	3.8	42.2	261.67	121.40	301.50	0.238	0.993	35.24	209.24					
Brahe				232.34	118.54	331.90	0.1687	1.0							
[散在]															
E9201	60.6	2.4	38.3	42.94	121.61	194.22	0.996	0.673	3.04	5.31					
Schweizer				42.32	122.19	199.23	0.9087	0.9893							

8、流星軌道の考察

表2の軌道計算表で散在とした4流星について考察します。

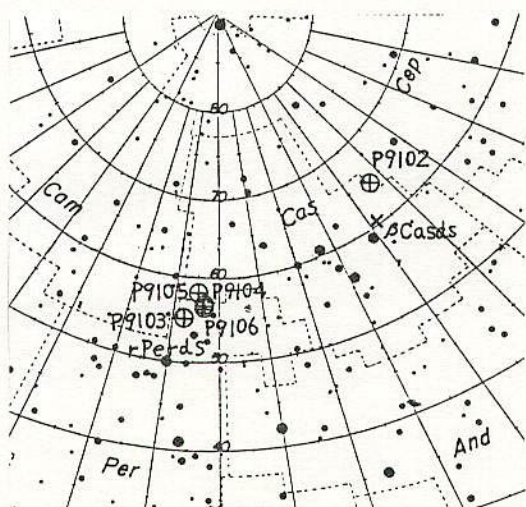
MSS-063

P9102……星図1。近くに β Cas群が存在します。軌道傾斜角 $i:81.75$ と大きく、調べた範囲では軌道の似た彗星はありませんでした。

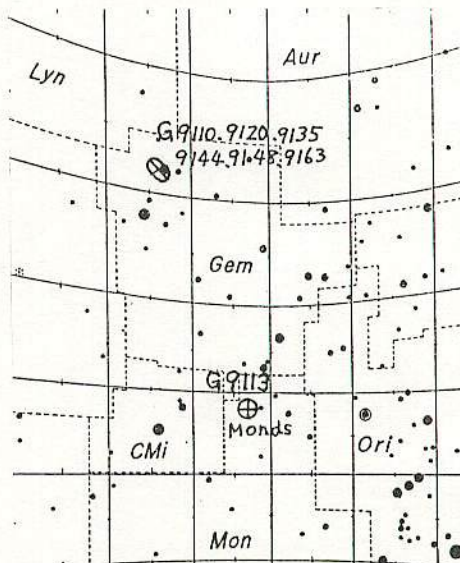
G9113……星図2。メリシュ彗星(1917I)を母彗星とするMon群の流星です。 β CMi群と同一群かどうか意見が分かれています。Mon群は12月中旬にHR数個の活動を見せ、微光流星中心ですが、明るい流星も含まれています。この流星は眼視では光度変化が激しく、短痕が明瞭でした。

G9150……星図3。輻射点付近には多くの小流星群が活動していますが、特定できません。軌道の似た彗星としてはチョコ・ブラーエ(1585)がありました。

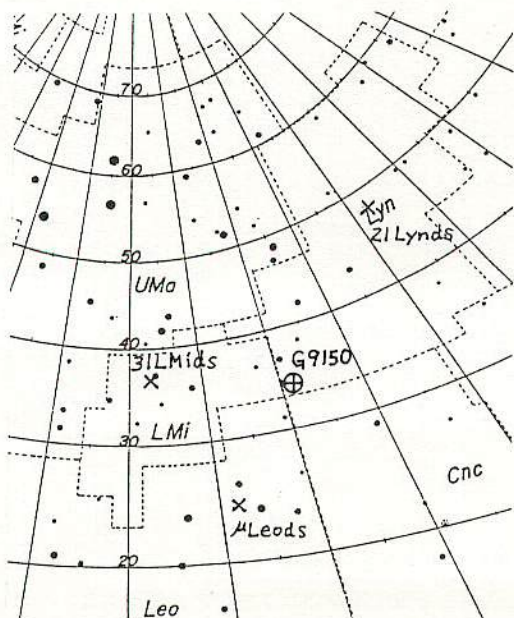
E9201……星図4。輻射点付近には特に流星群は知られていません。眼視では η Aqr群の特徴と似ていましたが、軌道要素は全く違っていました。軌道の似た彗星としてはシュバイツァー(1853II)がありました。



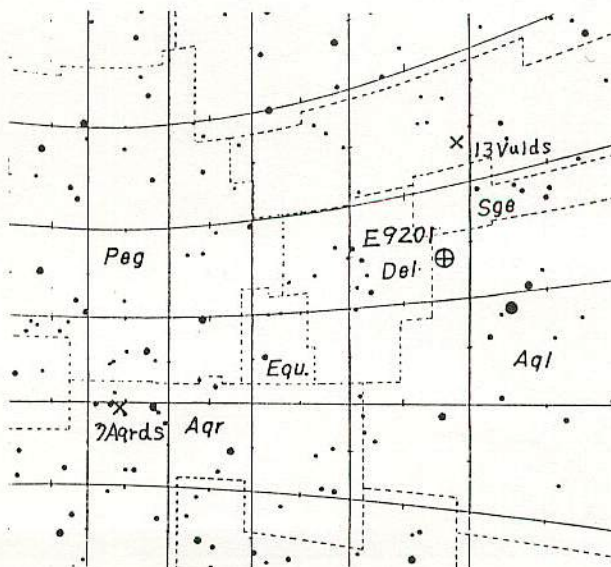
[星図1]



[星図2]



[星図3]



[星図4]

θ Leo 群視輻射点: 173.059, 15.732	観測地	131° 23' 19"	撮影レンズ
輻射点広がり標準偏差: $\phi=5.368$	宮崎 清武町	31 51 16	24mm F:1.4
		15m	

1.1、 θ Leo 群輻射点計算結果

図5に θ Leo 群の輻射点付近の経路図及び視輻射点を示しました。

比較のため前田氏の求めた経路も付記しました。前田氏は目でビデオ流星を見ながら経路記入する方法をとっていますが、Q920127とQ920143は非常に良く一致しています。

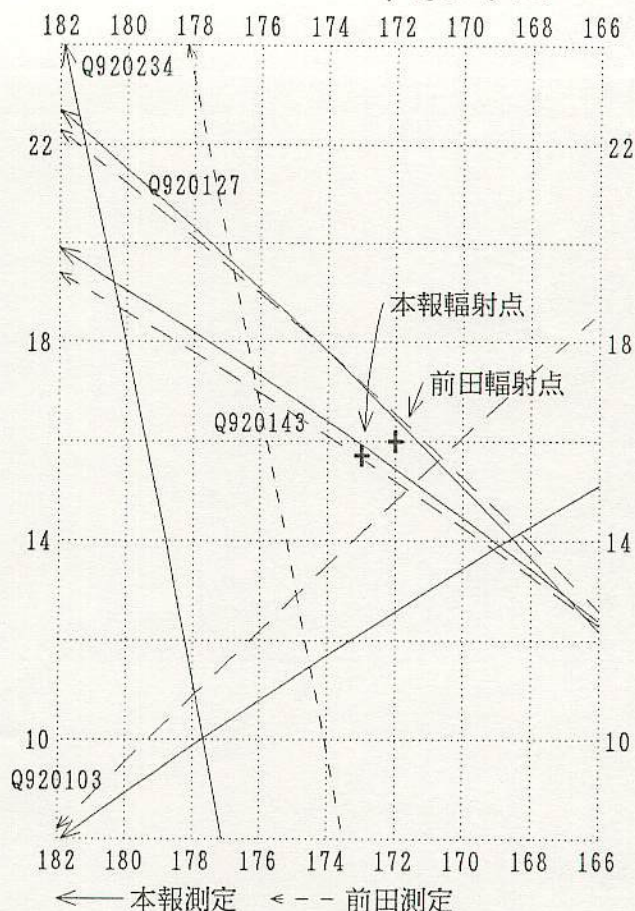
Q920103は経路長が1.181度と短いため方向にずれが生じました。

Q920234は輻射点から発光点までが63.596度と離れているため、2度程度ずれがでました。

前田氏の求めた輻射点はこれらの4流星の他に、さらに4つの流星を使用しています。

本報で求めた輻射点と前田氏の求めた輻射点(172, +16)とは、かなりよく一致しています。

ビデオに写ってくる大量の流星を簡易に測定して、微少流星群の輻射点を求める前田氏の観測方法は、ほぼ満足のできる測定精度といえるでしょう。



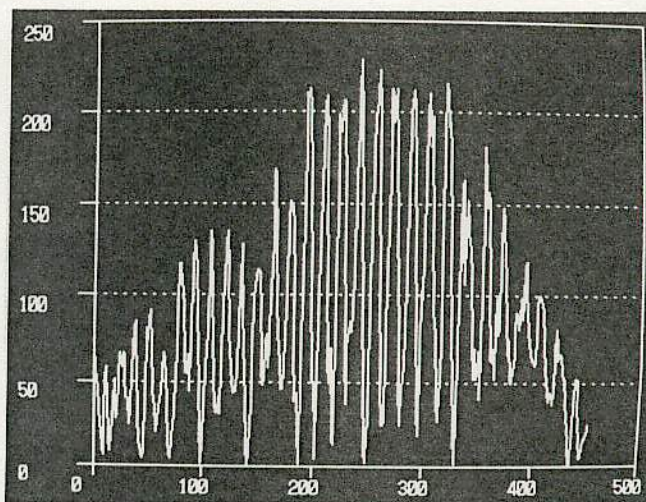
[図5、 θ Leo 群輻射点付近経路図]

1.2、今後の課題

1) 測光

測光を行うためには通常マイクロフォトメータにより写真流星の濃度を測定します。これもやはり画像処理を利用すれば、流星や星の濃度を測定することができます。

図6は流星(G9113N)を経路に沿って濃度を調べ、グラフにしたものです。横軸はピクセル、縦軸はピクセルの輝度(階調)を表わしています。階調は0~255の範囲で表現されますのであまり精度は良くありません。ただしグラフから座標を読み取る必要がないのが画像処理の強みです。



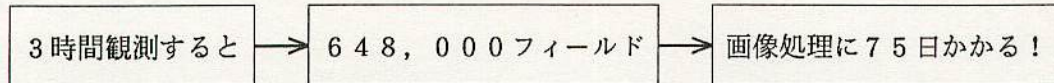
[図6、流星の測光]

2) ビデオ流星の自動検出(1)

ビデオ観測で最も手間のかかる作業が、観測後にビデオを見直すことです。そこで自動的に流星(移動する点光源)を検出できないか考えてみました。やり方は簡単にビデオを1コマ送ってはビデオ画像を取り込み、これを次々と続けて、前の画像と新しい画像のOR

を取っていく方法を考えます。ビデオがガイドされていれば星は点で写り、流星は直線で写りますから、すぐ見分けが付くわけです。

ビデオ信号はインターレスで、1/30秒に1枚フレームが作られ、1フレームは2フィールドで構成されていますので、1/60秒ごとにフィールドが更新されることになります。本システムの場合、1フィールドの画像データ640×200ピクセル(128Kバイト)を画像ボードから主メモリに転送するのに約5秒かかります。前の画像とのORを取る処理やビデオデッキと同期を取る時間なども考慮して、1フィールドを処理するのに10秒かかるとうましよう。すると、

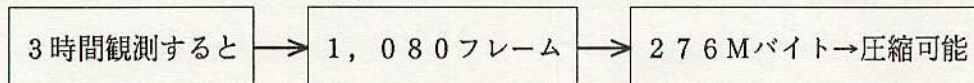


本システムの機器構成では現実的でないことになります。最近は動画をリアルタイムで画像処理するボードも比較的安価で入手できますので、これを利用すればかなりの高速化が可能です。

3) ビデオ流星の自動検出(2)

自動検出(1)の方法を特殊なソフトやボードを使用せずに行う方法があります。CCDから1/60秒ごとにデータを取り込むのではなく、CCD又はSITに情報を蓄えておき、ときどき取り込むのです。この方法は写真観測と同じ状況となり、「暗い星まで写る」、「回転シャッターが必要」、「出現時刻がわからない」ことになります。

出現時刻の誤差を±5秒まで許容するとして、10秒に1回画像を取り込むことを考えれば、ビデオデッキは不要となり、CCD又はSITから直接コンピュータに画像を取り込むことが可能です。これによりビデオデッキによる画像の劣化が防げ、暗い星まで写った画像を得ることが可能となります。ただし今度は大量のストレージが必要となります。



13、おわりに

「1、はじめに」のところで、「流星の座標測定は一部の研究者のみが行っているにすぎません」と書きましたが、本報の方法でこれが改善されたのかといえばノーと言わざるを得ません。また当初は、このシステムが完成することによって10分程度で1枚の流星写真が測定できる様になると考えていて、あわよくば軌道計算センターでも開設して、測定を一手に引き受けてみようかななども考えていました。ところが結果は1枚1時間近くかかり、あまり楽にもなりません。しかし画像処理は、これからのアマチュア天文家にとって必須の技術となっていくことを確信し、これからもより良いシステム作りに努力して行きたいと考えています。

謝辞 本システムはそのほとんどが山口雅哉氏により設計・製作されたもので、「AIPPOSシステム」と呼ばれています。

ビデオ観測データは全て前田幸治氏撮影のビデオテープを使用しました。

松本孝氏から機器提供を受けました。

寺田充氏からSAO星表データの提供を受けました。

白川健一氏から軌道計算プログラムの提供を受けました。

長沢工先生、橋本岳真氏から貴重な意見を伺いました。

I I - 2 連 計 画

流星物理セミナーワーキンググループ

1、はじめに

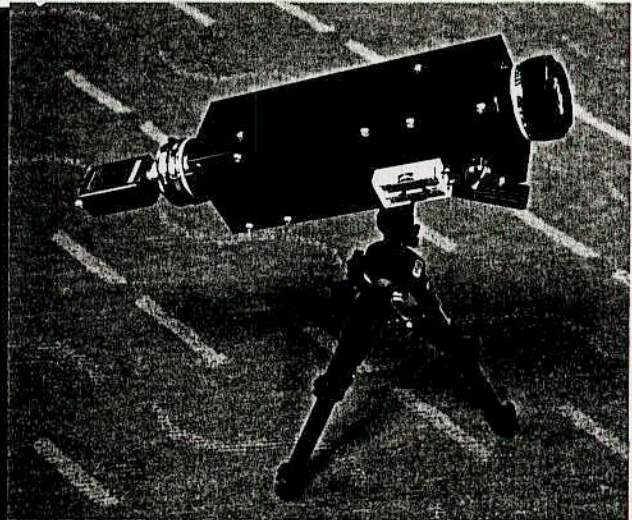
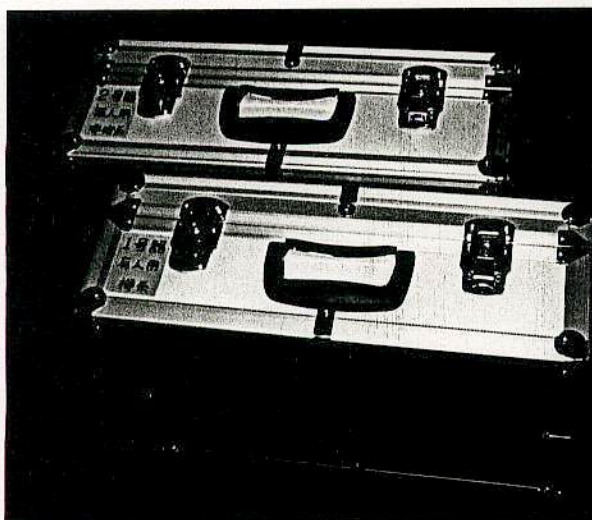
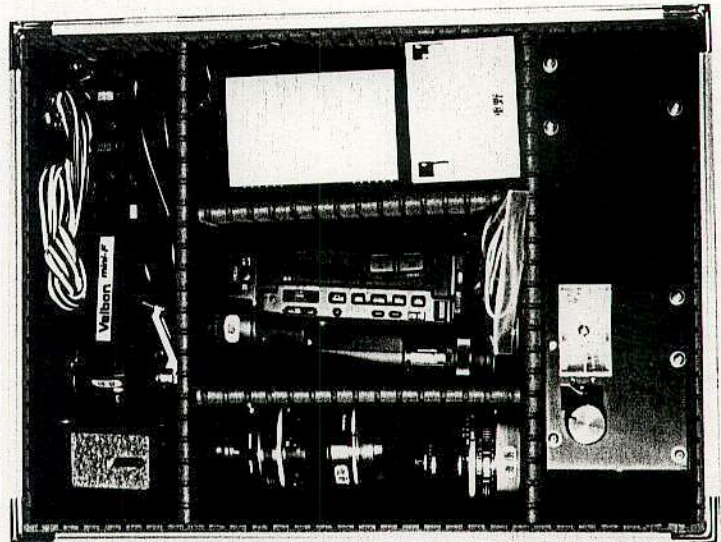
1 年程かけて I I + ビデオ観測用機材をそろえて来ましたが、ようやくシステムが完成し、1992 年 12 月 24 日に初観測を行いました。ここでは主に機材に関して紹介をします。

2、計画の目的

- 1) 今まで写真観測を行って来たが、非常に観測に手間がかかる。もっと楽に観測がしたい。
→ 写真観測は機材の組み立てがめんどろ。失敗が多い。出現時刻を決めるために人間の同時観測が必要。
- 2) I I + ビデオは新しいテーマを与えるものである。
→ I I + ビデオは暗い多くの流星を動画として撮影できる。この強みを生かした新しい観測テーマが数多く考えられる。
- 3) 今、微少流星群がおもしろい。これこそアマチュアの目指す観測テーマである。
→ 今まで何となくあいまいであった微少流星群のいくつかにポイントを絞り、同時流星観測による輻射点の決定、暫定軌道の計算を行う。

3、機材

三脚 ケーブル	バッテリー 充電器	I I 鏡筒 ホルダー
	ビデオ録画器 C C D	
	対物レンズ 接写レンズ	



I I - 2 連計画

[1 号器 (有人観測用)]

品名	定価	支払額	購入日	購入者	型番	出資者
I I	30万円	309,000円	1989.7	柳	ハママツ V3287P	柳
C C D	-	約140,000	//	//	パナソニック WV-BD400 41万画素 0.5Lux	//
ビデオ録画器	18.5	128,750	1992.11.29	//	ソニー TR-900 (フジOEM)	//
カーバッテリーアダプター	0.6	5,283	//	//	//	//
対物レンズ	5	38,000	1992.9.9	重野	ニコン 50 F:1.2 (視野20°*15°)	進藤
接写レンズ	3.5	25,935	1992.8.28	//	// 55 F:2.8	//
BR-2A	0.15	1,070	1992.3.9	//	//	//
FCマウント	0.60	4,275	1992.8.28	//	//	//
三脚	1.03	5,795	1992.11.29	//	ベルボン ミニ-F	//
トランクケース	1.96	11,172	//	//	エツミ E-890 アタッシュL	//
II鏡筒ホルダー+II電源+パーツ		約30,000	1992.8.	//	SAE	重野
バッテリー+充電器		約15,000		//		//
クリノメータ	-	-	1980.	//		//

[2 号器 (無人観測用)]

I I	30	309,309	1992.1.31	重野	ハママツ V3287P	重野、戸田
C C D	14.98	140,203	1992.8.31	//	日立 KP-M1 41万画素 0.5Lux	塩井
ビデオ録画器	-	100,000	-	戸田	キャノン A-1	戸田
カーバッテリーアダプター	1	8,240	1992.10.30	重野	//	//
対物レンズ	5	38,000	1992.9.9	//	ニコン 50 F:1.2	塩井
接写レンズ	3.5	25,935	1992.3.9	//	// 55 F:2.8	戸田
BR-2A	0.15	1,070	//	//	//	//
FCマウント	0.60	4,275	1992.7	//	//	//
三脚	1.03	5,795	1992.11.29	//	ベルボン ミニ-F	//
トランクケース	1.96	11,172	//	//	エツミ E-890 アタッシュL	//
II鏡筒ホルダー+II電源+パーツ		約30,000	1992.8.	//	SAE	重野
バッテリー+充電器		約15,000		//		//

[その他]

ビデオ編集デッキ	17.0	125,115		重野	ソニー S2500	重野
ビデオ編集デッキ	-	?		塩井		塩井

[出資額予定 その他は除く 1992.12.31現在]

柳	309,000+140,000+128,750+5,283=	583,033円
戸田	309,309/2+100,000+8,240+25,935+1,070+4,275+5,795+11,172=	311,141.5
重野	309,309/2+30,000*2+15,000*2=	244,654.5
塩井	140,203+38,000=	178,203
進藤	38,000+25,935+1,070+4,275+5,795+11,172=	86,247
合計		1,403,279

II 鏡筒ホルダーを製作します

1、はじめに

II (イメージインテンシファイア) + ビデオ観測をやりたい。が、しかし、

- 1) お金がかかる
- 2) 対物レンズ + II + 接写レンズ + CCD + ビデオデッキ を組み立てるのが大変
- 3) 後の解析ができない

といった問題があります。ここで、

- 1) お金 → 働いてかせぐ
- 3) 解析 → 写真観測、ビデオ観測の前例を参考にする

などの努力で解決できますが、

- 2) 機器の組み立て

ばかりは、少し違った技術・ノウハウが必要です。そこで II 鏡筒ホルダーをまとめて製作しますので、ご利用ください。

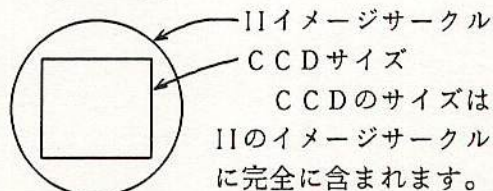
2、II + ビデオ観測機器

この II 鏡筒ホルダーを使用してビデオ観測を行う場合に必要な機器を示します。

- 1) 対物レンズ………ニコン F マウントが付いた 35mm カメラ用レンズ (マニュアルフォーカス、オートフォーカスいずれのレンズも使えます) 対物レンズの焦点距離 (f) と CCD 上の画角の関係を表 1 に示します。

[表 1]

f	24	35	50	85	105	135
対角線	50.6	35.9	25.6	15.2	12.3	9.6
幅	40.5	28.7	20.5	12.2	9.9	7.7
高さ	30.4	21.5	15.4	9.1	7.4	5.8



- 2) II ……………浜松ホトニクス社製 V3287P 型 価格は B 級品が 30 万円
電子管営業部 Tel 0539-62-5245 に直接注文して下さい。この II は戦略物資のため、使用目的をはっきり述べて注文します。
- 3) BR-2A リング………ニコン製 レンズをフィルターφ52 で逆向きに使うリング
1,500円 カメラ店で買えます。
- 4) 接写レンズ………ニコン製 マイクロニッコール 55mm F:2.8 マニュアルフォーカスレンズ 35,000円
- 5) F-C マウント………ニコン製 6,000円 カメラ店で買えます。
- 6) CCD カメラ………CCD 2/3 または 1/2 インチ なるべく軽量のものを使用して下さい。
日立電子 KP-M1 型 2/3 インチ 41 万画素 120g 148,000円
SONY XC-75 型 1/2 インチ 41 万画素 140g 100,000円
日本電気 TI-324A 型 2/3 インチ 41 万画素 200g 180,000円
アトム VA-10M 型 1/2 インチ 36 万画素 120g 78,000円
- 7) ビデオケーブル………CCD カメラとビデオデッキを接続するケーブル
- 8) ビデオデッキ………SONY Hi8 ハンディカム TR-900 型 185,000円 など
- 9) II 電源部………電圧 2~3V 抵抗 1 個 可変抵抗 1 個 を使用した簡単な回路で、II の説明書に回路が書いてあります。(これは II 鏡筒ホルダーに内蔵されています)

MUL-9-

46.5 MHz

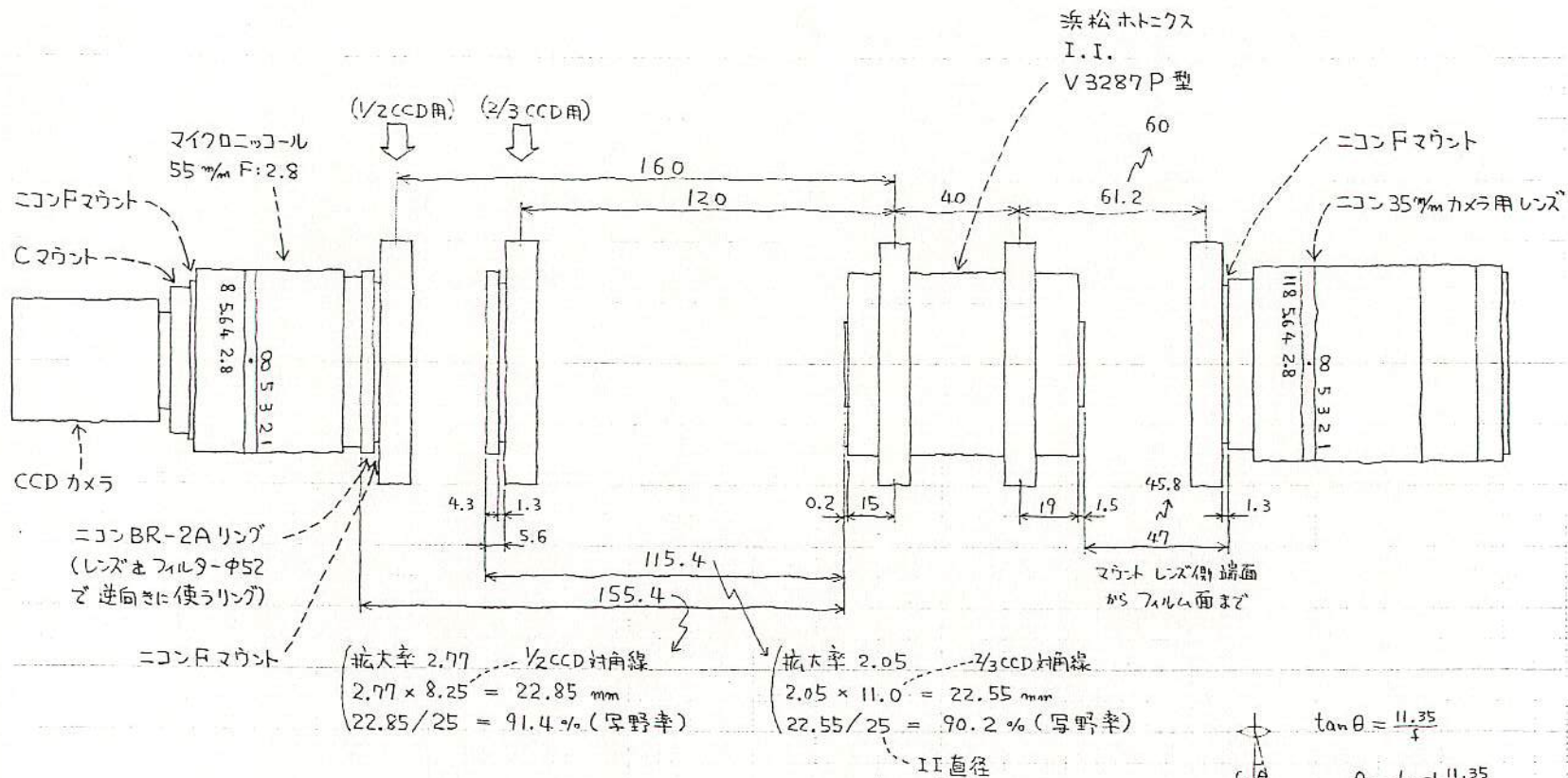
1 MW (パルス)

50 kW (平均)

3、II 鏡筒ホルダーを製作します

以下までご連絡ください。

〒211 川崎市木月住吉町 2024 重野好彦 Tel 044-411-2291



$$\tan \theta = \frac{11.35}{f}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{11.35}{f}$$

f	24	35	50	85	105	135
2θ対角線	50.6	35.9	25.6	15.2	12.3	9.6
横幅	40.5	28.7	20.5	12.2	9.9	7.7
高さ	30.4	21.5	15.4	9.1	7.4	5.8

これは 12 V のバッテリーから、交流 100 V を作り出す装置です。

一般に回転シャッターに使用するシンクロナスモーターは、電力会社の商用電源の周波数に同期して正確な回転数を得ています。しかしこの商用電源の得られない場所で観測を行う場合には、

1) 発電機に同期させる。または、市販の D C - A C インバータを使用する。

・・・周波数が不正確。

2) パルスモーターを使用し、ドライバーを作る。

・・・一から作り直さなければならない。

等の問題がありました。

そこでこれらの問題を解決したのが、この水晶制御 D C - A C インバータです。1) 周波数は水晶制御により非常に正確で、また 2) 従来のシンクロナスモーターを使った回転シャッターをそのまま使用できます。その上、A C アダプターを使用すれば赤道儀モータードライブ用電源、ラジオ用電源としても使用可能です。

主な仕様

1) 周波数制御は日差 0.4 秒の水晶を使用（諏訪セイコー 8651A）。

2) 出力周波数は、50 / 60 Hz をスイッチで切り換え可能（中を開けてスイッチ切り換え）。

3) 最大出力電流は、約 0.3 A (A C 100 V)。このとき入力電流（消費電流）は約 3 A (D C 12 V)。パワートランジスタ（東芝 2SC3281）は最大 15 A、発熱 150 °C まで可能なので、ファン等で放熱を行えば、最大消費電流を 5 A 程度まで上げることができます。

4) 消費電流は、例えばオリエンタルモーター社製リアクションシンクロナスモーター 2 W なら 1.5 A、4 W なら 2.0 A。4 W のものを 2 台同時使用しても 3.0 A 程度（4.0 A にはならない）なので、2 台使用可能。

5) バッテリーは 12 V のものを使用します。自動車用が安くて（約 5 千円）容量も大きい（35 A h ・アンペアアワー）ので良いと思います。これなら消費電流が 2 A でも約 17 時間使用できます。カーショップ等で充電器とも約 1 万円で手に入ります。

6) 大きさは 16 × 14 × 9 cm、重さは約 2.5 kg。

取扱い方法

1) 付属の電源コードを使用して、バッテリーとインバータをつなぐ。このとき赤は＋、黒は－につなぐ。＋／－を間違えないこと。（もし逆につないでも保護用ダイオードが入っているので壊れることはありません）

2) 回転シャッターの電源プラグをインバータのソケットに差し込む。

3) インバータの電源スイッチ（赤いスイッチ）を ON にする。回転シャッターが回りだす。（無負荷でインバータの電源スイッチを入れても問題ありません）

4) 回転シャッターが同期回転しているかどうか確かめる。回転シャッターには図 1 のストロボスコープを必ず付けて下さい。そして蛍光灯の下でこれを見て止まって見れば同期しています。このとき商用電源の周波数誤差（約 0.1 %）により、ゆっくり（1 回転に数分かかる）右または左に回って見えますが、インバータの方が高精度なので問題ありません。

蛍光灯のない場所（特にフィールド）では、付属のコード付きネオンランプをインバータのソケットに差し込んでストロボスコープを調べて下さい。

5) 入力電圧が低い、モーターのトルクが小さい、羽根が大きく重いときなどに、同期したりはずれたりするが周期的（0.2 ～ 0.5 秒）に起こり、これと同じ周期でガッガッという音を伴うときがあります。（実はこれはよく起こる）出力波形が矩形波であり、また出力電圧がそもそも 100 V ではなく 80 ～ 90 V しかないことが原因と思われる。この様なときのために黄色の昇圧スイッチ（ターボスイッチ）があり、これを上に

0. まえがき

1994.7.5~6に中国蘇州で、「中国日本1994夏季流星講習会」が開かれます。南京紫金山天文台の徐品新さんから長谷川一郎さん、藪保男さん経由で紹介があり、出かけることになりました。そのためこの原稿は、漢字とアルファベットのみで書いてあります。

(1994.5.29記)

1. 序文

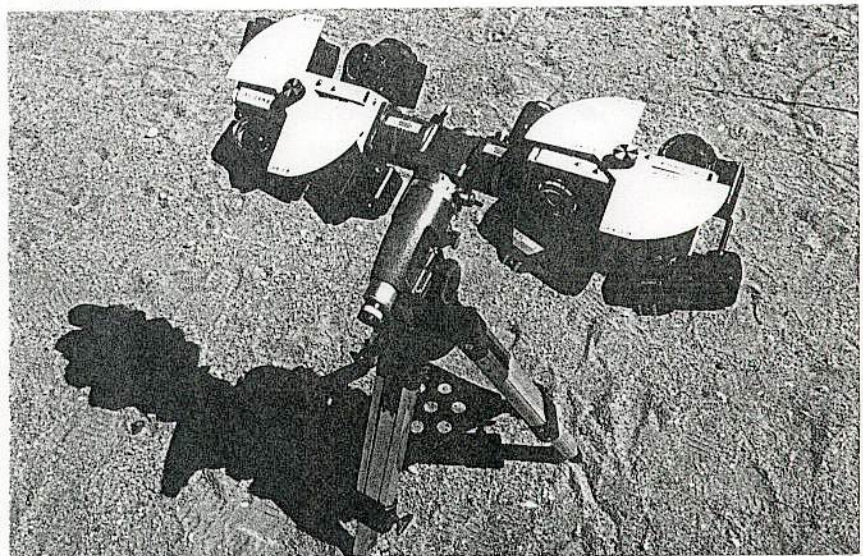
流星物理Seminar-Working-Group活動経年2年了。同志は重野好彦、戸田雅之、塩井宏幸、柳信一郎、進藤泰昭、田中正一。到現在8回観測成功、取得182流星軌道了。TV観測撮影可能7乃至8等級暗流星、多流星観測可能、所以有効微小流星群観測。但是TV的位置測定精度是約100秒角、多少不好。

2. 照相的観測

向來照相的観測経年20年了。但是不可能撮影3等級以下暗流星。所以多流星観測不能。因此10年取得只有32流星軌道了。

照相的観測機器和相片下的介紹。

[相片1. 流星四連
照相儀, 回轉照門
1/50秒]

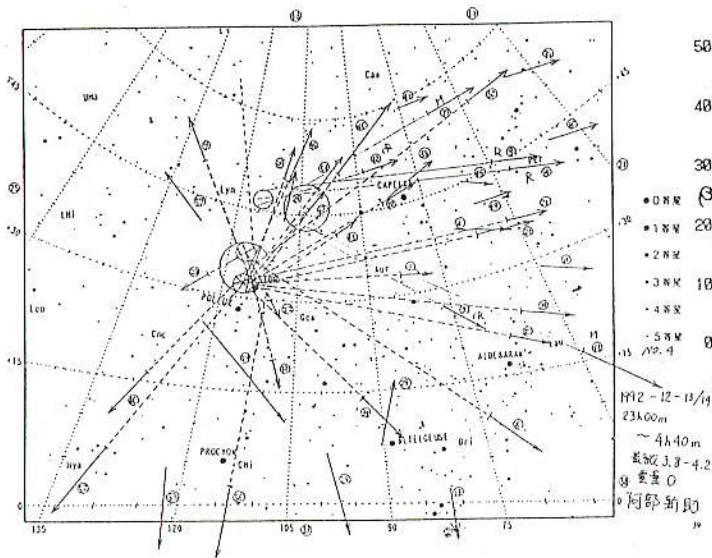


[相片2. 同時2地点
流星相片, -1等級,
(MSSPOE:19890506,
032351JST)]



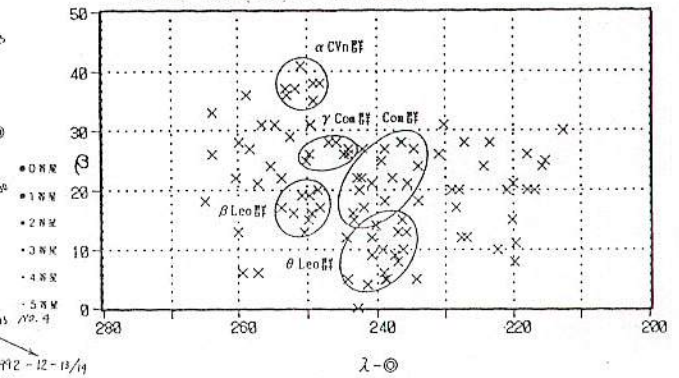
3. 眼的觀測

向來眼的流星經路觀測的輻射點多數取得了，但是位置精度不好。以後TV觀測詳細輻射點和軌道多數取得希望。



[圖1. 眼的經路觀測]

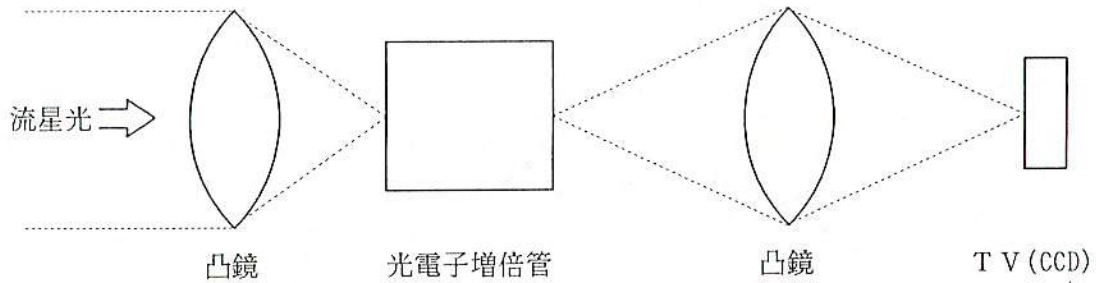
輻射點 黃道座標分布 (1月全体)



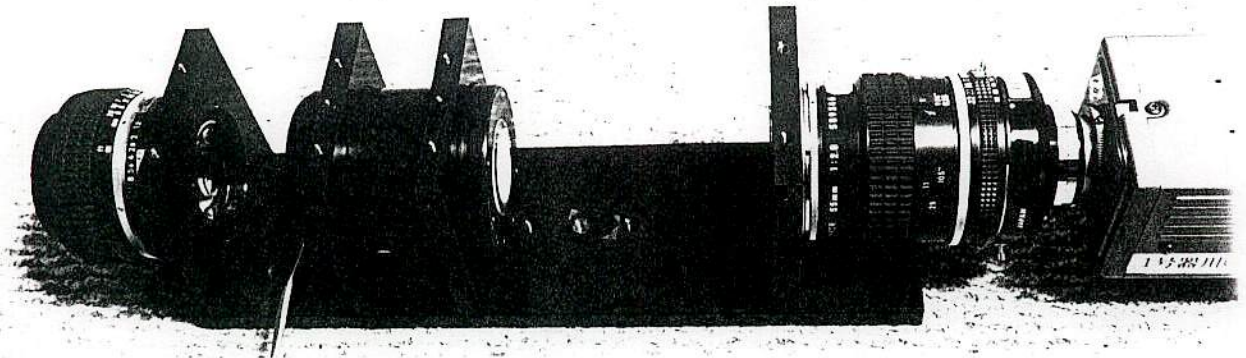
[圖2. 眼的經路觀測的輻射點
資料提供：橋本岳真]

4. TV觀測機器

TV觀測克服以上照相的，眼的觀測弱點。TV觀測使用光電子倍增管(Image Intensifier)。光電子倍增管增加光50000倍。用以下說明圖。



[圖3. TV觀測機器概念圖]



[相片3. TV觀測機器]

9. 軌道計算

軌道計算結果下の介紹. 22全流星はOrion座の流星群. 観測時間は2小時30分.
Orion座の流星群関係Comet・Halley.

[1993.10.25流星軌道]

観測: 塩井宏幸 田中正一 測定: 重野好彦

MSS-WG II-2点同時 50mm F:1.2 写野:13°x17°

北:千葉匝瑳郡野栄町 E:140°35'16".2 N:35°38'37".4 H:2m (距離45.6km)

南:千葉三門 E:140°22'18".2 N:35°16'22".5 H:17m

[要約軌道表]

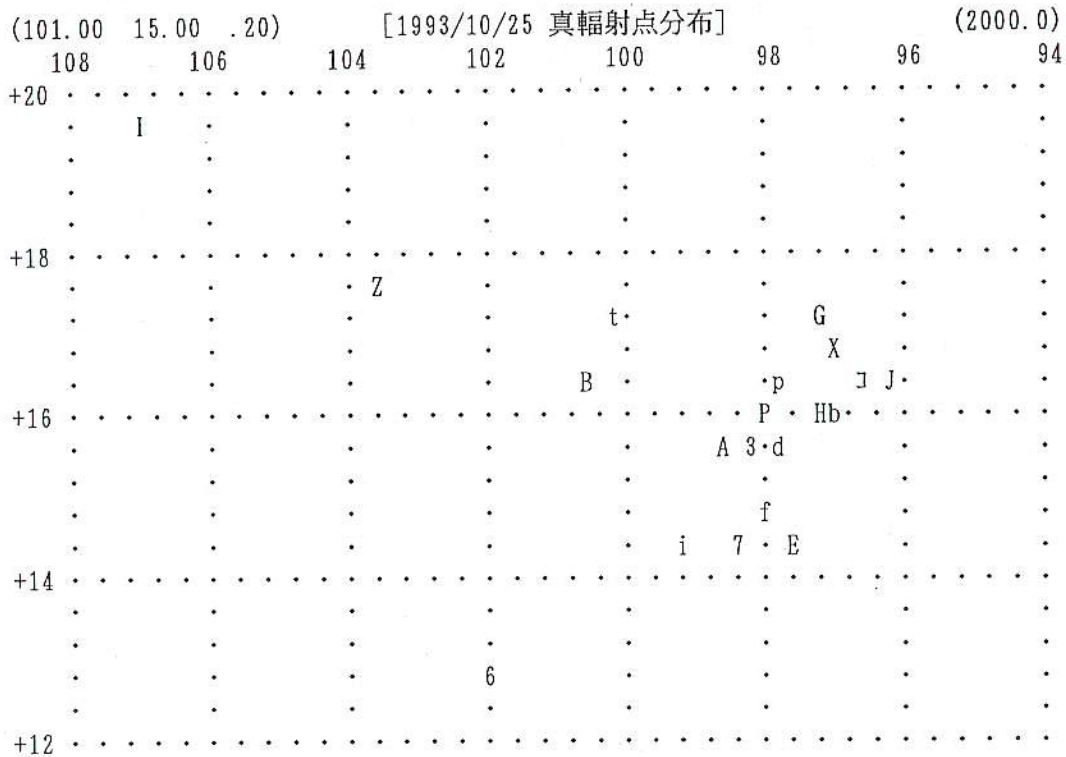
JST:UT+9h

ID	DATE	JST	真RP(2000)	SD	地速	a	e	q	ω	Ω	i
MSSI5J	19931025	020233	96.2 16.5	.6	67.7	-10.	1.053	0.548	82.9	31.4	165.5
MSSI5J	19931025	040318	96.5 16.3	.8	63.5	3.60	0.868	0.474	97.3	31.5	164.0
MSSI5X	19931025	025349	97.0 16.6	.2	65.4	7.52	0.930	0.523	89.0	31.4	165.4
MSSI5H	19931025	015537	97.1 15.9	.3	63.5	3.40	0.856	0.491	95.6	31.4	163.5
MSSI5b	19931025	025740	97.1 16.1	.4	63.8	3.78	0.869	0.495	94.7	31.4	164.0
MSSI5G	19931025	015535	97.2 17.1	.4	64.6	4.78	0.894	0.508	92.1	31.4	166.3
MSSI5E	19931025	015515	97.7 14.3	.4	62.6	2.65	0.814	0.493	97.2	31.4	159.9
MSSI5p	19931025	032239	97.7 16.4	.4	66.8	28.9	0.981	0.563	82.9	31.5	165.4
MSSI5d	19931025	025945	97.8 15.8	.3	66.4	15.6	0.964	0.564	83.2	31.4	164.1
MSSI5N	19931025	021515	97.9 15.7	.9	67.1	361.	0.998	0.578	80.7	31.4	164.1
MSSI5P	19931025	022203	97.9 15.8	.9	68.3	-9.4	1.064	0.600	76.7	31.4	164.7
MSSI5f	19931025	030213	98.1 14.7	.4	64.9	5.11	0.893	0.547	87.4	31.4	161.6
MSSI53	19931025	013625	98.2 15.7	.5	66.4	12.5	0.954	0.573	82.4	31.4	164.1
MSSI57	19931025	014120	98.4 14.5	.6	63.5	3.11	0.831	0.527	92.0	31.4	161.0
MSSI5A	19931025	014619	98.6 15.6	.5	67.2	63.7	0.991	0.597	78.7	31.4	164.1
MSSI5i	19931025	030851	99.3 14.4	.3	64.2	3.45	0.838	0.559	87.7	31.4	161.2
MSSI5K	19931025	020328	99.3 14.4	1.3	60.8	1.79	0.732	0.481	102.9	31.4	160.2
MSSI5t	19931025	033324	100.1 17.4	.8	65.3	4.14	0.860	0.579	84.4	31.5	168.0
MSSI5B	19931025	014746	100.6 16.4	.7	68.7	-19.	1.034	0.657	70.6	31.4	166.7
MSSI56	19931025	013834	102.0 13.0	.5	69.1	-14.	1.052	0.713	63.4	31.4	160.7
MSSI5Z	19931025	025406	103.5 17.7	1.0	64.5	2.49	0.746	0.634	81.3	31.4	169.5
MSSI5l	19931025	015944	107.1 19.5	.4	66.5	3.10	0.760	0.743	65.5	31.4	174.1
--reference(MSSP06, E: η Aqr)--											
Orion(理科年表)			95 16	-	64.5	3.85	0.854	0.562	87	27	164
MSSP06	19890505	033518	336.4 -1.2	.1	65.9	14.2	0.958	0.590	98.7	44.4	163.1
MSSP0E	19890506	032351	337.6 -1.3	.1	66.1	20.3	0.971	0.589	98.9	45.4	164.2
Comet・Halley(理科年表)			- -	-	-	18.0	0.967	0.593	112.0	59.4	162.0

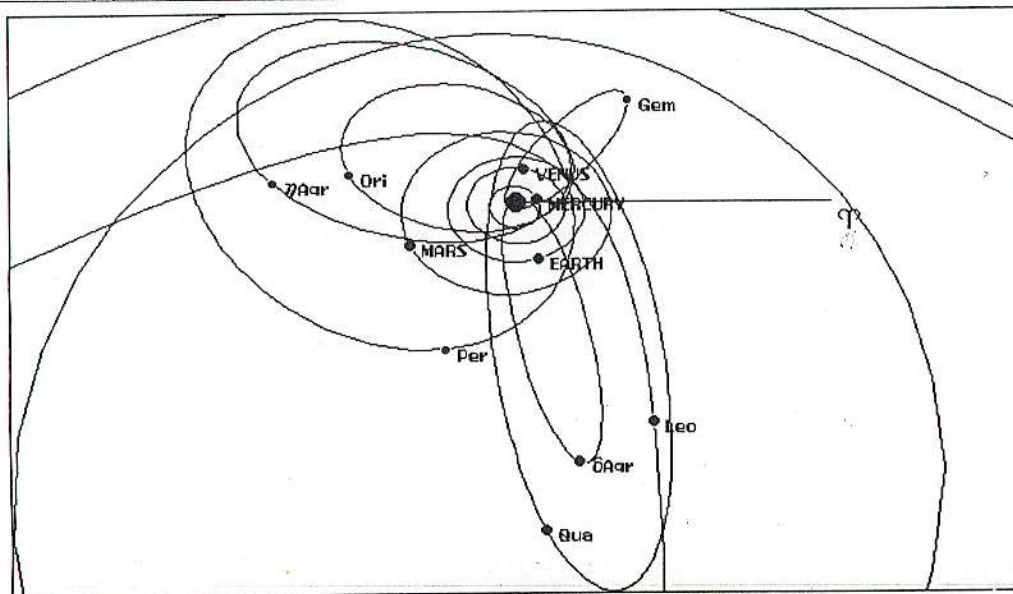
[観測data表]

1993/10/25		等	経路	交	[北] 高度	[南] 高度	平均	観速	地心	日心
ID	太陽黄経	級	長	差	発光	消滅	観速	SD	速度	速度
	(2000)deg	mag	deg	deg	km	km	km/s	km/s	km/s	km/s
MSSI5J	211.392	4	5.9	31	114.3	103.4	68.7	3.2	67.7	43.2
MSSI5J	211.475	6	5.0	24	114.5	102.6	64.4	12.5	63.5	39.2
MSSI5X	211.427	6	8.0	38	117.8	93.6	66.4	9.8	65.4	40.8
MSSI5H	211.387	6	8.7	33	112.9	96.5	64.7	14.7	63.5	39.0
MSSI5b	211.430	6	7.1	34	117.1	96.8	64.9	7.2	63.8	39.4
MSSI5G	211.387	5	5.5	37	114.4	99.3	65.8	7.0	64.6	40.0
MSSI5E	211.387	4	7.7	29	114.5	98.5	63.7	5.1	62.6	38.1
MSSI5p	211.447	6	6.7	29	121.7	97.1	67.7	8.0	66.8	41.9
MSSI5d	211.431	4	8.1	36	118.8	95.2	67.4	6.2	66.4	41.6
MSSI5N	211.400	4	3.1	30	117.3	98.2	68.2	3.9	67.1	42.2
MSSI5P	211.405	5	7.4	34	101.0	96.0	69.4	7.0	68.3	43.3
MSSI5f	211.433	5	6.2	30	120.5	100.8	65.9	5.7	64.9	40.1

MSSI53	211.374	6	5.8	30	113.6	97.4	117.1	104.8	67.5	5.2	66.4	41.4
MSSI57	211.377	5	6.5	29	113.0	101.2	113.6	100.2	64.7	3.6	63.5	38.7
MSSI5A	211.380	3	5.4	29	119.3	98.7	120.6	108.3	68.3	3.1	67.2	42.1
MSSI5i	211.438	3	10.4	30	122.2	95.5	123.9	96.5	65.2	2.6	64.2	39.1
MSSI5K	211.392	6	5.3	30	107.5	102.8	111.5	100.1	62.0	7.7	60.8	35.9
MSSI5t	211.454	6	3.4	31	112.1	99.3	117.5	106.7	66.3	18.7	65.3	39.6
MSSI5B	211.381	3	8.1	38	103.1	97.7	116.6	96.6	69.8	10.9	68.7	42.8
MSSI56	211.375	6	5.3	35	102.6	92.0	102.6	92.9	70.2	7.1	69.1	43.0
MSSI5Z	211.427	7	2.4	39	105.2	95.3	105.0	98.5	65.6	12.1	64.5	37.8
MSSI5I	211.390	4	6.2	36	112.5	101.3	117.0	101.7	67.6	9.7	66.5	38.7



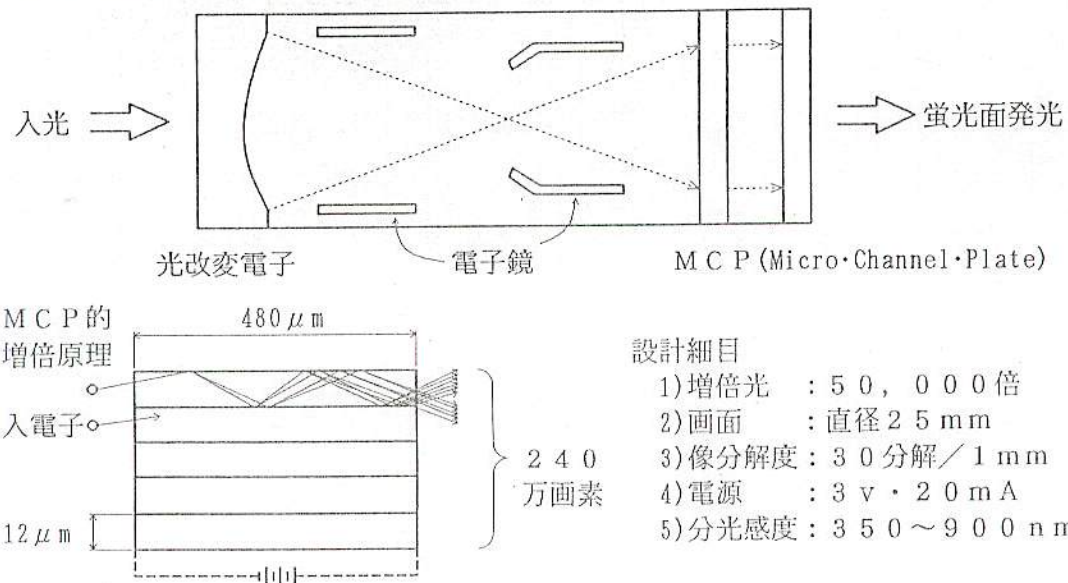
10. 主要流星群轨道要素图



[图6. 轨道要素图, 惑星轨道和主要流星群轨道]

5. 光電子倍增管(Image·Intensifier)的原理

光改變電子，然電子增倍，然再改變光。入光約5 0 0 0 0 倍增強。



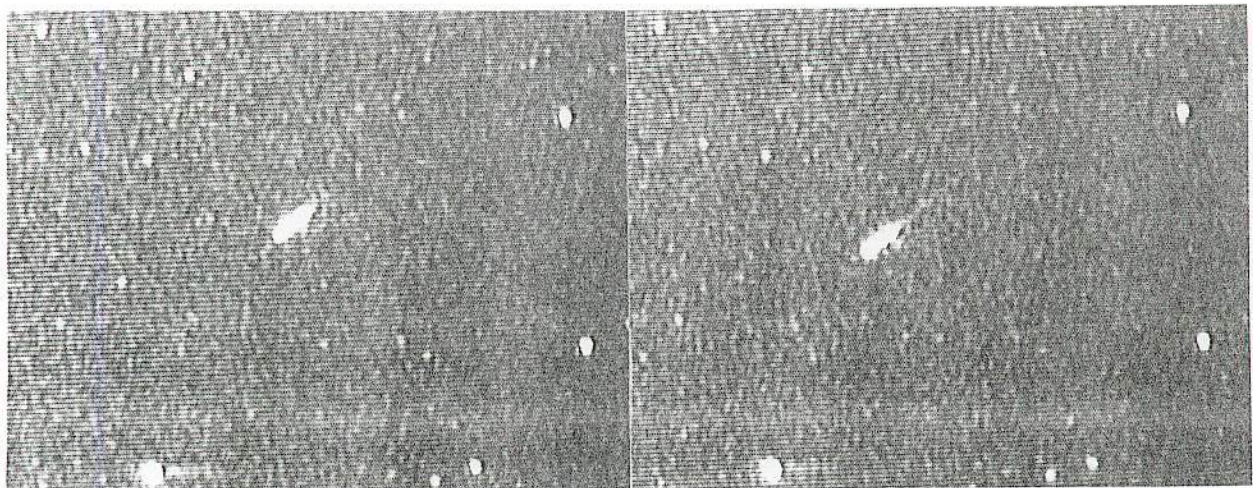
[圖4. 光電子倍增管概念圖]

6. 攝影流星

[表1. 照相的, 眼的, TV的最暗流星比較. 及位置測定精度比較]

觀測方法	最暗流星	位置測定精度
照相	2 ~ 3 等級	約 20 秒角
眼	5 ~ 6 等級	約 1 度角
TV	7 ~ 8 等級	約 100 秒角

TV流星下的介紹.



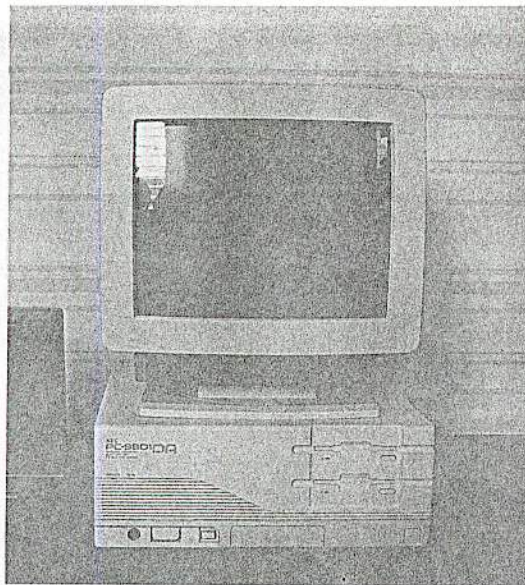
[相片4. 2.5等級, 1/30秒露出, 右相片: 1/30秒後, (MSS11M南:19921231, 040812JST)]

7. 流星位置測定

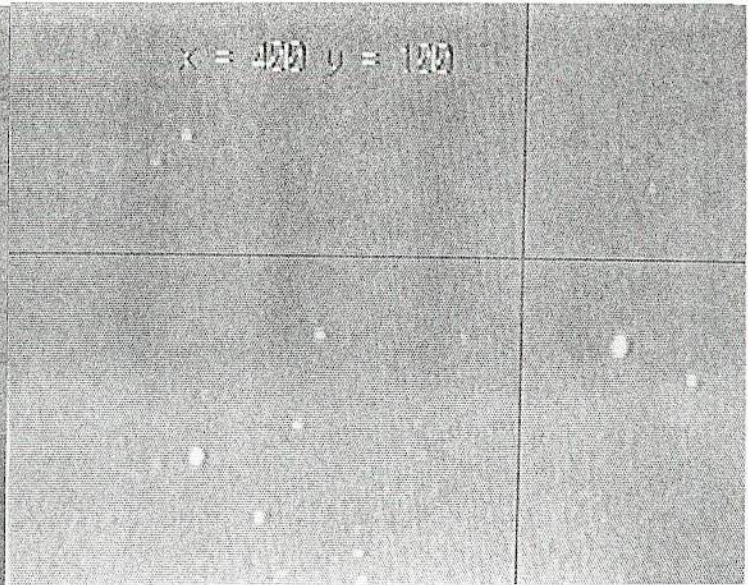
為位置測定利用桌上電腦(Personal·Computer). 画面分解640×400点.

[表2. 凸鏡焦点距離, 画面角度, 每点分解度比較]

凸鏡焦点距離	画面角度	每点分解度
24 mm	約 24 × 36 度角	約 200 秒角
50	12 × 18	100
100	6 × 9	50



[相片 5. 測定用電腦]

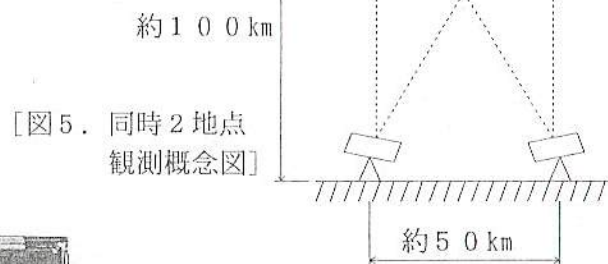


[相片 6. 測定画面]

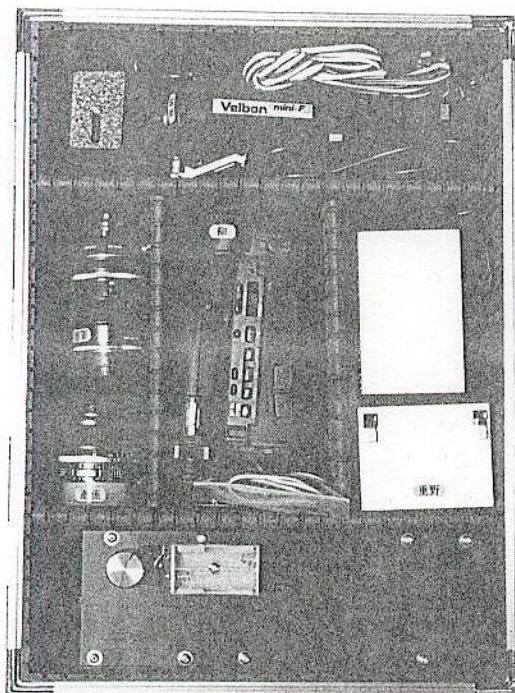
8. 同時2地点観測

同時2地点観測取得流星軌道の必要条件.

T V観測の場合, 可能5乃至30同時流星取得1時間.



[図5. 同時2地点観測概念図]



[相片 7. 観測機器收拾箱]



[相片 8. 組成的TV機器]

1、必要な機材及び機能

- ①保管箱 → 夏高温対策 → 百葉箱方式 → ほこり対策
密閉箱方式 → 太陽電池ファン空冷
台風対策 → 設置方法
夜露対策 → ヒーター
透視ガラス板 → 汚れ対策
図面引いて木造、ペンキ防水
- ②電源 → 商用 AC100v
バッテリー DC12v → インバータ AC100v
(自動車用 35AH) 電圧チェック電圧計
太陽電池充電
20x22cm 4.1w 1.5AH/日(快晴時平均) ¥20,000
- ③ビデオ → カセット自動交換 → 民生用なし
民生用 4台使用(1台予備) 例 SONY EV-PR1 Hi8 AC100v 7w ¥29,800
3時間観測: 3AH
民生用 1台使用 3倍モードで3時間×3回
時刻確認用にラジオ録音 → 選局F E N
- ④観測 → I I 遮光開閉 → モーター駆動
昼/夜自動判定(空の明るさ検出)
スタート → 時計式 → 晴/曇自動判定(空の明るさ検出)
昼/夜自動判定 → 晴/曇自動判定
ポケットベル → 例 東京テレメッセージ ¥1,900/月
同時数台呼出し(グループコール)
DC1.5v必要
間違い電話対策 → 2台使用
2度呼び出し
ビデオ1台予備
- ⑤開発 → 納期短縮 → 分業体制

2、設置場所

千葉東部エリア → 場所探し

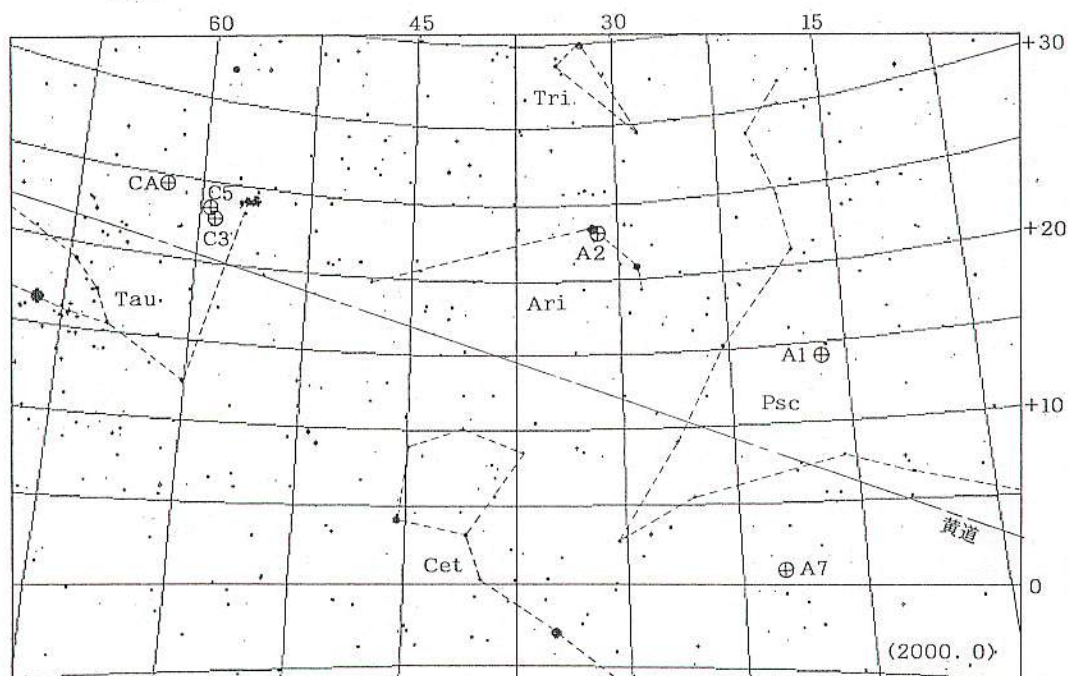
- ①三門 ②野栄 ③印旛 (当初①②のみ) ③ ② 地理上: 逆3角形配置
①

3、問題点

- ①盗難防止 → 安全な設置場所
経緯度非公開
- ②ビデオテープ回収作業 → 回収に便利な設置場所
観測がてら
持ち回り担当
- ③TVモニター流星検出/測定 → 自動検出 → 現状不可能
テープをためない → たまったら観測しない
要員増強

観測：塩井宏幸 田中正一 測定：重野好彦

1. 黄道系



【黄道北系】

《みずがめし北系》

A 1

ID	DATE	UT	真RP(2000)		SD	地速	a	e	q	ω	Ω	i
MSSIA1	19941015	151843	16.7	14.2	.5	18.0	1.64	0.620	0.624	268.7	201.1	3.9

《仮称おひつじ α 群》

A 2

ID	DATE	UT	真RP(2000)		SD	地速	a	e	q	ω	Ω	i
MSSIA2	19941015	151948	31.6	23.2	.2	23.5	1.27	0.709	0.369	301.3	201.1	9.7

《おうし北群》

C 3、C 5、C A

ID	DATE	UT	真RP(2000)		SD 地速		a	e	q	ω	Ω	i
MSSIC3	19941116	180136	59.3	23.3	.9	26.0	2.19	0.802	0.433	285.0	234.2	2.7
MSSIC5	19941116	180934	59.0	22.7	2.9	26.2	2.30	0.810	0.437	284.1	234.3	2.2
MSSICA	19941116	182253	62.3	24.5	1.7	26.6	1.96	0.801	0.390	291.1	234.3	3.6

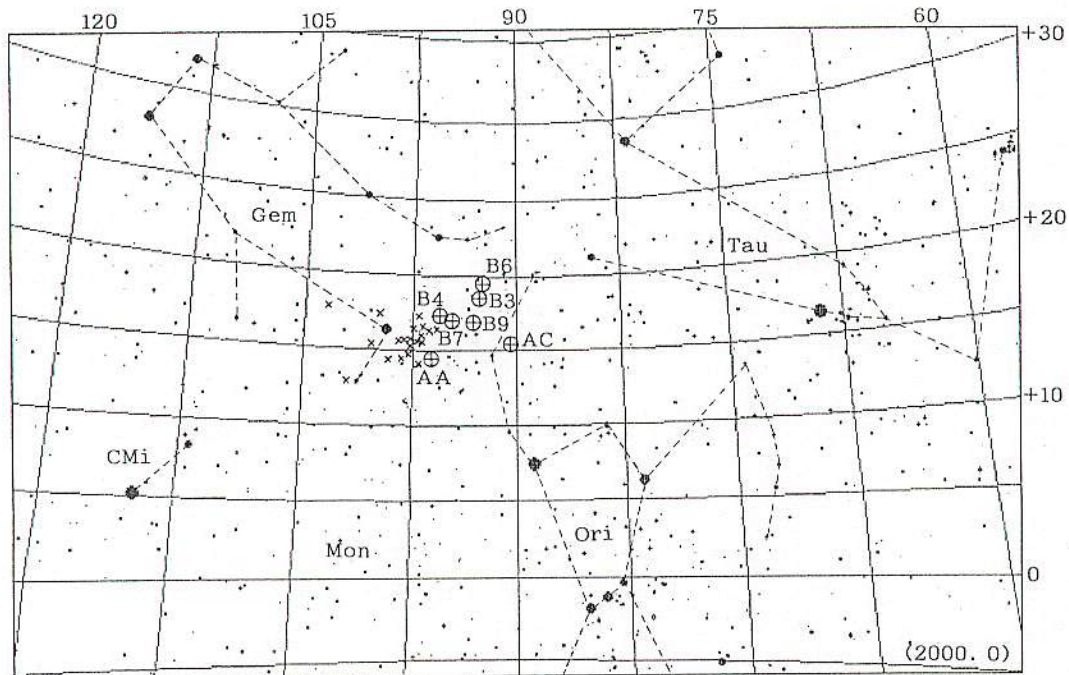
【黄道南系】

《うお南系》

A 7

ID	DATE	UT	真RP(2000)	SD	地速	a	e	q	ω	Ω	i	
MSSIA7	19941015	155110	19.8	.9	1.0	23.5	3.59	0.836	0.588	84.3	21.1	5.2

2. オリオン系

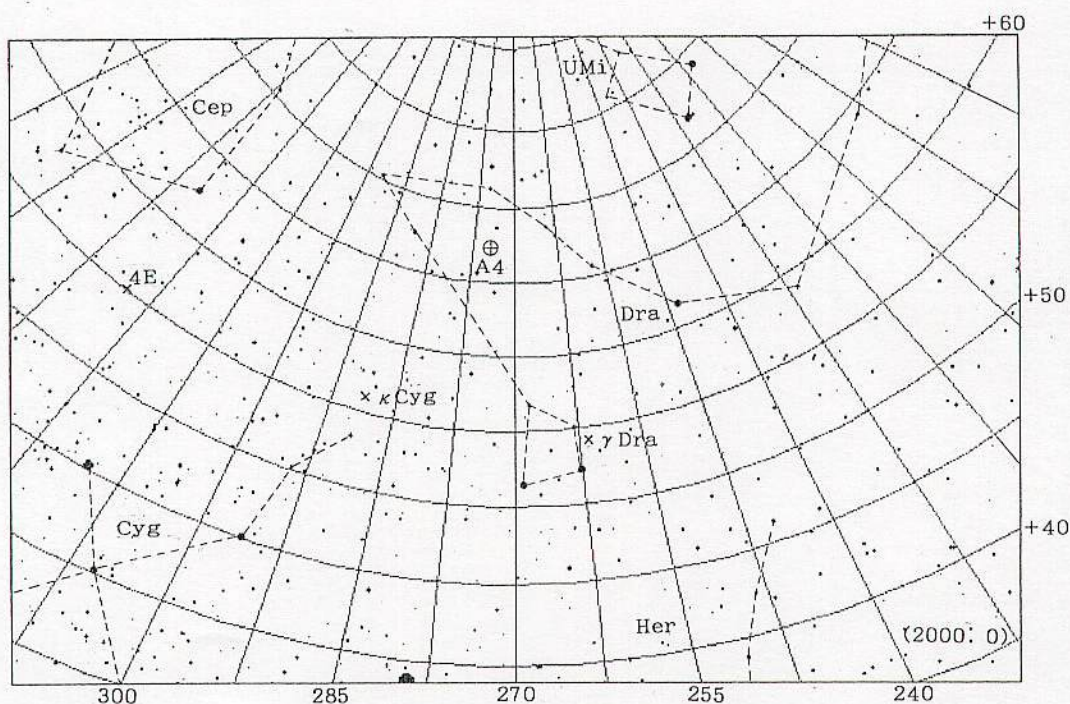


×は1993年10月24/25日のTV観測より

AC、AA、B3、B4、B6、B7、B9

ID	DATE	UT	真RP(2000)	SD	地速	a	e	q	ω	Ω	i	
MSSIAC	19941015	174250	90.4	15.3	2.2	68.8	-13.	1.050	0.674	68.4	21.2	164.0
MSSIAA	19941015	165811	96.2	14.5	3.7	72.5	-3.4	1.246	0.834	45.2	21.2	164.2
MSSIB3	19941022	144724	92.9	18.8	4.3	67.2	-14.	1.036	0.514	87.1	29.1	169.9
MSSIB4	19941022	145852	95.6	17.2	3.7	68.1	-14.	1.041	0.591	78.2	29.1	167.3
MSSIB6	19941022	153333	92.7	19.3	2.9	69.3	-3.6	1.149	0.543	81.3	29.1	171.1
MSSIB7	19941022	154849	94.7	17.0	2.1	67.8	-13.	1.043	0.567	80.9	29.1	166.5
MSSIB9	19941022	155511	93.2	16.9	1.9	66.4	-486	1.001	0.514	88.1	29.1	165.7

3. ジャコビニ関連



A 4

ID	DATE	UT	真RP(2000)	SD	地速	a	e	q	ω	Ω	i
MSSIA4	19941015	152945	274.5 67.7	.4	23.8	2.66	0.626	0.996	185.3	201.1	38.8
MSSI45	19931012	155413	340.0 50.9	.3	17.5	1.84	0.531	0.862	232.7	198.4	24.1
MSSI4E	19931012	163632	317.6 55.1	.1	19.8	3.00	0.686	0.942	210.6	198.5	28.5
ID	DATE		真RP(1950)	SD	地速	a	e	q	ω	Ω	i
P/Giacobini-Zinner(1985XIII)											
	1009		261.6 55.9		20.9		0.708	1.028	172.5	195.4	31.9
γ Dra	1010		262.1 54.1	20	3.51	0.717	0.996	171.8	196.3	30.7	
κ Cyg	0820		289 56	24.2	4.1	0.76	0.97	204.0	144.0	37.0	

※MSSI45, 4Eは1993年のMSS-WGのTV同時観測より

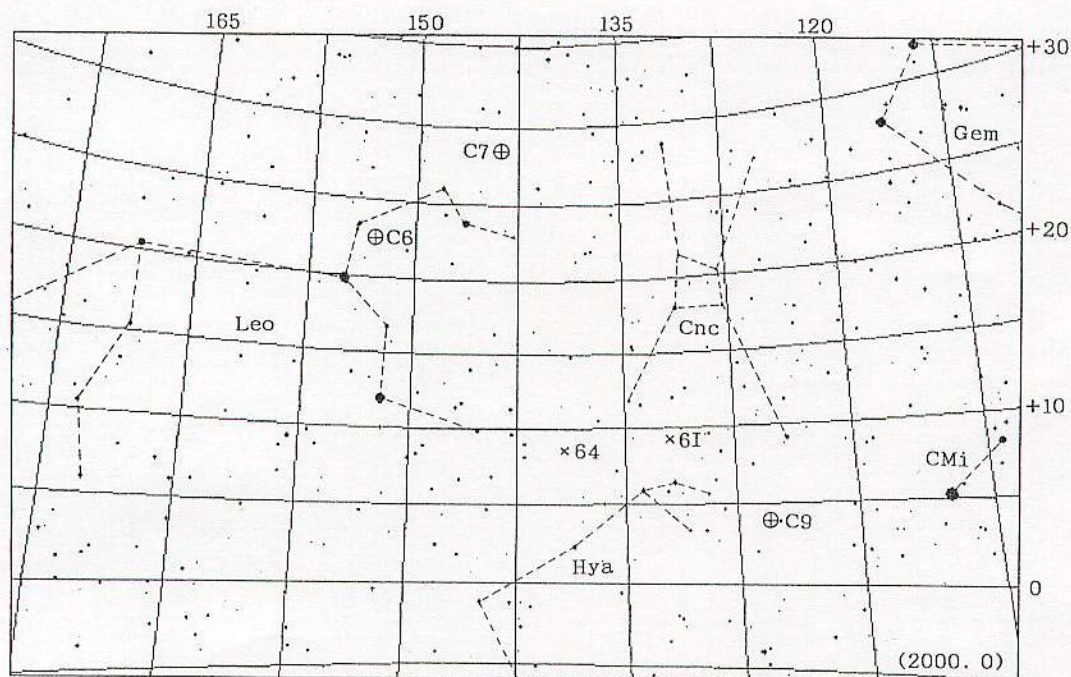
※ κ Cyg, γ Draは「天体観測」ブック / 恒星社厚生閣より

※彗星は「CATALOGUE OF COMETARY ORBITS 1992 -Seventh Edition (J2000.0)

/ BRIAN G. MARSDEN, GARETH V. WILLIAMSより

※彗星からのRPは「Predictions of the Meteor Radiant Point Associated with a Comet / Ichiro HASEGAWAより

4. しし系・うみへびε系



【しし系】

《しし群》

C 6

ID	DATE	UT	真RP(2000)	SD	地速	a	e	q	ω	Ω	i	
MSSIC6	19941116	181123	152.9	22.5	1.1	69.2	4.67	0.789	0.984	171.4	234.2	161.4

《仮称ししκ群》

C 7

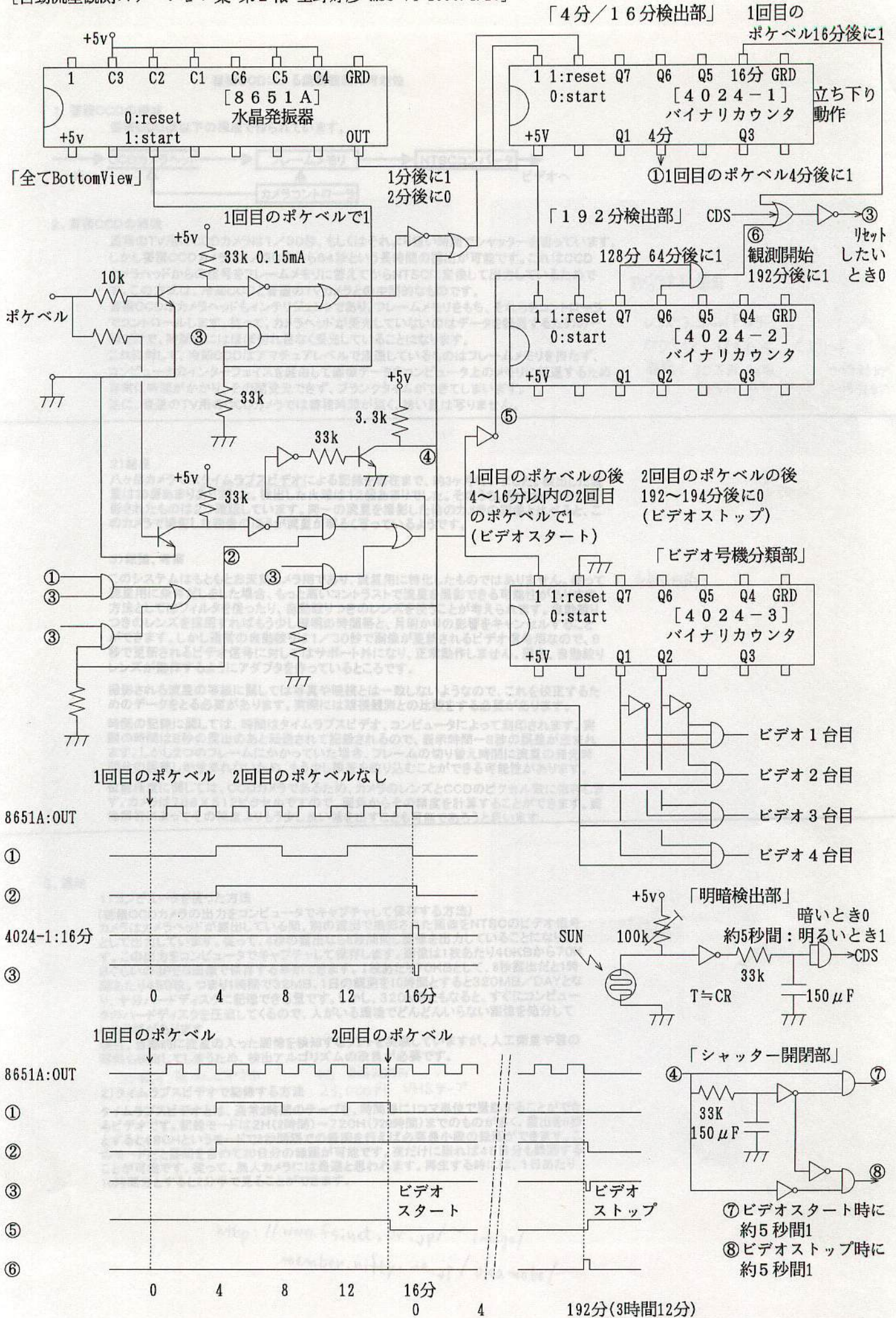
ID	DATE	UT	真RP(2000)	SD	地速	a	e	q	ω	Ω	i	
MSSIC7	19941116	181547	143.9	28.8	.8	70.6	-89.	1.011	0.942	205.0	234.2	156.3

【うみへびε系】

C 9

ID	DATE	UT	真RP(2000)	SD	地速	a	e	q	ω	Ω	i	
MSSIC9	19941116	181835	125.6	3.9	.3	67.5	13.6	0.944	0.760	58.4	54.2	151.3
MSSI64	19931115	161152	139.2	8.8	1.2	70.6	7.92	0.878	0.967	17.9	53.4	168.2
MSSI6I	19931115	170948	132.1	9.3	1.2	68.7	5.27	0.837	0.858	44.8	53.5	165.0

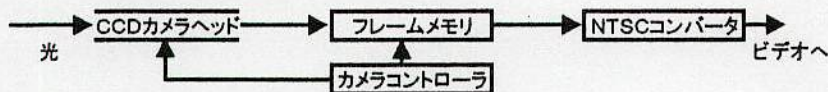
※MSSI64, 6Iは1993年のMSS-WGのTV同時観測より



蓄積CCDによる流星観測の可能性

1、蓄積CCDの構成

蓄積CCDは以下の構成で作られています。



2、蓄積CCDの特徴

通常のTV用のCCDカメラは1/30秒、もしくはそれより短い時間でシャッターを切っています。しかし蓄積CCDカメラは1/30秒から64秒という長時間の露出が可能です。これはCCDカメラヘッドからの信号をフレームメモリに蓄えてからNTSCに変換して出力しているためです。この方式は、冷却CCDと普通のTVカメラとの中間的なものです。

蓄積CCDはカメラヘッドもインテリジェントであり、フレームメモリをもち、それらをコントローラでコントロールします。従って、カメラヘッドが受光していないのはデータを転送するための一瞬だけで、時間的にはほぼ切れ目なく受光していることになります。

これに対して、冷却CCDはアマチュアレベルで流通しているものはフレームメモリを持たず、コンピュータのインターフェイスを経由して画像データをコンピュータ上のメモリに転送するため非常に時間がかかり、その間受光できず、ブランクタイムができてしまいます。

逆に、普通のTV用のCCDカメラでは蓄積時間が短く、暗い星は写りません。

現在8秒露出

レンズ 3.5mm F1.4

CCDサイズ: 1/3インチ Cマウント

価格: 30万円 白黒 ~64秒露出

60万円 カラー CCD ~16秒露出

2)結果

八ヶ岳カメラではタイムラプスビデオによる記録を現在まで、約3ヶ月行いました。検出した流星は20個あまりありました。検出した火球は12個あまりでした。そのうち、他のカメラでも撮影されたものは2つ確認しています。同一の流星を撮影した他のカメラの画像と比べると、このカメラで撮影した画像のほうが流星が明るく写っているようです。

3)結論、考察

このシステムはもともと天気カメラ用であり、流星用に特化したものではありません。従って流星用に条件だしをした場合、もっと高いコントラストで流星を撮影できる可能性があります。方法としてはフィルタを使ったり、自動絞り付きのレンズを使うことが考えられます。自動絞り付きのレンズを採用すればもう少し薄明の時間帯と、月明かりの影響をキャンセルすることができます。しかし通常の自動絞りは1/30秒で画像が更新されるビデオ信号用なので、8秒で更新されるビデオ信号に対してはサポート外になり、正常動作しません。現在、自動絞りレンズが動作するようにアダプタを作っているところです。

当初の目的:

撮影される流星の等級に関しては写真や眼視とは一致しないようなので、これを校正するためのデータをとる必要があります。実際には眼視観測との比較をする必要があります。

時間の記録に関しては、時間はタイムラプスビデオ、コンピュータによって刻印されます。実際の時間は8秒の露出のあと転送されて記録されるので、表示時間-8秒の誤差が生まれます。しかし2つのフレームにかかっていた場合、フレームの切り替え時間に流星の発光時間分の誤差しか生まれないため、もう少し誤差を絞り込むことができる可能性があります。

位置精度に関しては、CCDカメラであるため、カメラのレンズとCCDのピクセル数に依存します。カメラは768×512ピクセルですので、画角からその精度を計算することができます。画像解析によってその精度よりもう少し良い値を出すことも可能であろうと思います。

3、運用

1)コンピュータを使った方法

(蓄積CCDカメラの出力をコンピュータでキャプチャして保存する方法)
カメラはカメラヘッドが露出している間、前の露出で撮影された画像をNTSCのビデオ信号として出力しています。従って、8秒の露出なら8秒間同じ画像を出力していることになります。この出力をコンピュータでキャプチャして保存します。画像は1枚あたり40KBから70KBぐらいのJPEG画像で保存する事ができます。1枚あたり70KBとして、8秒露出だと1時間あたり450枚。つまり1時間で32MB、1日の観測を10時間とすると320MB/DAYとなり、十分ハードディスクに記憶できる量です。しかし、320MBともなると、すぐにコンピュータのハードディスクを圧迫してくるので、人がいる環境でどんどんいらない画像を処分していく必要があります。

現在、自動的に流星の入った画像を検知するソフトを実験していますが、人工衛星や雲の移動も検出してしまうため、検出アルゴリズムの改良が必要です。

コマ撮り 暗いビデオ用

中古 新品20万円

2)タイムラプスビデオで記録する方法

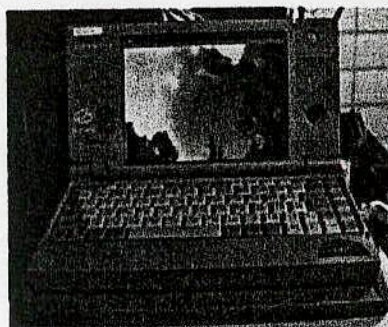
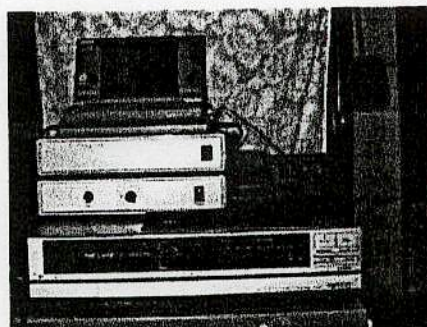
タイムラプスビデオとは、通常2時間のテープを、時間毎に1コマ単位で撮影することができるビデオです。記録モードは2H(2時間)~720H(720時間)までのものが多く、露出を8秒とすると480Hというモードで8秒間隔での録画を行えば必要最小限の録画ができます。このモードだと昼間を含めて20日分の録画が可能です。夜だけに限れば48日分も録画することが可能です。従って、無人カメラには最適と思われます。再生する時には、1日あたり10時間分とすると2分半で見ることができます。

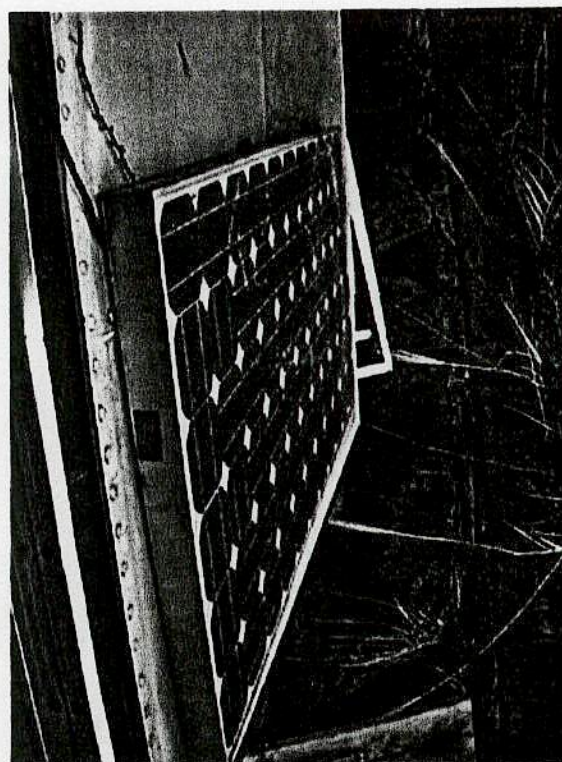
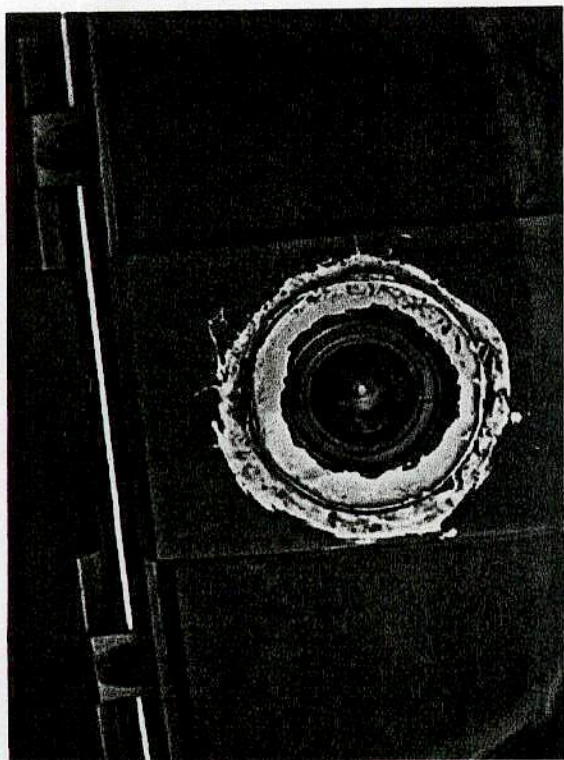
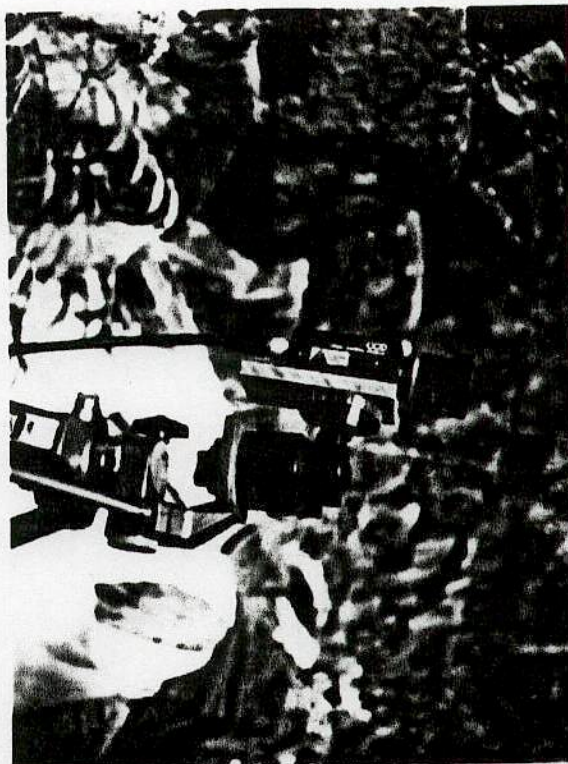
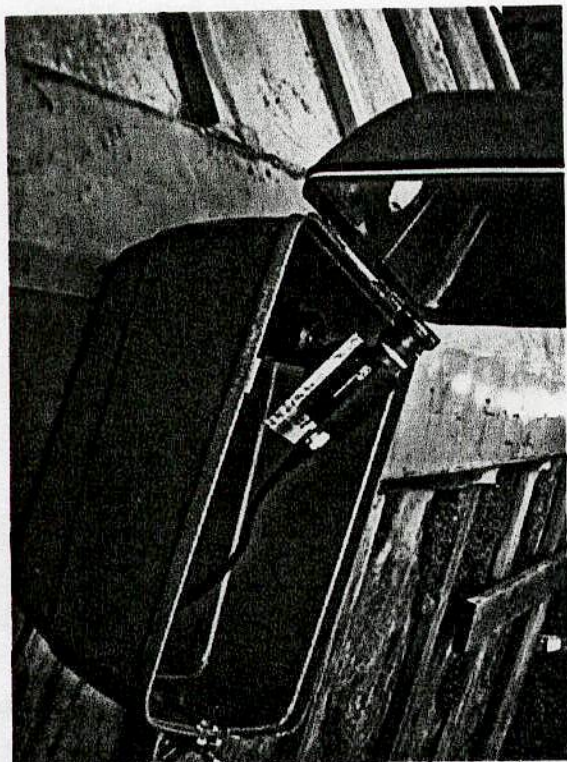
<http://www.fsjnet.or.jp/~image/>

member.nifty.ne.jp/okamoto/



+2° 22' 24"





1. 現在の測定法(リアルタイム測定法)

動画を640×400ドットでリアルタイムに表示させ、カーソルで読み取る。

- 1) 利点・・・画像を取り込まずにリアルタイム測定できるので、測定時間が短い。
- 2) 欠点・・・a) 解像度が不十分
b) コマ送りしながら測定するため、流星経路の全体像がつかめない。

2. 画像処理法

リアルタイム測定法の利点と欠点が逆になる。解像度は800×600ドットを使用。

1) 画像処理ハードウェア

メーカー：I・O DATA

製品名：MPEG Encoder「MPG-BOX」

価格：¥38,000

仕様：

☐ 動画(MPEG-1フォーマット)リアルタイム圧縮

解像度(SIF) 352×240または320×240 30fps

352×288または320×288 25fps

(QSIF) 176×120または160×120 30fps

176×144または160×144 25fps

ビデオビット率 0.2~3.0Mbps(VideoCD:1.15Mbps)

☐ 静止画

解像度 最大1600×1200ドットの超高解像度でキャプチャ可能

保存形式 BMP, JPEG, EPS, TIFF, PCX, TARGA形式

☐ ビデオ入力 コンポジット×1、S端子×1

☐ ビデオ出力 コンポジット×1、パラレル×1(いずれもスルー)

☐ 使用温度範囲 +10°C~+35°C

☐ 使用湿度範囲 20%~80%(結露なきこと)

☐ 電源 DC5V

☐ 外形寸法 83(W)×33(H)×137(L)mm

☐ 重量 180g

☐ 対応機種 DOS/Vマシン(SONY VAIO PCG-5XX, -71X, -72Xは除く)

NEC PC98-NXシリーズ

☐ 動作環境 対応OS Windows98/95

Pentium133MHz以上 メモリ16Mバイト以上

PCM録音対応サウンド環境 CD-ROMドライブ(インストール時)

10Mバイト以上のハードディスクの空き容量

パラレルポート接続

※パラレルポートはECPまたはEPPモード

※ディスプレイはハイカラー以上

☐ 添付品

ACアダプタ コンポジットビデオケーブル S端子ビデオケーブル

オーディオケーブル パラレルポート接続ケーブル

MPEGファイル編集ソフト「ifilm Edit」

(英語版 日本語インストールマニュアル付) MPEGレコーダソフト

2) 画像処理ソフトウェア

Adobe Photoshop

3) 画像処理内容(JR鉄道線路法)

ビデオを1フレーム(1/30秒)毎に、ポジ/ネガを交互に作成し、重ね合わせる。イメージとしては、地形図のJR鉄道線路図風となる。コンポジット効果により、比較星を測定しやすくなり、流星経路全体像も分る。

3. 効果

リアルタイム法と画像処理法で6画像の測定を行った。平均測定誤差は以下の通り。

リアルタイム法・・・83"

画像処理法・・・・・・72"

測定誤差はあまり小さくならなかった。今後、さらに検討を進めたい。

4. 軌道計算結果

リアルタイム法(旧法)と画像処理法(新法)で、3同時流星の比較を示す。全て誤差の大きい流星であり、画像処理法の効果は、はっきりしない。(誤差が大きいため、3流星共にMSS-WGのリストから削除されている)。

[要約軌道表]

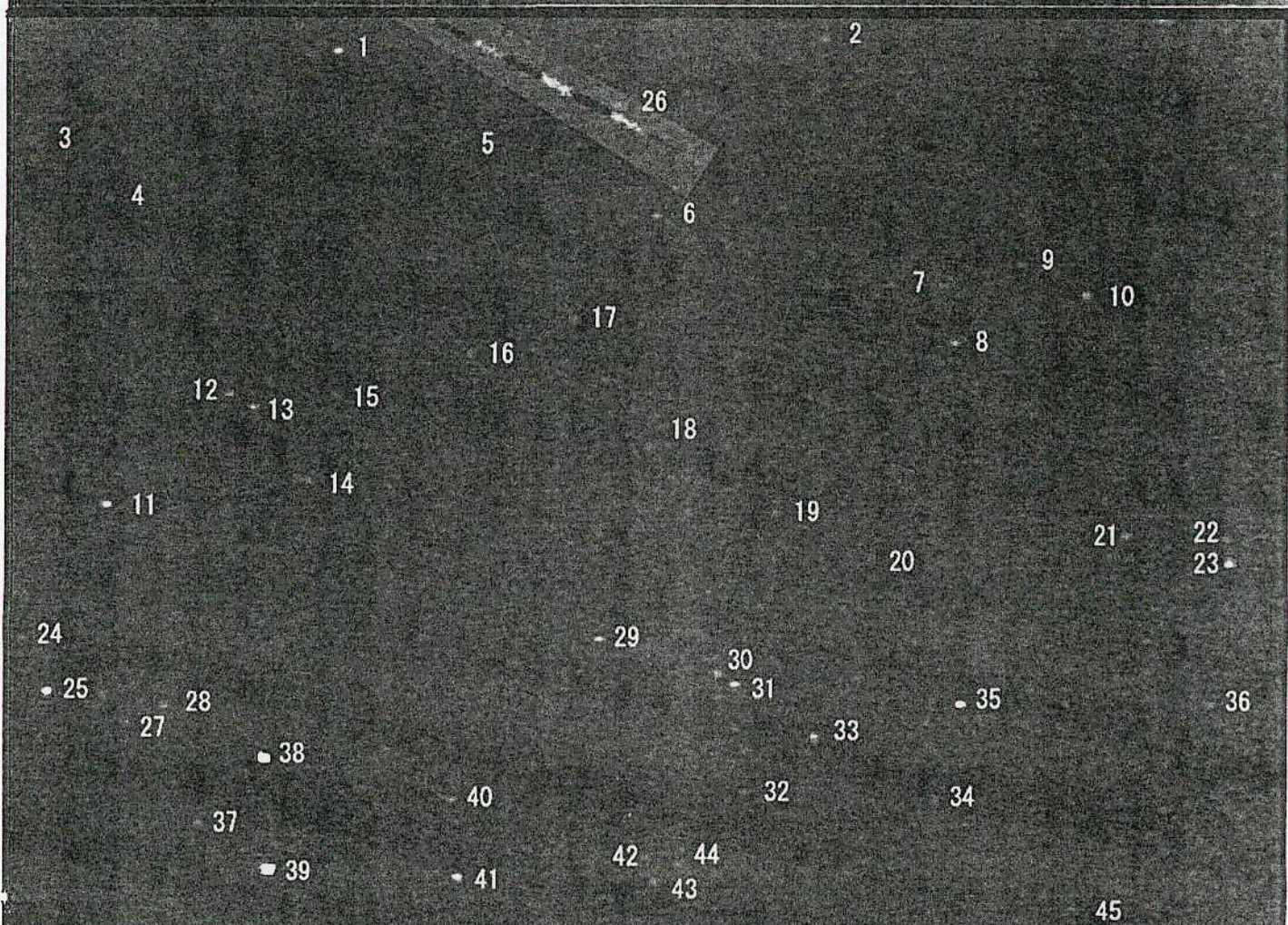
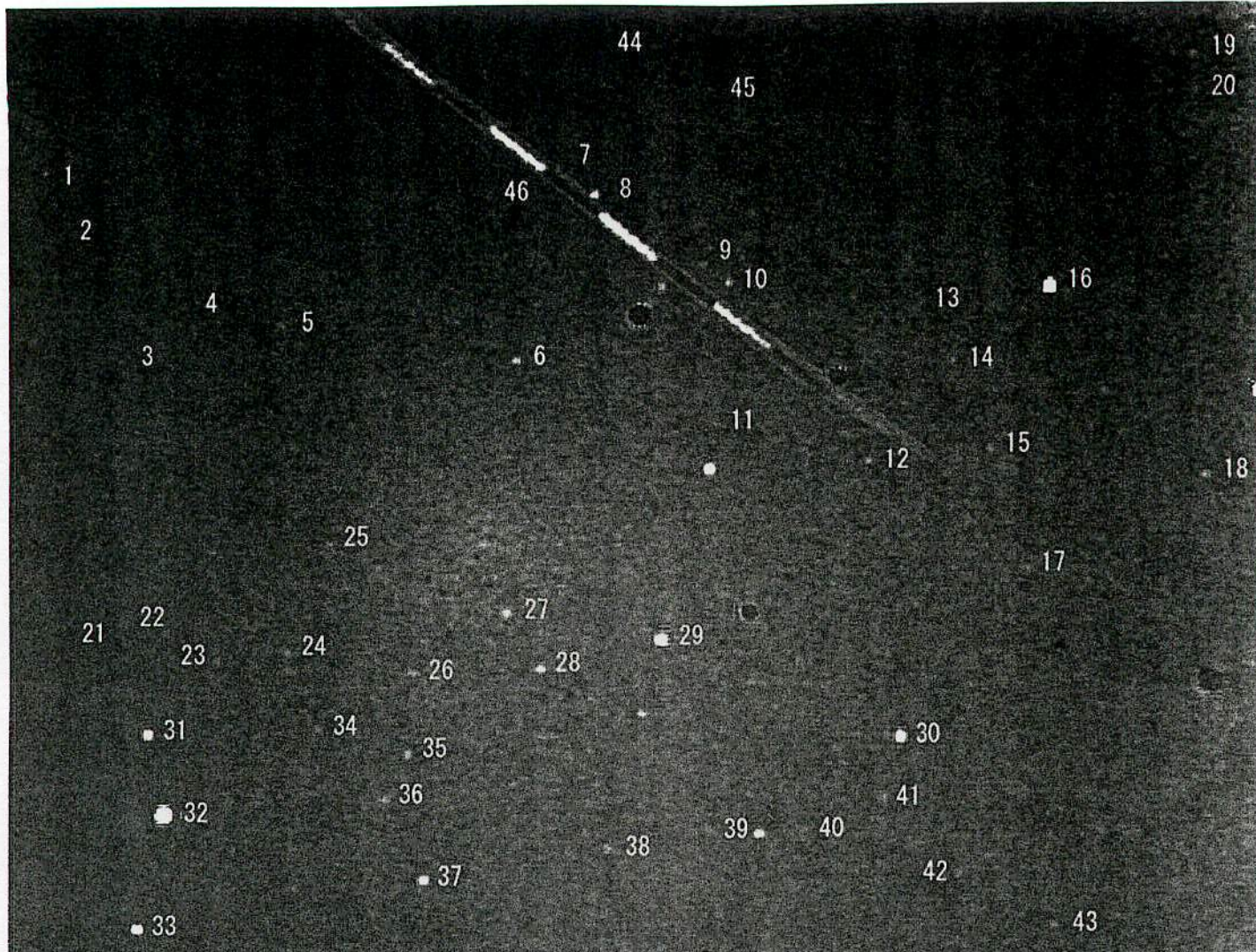
ID	DATE	UT	Co. Rad(2000)	SD	VG	a	e	q	ω	Ω	i	
旧法p1	19990429	162847	311.4	41.4	8.0	35.5	1.29	0.336	0.858	114.3	38.9	68.7
新法p1	19990429	162847	294.2	41.6	4.9	49.1	-6.1	1.165	1.007	177.7	38.9	81.7
旧法p2	19990429	163508	333.8	33.0	18	22.6	.788	0.533	0.368	34.3	38.9	41.1
新法p2	19990429	163508	275.1	33.5	3.4	131.6	-.07	*****	0.956	199.0	38.9	106.3
旧法p3	19990429	165458	240.8	33.6	.2	37.0	-3.4	1.236	0.796	231.7	39.0	48.5
新法p3	19990429	165458	240.4	33.2	.6	29.3	4.39	0.819	0.793	238.1	39.0	40.8

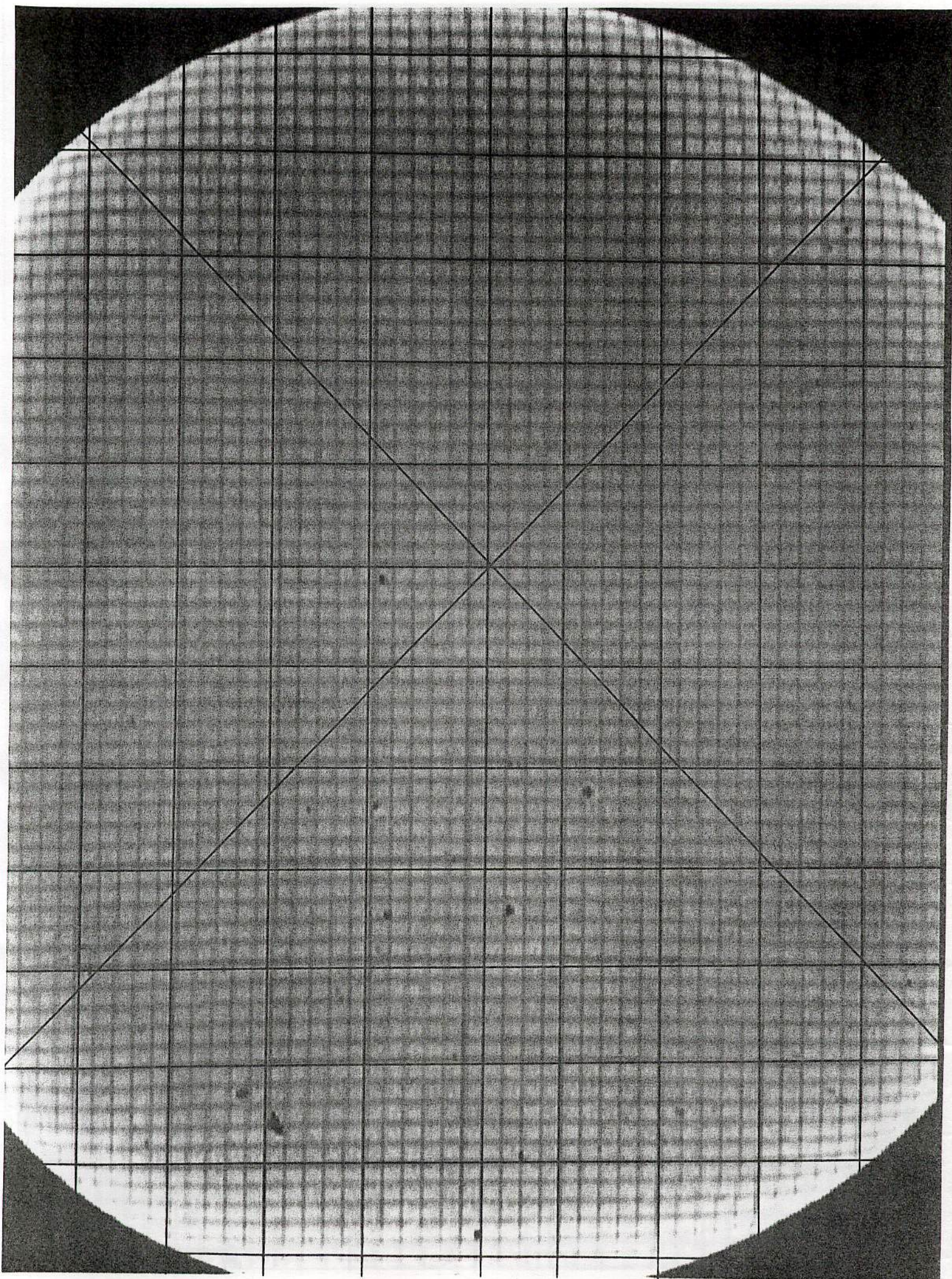
[観測データ表]

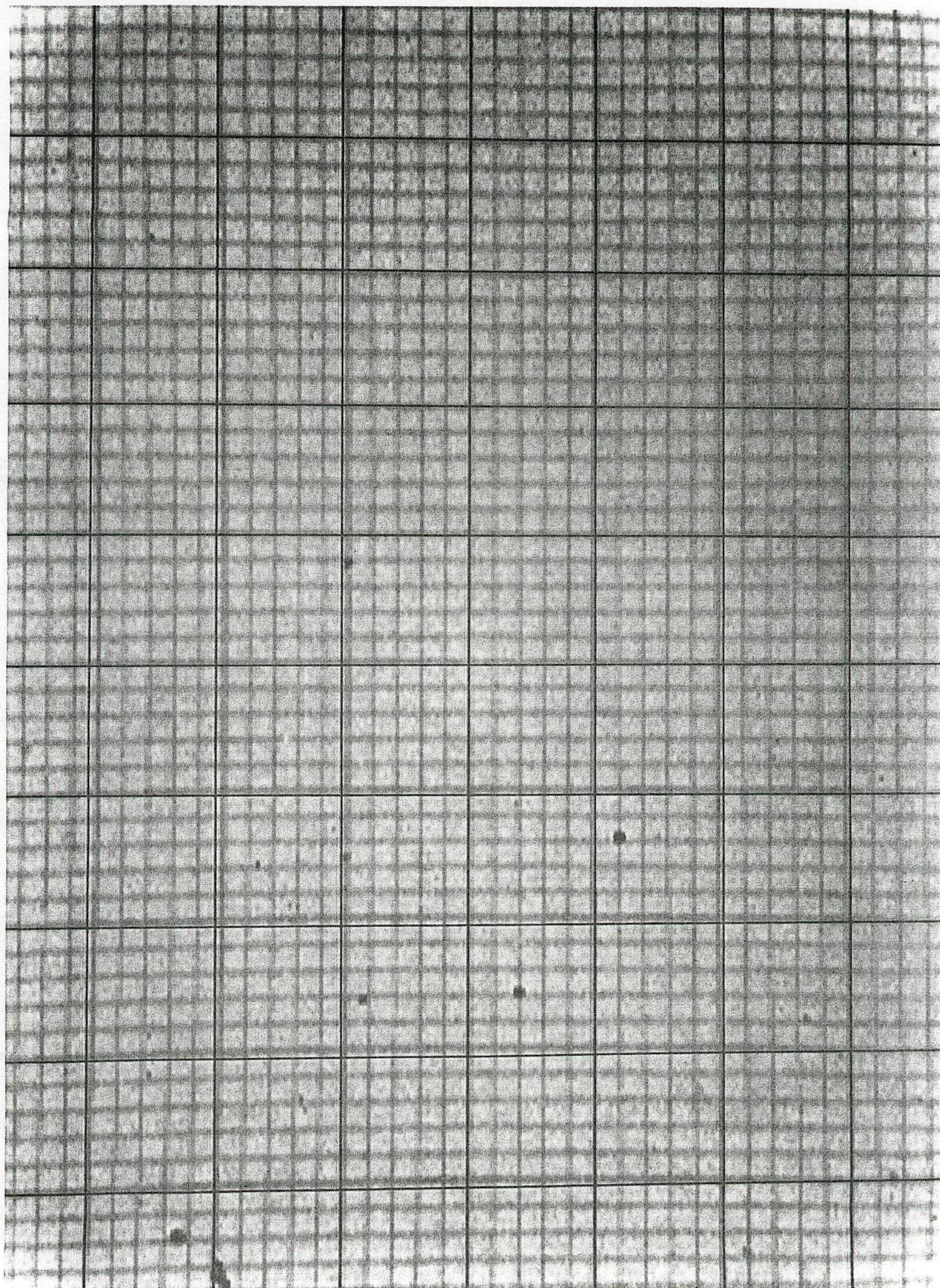
ID	NO	等星板測経路内				等星板測経路内				交絶対		
		級数	SD数	長外FL	deg mm	級数	SD数	長外FL	deg mm	差等級	質量	g
旧法p1	01	2.0 9	98 11	6.5 xo 85	2.0 8	88 8	2.1 xo 85	2	.2	.52		
新法p1	01	2.0 14	93 9	5.1 xo 85	2.0 11	84 8	2.3 xo 85	3	.1	.14		
旧法p2	02	5.0 10	80 13	6.3 oo 85	5.0 10	98 14	4.1 oo 85	1	2.8	.35		
新法p2	02	5.0 15	44 6	2.5 oo 85	5.0 19	61 8	2.1 oo 85	2	3.0	.00018		
旧法p3	03	6.0 7	76 8	.8 oo 85	6.5 6	57 6	1.0 xo 85	84	4.4	.0060		
新法p3	03	6.0 12	69 9	.9 oo 85	6.5 11	82 6	.7 oo 85	83	4.7	.010		

5. 画像イメージ

p1 19990429 162847(UT) 流星の画像イメージを紹介する。







1. 要約

レンズの歪曲収差は糸巻き型、たる型が知られ、光軸中心からの距離の関数で表すことができる。しかし I I の場合、部分部分で様々な歪みが現れ、単純な補正が不可能である。そこで流星切断点毎に切断点周辺の局所的な歪みを補正し、しかも測定誤差を分離する方法を考案し、実際例により検証を行った。

1998年しし群の観測結果を使用して検証したところ、以下のように測定誤差と輻射点誤差が小さくなった。さらに輻射点の広がり、赤経±0.28度、赤緯±0.16度から、赤経±0.21度、赤緯±0.13度と狭くなった。

しかし十分な補正を行うためには、比較星は写野周辺も含めて全体にまんべんなく100個程度取る必要がある。数が少なかったり、周辺に比較星が無い場合、誤差が小さくなったように見えて、実際には大きくずれてしまう危険性があることが分った。

補正なし MSS 平均測定誤差101" 平均輻射点誤差0.26°
補正あり MSs 平均測定誤差 39" 平均輻射点誤差0.11°

	DATE(UT)	S. Long	Co. Rad(2000)	SD	VG	SD
	Y M D	deg	α deg δ deg	deg	km/s	km/s
MSS	19981117.782	235.236	153.72 21.65	.26	70.9	1.3
	SD +/- .020	.021	.28 .16	.07	.8	.4
MSs	19981117.781	235.236	153.80 21.59	.11	70.6	1.3
	SD +/- .021	.021	.21 .13	.04	1.0	.5

2. 偏歪曲収差補正法

2.1. 比較星それぞれの偏歪曲量を調べる

標準座標法で比較星の赤経・赤緯から標準座標(G, E)を求める。次に比較星の測定座標(X_0, Y_0)との関係を1式(平面の式)に当てはめる。つまり最小2乗法で係数(C1~C6)を求める。

$$G = C1 + C2*X_0 + C3*Y_0 \dots (1式)$$

$$E = C4 + C5*X_0 + C6*Y_0$$

1式から逆算して求めた各比較星の推定測定座標を(X_c, Y_c)とし、2式の値を偏歪曲量(D_x, D_y)とする。実際例を図1に示す。

$$D_x = X_0 - X_c \dots (2式)$$

$$D_y = Y_0 - Y_c$$

2.2. 測定誤差を残した偏歪曲量

上記偏歪曲量(D_x, D_y)には、I I の偏歪曲と測定誤差の両方が含まれている。 D_x, D_y を補正すると測定誤差がゼロとなり、その結果、輻射点の誤差を求めることができない。そこでI I の偏歪曲だけを補正して、測定誤差を残す方法を考える。

I I の偏歪曲と測定誤差は以下の原則が成り立つと仮定する。

1) I I の偏歪曲は近くの比較星同士ではだいたい同じ傾向を持っている。

2) 測定誤差はランダムに発生し、I I の偏歪曲より小さい。

任意の座標(X, Y)に於ける測定誤差を残した偏歪曲量(E_x, E_y)は3式(2次曲面)で求められるものとする。このとき3式の係数(K1~K6)は、任意の座標(X, Y)周辺の比較星約10個の D_x, D_y を使用して最小2乗法で求める。これにより求められた誤差を残した偏歪曲量(E_x, E_y)の実際例を図2に示す。

$$E_x = K1 + K2*X + K3*X^2 + K4*Y + K5*Y^2 + K6*X*Y \dots (3式)$$

$$E_y = K7 + K8*X + K9*X^2 + K4*Y + K5*Y^2 + K6*X*Y$$

2.3. 測定誤差を残した偏歪曲量の検証

上記方法を検証するため、比較星を未知の座標(流星切断点)と仮定して赤経・赤緯を求め、真の赤経・赤緯(星表の値)と比較した結果が図3である。おおむね適当な測定誤差を残しながら、適当な赤経・赤緯が求められている様子が分る。

この検証に於いて、比較星を流星切断点と仮定するとき、仮定した切断点位置の比較星は3式の計算には含めていない。

2.4. 流星切断点での偏歪曲量

上記と同様の方法で流星切断点の偏歪曲量を求める。流星切断点1つ1つそれぞれに対して、周辺の比較星約10個を使用して3式に当てはめる。これにより求められた流星切断点での誤差を残した偏歪曲量の計算結果を図4に示す。おおむね適当な偏歪曲が求められている様子が分る。

2.5. 考えられる問題点

- 1) 正しい測定誤差が分ることは非常に重要である。しかし、本報で求めた測定誤差がどの程度正しいかどうかは現在のところ不明である。
- 2) 例題の比較星数は53個であるが、比較星と比較星の間で偏歪曲の傾向が変化し、補正が不十分な場所がある。比較星数は写野全体で100個以上が望ましいようだ。
- 3) 写野周辺で偏歪曲量は急激に大きくなる。よって補正が不十分または過補正となる。そのため写野ぎりぎりの切断点は問題である。補正量の大きい切断点(例えば5ピクセル以上)は自動的に削除するなどの工夫が必要かも知れない。

3. Q & A

3.1. Q: 毎回たくさんの比較星を測定するのは大変だから、1回だけ100個以上測定して、写野全体の補正量を求めておいてはどうか?

A: I I + ビデオ観測の場合、観測地で機材の組み立てを行っている。よって観測毎にC C Dの回転方向、光軸中心などが変化してしまう。I I の蛍光面上に2点以上のマークを付けておき、その座標を毎回測定しておけば、上記方法が可能となるだろう。

ただしI I の電池電圧、ゲイン、地磁気の影響、老朽化などで偏歪曲が変化するかも知れないので、注意が必要だろう。

3.2. Q: 測定誤差を残した補正法で得られた測定誤差と輻射点誤差は、どの程度正しい誤差を表していると思われるか?

A: 今のところ何ともいえないが、ちょっと小さすぎるような気がしている。3点観測や写真観測との比較を行う方法が考えられるが簡単ではない。多くの観測に当てはめてみれば傾向が分るだろう。

3.3. Q: 補正した場合としない場合では、測定誤差がどの程度の値になるものか?

A: 大ざっぱに言って経験的に以下の値となっている。

- 1) 写野全面測定で補正なし ±約3.0ピクセル ±約180秒角 (lens: 85mm)
- 2) 流星周辺比較星のみ使用 ±約1.5ピクセル ±約90秒角
- 3) 偏歪曲収差補正あり ±約0.5ピクセル ±約30秒角

4. 偏歪曲収差補正の実例

4.1. 1993年8月ペルセウス群

レンズ:50mm、基線長:29.2kmのため精度がわるかった。補正により測定誤差、
輻射点誤差が小さくなったように見えるが、輻射点の広がりには狭くなっていない。
そもそも比較星数が18~19個と少ないため補正は不可能。測定誤差、輻射
点誤差が小さくなったように見えるため、補正を行ってはいけない。

補正なし MSS 平均測定誤差160" 平均輻射点誤差1.21"
補正あり MSs 平均測定誤差104" 平均輻射点誤差0.92"

	DATE(UT)	S. Long	Co. Rad(2000)	SD	VG	SD				
	Y M D	deg	α deg δ deg	deg	km/s	km/s				
MSS	19930812.722	140.087	47.45 57.92	1.2	59.8	3.0				
	SD +/- .010	.009	2.58 .62	.43	3.5	1.1				
MSs	19930812.722	140.087	48.43 58.03	.92	59.0	2.9				
	SD +/- .010	.009	2.77 .59	.33	2.8	1.0				
	a	e	q	ω	Ω	i	Abs	Hb	He	
	AU		AU	deg	deg	deg	mag	km	km	
MSS	29.7	0.968	0.950	150.8	140.1	113.5	2.9	113.4	100.3	
	-	.248	.016	5.2	.0	1.7	1.1	2.8	1.0	
MSs	9.50	0.901	0.940	148.0	140.1	112.9	2.9	113.3	99.6	
	-	.198	.022	6.3	.0	1.3	1.2	2.7	2.1	

[要約軌道表]

ID	DATE	UT	Co. Rad(2000)	SD	VG	a	e	q	ω	Ω	i	
MSSI31	19930812	170606	45.9	58.6	1.4	57.6	6.68	0.856	0.959	152.2	140.1	111.2
MSSI32	19930812	170753	43.2	58.2	1.8	66.3	-1.6	1.598	0.986	163.1	140.1	116.4
MSSI36	19930812	171731	48.8	58.1	1.1	59.0	15.8	0.940	0.945	149.3	140.1	113.0
MSSI37	19930812	173500	49.2	57.2	.8	58.9	9.33	0.899	0.941	148.1	140.1	114.1
MSs131	19930812	170606	45.4	58.5	1.0	58.0	8.07	0.881	0.963	153.4	140.1	111.6
MSs132	19930812	170753	45.3	58.4	1.3	64.2	-2.4	1.404	0.976	159.5	140.1	115.4
MSs136	19930812	171731	49.9	58.4	.8	57.9	7.12	0.869	0.933	146.1	140.1	111.9
MSs137	19930812	173500	50.5	57.4	.6	57.7	5.14	0.820	0.926	143.9	140.1	113.2

[観測データ表]

ID	NO	等星級	星数	板測SD数	経路長	内	外	FL	等星級	星数	板測SD数	経路長	内	外	FL	交差等級	絶対質量
		mag		sec	deg	oo	mm		mag		sec	deg	oo	mm		deg	g
MSSI31	01	5.5	18	144	8	4.2	oo	50	5.5	19	176	9	3.3	oo	50	16	3.4 .0036
MSSI32	02	6.0	18	144	6	3.1	oo	50	6.0	19	176	9	4.2	oo	50	18	3.5 .0018
MSSI36	06	6.0	18	144	9	5.2	oo	50	6.0	19	176	9	3.6	oo	50	18	3.6 .0027
MSSI37	07	4.5	18	144	10	5.7	oo	50	1.5	19	176	15	6.5	ox	50	19	1.2 .024
MSs131	01	5.5	18	104	8	4.2	oo	50	5.5	19	104	9	3.3	oo	50	16	3.4 .0035
MSs132	02	6.0	18	104	6	3.2	oo	50	6.0	19	104	9	4.1	oo	50	17	3.5 .0021
MSs136	06	6.0	18	104	9	5.3	oo	50	6.0	19	104	9	3.5	oo	50	18	3.6 .0029
MSs137	07	4.5	18	104	10	5.8	oo	50	1.5	19	104	15	6.4	ox	50	18	1.2 .026

[輻射点、高度表]

1993.08.12/13(2000)視輻射点						楕円 突入		補正輻射点		[P1] 高度	[P2] 高度
ID	太陽黄経	赤経	赤緯	長半	ZR	赤経	赤緯	赤経	赤緯	発光	消滅
	deg	deg	deg	deg	deg	deg	deg	deg	deg	km	km
MSSI31	140.077	45.70	58.27	1.36	38	45.89	58.60	109.7	100.3	110.3	99.3
MSSI32	140.079	43.19	57.92	1.80	37	43.23	58.20	110.2	103.2	113.2	100.4
MSSI36	140.085	48.63	57.83	1.14	38	48.80	58.15	112.9	101.5	111.8	101.3
MSSI37	140.097	49.12	56.94	.77	36	49.21	57.25	108.7	96.3	117.0	96-
MSs131	140.077	45.22	58.16	.95	38	45.39	58.49	110.0	100.5	110.5	99.4
MSs132	140.079	45.18	58.09	1.34	38	45.27	58.37	110.3	103.4	113.2	101.2
MSs136	140.085	49.66	58.08	.83	39	49.87	58.40	112.4	101.1	111.1	101.1
MSs137	140.097	50.41	57.06	.55	37	50.54	57.38	108.9	96.6	116.9	97-

[速度、軌道要素表]

ID	平均 [P1]		平均 [P2]		地心		日心		(2000.0)						
	観速	SD	観速	SD	速度	SD	速度	a	e	q	ω	Ω	i		
	km/s	km/s	km/s	km/s	km/s	km/s	km/s	AU		AU	deg	deg	deg		
MSSI31	61.6	10.4	56.6	5.1	57.6	2.3	40.2	6.68	0.856	0.959	152.2	140.1	111.2		
MSSI32	66.0	1.0	68.0	14.9	66.3	3.9	47.8	-1.65	1.598	0.986	163.1	140.1	116.4		
MSSI36	63.3	16.0	57.0	11.5	59.0	3.9	41.2	15.8	0.940	0.945	149.3	140.1	113.0		
MSSI37	58.9	10.9	60.8	6.6	58.9	1.8	40.7	9.33	0.899	0.941	148.1	140.1	114.1		
MSs131	61.5	10.3	57.3	5.2	58.0	2.3	40.5	8.07	0.881	0.963	153.4	140.1	111.6		
MSs132	65.6	1.1	65.2	14.2	64.2	3.7	46.0	-2.42	1.404	0.976	159.5	140.1	115.4		
MSs136	63.3	15.9	54.9	11.0	57.9	3.9	40.3	7.12	0.869	0.933	146.1	140.1	111.9		
MSs137	59.0	10.8	58.9	6.4	57.7	1.8	39.7	5.14	0.820	0.926	143.9	140.1	113.2		

[測定経路表]

1993.08.12/13 [P1]							視RP / 平均		(2000.0) [P2]							視RP / 平均	
ID	発光点		消滅点		～発	経路	角速	発光点		消滅点		～発	経路	角速			
	deg	deg	deg	deg	deg		deg/s	deg	deg	deg	deg	deg		deg/s			
31	35986	3581	35678	3248	37.4	8.9	21.6	434	5044	25	4849	24.9	7.5	13.7			
32	35022	3654	34775	3416	40.4	13.0	23.8	35339	5173	34796	4934	28.7	6.8	18.2			
36	35219	3976	34779	3592	39.9	7.7	22.8	35353	5371	34855	5172	30.4	8.4	15.7			
37	35790	3644	35342	3207	39.4	6.9	22.2	335	5248	35461	4898	26.3	-	15.6			
31	35988	3581	35682	3252	37.1	8.9	21.4	436	5042	25	4847	24.6	7.4	13.7			
32	35024	3653	34774	3412	41.5	13.1	24.1	35342	5172	34813	4934	29.6	7.2	17.9			
36	35218	3975	34776	3584	40.4	7.7	23.1	35344	5373	34861	5175	30.9	8.7	15.4			
37	35792	3644	35338	3201	40.1	6.9	22.5	334	5247	35479	4898	27.0	-	15.4			

4.2.1995年5月みずがめη群

レンズ:50mm、基線長:32.5kmのため精度がわるかった。補正により測定誤差、
輻射点誤差が小さくなったように見えるが、輻射点の広がりほとんど狭くなっ
ていない。個々の流星の輻射点を見ると、補正前後で大きく変化しているものが
あり、輻射点誤差の意味がなくなっている。

比較星数は54個と少なくない。しかし写野周辺に比較星が無い、特に4コー
ナーに比較星が無かったため、周辺の切断点で大きく過補正が起きてしまった。

補正なし MSS 平均測定誤差149" 平均輻射点誤差0.56"
補正あり MSs 平均測定誤差 89" 平均輻射点誤差0.38"

	DATE(UT)	S. Long	Co. Rad(2000)	SD	VG	SD
	Y M D	deg	α deg δ deg	deg	km/s	km/s
MSS	19950506.725	45.791	338.06 - .78	.56	66.4	1.9
	SD +/- .017	.016	1.34 .53	.16	.5	1.3
MSs	19950506.724	45.790	337.83 -.82	.38	65.8	2.0
	SD +/- .018	.017	1.15 .59	.19	.6	1.3

	a	e	q	ω	Ω	i	Abs	Hb	He
	AU		AU	deg	deg	deg	mag	km	km
MSS	75.7	0.992	0.605	101.4	45.8	163.1	1.9	114.6	99-
	-	.028	.023	2.7	.0	1.4	1.7	-	-
MSs	14.4	0.959	0.584	98.1	45.8	163.7	1.9	115.5	98-
	-	.020	.022	2.9	.0	1.2	1.7	-	-

ID	DATE	UT	Co. Rad(2000)	SD	VG	a	e	q	ω	Ω	i
MSSIE9	19950506	164603	337.8	-.9	.4	66.5	71.2	0.992	0.600	100.8	45.8 163.8
MSSIEE	19950506	172618	339.5	-1.0	.6	66.1	88.1	0.994	0.556	95.8	45.8 164.8
MSSIEF	19950506	173825	336.3	.1	.7	65.7	10.1	0.939	0.618	101.6	45.8 160.7
MSSIEG	19950506	173830	339.9	-1.5	.7	65.8	27.3	0.980	0.543	93.9	45.8 166.0
MSSIEH	19950506	173909	337.5	-.6	.4	66.8	-86.1	1.007	0.613	102.7	45.8 163.1
MSsIE9	19950506	164603	338.7	-1.3	.2	65.4	11.0	0.949	0.560	95.0	45.8 164.7
MSsIEE	19950506	172618	335.3	.5	.5	66.8	53.0	0.988	0.658	107.5	45.8 159.8
MSsIEF	19950506	173825	337.8	-.7	.4	65.1	7.19	0.920	0.574	95.8	45.8 162.9
MSsIEG	19950506	173830	337.5	-.8	.6	66.5	44.2	0.986	0.607	101.5	45.8 163.3
MSsIEH	19950506	173909	338.1	-1.0	.2	66.0	17.2	0.966	0.584	98.2	45.8 164.0

ID	NO	等星級	板数	測経路内	等星級	板数	測経路内	交絶対	質量
		mag	sec	deg mm	mag	sec	deg mm	deg mag	g
MSSIE9	09	6.0	20	134 18 18.5 xx 50	5.0	20	211 15 19.7 xx 50	17 2.7	.030
MSSIEE	14	5.0	20	123 13 12.8 ox 50	5.0	16	116 10 9.4 ox 50	16 2.2	.022
MSSIEF	15	4.5	20	150 15 15.5 xx 50	5.0	18	169 10 10.9 ox 50	17 2.1	.018
MSSIEG	16	6.5	20	132 15 14.5 xx 50	6.5	16	126 7 8.2 ox 50	18 3.4	.0066
MSSIEH	17	1.0	20	155 18 19.1 xx 50	1.0	20	176 17 18.9 xx 50	18 -1.1	.34
MSsIE9	09	6.0	20	72 18 18.3 xx 50	5.0	20	107 15 19.4 xx 50	17 2.7	.037
MSsIEE	14	5.0	20	82 13 12.7 ox 50	5.0	16	112 10 9.3 ox 50	17 2.2	.016
MSsIEF	15	4.5	20	73 15 15.3 xx 50	5.0	18	94 10 10.8 ox 50	17 2.1	.020
MSsIEG	16	6.5	20	86 15 14.5 xx 50	6.5	16	114 7 8.2 ox 50	18 3.4	.0055
MSsIEH	17	1.0	20	73 18 18.8 xx 50	1.0	20	81 17 18.7 xx 50	17 -1.1	.37

1995.05.06/07(2000)視輻射点					楕円 突入		補正輻射点		[P1] 高度	[P2] 高度	
ID	太陽黄経	赤経	赤緯	長半	ZR	赤経	赤緯	発光	消滅	発光	消滅
	deg	deg	deg	deg	deg	deg	deg	km	km	km	km
MSSIE9	45.765	337.27	- .52	.44	84	337.80	- .93	106+	102-	106+	103-
MSSIEE	45.792	339.03	- .64	.60	78	339.45	-1.02	114.6	109-	112.9	109-
MSSIEF	45.800	335.94	.49	.67	72	336.28	.14	117+	106-	114.2	107-
MSSIEG	45.800	339.50	-1.12	.73	76	339.90	-1.50	106+	99-	103.3	100-
MSSIEH	45.801	337.12	- .30	.36	73	337.47	- .65	115+	103-	116+	105-
MSsIE9	45.765	338.17	- .82	.22	85	338.74	-1.26	106+	103-	106+	103-
MSsIEE	45.792	334.94	.85	.49	73	335.30	.50	115.5	108-	113.1	108-
MSsIEF	45.800	337.38	- .30	.38	73	337.75	- .67	116+	107-	114.0	108-
MSsIEG	45.800	337.13	- .43	.62	73	337.48	- .78	107+	98-	103.5	99-
MSsIEH	45.801	337.77	- .66	.17	74	338.14	-1.02	114+	104-	116+	105-

ID	平均観速	[P1] SD	平均観速	[P2] SD	地心速度	日心速度	a	e	q	ω	Ω	i
	km/s	km/s	km/s	km/s	km/s	km/s	AU		AU	deg	deg	deg
MSSIE9	67.6	13.6	68.1	11.8	66.5	2.4	41.8	71.2	0.992	0.600	100.8	45.8 163.8
MSSIEE	67.4	10.0	67.3	7.8	66.1	2.1	41.8	88.1	0.994	0.556	95.8	45.8 164.8
MSSIEF	67.2	5.3	66.7	1.8	65.7	1.0	40.9	10.1	0.939	0.618	101.6	45.8 160.7
MSSIEG	66.8	14.0	67.9	21.5	65.8	3.8	41.5	27.3	0.980	0.543	93.9	45.8 166.0
MSSIEH	67.9	3.0	68.3	2.4	66.8	.5	42.0	-85.6	1.007	0.613	102.7	45.8 163.1
MSsIE9	66.6	13.1	67.0	12.0	65.4	2.3	41.0	11.0	0.949	0.560	95.0	45.8 164.7
MSsIEE	68.6	10.1	67.3	7.4	66.8	2.1	41.7	53.0	0.988	0.658	107.5	45.8 159.8
MSsIEF	66.4	5.7	66.2	2.0	65.1	1.0	40.4	7.19	0.920	0.574	95.8	45.8 162.9
MSsIEG	67.6	14.2	68.3	21.5	66.5	3.8	41.7	44.2	0.986	0.607	101.5	45.8 163.3
MSsIEH	67.0	3.1	67.5	2.0	66.0	.5	41.3	17.2	0.966	0.584	98.2	45.8 164.0

1995.05.06/07 [P1]	視RP / 平均	(2000.0) [P2]	視RP / 平均
ID 発光点 消滅点 ~発経路角速	deg deg deg deg deg/s	deg deg deg deg deg/s	deg deg deg deg deg/s
E9 26393 1695 24451 1778 74.2	- 35.0	26974 3306 24605 3530 71.6	- 36.4
EE 26809 1617 25480 1714 71.9	- 32.1	26561 3242 25450 3352 76.4	- 34.4
EF 27535 1977 25893 2182 62.3	- 31.6	27398 3624 26064 3866 67.4	- 33.2
EG 27385 1314 25894 1448 66.6	- 33.4	27010 3074 26058 3211 73.0	- 37.5
EH 27691 1834 25676 2077 62.0	- 32.4	28282 3290 26033 3787 60.8	- 33.4
E9 26376 1687 24462 1770 75.3	- 34.6	26953 3329 24608 3537 72.7	- 36.1
EE 26810 1618 25487 1707 67.6	- 32.0	26562 3241 25463 3369 72.2	- 34.1
EF 27527 1966 25903 2179 64.0	- 31.5	27401 3623 26068 3858 69.0	- 33.2
EG 27384 1320 25895 1451 64.1	- 33.3	27010 3073 26066 3220 70.6	- 37.4
EH 27677 1825 25702 2066 62.8	- 32.1	28261 3305 26036 3783 61.8	- 33.2

4.3.1998年11月しし群

レンズ:85mm、基線長:43.3kmのため精度が良かった。補正により輻射点の広がり
は狭くなった。しかし速度のばらつきは大きくなった。測定誤差、輻射点誤差
が非常に小さくなったように見えるが、はたして正確な誤差を表しているか不明?

補正なし MSS 平均測定誤差101" 平均輻射点誤差0.26"
補正あり MSs 平均測定誤差39" 平均輻射点誤差0.11"

	DATE(UT)	S. Long	Co. Rad(2000)	SD	VG	SD
	Y M D	deg	deg	deg	km/s	km/s
MSS	19981117.782	235.236	153.72	21.65	.26	70.9
	SD +/- .020	.021	.28	.16	.07	.8

MSs	19981117.781	235.236	153.80	21.59	.11	70.6
	SD +/- .021	.021	.21	.13	.04	1.0

	a	e	q	ω	Ω	i	Abs	Hb	He
	AU		AU	deg	deg	deg	mag	km	km
MSS	13.2	0.926	0.984	172.0	235.2	162.5	4.0	118.1	100.4
	-	.065	.001	1.0	.0	.5	.6	4.0	1.8
MSs	9.56	0.897	0.984	171.5	235.2	162.6	4.0	118.2	100.5
	-	.076	.001	1.0	.0	.4	.6	4.1	1.8

ID	DATE	UT	Co. Rad(2000)	SD	VG	a	e	q	ω	Ω	i
MSSliY	19981117	180524	153.7	21.6	.2	71.5	69.8	0.986	0.984	172.3	235.2
MSSlie	19981117	183136	154.1	21.9	.3	69.8	5.97	0.835	0.983	170.7	235.2
MSSlif	19981117	183136	153.7	21.5	.2	71.3	25.7	0.962	0.984	172.0	235.2
MSSlio	19981117	190324	154.1	21.5	.3	71.6	124.	0.992	0.983	171.1	235.2
MSSlir	19981117	191418	153.7	21.8	.2	70.4	8.46	0.884	0.984	172.2	235.3
MSSlis	19981117	191813	153.2	21.7	.3	71.3	29.3	0.966	0.986	173.9	235.3
MSsliY	19981117	180524	153.9	21.4	.1	70.7	11.2	0.912	0.983	170.9	235.2
MSslic	19981117	183136	154.1	21.8	.1	69.3	4.61	0.787	0.982	170.0	235.2
MSs lif	19981117	183136	153.8	21.5	.1	71.0	16.6	0.941	0.984	171.6	235.2
MSslio	19981117	190324	153.8	21.5	.1	72.0	-32.	1.031	0.984	172.1	235.2
MSs lir	19981117	191418	153.7	21.7	.1	70.2	7.14	0.862	0.984	171.9	235.3
MSs lis	19981117	191813	153.4	21.7	.1	71.3	24.6	0.960	0.985	173.3	235.3

ID	NO	等星級	板測SD	経路長	内FL	等星級	板測SD	経路長	内FL	交差等級	絶対質量
		mag	sec	deg	mm	mag	sec	deg	mm	deg	mag
MSSliY	34	6.5	19	121	12	8.6	xo	85	6.5	18	84
MSSlie	40	8.0	16	100	8	3.9	xo	85	7.5	17	97
MSSlif	41	7.5	19	80	11	6.7	oo	85	7.5	18	93
MSSlio	50	7.5	15	91	6	4.1	oo	85	7.5	16	108
MSSlir	53	6.0	18	108	12	6.4	ox	85	5.5	19	125
MSSlis	54	7.0	15	107	8	3.3	oo	85	6.5	13	96
MSsliY	34	6.5	19	38	12	8.5	xo	85	6.5	18	35
MSslic	40	8.0	16	36	8	3.9	xo	85	7.5	17	39
MSs lif	41	7.5	19	34	11	6.7	oo	85	7.5	18	29
MSslio	50	7.5	15	39	6	4.1	oo	85	7.5	16	46
MSs lir	53	6.0	18	40	12	6.4	ox	85	5.5	19	44
MSs lis	54	7.0	15	43	8	3.3	oo	85	6.5	13	50

1998.11.17/18(2000)	視輻射点	楕円突入	補正輻射点	[P1] 高度	[P2] 高度
ID	太陽黄経	赤経	赤緯	長半	ZR
	deg	deg	deg	deg	deg
MSSliY	235.208	153.65	21.64	.22	42
MSSlie	235.226	154.09	21.95	.31	37
MSSlif	235.226	153.74	21.55	.19	37
MSSlio	235.248	154.18	21.56	.34	32
MSSlir	235.256	153.80	21.85	.19	29
MSSlis	235.259	153.33	21.70	.33	28
MSsliY	235.208	153.90	21.49	.08	43
MSslic	235.226	154.13	21.84	.13	38
MSs lif	235.226	153.84	21.56	.07	37
MSslio	235.248	153.94	21.59	.13	31
MSs lir	235.256	153.80	21.71	.07	29
MSs lis	235.259	153.54	21.77	.15	28

ID	平均観速	[P1] SD	平均観速	[P2] SD	地心速度	日心速度	a	e	q	ω	Ω	i
	km/s	km/s	km/s	km/s	km/s	km/s	AU		AU	deg	deg	deg
MSSliY	71.4	5.6	74.0	4.3	71.5	1.2	42.2	69.8	0.986	0.984	172.3	235.2
MSSlie	70.4	2.7	71.8	2.6	69.8	.9	40.6	5.97	0.835	0.983	170.7	235.2
MSSlif	71.1	9.5	73.6	7.7	71.3	2.1	42.0	25.7	0.962	0.984	172.0	235.2
MSSlio	71.9	3.0	73.0	4.8	71.6	1.4	42.3	124.	0.992	0.983	171.1	235.2
MSSlir	72.0	6.5	71.0	1.7	70.4	1.0	41.1	8.46	0.884	0.984	172.2	235.3
MSSlis	72.8	5.1	71.8	2.9	71.3	1.3	42.0	29.3	0.966	0.986	173.9	235.3
MSsliY	70.7	5.7	73.1	3.7	70.7	1.2	41.4	11.2	0.912	0.983	170.9	235.2
MSslic	70.3	2.4	70.4	3.3	69.3	.9	40.0	4.61	0.787	0.982	170.0	235.2
MSs lif	70.8	10.3	73.5	7.8	71.0	2.2	41.7	16.6	0.941	0.984	171.6	235.2
MSslio	72.2	2.3	73.6	5.1	72.0	1.4	42.7	-31.6	1.031	0.984	172.1	235.2
MSs lir	72.1	6.3	70.5	2.2	70.2	1.0	40.9	7.14	0.862	0.984	171.9	235.3
MSs lis	72.6	4.4	71.9	3.1	71.3	1.2	41.9	24.6	0.960	0.985	173.3	235.3

1998.11.17/18	[P1] 視RP / 平均	(2000.0) [P2] 視RP / 平均
ID	発光点 消滅点 ~発 経路 角速	発光点 消滅点 ~発 経路 角速
	deg deg deg deg deg deg/s	deg deg deg deg deg deg/s
iY	11267 2901 10284 2889 37.6 - 24.8	12064 4868 11140 5217 37.7 - 24.2
ie	11858 2642 11418 2637 32.6 - 20.9	12599 4674 11986 4967 33.6 - 20.2
if	11694 2767 10939 2771 33.9 5.1 22.9	12322 4817 11397 5208 36.1 5.1 24.2
io	12161 2356 11718 2330 30.1 7.4 19.8	12705 4445 12044 4760 32.0 5.7 21.7
ir	12490 2555 11778 2557 26.7 - 17.8	13019 4491 12172 4962 30.1 - 19.9
is	12831 2283 12473 2269 23.2 7.0 15.5	13366 4393 13078 4610 27.5 - 18.1
iY	11263 2898 10287 2887 37.9 - 24.7	12059 4869 11140 5214 37.9 - 24.0
ie	11856 2642 11417 2639 32.7 - 20.9	12597 4673 11983 4968 33.7 - 19.9
if	11695 2765 10943 2771 34.0 5.1 22.8	12325 4816 11402 5204 36.1 5.1 24.2
io	12162 2355 11720 2330 29.8 7.4 19.7	12704 4443 12045 4760 31.8 5.7 21.8
ir	12494 2555 11785 2562 26.7 - 17.8	13020 4489 12180 4959 30.2 - 19.8
is	12832 2283 12473 2268 23.3 7.0 15.5	13368 4393 13077 4609 27.6 - 18.2



II 偏歪曲の様子 981117 n2.sok 85mm F1.4

矢印：偏歪曲の方向，大きさ（画面上スケールを2.5倍に拡大（誇張）している）
 ・：比較星の計算位置 → の先端：比較星の測定位置

数値：偏歪曲量（単位：画面ピクセル）
 （1ピクセル：約60秒角）

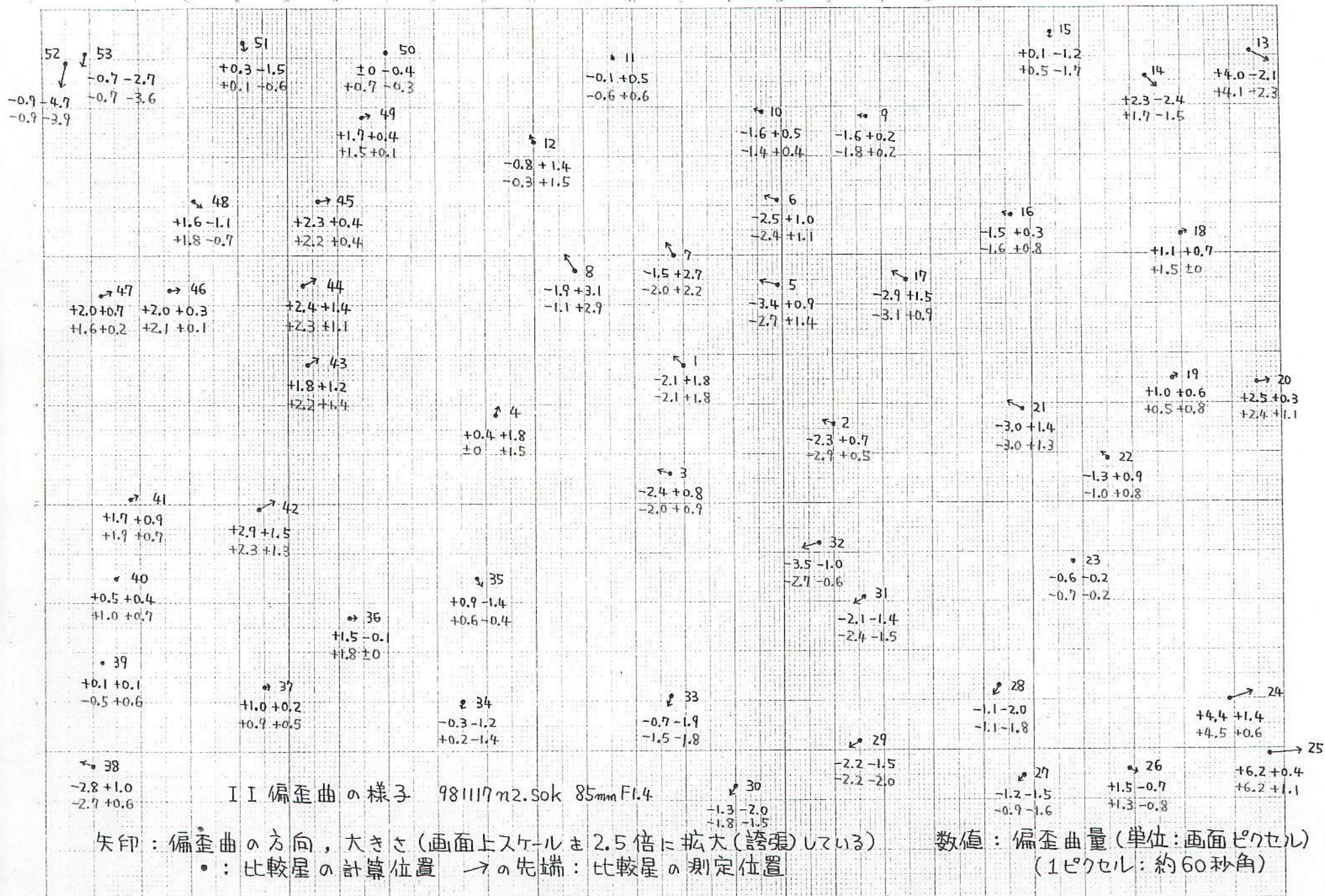


図2 下段数値：測定誤差が適当に残るように補正した偏歪曲補正量（単位：画面ピクセル）（残された測定誤差の標準偏差：0.60ピクセル）

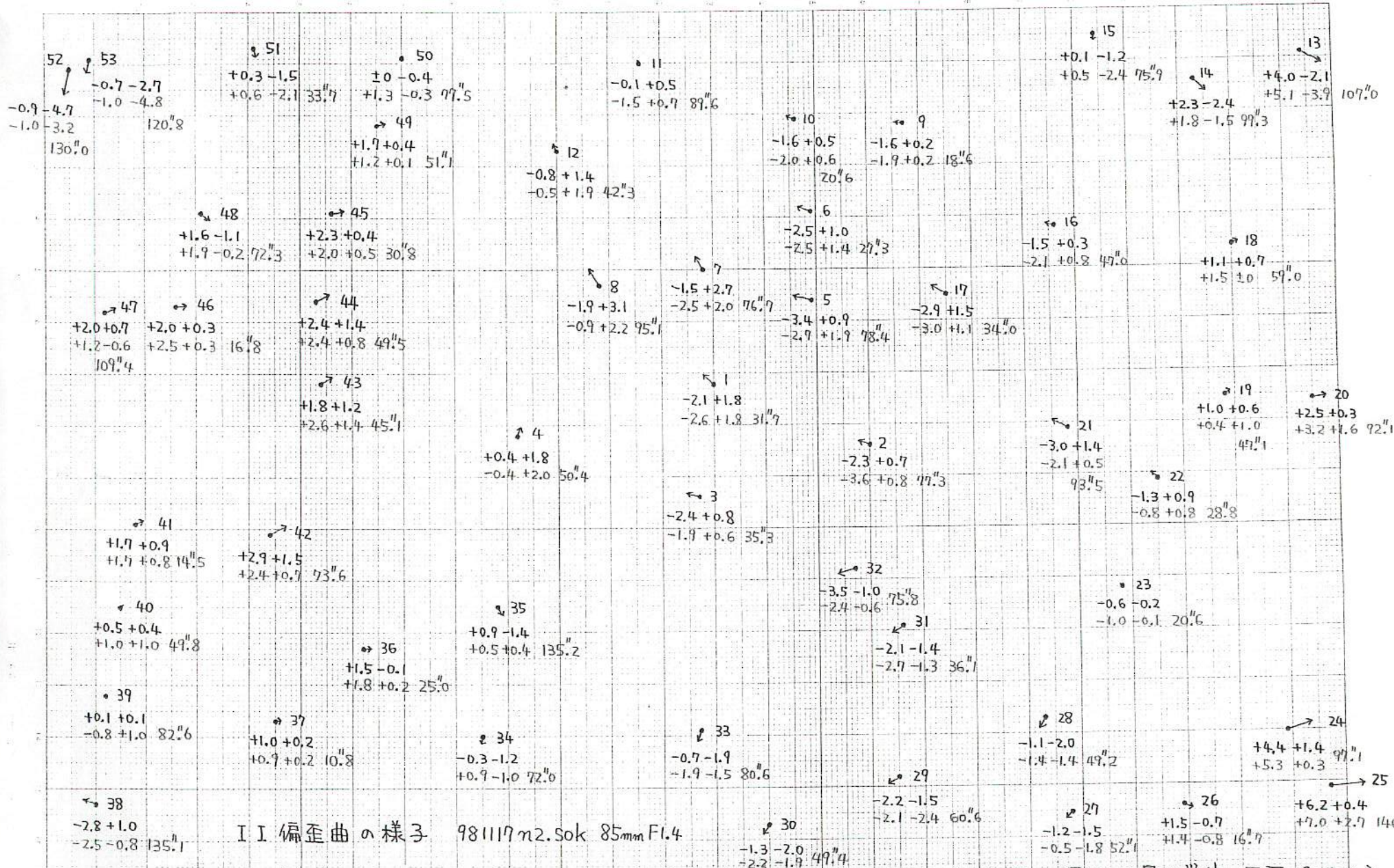
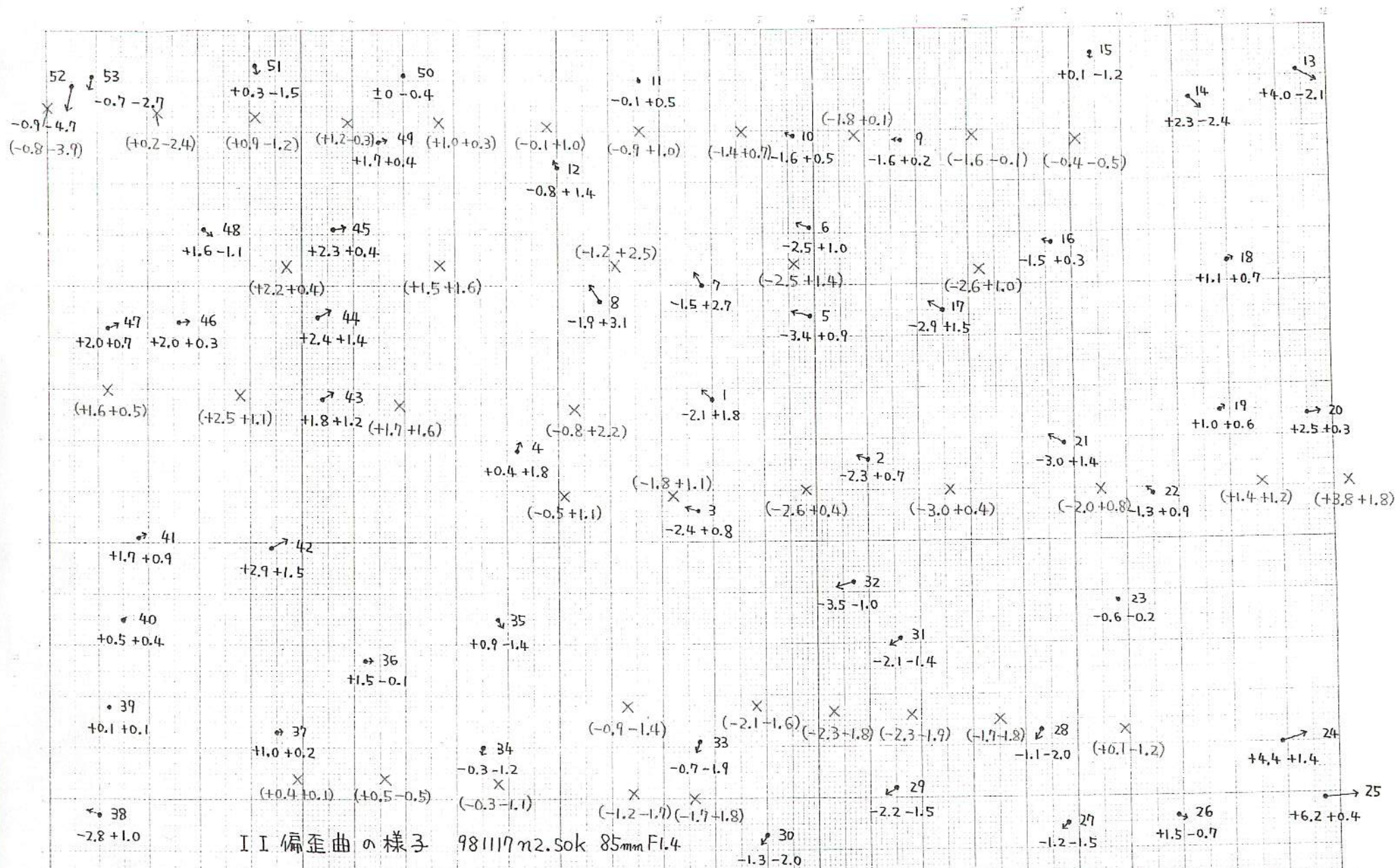


図3 下段数値：比較星を切断点として扱い、その位置に於ける偏歪曲量を周囲の比較星から推定。このとき切断点位置の比較星は使用していない。（単位：画面ピクセル）
 3番目数値：推定した赤経・赤緯と星表の赤経・赤緯との差（単位：角度秒）。（全切断点の標準偏差：72.8）



矢印：偏歪曲の方向，大きさ（画面上スケールも2.5倍に拡大（誇張）している）

・：比較星の計算位置 →の先端：比較星の測定位置

数値：偏歪曲量（単位：画面ピクセル）
（1ピクセル：約60秒角）

図4 X印：流星切断点の偏歪曲量推定値（単位：画面ピクセル）

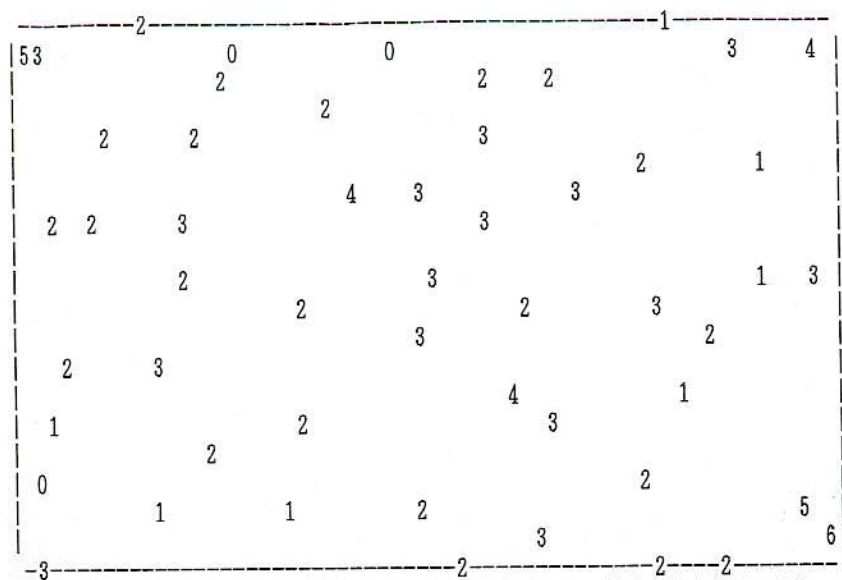


図9. 偏歪曲量(絶対値 単位ピクセル) 981117n2 (図1と同データ)

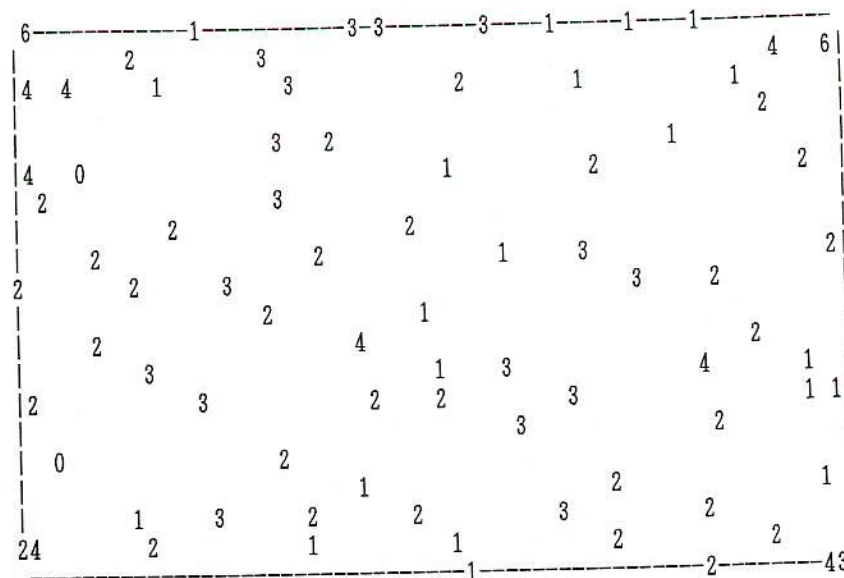


図11. 偏歪曲量(絶対値 単位ピクセル) 990807n

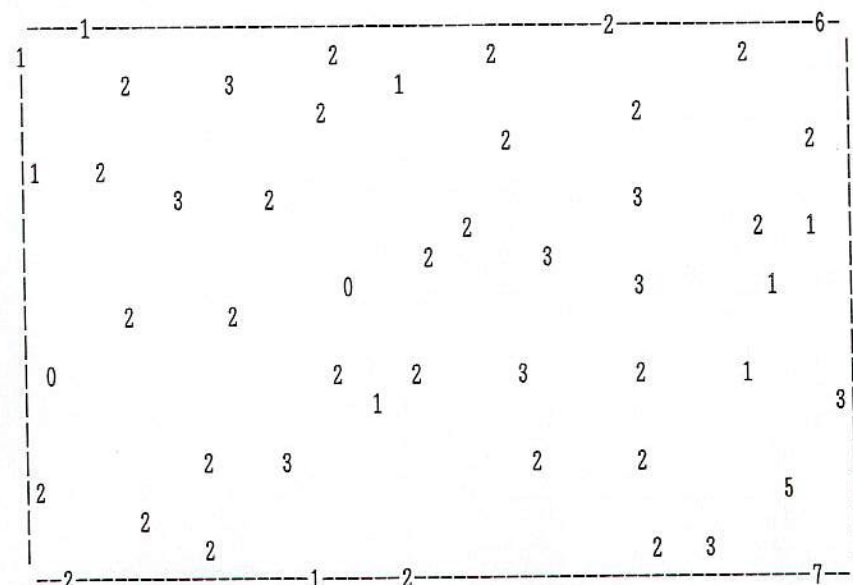


図10. 偏歪曲量(絶対値 単位ピクセル) 981117s2

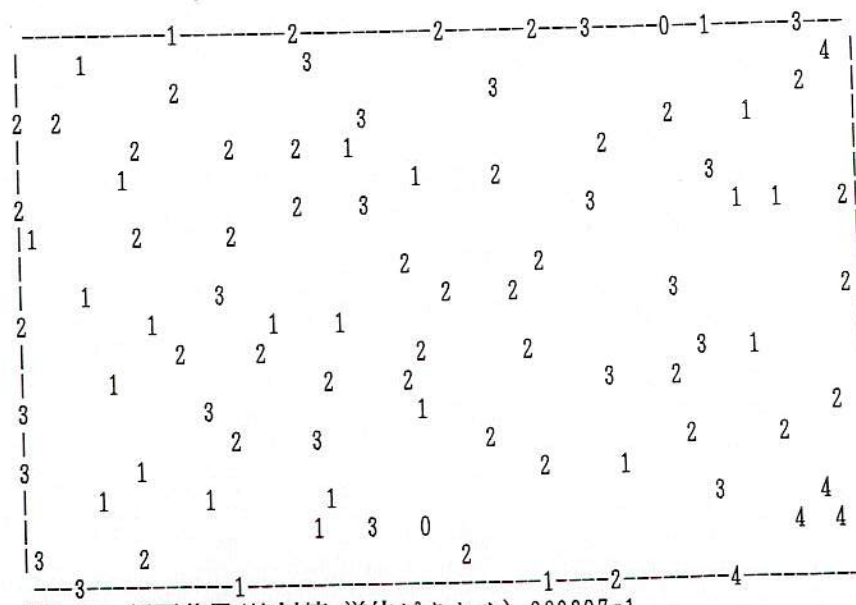


図12. 偏歪曲量(絶対値 単位ピクセル) 990807s1

最近では写野全体にまんべんなく、4コーナーも含めて比較星を取っている。

偏歪曲収差補正のため比較星数を増やし、4コーナーも複数個取り、4辺近くもできるだけ測定した。1か所にかたまって複数個取ることは避けている。

究極の流星および大気発光現象観測用カメラ

～紫外線（近赤外線カラー）高感度ビデオカメラシステムの開発～

海老塚 昇（理研・計算科学）・吉田 和哉（東北大・工）・矢野 創（宇宙研・惑星）・
清水 裕彦（理研・イメージ情報）・SCARSI, Paolo（理研・計算科学）

イメージインテンシファイア（I.I.）とCCDビデオカメラを組み合わせたI.I.-CCD（Fig.1）は時間分解データを容易に取得することが可能であり、流星や大気発光現象等の過渡現象観測用カメラとして大変有効である。さらにハイビジョンカメラとI.I.を組み合わせたI.I.-HDTVはより高品位なデータを得ることができるようになった。また、グリズムは透過型回折格子とプリズムを組み合わせた直視分散素子であるためにカメラレンズの前に置くだけで容易に対物分光観測ができる。（Fig.2）

しし座流星群は母彗星であるテンペルタットル彗星の回帰に伴って33年ごとに地球軌道と交差する11月中旬に流星嵐が起こることが知られている。（Fig.3）1998年2月にテンペルタットル彗星が近日点通過して1998年には日本をはじめ太平洋西側地域、1999年には地中海地域で流星嵐が起こると予想されていた。矢野等はNASAの航空機ミッション：Leonid MAC（Multi Instrument Aircraft Campaign, Fig.4）に参加して1998年には沖縄上空、1999年には地中海上空にて2台の飛行機にそれぞれNHKが所有するI.I.-HDTVを搭載してビデオのステレオ観測を行った。1998年は1時間当たり最大数十個の出現であったが1999年は予想通りに中近東からヨーロッパで1時間当たり数千個の流星が出現して、その様子を撮影することに成功した。さらにその時、地中海は低気圧の雲に覆われており水平線に向けていたカメラによりエルブスやスプライトと呼ばれる対流圏低層と成層圏の間の雷現象を偶然にも多数捉えることができた。これらの雷現象は流星や宇宙線が引き金になっていると考えられており、その解明の鍵を握る貴重なデータであると期待されている。得られた膨大なハイビジョンデータは我々グループのみならず多くの共同研究者により解析が進められている。

しし座流星群は対地速度が秒速70kmと早く、流星痕が出現する確率が高い。流星痕とは流星が出現してからしばらくの間、流星の飛跡に沿って雲のように光る非常に希な現象であり発光メカニズム等は未だに謎のままである。1998年11月18日未明に伊豆半島上空に出現した8等級の流星に伴う流星痕（Fig.5）のスペクトル観測（Fig.6）に海老塚等を含め3地点のグループが成功した。また、1999年には地中海上空にて矢野等がI.I.-HDTVに透過型回折格子取付たシステムで数10個、I.I.-CCDとグリズムで数百個の流星本体スペクトル、ハワイ島マウナケア山頂では海老塚等がI.I.-CCDとグリズムで数10個の流星本体スペクトル、日本では協力を申し出ていただいた複数の流星観測者によりI.I.-CCDとグリズムで数10個の流星本体スペクトルと1個の流星痕スペクトルを取得した。このようにI.I.-CCDとグリズムや透過型回折格子を組み合わせた分光システムは流星や大気発光現象等、過渡現象の分光観測に有効な手段であることが実証された。

現在、総合研究大学院大学博士課程/国立天文台の阿部新助氏と海老塚等が流星本体および流星痕のスペクトルの解析を行っている。その結果、今まで分からなかった流星物質や流星痕の発光メカニズムについて多くの情報を得ることができた。一方で我々以外にも多くの研究者が様々な波長の撮像や分光観測を行っており、最近になってそれらの成果（Fig.7, 8）が発表されるようになった。それらの解析結果から流星物質の発光温度や流星痕の発光メカニズムをさらに詳しく解明するためには370nmより短波長の紫外線領域の観測も重要であることが分かった。

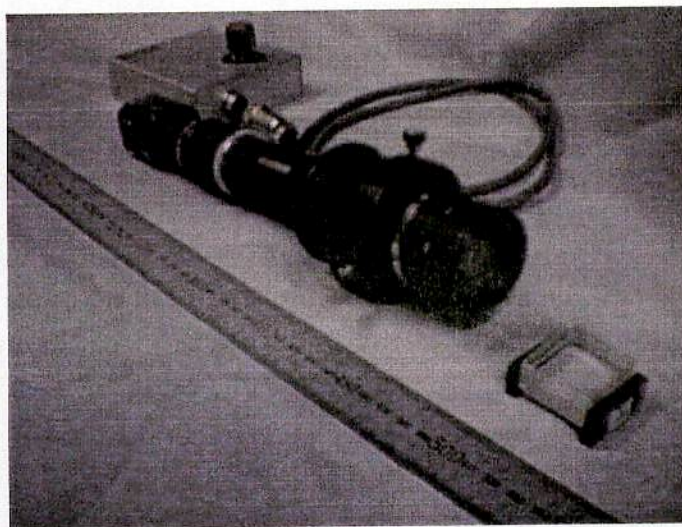


Fig.1 I.I.-CCDシステムとグリズム。重量はI.I.-CCDが約500g、グリズムが約100g（ホルダ込）。



Fig.2 しし座流星群観測に使用した各種分光素子。

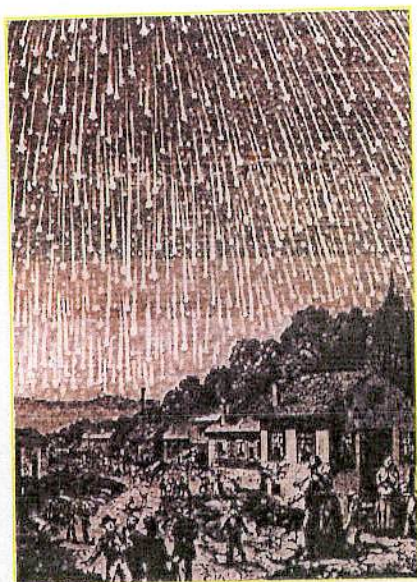


Fig.3 1833年11月12日に北アメリカを中心に大出現した時の様子を描いた木版画。

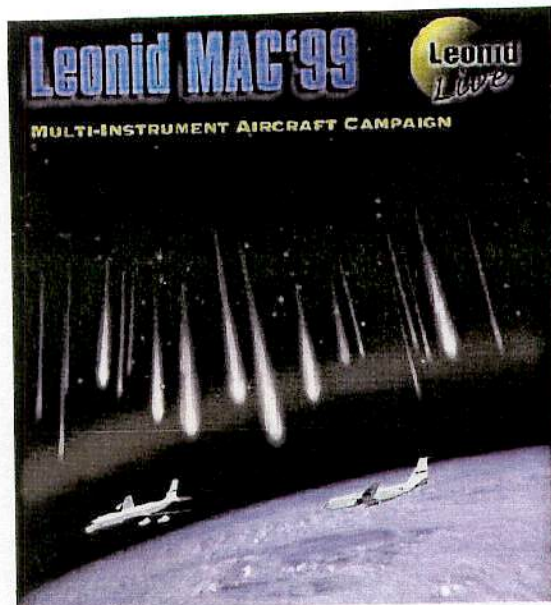


Fig.4 NASAの航空機ミッション (LeonidMAC)

しし座流星群は2001年と2002年に1999年以上の流星嵐を引き起こすと予想されている。我々は紫外線観測が有効である航空機、人工衛星等に搭載して300nm以下の短波長まで観測できるシステムを構築することを計画している。具体的なミッションとしては2001年のLeonid MAC (矢野等)、2002年のLEO-LEO (Leonid Meteor Observer from Low Earth Orbit, 吉田等、Fig.9) や2007年に国際宇宙ステーションに取り付けて高エネルギー宇宙線による大気発光を観測する紫外線望遠鏡：EUSO (Extreme Universe Space Observatory, SCARCI, 清水等、Fig.10) が挙げられる。LEO-LEOには紫外線I.L.-CCD、Leonid MAC 2001には紫外線I.L.-HDTV (Fig.11左) を搭載することを予定しており、現在、紫外線レンズの開発が進められている。また、EUSOには多色 (紫外線-近赤外線) I.L.-HDTV (カラーI.L.-HDTV, Fig.11右) を同架することを提案している。

Table 1にNHKが開発した白黒およびカラーI.L.-HDTVの仕様を示す。従来のカラービデオカメラに使用されている色分解プリズムにより3バンド (原色系、RGB等) の測光観測が可能である。しかし、色分解プリズムは各バンドの帯域幅を広くすることが困難である上、F/1.2より明るいカメラレンズを用いることができない。そこで3台のカメラにそれぞれフィルタにより色分解を行うカラーI.L.-HDTVシステムの開発を計画している。このシステムは原色系に対して約2倍の光量可以使用できる補色系 (CMY等) フィルタやF/1.0以上の明るいカメラレンズが使用できる。通常の原色系や補色系以外にも流星や大気発光現象の原子輝線着目し

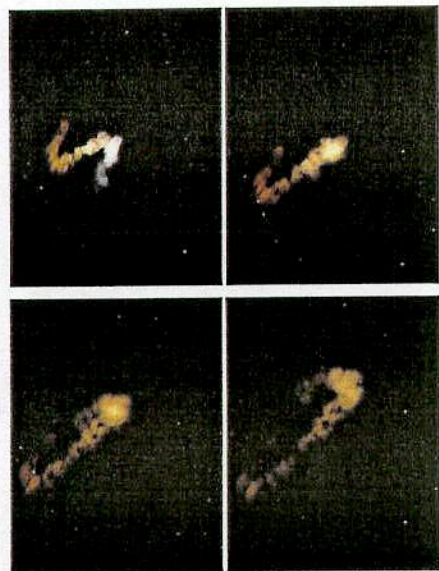
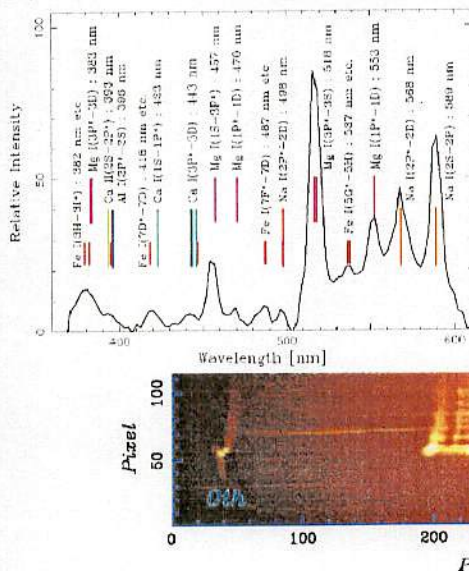


Fig.5 しし座流星群の流星痕。静岡県御殿場市、戸田 雅之氏 (日本流星研究会) 撮影。



Spectrum of
Persistent Train
(Leonids 1998)

Fig.6 しし座流星群の流星痕スペクトル。長野県 白田町、村山 秀幸氏 (日本火球ネットワーク) 撮影。スペクトル解析、阿部 新助氏、海老塚 他。

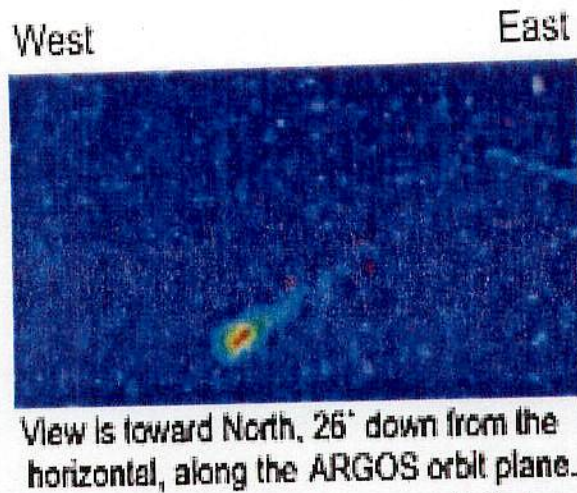


Fig.7 衛星から紫外線で捉えた流星。MSX衛星（米国）1997年しし座流星群、詳細不明（左）とARGOS衛星（米国）1999年しし座流星群、UVカメラ（130～200nm）（右）。

てフィルタを設計することにより、発光温度等の必要な情報を引き出すことが可能になる。Fig.12に2種類のプロトタイプ（cはセンチ：開口面積が1/100、dはデシ：同1/10）とフル規格のEUSOおよび補色系カラーI.I.-HDTVの限界等級について示す。視野角によって限界等級が異なるものの、現時点において我々が提案するカラーI.I.-HDTVは肉眼では確認できない暗い流星や大気発光現象を色分解、時間分解観測できる究極のカメラシステムと言えよう。

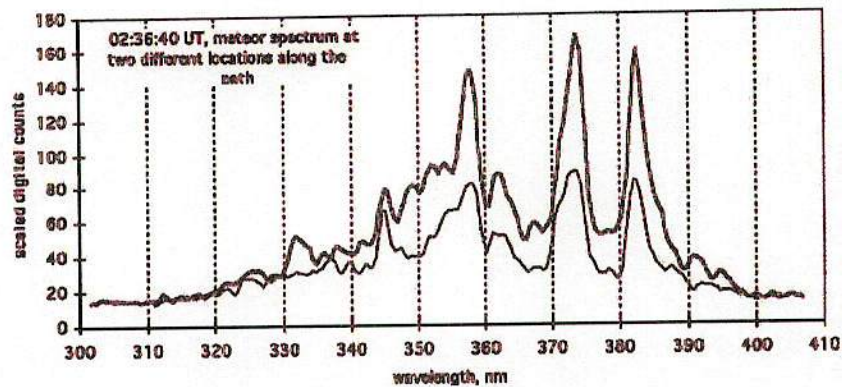


Fig.8 流星の紫外線スペクトル。（R. L. Rairden et. al., The Earth, Moon, and Planets, 82/83, 2000）

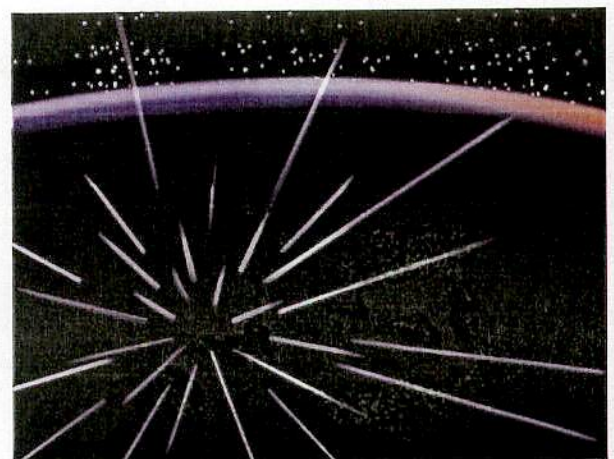
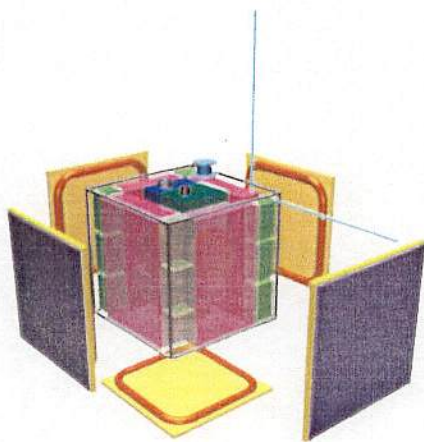


Fig.9 しし座流星群観測衛星（LEO-LEO、2002年8月打ち上げ）（左）と流星観測想像図（右）。衛星総重量200kg、観測機器が50kg程度、太陽同期軌道投入を予定。

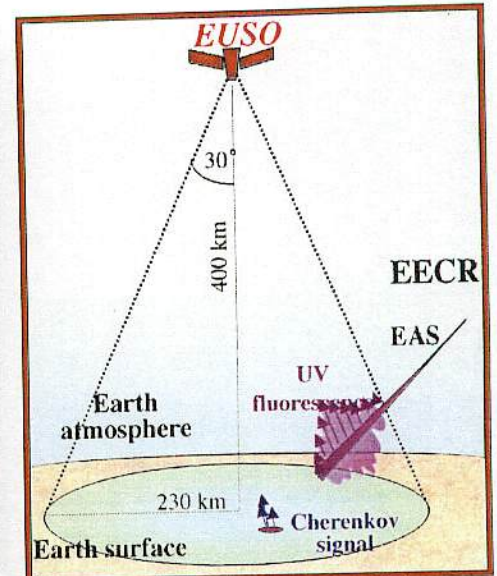
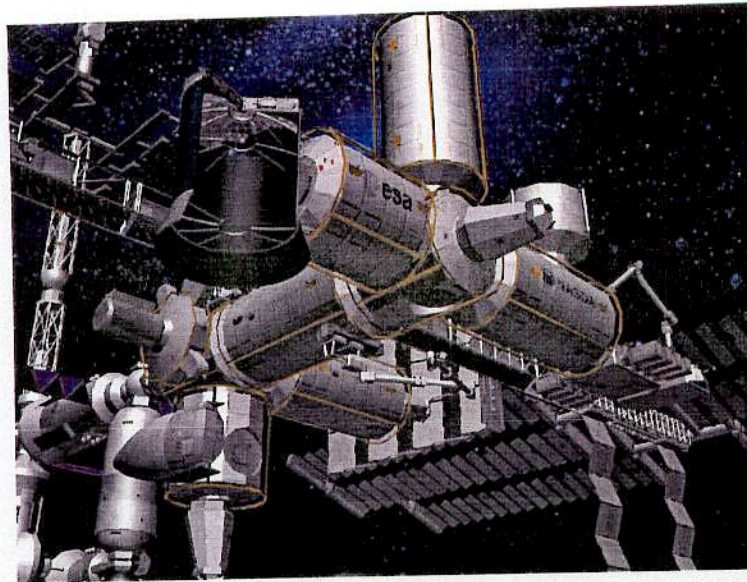


Fig.10 しし座流星群観測衛星（LEO-LEO、2002年8月打ち上げ）の概念図（左）と流星観測想像図（右）。衛星総重量200kg、観測機器が50kg程度、太陽同期軌道投入を予定。

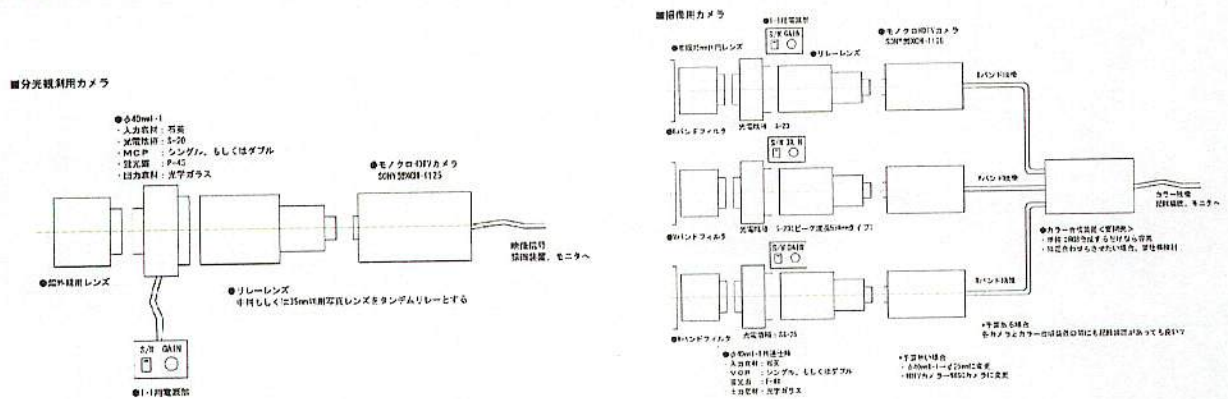


Fig.11 白黒 II-HDTV（左）とカラー II-HDTV（右）。（ナカニシイメージラボ提供。）

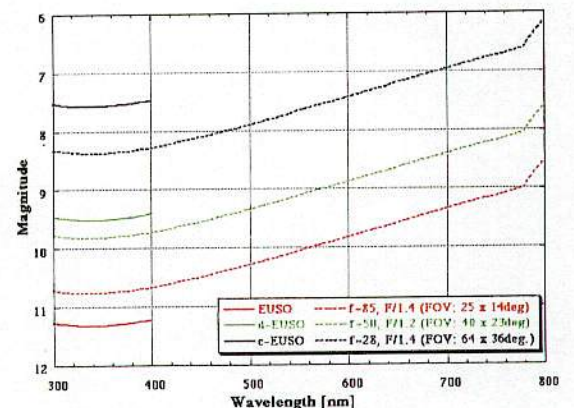
Table 1 NHK II-HDTVの仕様

		3 CCD Color	B/W
I.I.	Type	2nd Generation Double MCP	2nd Generation Double MCP
	Effective area	ϕ 40	ϕ 40
	Photocathode	S-25 × 1 (R channel) S-20 × 2 (G, B channel)	S-25 (Red sensitive camera) S-20 (Blue sensitive camera)
CCD		2/3 inches 2,000,000 pixels × 3	1 inches 2,000,000 pixels
ADC		10 bits (RGB, YPbPr 4:2:2)	10 bits
I.I. - CCD relay lens		1/3.6	1/2.5
Sensitivity		0.02 lx (F1.4 +0 dB)	0.01 lx (F1.4 +0 dB)
S/N		50 dB	50 dB
Resolution		< 800 TV lines	< 1000 TV lines
Size / Weight		340 × 400 × 580 mm / 35 Kg	120 × 110 × 410 mm / 4.2 Kg
Power		190 W	15 W
Remarks		CCDs are cooled by Peltier device for on-chip integration.	

カラーの消費電力や重量はバルチエ素子やファン等の冷却機構が支配的。

関連するホームページ

- しし座流星群（日本流星研究会）：<http://www.nms.gr.jp/nmsleo0.html>
- 流星分光、グリズム等：<http://optik2.mtk.nao.ac.jp/~ebi/ebi.html>
- NASAの航空機ミッション（Leonid MAC）：<http://leonid.arc.nasa.gov/>
- しし座流星群観測衛星（LEO-LEO）：<http://www.astro.mech.tohoku.ac.jp/~yoshida/leonids/leonids.html>
- 宇宙ステーション搭載 大気発光現象観測望遠鏡（EUSO）：<http://stj.riken.go.jp/~shimizu/euso/>



Limiting magnitude of EUSOs and color II-HDTV (HDTV: $t=0.033\text{sec.}$, $R=3$, $\text{Eff.}=0.05$, $S/N=3$)

Fig.12 EUSOおよび高感度ハイビジョンカメラの限界等級。

シルコ・モラフ氏による流れ星の自動検出プログラムについて

三間康人・志倉匡人（東京理科大学天文研究部）
海老塚昇（理化学研究所）

1. 運用の目的

僕ら東京理科大学天文研究部流星班を初めとする旧大学天文連盟の流星分科会は、今年の詩文儀座流星群やふたご座流星群においてビデオ多地点観測を行ってきました。これらの観測データをまとめるにあたって一度必ず見返す必要がありますが、なかなか人が集まらなかったり、疲労がつきまとう。さらに地点数を増やすと精度が上がるメリットがあるが、その分多くのテープを見なくてはならない。つまりこれらの手間が解決しない事には、なかなか流星のより多い地点における観測は難しい。つまり、最低でもこの手間を省けるのであれば、観測地点を多く出来ると考えました。つまり、流星の判別をコンピュータにさせる方法です。それから、このデータを計数の観測結果として使えることが理想となる。

2. アルゴリズムについて（スレッシュホールドの取り扱いについて）

・ ビデオに写る流星とは？

白黒の高感度ビデオカメラ等で流星を撮影した場合、流星が一つの画素に映る訳ではなく、幾つかの隣接した画素に映るものである。つまり、コンピュータに取り込まれた画像の中で、特に明るい画素の集まりを見つける。また、流星は、イベントとして時間にして0.3秒程発光していることは観測者の感覚的に分かるだろう。つまり、このような明るい画素の多いものが1/30秒でフレームが切り替わる事を考えると、流星であれば5～10枚のフレームについてこのような現象が起こりうる。つまり、コンピュータに認識させるべき事柄は、ある一定の明るさ以上の場所を見つけさせて、その塊について、同じようなフレー

ムに連続していないかについて判別させる必要がある。これらの条件にかなったものが基本的に流星として判別させられる。

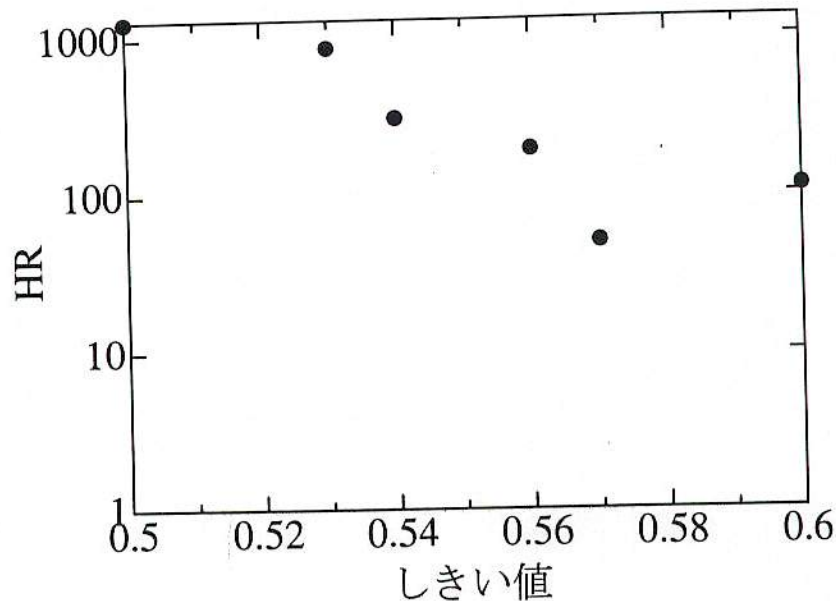
- ・ ノイズとの判別

これは、意外と簡単である。というのは、先ほど述べた流星の特徴にかなっていない物を消し去ればいいのである。つまり、ノイズとは不確定に起こる物なので、例えば5フレーム以上連続してある明るさ以上のものが出来る可能性はとても低い。
あとは、閾値の問題になる。

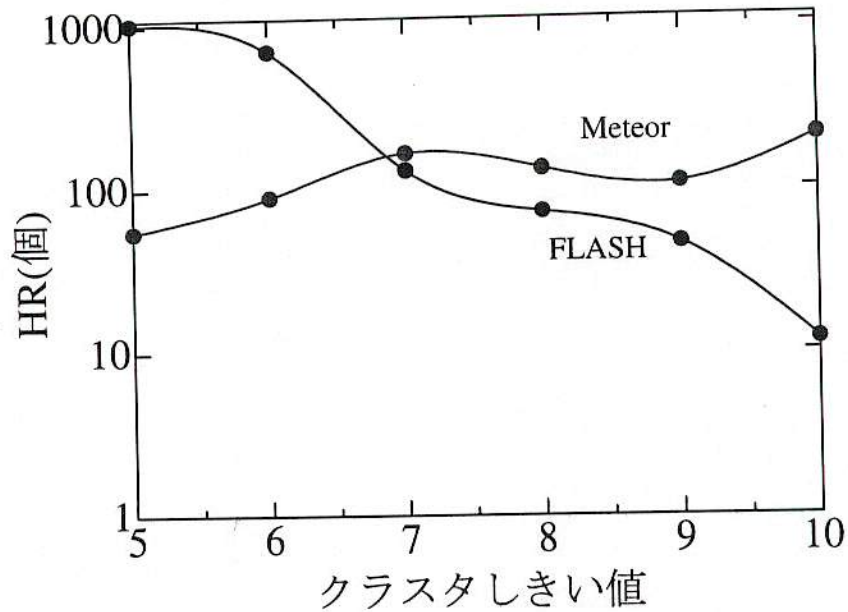
- ・ スレッシュホールドの設定と流星との判別について

まず、スレッシュホールドの意味について述べます。日本語名では閾値と言います。これは例えばPCに何かを判別する際、ある電圧や値を超えたものを別のものとして認識させる。ある値を超えたものか超えてないのかについてです。ここではある明るさ以上のものを流星の元のROIクラスタと認識させます。このROIクラスタの数を数えます。これが概要になります。

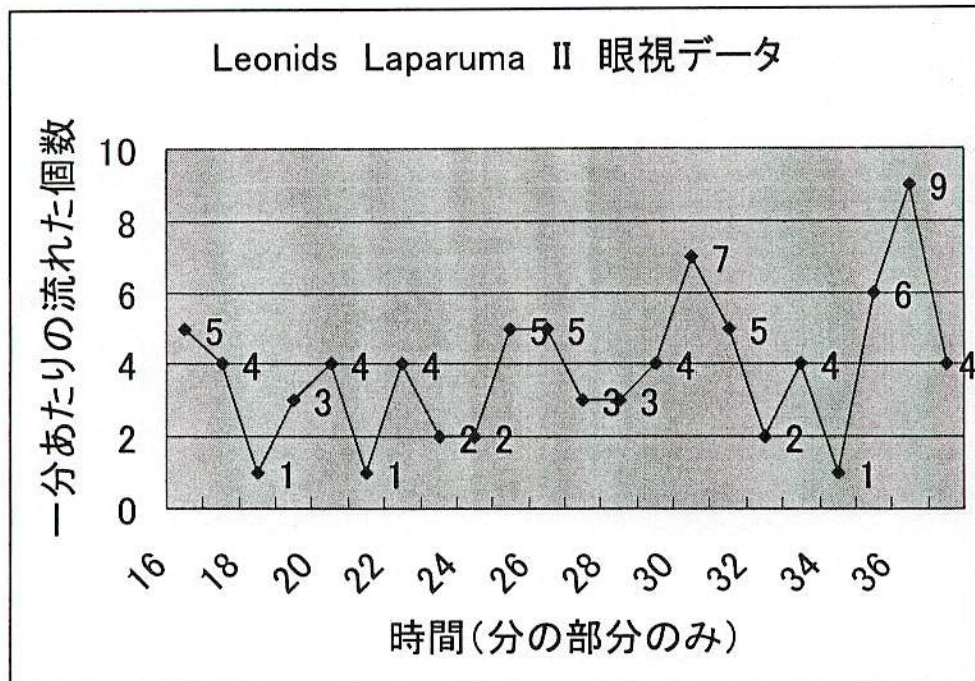
次に、閾値が大きくなると、このROIの数が増え、さらにはROIクラスタも増えます。それによって、イベントとして認識されやすくなります。さらにクラスタの閾値も小さくなると流星として認識されやすくなります。簡単にイメージすると、ベースの明るさが閾値より大きかったら、ズート、イベントが起こっていると認識されます。しかし、この閾値の値が大きすぎると、暗い流星が拾えなくなってしまう。つまり、このギリギリの臨界点を何度か試すことにより、探し当てる必要があります。以下は、それを2001年の詩文儀座流星群の観測で東小高観測所にて撮影された極大時間です。X座標が閾値をY座標がHRです。これはあくまで予備実験なので、時間は適当に決めました。このとき、クラスタの閾値は7としました。というのも、このマニュアルにはクラスタの閾値は7~8くらいに設定しなさいと書いてありました。つまり、これより少し低めに設定したほうがノイズ多めに見積もることが可能なので探すのに有利だからである。



このグラフから、閾値は 0.54 から 0.56 くらいが最も条件がいいことが分かる。次に、クラスタの閾値がどうなっているのかの問題です。クラスタの閾値は ROI クラスタを何個見つけ、それを流星として認識するのかが問題である。小さいと人工的に発光する、例えば人工衛星だったり飛行機だったりします。つまり、その境をはっきりするためのものです。しかし、これも小さすぎると、偶発的なノイズなどの影響で流星をひろってしまう可能性が非常に高いです。それによる影響を避けるために MetRec では、次のような手法をとっています。まず、クラスタの閾値を入力し、その値と同じ物は流星として“Meteor”として扱います。それ以上大きいものは“Flash”として認識します。これによって、流星の判別を行います。ちなみにこれより小さい値の場合は人工的なものや偶発的なノイズとして無視します。これについて記したグラフが以下ようになります。X 軸がクラスタ閾値で Y 軸が HR になります。これも先ほどと同じく予備実験なのである程度いい加減な時間の取りかたで、HR にしています。

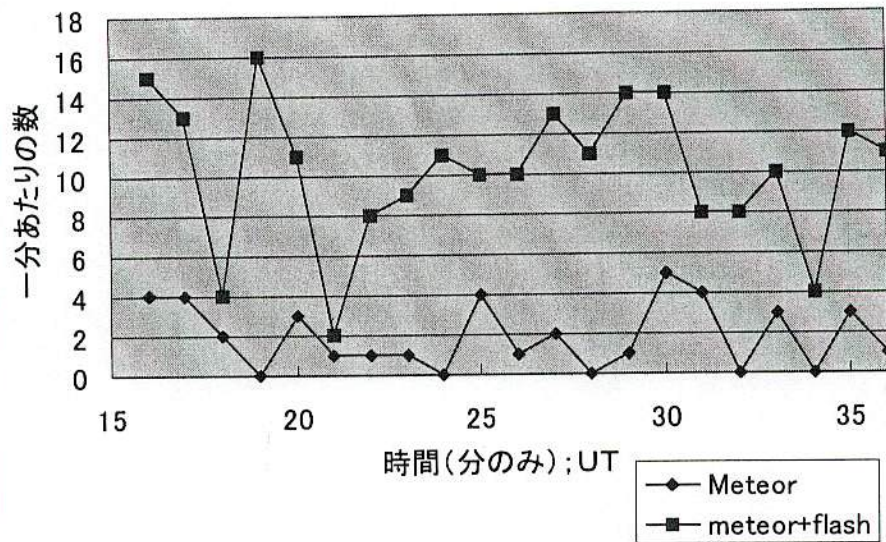


これから、判断するのは難しいので、次に具体的な例について話します。これは2000年に11月に理研の海老塚昇さんと文部科学省宇宙科学研究所の矢野創さんがカナリア諸島のラパルマでIIを用いて撮影した獅子座流星群のデータを用いて行いました。時間はどれもUTの5:16から始めました。これは1毎の個数を表しています。まず、これが眼視によるデータです。

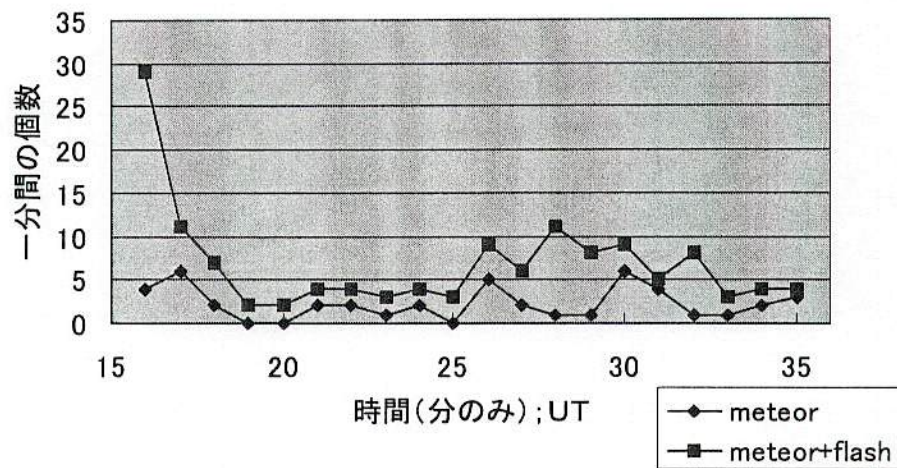


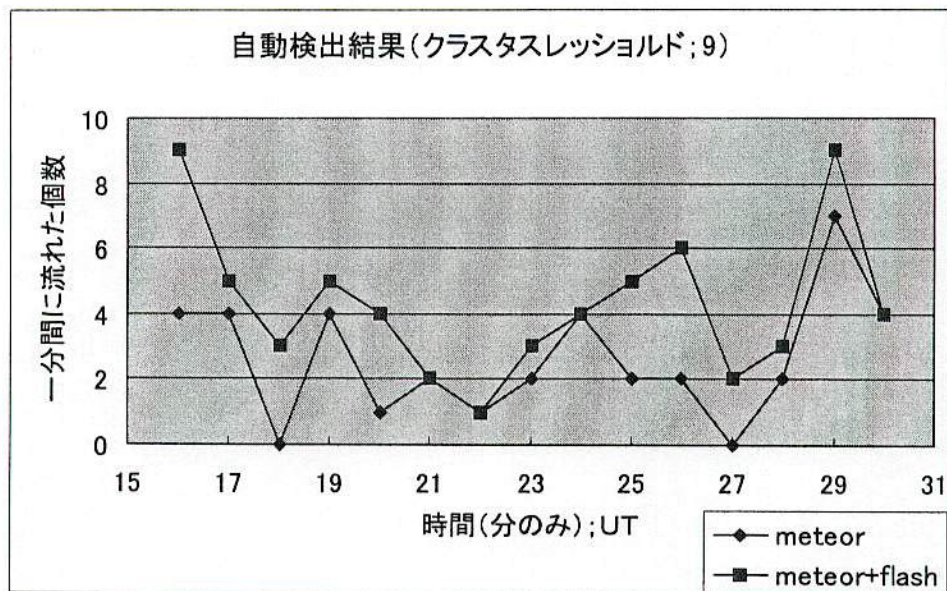
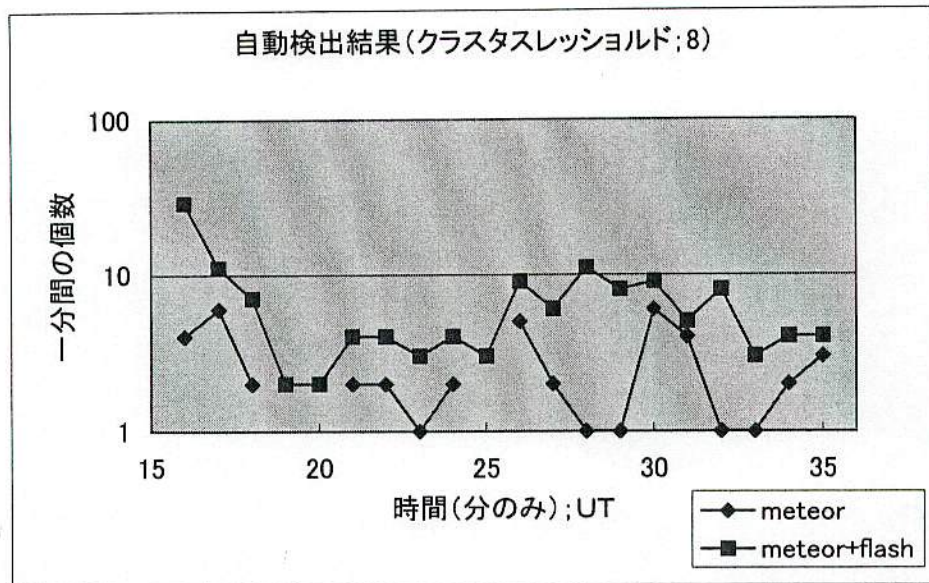
次に、クラスタスレッシュホールドを色々変えて見ました。

自動検出結果(クラススレッシュホールド:7)



自動検出結果(クラススレッシュホールド:8)





以上を見ると大体同じような形をしている事が分かります。

ただ、具体的にどれとどれが対応しているかや、その中に出てきていないものは人間が取りこぼしたものとのかの問題があります。

3. 取りこぼしについて

・ スレッシュヨルドを高く設定した場合

これがあると暗い流星は基本的に無視されてしまいます。これは多少ノイズが入ることを覚悟して閾値を下げるかすれば、いいと思います。これが原因であれば取りこぼしは無くなりますが、ノイズやその他のものとのご認識も増えます。つまり、目的によって変わり

ます。きちんとした HR を求めたいのであれば、これはある一定までの等級の補足率が良い物であるほうが良いし、そうでないものは逆に切り落とされても構わない部分がある。しかし、多地点のように同時を探すためのものであれば、ノイズは偶発的なので、二本のテープに両方とも確認できるものの大抵は流星であるし、その後できちんとした形で映像をキャプチャする際にも、そのことははっきりするだろう。

- ・ IO のアクセスしている等の時間について

これは、MetRec についている機能の一つだが、Meteor として認識したものは BMP 形式に積分して保存する機能があるが一般的に、これをやってしまうと、CPU が HDD にアクセスしているタイムラグが出来てしまう。一般的にはその間のタスクは停止してしまうので、これをやると、Meteor として認識した後の補足率も下がる。あと、他には画面が大きく動くと、検出にミュートのようなものがかかり出来なくなったりします。例え恒星でも画面上を動けば危険なくらいの量の流星と認識してしまいます。ただ、日周運動には対応していますし、それようなパラメータもあります。最後に、流星が消えてから何コマか同じ流星は無いか探す設定もあるがこれも一般的に必要なないので 1 フレーム探させれば十分で、それ以上は次のものに影響が出てしまいます。

結論

MetRec は自動検出はするが流星の時刻に対する精度しかなく、等級については人間の判断にゆだねられる部分が多い。計数観測においては、数に対する精度は大きくない。つまり、計数として使うのにはまだ不十分な点が多い。つまり、自動検出は多地点などの映っている時刻の確認が出来れば良いのであれば十二分にその作用を果たすことが可能である。

論文内容要旨

(No. 1)

氏 名	山 本 真 行	提出年	平成 12 年
学位論文の 題 名	Study on the wake structure and associated plasma wave turbulence observed by using sounding rocket experiments (観測ロケットによる航跡構造と航跡関連プラズマ擾乱の研究)		

論文目次

Acknowledgements	i
Preface	iii
1 Introduction	1
1.1 Wake structures caused by the fast moving bodies in plasma	1
1.2 A review of experimental and theoretical studies on wake	2
1.1.1 Wake structure around the fast moving vehicles	2
1.1.2 Plasma turbulence inside the wake structure	3
1.1.3 Wake effects identified near the Moon and other small satellite bodies	4
1.3 Purpose of this thesis	5
2 Instrumentation for the rocket experiments	19
2.1 Measurement of the upper hybrid resonance by Impedance Probe (NEI)	19
2.2 Detection of HF-range plasma waves by a spectrum analyzer (PWH)	23
2.3 Brief description of some other instruments referred on this study	25
2.4 Operation and data handling of rocket observation data	26
3 Results of S-520-21 rocket experiment in the auroral ionosphere	41
3.1 Overview of the experiment	41
3.2 Electron density profile detected by NEI	43
3.3 HF-range plasma wave spectrum observed by PWH	44
3.4 Identification of the wake effect	46
4 Wake structures around the moving rocket bodies	64
4.1 S-310-28 rocket experiment	64
4.1.1 Overview of the experiment	64
4.1.2 Electron density profile detected by NEI	65
4.1.3 Detailed wake structures around the rocket body	66
4.1.4 Determination of absolute attitude of the rocket	68

(No. 2)

4.2	Applied model of wake structures around the moving vehicles	70
4.3	Model calculations of wake structures	76
4.3.1	Dependence on <i>Mach</i> number	76
4.3.2	Effects of the obstacle shape and the attitude of the rockets	77
4.3.3	Effects of the length of the electrode of NEI	79
4.3.4	Detailed comparison between model calculation and measurement	80
5	HF-range plasma waves associated with the wake turbulence	121
5.1	SS-520-1 rocket experiment	121
5.1.1	Overview of the experiment	121
5.1.2	Electron density profile detected by PWM-I	122
5.1.3	Plasma wave observation in mid-latitude ionosphere by PWM-W	123
5.2	Identification of UHR waves in the wake	124
5.3	UHR waves in the upper ionosphere plasma	126
6	Wake turbulence and associated wave-particle interactions	140
6.1	Temperature distribution in the wake region	140
6.1.1	Estimation method of the electron temperature by sheath capacitance	140
6.1.2	Temperature distribution of the wake	142
6.2	Plasma waves possibly generated due to the wake turbulence	144
6.2.1	Possible mechanism of plasma instability in the wake region	144
6.2.2	A wake turbulence model	145
7	Discussion	159
8	Conclusion	165
Bibliography		167
Appendix 1		A1
Appendix 2		A5

wake(船跡): ロケット本体が移動した後

空気の乱れが生じる

電子密度プローブをロケット側面から直前方向に出す。

(No. 3)

上昇時は wake の影響を受けないが、下降時は

ロケットは横向きに落ちる。よってプローブの検出値は
博士論文要旨
小さくなる。

ロケットによる電離層プラズマの直接観測において、超音速の飛行体自身がその後方に形成する航跡(wake)効果による密度分布の擾乱は観測に常に影響を与える重要な問題である。Wake はその密度構造だけでなく、急峻な密度勾配により発生すると考えられるプラズマ擾乱の研究において興味深い研究対象である。本研究は、インピーダンスプローブ(NEI)により計測した高精度電子密度観測結果と、HF 帯域プラズマ波動スペクトルアナライザ(PWH)によるプラズマ波動観測から wake 関連プラズマにおけるプラズマ擾乱をその研究対象としている。本博士論文の目的は 1994 年 11 月より 1999 年 2 月までに実施された 7 機のロケット観測結果中、特に S-520-21 号機の PWH, NEI、S-310-28 号機の NEI、及び SS-520-1 号機の PWM による観測から wake 密度構造とその内部で発生するプラズマ擾乱についてその実態と発生メカニズムの詳細を究明するものである。

まず電子密度観測における wake 効果の問題を解決しその観測精度向上を図るため、比較的静穏な状態の中緯度電離圏において wake 周辺における電子密度分布を高時間分解能計測し wake の詳細な構造を観測した。即ち 1999 年 2 月 2 日に文部省宇宙科学研究所鹿児島スペースセンター(KSC)から打上げられた S-310-28 号観測ロケット搭載の NEI による電子密度計測において、スピン面内に正反対方向に展開させた長さの異なる 2 本のプローブを切り替えて観測し、wake 効果のモデル計算との詳細な比較により wake 密度構造の研究を行った。

電子密度計測における wake 効果の検討には時々刻々の NEI プローブの観測方向とロケット飛行方向との関係が重要であり、ロケット飛行の絶対姿勢の決定が不可欠である。地磁気姿勢計のデータを用いて機軸と磁場方向のなす角、並びにスピンプーズを得るとともに、本研究では NEI によって得られた電子密度計測値に現われる wake による密度減少効果が極大となる点を解析することによってプリセッション運動を含む絶対姿勢の決定に成功した。

観測された密度変動の主な要因が wake による効果であることを検証するため、モデル計算との詳細な比較を行った。本研究で用いた wake 構造のモデルは、Al'pert ら(1965)により提唱されたモデルをロケット観測における座標系に応用した Oya(1970)のモデルである。モデルにおいては、ロケット飛翔速度の特性パラメータであるマッハ数はイオンの熱速度に対する比として与えられるが、イオン熱速度を求めるため MSIS86 中性大気モデルから中性大気温度を求め wake モデルに代入した。飛翔体の特性長は数十 cm から数 m のオーダーであり、電離層においてはイオンのラーマー半径に比べて十分小さい。その結果局所的な磁場の影響は無視でき、イオンは中性大気粒子と同等の振る舞いをする事となる。粒子間の衝突については、飛翔体程度の大きさをとる wake の形成領域が粒子の平均自由行程に比べ十分小さいため無視する。Wake に流入する ambient なプラズマは Maxwell 分布していると仮定し、 X, Y 方向の特性長で定義される長方形領域が飛翔体通過時に真空になったとしてプラズマの流入を計算した。

観測とモデル計算の比較結果を、モデル計算に用いる各パラメータについて整理する。まずマッハ数は wake の形状に大きく寄与するが、MSIS86 中性大気モデルを用いた仮定によるモデル計算は用いたマッハ数が wake 最深部の密度減少を良く再現する結果を確認した。飛翔体の形状もまた wake の構造に大きな影響を与えるパラメータである。Al'pert-Oya のモデルでは円筒形の飛翔体を仮定してその断面である長方形の特性長 R_x, R_y を用いて計算を行うが、特にロケット頭胴部の形状は観測機器が積層した複雑な形状をしており、この近似の適用には問題があることが判明した。モデル内における遮蔽物の断面形状をロケット頭胴部にフィッティングさせた台形の積層で置き換え、時々刻々のプローブと遮蔽物の位置関係を用いた計算を実施し良好な結果を得た。

S-310-28 号ロケット搭載の NEI では 2 本のプローブを用いたがこのうちサブプローブがロケット中心軸から離れた位置に搭載された。このオフセット効果とプローブの長さ方向への感度特性についても詳細な検討を実施した。その結果、オフセット効果はロケット観測の

wake 中に波動がある。 登りも下りも 80km 以下では大気か濃いため観測できない。

wake 中のイオン密度の理論と観測との比較を行い上昇時は 5%、下降時は 20~60% の差であった。

(No. 5)

ように飛翔体本体と同程度の大きさの wake 構造観測の際には重要な役割をもつことが確認された。プローブ特性は長さ方向にはリニアであると考えた場合に良い結果を得ることが確認された。

以上のモデル計算と観測結果との比較では従来 wake 中心においても 15~20% 程度あった誤差が、すべての位相角に対する標準偏差で 5% 以内に収まる精度を得ることとなった。ただし、ロケット飛翔の末期に相当する下降時の高度 155km 以下では、ロケット機軸と進行方向のなす角が 90 度以上となり機体最後方の尾翼の影響などを受ける結果、モデル計算との差が 20% から 60% となる点が特定のスピンプーズに対して生ずることが判明した。

本研究で用いた wake モデルの発展形としてローカルな磁場の影響を考慮に入れたモデルについての検討も行ったが、本研究の結果では磁場の影響を考慮に入れない場合の方が観測を良く近似することとなった。しかし磁場の効果はスペースシャトルやスペースステーション等、より大きな特性長を持つ飛翔体の場合や、さらに無磁場天体と太陽風プラズマとの相互作用における wake 効果においては重要な事柄になると考えられる。

一方 1994 年に実施された極域電離圏におけるロケット観測により wake 中のプラズマパラメータに依存する周波数領域に UHR 波動と考える波動が発見されたが、この際のロケット姿勢が安定でなかったため観測された波動の厳密な解釈には未解決の問題が残されていた。この wake 中のプラズマパラメータに依存する UHR 波動について、その存在を確認し発生メカニズムを明らかにするため、静穏な中緯度電離圏においての確認実験を行った。1998 年 2 月 5 日に KSC から打上げられた SS-520-1 観測ロケットにおいては、搭載したプラズマ波動観測装置(PWM-W)によって HF 帯プラズマ波動観測を実施し、中緯度プラズマ圏において「あけぼの」衛星などで常に観測されている UHR 波動の観測下限高度について調査するとともに、wake 中における波動現象についての確認実験をオーロラ粒子の降り込みなどアクティブな条件にない静穏な中緯度電離圏において実施した。

静穏な中緯度電離圏において観測されたプラズマ波動は wake 中のプラズマ特性周波数に依存するものであり、wake 内で励起された UHR 波動であることが確認された。この wake 内 UHR 波動の発生メカニズムについては、wake 領域に周辺プラズマが流入する際、遮蔽物両側の境界領域から流入したプラズマ流が wake 中心領域において 2 流体不安定型のプラズマ不安定を起こす結果発生するというメカニズムを提案した。発生した UHR 波動は wake 密度構造による cavity を伝播しロケット搭載プラズマ波動観測装置によって観測されると解釈される。またロケット飛翔の最高々度 750km 付近で見出された UHR 波動については「あけぼの」衛星で観測されているような自然 UHR 波動成分が微弱ながら確認された。この観測結果 wake による成分との分離など困難はあるが、free energy が UHR 波動を引き起こすのに十分な領域の下限高度は 500km 程度であることが明らかとなった。

さらに、インピーダンスプローブによる観測結果を用いての電子温度の推定について検討し、wake 中における電子温度の特性を解析した。その結果 S-310-28 ロケット実験においても wake 中心領域において従来から報告のある様な電子温度の上昇が見出され、wake 中における電子温度が周辺プラズマにおける電子温度の約 2 倍となる結果を得た。さらに特に注目すべき現象として、wake 境界領域において周辺プラズマの 3 倍程度の電子温度を示す領域が新たに確認された。この現象はプローブが wake 境界を突き抜けてその密度勾配方向に向いた際、プローブ根元の $1/6$ のみが wake 領域に、他の部分が ambient な領域にある時に観測されており、プローブのリニアな感度特性を仮定した場合 wake 最深部は 8000K の温度であったと推定される。このことは境界領域の密度勾配により激しいプラズマ擾乱が起きていることを示唆しており、wake 中でのプラズマ擾乱が引き起こすプラズマ不安定による UHR 波動が存在するとした仮説を支持する結果を得た。

ライダーによる流星高度金属原子層の観測

2001年10月14日

第99回流星物理セミナー

東京都立大学工学研究科 阿保 真

【1】ライダー (LIDAR: Light Detection And Ranging) の基礎

〔1〕概念

目標物によるLaser光の後方散乱を利用したActive Remote Sensor

$\mu s \rightarrow 150m$

$ms \rightarrow 150km$

目標物の密度や性質（温度、風など）の空間分布を得る

〔2〕基本構成

（1）送信部

Laser（ほとんどパルス、まれにCW：CWの場合は変調が必要）

コリメーター

（2）受信部

集光器（反射望遠鏡、フレネルレンズなど）

受信光学系（レンズ、絞り、干渉フィルター）

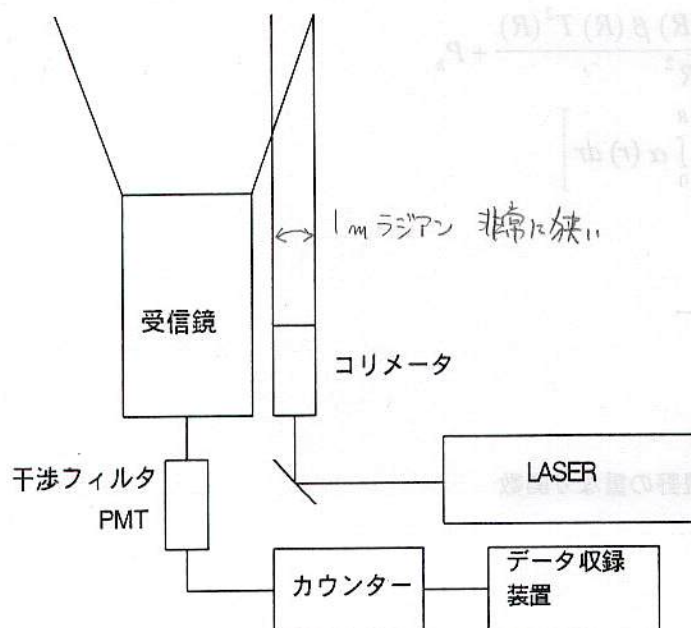
受光素子（紫外～近赤外では光電子増倍管：PhotoMultiplier Tube）

（3）信号処理装置

アンプ

A/D変換器 又は フォトンカウンター

データ収録装置（変調ライダーの場合は復調器が必要）



基本的なライダー構成

[3] 方式の種類

○受信方式の違い

(1) インコヒーレントライダー (incoherent lidar)

(2) コヒーレントライダー (coherent lidar)

○散乱形態の違い

(1) Rayleigh (散乱) ライダー (例) 大気密度, 気温	$d \ll \lambda$	反射率 $\sigma \sim 10^{-27} (\text{m}^2/\text{sr})$	
(2) Mie (散乱) ライダー (例) エアロゾル	$d \sim \lambda$	$\sigma \sim 10^{-12}$	
(3) Raman (散乱) ライダー (例) H_2O , 気温	$\lambda_i \neq \lambda_R$	$\sigma \sim 10^{-33}$	波長が変化して戻ってくる これにより物質種類が分る
(4) 共鳴散乱ライダー (例) 中間圏金属原子	Tunable Laser	$\sigma \sim 10^{-17}$	物質の共鳴波長とあわせると 強い光が戻ってくる

○その他の方式

- (1) DIAL (差分吸収ライダー) 2 波長 Laser, Tunable Laser
(例) H_2O , O_3 , NO_2
- (2) Dopplerライダー 狭帯域 Laser 風の速度
(例) 風, 温度
- (3) 偏光解消度測定ライダー
(例) 形態情報

[4] ライダー方程式

$$P_r(R) = \frac{K P_0 L A_r Y(R) \beta(R) T^2(R)}{R^2} + P_b$$

$$T(R) = \exp \left[\int_0^R \alpha(r) dr \right]$$

 K : システム定数 P_0 : 送信レーザー出力パワー L : 距離分解能 A_r : 受光望遠鏡の有効面積 $Y(R)$: 送信ビームと受信視野の重なり関数 β : 後方散乱係数 α : 消散係数 P_b : 受信背景光パワー

【2】ライダー技術の展開

[1] 狭帯域レーザーを利用したライダー

Incoherent Doppler ライダー

Mie 散乱とRayleigh 散乱の分離

金属原子フィルターの開発

[2] Tunable 固体レーザーを利用したライダー

水蒸気DIAL

[3] 固体レーザーを利用したコヒーレントライダー

風の測定

[4] 共鳴散乱を利用したライダー

中間圏 Na, K, Ca, Ca⁺, Li, Fe 等の測定

共鳴線のDoppler広がり

温度

共鳴線のDoppler shift

風

[5] スペースライダー

[6] スキャンニングライダー

3次元情報

【3】共鳴散乱ライダーによる中間圏界面（＝流星高度）の金属原子層の観測

[1] 金属原子層の成因

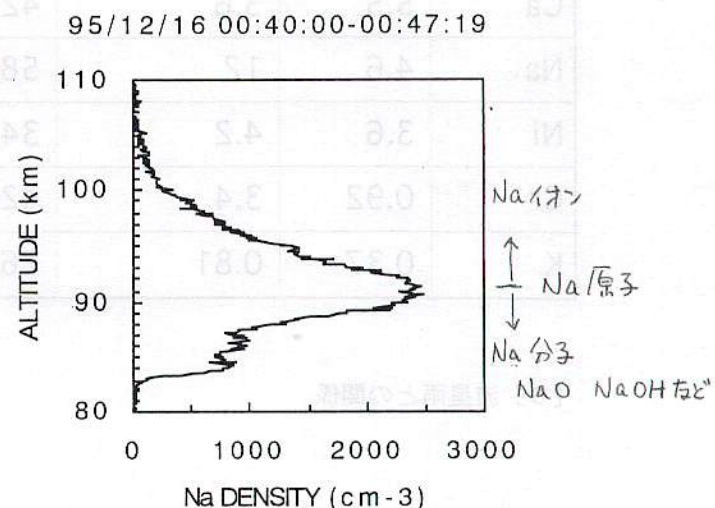
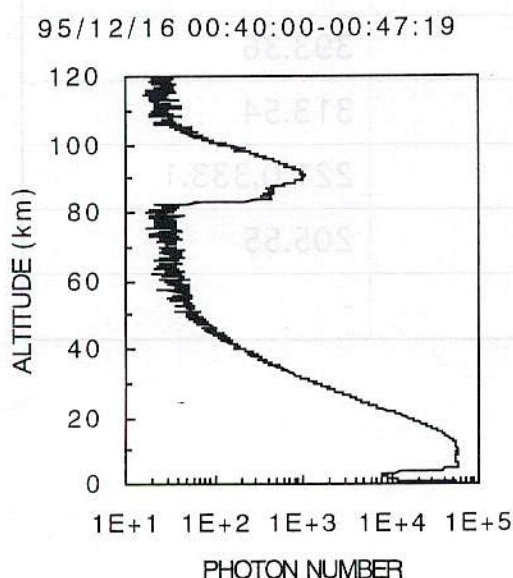
90 km 以上は電離状態

90 km 以下は電離していない、中性

[2] ナトリウム層の観測

589 nm 波長で Na を調べる

主な観測目的：大気波動のトレーサー



[3] 狭帯域原子フィルターを用いた昼間観測

原子のファラデー効果とゼーマン効果による分散を利用したフィルター ($\Delta\lambda \approx 0.004\text{nm}$)

フラインホーファー線の太陽光の狭い波長フィルターを使うと昼間も観測可能

[4] スポラディックナトリウム層

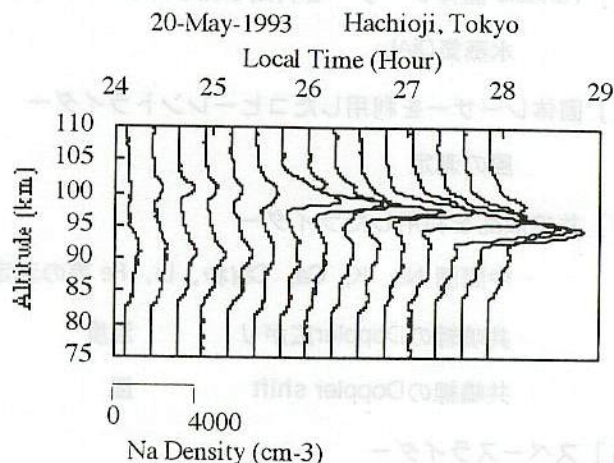
電離層のスポラディックE層との関係

大気運動のトレーサーとして利用

大気重力波

潮汐波により大気波動

年周変化 夏冬で3倍違う



[5] 他の金属・イオン層の観測

K, Caイオン

Element	Neutral abundance	Ion abundance (101km)	Resonance wavelength (nm) <u>Neutral</u>	Resonance wavelength (nm) <u>Ion</u>
Si	100	100	288.16	504.1, 505.5, 566.9, 634.7, 637.1
Mg	93.5	49	285.21	279.55
Fe	70.9	158	371.99	239.56
Ca	5.5	3.6	422.67	393.36
Na	4.6	12	589.00	313.54
Ni	3.6	4.2	341.48	221.0, 333.1
Cr	0.92	3.4	425.44	205.55
K	0.37	0.81	769.90	-

[6] 流星雨との関係

リアルタイム流星自動検出システム

2001. 10/14, MSS-99

竹田 育弘 (明治)・志倉 匡人 (東京理科大)

1. 目的

ビデオで撮影された流星の確認は非常に大変な作業となる。そこで、ビデオ流星自動検出ソフト (Metrec) を使用することによりデータ処理の効率化を図ったが、本システムはそれを応用したものである。高感度 CCTV カメラ (WATEC 社製 Neptune100) で撮影されたデータを、DV 等を介することなく Metrec にかけることで、リアルタイムに流星を自動検出する。つまり、撮影しながら一時処理を行うことができ、速報を出すことを予定している。

2. 接続



3. 結果

10月14日4時頃から明け方にかけて試験運転を行った。時間が短かったために十分とは言い難いが、以下のような結果が得られた。

使用レンズ	時間	検出流星数
6mm (60°)	10分	1
12.5mm (24°)	10分	4

4. 今後の予定

- ・本システムと、DVテープへ記録した後検出を行った場合とで結果を比較
- ・長時間運用試験
- ・Leonids2001 (in 三門) →速報!

協定ポイント算出ワークシート

筑波大学天文研究会 豊田哲也
東京理科大学天文研究部 志倉匡人

入力		
観測地	北緯(deg.)	39
	東経(deg.)	139
協定地	北緯(deg.)	40
	東経(deg.)	140
	高度(km)	100
地球半径	(km)	6350



rad.情報		
観測地	北緯(rad.)	0.680678408
	東経(rad.)	2.42600766
協定地	北緯(rad.)	0.698131701
	東経(rad.)	2.443460953
	高度(km)	100
地球半径	(km)	6350



協定位置情報		
$\pi/2 - \text{観測地の緯度}(r)$	(rad.)	2.460914245
$\pi/2 - \text{協定地の緯度}(q)$	(rad.)	2.443460953
2点の経度差(N)	(rad.)	0.017453293
cos(中心角)		0.999786085
中心角	(rad.)	0.020684425
ポイント間の距離	(km)	131.3461013
方位角	(rad.)	0.785398163



高度角(平面三角)		
高度角(θ)	(rad.)	0.92007241
	(deg.)	52.716266

高度角(球面三角)		
sin(中心角)=		0.02068295
cos(中心角)=		0.999786085
$R/(R+h)=$		0.984496124
$\tan \theta =$		0.739254339
高度角(θ)	(rad.)	0.636588339
	(deg.)	36.47382514



協定ポイント情報		
方位角	45[deg.]	38[min.]
高度角	36[deg.]	28[min.]

※ 今後の展望

- ・方位角の球面三角法による導出を行う。
- ・有効数字と誤差の評価を行う。
- ・日時を加えて、協定ポイントの赤経赤緯を導出する。

流星自動検出システム MCounter の開発

平松正顕(東京大学理学部)
海老塚昇(理化学研究所)

第103回流星物理セミナー 2003/01/19

開発の目的

- 人間の目に頼らない検出を目指す
- DVで撮影した画像をそのまま取り込む
- フレームグラバーを使用しない
- 複数OS上で動作可能に



画像解析ソフト ImageJのプラグインとして作成

第103回流星物理セミナー 2003/01/19

ImageJ

- NIH Image: 生物学・医学系で使用
- NIH Image を Java 環境に移植
- フリーソフト web からダウンロード可
- 本体・各種プラグインともにソースコード公開
→ 新たなプラグインが書きやすい
- Java Runtime があればOSによらず動作

第103回流星物理セミナー 2003/01/19

既存の検出システム

- MetRec by Sirco Molau
標準DOS上で動作
豊富な機能(数・光度・対地速度・群判定etc)
フレームグラバーが必要
- MeteorScan by Pete Gural
Macintosh上で動作
フレームグラバーが必要

第103回流星物理セミナー 2003/01/19

MCounter

MetRec

- | | |
|----------------------|-----------------------|
| ■ 画像は事前にDV編集ソフトで取り込み | ■ フレームグラバーで取り込みと同時に解析 |
| ■ 画像データだけでも解析可能 | ■ 画像データだけでは解析不可能 |
| ■ Win, Mac, Linuxで動作 | ■ DOS上でのみ動作 |
| ■ 機能はまだまだ... | ■ 多種多様な機能 |

第103回流星物理セミナー 2003/01/19

MCounter の使用法

1. FireWire経由で直接DVからキャプチャ
DV編集ソフト(Adobe Premiere など)
もしくはCD・DVDなどからコピー
2. キャプチャした動画を ImageJ で開く
3. 階調反転・二値化 (ImageJ)
4. *MCounter Run*
5. 計算結果を text 形式で保存

第103回流星物理セミナー 2003/01/19

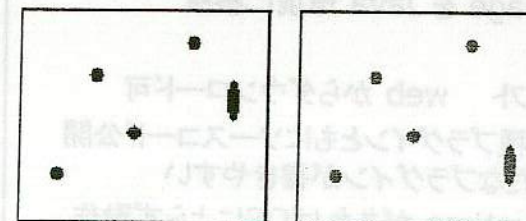
MCounter のアルゴリズム

- 前後2枚のフレームで、写っている点の位置の差を比較、最短距離の点を判定
- 距離最短の2点の位置の差が下限値以下
→ 恒星
- 距離最短の2点の位置の差が上限値以上
→ 別の恒星 または ノイズ
- 2点の位置の差が上限値と下限値の間
→ 流星

第103回流星物理セミナー 2003/01/19

MCounter のアルゴリズム

フレームごとに全点の座標を測り、前フレームと比較



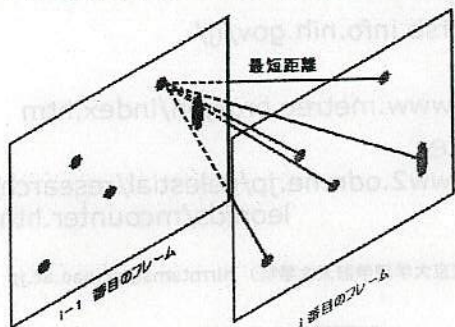
i-1 番目のフレーム

i 番目のフレーム

第103回流星物理セミナー 2003/01/19

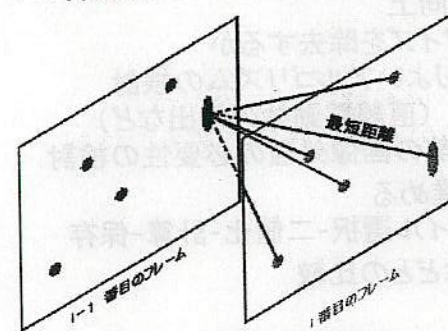
MCounter のアルゴリズム

i-1 番目のフレームの点が恒星の場合

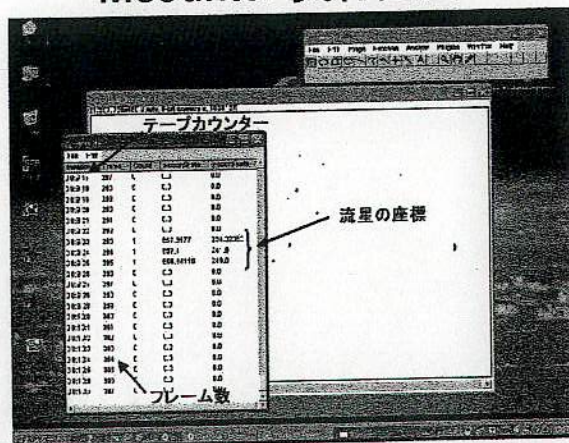


MCounter のアルゴリズム

i-1 番目のフレームの点が流星の場合



Mcounter 実行画面



パフォーマンス テスト

OS	MacOS 9.2	Windows XP	RedHat Linux 7.3	Windows 98
CPU	PowerPC G3 600MHz	Pentium 4m 1.7GHz	Pentium 4m 1.7GHz	Celeron 400MHz
memory	256MB	512MB	512MB	196MB
Median 720x480x10	464sec	184sec	241sec	940sec
Mcounter 720x480x307	31sec	14sec	8sec	31sec
Med-Mcounter 720x480x307	23sec	8sec	7.6sec	30sec

第103回流星物理セミナー 2003/01/19

今後の課題

- 検出精度向上
 - いかにノイズを除去するか
 - よりよいアルゴリズムの検討
(直線移動体の検出など)
 - 事前の画像処理の必要性の検討
- 自動化を進める
 - 動画ファイル選択-二値化-計算-保存
- MetRecなどとの比較

第103回流星物理セミナー 2003/01/19

参考 web site

- ImageJ
<http://rsb.info.nih.gov/ij/>
- MetRec
<http://www.metrec.org/jpn/index.htm>
- MCounter
<http://www2.odn.ne.jp/celestial/research/leonids/mcounter.html>

平松正顕 (東京大学理学部天文学科) hirmtsms@cc.nao.ac.jp

第103回流星物理セミナー 2003/01/19

OS	Windows 98	Windows XP	Mac OS X	Linux 7.3
CPU	Pentium III 1.0GHz	Pentium III 1.0GHz	Pentium III 1.0GHz	Pentium III 1.0GHz
Memory	128MB	128MB	128MB	128MB
Median	104sec	104sec	104sec	104sec
MCounter	31sec	31sec	31sec	31sec
Win-MCounter	31sec	31sec	31sec	31sec



2003年流星会議

都市部での自動火球観測装置

しし座流星群も終わり、極大日前後の集中観測スタイルでは苦しい時代に入りました。最も基本的な解決法は、観測時間を増やすことです。そのためには、自宅(横浜)での定常観測が必須となります。その第1段として、自動全天火球観測装置を製作したので報告します。

2003年8月23日

日本流星研究会(NMS)

鈴木 智

satoshi246ss@yahoo.co.jp

自宅での定常流星観測の問題点

1. 光害がひどい(最微が3-4等)
2. 観測時間がとれない

対策

1. 対象を火球以上に限定。低感度TV観測。
2. 観測及び検出の自動化

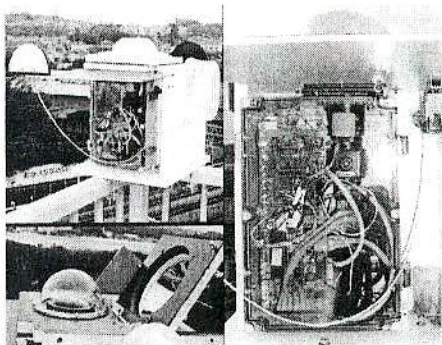
2003/08/23

2003年流星会議

2

仕様

方式	非魚眼全天TV観測
ハード	
CCD	Watec 100N
レンズ	COSMICAR 8.5mm F1.5 Nikon Fisheye Converter FC-E8 (x0.21)
センサ	雨センサ、温度センサ、明るさセンサ
画像処理装置	Desktop PC Celeron 800MHz DRAM 512MB, HD 80GB, ATA100
画像入力ボード	Euresys製 EureCard Picolo
ソフト	
開発環境	Win2000 + Borland C++ Builder 6 Personal + Euresys eVison
画像フォーマット	EIA(普通のビデオ信号)
取込フォーマット	正方 640x480pixel 30frame/sec
流星検出処理	ほぼリアルタイム(33ms以内)
検出対象	火球(-3mag以上)

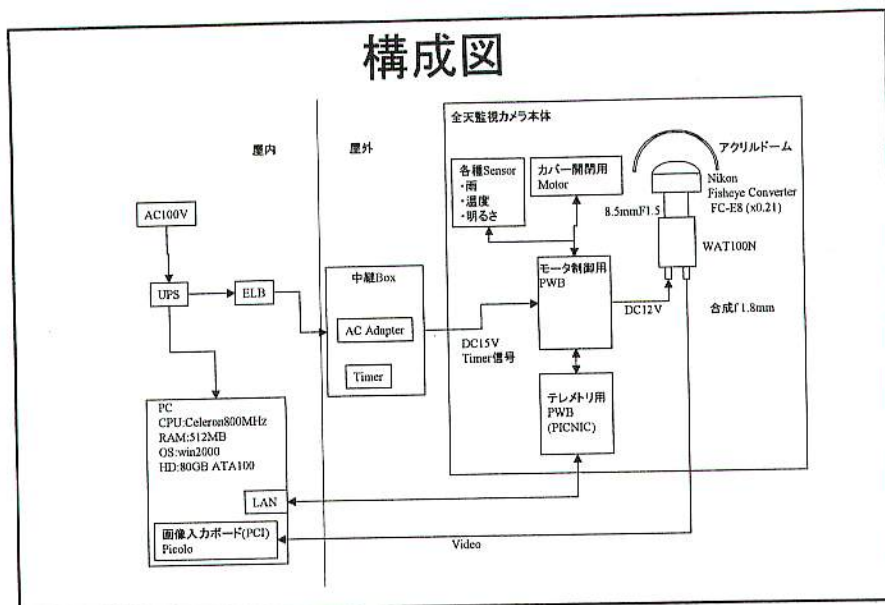


2003/08/23

2003年流星会議

3

構成図



システム(ハード)

- 画像入力ボード
 - 入力フォーマット: EIA (通常のアナログビデオ信号)
 - SDK付きで最安であったEuresys製Pico boardを採用 (640x480pixel 30fr/s)
- カメラ部
 - IIは、寿命、取扱性の点で不可
 - 流星では定評のあるWatec 100Nを取りあえず採用
- レンズ
 - Nikon Fisheye Converter FC-E8 + COSMICAR 8.5mm F1.5を使用 (合成f 1.8mm) 1/2CCDでは、f7.3mm程度のレンズでなければ完全な円形画像は得られない。今回は屋根等の遮蔽があるため問題ない。

2003/08/23

2003年流星会議

5

システム(ソフト)

動作概要

火球を検出した時点で、その前後数秒の画像をPCに保存する。

リアルタイム火球検出

3フレーム前の画像との差分画像を計算

判定法1: しきい値を超えた場合検出とする

判定法2: 最輝点が直線運動している場合検出とする

- 取りこぼしを減らすために「疑わしきは検出」とする。(誤検出は増加)
- 最終チェックは目視

2003/08/23

2003年流星会議

6

参考資料

資料

画像入力ボード PicoLo

http://www.ads-img.co.jp/industries/industries2/industries_2.html

アドサイエンス通販価格:39800円(税送抜き)

<http://www.euresys.com/products/picolo/Picolo.asp>

魚眼コンバーター FC-E8

http://www.nikon-image.com/jpn/products/digital_goods/convertor.htm

<http://www.koheisha.jp/nikoncoolpix01.html>

<http://www.yodobashi.com/enjoy/more/i/15556.html>

ヨドバシカメラ通販:28000円(税抜き)

付録 応用

- PC側の入力は、通常のアナログビデオ信号のため8mm,DV等の再生映像も入力可能
- レンズも魚眼に特化しているわけではないため、中望遠くらいまではパラメータの調整である程度対応できる
- 最小構成
デスクトップPC+画像入力ボードPicoLo+ビデオカメラ
+ビデオ映像

付録 応用(2)

- 火球自動観測ソフト(Windows用 要PicoLoボード)
本自作ソフトは、ご希望があるようでしたらHP、メール等では無償提供致します。ただ、まだテスト段階で完成度は低く、動作保証等もできないことをご了解下さい。

第106回流星物理セミナー
自動火球観測装置2号機
火球自動導入装置の試作

昨年、全天自動火球観測装置を開発し、火球の自動ビデオ観測が可能となった。しかし、現状では古くから行われてきた写真による火球パトロールを補完する程度のものでしかない。これは、ビデオリアルタイム検出能力を十分活用していないためである。今回はこの能力を活用した火球自動導入装置の試作を行った。

2004年2月29日

日本流星研究会 (NMS)

鈴木 智

satoshi246ss@yahoo.co.jp

全天自動ビデオ観測の特徴

長所

- 全天の火球を一晩中見逃さない
- リアルタイムで火球の位置、光度情報が得られる
- 長時間露光しないため光害に強い

短所

- 写真に比較し位置決定精度が劣る
- 流星痕は写らない
- 流星の美しさは味わえない

2004/02/29

第106回流星物理セミナー

2

火球の自動導入

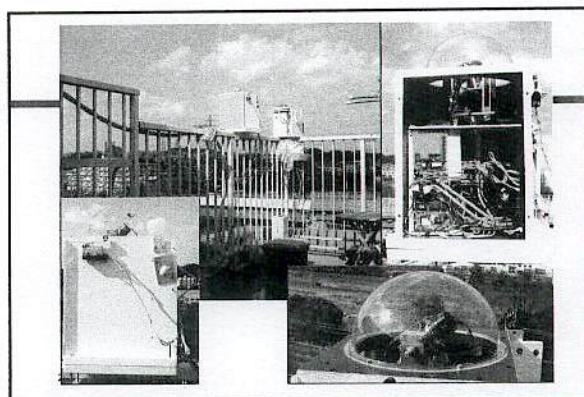
方式:リアルタイムで火球位置情報を取得し、高速にカメラをその方向に駆動することにより、火球が消える前に視野内に導入する。

- リアルタイム火球位置情報->1号機で検証済み
- 高速カメラ駆動装置->今回試作

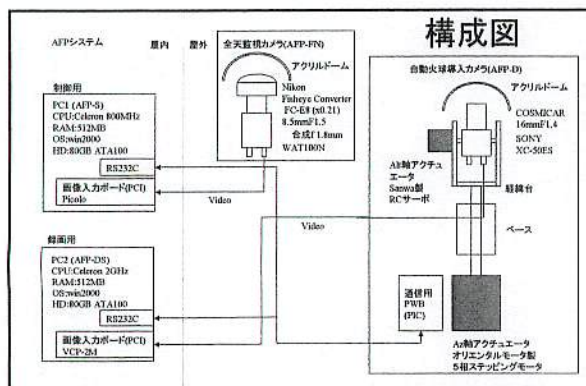
2004/02/29

第106回流星物理セミナー

3



構成図



ハードウェア

- 架台
 - シンプルな経緯台式で直接駆動
- アクチュエータ
 - 高度軸: 小型軽量のラジコン用サーボを採用(耐久性に難)
 - 方位軸: 制御が容易な産業用5相ステッピングモータを採用
- カメラ、レンズ
 - 高速駆動には、慣性モーメントが小さいことが重要
 - 振動に強いこと
 - FA用の小型CCDと小型レンズを採用
 - Watec 100Nと比較しゲインが低いので星の写りは悪い

2004/02/29

第106回流星物理セミナー

6

ソフトウェア

動作概要

1. 全天監視カメラで火球を検出
2. 火球の位置情報(方位、高度)を計算
3. その値を自動導入装置に送信
4. 保存用PCに動作指令送信
5. カメラを高速駆動
6. 動作指令1分後、ホームポジションに戻す指令送信

2004/02/29

第106回流星物理セミナー

7

ふたご群テスト観測結果

12月13/14日 23:46~4:38 (292min) (データ詳細は添付資料1)
 観測時間 4.9時間 (録画はビデオで連続記録)
 総検出数 16個
 導入成功流星数 4個

12月14/15日 22:57~6:42 (465min)
 観測時間 7.8時間
 総検出数 75個
 導入成功流星数 20個(内4個は導入途中で消失)

検出継続時間0.5s以上 流星数16個 内導入成功流星数11個(約70%)

2004/02/29

第106回流星物理セミナー

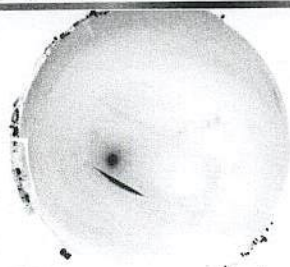
8

-10等火球観測結果(1)

Data

ID Date Time Mag Dir Azi Alt
 00609 2004/01/05 20:01:29.9-9.7 4.4 348.6 58.6
 Δα Δδ
 161 21

- ・画像の保存には、PC(2台目)を使用
- ・ソフトの制約により、動作指令後約0.5秒後から録画開始
- ・途中飽和してしまい、一度ロスト。その後再捕捉し、再度導入に成功
- ・分裂しているものも捉えることができています

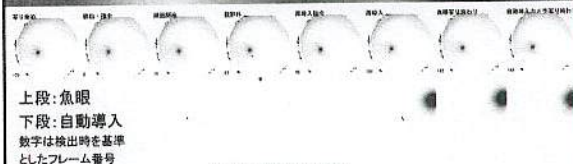


2004/02/29

第106回流星物理セミナー

9

-10等火球観測結果(2)



上段: 魚眼
 下段: 自動導入
 数字は検出時基準
 としたフレーム番号

再導入詳細(1fr毎)

2004/02/29

第106回流星物理セミナー

10

考察

1. 導入成功例は移動距離の少ないものがほとんど
 カメラの駆動に時間がかかる
 フォームにバグがあるため位置決め誤差が大きい
2. 導入後のぶれが大きい
 可動部の機械的強度不足
 Azアクチュエータのトルク不足
 Altアクチュエータのバックラッシュが大きい
3. 視野中心に導入されない原因(位置決め精度)
 指令誤差 → 全天魚眼カメラ側の測定誤差(現状±2deg)
 位置決め誤差 → アクチュエータの性能、機械的精度、アライメント精度等による 今はフォームのバグのため大
 火球移動による誤差 → 火球の移動速度による 予測可能

2004/02/29

第106回流星物理セミナー

11

終わりに

本技術は、流星分野において広範囲に応用がきく画期的なものであると信じています。しし群のような特異な状況がなくても流星の観測データを定常的に得る能力が飛躍的に高められるからです。

開発目標

火球の自動追尾システム
 スーパーシュミット並の火球位置決定精度の実現
 モバイル型流星痕自動撮影装置

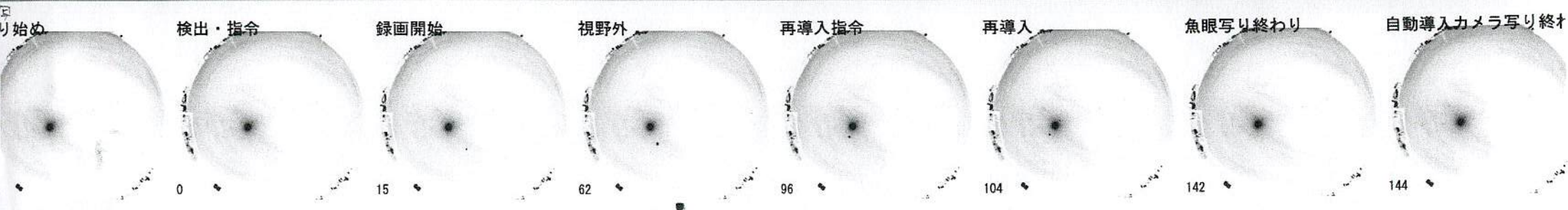
2004/02/29

第106回流星物理セミナー

12

ID	Date	Time	Mag	Dur.	Az1	Alt1	待機方向 Az2	Alt2	移動距離 Δaz	移動距離 Δalt	結果 av	Dur. 0.5>=	コメント
23439	2003/12/14	0:03:26	-3.1	0.50	255.0	55.9	180.0	38.0	75	18	○	●	
23440	2003/12/14	0:07:41	-2.4	0.12	55.0	42.9	180.0	38.0	-125	5			
23441	2003/12/14	0:17:03	-2.3	0.06	123.1	63.3	180.0	38.0	-57	25			
23442	2003/12/14	0:36:55	-2.3	0.12	57.4	61.5	180.0	38.0	-123	24			
23443	2003/12/14	0:41:42	-2.4	0.23	35.1	15.3	180.0	38.0	-145	-23			
23444	2003/12/14	1:04:56	-2.1	0.30	207.9	6.0	180.0	38.0	28	-32	○		
23445	2003/12/14	1:17:10	-2.5	0.14	148.0	72.2	180.0	38.0	-32	34			
23446	2003/12/14	1:19:35	-2.5	0.12	263.8	32.3	180.0	38.0	84	-6			
23447	2003/12/14	1:20:39	-2.5	0.30	207.0	22.8	180.0	38.0	27	-15			
23448	2003/12/14	1:22:28	-2.1	0.12	92.3	12.2	180.0	38.0	-88	-26			
23449	2003/12/14	1:22:40	-2.7	0.53	179.5	27.9	180.0	38.0	-1	-10	○	●	
23450	2003/12/14	1:42:59	-2.6	0.20	306.6	29.8	180.0	38.0	127	-8			
23451	2003/12/14	1:50:40	-2.5	0.50	20.8	10.7	180.0	38.0	-159	-27		●	?
23472	2003/12/14	2:51:13	-2.7	0.12	330.8	42.9	180.0	38.0	151	5			
23486	2003/12/14	3:03:33	-2.4	0.54	274.2	23.8	180.0	38.0	94	-14		●	?
23521	2003/12/14	4:33:46	-2.7	0.30	143.3	64.5	180.0	38.0	-37	27	○		
23632	2003/12/14	23:04:25	-2.5	0.15	302.8	55.6	180.0	38.0	123	18			
23633	2003/12/14	23:11:37	-1.6	0.00	215.6	66.9	180.0	38.0	36	29			
23634	2003/12/14	23:15:24	-2.8	0.60	165.7	40.7	180.0	38.0	-14	3	○	●	
23635	2003/12/14	23:17:43	-2.5	0.57	221.3	46.9	180.0	38.0	41	9	○	●	
23636	2003/12/14	23:23:40	-2.2	0.20	31.4	27.8	180.0	38.0	-149	-10			
23637	2003/12/14	23:26:50	-2.2	0.12	146.5	41.0	180.0	38.0	-34	3			
23638	2003/12/14	23:31:13	-3.0	0.12	55.1	56.5	180.0	38.0	-125	19			
23639	2003/12/14	23:32:31	-2.3	0.24	199.9	59.2	180.0	38.0	20	21			
23640	2003/12/14	23:33:00	-1.9	0.03	263.4	59.9	180.0	38.0	83	22			
23641	2003/12/14	23:33:13	-2.4	0.20	102.4	73.5	180.0	38.0	-78	36			
23642	2003/12/14	23:36:29	-2.2	0.00	212.7	25.4	180.0	38.0	33	-13			
23643	2003/12/14	23:46:22	-2.6	0.24	89.1	49.3	180.0	38.0	-91	11			
23644	2003/12/14	23:54:19	-2.6	0.12	232.6	63.0	180.0	38.0	53	25			
23645	2003/12/15	0:07:22	-2.5	0.07	2.1	56.0	180.0	38.0	-178	18			
23646	2003/12/15	0:12:30	-2.3	0.03	127.7	23.9	180.0	38.0	-52	-14			
23647	2003/12/15	0:18:33	-2.6	0.37	0.9	51.8	180.0	38.0	-179	14			
23648	2003/12/15	0:21:28	-2.8	0.64	154.2	70.6	180.0	38.0	-26	33		●	通信エラー
23649	2003/12/15	0:33:13	-2.3	0.23	113.3	42.5	180.0	38.0	-67	5			
23650	2003/12/15	0:35:58	-1.5	0.00	92.6	36.4	180.0	38.0	-87	-2			
23651	2003/12/15	0:39:09	-2.9	1.10	87.5	18.1	180.0	38.0	-93	-20		●	通信エラー
23652	2003/12/15	0:40:49	-2.5	0.23	23.4	25.8	180.0	38.0	-157	-12			
23653	2003/12/15	0:42:14	-2.5	0.40	113.3	42.5	180.0	38.0	-67	5	○		
23654	2003/12/15	0:44:58	-2.7	0.30	170.4	71.8	180.0	38.0	-10	34	○		
23655	2003/12/15	0:46:43	-2.0	0.04	339.1	51.5	180.0	38.0	159	14			
23656	2003/12/15	1:01:41	-2.9	0.83	97.3	65.0	180.0	38.0	-83	27	○	●	
23657	2003/12/15	1:03:56	-2.9	0.67	342.1	53.9	180.0	38.0	162	16	○	●	
23658	2003/12/15	1:08:28	-2.9	0.50	316.8	38.6	180.0	38.0	137	1	△	●	
23659	2003/12/15	1:12:04	-2.2	0.13	240.0	66.2	180.0	38.0	60	28			
23660	2003/12/15	1:14:04	-2.3	0.17	86.9	58.6	180.0	38.0	-93	21			
23661	2003/12/15	1:18:16	-2.3	0.23	146.6	24.4	180.0	38.0	-33	-14			
23662	2003/12/15	1:21:26	-2.1	0.12	25.3	62.7	180.0	38.0	-155	25			
23663	2003/12/15	1:22:39	-2.0	0.12	-4.1	25.9	180.0	38.0	-184	-12			
23664	2003/12/15	1:25:55	-2.2	0.00	155.7	31.8	180.0	38.0	-24	-6			
23665	2003/12/15	1:26:02	-2.4	0.23	344.3	33.9	180.0	38.0	164	-4			
23666	2003/12/15	1:47:24	-2.3	0.16	2.6	33.5	180.0	38.0	-177	-5			
23667	2003/12/15	1:59:13	-1.6	0.00	328.0	53.1	180.0	38.0	148	15			
23668	2003/12/15	2:06:00	-3.2	0.43	70.1	39.3	180.0	38.0	-110	1	△		
23669	2003/12/15	2:06:21	-1.7	0.00	54.8	40.0	180.0	38.0	-125	2			
23670	2003/12/15	2:08:44	-2.8	0.37	150.2	50.3	180.0	38.0	-30	12	○		
23671	2003/12/15	2:10:44	-2.2	0.06	144.2	77.4	180.0	38.0	-36	39			
23672	2003/12/15	2:26:18	-2.0	0.17	73.7	46.6	180.0	38.0	-106	9			
23673	2003/12/15	2:41:13	-2.3	0.12	122.7	63.6	180.0	38.0	-57	26			
23674	2003/12/15	2:50:30	-2.5	0.16	132.9	40.9	180.0	38.0	-47	3			
23675	2003/12/15	2:54:43	-2.6	0.16	118.0	66.8	180.0	38.0	-62	29			
23676	2003/12/15	2:55:21	-2.6	0.26	251.5	35.8	180.0	38.0	72	-2			
23677	2003/12/15	2:59:17	-2.4	0.30	187.6	39.2	180.0	38.0	8	1	○		
23678	2003/12/15	3:11:22	-1.7	0.13	51.8	32.6	180.0	38.0	-128	-5			
23679	2003/12/15	3:12:25	-2.9	0.40	51.6	80.6	180.0	38.0	-128	43	○		
23680	2003/12/15	3:13:01	-2.7	0.40	97.8	58.6	180.0	38.0	-82	21	○		
23681	2003/12/15	3:14:52	-2.5	0.57	240.2	40.2	180.0	38.0	60	2	○	●	
23682	2003/12/15	3:27:01	-2.1	0.07	305.4	45.7	180.0	38.0	125	8			
23683	2003/12/15	3:39:34	-1.9	0.03	165.8	44.2	180.0	38.0	-14	6			
23684	2003/12/15	3:47:53	-2.7	0.60	52.6	64.9	180.0	38.0	-127	27	○	●	
23685	2003/12/15	3:48:21	-2.7	0.47	66.7	47.4	180.0	38.0	-113	9	○		
23686	2003/12/15	3:55:38	-2.3	0.12	289.3	70.0	180.0	38.0	109	32			
23687	2003/12/15	3:56:16	-2.7	0.93	101.7	27.2	180.0	38.0	-78	-11	○	●	
23688	2003/12/15	3:57:40	-2.0	0.05	77.0	44.0	180.0	38.0	-103	6			
23689	2003/12/15	4:01:02	-2.5	0.21	303.9	45.7	180.0	38.0	124	8			
23690	2003/12/15	4:11:40	-2.7	0.19	273.2	37.1	180.0	38.0	93	-1			
23691	2003/12/15	4:15:50	-2.4	0.12	303.0	34.1	180.0	38.0	123	-4			
23692	2003/12/15	4:16:55	-2.6	0.46	222.6	71.7	180.0	38.0	43	34	○		
23693	2003/12/15	4:18:47	-1.6	0.00	113.7	30.6	180.0	38.0	-66	-7			
23694	2003/12/15	4:19:21	-2.5	0.25	62.7	25.6	180.0	38.0	-117	-12	△		
23695	2003/12/15	4:19:42	-2.6	1.00	290.5	43.8	180.0	38.0	111	6		●	?
23696	2003/12/15	4:25:54	-2.8	0.16	18.5	38.9	180.0	38.0	-162	1			
23697	2003/12/15	4:27:47	-1.7	0.00	290.3	22.4	180.0	38.0	110	-16			
23698	2003/12/15	4:29:56	-2.2	0.24	80.0	30.9	180.0	38.0	-100	-7			
23699	2003/12/15	4:33:58	-2.6	0.37	313.9	43.2	180.0	38.0	134	5			
23700	2003/12/15	4:43:51	-2.7	0.97	206.8	18.6	180.0	38.0	27	-19	○	●	
23701	2003/12/15	4:51:46	-3.1	0.33	257.1	39.3	180.0	38.0	77	1	△		
23702	2003/12/15	5:01:48	-1.8	0.00	319.7	18.9	180.0	38.0	140	-19			
23703	2003/12/15	5:04:39	-2.2	0.13	212.5	55.9	180.0	38.0	33	18			
23704	2003/12/15	5:14:55	-2.3	0.00	129.0	14.7	180.0	38.0	-51	-23			
23705	2003/12/15	5:25:54	-2.7	0.20	121.1	64.5	180.0	38.0	-59	27			
23706	2003/12/15	5:30:08	-2.5	0.24	261.3	71.2	180.0	38.0	81	33			

— 10等火球観測結果(2)



上段: 魚眼

下段: 自動導入

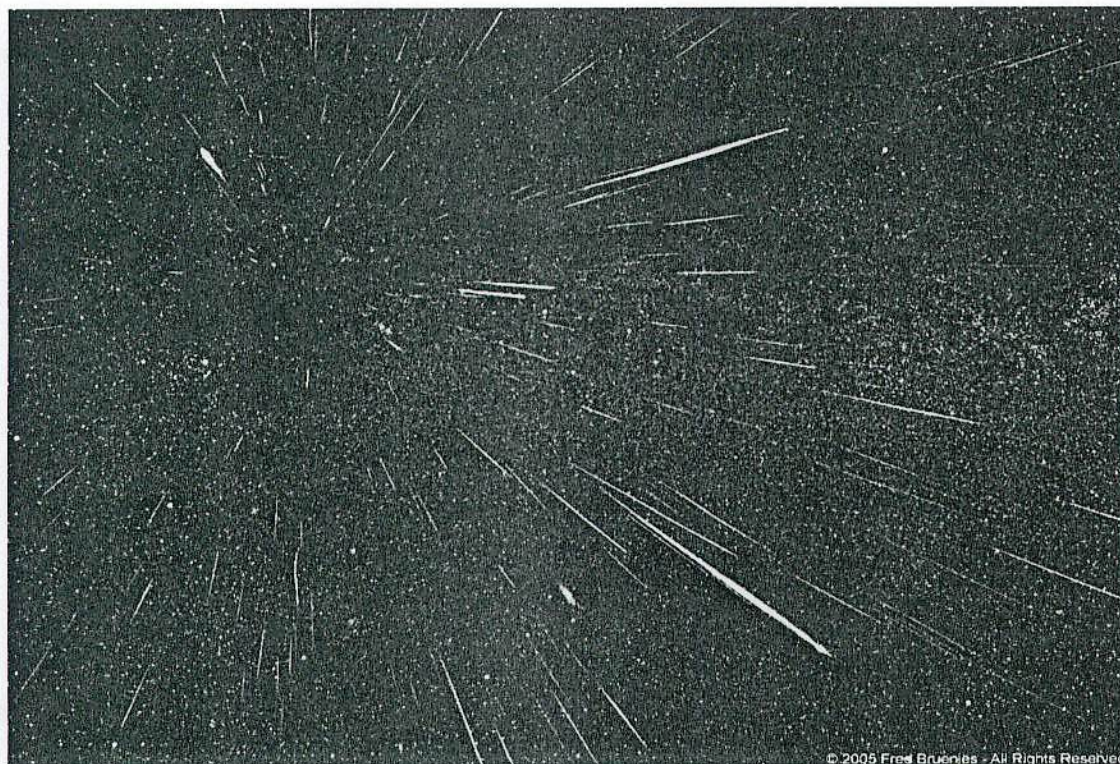
数字は検出時を基準
としたフレーム番号

再導入詳細(1fr毎)

デジイチによる流星観測の可能性について

TMN 大塚 勝仁

以下の写真を最初に見た時に、今回帰の Leonids と思ってしまいました。けれどもさにあらず、今年の Perseids の画像です。コンポジット処理してあるとは言え、その余りに凄まじい写真にショックを受け、デジイチについていろいろ調べました。今回は流星観測への応用と可能性について、皆さんと議論したいと思います。



〔撮影データ〕 photographed by Fred Bruenjes (CA, USA), using Canon 1D Mark II along with Sigma 20mm F1.8 lens on Aug. 11 and 12, 2005, when approximately 160 Perseids were recorded during 3,555 exposures over two nights (about ten hours total), each 10 seconds at ISO3200.

メモ:

2006/ 2/ 5 112thMSS

UFOCaptureを使ってみました

戸田雅之

状況：UFOCapture（以下UFOC）を使い始めた。もっぱらビデオ画像をUFOCに読み込ませて流星を検出するのに使っている。ビデオ画像をUFOCに読ませる度に検出流星数が異なるのに気がついた。

2006/ 2/ 5 112thMSS

観測条件

使用ソフト：UFOCaptureV2（タイムシフト動体監視ビデオキャプチャソフト）

稼働マシン：Pentium 4 3.0GHz

（高知工科大、山本真行研究室より貸与）

稼働環境：Windows XP

UFOCの豊富な機能を使いこなすには様々な可変パラメータの意味を熟知する必要がある。

30弱のパラメータがある。

ビデオテープを読み込ませる度に検出流星数が異なる事態に直面し、様々なパラメータから直感で「シンチレーションマスク」の値を変えた。

シンチレーションマスク (UFOCマニュアルより)

- ・夜空の恒星など、大気のゆらぎで瞬く対象を自動検出して、これをマスクして監視対象から外すことができます。
- ・夜空の観測ではこのシンチレーションマスクパターンがそのまま恒星の位置に対応しており、これによってカメラの観測方向を正確に記録することができます。シンチレーションマスクの恒星検出能力は強力で、人間には見えない恒星位置を判定することができます。

重野の観測結果

Akagi	Akagi	Akagi	Akagi	Akagi	等	絶対
(SVHS)	(DV)	(DV2)	(DV36)	(DV37)	級	等級
ok	-	-	ok	ok	4.5	1.8
-	-	-	-	ok	7.0	4.2
-	-	-	-	-	8.0	4.3
-	-	ok	-	ok	3.0	0.5
-	-	-	-	-	8.0	5.5
-	-	-	ok	ok	6.0	3.3
-	-	-	-	ok	2.0	0
-	-	-	-	-	7.5	5.8
-	-	-	ok(Spo)	ok	7.0	5.5
-	-	-	ok	ok	2.5	0.3
-	-	-	ok	ok	6.5	3.7
-	-	-	ok	ok	7.5	4.5
-	-	-	-	ok	1.5	-0.9
-	-	-	-	ok	7.5	4.6

結果

- ・シンチレーションマスクのパラメータを2ポイント変えただけで検出流星数が格段に増えた。
(未集計だが感覚的に3倍近く)
- ・流星の検出：5等級までは検出、6等級では検出できないものが多くなる。7等級より暗いものは検出出来なかった。

8

おまけ

- ・UFOCとWindowsを使い始めた著者が、試行錯誤しながらUFOCを使いこなそうという経過を追ったとんでもない発表です。
- ・本来ならパラメータを変えたら検出数がどの位増加したかをグラフと表で明示すべきだったが、いろいろあってまとめる時間が発表当日（2月5日）しかなかったために、このような不完全な発表になってしまったので、この場を兼ねておわび申し上げたい。

2006/ 2/ 5 112thMSS

ニコンD70の連続撮影機能を使った
流星と流星痕撮影実験
～2006年しぶんぎ群～

戸田雅之

目的：1つでも多くの流星痕を撮りたい。
どのような流星の出現後に永続痕が残るか。

方法：一眼デジタルカメラで短時間露出の連続撮影で
大量の画像が記録される。この中から流星が写って
いるコマを見つけ、次のコマに流星痕が写っていないか探す。

2006/ 2/ 5 112thMSS

観測条件

カメラ：ニコンD70改^(*)

記録メディア：4GBのCFカード

レンズ：28mmF1.4

露出／インターバル：5秒／約0.2秒（経験値）

画質：Jpeg、LargeMedium

撮影枚数：2706コマ

観測

2006年1月3/4日、

01h32m35s～05h41m05s（4時間08分30秒）

観測地：東京都武蔵野市

(*) メーカー改造でケーブルリリース装着可能にしたもの

結果

- ・約3等までの恒星が写っていた。
- ・-2～3等級の人工衛星が1つ写っていた。
- ・流星（と流星痕）は確認していない。

おまけ

- ・最近の一眼レフデジカメでは2桁コマの連続撮影が可能なものや、メディアの容量一杯連続撮影可能なものもある。筆者は後者に注目し、2004年6月にD70を購入した。
- ・EOS Kiss D-Nも連続撮影可能。露出／インターバルは**8s/10s , 10s/13s, 13s/15s**（前田氏）。D70はインターバル約0.2秒なのでロスタイムが少ない。
- ・デジカメとパソコンを接続すれば記録容量の心配はないが、観測のたびにパソコンを持つのは重い→大容量CFが安価になるのを待った。

前田幸治さん資料より: その1

流星

次の1コマ



前田幸治さん発表資料より その2

流星

次の1コマ



流星の自動検出プログラムの開発

竹田 育弘
明治大学大学院 理工学研究科

初めに

- ◆ 開発の背景
- ◆ プログラムの特徴
- ◆ 必要環境
- ◆ アルゴリズム
- ◆ 仕様(I/O)
- ◆ 実験
- ◆ 補助ツール
- ◆ デモンストレーション

2006/2/5

流星の自動検出プログラムの開発



流星自動検出の必要性

- ◆ 従来のビデオ観測後処理
 - ◆ 複数の人間でチェック → 精度向上
 - ◆ 膨大な作業量(実時間の1.5~2倍?)
 - ◆ 結局は眼視と同様のヒューマンエラーを避けられない

コンピュータによる自動処理

- ◆ 観測者の負担軽減
- ◆ データの再現性
- ◆ 同一の機材、検出アルゴリズムで観測者間の差異を吸収

2006/2/5

流星の自動検出プログラムの開発



プログラムの特徴

- ◆ Windowsで動作
- ◆ 計数観測に特化した仕様
- ◆ 流星の特徴を利用した検出アルゴリズム
 - ◆ 直線状に移動する光点
 - ◆ 徐々に明るくなる
 - ◆ 適切な継続時間
- ◆ 人間に認識可能な全流星の検出を目指す
 - ◆ 「正確な流星数」を知ることは不可能
 - ◆ ビデオで再現できない微小な流星は検出不可

2006/2/5

流星の自動検出プログラムの開発



想定する観測機材

- ◆ CCDカメラ: Watec社製 WAT-100N
- ◆ レンズ: CBC製 3.8mm/F0.8(対角107.7°)
- ◆ 記録媒体: DVカメラレコーダー

2006/2/5

流星の自動検出プログラムの開発



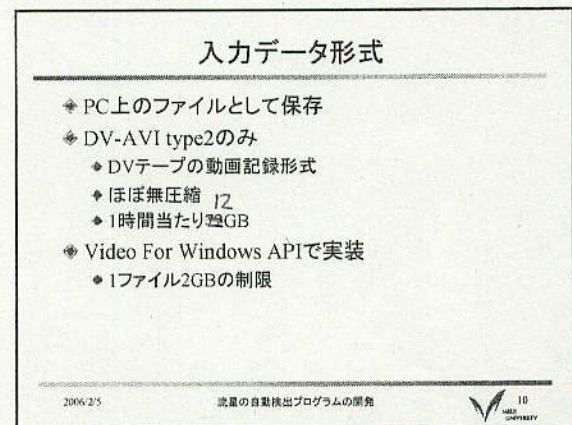
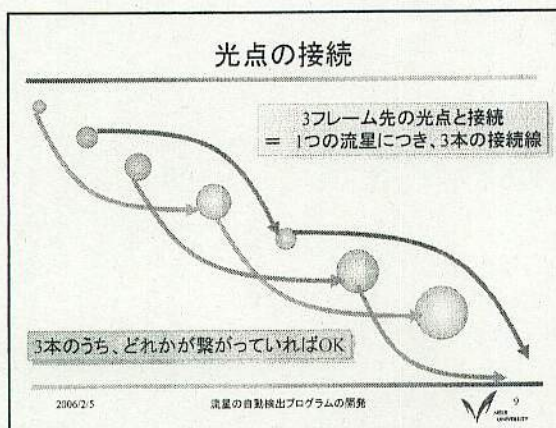
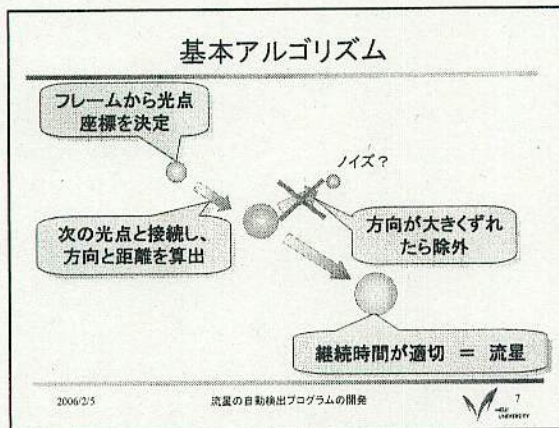
必要環境

- ◆ OS
 - ◆ Windows2000 or XP(98、Meは未確認)
- ◆ CPU
 - ◆ Pentium互換 できるだけ高性能なもの
- ◆ Memory
 - ◆ 512MB以上(1GB以上推奨)
- ◆ HDD
 - ◆ 1時間当たり72GB前後
- ◆ Application、Codec
 - ◆ Excel等の表計算ソフト
 - ◆ DV-AVI codec

2006/2/5

流星の自動検出プログラムの開発





出力データ形式

csvファイル: 表計算ソフトで表のように閲覧可能

番号	出現時刻 (frame)	出現位置 (Pixel)		消滅位置 (Pixel)		最大光度 (Pixel)	継続時間 (frame)
		x	y	x	y		
1	1198	138	134	145	133	20	7
2	1524	74	77	74	68	12	6

2006/2/5 流星の自動検出プログラムの開発

実験結果

- ◆ しし座流星群(2002年、アメリカ・モハベ砂漠)
- ◆ 輻射点方向、最微3.5等程度

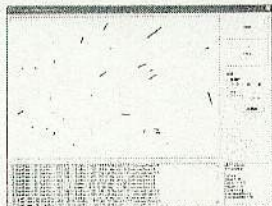
	-3	-2	-1	0	1	2	3	計
眼視	2	1	5	8	9	18	18	61
自動	2	1	4	6	4	5	3	25
捕捉率	100%	100%	80%	75%	44%	28%	17%	41%

※眼視の見落としを自動検出で2個発見

2006/2/5 流星の自動検出プログラムの開発

検出結果の分析用ツール

- ◆ 流星の経路を視覚的に再現
- ◆ リストを選択すると、該当の流星に色がつく
- ◆ 検出に用いた動画ファイル名、パラメータを確認できる



2006/2/5

流星の自動検出プログラムの開発



出力データの変換

- ◆ 出現時刻: フレーム → 時・分・秒
- ◆ 出現・消滅位置: ピクセル → 赤緯・赤経
- ◆ 最大光度: 面積 → 等級
- ◆ 継続時間: フレーム → 秒

上記のような変換が必要

2006/2/5

流星の自動検出プログラムの開発



今後の予定

- ◆ 精度向上
- ◆ 高速化
- ◆ 静止流星への対応を検討
- ◆ ダイレクトキャプチャへの対応
- ◆ 検出結果の変換ツール作成

2006/2/5

流星の自動検出プログラムの開発

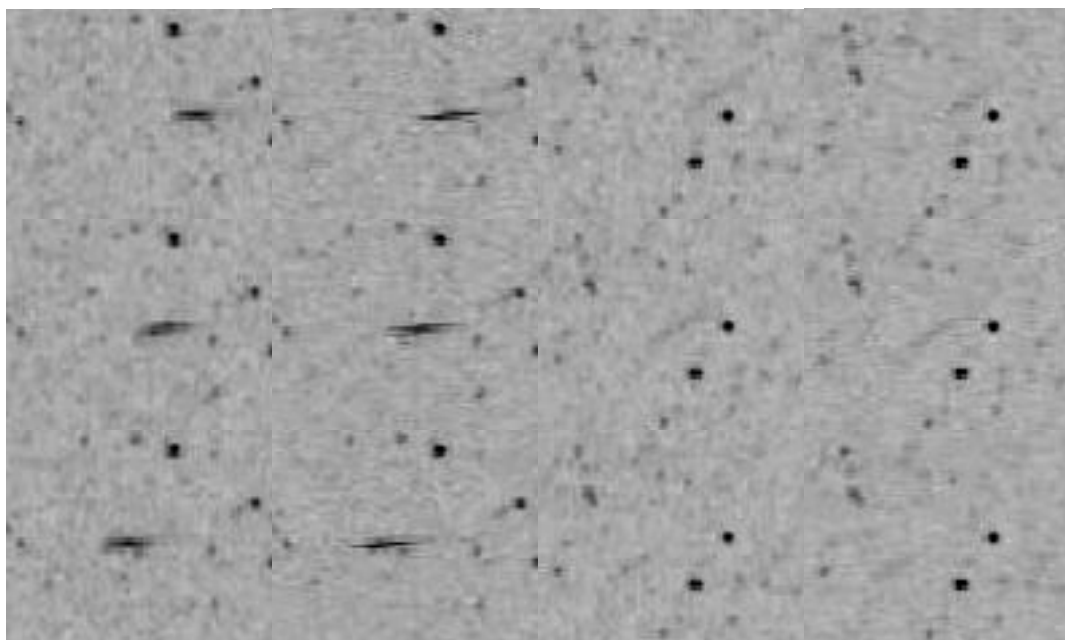


動画ファイル形式による流星画像の比較(未完)

重野好彦

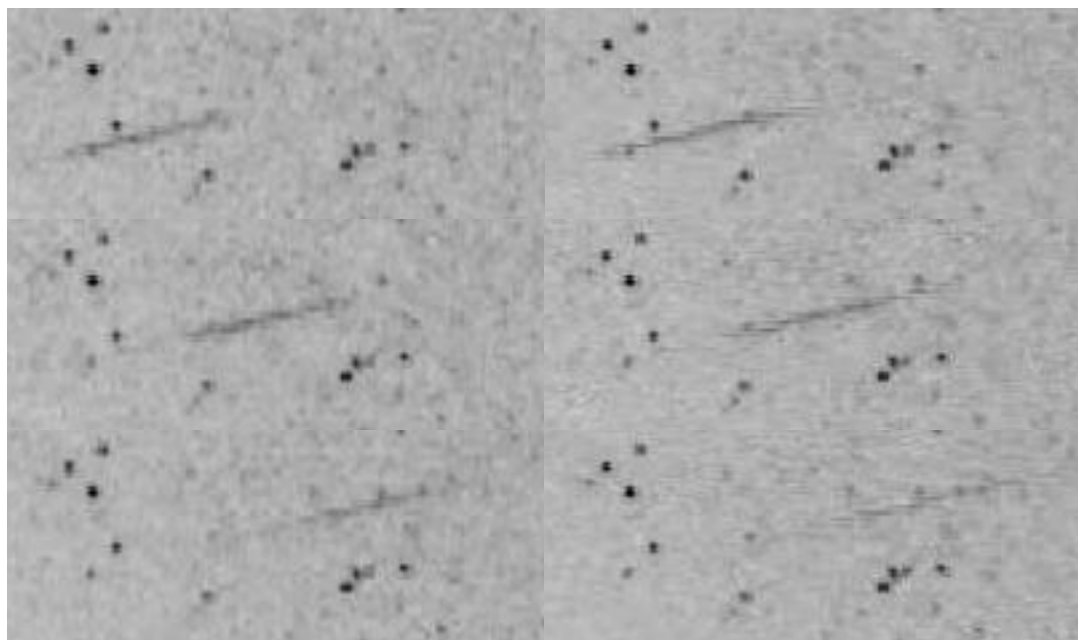
a) I1+CCD → CANOPUS ADVC-55 (DV-AVI 変換) → 録画 b) Ulead Video Studio 8 にて MPEG-2 変換
 c) DV-AVI 形式 : 12.6GB/時 d) MPEG-2 形式 : 2.3GB/時 (5Mbps) [720×480]

- 1) 変換後の MPEG-2 画像はフレームの奇数と偶数が、なぜか混ざってしまい正確な比較ができない。
- 2) MPEG-2 は圧縮率が高くノイズが多少クリア(滑らかな感じ)になっている。
- 3) ファイルサイズが5倍違うことを考えると、重要度によっては MPEG-2 でも使用可能。



[DV-AVI 形式] [MPEG2 形式]
 図1. 「6等流星」(2005.11.26 01:32:30JST)

[DV-AVI 形式] [MPEG2 形式]
 図2. 「8等流星」(2005.11.26 01:37:34JST)



[DV-AVI 形式] [MPEG2 形式]
 図3. 「7等流星」(2005.11.26 01:31:16JST)

動画ファイル形式による流星画像の比較(第2報)

重野好彦

1992年から動画をHi8ビデオで録画してきたが、3時間テープが製造中止となったため、パソコンをビデオデッキとして使用する観測を開始した。動画ファイル形式としてはMPEG-2形式が一般的だが、流星のように淡く動きの速い対象の場合、時間方向圧縮によりノイズとして消されてしまうとの情報があり、DV-AVI形式を使用することにした。しかし72GB/6時間ものファイルサイズとなり扱いにくい。そこでDV-AVI形式とMPEG-2形式の比較を行った。

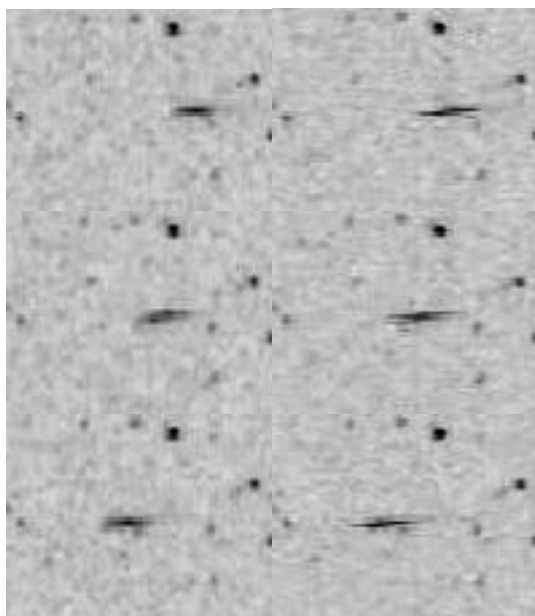
実験1. DV-AVIで撮影した画像をMPEG-2にソフトウェア変換して比較した。

- a) 85mmF1.2+II+CCD (NTSC) → canopus ADVC-55 (DV-AVI変換 720×480 12GB/時) → 録画し、
- b) Ulead Video Studio 8にてMPEG-2変換(720×480 2.3GB/時(5Mbps))

図1に示すように変換後のMPEG-2画像はフィールドの奇数と偶数が、なぜか混ざってしまい正確な比較ができない。変換ソフトとしてHonestech, VirtualDubModを使用してみたが変わらなかった。DV-AVIとMPEG-2ではフィールドの奇数と偶数の扱い方が逆のためこのような現象が起きるらしい。

実験2. II+CCDから出力されるNTSCビデオ信号をMASPRO VSP4を使用して分岐し、一方をcanopus ADVC-55 (DV-AVI変換 720×480 12GB/時)、もう一方をcanopus 板ちゅ〜 (MPEG-2変換 720×480 3.7GB/時(8.5Mbps))それぞれパソコンに録画した。

図2に示すとおり、一見したところでは画質の大きな差は感じられない。よく見るとMPEG-2はブロックノイズが現れている。しかし測定等に致命的な状態ではない。MPEG-2の画質劣化は時間方向圧縮のためと言うより高圧縮率によるブロックノイズが問題であった。これは圧縮率を変えることで改善される。MPEG-2のファイルサイズはDV-AVIの1/2~1/5であり、圧縮率を自由に変わるので、観測の重要度に応じた圧縮率を選定すると良いだろう。



左：DV-AVI 形式

右：MPEG-2 形式

図1. 6等流星(赤城)(2005. 11. 26 01:32:30JST)

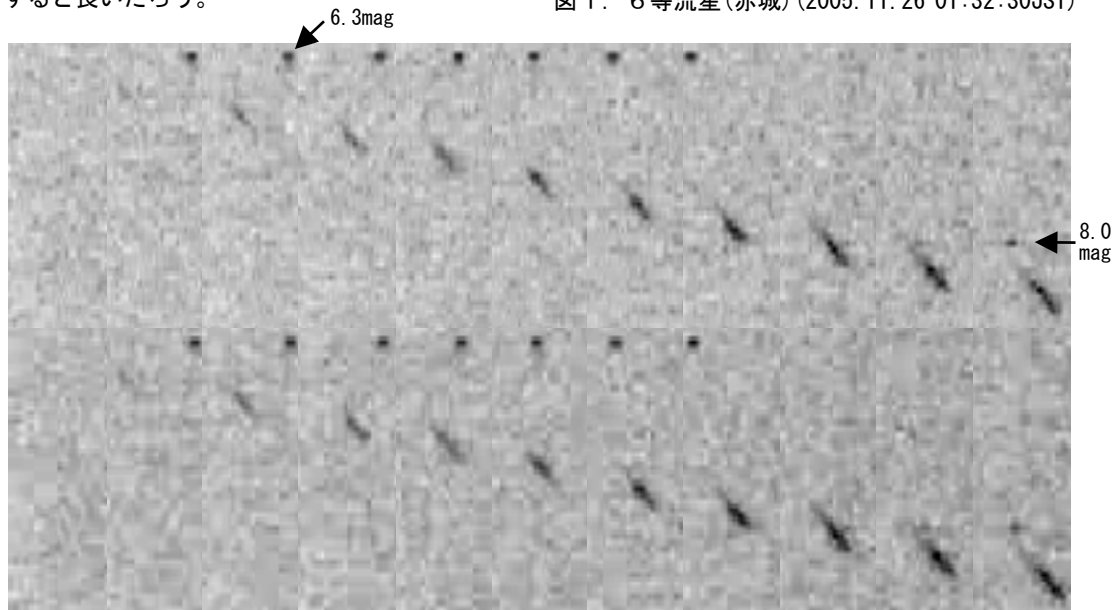


図2. 6等流星(足柄)(2006. 03. 04 23:38:57JST) 上段：DV-AVI 形式 下段：MPEG-2 形式

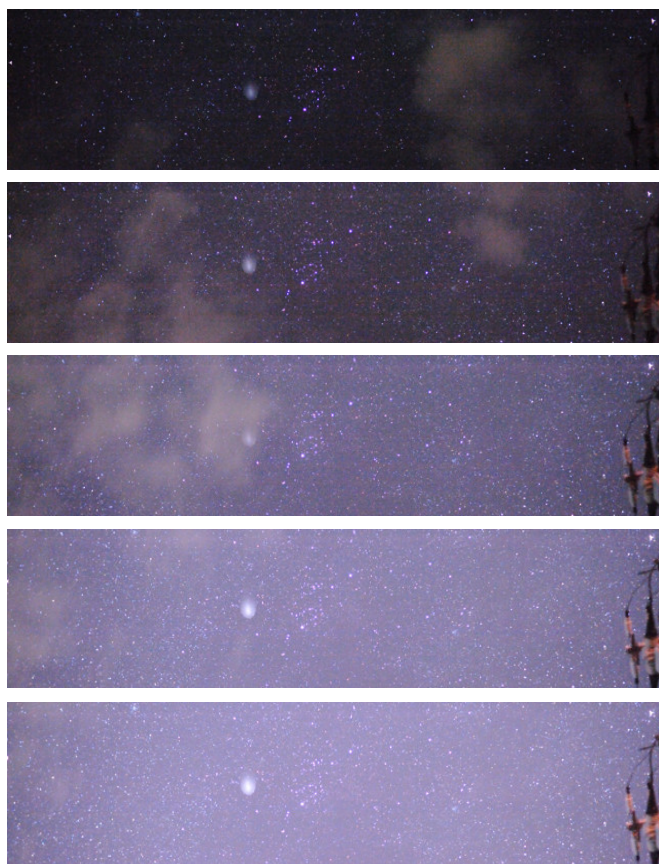
ニコンD3を使ってみました。

戸田雅之

昨年の8月下旬にニコンD3の発売が発表された。常用感度の高感度側がISO6400、感度拡張でISO25600相当まであげられるのがとても魅力的であった。11月30日までの発売までの間にISO12800やISO25600で撮影されたスポーツ写真がアメリカの写真サイトで発表されて、それらからうかがえたのはISO6400以上の設定でも粒状性の悪化やカラーノイズの増加がとても少ないことが予想できた。

私はD70を使って夜空を撮ることもあるが、これの感度設定の上限がISO1600。RAWで撮影し専用の現像ソフトを使えばISO1600に対しプラス2の露出補正が可能である。が、しかし、私の経験ではプラス1のISO3200相当で、粒状感がけっこう悪化する。プラス2のISO6400では、確かに増感出来るけれど・・・の程度である。これらと比べるとD3の高感度画像はD70のそれとはとても比べ物にならないほどキレイで、ISO6400から25600まで撮影可能ということは、今まで撮れなかったものが撮れるかもしれない・・・そんな期待をもたせてくれた。

11月29日、なぜか私はニコンD3を手にしていて・・・買っちゃったんです。



2007年12月4日のホームズ彗星
ニコンD3、58mmF1.2(絞りF1.4で使用)、ISO25600で撮影。
シャッタースピードは上から1/2秒、1秒、2秒、3秒、4秒

次は連続撮影のテストを兼ねて、12月14日に極大を迎えるふたご座流星群にもこのカメラを使って流星撮影を試しました。観測場所は神奈川県足柄です。

D70では撮影モードはJpegやRAW(ニコンならNEF)であってもCFカードの容量のある限り、連続撮影をしてくれるありがたい機能があります。一昨年からD70を使って数秒から十数秒シャッターを開け、撮影が終わったらすぐに次に撮影をする連続撮影モードで流星をいくつか撮影しています。去年の10月オリオン群ではようやく明るい流星を撮ることに成功しました。

ふたご座流星群での撮影でわかったことは

- ・D3では連続撮影枚数は100枚。
- ・当初ISO12800、シャッタースピード1秒で撮影したが、空がほとんど真っ白。
- ・上の結果から2001年しし座流星群のように高感度設定、短時間のシャッタースピードのカメラセッティングをするには、撮影地はなるべく暗い空が良いことが判明した。
- ・目視で3等級の流星がカメラに写った！（下写真参照ねがいます）

おわり



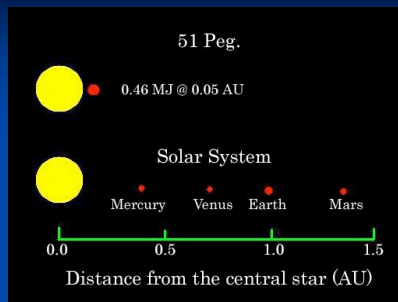
2007年12月14日のふたご座流星群の流星
ニコンD3、28mmF1.4(絞り開放で使用)、ISO2000で撮影。
シャッタースピード: 4秒

地球外生命を求めて ～太陽系外・地球型惑星の探査～

海老塚 昇
甲南大学／国立天文台

第115回流星物理セミナー 2007年2月4日

系外惑星の発見



1995年にペガサス座51番星に系外惑星を最初に発見。
今までに約200個の木星サイズの惑星を発見。
地球サイズ惑星は見つかっていない。

我々の太陽系



(太陽からの距離は別として、惑星の相対的な大きさはほぼ実際の比の通り)
<http://www.solarviews.com/eng/homepage.htm> ©Calvin J. Hamilton

太陽系形成標準理論



京都モデル

林 忠四郎@京都大学
天体核研究室

原始惑星系円盤

- ・H, Heガス: 99%質量
- ・固体成分: 1%の質量

微惑星仮説

- ・固体成分がまず凝集
 - ・その後ガス成分が降着
- (須藤 靖@東大の講義ノートより)

©ニュートンプレス、井田茂@東工大

系外惑星の探査方法

直接法

多くの困難

系外惑星は、地球から遙か彼方で光り輝く、恒星のすぐ近くに位置している。

見つけることはできたとしても・・・

非常に高い感度

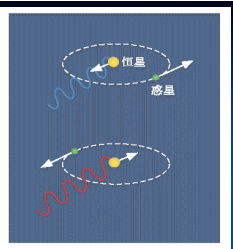
画素階調ダイナミックレンジ

画像のシャープさ解像度

間接法

ドップラー法

惑星の公転運動による恒星の速度のふらつきを高分散分光観測により測定する方法。波長の変化は数百～数千万分の一。



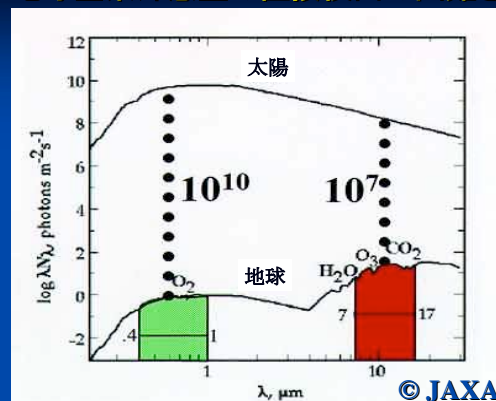
トランジット法

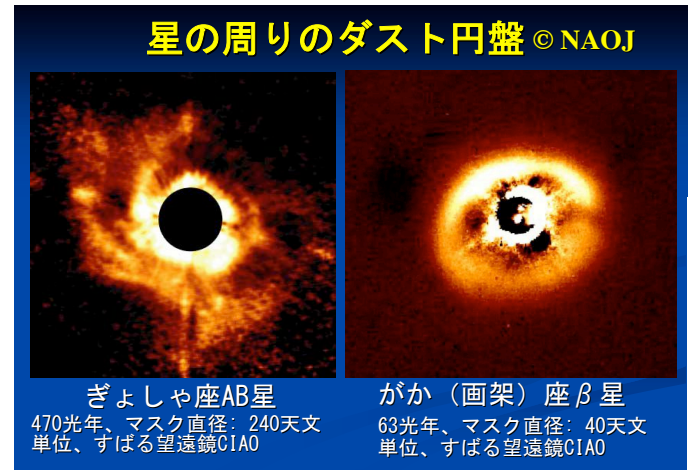
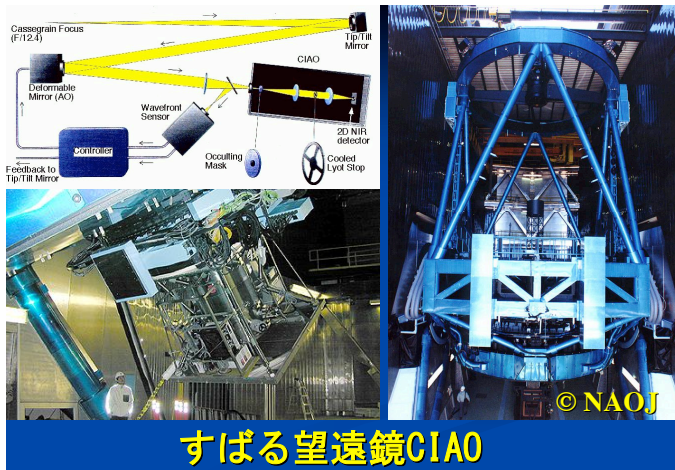
惑星が恒星の前を通り過ぎることによる明るさの微小変化を検出する方法。



© Lynette Cook

地球型系外惑星の直接検出の困難さ





大型宇宙望遠鏡計画

望遠鏡の口径が大きいほど解像度が高い。

大気の揺らぎ(シーイング)が解像度を制限。

大気が紫外線と赤外線を吸収。
(300nm以下、2.5μm以上)

HST: Hubble Space Telescope

波 長: 0.2~2.5μm
主鏡口径: 2.4m、厚さ: 0.3m
材質: ULE (極低膨張ガラス)
構造: 中空リブ単一鏡
重量: 約800kg (180kg/m²)
総 重 量: 12トン

© NASA / STScI

Hubble Against Earth's Horizon
Image Credit: NASA, 1997

HSO: Herschel Space Observatory

波 長: 60~670μm
主鏡口径: 3.5m
材質: 焼結SiC
構造: 開放リブ単一鏡
重量: 約240kg (25kg/m²)
温度: 50K (-223℃)
総 重 量: 3.3トン?

1.5 million kilometres

© ESA

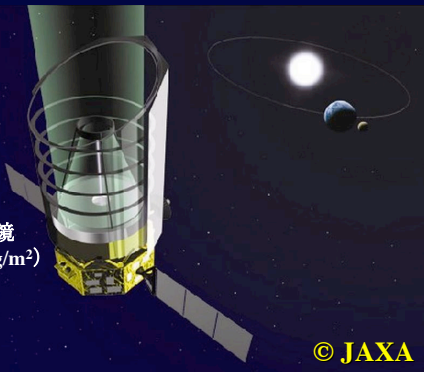
JWST: James Webb Space Telescope

波 長: 0.6~28μm
主鏡口径: ~6.5m
材質: 未定
構造: セグメント鏡
重量: 1,500kg (15kg/m²) 以下
温度: 50K (-223℃)
総 重 量: 12トン?

© NASA, ESA, CSA, Northrop Grumman Space Technology

SPICA: Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics

波 長: 2~200 μm
主鏡口径: 3.5m
材質: C/SiCまたは
焼結SiC
構造: 開放リブ単一鏡
重量: 約240kg (25kg/m²)
温度: 5K (-268℃)
総 重 量: 3.3トン?



© JAXA

地球型系外惑星を発見するためには・・・

次世代大型宇宙望遠鏡

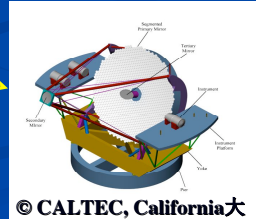
- ・ TPF (Terrestrial Planet Finder, NASA)
→10mクラス中間赤外線干渉計?
- ・ JTPF (日本)
→3.5mクラス可視光一枚鏡、軸外し光学系



© JAXA, NAOJ

次世代地上超大型望遠鏡

- ・ CELT:口径30m (米国)
- ・ JELT:口径30m (日本)
- ・ OWL: 口径100m (欧州)



© CALTEC, California大

究極的には・・・

- ・ 10mクラス可視光宇宙干渉計

TPF: Terrestrial Planet Finder / Darwin

波 長: 可視光線または中間赤外線
主鏡口径: 10mクラス単一鏡または
4mクラス×複数の干渉計
材質: 未定
構造: 未定
重量: 未定
総 重 量: 未定

© NASA, CALTEC / ESA

JTPF: Japan Terrestrial Planet Finder

波 長: 0.1~5.0 μm
主鏡口径: 3.5m
材質: 高強度反応焼結SiC
構造: 開放リブ単一鏡
軸外非球面
重量: 約240kg (25kg/m²)
総 重 量: 3.3トン?

© JAXA, NAOJ

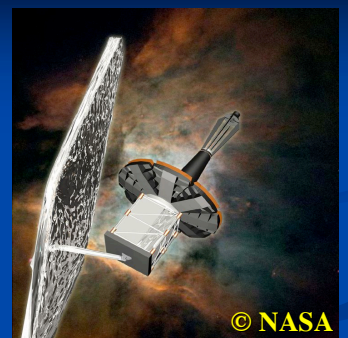
宇宙望遠鏡の性能比較

	HST	HSO	JWST	SPICA	TPF / Darwin	JTPF
口 径 [m]	2.4	3.5	~6.5	3.5	~10 / 4xN	3.5
最適波長 [μm]	0.2~2.5	60~670	0.6~28	2~200	0.2~2.5 / 5~30	0.1~5
解 像 度 [秒角]	0.021~0.26	4.3~48	0.023~1.1	0.14~14	0.005~0.63*	0.007~0.35
観測対象	遠方銀河、星生成領域など	原始銀河、原始惑星系など	遠方銀河、太陽系外惑星など	原始銀河、原始惑星系など	太陽系外・地球型惑星など	太陽系外・地球型惑星など
打上げ予定	1993	2010	2015	2015	2020	2020

*口径10mの場合

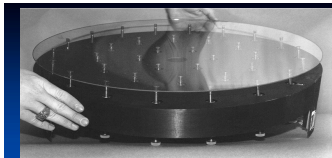
各種超軽量大型ミラー

- 薄肉ガラス+能動支持
・ システムが複雑。
- CFRP等の複合材料
・ 形状精度の保持が問題。
- ベリリウム (Be) 裏面リブ+補償光学
・ 強い発ガン性がある。
- シリコンカーバイド (SiC) 裏面リブ+補償光学
・ 機械的、熱的に最も優れている。
・ 加工が困難。

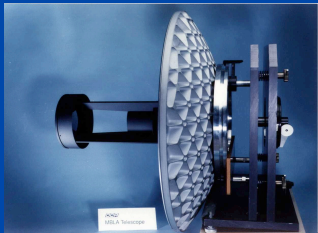


© NASA

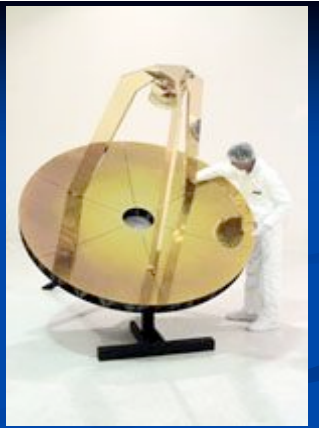
8-10m 次世代宇宙望遠鏡 (NGST→6.5m JWST)



ULE薄肉鏡+能動支持



リブ構造ベリリウム鏡



CFRP鏡

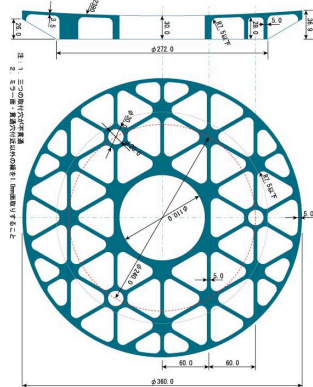
シリコンカーバイド (SiC)

- 剛性・破壊強度・熱伝導・線膨張率等の点で最も優れている。
- Φ710 mm 「あかり」 (宇宙研) やΦ3.5m Herschel望遠鏡 (ESA) 等に採用。
- 地上30-100mクラス望遠鏡の主鏡素材としても有望。
- SiCはダイヤモンドに次いで硬い難加工物質。
通常の研削法等では鏡材のくり抜きや鏡面加工等に膨大な時間を要する。

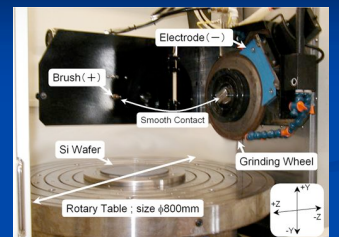


Herschel望遠鏡用Φ3.5m SiC超軽量鏡の試作
(© ESA, EADS Astrium)

Φ360のSiC球面ミラーの素材



Φ800mm超精密ロータリー研削盤 (RG-800、大森素形材工学研究室 所有)



- Y,Z軸 : 油静圧スライド
- Y,Z軸分解能 : 10nm
- ターンテーブル : 油静圧軸受け (割出し機能無し)
最大240rpm定速回転



Φ360 SiCミラー サポート治具

加工変形を防止。
無重力状態の形状を測定。

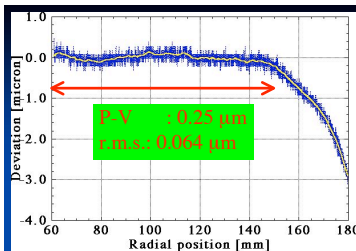


エアシリンダー

油圧クランプ

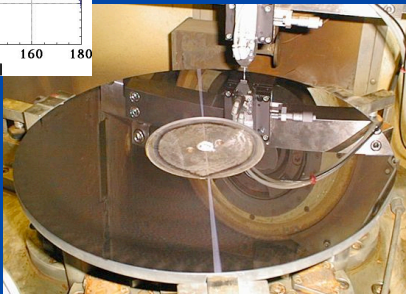


粗加工後のΦ360 SiCミラー

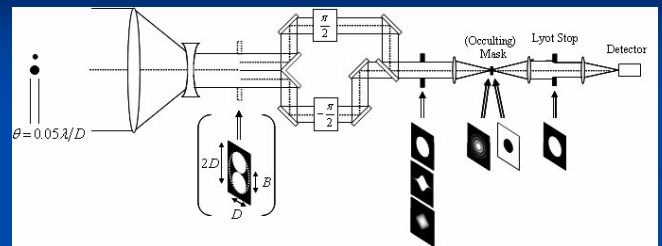


接触式プロファイラ
による机上計測
(恵藤氏 提供)

半径60~150 mmの
範囲は形状精度が
可視光にて実用可
能なレベル。



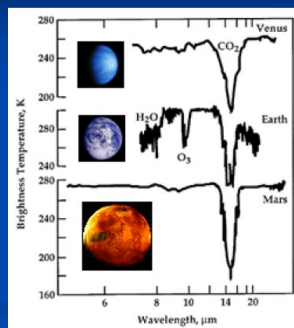
ナール干渉計



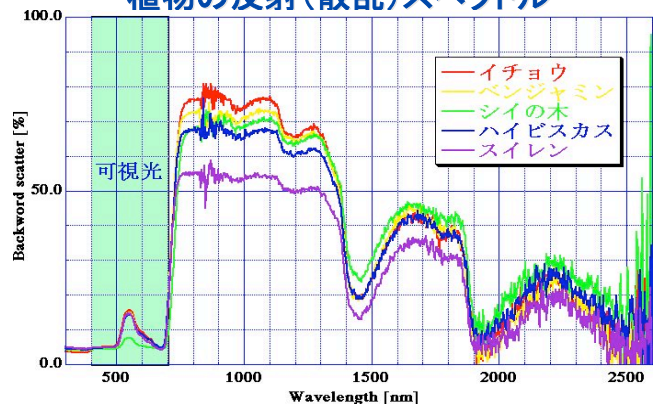
2光束に分けて中心星の光を打消すように光束を
重ね合わせる。Null = 0

地球型惑星が発見された 場合には...

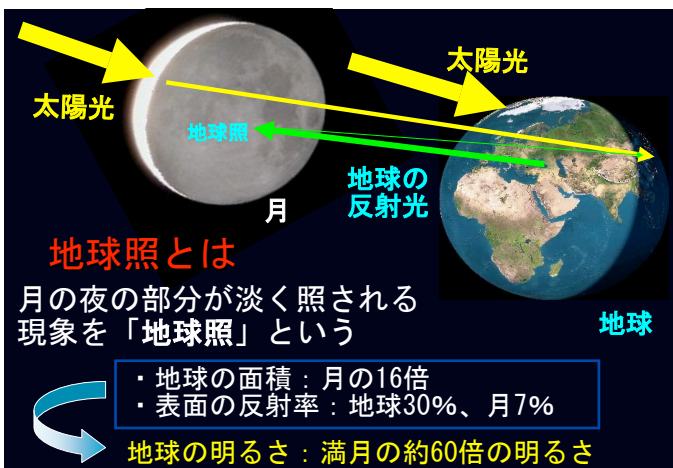
- 水や酸素のスペクトル
→生物の存在を確定
できない。
- 植物の赤外線反射
→レッドエッジ



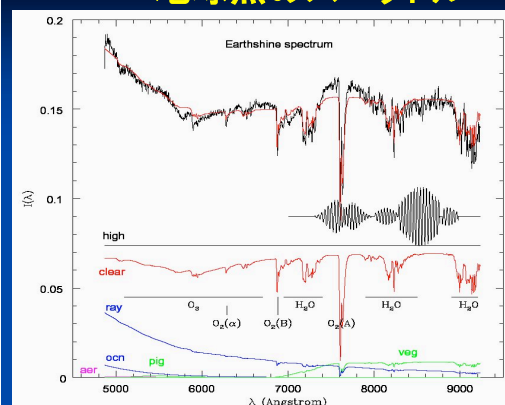
植物の反射(散乱)スペクトル



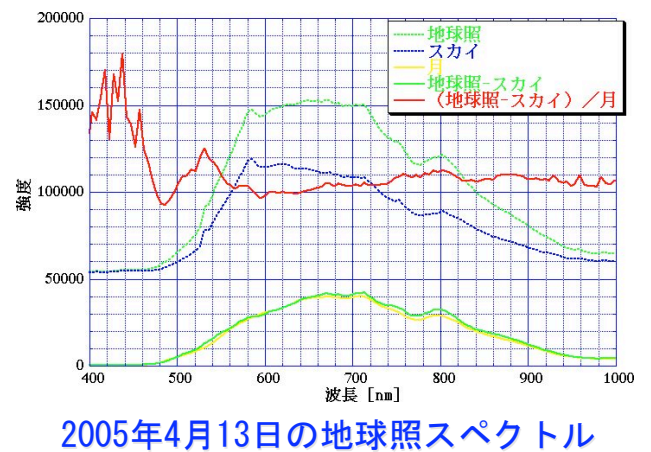
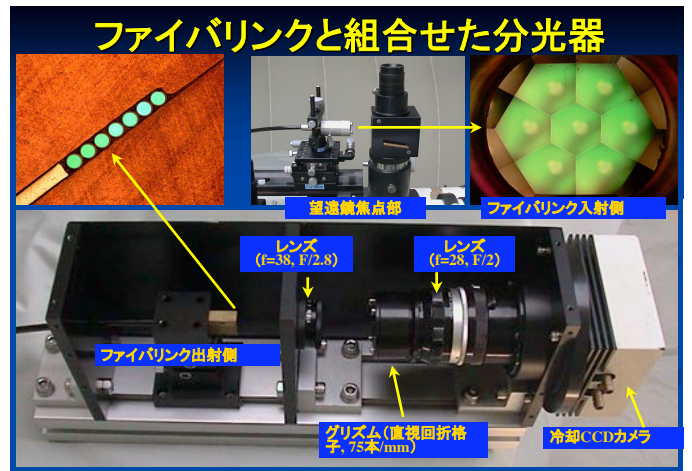
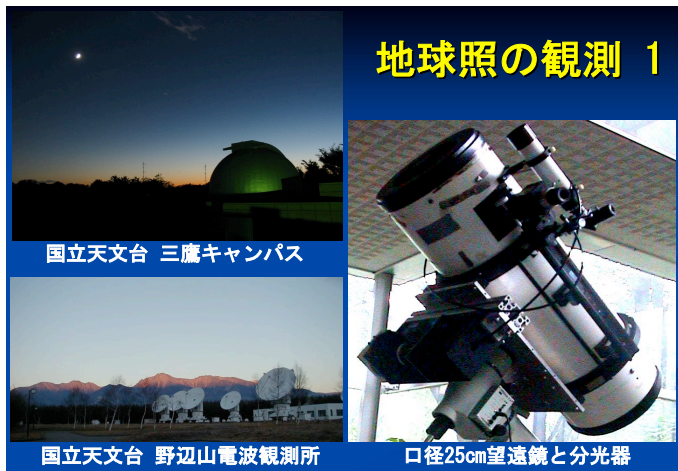
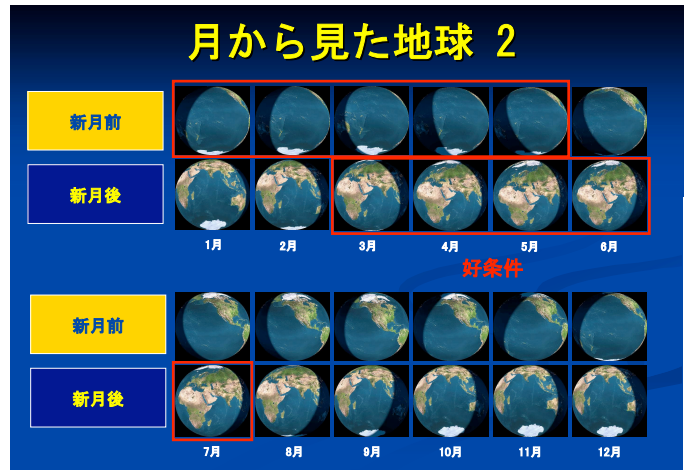
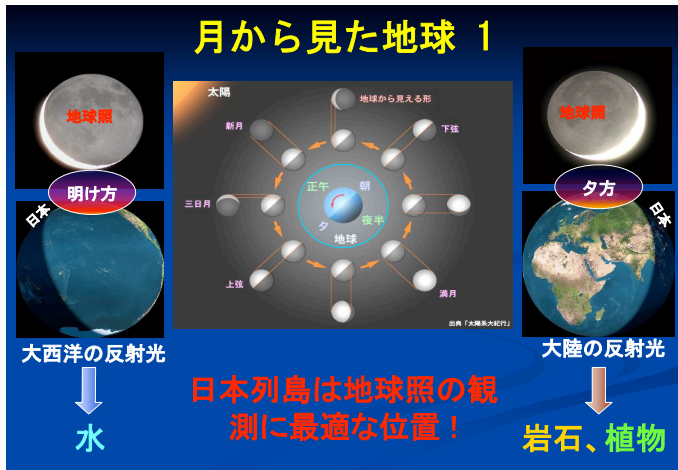
2003年度 日本女子大学目白寮 小館研究室の研究発表

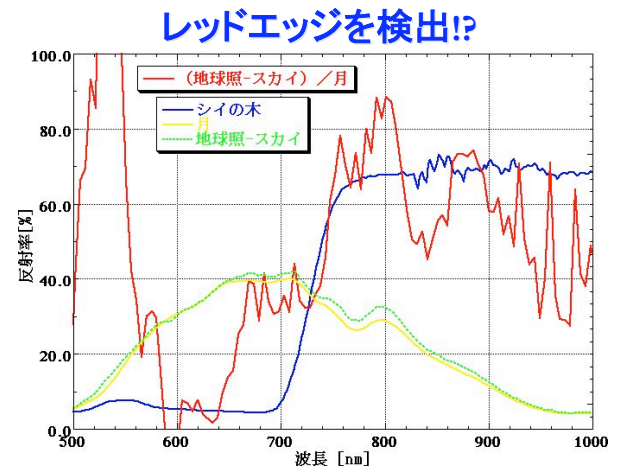
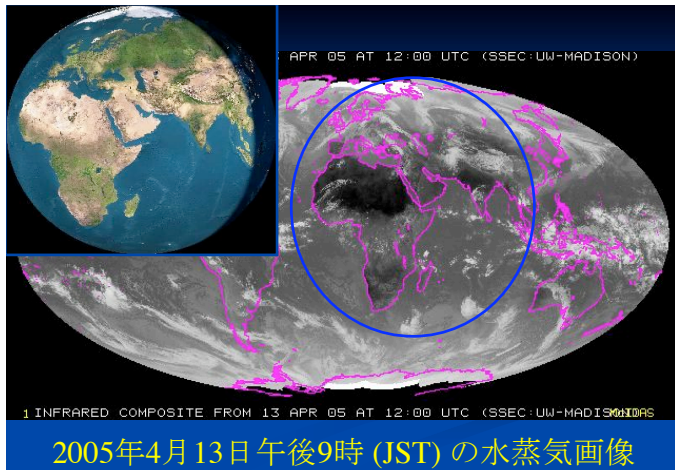


地球照のスペクトル



N. J. Woolf and
P. S. Smith,
Harvard-
Smithsonian
Center for
Astrophysics

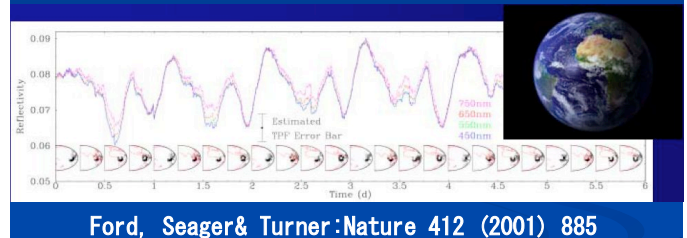




今後の地球照観測

- ・焦点導入部分の改良。
- ・大気散乱の少ない高山における観測。
- ・継続的な通年観測。

全地球規模の地球照観測

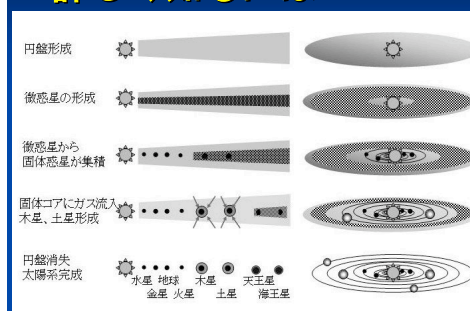


Ford, Seager & Turner: Nature 412 (2001) 885

まとめ

- ・地球型系外惑星を直接検出するためには口径10mクラス可視光宇宙干渉計が有効!?
- ・超軽量ミラーの開発。
- ・生命活動の指標として植物のRed edgeの検出が有望。
- ・地球照は最も身近な地球型惑星全球の散乱光。

系外惑星についてより詳しく知るには・・・



東工大地球惑星科学科 井田研究室 HPより

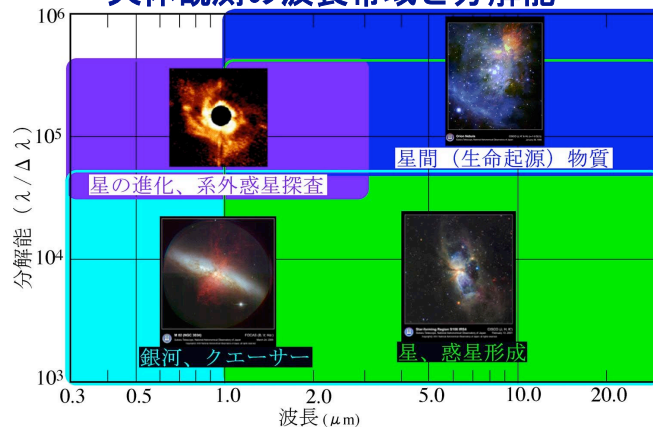


すばる望遠鏡用分散素子の開発

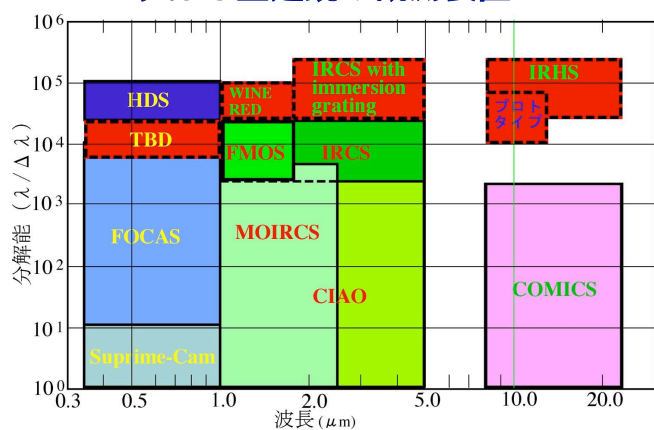
海老塚 昇
甲南大学／理化学研究所

第115回流星物理セミナー 2007年2月4日

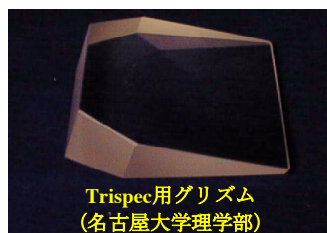
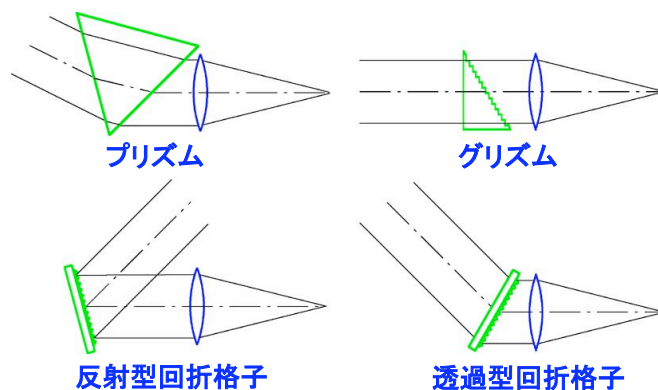
天体観測の波長帯域と分解能



すばる望遠鏡の観測装置



各種分散素子を用いた分光器



Trispec用グリズム
(名古屋大学理学部)

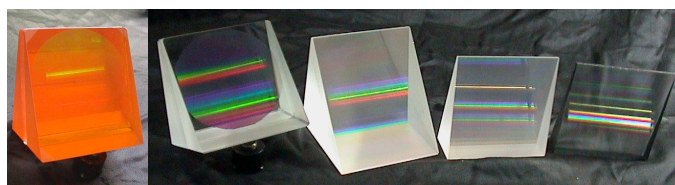


CIAO用グリズム
(フッ素系樹脂Cytotop製)



しし座流星群の対物分光観測用
グリズムおよび透過型回折格子

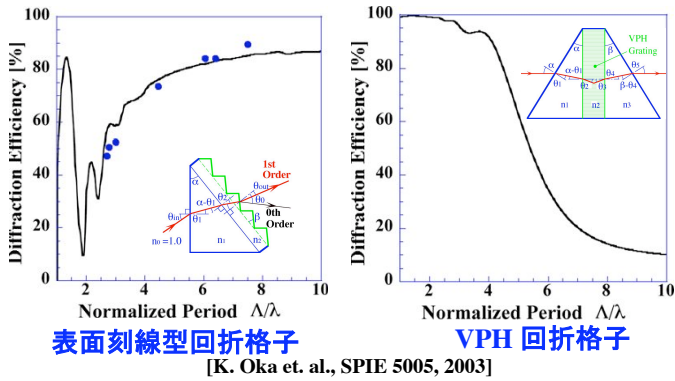
各種グリズムと
透過型回折格子



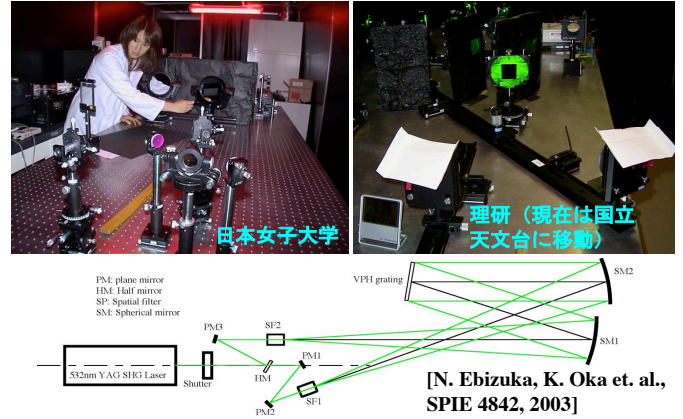
すばる望遠鏡FOCAS
用各種グリズム

サイズ: 110×106×最大106。
国立天文台、日本女子大学と
の共同研究。

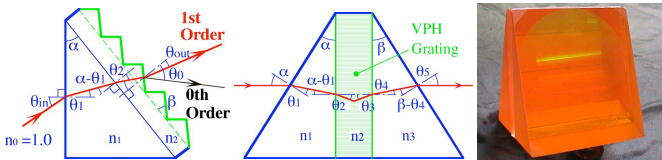
透過型回折格子の回折効率



VPH格子の露光光学系



高分散グリズム

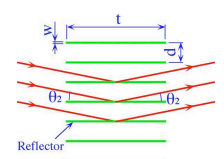


左図にて屈折率が2.6と1.5の界面における臨界角は 35.2° ($\theta_{in} = 0, \alpha < 35.2^\circ$)

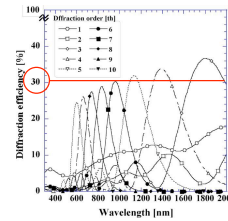
中央の図においてプリズムとVPH / quasi-Bragg格子の屈折率がそれぞれ2.6と1.5の場合、 $\alpha > 63.6$



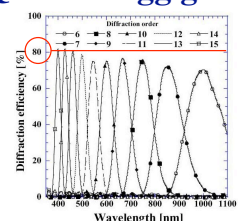
- 高次gratingと垂直分散素子を組合わせたEchelle分光器は2次元検出器を有効に利用できる。
- SR gratingの波長特性は変えられない。
- VPH gratingの回折効率は高次で低下。



Quasi-Bragg grating

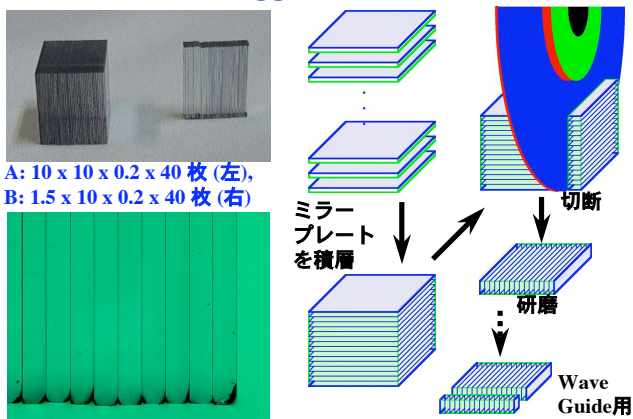


VPH gratingの高次の回折効率 [K. Oka, N. Ebizuka et. al. SPIE 5290, 2004]

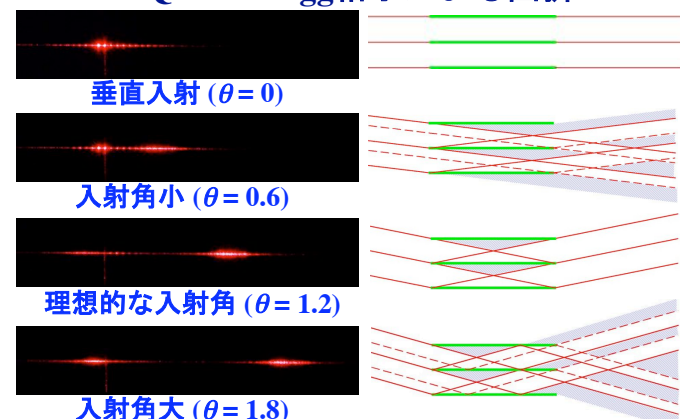


Quasi-Bragg gratingの回折効率

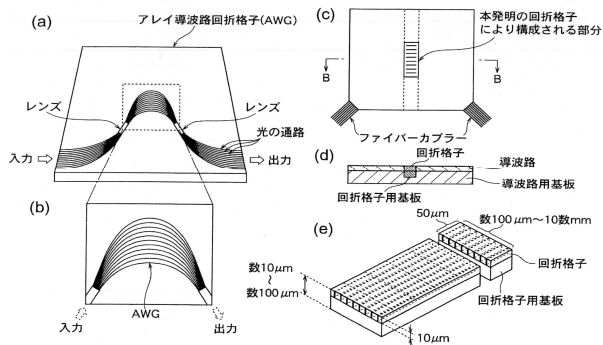
Quasi-Bragg 回折格子の試作



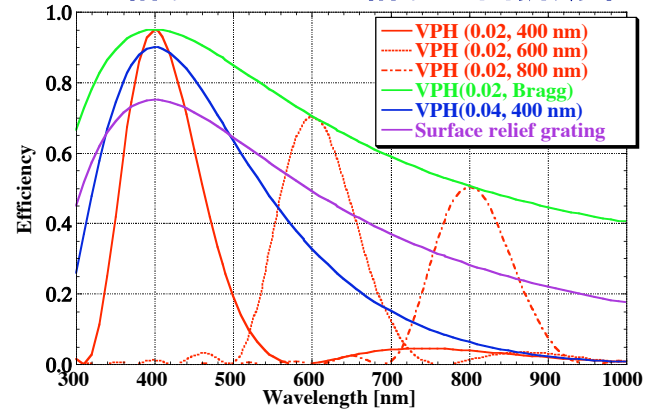
Quasi-Bragg格子による回折



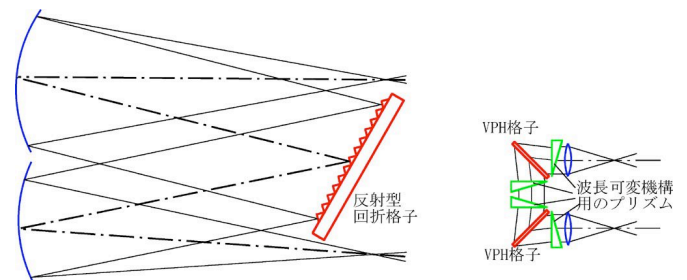
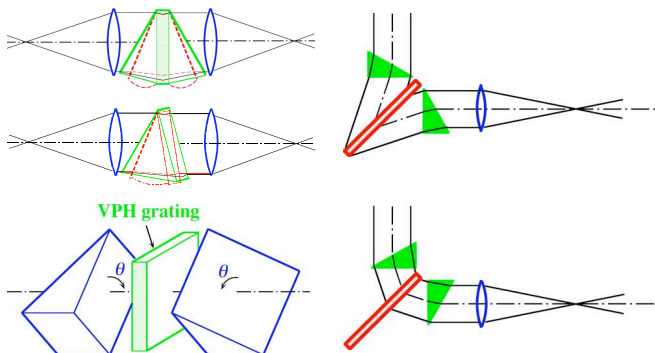
AWG (Array Waveguide Grating) とQuasi-Bragg格子



VPH格子およびSR格子の回折効率



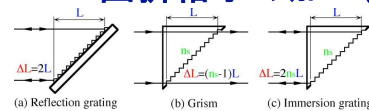
VPH格子および Quasi-Bragg格子の波長可変機構



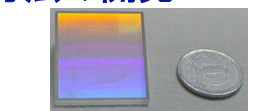
VPH格子を用いた分光器の特徴

- 分光器の分解能は回折格子により生じる光路差に比例。
- VPH格子は格子周期が波長近傍で効率が低い。
→ 小型で高分散 (SR格子の1/15 ~ 1/200)。
- 透過型回折格子はレンズ等を近くに配置できる。
→ 分光器を明るく (反射型の4 ~ 16倍)、小型化できる。

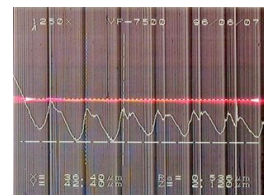
回折格子の加工方法の開発



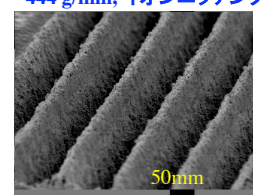
各種回折格子の光路差



LiNbO₃ (n = 2.3) グリズム, 444 g/mm, イオンエッチング



LiNbO₃ (n = 2.3) 回折格子, 30 g/mm, ダイシングソー



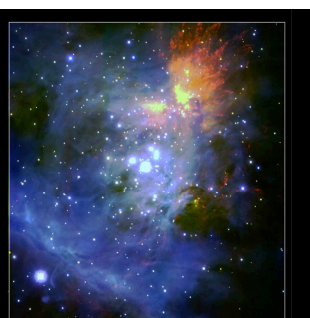
Ge (n=4.0) 回折格子, エキシマレーザアブレーション

[N. Ebizuka et. al. SPIE 3355, 1998]



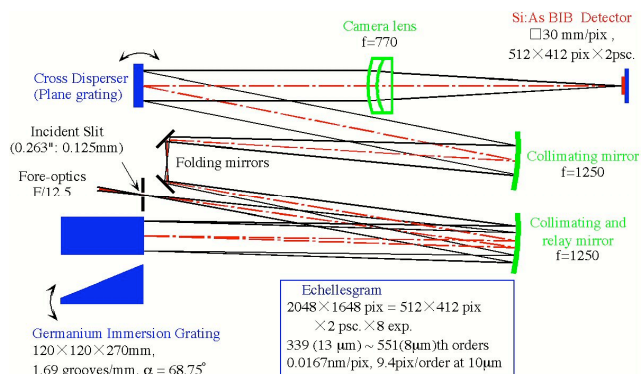
M 82 (NGC 3034) FOCAS (B, V, H α)
Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan
Copyright © 2000 National Astronomical Observatory of Japan, all rights reserved.
March 24, 2000

クエーサー・遠方銀河の探索、銀河の運動等。
→ FOCAS・高分散グリズム。



Orion Nebula CISCO (J, K' & H α) (w=1-0.5 μm)
Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan
January 28, 1999

暗黒星雲における有機物等の星間物質進化。
→ 中間赤外線高分散分光器 (IRHS): Ge immersion grating

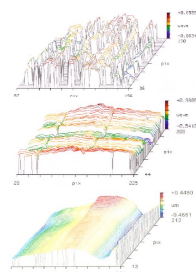
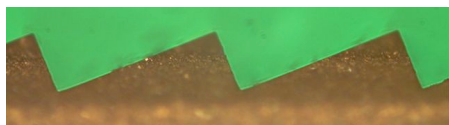
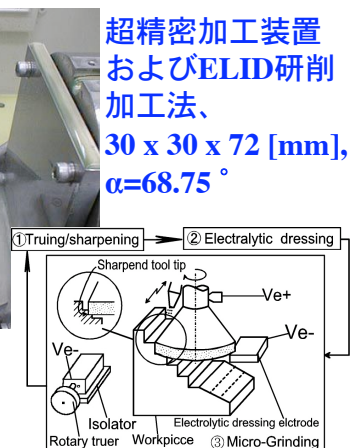


IRHS (中間赤外線高分散分光器)

$$R = \lambda / \Delta\lambda \sim 200,000 @ 10 \mu\text{m}$$



Immersion grating の試作

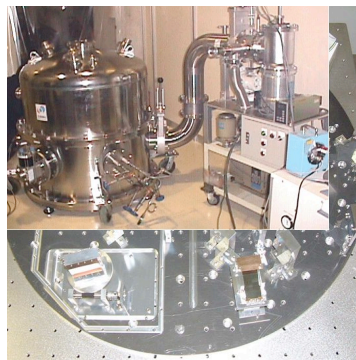


No.3,
PV: 961nm,
rms: 154nm

No.4,
PV: 583nm,
rms: 87nm

No.5,
PV: 577nm,
rms: 107nm

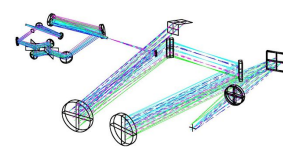
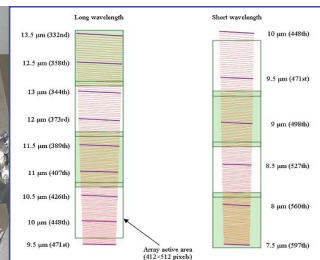
回折光波面 (633nm) および回折像 (10.6μm)



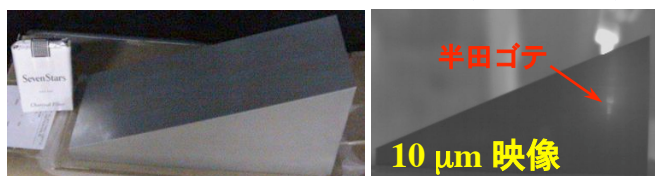
プロトタイプIRHS

$$R \sim 50,000 @ 10 \mu\text{m}$$

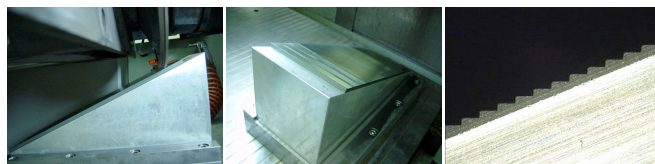
[H. Tokoro et. al., SPIE 4841, 2003]



実機 IRHS用のゲルマニウムプリズム およびゲルマニウム基板を用いた試作



サイズ: 120 x 120 x 270 mm



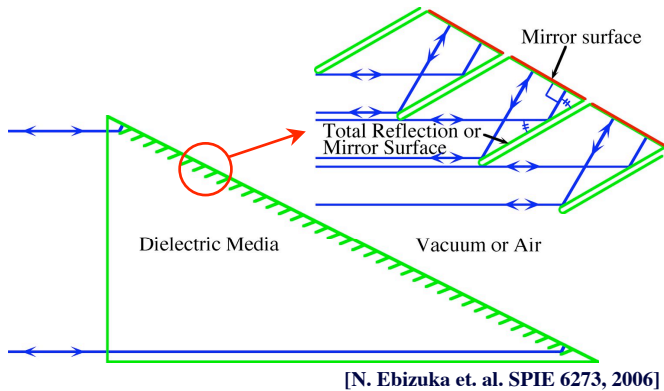
ゲルマニウム Immersion gratingの加工時間

プロトタイプ: 30 x 30 x 72 mm
→ 約 400 時間

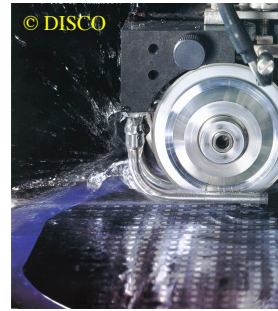
実機: 120 x 120 x 270 mm
→ 数 1000 時間?

加工時間は 研削工具の
ツールイングが支配的

スリット状回折格子



スリット状回折格子の加工方法



- ダイヤモンドソーは表面仕上が滑らか。
- ダイヤモンドソーはツルニングが容易。

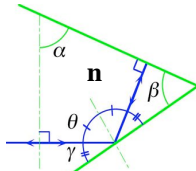
実機: 120 x 120 x 270 mmの加工
→ 数100 時間?

Immersion gratingの散乱損失

表面粗さ: σ [rms]を与えると散乱損失: L_s は、
 $L_s = 1 - \exp \{ -(4\pi n \sigma \cos \theta / \lambda)^2 \}$,
より求めることができる。

$n = 4.0$, $\sigma = 0.05 \mu\text{m}$, $\lambda = 10 \mu\text{m}$

θ [°]	L_s [%]	θ [°]	L_s [%]
0	6.12	45	3.11
15	5.72	60	1.57
30	4.62	75	0.42



従来のImmersion grating ($\theta = 0$)

$L_s = 6.12 \%$

新しいImmersion grating ($\alpha = 60$, $\theta = 60$)

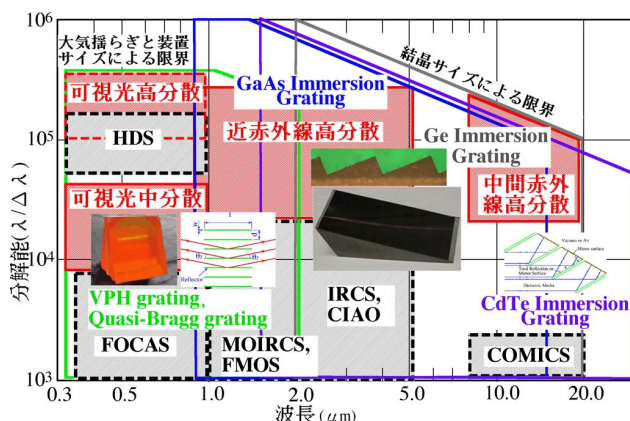
$L_s = \{1 - (1 - 0.0157)^2\} \times 100 = 3.12 \%$

まとめ (VPH, クシ形格子)

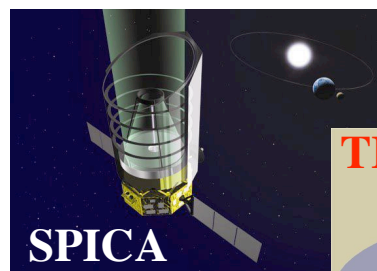
- グリズムは分光装置を小型化。
- SR格子は低分散において高効率。
- VPH格子は高分散において高効率。
- VPHグリズムは高効率を保ったまま波長可変。
- クシ形格子は広波長域で高分散高効率を実現可能。

まとめ (Immersion grating)

- Immersion gratingは超高分散分光装置を劇的に小型化。
- 超精密加工装置および研削加工により、高精度のゲルマニウムImmersion gratingの加工法を開発。



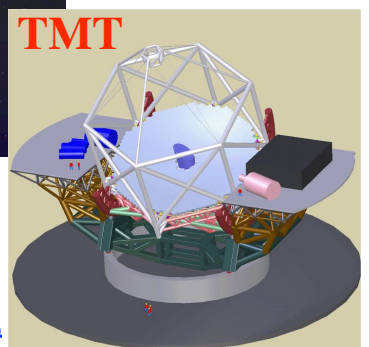
次世代観測装置の波長帯域と分解能



SPICA 次世代大型望遠鏡計画

- 口径 30m
- 可視光-赤外線AO
- チリまたはハワイに設置

- 口径3.5m, 4.5Kに冷却
- 波長域 5~200μm
- 太陽-地球のL2ポイント



CCD・デジタルカメラの利用状況とその動向

(1) アマチュア衛星編

NMS 日本流星研究会

JAMSAT 日本アマチュア衛星通信協会 松村健太郎

SCOPE プロジェクト

1. バックグラウンド

SCOPEとは、Spacecraft Camera experiment for Observation of Planets and the Earthの略称で、「惑星と地球を観測するための衛星搭載カメラの実験」です。Phase-3D衛星計画が始動した1990年、ドイツで開催された第1回衛星製作者会議において、搭載実験モジュールとして、フルカラーCCDデジタルカメラの概念設計をJAMSATより提案しました。3軸安定方式であるPhase-3D衛星の特徴を生かしたこの提案は、会議出席者の興味を集め、その実現に期待が寄せられました。翌1991年の第2回衛星製作者会議では、仕様の大枠を提案し、カメラのために、5Kg-5リットル-5Wの衛星リソースを確保することができました。

当初は、望遠、狭角および広角の各レンズを持った3台のカメラから構成されるSCOPEプロジェクトでしたが、衛星本体の設計の進捗とともに、重量および実装スペースの観点から3台のカメラの搭載は困難となり、狭角および広角のレンズを持った2台のカメラへと、規模が縮小されました。また、Phase-3D衛星の姿勢制御の精度では、望遠レンズで惑星の拡大像を捉えることが困難であることも、姿勢制御系の設計とともに明らかになってきました。

計画当初の概念設計からハードウェアの詳細設計へ移行し、1993年末には動作概念検証用のブレッドボード・モデル(BM)が製作されました。1994年から1995年には詳細設計検証用のエンジニアリング・モデル(EM)の試作を繰り返し、プロジェクト・チームは設計の確定に努めました。EMの評価を通じて、1995年には打ち上げに供するフライト・モデル(FM)の設計を完了し、最終的なハードウェア部品の調達と製造へとプロジェクトは突入しました。この間、Phase-3D計画を推進する各国のAMSATグループと打合せを繰り返し、細かい設計の修正を経て、1996年にはFMの組み立てを完了しました。組み立て完了以来、基本動作確認、温度試験、動作特性データ取得を経て、1997年2月には、衛星本体との電氣的/機械的フィット試験を行い、SCOPEプロジェクトは、最終局面を迎えた訳です。

2. ミッション

SCOPEプロジェクトの目的には、以下の3点があります。

- 高高度軌道(遠地点=47000km、近地点=4000km)からのフルカラー(可視光)撮像
従来のアマチュア衛星でも、カメラを搭載したものがありませんでしたが、その画像は専らモノクロが主体でした。宇宙に浮かぶ青い地球の姿を、月へ向かうアポロ宇宙船から宇宙飛行士が見たかのようフルカラーで見せてくれるのが、SCOPEのカメラです。
- 地球センサーとして、衛星姿勢制御の支援
衛星軌道から、地球の姿を目的の構図で捉えてくれるのが、Phase-3D衛星の特徴である3軸姿勢制御です。この3軸姿勢制御は、モーメントム・ホイール、地球センサーおよび太陽センサーで構成されています。これらのセンサーの校正およびバックアップに、SCOPEのカメラを用いることができます。
- 将来の惑星間航行プロジェクトに対する航行支援センサーの検証
AMSATグループにおいては、将来の計画として惑星間航行衛星が候補に挙がっています。惑星間を航行するにはスター・トラッカと呼ばれる航行支援センサーが必要となります。SCOPEのカメラには、比較的明るい恒星を捉える能力があり、これがスター・トラッカの可能性を秘めています。また、到達した惑星の姿を捉えることも可能でしょう。

これらの可能性を、Phase-3D衛星で検証します。

3. システム構成

3.1 機構

狭角レンズのカメラ-Aと、広角レンズのカメラ-Bが同一のモジュール・ケースに実装されています。当初、2台のカメラを夫々独立したケースに収めることで設計を進めていましたが、衛星本体との重量およびスペースの関係から、一つのケースに2台のカメラを実装して、実装スペース・ファクタを改善することになりました。

ケースのサイズは、297(D) x 227(W) x 130.6(H) mmであり、高さ(H)以外の寸法は、他のモジュール同様、衛星の統一規格に従ったものとなっています。

質量は、5.4kgとなりました。これは、計画当初に見積もった1台当たりの質量に匹敵するもので、軽量化の努力が効を奏したものです。

3.2 回路構成

回路は、CCDヘッド、CPU部、メモリー部、A/D変換部および電源部から構成されています。

3.2.1 CCDヘッド

設計当初には、チップ上に3色のカラーフィルタを有するフレーム転送型CCDの採用が検討されました。このCCDは周辺回路が簡単になる反面、有機材料で作られたカラーフィルタ材質の宇宙空間での経時変化が問題となるため、その採用を取り止めたいきさつがあります。代わりに採用したのが、画像処理分野等で使用されているPALカメラの3CCDヘッドでした。3CCDヘッドは、入射光をRGB3色に分解するダイクロイック・ミラーと3枚のインターライン転送型CCDから構成されています。ダイクロイック・ミラーはプリズムの一種であり、有機材料を使わないため宇宙空間での安定性に優れています。

CCDの仕様は、以下の通りです。

- a. イメージサークル=1/2インチ
- b. 有効画素数=752(H) x 582(V)
- c. ピクセル・サイズ=8.6(H) x 8.3(V) micron

CCDヘッドは市販工業用PAL規格のカメラの部品を購入し、CPUで直接駆動できるように改造しています。

3.2.2 光学系

レンズには、採用したCCDヘッド専用に設計された市販のズーム・レンズを採用しました。搭載時にはズーム動作は行いませんが、画角内に写り込む可能性があるレンズ周辺のアンテナや、衛星の最終軌道が確定した時点で、ズームを固着します。狭角のカメラAと広角のカメラBでは、同一のレンズを用いて、ズーム比率を変えてそれぞれに対応しています。

レンズの有効口径(Front Clear Aperture of Lens)は41.5mmで、カメラAの垂直FOV(Field Of View)は16度、カメラBの垂直FOVは32度となる予定です。被写体である地球の明るさに対応するため、ND(Neutral Density)フィルタをレンズに装着して、減光を図ります。各レンズには x4, x8, x8 の3枚のNDフィルターが装着され、x256 の減光率を得ています。NDフィルターやフードも市販のものを一部改造して利用します。

市販のレンズの内部に使われている潤滑油は、真空中で揮発する恐れがあり、そのまま宇宙では使えません。フライトモデルに使われるレンズは、市販品を一旦分解洗浄し、宇宙規格の潤滑油を使って組み直すという処理を施しています。また、真空中と大気中とでは屈折率が異なるため、計算値にもとづいて調整を行ないこれを補正します。

現時点では軌道要素は確定していません。しかし、遠地点高度 47000km、近地点高度 4000km と仮定すると計算上の地上の物体の分解能は次の通りになります；

Camera-A : 25km/pixel @ 遠地点, 4.6km/pixel @ 近地点
Camera-B : 50km/pixel @ 遠地点, 9.2km/pixel @ 近地点

3.2.3 CPU部

CPUには、モトローラの68000系をコアとするTMP68301を採用して、回路の簡略化を図っています。このCPUには、3チャンネルのUART、タイマ、カウンタ、アドレスデコーダ、ウエイト発生回路、割り込みコントローラおよび16ビット・パラレル・ポートが1チップに集積されています。

CPUのクロックを、16MHzから8MHzに低減することが可能で、消費電力の低減が可能です。

CPUがブートするためのプログラム・コードを格納するROMには、AMSATグループで実績のあるHM-6617を使用しています。このROMは、フューズ(Fused Link)ROMと称するもので、宇宙環境での動作の安定性に優れています。一般のPC等で使用されているPROMでは、宇宙環境での荷電粒子等の影響で格納されたデータが変化してしまうため、使用することができません。このカメラでは、さらに信頼性を上げるため、このフューズROMを2組使用して、冗長系を構成しています。

また、CPU部には、撮像データの転送や地上からのコマンドのために、衛星内の他のサブシステムとシリアル通信を行うための、RS-485によるASYNCラインと、CAN(Control Area Network)バスのインターフェースが装備されています。

3.2.4 メモリー部

メモリー部には、合計4MバイトのHM628512 SRAM(Static RAM)が搭載されています。このうちの1Mバイトには、IDT39C60を用いたEDAC(Error Detection And Correction=誤り検出/訂正)回路が付加されており、宇宙環境で発生するSEU(Single Event Upset)現象と呼ばれるメモリー内容の一時的な変化を検出し、その誤りを訂正します。

このEDAC付きメモリーには、動作上誤りが許されないプログラム・コードを格納し、EDAC無しメモリーには画像データを格納するという使い分けを行います。

3.2.5 A/D変換部

A/D変換回路は、RGB3枚のCCD毎に設けられています。A/D変換の分解能は8ビットで、24ビット/3色で約1670万色を再現します。

A/D変換器の前処理として、1から8倍の可変増幅率を持つアンプがあり、A/D変換器に与えるCCD出力電圧を調節します。

A/D変換器の出力は、CPUによって、3MバイトのRAMに格納されます。

また、A/D変換部には、CCD駆動回路とCCD温度検出回路も併せて実装されています。

3.2.6 電源部

電源部は、衛星内部の+10Vバスから、カメラが必要とする+5V、+15Vおよび-9Vの電圧を作り出しています。これらの電圧は、スイッチング電源専用ICであるLM2577を用いたフライバック型電源が供給しています。

ロードレギュレーションを改善するために、+5V用に一台の電源を、+15Vと-9V用に一台の電源を、合計2台の電源を用いています。

消費電力は、当初見積り通りの約5W/カメラを達成しました。

4.他のシステムとのインターフェース

SCOPEカメラを取り巻く他のシステムとしては、IHU(Integrated House-keeping Unit)とRUDAK-Uがあります。

IHUからの1ビットの平行信号で、カメラのON/OFFが制御されます。

RUDAK-Uとは、CAN-BUSおよびRS-485にてインターフェースされています。SCOPEカメラを目とすれば、RUDAK-Uはいわば耳と口の役割を担うものです。SCOPEカメラは、地上からのブートローディング・コードをRUDAK-Uを経由して、CAN-BUSから聞き取ります。また、地上からのコマンドも同様です。一方、SCOPEカメラで捉えた画像データはRUDAK-Uに一旦蓄積され、RUDAK-Uはこのデータをダウンリンク信号として地上へ語り掛けるのです。

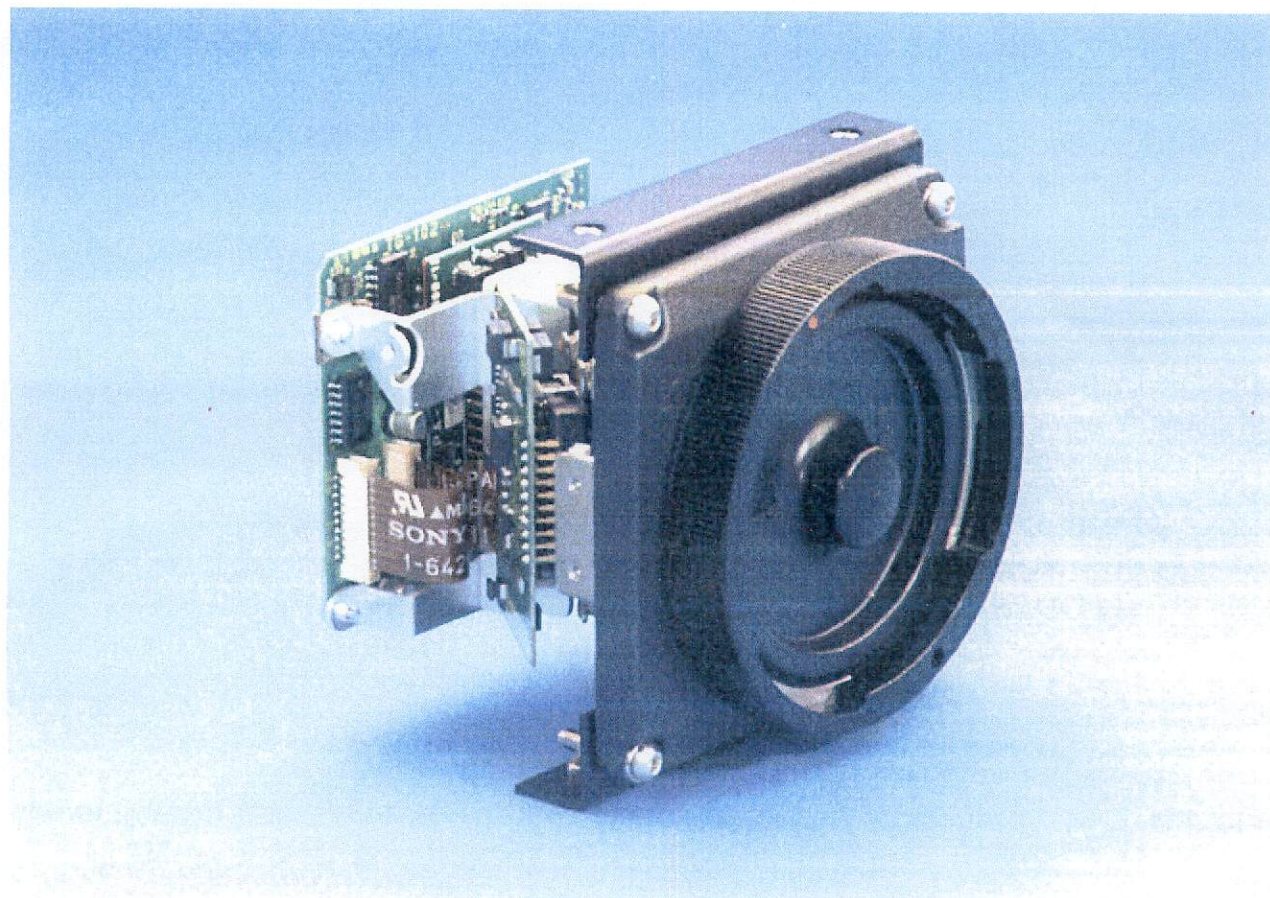
RS-485は、CAN-BUSのバックアップとして用意され、RUDAK-UとSCOPEの2台のカメラの間だけを結んでいます。

5.最後に

Phase-3Dに搭載されたSCOPEカメラは、「宇宙に浮かぶ貴方の目」となることでしょう。JAMSATは貴方とともに、SCOPEカメラから見える青い地球を夢んでいます。

SCOPEプロジェクトとPhase-3D衛星計画を力強く支援して支援するJAMSAT会員、P3D支援会員の皆様に感謝します。また、SCOPEプロジェクトのチームメンバーと各国のAMSATグループの仲間達とこの夢を分かち合えることを喜びとしつつ、この壮大な国際衛星プロジェクトのすべての参加者と支援者すべてに感謝します。

JAMSAT SCOPE PROJECT TEAM
Text by JA6XKQ



CCD/CMOS センサの選択と応用

(Ⅱ) ロボット編

日本流星研究会 (NMS)

日本宇宙ロボットフォーラム

松村 健太郎

「ロボットの目をつくる」(CQ 出版社) より丸写し。

本章では、「ロボットの目」を使うユーザの目線で、電子カメラの技術について解説する。ロボットの目、すなわちロボット用電子カメラだが、そうした専用のカテゴリがあるわけではない。いずれロボットが普及すればそれも実現するだろうが、現時点では汎用の電子カメラから適当な電子カメラを選択することになる。そこで本章ではまず、市販の電子カメラを機能別に分類する。次に、電子カメラのもっとも重要な、入り口と出口の機能と動向について説明する。これらは、カメラの機能を決定的に左右するからである。そのうえで最後に、ロボットの目の用途別に使える電子カメラを実在の商品から選択して使用する上で配慮すべき事項を解説する。(筆者)

1. カメラの視点からロボットを「民生用ロボット」と「産業用ロボット」に分類する

1.1 ロボットとカメラを分類する

まず、「ロボット」という言葉があいまいなので、ここでは少々乱暴ですが、目(カメラ)という視点から、民生用ロボットと、産業用ロボットに分類します。ちなみにこの分類は、2005 国際ロボット展の Web サイト

ト上の分類であるサービス・ロボットと製造用ロボットに合致します。なお、本来産業用途に分類されるべき極限環境作業用ロボットが民生用ロボットと同列に扱われていますが、この乱暴さは容赦ください。

表 1 に、二つのロボットの目に要求される基本的な機能や性能の違いを示しました。前者は人間の目と同様な被写体を見るのに対し、後者は人間が見えない、または見続けることが困難な被写体を見る機能を求めています。

民生用ロボットの代表は、人型ロボットです。これ自体が動くため、カメラの撮像環境も被写体との位置関係も変化します。したがって、撮像条件を自動的に最適にセットするオート機能が重要なポイントになります。ようするに人間の目のような、環境に自由に適應できる視力が必要ということです。なお、このカメラは取り付けられる場所の制約も大きく、小型であることが重要な条件です。

産業用ロボットといえば、関節ロボットがその代表になります。ただし、本稿ではこの対象範囲を広げて、部品検査装置のような製造装置もこれに含めます。よ

表 1 カメラから見たロボットの分類

ロボットの種類	人間の目との対比	撮像条件、被写体	ロボットの目に要求される機能と性能
人型ロボット	人間の目と同じように見る	撮像条件の変化が大きい ロボットが移動する 照明条件が変化する 画面内の輝度変化が大きい	高感度、ワイド・ダイナミック・レンジ
お掃除ロボット 介護ロボット 医療ロボット 極限環境作業ロボット			オート機能への要求度が高い 自動焦点、パン/チルト機構、全方位撮像 自動絞り、オート・ホワイト・バランス
製造用ロボット (産業用ロボット) -- マンシジョン --	人間の目で見えにくいものを見る 見えない視点から見る	カメラの設置場所が限定される	小型で機器組み込みが容易であること
		撮像条件は固定であることが多い 被写体が人の眼に見えにくい 高速で動く 微細である 巨大である	オート機能への要求度が低い 高機能、高性能 電子シャッター機能(トリガ機能)、高速走査 高解像度 ライン・センサ
		使用環境、使用条件が厳しい	堅牢であること

コラム 1 カメラ・モジュールの話

カメラ・モジュールとは、機器組み込み用の半完成型カメラのことです。現在は携帯電話用カメラの部品として有名です。将来の民生用ロボットの目にとっても専用のカメラ・モジュールが最有力候補でしょう。現にロボットの目として重要なオート・フォーカスを 4cc サイズに組み込んだものもできています。

ところで、ソニーのマシンビジョン・カメラ XC シリーズは、完結したカメラにも関わらずカメラ・モジュールと名乗っています。22 年前からの習慣です。なぜでしょう？ 今や同社内にもそれを知る人は少なくなりました。そのいわれは、世界初の CCD マシンビジョン・カメラ XC-37 にあります。1983 年当時、半導体部門 CCD 開発部隊所属の筆者らは当時誰も使い方を知らない CCD を普及させるために機器組み込み用の「CCD カメラ部品」を開発しました。これを「カメラ・モジュール」と名付けて世に出したのがその始まりです(写真 A)。元祖カメラ・モジュールは出力コネクタがそれらしい形をしています。部品だから SONY のロゴがついていません。ソニーの XC カメラは今もその習慣を

守って、ロゴをつけていません。

マシンビジョン・カメラ XC-37 は、以降 15 年近くも売り続けられ、その羊羹を半分にしたような形状は現在のマシンビジョン・カメラの事実上の業界標準になっています。カメラ・モジュール——この言葉が表す超小型の機器組み込み用カメラが、ロボットの目など、ビジョンを必要とするあらゆる機器の目としてさらに大きな商品カテゴリへと育っていくとなれば、命名者はそれで本望です。



写真 A 元祖カメラ・モジュール: XC-37 (マシンビジョン・カメラ)

うするにマシンビジョンと呼ばれるカテゴリです。これは、据え置き使用が多く撮像環境は一定に整えられているので、オート機能の要求は少ないです。一方で、人間の目では見られない被写体を見る能力が、おもな要求事項です。頑丈さや高解像度とか高速性といった高い撮像機能です。

- 映像を撮るのが民生用、画像データを取るのが産業用
さて次は、市販の電子カメラを機能別に分類します。

その前に、二つのカメラ業界用語を紹介しておきます。カメラ・モジュール(コラム 1, 第 4 節図 26, 図 29 参照)とボード・カメラ(第 4 節図 20 参照)です。これらは、機器組み込みを前提とした筐体なしの半完成品カメラをいいます。表 2 は、市販の動画用電子カメラの一覧です。これも、用途別に大きく二つに分類できます。映像を見るためのカメラと、画像データを取得するためのカメラです。結論を先にいうようで

表 2 動画用電子カメラの一覧

基本機能	用途	撮像方式	サイズ(cm ³)	ロボットの種類
映像目視	放送用テレビ・カメラ	おもに 3 板カラー	—	—
	家庭用ビデオ・カメラ	おもに単板カラー(補色)	300 ~ 400(記録部を含む)	—
	顕微鏡用カメラ	3 板, 単板カラー(原色)	70(カメラ・ヘッド)	民生用ロボット
	監視カメラ	単板カラー(補色)	100 ~ 300	
	ネットワーク・カメラ	単板カラー	—	
	USB カメラ	単板カラー	—	
—	半完成型カメラ (ボード・カメラ, カメラ・モジュール)	単板カラー	16(ボード型)	民生用/産業用 ロボット
		単板 B&W	1(カメラ・モジュール)	
画像データ取得	マシンビジョン用カメラ	単板 B&W	30 ~ 200	産業用ロボット
		単板カラー(原色方式)		
		ライン・センサ方式	—	

すが、民生用ロボットには映像を見るためのカメラが、産業用ロボットには画像データを取得するためのカメラが適しています。

映像を見るためのカメラには、ハイエンドの放送用からローエンドには監視カメラや USB カメラなどがありますが、いずれも人間の目の代替役ですから、各種のオート機構を備えています。したがって、この中から小型サイズのカメラを選べば民生用ロボットに使えます。

次は、画像データを取得するためのカメラです。その代表格は、マシンビジョン用カメラです。マシンビジョンとは、製造工程で使われる画像処理装置で、製造用ロボットビジョンはその一部分にあたります。当然ながら、産業用ロボットの目はこのカメラ群から選ぶことになります。マシンビジョン用カメラには高解像度とか高速とか、さまざまな機能・性能が要求されるため、カメラの種類はまさに千差万別です。なお、小型化優先のためにマシンビジョン用ボード・カメラもあります。

1.2 レンズ/撮像素子/信号処理回路/入出力インターフェースからなる電子カメラとその機能

次に、電子カメラの基本的な構成とその機能について簡単に解説します。カメラを選択して使用するための基礎知識とするためです。図 1 に、基本的なカメラのブロック図を示します。電子カメラは大きく四つの構成要素からなります(表 3)。

第一の構成要素は、レンズとマウントです。レンズ

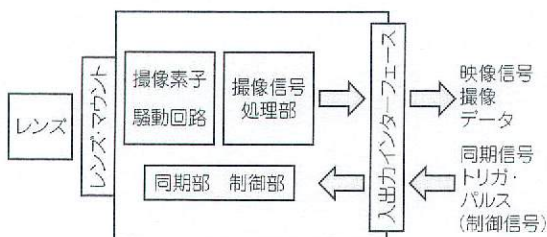


図 1 カメラを構成する要素機能(ブロック図)

表 3 カメラを構成する要素機能は大きく四つにわけられる

レンズ	レンズ・マウント(表 14)	撮像素子(表 5)	撮像信号処理部	入出力信号インターフェース規格
ズーム・レンズ 固定焦点レンズ 全方位光学系 ピンホール・レンズ オート・フォーカス機構 オート・アイリス機構 (パン/チルト機構)	3 板式テレビカメラ用マウント 一眼レフ・カメラ用マウント C マウント, CS マウント 親指カメラ, 小指カメラ M17, M13 組み込みレンズ	CCD 撮像素子 インテレース型 プログレッシブ型 CMOS 撮像素子 従来型 CMOS(cv) 新型 CMOS(adv) (ライン・センサ)	前処理 プリアンプ 利得調整アンプ 後処理 プロセス回路 エンコーダ	入出力信号形式 撮像信号(表 10) 制御信号(表 11) 伝送規格(表 12)

の種類については多くを語る必要はないでしょう。レンズの選択はカメラの選択と同等に重要なので、4 節で改めて解説します。

第二の要素は、撮像素子です。いうまでもなく、この性能がカメラの仕様を決定する最大の要素です。現時点では CCD 撮像素子が主流ですが、CMOS 撮像素子が撮像性能を向上させて猛烈に追いつけています。次節では、こうした技術動向をまとめて説明します。

第三の構成要素は、撮像信号処理回路です。これは、カメラ設計者がプロセス回路と呼ぶ撮像信号の整形回路と、エンコーダと呼ぶ RGB 原色信号から映像信号[複合テレビ信号(NTSC 信号)または YUV 信号(Y = 輝度信号, U, V = 色差信号)]を合成する回路からなります。アナログ出力の場合、ここで同期信号が挿入されます。これらは撮像信号を目で見るための映像信号へと変換する回路なので、映像目視を目的とするカメラ群では必要不可欠ですが、一方の画像データ取得を目的とするカメラ群では、原理的には不要です。

表 4 電子カメラのオート機能とレンズ操作

オート機能	略称	実現方式	実行部分
オート・フォーカス	AF	光学式	組み込みレンズ
光量調整, 感度調整 オート・アイリス 電子アイリス	AE	光学式 電子式	交換レンズ 組み込みレンズ 撮像素子
自動利得制御	AGC	電子式	撮像信号増幅器
オート・ホワイト・バランス	AWB	電子式	撮像信号増幅器

(a) オート機能

レンズ操作	略称	実現方式	実行部分	実現の条件
ズーム	Z	光学式	レンズ	
電子ズーム		電子式	撮像信号処理部	高解像度撮像素子
パン/チルト*	PT	機械式 電子式	カメラ・ハウジング 撮像信号処理部	高解像度撮像素子 全方位レンズ

パン/チルト*: カメラを上下左右に振ること

(b) レンズ操作

しかし、多くのカメラでは習慣的に撮像信号処理回路を省いていません。

表4に撮像のオート機能を一覧として示しました。同表からわかるように、カメラの自動制御の多くが撮像信号処理部特にプロセス回路内で実行されています。また、電子ズームや電子パン/チルト(Pan/Tilt、上下左右コントロールのこと)操作は高解像度の撮像素子を利用することで電子化できますが、これも撮像信号処理部で実行されています。

最後の構成要素は入出力インターフェースです。これは、ロボット・システム設計にもっとも深く関わる技術要素で、目下そのデジタル化が急速に進んでいます。その機能と動向は3節で詳細に解説します。

2. イメージ・センサ(撮像素子)技術の基礎——CCD/CMOSの二つの素子

2.1 2大撮像素子 CCD と CMOS——どちらも受光部/走査部/プリアンプからなる

撮像素子は、電子カメラの機能を決定的に左右するもっとも重要な構成要素なので、まずはその基礎を理解しておきましょう。表5に、主要な撮像素子の種類を示します。

撮像素子は大きく分けて、CCD(Charge Coupled

Devices)とCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)の二つに分類されます(図2、図3)。CCDには多くの種類がありますが、主流はインタライン(IT)型CCDです。CMOSには従来型[ここではCMOScv(cv=conventional)と表記]と、CCDとCMOSの複合型といえる最新型[CMOSadv(adv=advanced)と表記]があります。

まず、CCDとCMOS両撮像素子の基礎を、その構成要素を比較することで説明しましょう。撮像素子の構成要素は、以下の3点からなります。

- (1) 光電変換部(画素)——光を電子に変換して(光電子)これを蓄える機能。
- (2) 走査部——光電子を外へ読み出す機能。
- (3) プリアンプ——光電子(光電流)を電圧に変換する機能。

各撮像素子の構成要素を表6に示します。以下、この表をベースに各撮像素子の基礎を説明します。

2.2 CCD が光を電圧信号に変換するまで

CCDの光電変換部は、埋め込み型フォト・ダイオード(PD、ソニーのHADセンサ: Hall Accumulated Diode Sensor)です。図4に、CCDにおけるHADセンサの構成例を示します。HADセンサは、その表面

表5 主要な撮像素子の種類

撮像素子の種類			用途の一例	構造	スミア	フリーズ機能
CCD	FFT	Full Frame Transfer	電子スチル・カメラ	簡単	*	
	FT	Frame Transfer	携帯電話用カメラ	↑	大	
	IT	Interline Transfer	汎用	↑	小	
		インタレース走査型	ビデオ・カメラ 電子スチル・カメラ	↑		不可
		プログレッシブ走査型	マシビジョン	↓		可能
	FIT	Frame Interline Transfer	放送用カメラ	複雑	極小	
MOS(CMOS撮像素子の祖先)						
CMOS	CMOScv	グローバル・シャッタ機能付き	マシビジョン		なし	可能
	CMOSadv	ローリング・シャッタ機能付き	ビデオ・カメラ デジタル・カメラ		なし	不可

*: スミアとは、高輝度被写体を撮像して発生する縦筋ノイズのこと

大きく分けると CCD と CMOS。
CCD の主流は IT 型。
CMOS には CMOScv と CMOSadv がある。

表6 撮像素子の基本構造

撮像素子	光電変換部(画素)	走査部	プリアンプ
CCD	埋め込み型 PD マイクロレンズ装着	CCD レジスタ	FDA (CCD 最終段)
CMOS ファミリ	MOS	PD	XY アドレス・スイッチ 光電流増幅器*
	CMOScv	PD	XY アドレス・スイッチ FDA (毎画素)
	CMOSadv	埋め込み型 PD マイクロレンズ装着	XY アドレス・スイッチ FDA (毎画素)

*: 撮像素子外に設置

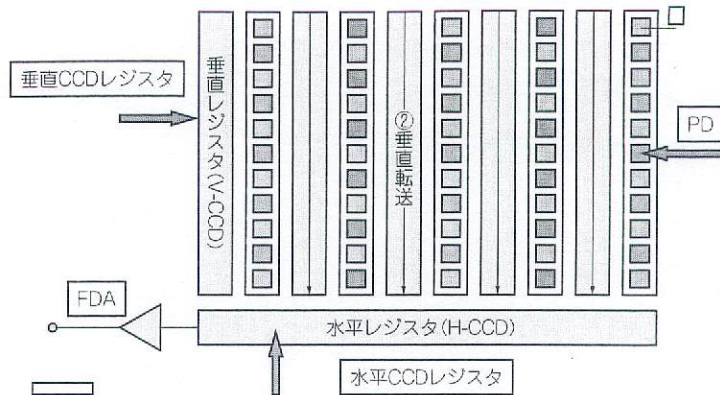


図2 インターフェース・ライン型 CCD 撮像素子

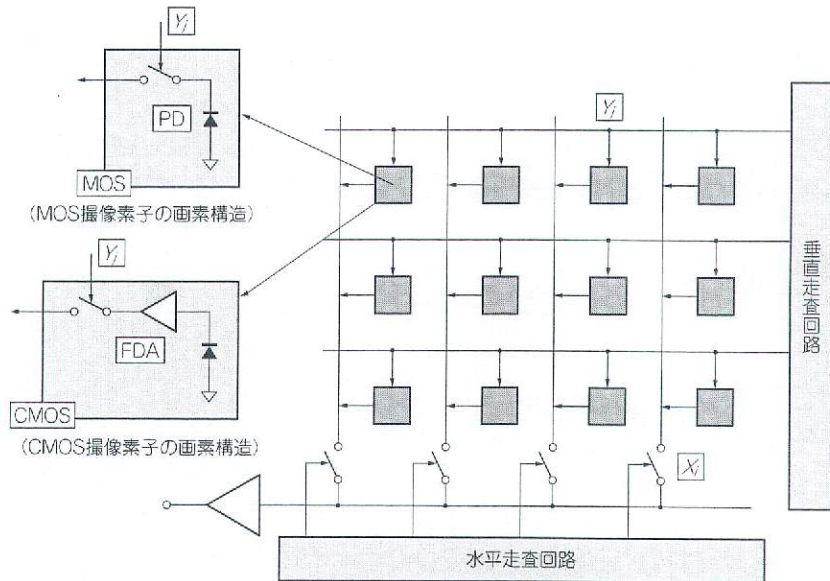


図3 MOS 撮像素子と CMOS 撮像素子の画素構造

部分は暗電流の吸収層を設けて雑音を軽減します。さらにその表面上に、画素ごとのマイクロレンズを乗せて入射光の利用率を高めて大幅に感度を稼いでいます。

なお、同図のフォト・ダイオードの最下層に、オーバフロー・ドレイン(P層)が設けられています。これは、過剰な光電子を吸収して、ブローミング(過度の光電子が画素からあふれ出すことで、輝点の周囲が白く大きくにじむ現象)を防止します。また、ここに正パルスを印加して、光電子を吸収廃棄させる動作で電子シャッター機能を実現しています。

CCD の走査回路は、CCD シフト・レジスタ動作で光電子を移動させます。CCD は前述のとおり Charge Coupled Device(電荷結合素子)の略で、電子のシフト・レジスタという意味をもちます。その動作のモデルを図5に示します。CCD の転送はほぼ完全なので、高いS/N比を維持して転送できます。しかし、この

シフト動作では CCD 電極の容量をパルス駆動することから、大きな電力を消費します。CCD 撮像素子の長所も短所もここにありますが、CCD が画質は良いが、電力を食うといわれるのはこの CCD レジスタのためです。

CCD のプリアンプは、FDA(Floating Diffusion Amp)と呼ばれる超高性能アンプです。FDA は、CCD レジスタから送られてきた光電子を直接微小な容量(FD)に充電することで、高感度な電圧への変換を実現しています。ちなみに、その感度はたとえば電子1個で 30 μ V、30 個でおよそ 1mV という高感度です。もう電子を数えているようなもので、CCD では光ショット・ノイズが見えるといわれるゆえんは、ここにありますが。なお、FD(Floating Diffusion)とは、図6の Cfd にあたります。トランジスタ Qtr は光電子を FD に充電するスイッチ、Grs は電圧変換を終了

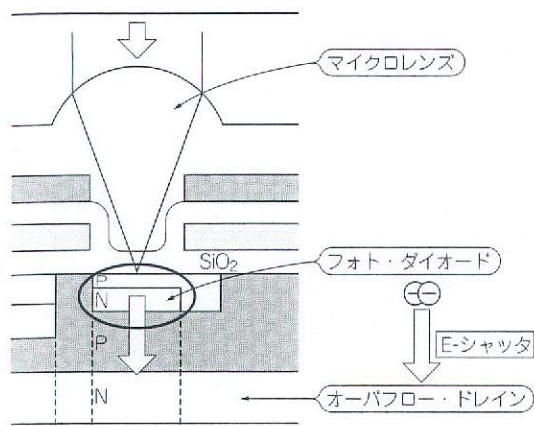


図4 組み込み型フォト・ダイオード(HAD センサ)

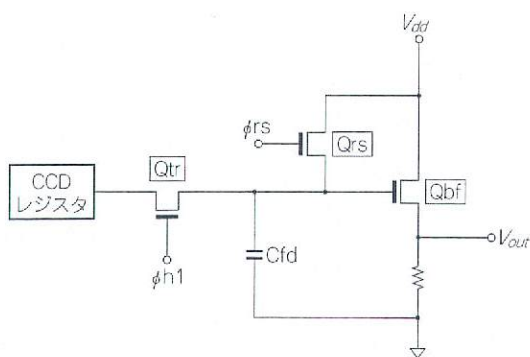


図6 電荷検出回路(FDA: Floating Diffusion Amp)

した光電子を放電(廃棄)するためのスイッチ、Qbfはバッファ・アンプです。

図7にCCD(FDA)出力信号を示します。CCDカメラの設計に必ず出てくるCDS回路(相関二重サンプリング回路)とは、同図の充電レベル(V_d)から放電レベル(V_{rs})を差し引く回路をいいます。

2.3 CMOSのしくみ

次は、CMOS撮像素子です。まず光電変換部のPD(フォト・ダイオード)ですが、従来型のCMOS_{cv}と最新のCMOS_{adv}との違いはここにあります。CMOS_{cv}はDRAM工程で簡単に作れるPDであり、CMOS_{adv}はCCD工程を必要とする埋め込み型PDです。この結果、CMOS_{cv}の感度はCCDに一步劣るものの、CMOS_{adv}はCCDに迫ることができました。なお、CMOS_{cv}は標準的なCMOS工程でできるので、既存のCMOS論理回路をそのまま撮像素子上に簡単に搭載できるメリットが生まれます。

CMOS撮像素子の走査機能は、XYアドレス走査といいます(図3)。これはDRAMと同様な機構で、CCDとCMOS両撮像素子との決定的な差はここにあ

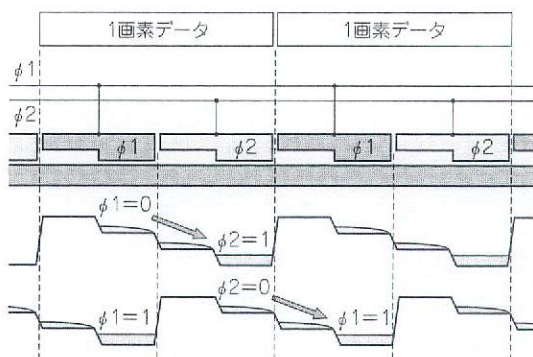


図5 CCDシフトレジスタの転送動作

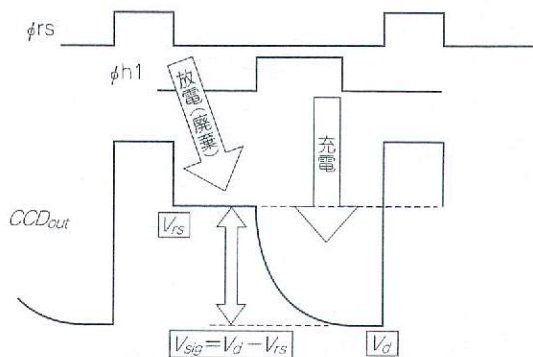


図7 CCD出力波形とCDSの原理

ります。この走査回路はCMOSスイッチで構成されるので消費電力が小さいうえ、DRAM同様に自由な走査(読み出し)が可能です。これにより、WOIとかマルチタップ出力といった新しい機能が実現されることになりますが、これは後述します。

CMOS撮像素子のプリアンプにも特徴があります。その構成はCCDと同じFDAですが、これを画素ごとに設置しているところが異なります。XYアドレス走査回路のS/N比は良くないのですが、FDAで増幅した信号を電送するため、S/N比の劣化を防げます(図3)。

2.4 CCD vs CMOS——その特徴と比較

ここでは、CCDとCMOS撮像素子を比較します。表7～表9を見ながら、カメラを作る上での比較、およびカメラを使う上で重要な比較に分けて説明します。

●カメラのつくりやすさ

まず、CCDカメラとCMOSカメラの設計の容易さを比較してみましょう。表9を見ると、CMOS撮像素子が圧勝に見えます。必要とする電源の種類も少なくし、撮像素子上にCMOS回路を搭載できるのが強

みです。カメラを作る上でノウハウを必要とする部分の走査タイミング発生回路や撮像信号前処理系(アナログ回路)のほとんどがチップ上に搭載されるため、撮像素子からは A-D 変換されたデジタル信号が出力されます。さらに後処理のプロセス回路や出力インターフェースなどを搭載した 1 チップのカメラも商品化されていて、CMOS 撮像素子ならカメラのプロ

でなくともカメラを設計できるともいえそうです。一方の CCD はやはりアナログ的なノウハウが必要でカメラのプロの腕のふるいどころが多いのですが、その代わりにプロが作った CCD カメラの画質は CMOS カメラを上回ることになります。

● 民生用ロボットの目に向いているのはどちら?

次は性能、機能の比較です。まず、CCD/CMOS 撮

コラム 2 CCD vs CMOS の戦い(?)の歴史

CCD と CMOS 撮像素子の歴史は、30 年にわたる競合の歴史です。1970 年のベル研究所のスマスとボイル両氏による CCD の発明直後から、筆者はカメラ技術者としてその競合の歴史に立ち会いました。その目で見た競合の歴史を 10 年ごとに編年史風に綴ってみます。キーワードは「感度」です。

まず、発明は 1963 年の MOS が先行しました。ただし、CMOS 撮像素子ではなく MOS 撮像素子の Photo Scanner でした。

1970 年代は研究開発の争いでした。CCD 派が米国勢 RCA、フェアチャイルドといった強豪、日本勢は NEC、ソニー、東芝、松下でした。MOS 派の日立は単独でしたがその鼻息は荒く、進歩著しい DRAM の技術を利用できるメリットを主張しました。今の CMOS 撮像素子と同じ主張です。

当時、両者とも解像度(画素数)不足はもちろん、とくに感度は先行する撮像管の 1 桁も 2 桁も下というありさまでした。筆者らソニーの CCD 撮像実

験でも、あまりに強い照明のため、被写体のプラスチックおもちゃが熱で歪むありさまでした。MOS も同様であったに違いありません。

1980 年代は実用化の競争です。ここで差が始めました。まず 1980 年、筆者らは世界初の CCD カラー・カメラを商品化し、MOS を出し抜きました。全日空ジャンボの離着陸光景を乗客にお見せする、ちょっと高価なカメラでした(XC-1、Sony、IT 型、12 万画素、2 板方式で計 24 万画素。図 A)。ここでは航空機搭載用に CCD の頑丈さが生きました。いわば世界初の産業用 CCD カラー・カメラです。CCD の感度が撮像管に近づいたことが商品化のきっかけでした。

日立の MOS も負けじとがんばります。1981 年民生用単板カラー・カメラ商品化世界初を果たします(18 万画素、単板方式)。しかし、ソニーがたたみかけます。1983 年、CCD(IT 型 18 万画素)量産が開始されました。XC-37 カメラ・モジュールも商品化されました。

1985 年、決着がつきます。ソニーが CCD の大量生産を開始しました(IT 型、25 万画素)。実現した

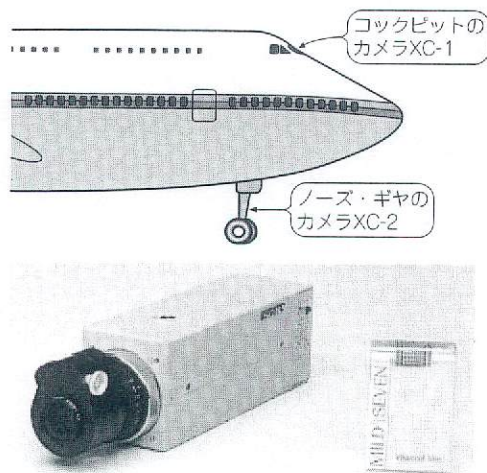


図 A 世界初の CCD カラー・カメラ、XC-1



写真 A 8mm 方式 VTR 一体型カメラ、CCD-V8

像素子の比較を、民生用ロボットの目という視点から整理します(表 8)。民生用ロボットの目に要求される機能や性能(表 1)でもっとも重要な事項は、感度や画質です。この意味では、CCD に一日の長があります。一方ダイナミック・レンジについては、CMOS に分があります。対数変換型フォト・ダイオードとか、マルチスロープ方式といった機能を実現できるからで

すが、一方で感度が犠牲になるので、今のところ特殊用途に限られています。

カメラのサイズと消費電力については CMOS が大いに有利です。CMOS 撮像素子上に CMOS の信号処理回路を乗せた 1 チップ・カメラも実現されています。ただし、現時点で実現されている 1 チップ・カメラは従来型の撮像素子 CMOScv に限られているので、

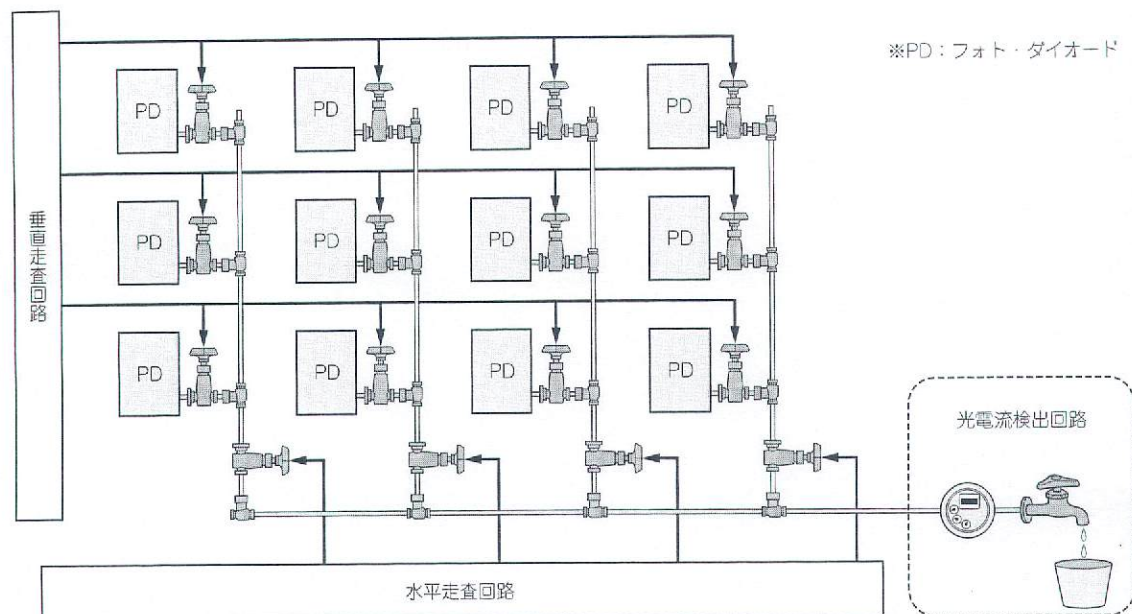


図 B CMOS 撮像素子の模式図

商品は 8mm 方式 VTR 一体型カメラ(CCD-V8、写真 A)です。CCD が撮像管から主役の座を奪いました。もう MOS は眼中にありません。この時点で、CCD は撮像管の感度を上回りました。

MOS の敗因は、感度不足が致命的でした。走査回路は鉛でできた水道管のようなものだし、プリアンプ(光電流を電圧に変換)は撮像管と同様、撮像素子の外部に設置された粗っぽい水道メータのようなものです(図 B)。一方の CCD のプリアンプが、超精密のてんびん秤に似て精度が抜群であったのと好対照でした。

CCD の感度向上の速度はその後ろも衰えることはありませんでした。画素構造の進歩がそれを支えました。暗電流を吸収できる埋め込み型フォト・ダイオード(ソニーの HAD センサ: Hall Accumulated Diode Sensor)と画素の上に作りつけたマイクロレ

ンズなどのお陰で、いまやかつての撮像管の数十倍の高感度を達成しているはずですが、なお、こうした急速な進歩に CCD 陣営の間にも優劣の差が生じ、ソニーを中心にした寡占化が進みます。真っ先に脱落したのは米国勢です。ちょうど日本がバブル景気であつたか、米国製造業が意気消沈していた時代の出来事です。

次の 10 年、1995 年前後、CCD 全盛の時代が続く間に MOS のリベンジが始まります。米国半導体勢による DRAM 技術を背景にした巻き返しといっても良いでしょう。今度は CMOS が CCD と同じ構造のプリアンプ(FDA)をしかも画素ごとに設ける構造を採用して感度を大幅に改善しました。こうして、CMOS が CCD に追いつき追い越せの改善を始め、CCD がまたその先を行く展開になります。こうした競争の末、今に至っています。

表 7 カメラ設計に関する比較

撮像素子	消費電力	駆動電源	撮像素子に内蔵可能な回路		
			走査回路	撮像信号 前処理系 (アナログ)	撮像信号処理系 (デジタル)
IT-CCD	大 例 1: 135mW	例 1 15V, 3.3V, -5.5V	No	FDA	No
CMOScv	小 例 2: 31mW	例 2 3.3V	タイミング発生回路 駆動回路	FDA, 利得調整アンプ CDS, A-D 変換回路	プロセス回路, エンコーダ デジタル・インターフェース (USB1.1 など)
CMOSadv					-

例 1 = 1/4 型 33 万画素 CCD 例 2 = 1/3 型 33 万画素 CMOS

表 8 民生用ロボットの目に関する性能比較

撮像素子	感度, 画質	ダイナミック改善	消費電力	カメラのサイズ
IT-CCD	優		大	
CMOScv	良	対数変換 PD	小	最小(1 チップ・カメラ)
CMOSadv	優	マルチスロープ方式		小(回路内蔵)

表 9 産業用ロボットの目に関する性能比較

撮像素子	走査回路	走査速度の限度	高速走査		電子シャッタ	
			並列読み出し	部分読み出し	構 造	フリーズ
IT-CCD	CCD シフト・レジスタ (自由度が低い)	30M 画素/秒 (仕様一例)	2 タップ (左右観音開き)	パースシャル・スキャン	インタレース走査型	フィールド同時読み出し
					プログレッシブ走査型	フレーム同時読み出し
CMOScv	XY アドレス回路 (自由度が高い)	30M 画素/秒 (仕様一例)	-	-	グローバル・シャッタ型	フレーム同時読み出し
CMOSadv			マルチタップ 2 タップ ~ 16 タップ	WOI (Window of Interest)	ローリング・シャッタ型	不可

CCD には感度と画質で引けを取ります。

● 産業用ロボットの目に向いているのはどちら？

産業用ロボットの目への要級求事項(表 1)は高機能、高性能にあります。高機能の第一は走査機能ですが、その比較結果が表 9 です。総論でいうと、現状では IT 型 CCD に一日の長があります。高感度と電子シャッタ機能とを備えているからです。一方の CMOS 撮像素子は、XY アドレス方式ゆえの自由度の高い走査が魅力です。CCD はシフト・レジスタ走査なので、どうしても自由度が乏しくなります。

さて次は各論として、まず走査速度を比較します。走査速度の限度は CCD も CMOS も機構の相違にかかわらず、仕様書上は約 30M 画素/秒と同等です。たとえば 29M 画素/秒で 38 万画素、60fps(フレーム周波数)の駆動ができます。

走査速度の限度を破る方法としては、並列読み出し(マルチタップ読み出し)があります。CMOS 撮像素子の場合、10 並列(10 タップ)で、およそ 10 倍の高速走査素子が実現されています。一方 CCD はせいぜい 2 タップ程度が実用限界なので、さらなる高速化という点では CMOS 撮像素子に軍配が上がります。

高速走査を実現するもう一つの工夫に、読み出す領域を必要なところに限定する手法があります(図 8)。CCD の場合はパースシャル・スキャンといい、走査線数を限定します。一方、CMOS には WOI(Window of Interest)という機能があります。外部から操作することで画面上の任意の領域を切り出して読み出す走査ですが、DRAM に似た XY アドレス型の CMOS 撮像素子の得意技です。必要に応じて切り出す窓(Window)を任意に変化できれば、ロボットの目として大いに効果的です。

次は、電子シャッタ機能の比較をしましょう。電子シャッタとは露光時間、すなわち光電子蓄積時間を限定する機能です。言い換えれば無用な期間の光電子を蓄積せず廃棄する機能です。

光電子を廃棄する方法ですが、CCD ではフォト・ダイオードからその基底部にあるオーバフロー・ドレインへ光電荷を廃棄します(図 4 の矢印)。CMOS 撮像素子では、図 6 の Q_{tr} と Q_{sr} を同時に ON として V_{dd} へ廃棄しています。

電子シャッタの役割は二つあります。一つは電子アイリスです。これはレンズの絞りの代替となります。

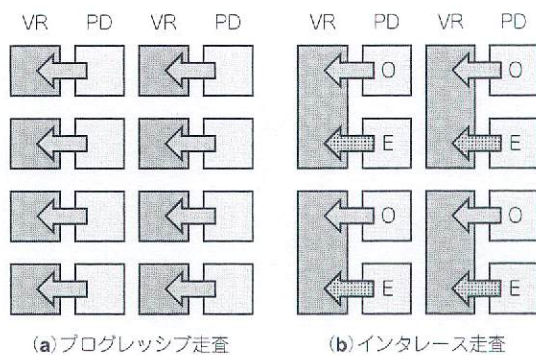
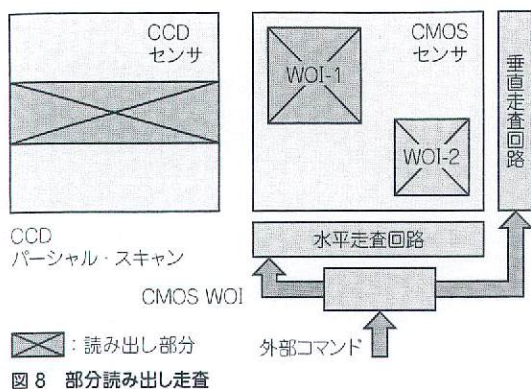


図9 プログレッシブ走査とインタレース走査

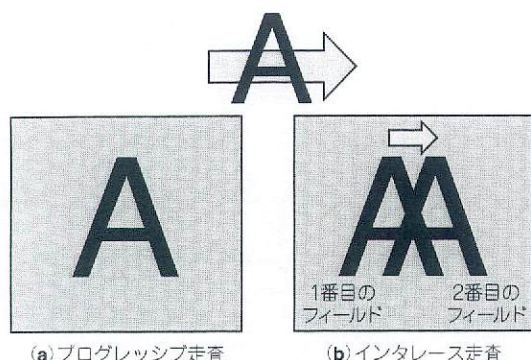


図10 CCD撮像素子のフリーズ機能

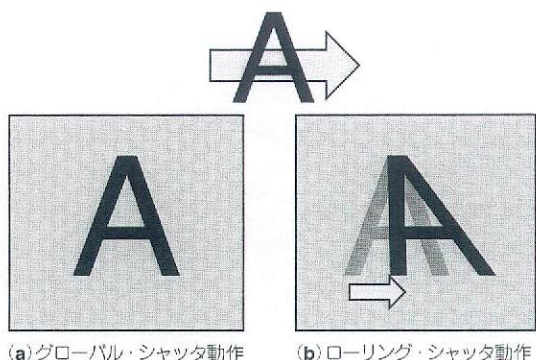


図11 CMOS撮像素子のフリーズ機能

CCDでもCMOSいずれでも実現できます。もう一つは、高速に移動する被写体をフリーズする機能です。じつはCCDもCMOSも、これができる構造とそうでない構造があります。

CCDの主流であるインターライン型CCDには、二つの型があります(図9)。インタレース走査型と、プログレッシブ走査型です。インタレース走査とはテレビでいう飛び越し走査ですが、奇数番の走査線(奇数フィールド)と偶数番の走査線(偶数フィールド)を交互に読み出します。したがって、フリーズ画面はフィールド間の時間差分の2重像になります[図10(b)]。2重像が許されないなら、片方のフィールドのフリーズ画像を使うことになるので、垂直の解像度は半分に落ちます。一方プログレッシブ走査(順次走査)は、全走査線上の画素を同時に読み出せるため、こうした歪みも解像度の低下もない正規のフリーズが実現します[図10(b)]。

CMOS撮像素子の電子シャッタにも二つの型があります。ローリング・シャッタとグローバル・シャッタです。ローリング・シャッタは簡単に実現できますが、フリーズした画像には歪みがあります(図11)。画面の下部の画像が上部に比べちょうど1フレーム

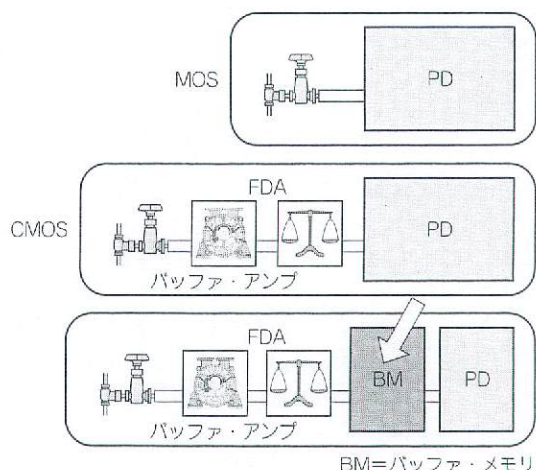


図12 グローバル・シャッタ型CMOS撮像素子

時間遅れるためです。グローバル・シャッタは、この問題を解決しました[図11(a)]。その構造では、画素の中にバッファ・メモリを追加します(図12)。

このメモリは、フリーズした画素上の光電子を一時蓄積し、走査線順序にしたがって読み出すタイミングまで待ってこれを出力します。これで、歪みのないフリーズ画像出力が可能になります。

しかしバッファ・メモリを追加すると、フォト・ダイオードの面積を削らざるを得ず、感度が低下します(図12)。こうした理由で、現状ではグローバル・シャッタ構造を採用したCMOS撮像素子は、画素が大型の産業用途に限られています。

2.3 CCD vs. CMOS——主役はCCDから新しいCMOSに明け渡される(?!)

2005年に、CMOS撮像素子の感度がCCDについて追いつきました。その感度と $3\mu\text{m}^2$ の小型化を実現しました。高画素CMOSも実現し、携帯電話用途などに進出しています。従来では考えられなかったビデオ・カメラ、それもハイビジョン用の高画質ビデオ・カメラにさえも採用されました。ただし、その構造はCMOSではなくCMOSとCCDの複合素子といったほうが正しいでしょう。そのフォト・ダイオードはCCDと同じ埋め込み型PDで、マイクロレンズをもつ構造だからです(CMOSAdv)。こうなると、標準のCMOS製造プロセスをそのまま使えないので、CMOSの回路設計資産をそのまま持ち込むことはできません。いわば、CMOS撮像素子の利点を一部失った形です。

この新しいCMOS撮像素子(CMOSAdv)を産業用

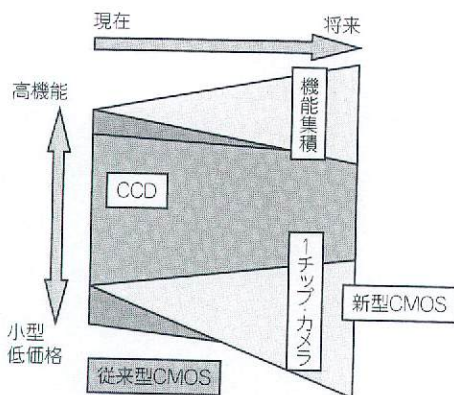


図13 CCD vs CMOSの将来予測

ロボットに使うには、欠点があります。現時点ではグローバル・シャッタ機能を搭載していないことです。これを実現するとすると、感度が低下します。だからCMOSAdvは、映像用途に的を絞っています。マシンビジョンに使えるCMOSAdvの実現は、しばらく先になりそうです。

従来型のCMOS撮像素子は、マシンビジョン用途で生きています。大きな画素構造が許されるからグローバル・シャッタを作り込めるし、画面の一部を選択的に読み出す機能WOIなども容易に備えるなど、CCDにない高機能な産業用ロボットの目が実現できます。

さてここで、CCDとCMOS撮像素子の今後を占ってみましょう。私見を図13に集約します。

いままでは「画質のCCD」が主役でした。脇役のCMOS撮像素子は、安くて小型のUSBカメラなどの用途や高機能、超高速のマシンビジョン用途に限られてきました。しかし、画質の向上した新しい撮像素子CMOSAdvが低消費電力と高速性を武器に携帯用途などCCDの領域を下から浸食し始めました。この先、CMOS回路の集積度が向上するにつれ、主役の座はCCDから新しいCMOS撮像素子に明け渡されるでしょう。ワイド・ダイナミック・レンジの感度不足もいずれ改善されるでしょう。そのときにはCCD級の高画質、ワイド・ダイナミック・レンジでしかも撮像素子上に回路を集積した1チップ・カメラという、超小型のロボットの目がCMOSで実現されるはずで、産業用の新しいCMOS撮像素子は少々遅れて登場しますが、これも高速化、高機能化を集積し、いままでにない機能を実現するはずで、

図13は、そうした動向を図式化しました。CCDからCMOSへと移り変わるであろう予測は見逃せません。マシンビジョンから放送用ハイビジョンまで、研究開発から事業担当まで約30年間CCDカメラと連れ添った筆者にもCCDの行く末が見えはじめたように思います。

表10 撮像信号の規格

撮像出力信号形式(映像信号)	信号数	帯域(相対値)
B & W(1線信号)=VS	1	4
複合テレビ信号=VBS=NTSC信号	1	4
Y/C	2	4:1
YUV(コンポーネント信号)	3	4:2:2
RGB(3原色信号)	3	4:4:4
RAWデータ・カラー(デジタル)	1	4

VS = Video 信号 Sync. (同期信号)付き、VBS = Video 信号 Sync. + Burst 付き、日本ならNTSC複合テレビ信号を指す。

表11 制御信号

制御信号類
同期信号
内部同期信号(出力)
外部同期信号(入力)
トリガ・パルス(入力)
カメラ制御信号(入力)
電源供給線

表12 伝送規格

入出力インターフェース伝送規格		
アナログ伝送規格		デジタル伝送規格
BNC	同軸線路	USB1.1, USB2.0
	PIN端子	Ethernet
	S端子	Gig-E
丸形12ピン・コネクタ(EIAJ規格)		IEEE1394.a, 1394.b
専用インターフェース		カメラリンク
専用インターフェース		専用インターフェース

D3



100



3200



200



6400



400



12800



800



25600



1600

画像：

4256×2832(1200万画素)の内、
約150×75(11,250画素)を拡大



1 0 0



3 2 0 0



2 0 0



6 4 0 0



4 0 0



1 2 8 0 0



8 0 0

画像：

4 7 5 2 × 3 1 6 8 (1 5 0 0 万画素)の内、
約 1 8 5 × 1 0 0 (18, 500 画素)を拡大

コメント：

- 1) 感度 2 0 0、4 0 0 でも徐々に画質が落ちる
- 2) 感度 1 6 0 0 を超えると荒れが目立つ
- 3) 感度 1 2 8 0 0 を超えると色まで変わる
- 4) 高感度が必要な場合でも感度 6 4 0 0 で撮影し、
必要に応じて Photoshop など で高感度化する方法
もある。感度 1 2 8 0 0 以上で撮影した画像を高
画質に戻すことはできない



1 6 0 0

流星痕自動撮影装置 について

NMS 鈴木智

- メインターゲット 散在、中低速系流星群の痕
出現頻度の少ない痕の観測 → **自動化必須**
- 移動用装置(2008年完成)の問題点
 1. 観測毎の設置、撤収が大変
 2. 導入位置精度が低い。(設置時の調整の問題)

2010/02/7

3

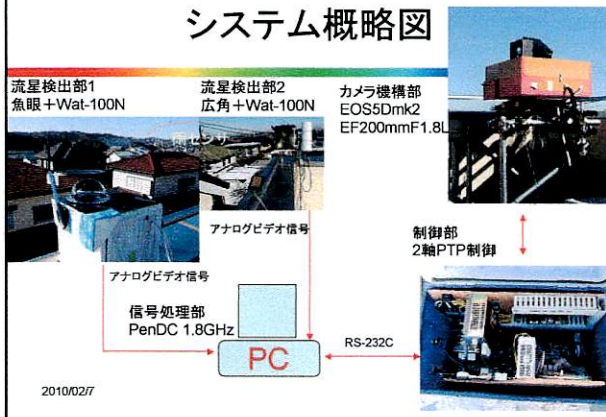
対策

- 装置の固定化 問題点を解決可能
- 固定化 → 電力・重量の制約なし
光害の影響を軽減 → **大口径化**(痕は線光源)
- 開発事項
 1. 大型高速の2軸駆動機構
 2. 剛性の確保(焦点距離も伸びるため)
 3. 雨対応(ドームでは画像劣化が顕著)

2010/02/7

4

システム概略図



2010/02/7

カメラ機構部 外観



2010/02/7

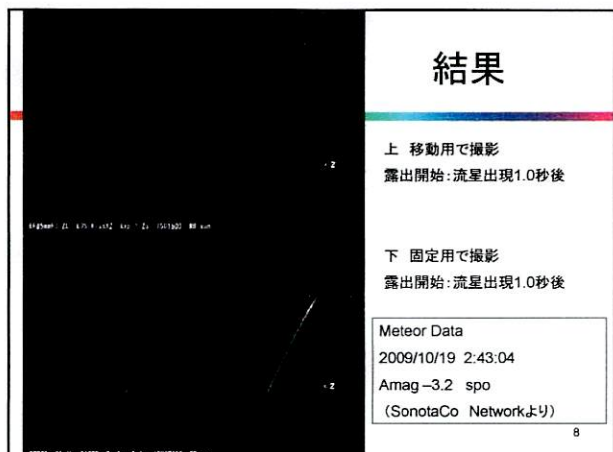
仕様

- 撮像機器 Canon EOS5Dmk2+EF200mmF1.8L
撮像部重量 約5kg
- 導入時間 約1秒(全天)
- 導入機構 2軸経緯台式(高度、方位)
- アクチュエータ
方位 NSK製 YSB-4080
高度 ハーモニックドライブ製 FHA-17C-100
- モーションコントローラ
汎用シーケンサ キーエンス製 KV1000

2010/02/7

7

結果

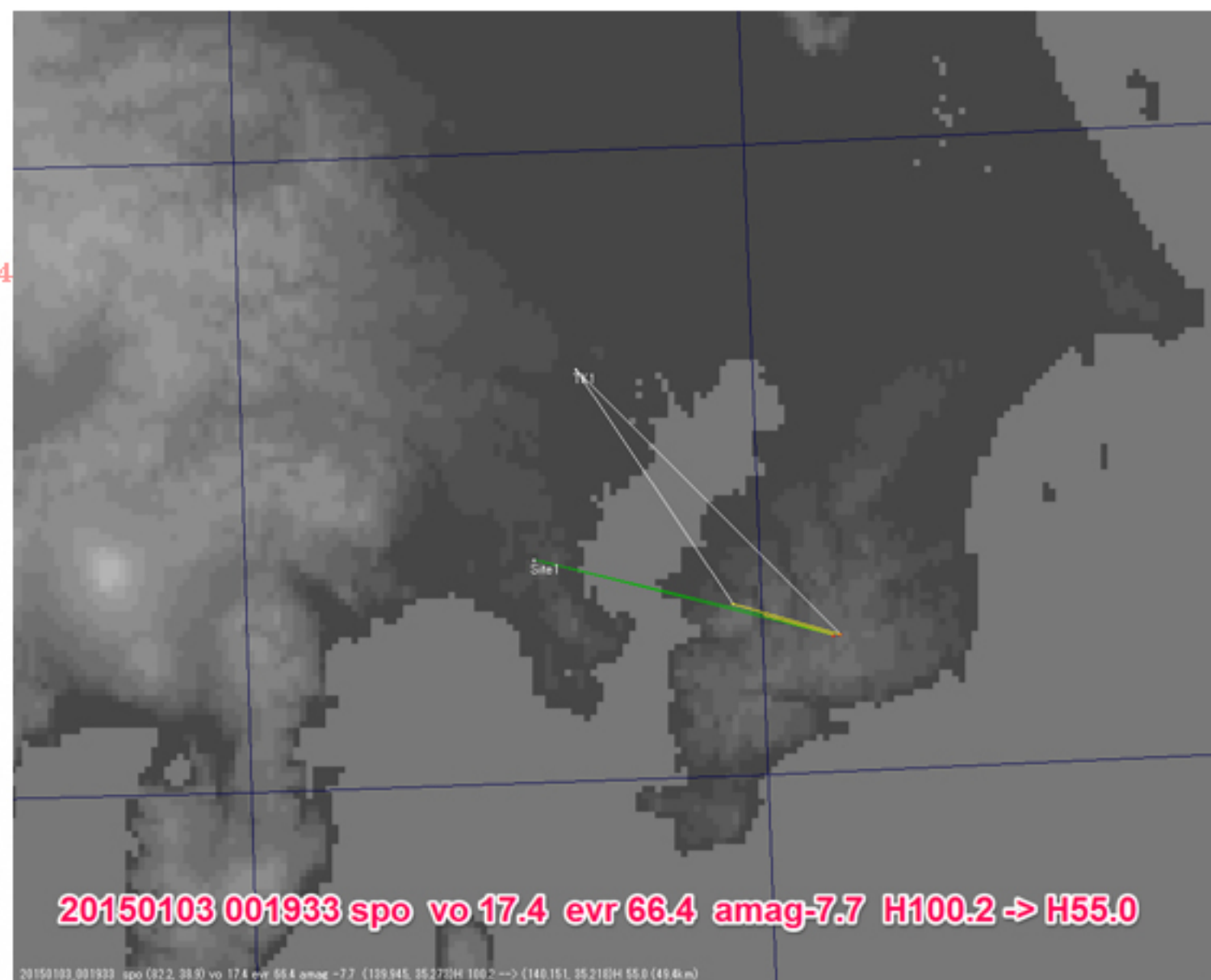


8

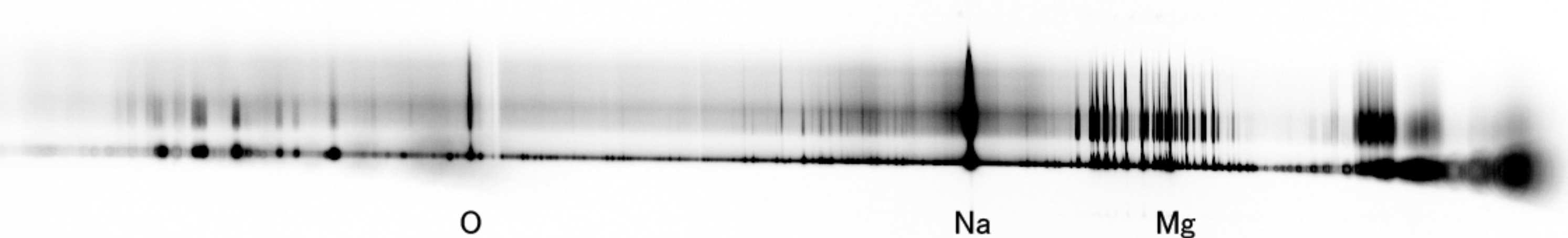
2015/2/1 MSS

火球の超望遠高速撮影

鈴木 智



VIS-NIR



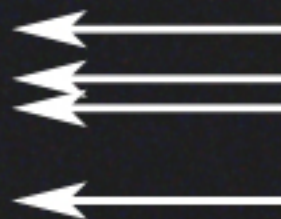
0.0 G:(0.0, 0.0) K:(0.0, 0.0) V:(0.0, 0.0) KVx:(0.0, 0.0) KVy:(0.0, 0.0)
496) AzC:(106.3, 50.9)(106.2, 50.8) AzC:(106.2, 49.7)(106.2, 49.6) V:C:(106.2, 48.8)(106.2, 48.7) V:(0.0, 0.0)
106.3,-50.9) (106.2,-49.7) (106.2,-48.8)

Frame No:232

255

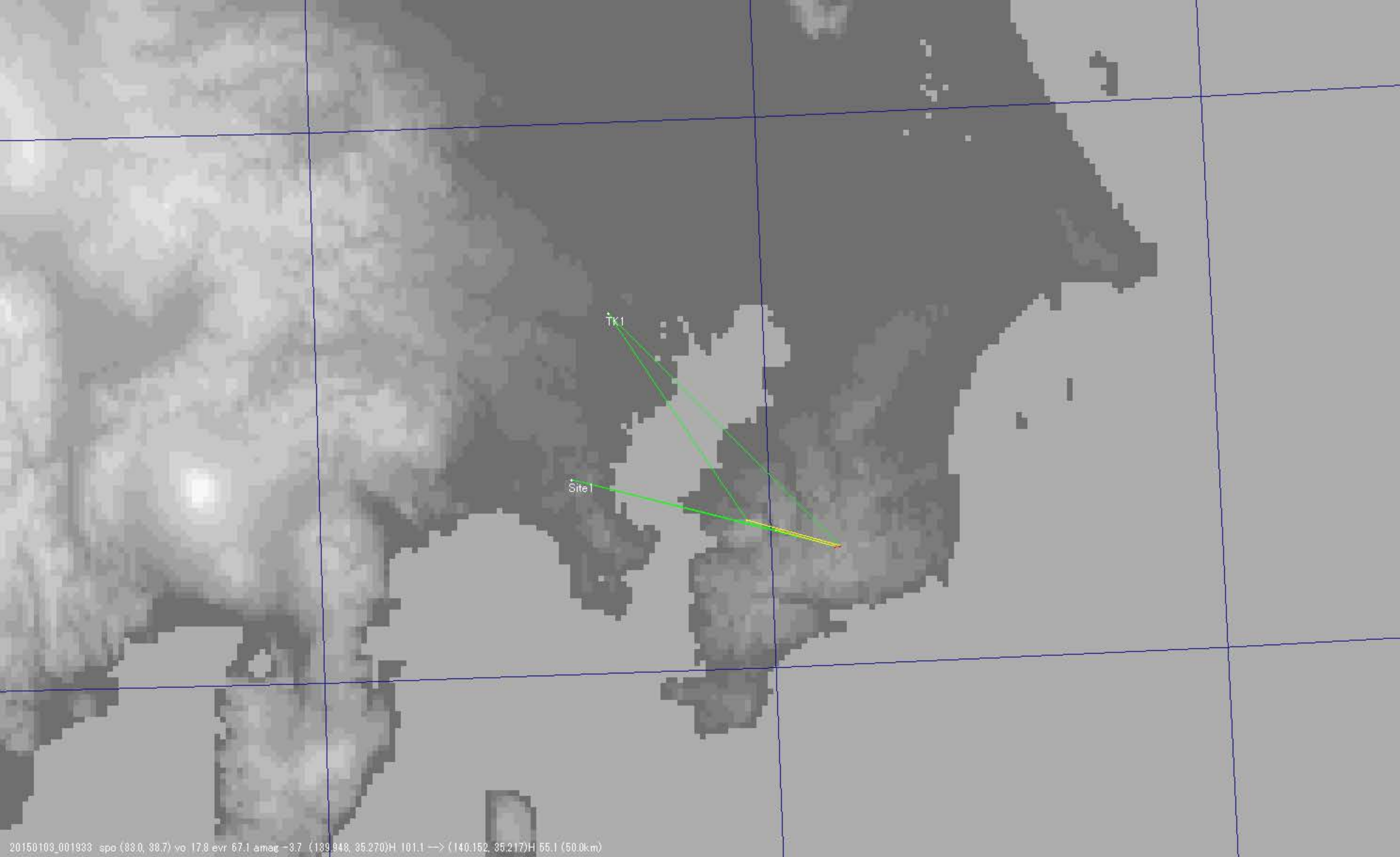
273

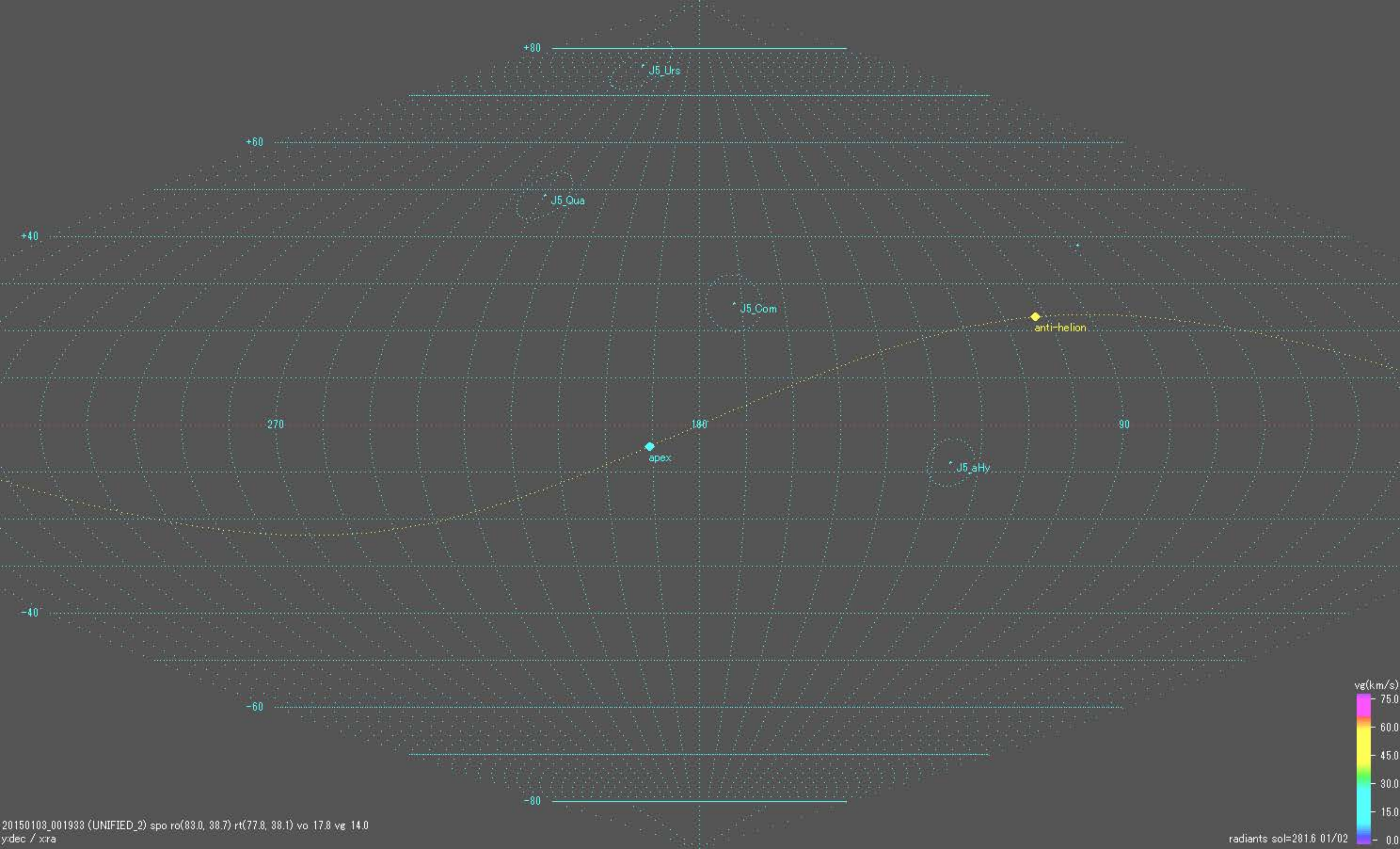
約10m尾より離れて
並んでいる



0.1deg

100m





SONY $\alpha 7s$ を使用した流星の動画撮影

泉 潔

私は眼視観測と平行して（補助的な観測手段）として、1994年頃よりIIを搭載したビデオ観測を主に主要群の極大日などに行っていた。50mmF1.4の標準レンズを搭載し、IIでは7等クラスの流星まで捕獲できた。5月下旬の牛飼い座の領域からの肉眼では捕らえられない低速の微光流星の活動を捕らえたりしたことがあった。その後、IIを搭載したビデオと一緒に高感度カメラWATECを使用したビデオ観測も1998年頃より行って来た。しし座流星群の回帰はこの2つで臨んだ。しかし、2000年代に入り、撮影後の流星検出にかかる時間のわずらわしさなどから、ビデオ観測はほとんど行わなくなってしまった。最近、SONY からデジタル一眼でありながら動画撮影も超高感度で行える $\alpha 7s$ が登場した。スイッチを押すだけで動画が気楽に撮影出来、動画もSDカードに記録できるこのカメラに興味を抱き、今年の夏より試験的に流星の動画撮影を試みている。これからこのカメラを使用してみたいとお考えの方の参考に、今までの撮影流星数などをまとめてみたので報告させていただく。2015年は天候不順であり、ことごとく主要流星群の極大日の観測ができず、一晩に大量の流星が撮影出来るチャンスはなかった。しかし、機会にさえ恵まれれば、多くの流星が撮影が出来るであろうことには確信が持てた。レンズは当初は28mmF2を使っていたが、12月より35mmF1.4のより明るいものに変更した。レンズはなるべく明るいものを使用した方がよい。しかし28mmに比べて視野が狭くなるので、撮影出来る流星の数はあまり変わらないようだ。シャッター速度はいろいろ試行錯誤した結果、 $1/10s$ で行っている。ISOは画質が保てる102400である、498000まで出せるが、ノイズがかなり多くなる。現在では更に高性能な $\alpha 7s II$ も高価ながら登場し、7sの2倍位、感度を上げてても画質が保てるようだ。印象としては、肉眼で捕らえられる流星はほとんど撮影出来ているようである。28mmレンズでは、ほぼ眼視観測の視野の主領域に相当する範囲をカバーできて、眼視観測と平行して撮影しておけば、補助的な手段として大変有効ではなかろうか。画質はIIやWATECに比べて大変良質であり、速度がある程度以上の流星ならば、グリーンの酸素の輝線で光る短痕の消長を良く捕らえることができる。このカメラを使用した明確な観測目標はまだわからないが、様々なレンズや、装置の環境設定でいろいろなことが出来るのではないだろうか。最大の難点は、およそ29分でシャッターが切れてしまい連続撮影には再度ボタンを押す必要があることだろうか。メカに強い方ならこの問題はすでに解決済みかもしれない。私の流星検出は、撮影後パソコンで再生し、目視で行っているが、UFOキャプチャーの使用者なら当然、自動検出が可能であろう。目視だと見逃す流星も出てくる。このカメラを空の好条件の場所で使用すれば眼視観測で判明しなかった3月のへび群やおとめ群の多くの微光流星が撮影出来るような気がする。今後も眼視観測の補助的手段としてこのカメラを有効活用できたらと思う。

表1 SONY $\alpha 7s$ による流星動画撮影数L:観測地 a M:全流星数 CL:視野内雲量 SONY $\alpha 7s$ Iso: 1024000 1/10s

観測日	時刻	T	aM	L	群流星	LM	CL	レンズ
2015.7.25/26	01:32-02:01	29	4	A	δ A 3	7.0	0	28mmF2
2015.7.25/26	02:08-02:37	29	3	A		7.0	0	28mmF2
2015.8.14/15	02:52-03:22	29	5	B	P3	7.0	3	28mmF2
2015.8.14/15	03:22-03:51	29	9	B	P 7	7.0	1	28mmF2
2015.9.11/12	01:19-01:48	29	3	A	ϵ P1	6.0	2	28mmF2
2015.9.11/12	01:59-02:28	29	3	A	ϵ P2	6.0	1	28mmf2
2015.9.12/13	00:49-01:18	29	0	B		6.0	0	28mmF2
2015.9.12/13	01:28-01:57	29	4	B	ϵ P1	6.0	0	28mmF2
2015.9.21/22	02:44-03:13	29	3	C		6.5	0	28mmF2
2015.9.21/22	03:51-04:20	29	0	C		6.5	0	28mmF2
2015.10.11/12	01:20-01:49	29	1	B		7.0	7	28mmF2
2015.10.21/22	01:36-01:54	18	0	C		4.0	0	28mmF2
2015.10.21/22	01:56-02:25	29	4	C	Ori3	4.0	0	28mmF2
2015.10.21/22	02:39-03:08	29	2	C		4.0	0	28mmF2
2015.10.21/22	03:57-04:26	29	1	C	Ori1	4.5	0	28mmF2
2015.10.21/22	04:28-04:57	29	3	C	Ori3	4.5	0	28mmF2
2015.11.3/4	23:23-23:52	29	0	C		6.5	0	28mmF2
2015.11.3/4	23:55-00:24	29	4	C	TN2	6.5	0	28mmF2
2015.11.3/4	01:11-01:40	29	5	C	TS3	6.5	0	28mmF2
2015.11.4/5	01:53-02:22	29	3	C	TN1,TS1	6.5	0	28mmF2
2015.11.4/5	02:32-03:01	29	5	C	TN1,TS2	6.5	0	28mmF2
2015.11.4/5	03:02-03:31	29	3	C		6.5	0	28mmF2
2015.11.5/6	02:15-02:44	29	2	C	TN2	7.0	0	28mmF2
2015.11.5/6	02:50-03:19	29	2	C	TS1	7.0	0	28mmF2
2015.12.12/13	22:33-23:02	29	5	D	G1	7.5	0	35mmF1.4
2015.12.12/13	23:17-23:46	29	10	D	G5	7.5	0	35mmF1.4
2015.12.12/13	00:09-00:38	29	8	D	G5	7.5	0	35mmF1.4
2015.12.12/13	00:47-01:16	29	12	D	G7	7.5	0	35mmF1.4
2016.1.3/4	01:47-02:16	29	4	C		7.0	0	35mmF1.4
2016.1.3/4	02:20-02:49	29	3	C	D1	7.0	0	35mmF1.4
2016.1.3/4	03:58-04:27	29	6	C	D4	7.0	0	35mmF1.4
2016.1.3/4	04:29-04:58	29	4	C	D1	4.5	0	35mmF1.4
2016.1.4/5	03:27-03:56	29	5	C	D1	7.0	0	35mmF1.4
2016.1.4/5	03:58-04:27	29	4	C	D2	7.0	0	35mmF1.4
Total	総露出時間 9 7 5 分 撮影流星数 1 3 0 H R 8.0							

観測地 A群馬県伊香保町 B群馬県吾妻郡万座 C群馬県渋川市(自宅)

D新潟県八海山

ニコンD500 (APS-C相当カメラ)の感度別4K画像比較

重野好彦

2016年4月28日発売のD500を使用し、超高感度4K動画(3840×2140ピクセル)の画像比較を行ったので紹介する。実写123Mbps=55GB/h=512GBメモリ/8h。レンズは85mm F1.4 (35mm版200mm相当)。1150×450ピクセル部分をトリミングした。

「図3. ISO:20万」に恒星の等級を記入した。最微等級は11と比較べて2等以上明るい。ISO:80万以上の画像はひどく荒れており何に使えるのか。

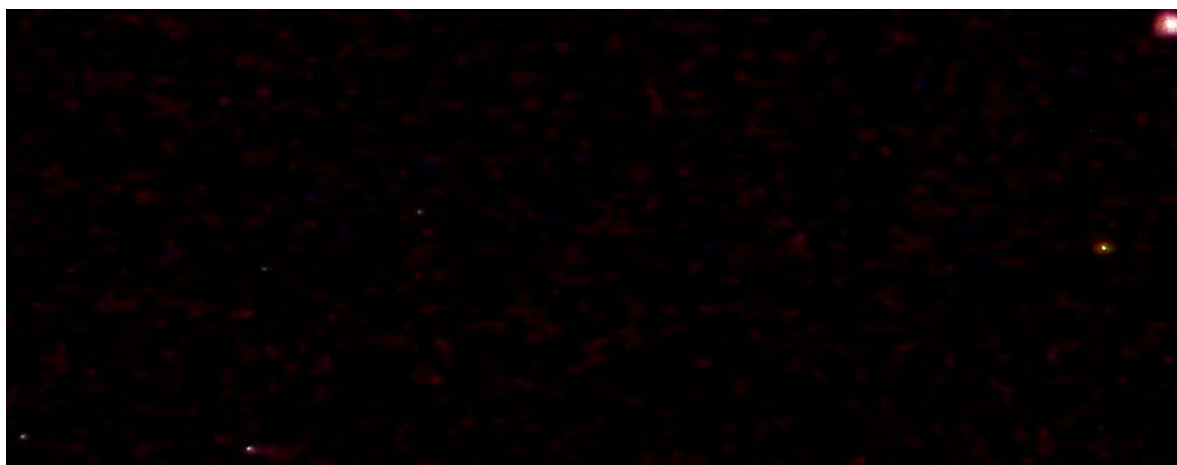


図1. ISO:5万

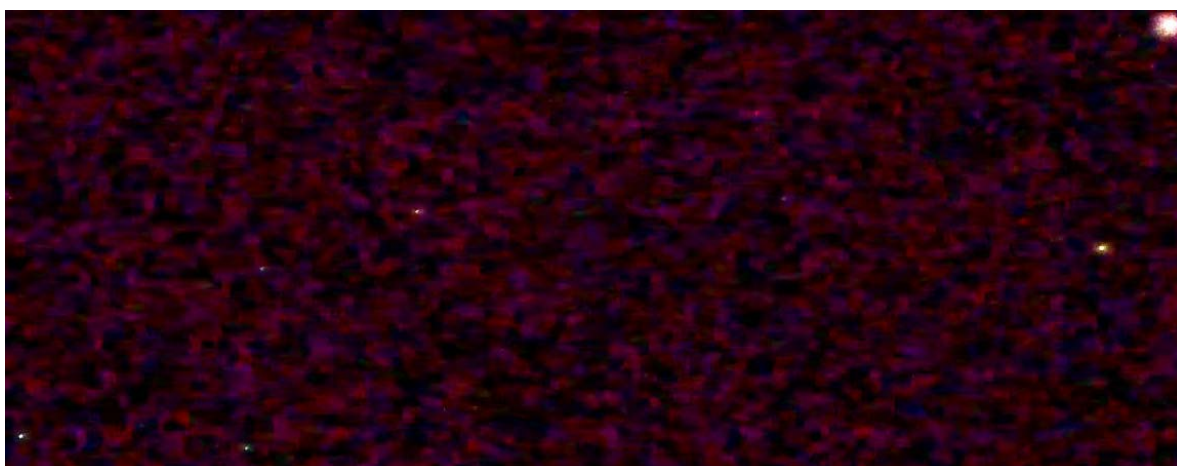


図2. ISO:10万

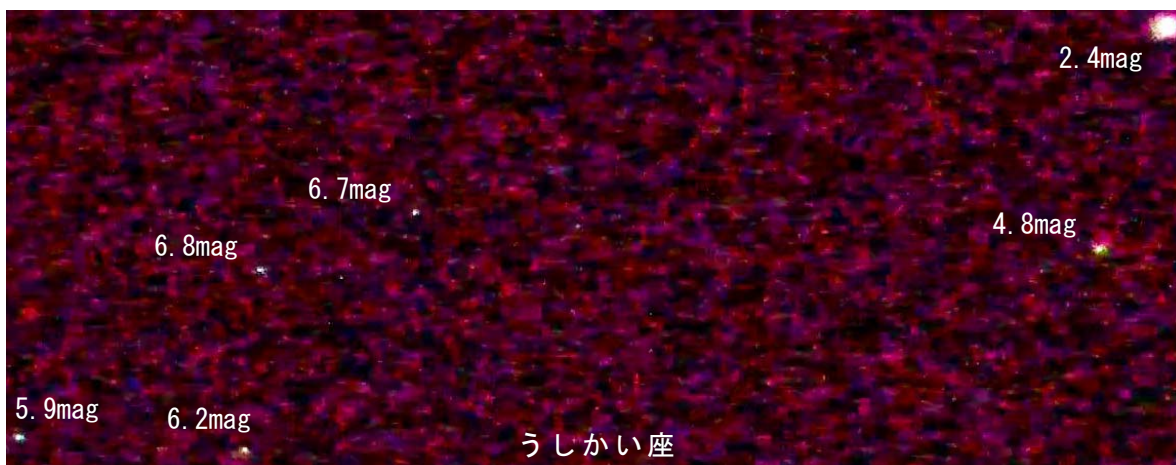


図3. ISO:20万



图4. ISO : 40万



图5. ISO : 80万

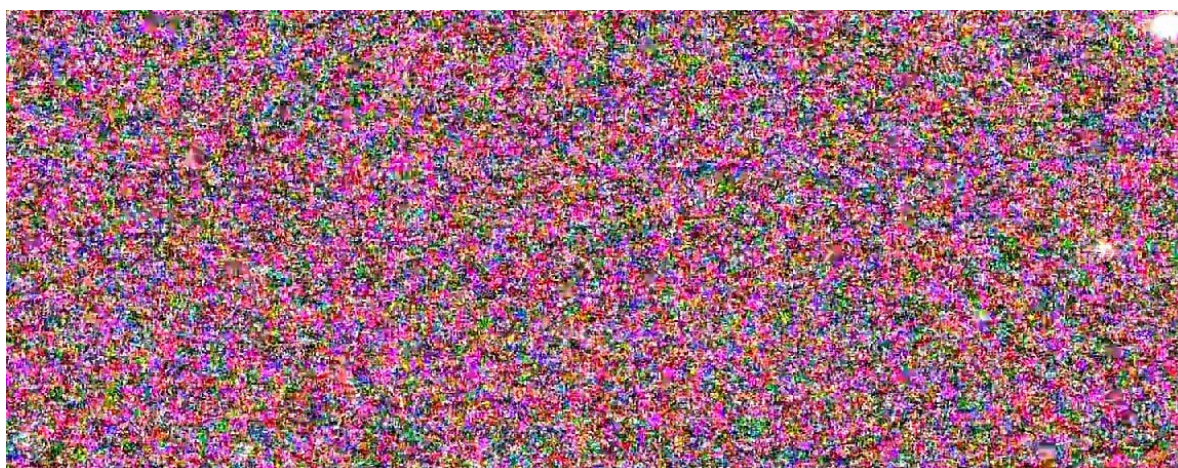


图6. ISO : 160万

35mmFullサイズカメラとAPS-Cカメラの感度別画像比較

重野好彦

左列は35mmFullサイズカメラ、右列はAPS-Cカメラである。左列と右列がほぼ同じ画質となるようにISO感度別に並べてみた。左列は上からISO:1600, 6400, 25600, 10万、右列は上からISO:400, 1600, 6400, 25600である。つまり35mmFullサイズカメラはAPS-Cカメラに較べて4倍の感度で同画質となっている。この差は非常に大きい。



図1. 35mmFullサイズカメラの感度別画像
(キャノン6Dの場合)

- 1) 上からISO:1600, 6400, 25600, 10万。
- 2) 左はノイズ低減:OFF、右はノイズ低減:標準
- 3) きれいに撮るなら1600、ちょっと我慢すれば6400が可能。



図2. APS-Cカメラの感度別画像
(キャノンX7の場合)

- 1) 上からISO:400, 1600, 6400, 25600。
- 2) 左はノイズ低減:OFF、右はノイズ低減:標準
- 3) きれいに撮るなら400、ちょっと我慢すれば1600が可能。

カメラレンズ性能評価法の研究

重野好彦

1. はじめに

フィルムカメラからデジカメになり、画像をPCで自由に拡大表示出来るため、レンズの性能を容易に評価できるようになりました。しかしレンズのユーザーレビューを読んでも「ぬけが良い」「こってりとした色」「その場の空気感まで表現できる」など定性的な評価が多く見られます。また今でもズームレンズは単焦点レンズより性能が落ちると思っている人が少なくありません。そしてレンズメーカーが公表しているMTF特性図を引用している人は全くいません。これはMTF特性図と実際の写り方の関係が分からないことが理由ではないかと思います。そこでこの問題を理解するためレンズ性能評価の研究を始めました。

MTF特性図に関してキャノンのHPの説明を以下に簡略引用します。『MTFとは、Modulation Transfer Function の略で、コントラスト再現比によるレンズ性能評価方法です。レンズを「光学信号の伝達系」と考えた場合、光学系の周波数特性が測定できれば、光学信号が忠実に伝達されているかどうかを知ることができます。レンズという周波数とは、1mm幅の中に正弦的に濃度の変化するパターンが何本あるかという意味で特に「空間周波数」と呼ばれ、「〇〇本/mm」と示されます。

MTF特性図は、横軸が画面中心を0とした画面中心からの距離（単位：mm）、縦軸がコントラストとなっており、10本/mmと30本/mmのMTF特性が示されています。MTF特性図上の10本/mmのカーブが1に近いほどコントラスト特性がよく、ヌケの良いレンズとなり、30本/mmのカーブが1に近いほど高解像力を備えたシャープなレンズとなります。一般的に10本/mm(コントラスト)のMTF特性が0.8以上あれば優秀なレンズと言われています。』（図1参照）

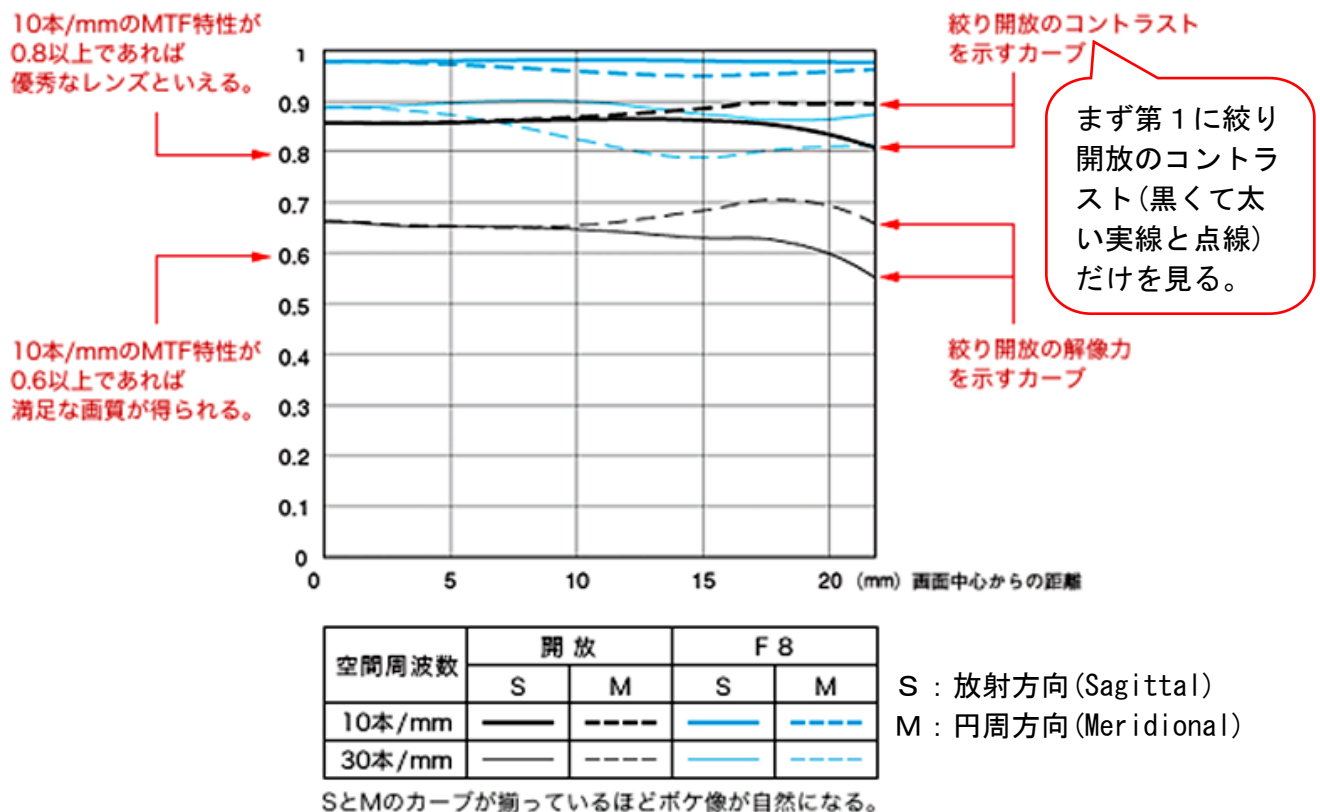


図1. MTF特性図の見方

キャノンのMTF特性図(HPより引用)は、絞り開放(黒線)に加えてF8(青線)があるため、ごちゃごちゃして見にくくなっています。まず第1に絞り開放のコントラスト(黒くて太い実線と点線)だけを見ることにします。これだけでもおおよそレンズの評価が可能です。どのレンズメーカーのMTF特性図にも必ずこの線が含まれています。

2. MTF特性図の実際例

図2～3に2種類の標準ズームのMTF特性図(キャノンのHPより引用)を示します。それぞれ8種類の線が画かれているので赤丸印を付けた絞り開放のコントラストだけに注目してください。図2と3を比較すると図2のレンズの方が多少性能が良さそうです。しかしこのグラフだけでは、図2のレンズが十分満足できるのかどうか分かりません。また図3のレンズがどのくらい劣るのかも分かりません。やはり実際に撮影した画像を見てから評価したくなります。

図2. MTF特性図1

標準ズーム1
EF24-70mm F4L IS USM
φ83.4×93mm 600g
12群15枚

絞り開放のコントラスト
(黒くて太い実線と点線)
に赤丸印を付けました。

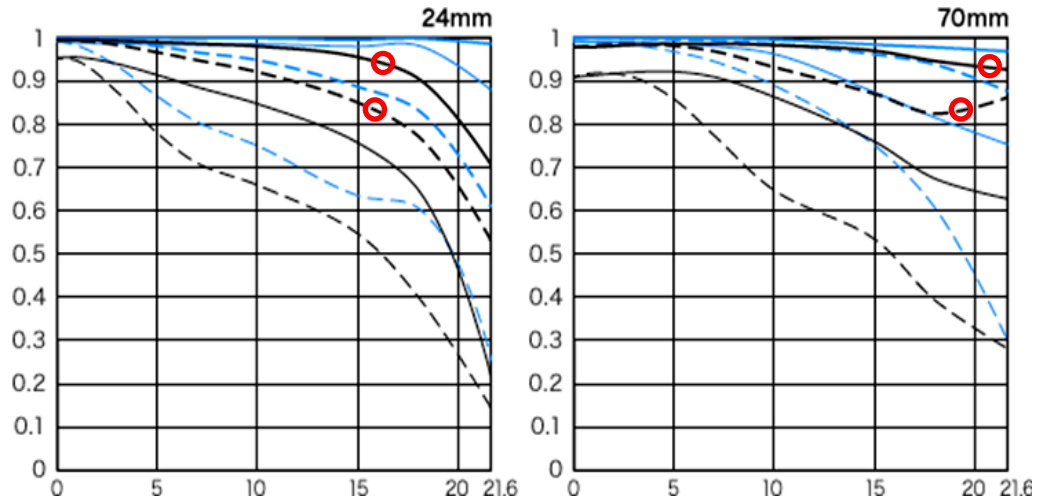
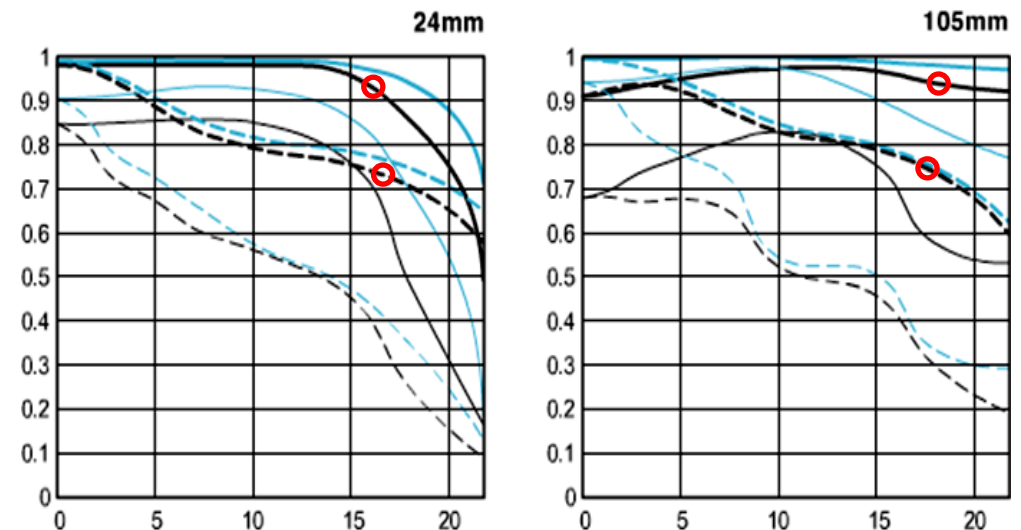


図3. MTF特性図2

標準ズーム2
EF24-105mm F4L IS USM
φ83.5×107mm 670g
13群18枚

絞り開放のコントラスト
(黒くて太い実線と点線)
に赤丸印を付けました。



3. 画像評価方法の実際例

レンズ評価のために実際に画像を撮影してみる方法は意外と簡単ではありません。以下に今まで試した評価方法を述べてみます。

3.1. ISO_12233チャートを使用する

図4にISO_12233チャートを紹介します。
1mmに何本縞模様が分解できるか(分解能)を調べることができます。数値だけでは分かりにくいから実際の画像を見てみたいのに、また新たな数値(分解能)を求めることになってしまいます。

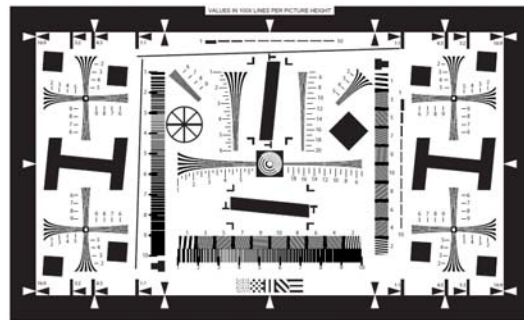


図4. ISO_12233チャート

3.2. 屋外で景色などを撮影する

実際に公園などに出かけてビルや樹木を撮影してみました。しかし広角レンズから望遠レンズまで、それぞれ被写体が異なってしまうため、同じ基準で評価ができません。また屋外は晴れ／曇り、太陽光線のあたり具合、季節などによって被写体の状況が変化します。

天文雑誌には星野写真を撮影してレンズを評価するページがあります。星野写真はいかに恒星が点像に写るかが重要なので、視野四隅の拡大画像が表示されています。ポイントはコマ収差により伸びてしまう恒星像がどこまで絞れば点像に近づくかが示されています。ただ天文雑誌の著者も述べているように、光害の無い場所に、月明かりが無く快晴のときに出かけていく手間がたいへんです。やはり室内で適当な撮影方法を見つけないと困ります。

3.3. 顔の写真

評価チャートには標準顔写真もありますが、印刷した段階で階調が大きく損なわれてしまいます。本物の顔をテストに使うことはできないので、その代わりとして人形を使うことを思いつきました。これが思いの外良かったので、いろいろと試してみてもう今日に至っています。

人形はひな人形が秀逸です。こけしのように目鼻を筆で塗っただけではコントラストが十分生じません。ひな人形は目、鼻、口などを彫刻刀で彫ってあります。顔も曲線で作られています。これらによりくっきりした陰影やグラデーションが生じますので、微妙な写り方の違いによりレンズの評価がしやすくなります。

同じ条件で評価するためにはセンサーサイズ、レンズ焦点距離が変わっても人形を同じサイズで撮影する必要があります。実際には「センサー上での人形の顔幅／センサーの横幅＝1／90」になるように撮影しています。またセンサー上で中心から周辺になるに従って画質はわるくなっていきますので、これらも表現したくなります。本研究では、以下の3カ所を撮影することにしました。これにより各レンズを同じ条件で評価できるようになりました。

1) 中心から左端までの2／3の位置……この位置で開放からF 1 1まで撮影し、F 値による画質の違いを調べました。(図5の①～④)

2) センサー左端……F 5. 6で撮影しました。(図5の⑤)

3) センサー左下端……F 5. 6で撮影しました。(図5の⑥)

備考1) テストした全てのレンズにおいてF 1 1以上で回折により画質が低下しました。このため絞りによる画質変化のテストはF 8またはF 1 1までで良いことになります。

備考2) 多くのレンズで最高画質はF 5. 6でした。高品質レンズではF 5. 6とF 8がほとんど同じでした。開放F 5. 6のレンズではF 8が最高画質でした。

図5. 人形の顔写真をまとめて並べて画質の違いを一覧できるようにした「まとめ写真」の模式図です。

①～④は視野中心から左端までの2／3の位置に被写体(人形)を置いて撮影したもので、それぞれF 4～1 1です(F 値はレンズによって異なります)。

⑤はセンサー左端、⑥はセンサー左下端に被写体を置いてそれぞれF 5. 6で撮影しました。

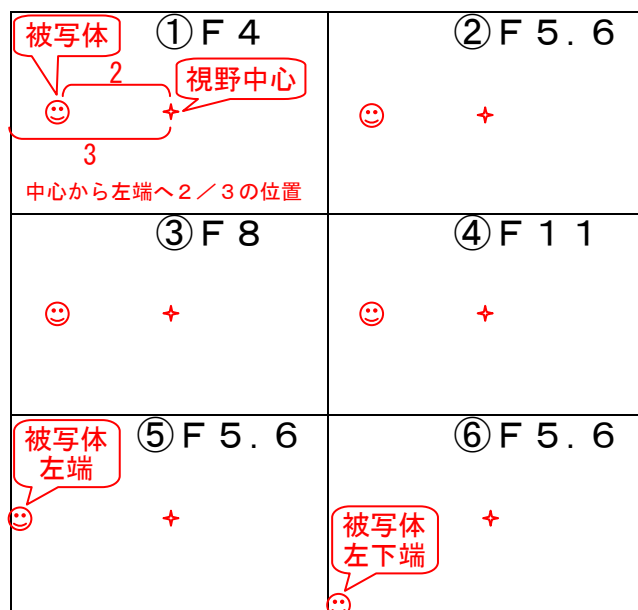


図6～9の人形の顔写真を見ると「EF24-70F4L IS USM」は全域で良像であることが分かります。一方、「EF24-105F4L IS USM」は開放(F 4)及び視野周辺で明らかな画質低下が分かります。このためキャノンは2016. 11. 13に新型を発売しました。長さ107mm→118mm、重さ670g→795g、実売価格98,000円→134,000円になっています。新型レンズはまだテストしていません。



図 6. カメラCanon6D(35mmフルサイズ) レンズEF24-70F4L IS USM → 24mm撮影
全ての写真が安定した良像。



図 7. カメラCanon6D(35mmフルサイズ) レンズEF24-105F4L IS USM → 24mm撮影
視野左下端は明らかに画質が低下している。



図8. カメラCanon6D(35mmフルサイズ) レンズEF24-70F4L IS USM → 70mm撮影
全ての写真が安定した良像。



図9. カメラCanon6D(35mmフルサイズ) レンズEF24-105F4L IS USM → 70mm撮影
絞り開放(F4)及び視野周辺で明らかに画質が低下している。

4. 課題

カメラレンズの性能を人形の顔を使って評価する方法で一定の成果が得られましたが、実は大きな問題が残っています。人形の顔をセンサー上に同じサイズで撮影するためには、レンズの焦点距離が長くなると人形とカメラの距離を長く取る必要があります。現状では部屋の広さの限界のためレンズの焦点距離 100mm 程度までしか撮影できません。そこで幾つかの方法を試しましたが、最終解決には至っていません。

4.1. 人形を写真に撮り、縮小プリントして被写体として使う

1/2、1/3、1/4 に縮小したプリント作って壁に貼り、撮影テストを行いました。しかしプリントを撮影したのでは、コピーのコピーの様なもので階調が失われて、とても性能評価には使えませんでした。

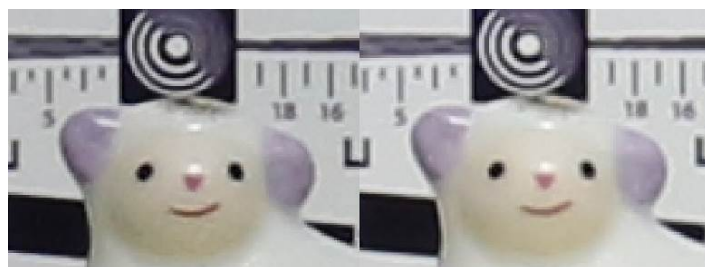
図 10.
1/2、1/3、
1/4 に縮小した
プリントの様子



4.2. 小さい人形を使う

標準の人形の顔幅は約 25mm です。小さな人形を探して顔幅 8mm のものを使用してみました。それなりに写るのですが、被写体が違うとレンズ同士の比較はとても行えないことが分かりました。

図 11. 小さい人形による
撮影例



4.3. 標準の人形を広い公園に持ち出して人形とカメラの距離を長く取れるようにする

レンズの焦点距離 100mm の場合、人形とカメラの距離は約 8m になります。もし焦点距離 500mm の場合だと約 40m 離れたところから撮影することになります。広い公園で撮影は行えるのですが、室内と屋外では人形への照明が大きく異なります。室内では天井からスポットライト的に照明するため人形の顔に陰影が生じます。しかし屋外の場合、晴れ／曇り、太陽の位置によって大きく異なりますが、全天から光が降り注ぐことになります。すると陰影のない、のっぺりした顔に写ります。これはレンズの性能評価には適していません。図 12、13 を参照ください。

とは言え、現状はこれ以上の方法を思いつきませんので焦点距離 100mm 以下は室内、以上のときは屋外で撮影する方法しかありません。そして室内で撮影した画像は室内同士で比較し、屋外は屋外同士で比較することになります。ただし慣れれば相互の比較もできるようになりそうです。

ご紹介

自分がレンズの性能を知りたくて始めた研究であり、ときどきユーザーレビューに投稿したりしてきましたが、せっくなのでまとめて HP で公表することにしました。以下で紹介しています。

<http://msswg.net/lens> [レンズ性能研究] で検索できます。



図12. カメラCanon6D レンズEF70-300mm F4-5.6 IS II USM → 70mm撮影
室内にて撮影 (全ての写真が安定した良像)



図13. カメラCanon6D レンズEF70-300mm F4-5.6 IS II USM → 70mm撮影
屋外(公園)にて撮影 (図12と13は同じレンズ、同じ焦点距離)

5. レンズ同士の比較

seeing法により2つのレンズ同士の優劣を点数化してみました。結果を表1に示します。2つのレンズ同士の比較を多くの組み合わせで行うことにより、多くのレンズ同士の比較が可能になります。結果を表2に示します。

表1. 類似レンズの画質比較(seeing法 左レンズが右レンズより '-' :劣る / 0:同じ / '+' :優る)

1:わずかに差がある 2:差がはっきり分かるが大きな差では無い

3:やや大きな差がある 4:かなり大きな差がある

今回は全てキヤノン製カメラ・レンズを評価しました。フルサイズ用レンズをフルサイズカメラで撮影した場合は(ful)、APS-Cカメラで撮影した場合は(aps)と表記しました。APS-C用レンズをAPS-Cカメラで撮影した場合も(aps)です。

左レンズ		右レンズ	焦点距離別(左レンズ 右レンズ): ±評価
10-18F4.5-5.6STM aps		10-22F3.5-4.5 aps	10 11:-3 18 22:-2
10-18F4.5-5.6STM aps		18-55F3.5-5.6STM aps	18 18:-4
16-35F4L ful		10-18F4.5-5.6STM aps	16 10:+4 24 18:+4 35 18:+4
16-35F4L ful		10-22F3.5-4.5 aps	16 11:+1 35 22:+4
16-35F4L ful		24-70F4L ful	24 24: 0 35 35: 0
16-35F4L aps		24-70F4L aps	24 24:-1 35 35:+1
17-55F2.8 aps		10-18F4.5-5.6STM aps	17 18:+3
17-55F2.8 aps		10-22F3.5-4.5 aps	17 22:+2 35 22:+4
17-55F2.8 aps		18-55F3.5-5.6STM aps	17 18:+1 35 35:+2 55 55:+2
17-55F2.8 aps		55-250F4-5.6STM aps	55 70:+1
17-55F2.8 aps		16-35F4L aps	17 16:-2 35 35: 0
17-55F2.8 aps		24-70F4L aps	35 35:+2 55 70:+2
17-55F2.8 aps		16-35F4L ful	17 24:-2 35 35:-1
17-55F2.8 aps		24-70F4L ful	17 24:-2 35 35:-1 55 70:-1
18-55F3.5-5.6STM aps		16-35F4L aps	18 16:-1 35 35: 0
18-55F3.5-5.6STM aps		24-70F4L aps	35 35: 0 55 70: 0
16-35F4L ful		16-35F4L aps	24 16:+1 35 24:+1
24-70F4L ful		24-70F4L aps	35 24:+1 70 35:+2 70 70:+2
24-70F4L ful		24-105F4L ful	24 24: 0 35 35: 0 70 70:+1
55-250F4-5.6STM aps		18-55F3.5-5.6STM aps	70 55:+2
55-250F4-5.6STM aps		70-200F4L aps	70 70:+1
70-300F4-5.6 II aps		55-250F4-5.6STM aps	70 70:+2 300 250: 0
70-300F4-5.6 II ful		100-400F4.5-5.6L II ful	70 100: 0 300 400: 0
70-300F4-5.6 II ful		24-70F4L ful	70 70:+1

表2. 全てのレンズの評価

この評価はA3ノビなどに大きく拡大した場合に適用されます。2L以下であればほとんど差は分かりません。(#:撮影法が定まる前の写真のため左下端コーナーが正しく評価されていません)

100-400F4.5-5.6L II ful	:+5	70-300F4-5.6 II ful	:+5		
24-70F4L ful	:+4	16-35F4L ful	:+4	24-105F4L ful	:+3
16-35F4L aps	:+3	17-55F2.8 aps	:+2	55-250F4-5.6STM aps	:+1
24-70F4L aps	: 0	70-200F4L aps	: 0#	18-55F3.5-5.6STM aps	: 0
10-22F3.5-4.5 aps	:-2#	10-18F4.5-5.6STM aps	:-4		

Canon aps-c 安価標準ズームの進化

重野好彦

Canonはaps-c安価標準ズームを表1の様に4種類発売してきた。レンズ単体で購入すると2万5千円程するが、ボディキットで購入すると1万円程度である。それぞれ図1～3にMTF特性図を示す。第1世代と第1.5世代の光学性能は同じであり図1になる。徐々に性能が向上している様子が分かるが、実際にはどのように写り方が向上しているのか、遠くに置いた人形の写真(重野, カメラレンズ性能評価法の研究, MSS-145)を紹介する。

表1. aps-c 安価標準ズームの歴史

第1世代) EF-S 18-55mm F3.5-5.6 IS	200g	φ69x70	9群11枚	→図1
第1.5世代) EF-S 18-55mm F3.5-5.6 IS II	200g	φ69x70	9群11枚	→図1
第2世代) EF-S 18-55mm F3.5-5.6 IS STM	205g	φ69x75	11群13枚	→図2
第3世代) EF-S 18-55mm F4-5.6 IS STM	215g	φ67x62	10群12枚	→図3

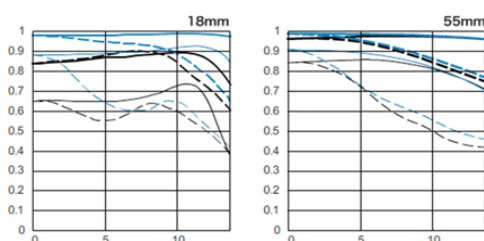


図1. 第1世代

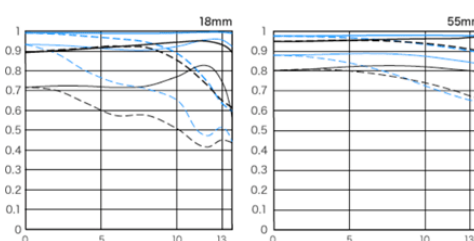


図2. 第2世代

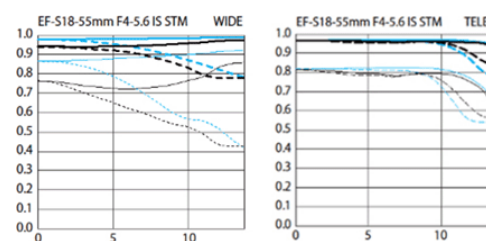


図3. 第3世代



図4. 第1世代



図5. 第2世代



図6. 第3世代

図4～6は、被写体(人形)を視野中心から周辺に2/3の位置に設置した写真。全て18mm/F4。第1世代は色収差があり、ぼやけている。初めて購入したデジタル一眼用レンズがこれだったため、非常にがっかりしたことを覚えている。第2世代以降、色収差はほとんど無くなり、画像もクリアになった。



図7. 第2世代



図8. 第3世代

図7～8は、被写体(人形)を視野左下端に設置した写真。どちらも18mm/F5.6。第2世代はややぼやけているが、第3世代はかなりクリアになった。

キャノンはHPで第3世代のレンズをコンパクト化したと述べているが、高画質化したとは述べていない。キットレンズはまだ第2世代である。良いことばかり書いたが、実はこのレンズは歪曲収差が大きい。

詳しくは <http://msswg.net/lens> を参照下さい。

定年から始める流星観測

2018年2月4日 流星物理セミナー：平塚市博物館 天体観察会 永井和男

- 天体観察会

- 平塚市博物館の年間会員制のサークル
- 平塚市以外の方も参加出来ます(東京、千葉、山梨、神奈川)
- 活動は
 - 天体観望会などの博物館のボランティア
 - 月例会(連絡事項、今月の天文現象、天文ニュース、コース別(観望・写真・研究))
 - 分科会(太陽、流星、アストロバイオロジー勉強会)
 - 合宿など

集合写真前列は若めの人々が並んでいますが、全般に年齢層が高く、定年過ぎの方も多いです。

観測経験者は私だけだと思います。

大雑把に言って天体写真を撮る人は半数程度、残りは観望やプラネファンの人たちです。

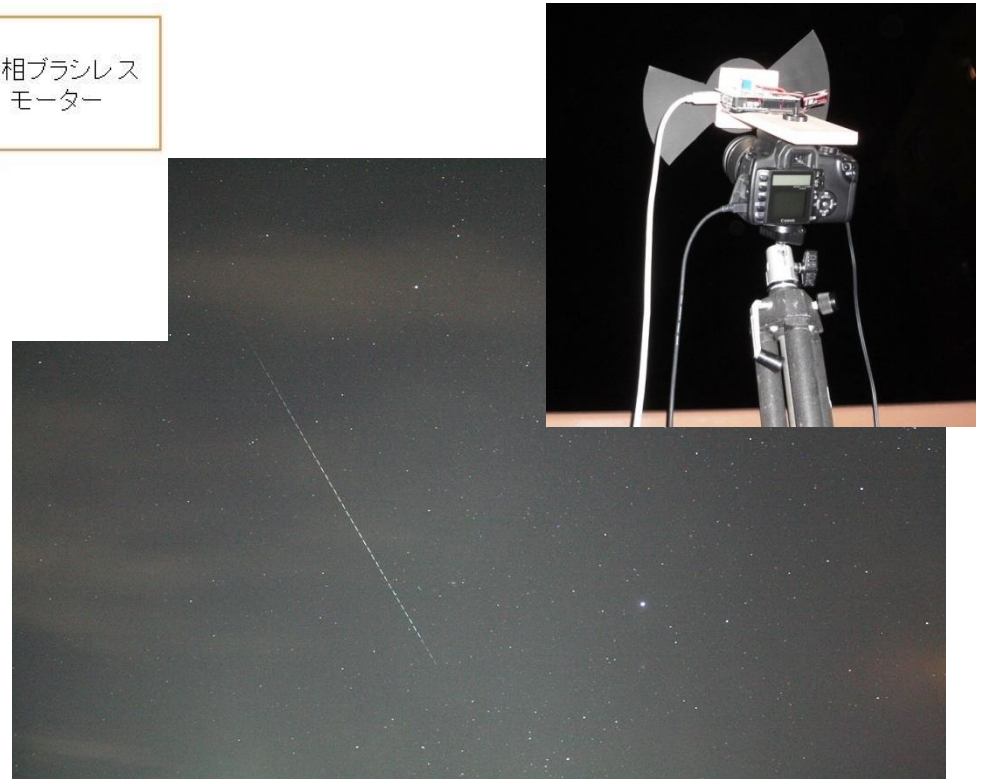
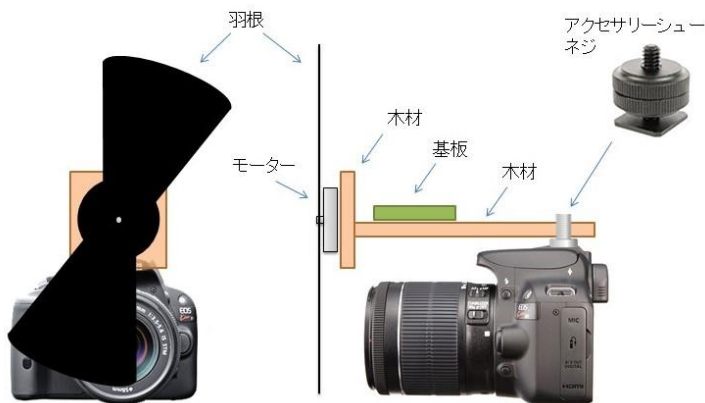
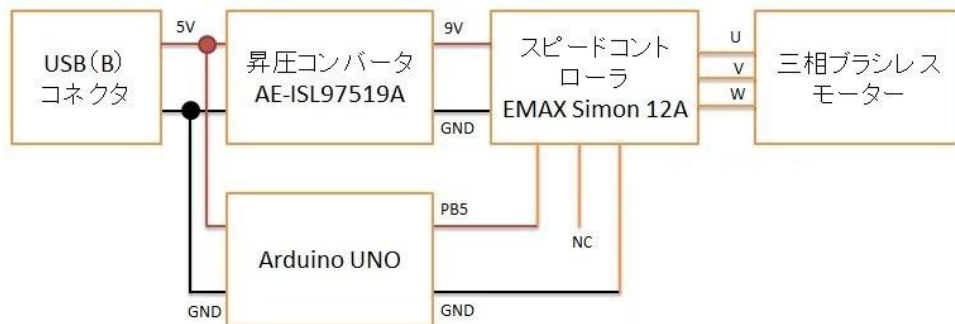


流星分科会



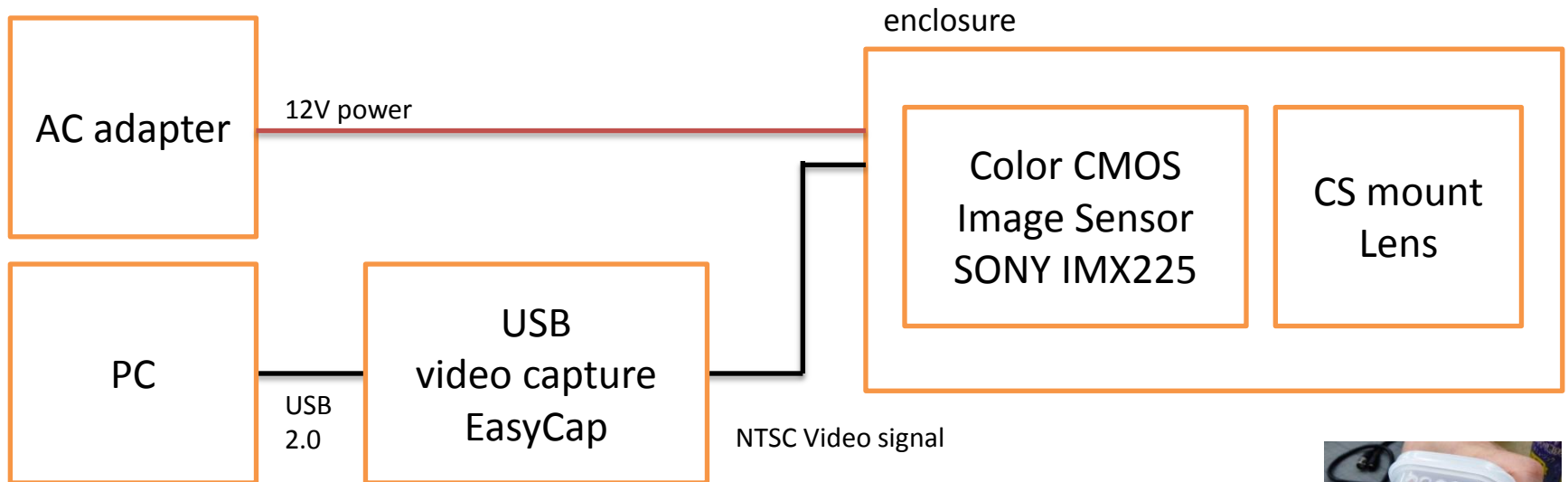
- 2014年のしぶんぎ座流星群を切っ掛けに分科会が発足しました
- 構成委員の多くが定年過ぎで天体写真の経験者が多いです
- 先生は平塚市博物館 藤井大地先生
- 観測に関するものを中心行っています
 - 観測概要
 - 流星の赤経・赤緯測定、ステレオネット使い方
 - プラネタリウムで擬似流星の係数観測
 - 観測してZHRを求める
 - 回転シャッター「流星号」計画
 - デジタル一眼レフ所有者が多く、これを利用した観測装置を作成
 - 高感度ビデオカメラ「流星号2」計画
 - 流星号の目視による画像解析が追いつかず動体検出が必要になった
- 観測装置の作成が活動の中心
 - 現在は完成し、TV観測とその解析に移行

流星号計画



- 左上/左下はブロック図と構造図です
 - USB給電で駆動し、ハードディスクの三相モーターをスピコンでドライブします
 - Arduinoで定周期パルスを出力し羽根を1分間に1200回転させています

流星号2計画 結線図



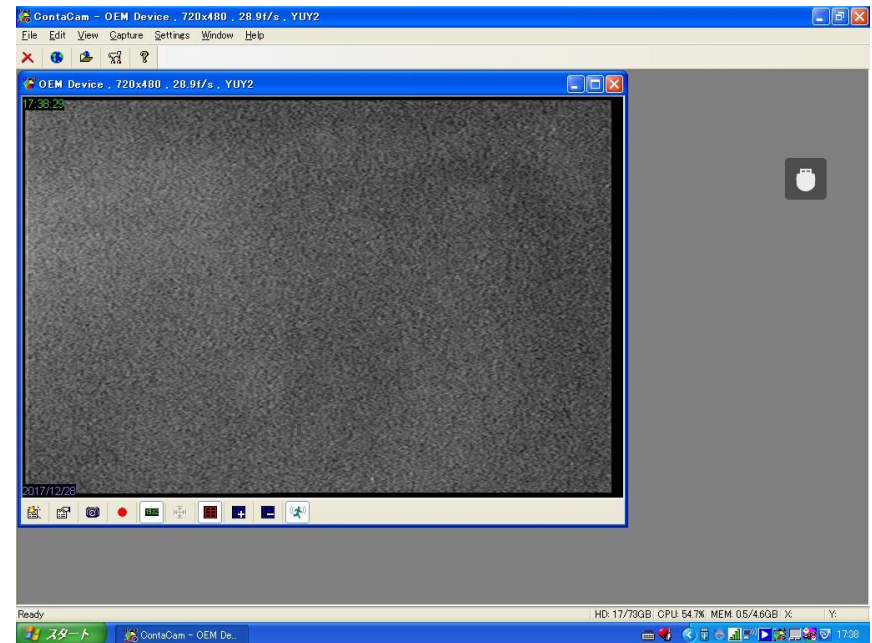
IMX225 color sensor and Lens Spec.

Image size : 16.1mm diagonal
Number of pixel : 4112(H) x 2176(V)
Pixel size : 3.45 μ m(H) x 3.45 μ m(V)
Sens : 1146mV @ 3200K 706 cd/m² 1/30s
Lens : f=8mm F1.2

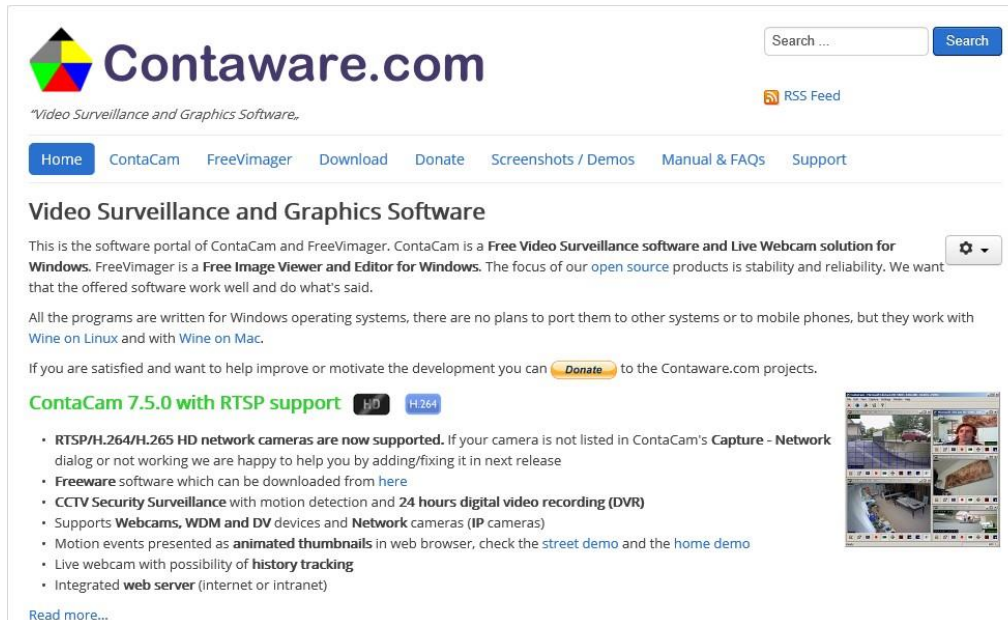
流星号2 設置例と動作画面



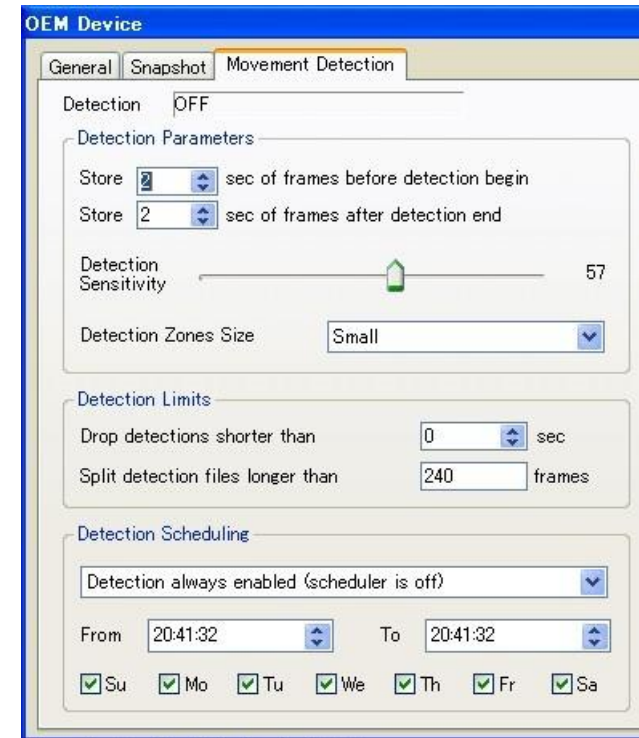
- 15台が完成し(2017年末の時点で)6台が観測中です(6名中4名が定年過ぎ)
 - 材料費は1台5000円でした
- 各自が様々な所に設置し監視カメラソフト(CONTACAM)を使って夜空で動くものを監視し録画しています
 - 右がCONTACAMの画面です
- 解析はUA2を使っています
 - 今まで天体写真しか撮っていなかった人たちが各自でUA2を扱って解析を行っています



監視ソフト



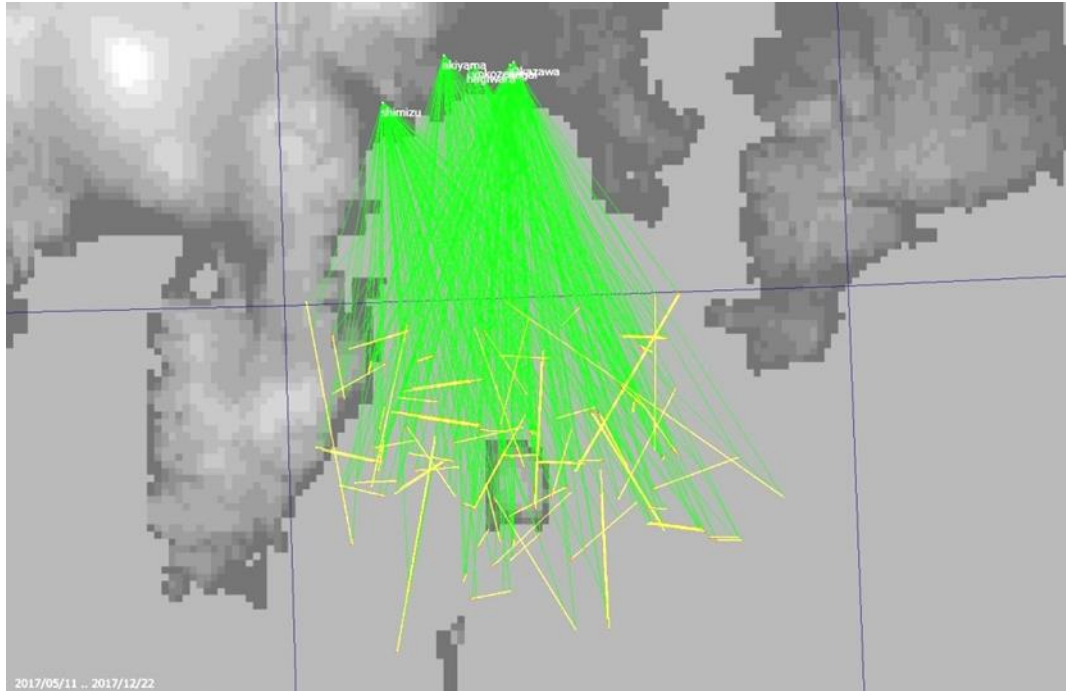
The screenshot shows the Contaware.com website. At the top is the logo and a search bar. Below the navigation menu, the main heading is "Video Surveillance and Graphics Software". The text describes the software as a free video surveillance and live webcam solution for Windows. It mentions that the software is open source and stable. A "Donate" button is visible. Below this, it states "Contacam 7.5.0 with RTSP support" and lists features: RTSP/H.264/H.265 HD network cameras, free software, CCTV security surveillance with motion detection and 24-hour digital video recording (DVR), support for webcams, WDM and DV devices, and network cameras (IP cameras). It also mentions motion events presented as animated thumbnails, live webcam with history tracking, and an integrated web server.



The screenshot shows the "OEM Device" settings window for Contacam 7.5.0, specifically the "Movement Detection" tab. The "Detection" checkbox is set to "OFF". Under "Detection Parameters", "Store" is set to 2 seconds before and after detection. "Detection Sensitivity" is set to 57. "Detection Zones Size" is set to "Small". Under "Detection Limits", "Drop detections shorter than" is set to 0 seconds and "Split detection files longer than" is set to 240 frames. Under "Detection Scheduling", "Detection always enabled (scheduler is off)" is selected. The "From" and "To" time fields are both set to 20:41:32. The days of the week are all checked: Su, Mo, Tu, We, Th, Fr, Sa.

- ContacamはFreeの監視カメラソフトです。動体があると録画します。
- 設定は多いのですが Movement Detection タブ が最も重要です
 - Detection Limits を 0sec にすると僅かな動きも録画します
 - Detection Zones Size は Small にしないと流星を検出しません
 - Detection Sensitivity を 観測地の空の明るさなどに合わせて観測しながら微調整します
- 動くものはすべて録画します、雲・雷・飛行機・人工衛星・虫・鳥・流星 etc

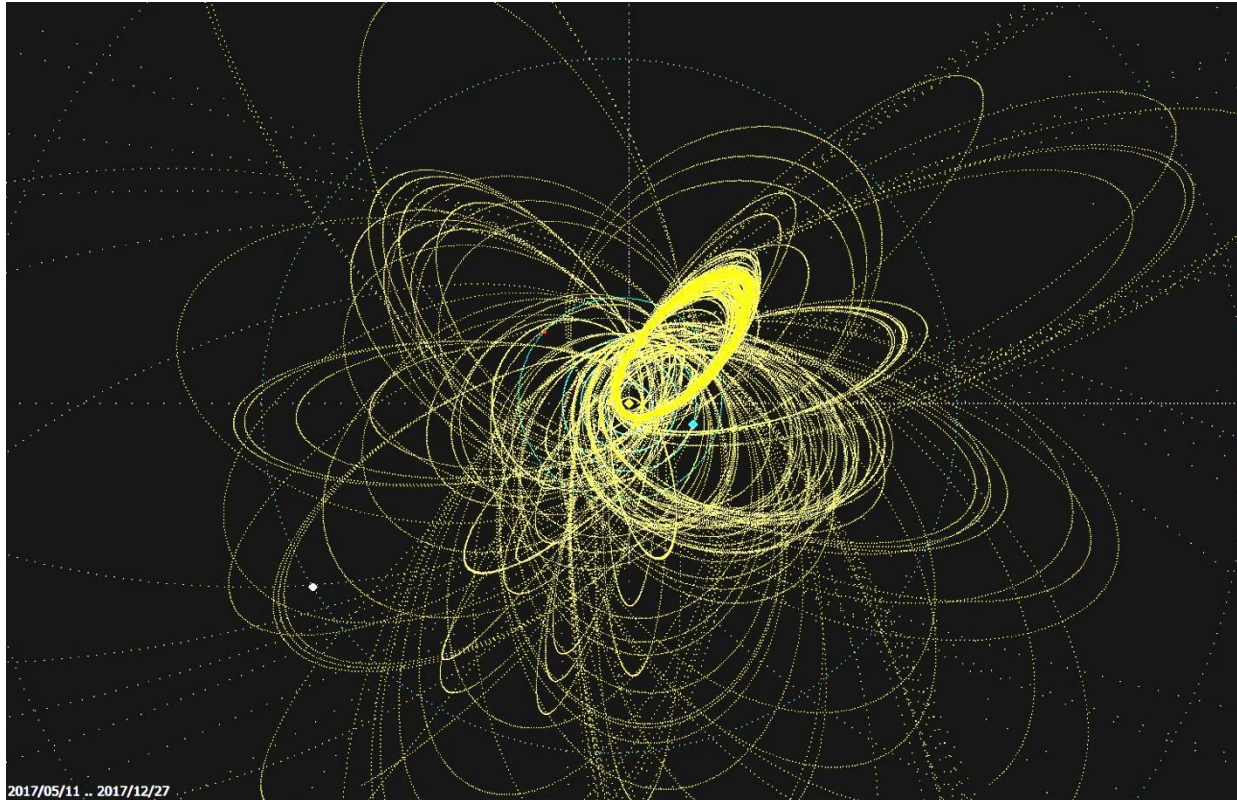
観測ネットワーク



流星号2の作成の様子

- 近距離になってしまいましたが観測ネットワークが出来ています
 - 小田原(1)、平塚(3)、茅ヶ崎(2)
 - 南のベランダに設置される事から、大島上空100kmにカメラを向けています
 - カメラの画角は33x22度と狭いものですが、3等まで観測出来ています

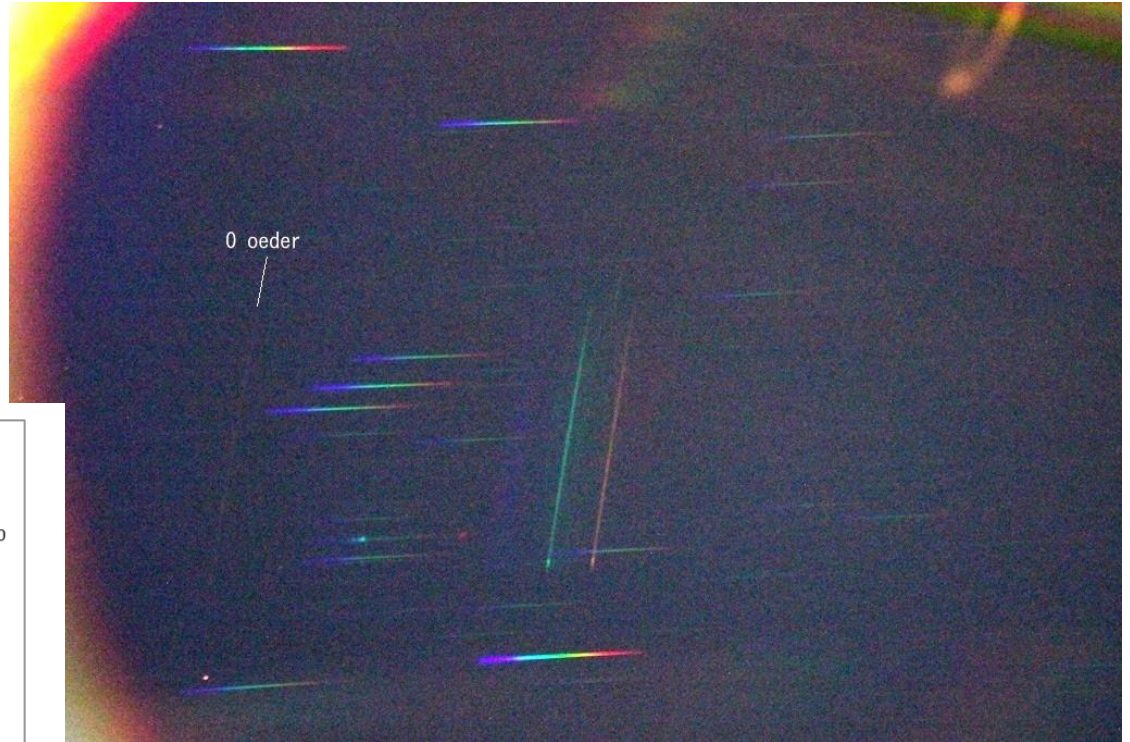
観測・解析結果



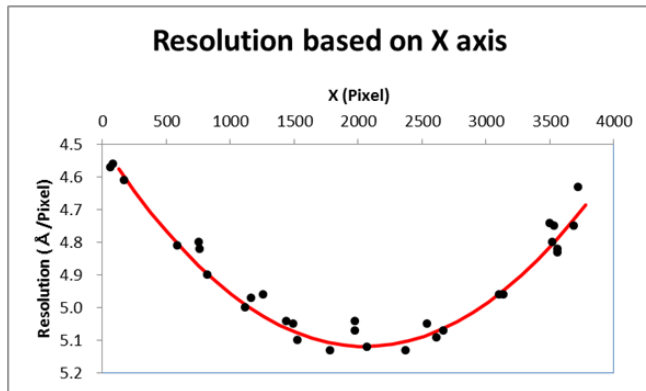
_ID	_count	_scount	_s%
akiyama_	326	40	12.3
hagiwara_	204	10	4.9
nagai_	394	51	12.9
Okazawa_01	269	38	14.1
shimizu_	410	56	13.7
yokozeki_	187	13	7

- 2017年5月から小田原と茅ヶ崎の2箇所で観測を開始し、2017年10月から6箇所になりました
- SPOが多かったのですが12月のふたご群を多数検出出来、上図で目立った軌道はふたご群のものです

分光観測 を始めました



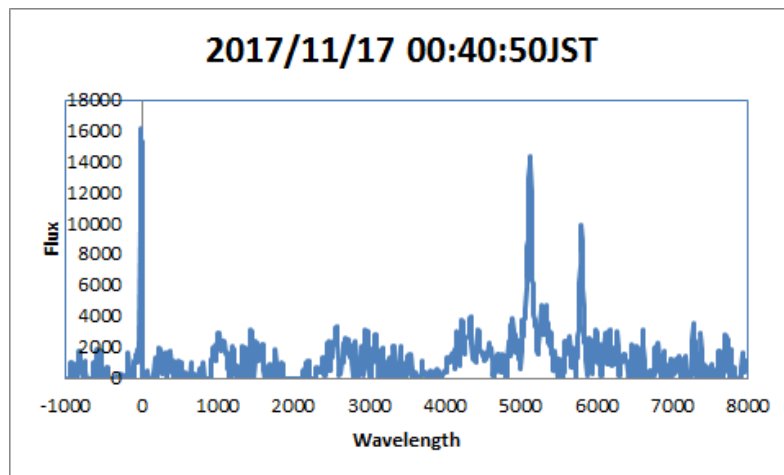
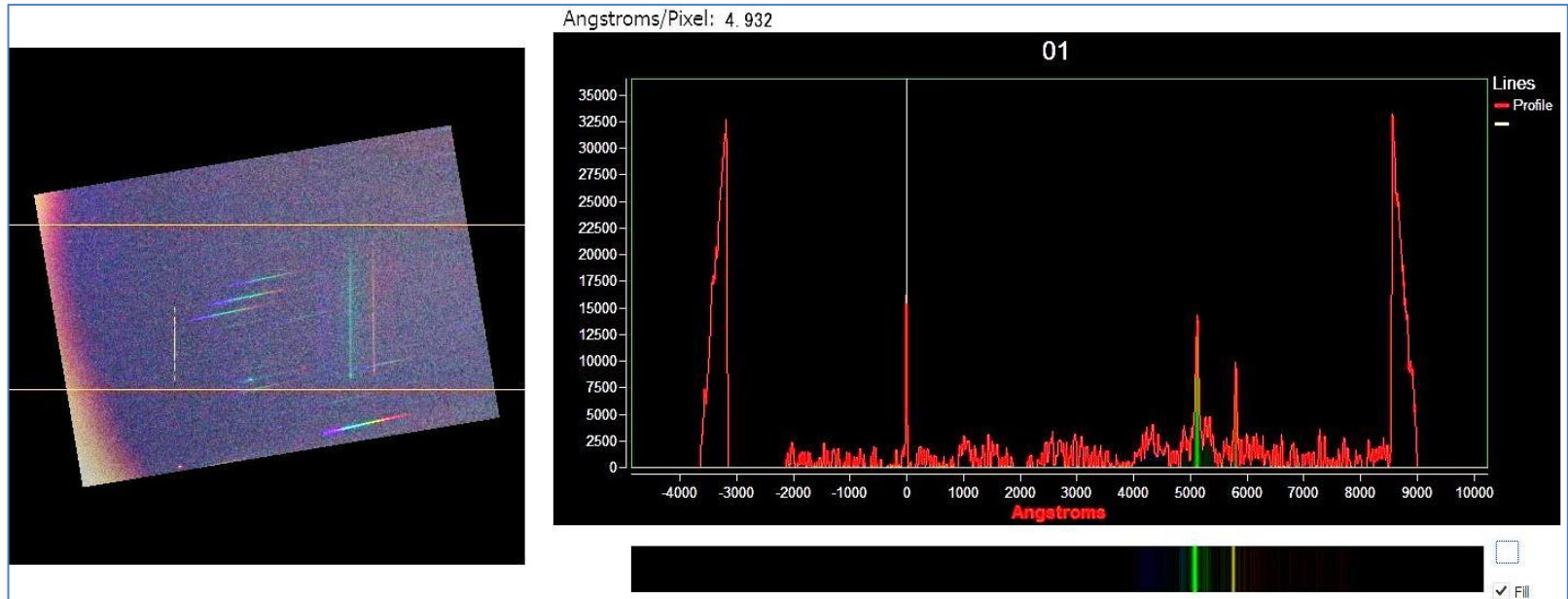
2017年11月17日 00:40JST に出現した流星の分光写真(トリミング)



$$\text{Resolution} = -0.000000146 \times X^2 + 0.0006 \times X + 4.5015 \text{ (Å / pixel)}$$

- ブレーズド回折格子(300gr)を用いた対物式分光器です
- CANON EOS Kiss X4, f=28mm ISO6400 3秒露出でインターバル4秒の固定撮影です
- TV観測と同方向に向けてCONATCAMで動体検出された時刻の画像だけをチェックしています
- 画像のX軸によって分散の量が異なり、0次のXピクセル値から波長分解能を決めています

分光観測 検出例



- 解析にはRSpec(Real-time Spectroscopy)を用いています
- 輝線の波長を測定しました
 - $5119 \pm 70 \text{ \AA}$ (Mg: 518nm)
 - $5800 \pm 80 \text{ \AA}$ (Na: 589nm)
 - 誤差は波長分解能は1%程度、ピクセル値の測定は最大で4ピクセル程度(4x分解能)、この合計を誤差の目安にしています
 - 同時流星でしたので軌道が求まり、散在流星でした

11/17 00:40JSTに出現した流星の スペクトル解析

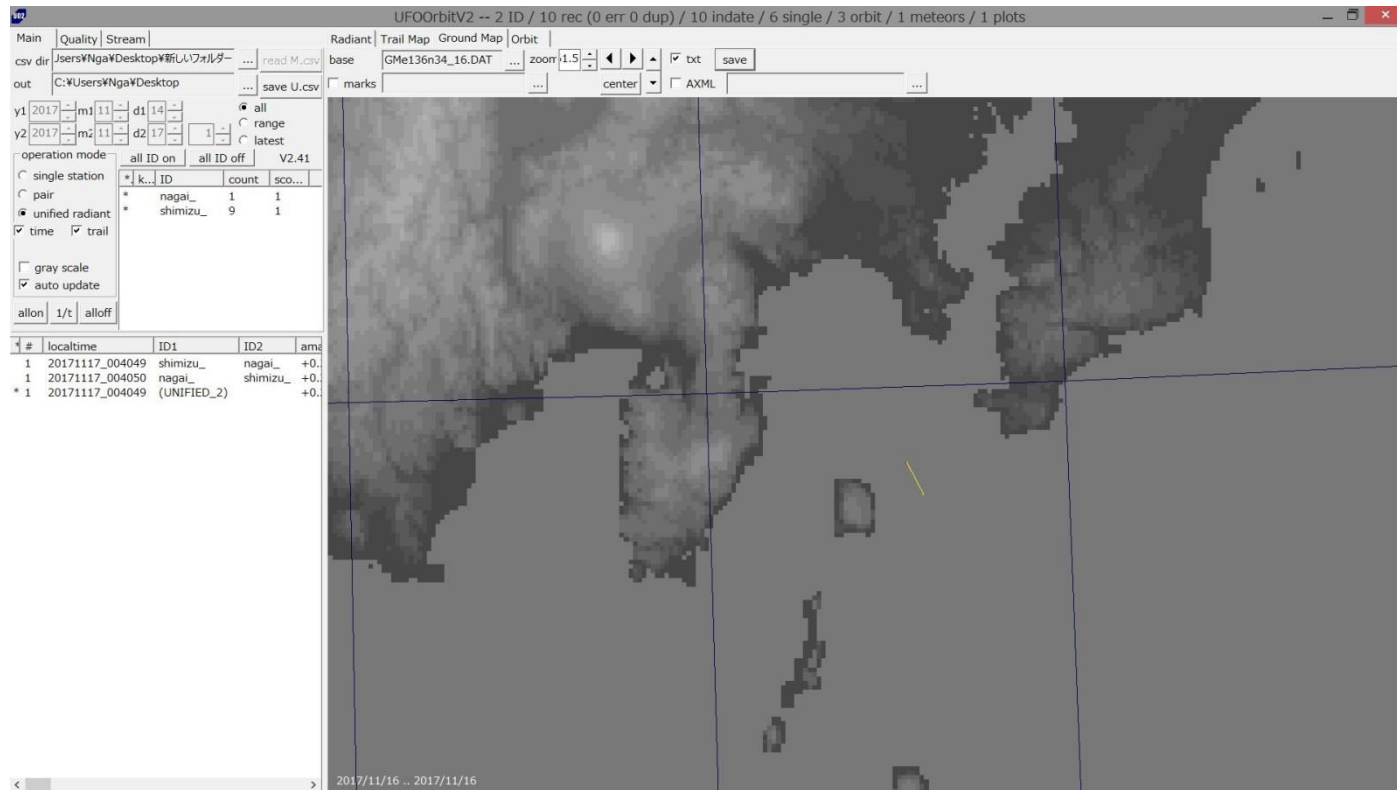
平塚市博物館
天体観察会 流星分科会
永井和男

TV観測



- 流星はオリオン座の西を北から南に流れました
- 時刻は2017年11月17日00時40分50秒です

流星軌道



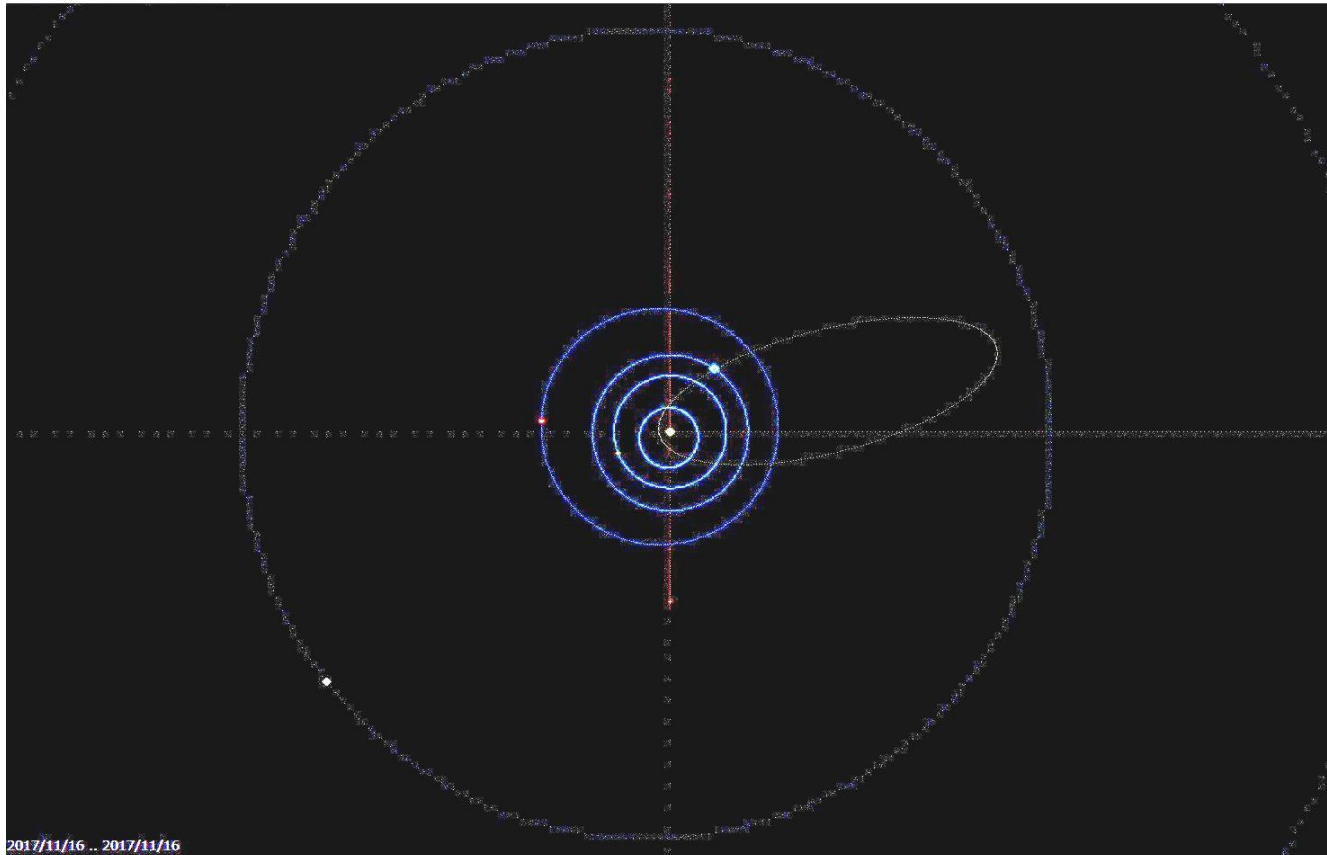
- 平塚市博物館の天体観察会では流星分科会によって大島上空100kmを監視しています
- この流星は茅ヶ崎と小田原の同時流星でした

流星軌道



- 解析の結果、流星はほぼ鉛直に地球に衝突していました

流星軌道



_a	_q	_e	_p	_peri	_node	_incl	_stream
2.239003	0.144222	0.935587	3.351636	140.095108	54.282215	0.315326	_spo

- この様な軌道の散在流星でした

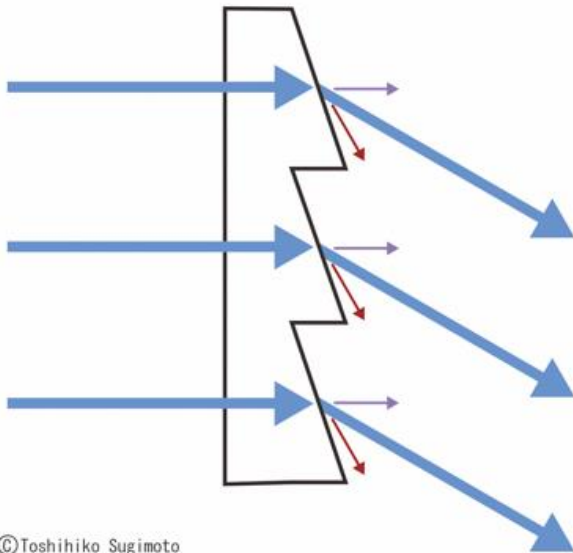
分光器



- ブレーズド回折格子(300gr)を用いた対物式分光器です
- CANON EOS Kiss X4, $f=28\text{mm}$ ISO6400 3秒露出でインターバル4秒の固定撮影です
- TV観測と同方向に向けて動体検出された時刻の画像をチェックする

ブレード回折格子

図3 ブレード回折格子



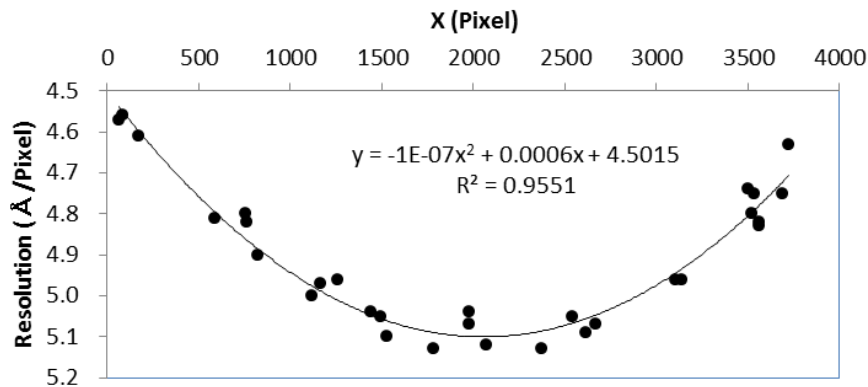
©Toshihiko Sugimoto

- ブレード回折格子は、特殊な回折格子です。エシェレット格子とも呼ばれます。
- 任意の回折次数において最大回折効率を得られるように最適化されています。
- 要するに最大屈折を望む回折次数に集中され、他の次数は最小となっています。
- 今回の回折格子は1次が最大となる物を使っています。

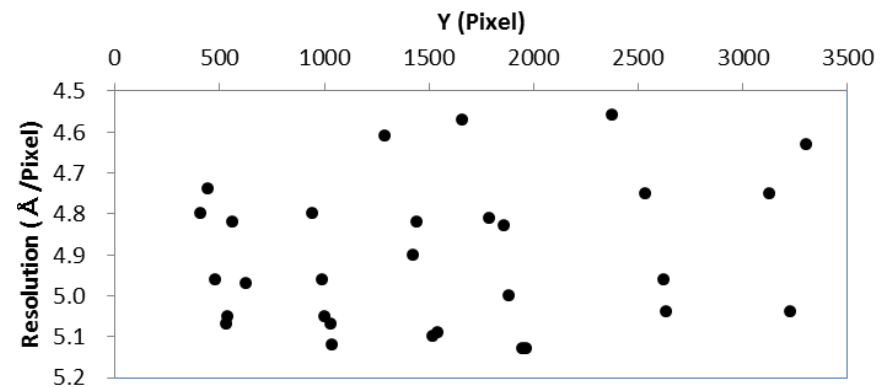
- 回折格子の溝の角度を斜めにする事で、ほとんどの光の成分を一つの方に回折させることができる。
- すべての波長の光を100%曲げるのは難しく、一部は他の次数で曲がってしまう。

軸別の波長分解能

Resolution based on X axis

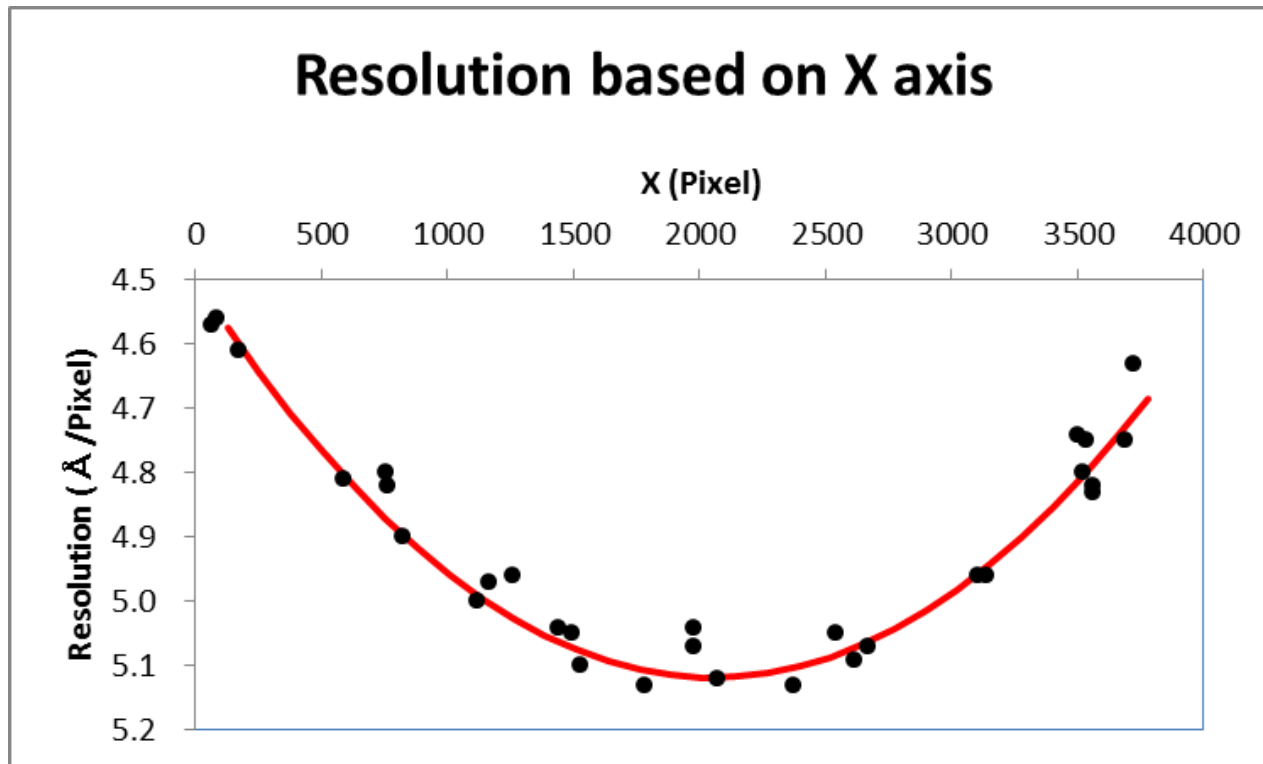


Resolution based on Y axis



- X軸を関数とした波長分解能は二次関数にフィットできた
 - この二次関数からのズレ量の標準偏差を測定誤差と定義出来る
 - 図中の二次関数はエクセルの近似式を用いたもの
- Y軸方向は波長分解能に相関が無かった

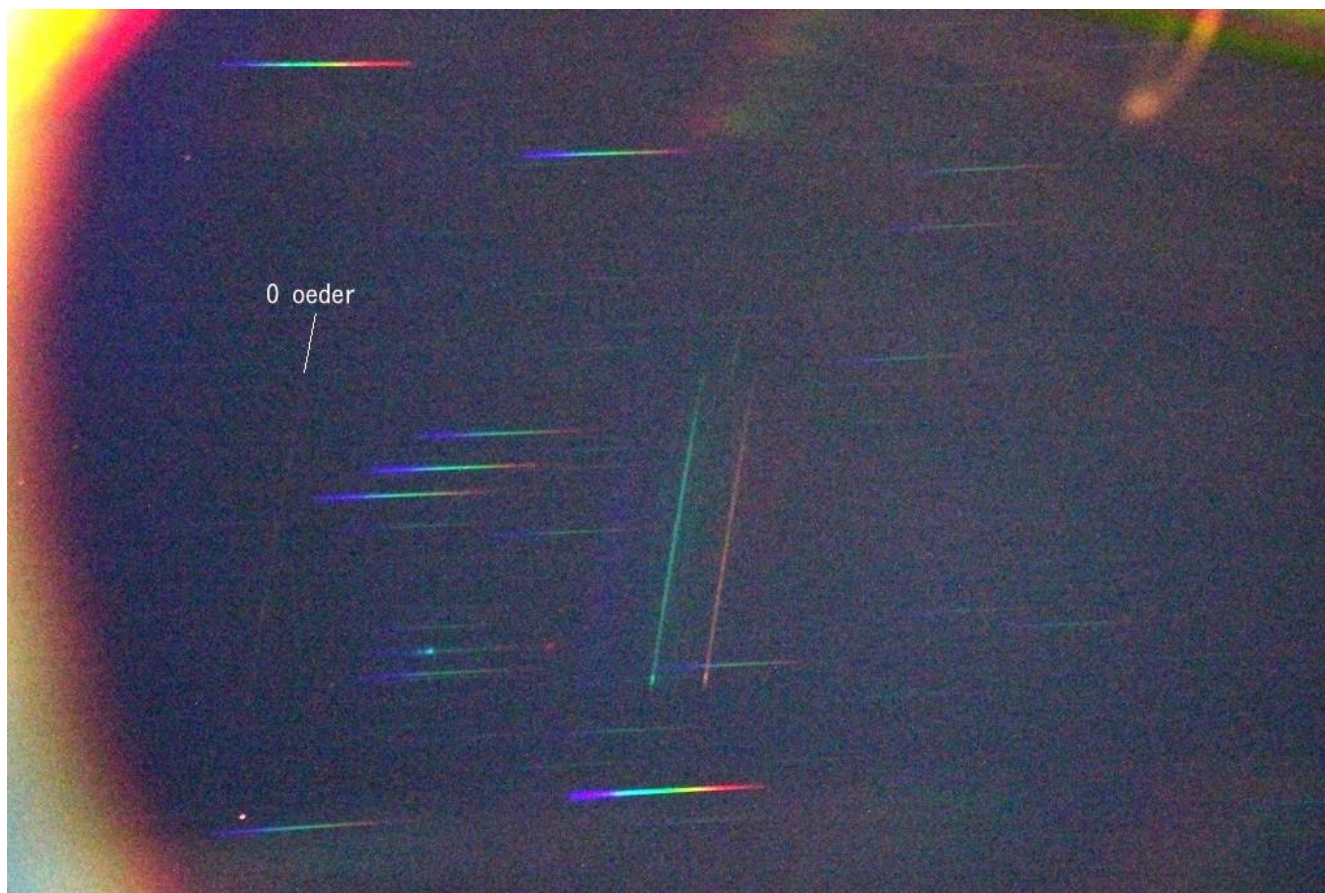
X軸を関数とする波長分解能



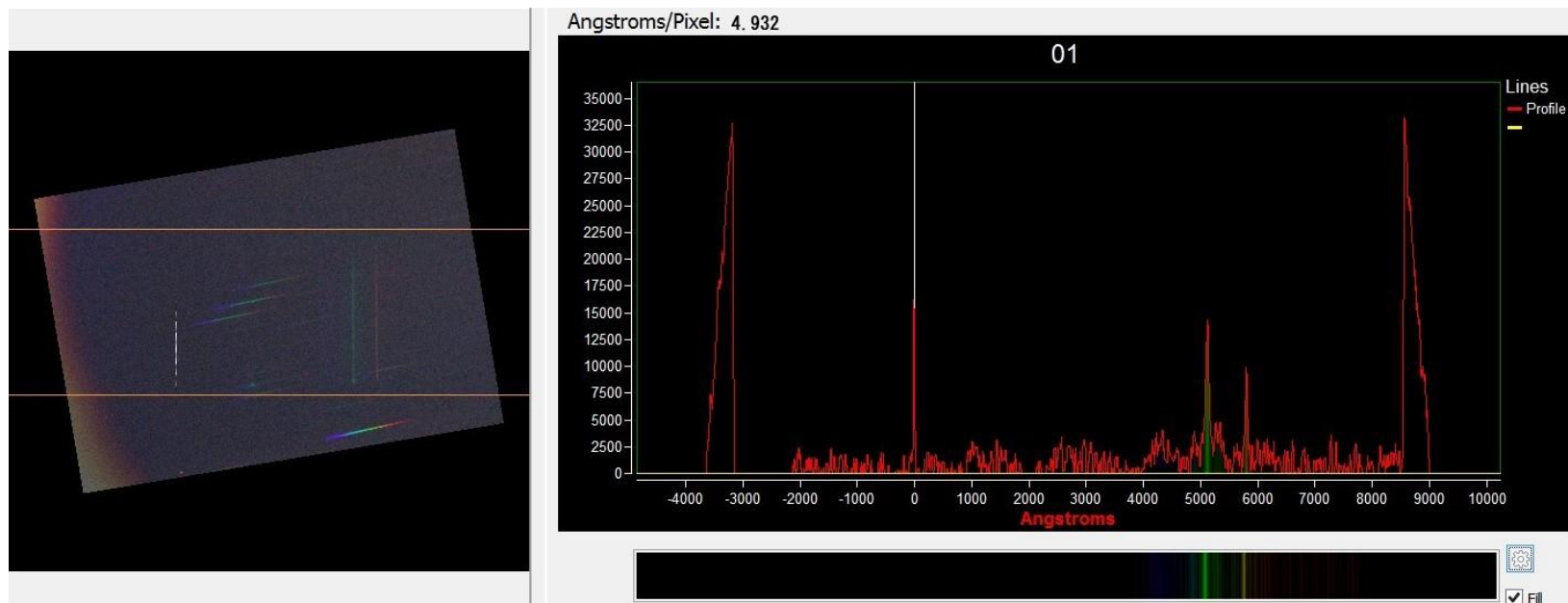
- エクセルの近似式から、よりフィットする関数を求めた
- $\text{Resolution} = -0.000000146 \times X^2 + 0.0006 \times X + 4.5015$ (Å/pixel)
- 標準偏差は0.04(Å/pixel)となった

2017/11/17 00:40JST に出現した流星

- トリミングしてあります

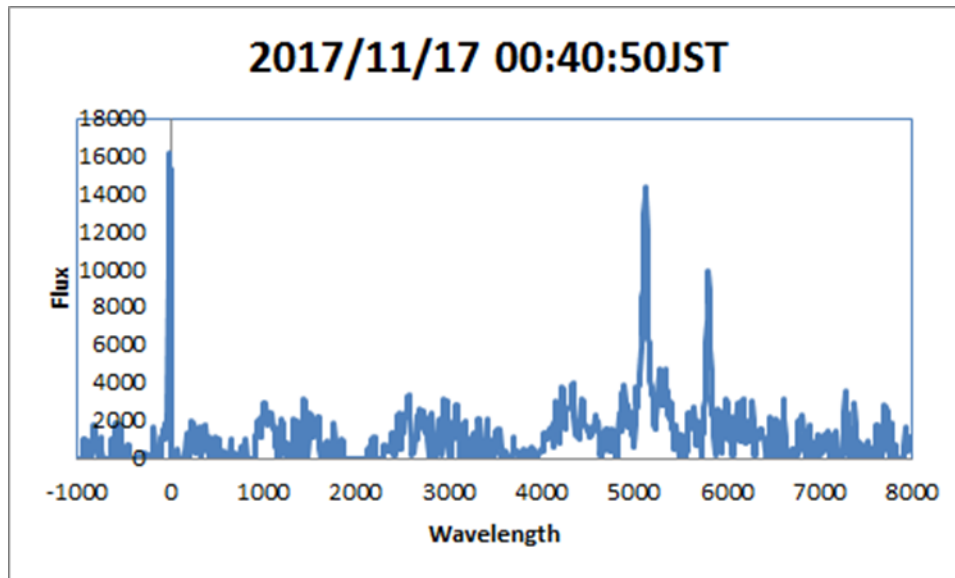


波長測定



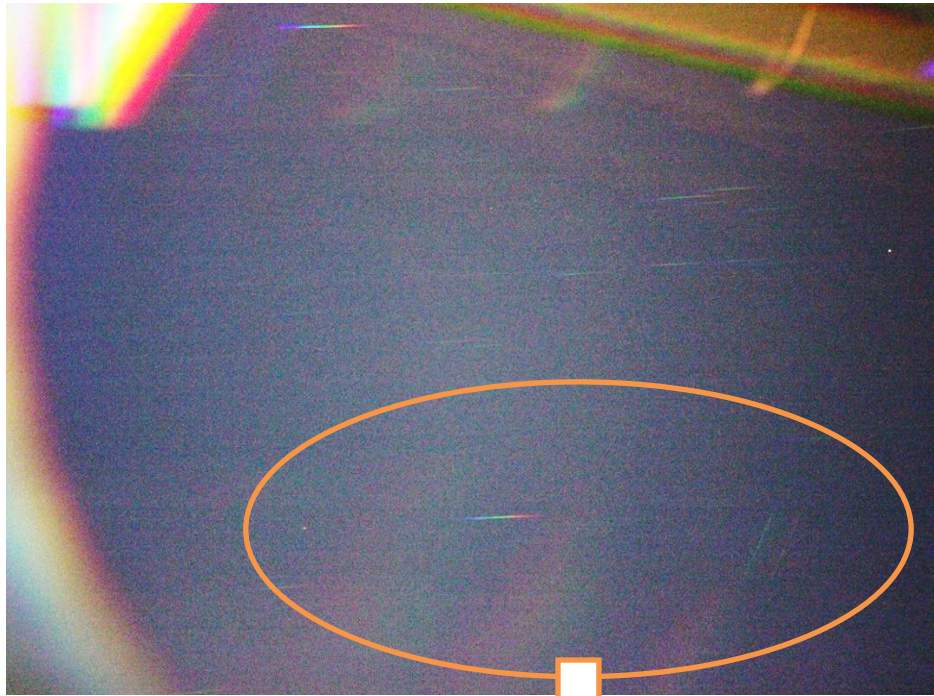
- 4.932 \AA/Pix として二つの輝線の波長を測定した
 - $5119 \pm 70 \text{ \AA}$ (Mg: 518nm)
 - $5800 \pm 80 \text{ \AA}$ (Na: 589nm)
- 誤差は波長分解能は1%程度、測定は最大で4ピクセル程度(4x分解能)、この合計を誤差とします

おわり

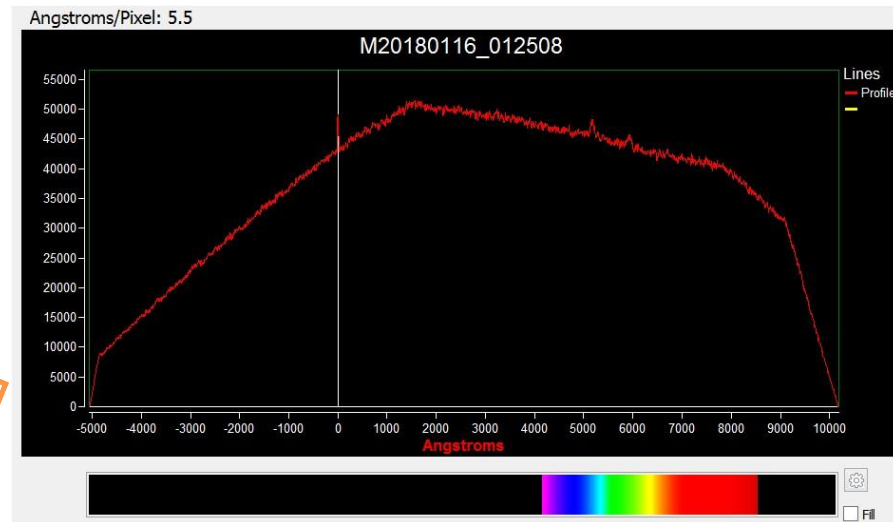
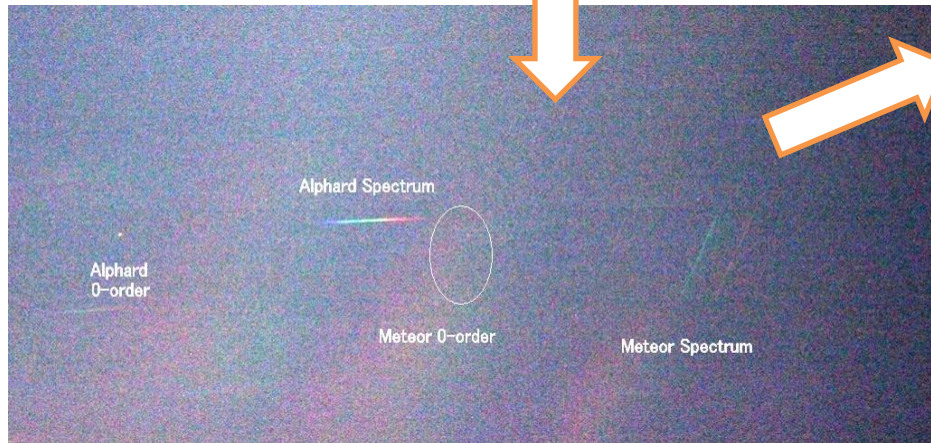


- まだまだ始めたばかりです勉強不足ですが観測は続けます
- DSLRでは感度不足なので検出数が少ないのも課題です

M20180116_012508



2018年1月16日 1時25分8秒に出現した流星のSpectrumが写りました。
アルファルドの西側に写っています。



二つの輝線の波長は(分解能を $5.5 \text{ \AA}/\text{Pix}$ とすると) 5170 \AA (Mg)と 5925 \AA (Na)となりました。前回と同じでしたのでMgとNaが多いようです。



パナソニック LUMIX GH5Sによる 流星動画撮影

高感度画質を強化したGH5の派生モデル「LUMIX GH5S」。
星空をリアルタイムで動画撮影できる本機で流星群を動画撮影すると、
どのような結果が得られるのか、8月のペルセウス座流星群に向けて、本機の試写を行なった。

流星のリアルタイム動画撮影

デュアルネイティブISOテクノロジーという先進技術で低ノイズ・超高感度での撮影を可能にしたパナソニックの「LUMIX GH5S」。今年のペルセウス座流星群を本機で撮影してみたいと考え、試写を行なった。月齢と天候の関係で比較的条件のよい空で撮影できたのは1夜のみであったが、その結果をレポートしよう。

撮影地は富士山富士宮口(標高2400m)で、流星をリアルタイム動画で撮影した。デュアルネイテ

ィブISO設定は「高感度」、ISOは80000~160000、シャッタースピード1/25秒、4K/25p (MP4) という設定で、レンズはLEICA DG SUMMILUX 12mm / F1.4 ASPH.を使用し、赤道儀で追尾撮影をした。F1.4に固定し、ISO感度、シャッタースピードを変えながら、高感度ノイズの状況を確認。撮影地の空は6等星が見え、天の川が比較的濃く見える状況だったが、ISO102400、シャッタースピード1/25秒が高感度ノイズの点から設定できる上限と判断した。これを超えると、輝度ノイズが増加してザラザラとした映像になる。なお、カラーノイズ・シェ

GH5Sによる流星動画撮影

写真は4K動画から静止画を切り出した比較明合成画像(背景の星空はISO80000で撮影)。高感度域での撮影でも低ノイズで話調書かに流星をとらえている。

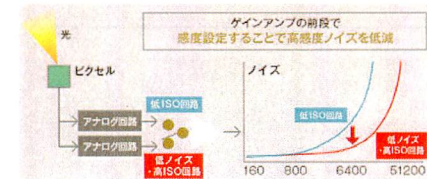
LEICA DG SUMMILUX 12mm / F1.4 ASPH.
GH5S デュアルネイティブISO設定: 高感度
ISO80000-160000 シャッタースピード1/25秒
4K / 25p (MP4) ホワイトバランス: AWB
ピクセン SX2赤道儀 電動追尾撮影
2018年5月22日0時36分02秒~(観測時間2時間01分) 撮影地: 富士山富士宮口(標高2400m)

静止画撮影可能

※天文ガイドYouTubeチャンネルで視聴できます。



今回の流星試写ではLEICA DG SUMMILUX 12mm / F1.4 ASPH.レンズをメインで使用。ほか、LEICA DG SUMMILUX 15mm / F1.7 ASPH.、LUMIX G 14mm / F2.5 II ASPH.、LUMIX G 20mm / F1.7 II ASPH.で星野撮影を行なったが天候に恵まれず、流星をとらえるに至らなかった。



低感度域と高感度域の2系統の感度・ゲイン回路

GH5Sは「デュアルネイティブISOテクノロジー」という、低ISO感度用と低ノイズ・高ISO感度用の2系統の専用回路をイメージセンサーの各画素に装備している。高ISO感度設定時でもノイズの増加を極限まで抑えた、話調書かで解像感のある美しい描写が得られるようにした機能だ。



GH5SのMFアシスト機能は、これまでの最大倍率10倍から20倍にアップし、より確実なピント合わせが可能になった。ほかにも、「ライブビューブースト」機能を搭載しており、画面上で増感し明るく表示することが可能。暗闇での構図作りが格段に容易になった。

文・写真: 及川聖彦

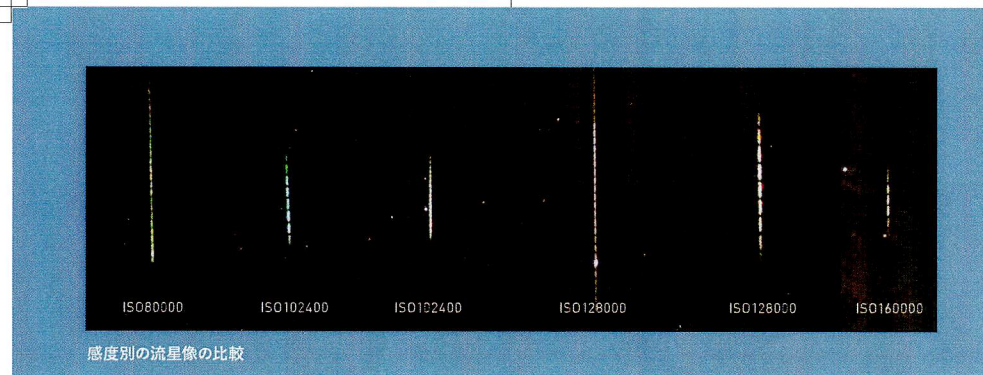
ーディングはほとんど目立ず、ISO128000、シャッタースピード1/10秒までは、少しずつノイズになっていくが、映像的には鑑賞に堪えられる画質だ。

星像を確認するとISO80000、シャッタースピード1/25秒で6等星が充分確認でき、ISO128000では7等星まで確認できた。流星の角速度にもよるが、4等までの流星が撮影可能と思われる。流星は、恒星と異なり高速で移動する対象なので、恒星の映像同様には映り込まない。経験的ではあるが、最微星より2等級ほど明るい流星であれば撮影が可能であると想定した。

流星撮影結果と映像

左上の写真は2時間の撮影でとらえられた12個の流星のうち、比較的明るい2等級以上の流星5個を合成した画像である (ISO80000の映像を背景として比較明合成した)。流星群の少ない時期であるが、明るいものを含め予想以上に撮影できたと思う。

ISO感度ごとに流星像を比較した写真(次ページ)を見るとISO80000のものは、非常にカラフルである。ISO128000でも劣化は少ない。さすがにISO160000になると彩度が低下してくる。よく見ると、赤い色



感度別の流星像の比較

p.80の写真から、流星部分だけを切り取り、ISO80000～ISO160000でとらえた流星の光度変化や色の変化を比較した。シャッタースピードは1/25秒。動画映像から静止画を作成しているため、フレームごとに映像が切れ、昔の回転シャッターで撮影した写真のようになっている。1/25秒間に移動した流星の移動角度を見ると、線状になっているため、恒星と同じように光が蓄積されたものではないことがわかる。

の光が流星の光跡本体からはみ出しており、流星発光の様子を詳細にとらえているのかもしれない。より長焦点のレンズによる撮影が楽しみなところである。また、GH5SはC4K/60p撮影も可能なことから、研究分野でも成果をあげられる可能性があるかもしれない。

星雲星団のリアルタイム動画撮影

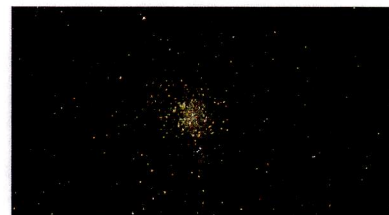
マイクロフォーサーズは、フルサイズの1/4のセンサーサイズを持っている。写真撮影の際は、解像力で不利になる点もあるが、動画では、撮影倍率を上げられるので星雲星団の拡大撮影では有利になると考え、撮影を試みた。散開星団と球状星団を撮影したが、拡大率が高くなり、映像的に見栄えのするものになった。また、色彩も豊富である。これが肉眼で見た場合の実際の色に近いのかもしれない。当日は風が強く、ブレのある動画映像しか

得られなかったのは残念である。スピードブースターのように光学系のF値を明るくできるマウント変換アダプターを用意すれば、星雲の撮影も充分可能だろう。

GH5Sの可能性

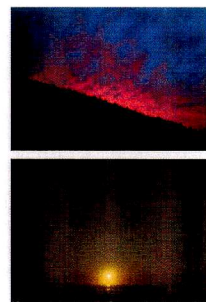
今回、天候と月齢の関係で、残念ながら、Cinema 4K/60p、MP4 HEVC・MP4 (LPCM)、4Kフォトでの流星撮影を充分に行うことができず、星野写真のみの撮影を短時間試写するに留まったが、マイクロフォーサーズのレンズは、比較的小型で焦点距離の種類も豊富であり、選択肢が広い。システムの比較的軽量で済むので機動力もある。小型の赤道儀との組み合わせでも、さまざまな対象の撮影に適している点がメリットだろう。

本機による8月のペルセウス座流星群の撮影後に結果をレポートしたい。



GH5Sで動画撮影したM22球状星団

スカイウォッチャー製口径40cm反射望遠鏡(焦点距離1800mm F4)
GH5S (ISO102400) シャッタースピード1/4秒 動画撮影可能



夜の風景写真という観点でデュアルネイティブISO設定で動画撮影を行った。(上)富士山の朝焼けは、肉眼で見たままの映像が撮影できた。諧調も豊かでノイズはほとんど見られない。(下)千葉・九十九里浜から昇る月齢18の太い月が昇ってきたところをとらえた映像では、月の周りの光でも色の諧調が飽和せず、さそり座付近では6等星が確認できる。明るい月がある夜空でも諧調豊かな映像が得られた。 動画撮影可能

流星観測で使えるニコンマニュアルレンズ

重野好彦

ニコンマニュアルレンズ「Ai-S Nikkor」は、現在でも5種類が販売されている。また多種のレンズが中古市場で流通しており、徐々に価格が下がっている。単焦点で明るいレンズが多いので35mmカメラで流星観測をするならお勧めである。古い設計のレンズなので性能をテストしてみた。

詳しくは以下を参照

<http://msswg.net/lens>

図1. Ai-S 20mm F2.8

ヤフオク27,800 新10万
開放／周辺は厳しい



図2. Ai-S 35mm F1.4

ヤフオク32,755 新25万
開放が暗いのは周辺減光



図3. Ai-S 50mm F1.2

ヤフオク27,200 新8万
開放が暗いのは周辺減光



図4. Ai-S 55mm F2.8

ヤフオク5,000 新6万
おおよそ良像



図5. Ai-S 85mm F1.4

ヤフオク58,104 新20万
少し絞れば良像 コーナーも良い



図6. Ai-S 135mm F2

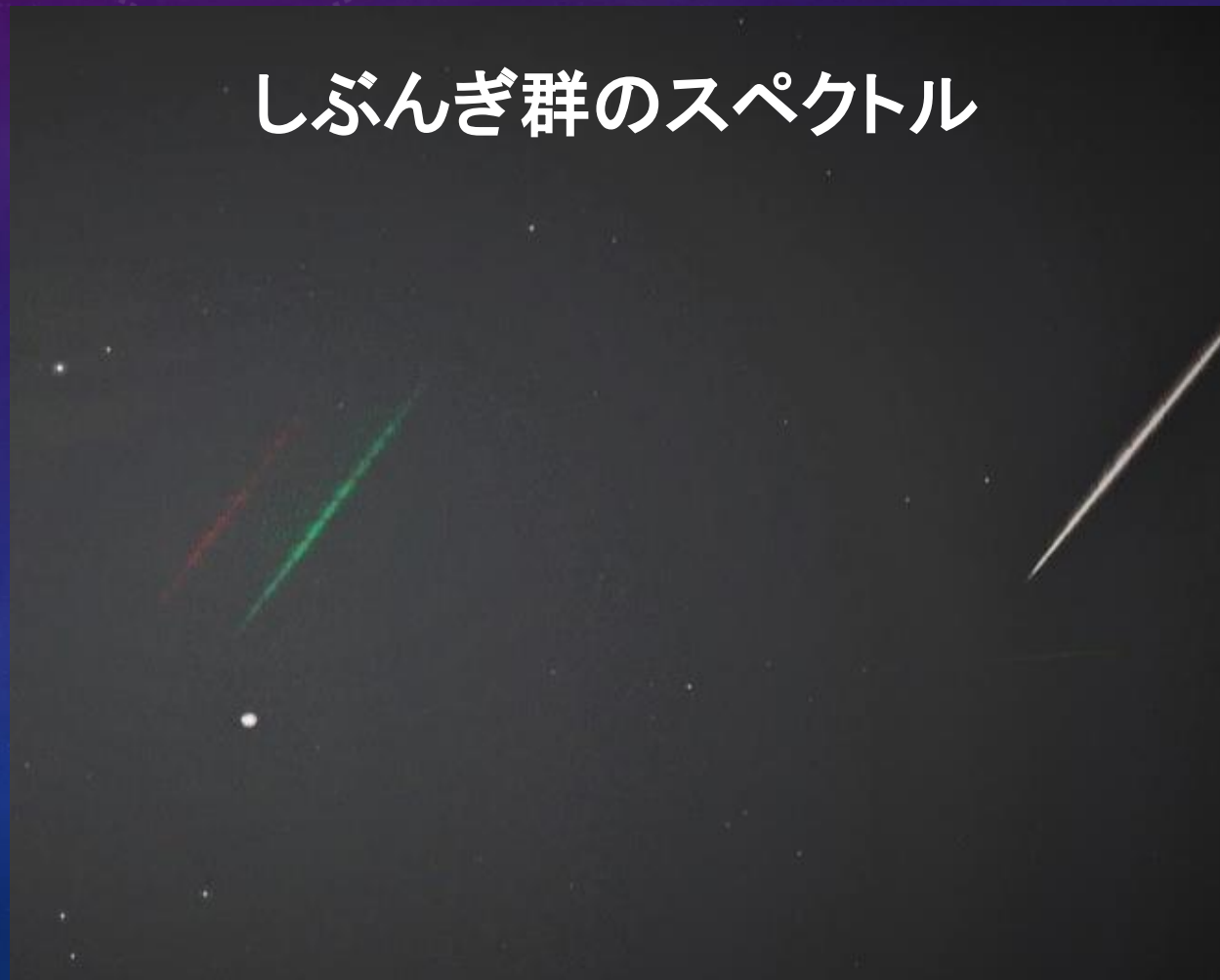
ヤフオク37,800 新15万
開放から良像 コーナーも良い

第154回 流星物理セミナー資料 20200202 関口孝志
フルハイビジョンシステムでの流星観測

ふたご群のスペクトル

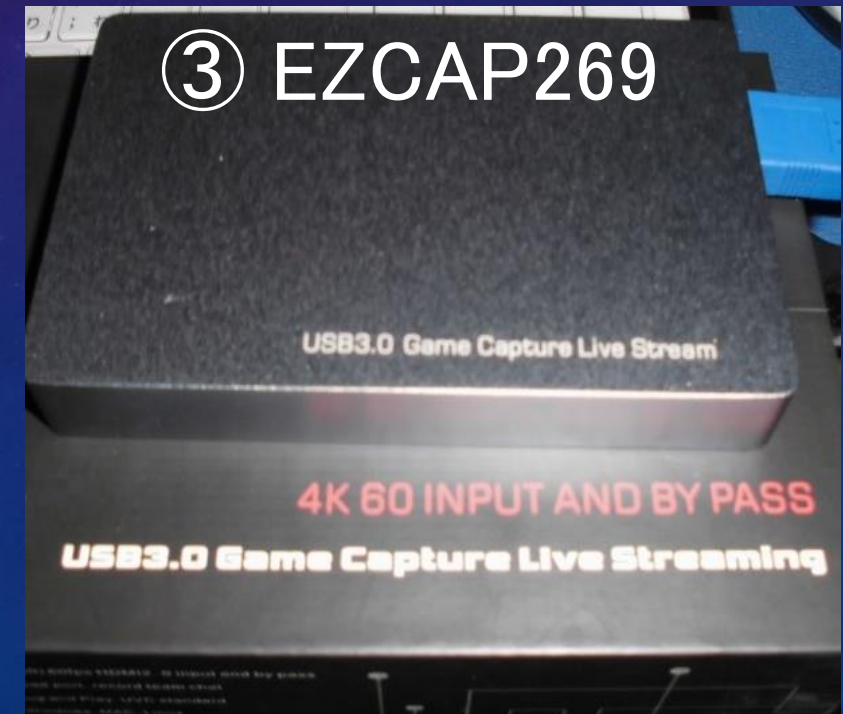


しぶんぎ群のスペクトル



フルハイビジョンシステム 3台分 約110万円

- | | | | | |
|--------------|--|---------------|-------------------|------|
| 1.カメラ | SONY α7s | 1920×1080 60P | ①85 mm × 2 ②50 mm | 93万円 |
| 2.ビデオキャプチャ機器 | UVC EZCAP269 | ③ | | 3万円 |
| 3.パソコン | CPU 3.5G メモリ 8G SSD 950G+大型テレビ | | | 5万円 |
| | CPU 2.5G メモリ 4G 外付けSSD 950G | | | 4万円 |
| 4.ソフト | UFOCapture HD2 (UFOanalyzerV2 UFOorbitV2 無料) | | | 5万円 |



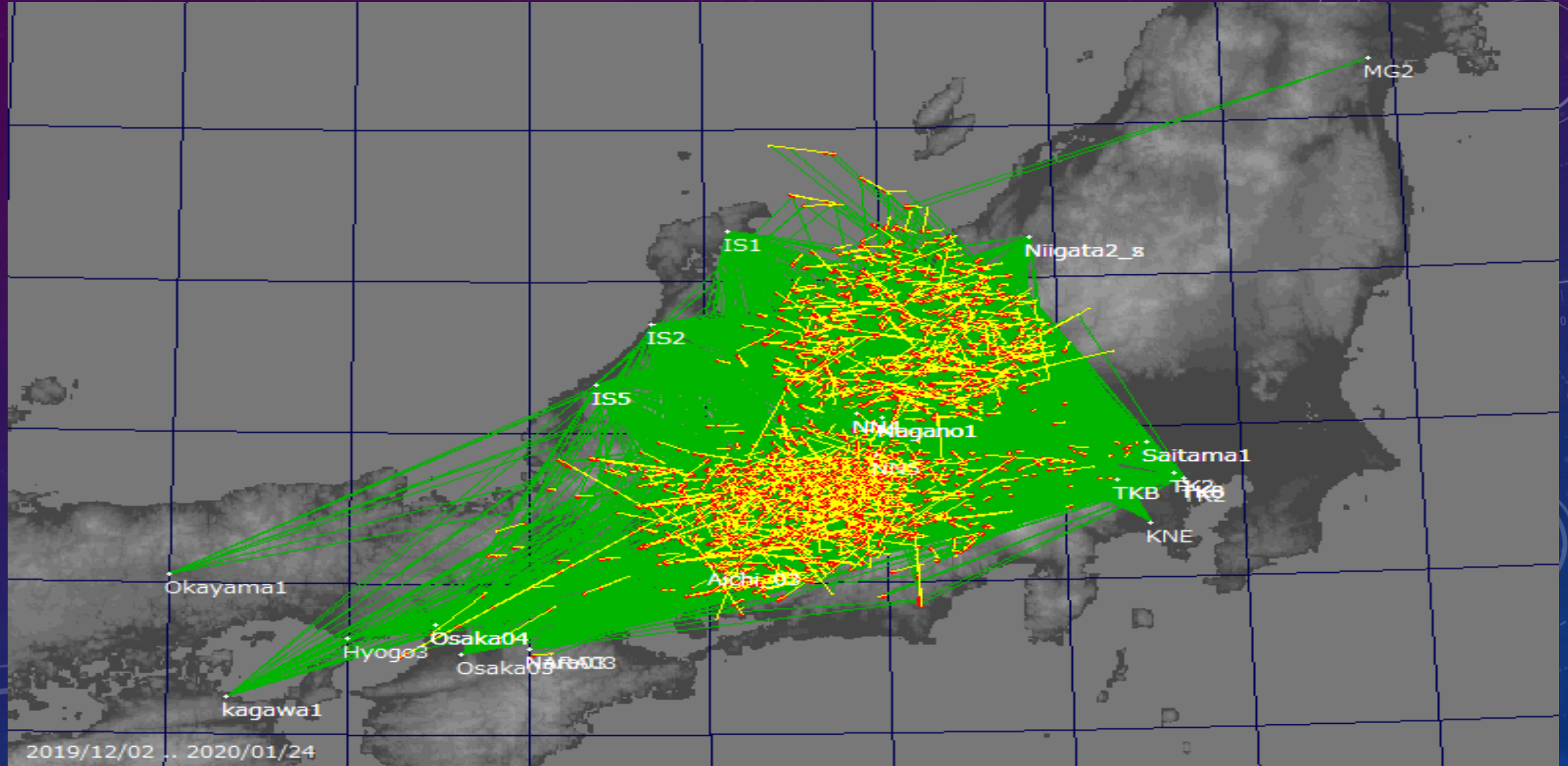
フルハイビジョンシステムでの撮影流星数と光度分布

	流星数					同時流星数				同時率(%)		
カメラ	50mmNW	85mmw1	85mmw2	合計	スペクトル	50mm	85mm1	85mm2	合計	50mm	85mm1	85mm2
12月	826	1200		2026	69	351	536		887	42	45	
1月	386	777	19	1182	29	121	238	4	363	31	31	21
合計	1212	1977	19	3208	98	472	774	4	1250	39	39	21

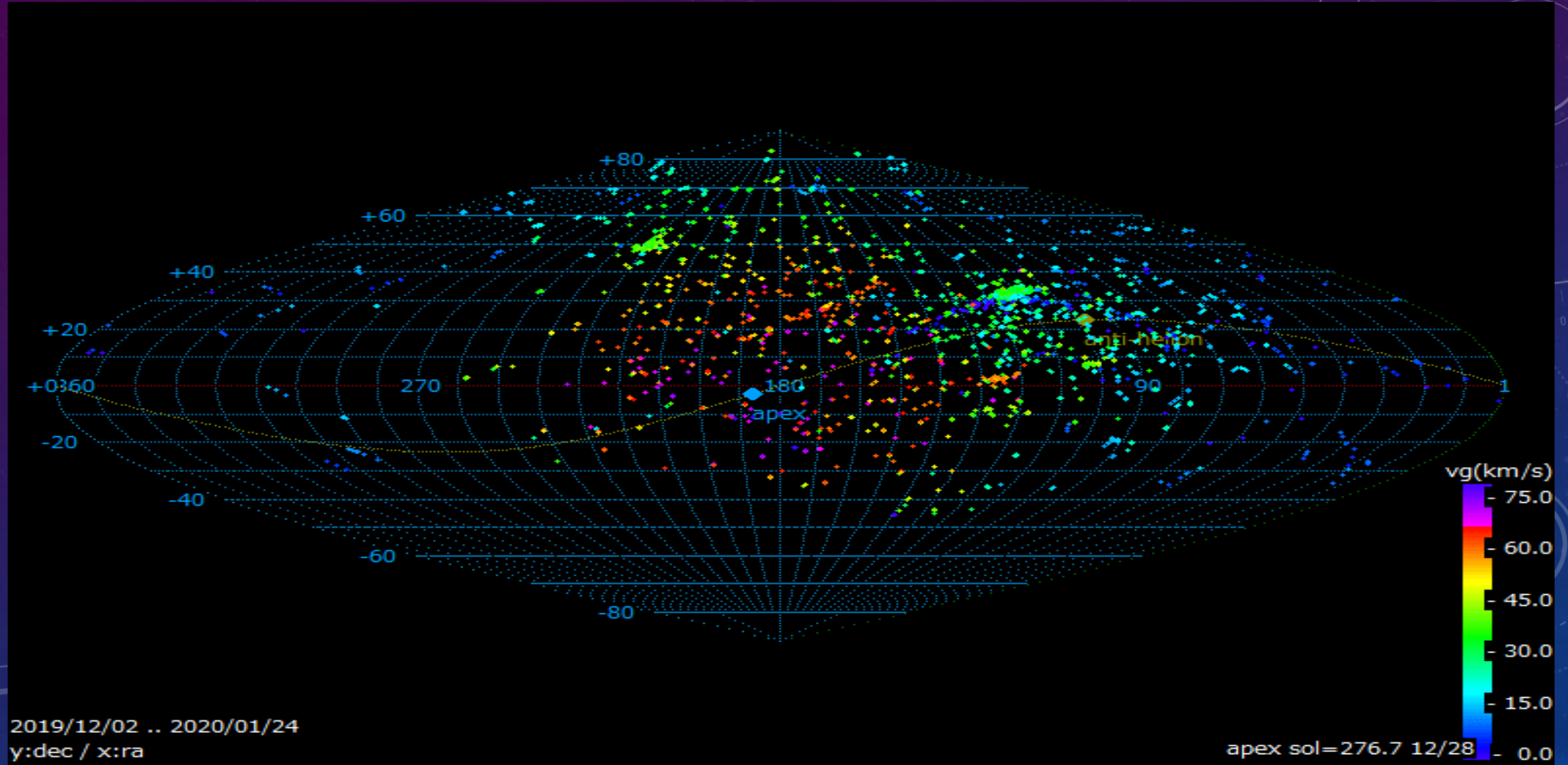
FHD 50mmと85mmの光度分布



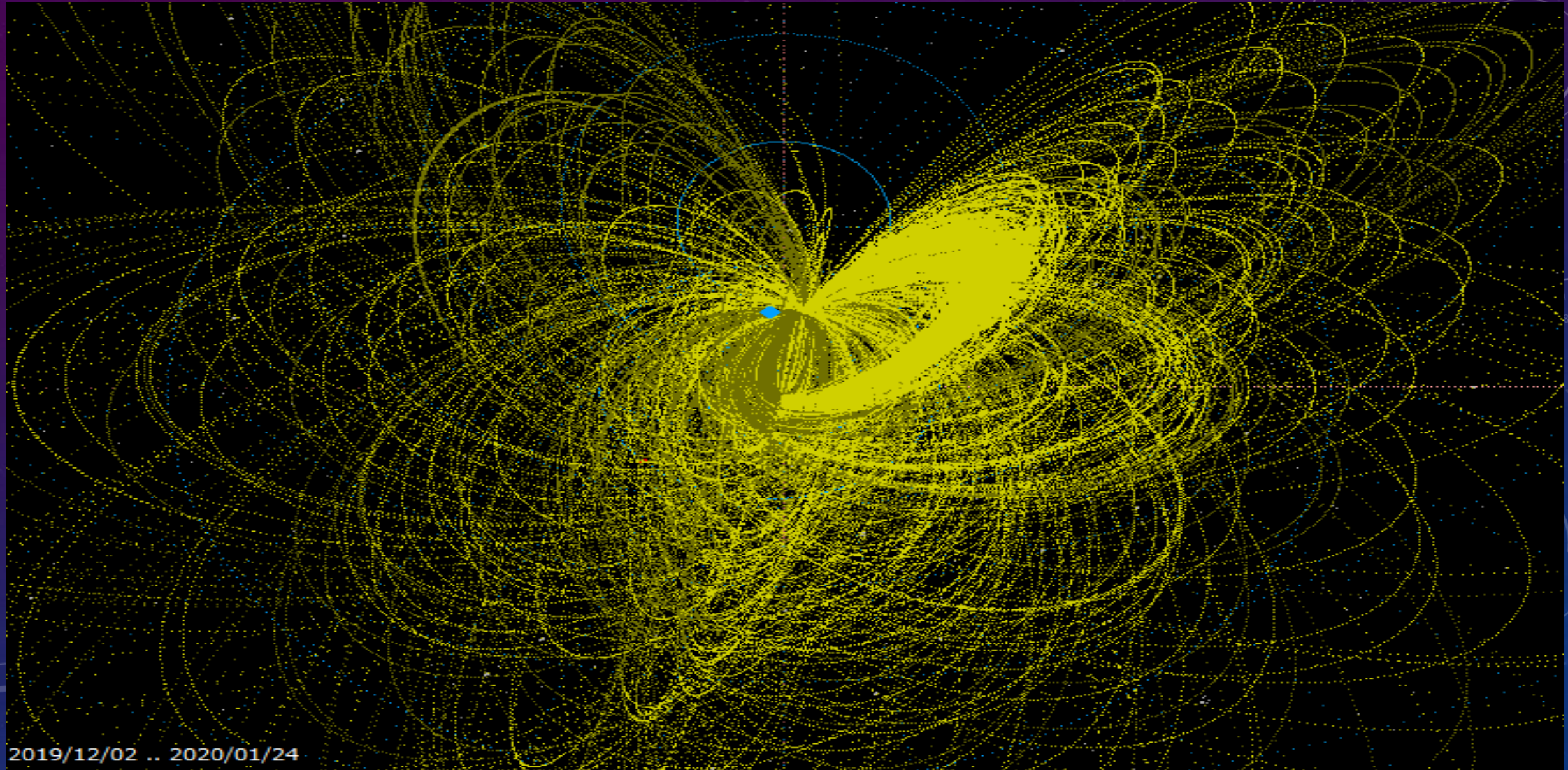
フルハイビジョンシステムでの同時流星



フルハイビジョンシステムでの同時流星



フルハイビジョンシステムでの同時流星



フルハイビジョンシステムでの流星

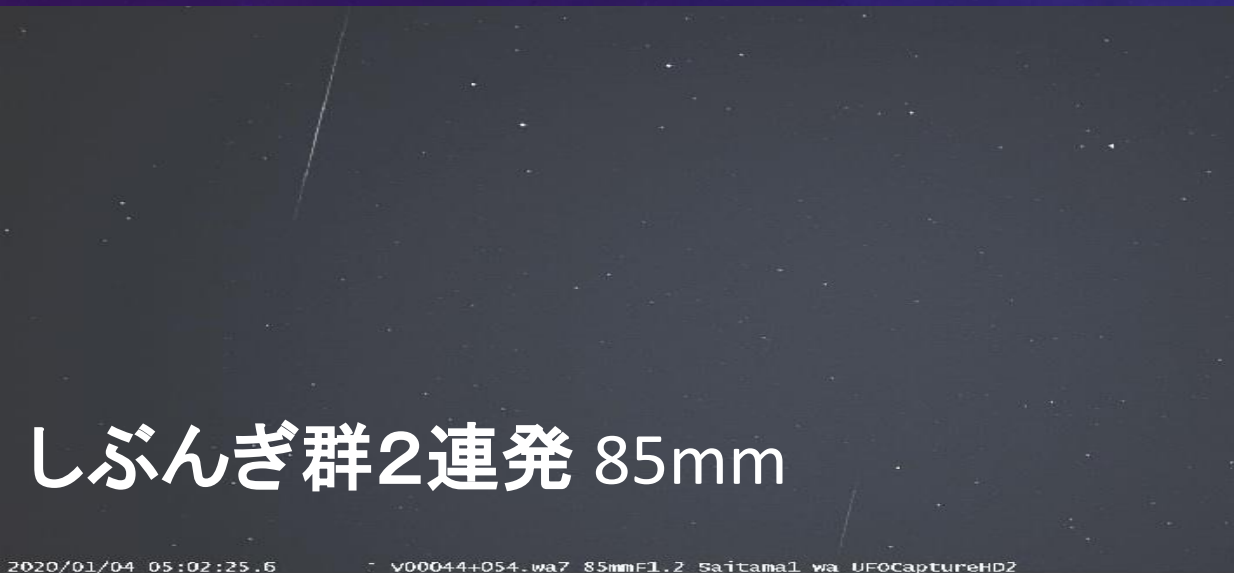
オリオン座と流星 85mm



鉄流星のスペクトル 1



しぶんぎ群2連発 85mm



鉄流星のスペクトル 2



まとめと課題

- 2台のカメラの観測で、ほぼ2か月で3000個近くの流星が得られた。今回のデータは、2019年12月から2020年1月までを解析した。同時流星は、交差角が小さくなっているが、FHDの観測者が少ないで観測方向は、このままで行こうと考えている。
- 今回は、主要群のしぶんぎ群とふたご群が活動していたので多かった。
- 50mmで今まで通りにスペクトルを撮影した。解像度は上がったが撮影数は、それほど多くなっていない。鉄流星等、はっきりとわかるようになった。暗い流星でも撮影できた。FHDでは、流星の色や痕の変化の様子等がわかりやすくなった。
- 85mmでは、思っていたより多く撮影できることがわかった。特に、暗い流星は、見落としがちであるのでチェックをしっかりとしたい。

ATOM CAM を用いた流星観測

平塚市博物館天体観察会流星分科会 赤松洋祐・永井和男(記)

安価な監視カメラの ATOM CAM を用いて流星観測を行って UFOAnalyzerV2 で解析して UFOorbitV2 で軌道を求める事が出来ましたので報告致します。観測と解析は赤松が行い、軌道決定は永井が行いました。流星分科会では他の数名のメンバーも自宅に ATOM CAM を設置して観測を始めています。

ATOM CAM はアトムテック社 (<https://www.atomtech.co.jp/products/atomcam>) の防犯カメラです。ATOM CAM は 2500 円、防水タイプの ATOM CAM2 は 2980 円と安価です。また、このカメラだけで他に買い足すものはありません。操作はスマートフォン (WiFi 2.4GHz) で行います。



ATOM CAM は防犯用の監視カメラですが暗所での感度が高く、夜間の空にカメラを向けると星や流星が撮影出来ます。

録画は 1080P で行われ ATOM CAM は 130 度、ATOM CAM2 は 120 度のレンズが付いています。記録は 1 分毎に mpeg4 の動画にして SD カードに保存されます。電源は 5V1A で USB 端子から受電します。これを空の見えるところに置くだけで流星観測が始められます。また、ATOM CAM2 は防水になっています。



ATOM CAM と ATOM CAM2 の各 1 台を防水用のケースに入れて自宅に設置して観測しています。

ATOM CAM は動画を SD カードに保存しますが、SD カードの抜き差しによってカメラの位置が動いてしまうと解析の度に UFOAnalyzer のプロファイルを修正する作業が発生してしまいますので ATOM CAM は NAS 転送機能を使って NAS 経由で動画ファイルを受け取っています。ATOM CAM2 は NAS 機能が正常に動作しませんでしたのでスマートフォンを使ってファイル化してから PC にコピーしています。この“録画”機能は、アプリ上で SD カード内の動画を再生し、任意のシーンをスマホ内に録画(ダビング)する機能です。この様にして ATOM CAM には触らないようにしています。

ATOM CAM のファームウェアはユーザー自身でアップデートする事が出来ます。ファームウェアのバージョンによって NAS が使えたり使えなかったりするようです。他の機能もバージョンによって様子が違う事があるようです。

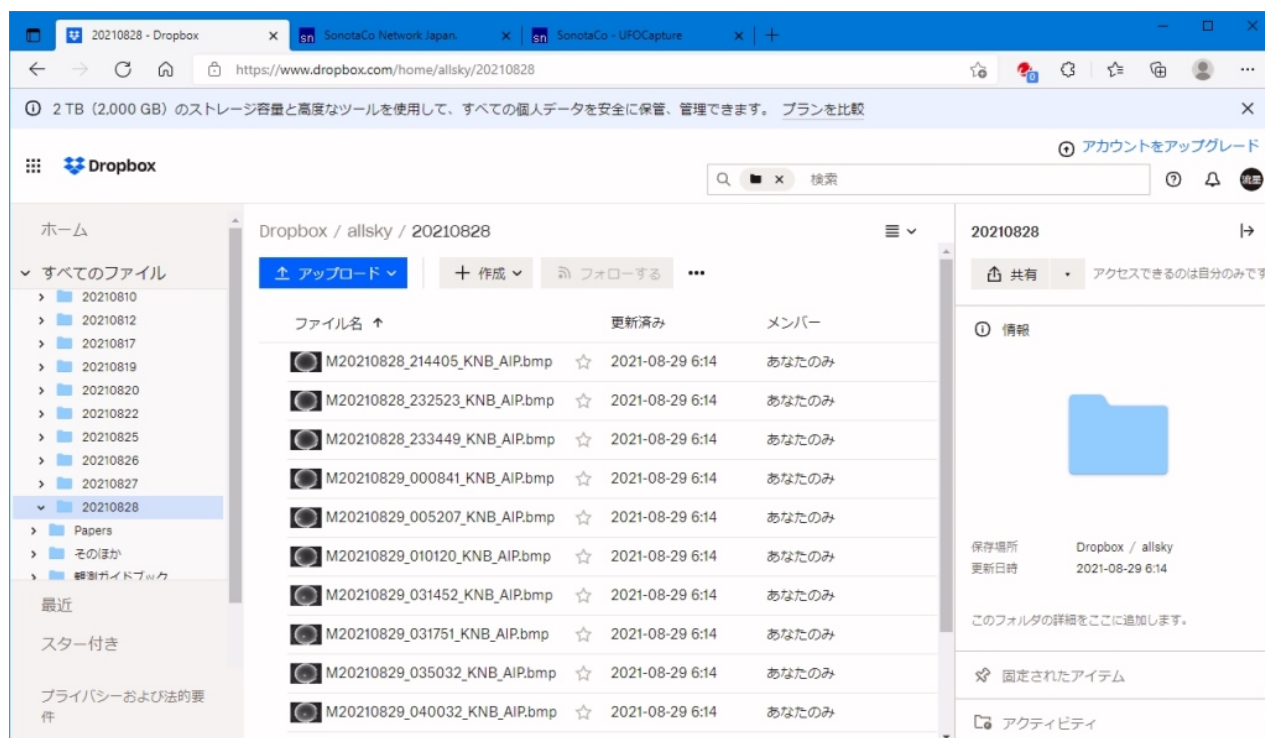
電力は USB 端子の付いた AC アダプターからの供給も可能ですが、USB モバイルバッテリーを使っています。AC アダプターの場合は室内から室外に USB ケーブルを敷設する必要があり、おそらく USB モバイルバッテリーを使用するのが簡単で標準的な使い方と思われます。

ATOM CAM は防犯カメラですので動体検出して録画する事が出来ます。しかし、流星の様な小面積の動体が考慮されておらず、人や動物のような画面に対してある程度の面積のある動体に反応します。火球の様な明るい流星の場合は ATOM CAM も反応します。おそらく、この面積が反応する最小面積と思われます。

流星の様な小面積の動体を検知するには工夫が必要です。録画された動画を全て見る方法は現実的ではありませんので、当初、流星分科会で試した方法に 1 分毎に録画される動画をつなげて一つの(一晚の)動画にして動画ファイルを仮想 cam として出力するソフトを使って動体監視ソフトに入れる方法を試しました。これにより明るい流星も暗い流星も検知出来ました。監視ソフトは流星が撮影出来

た動画だけ切り出して出力します（前後数秒も含めて切り出します）。

この方法でも良いのですが 8 時間撮影した場合は同じく 8 時間の再生が必要になります。そこで、現在は学芸員の先生の自宅に WATEC の全天カメラを設置して UFOCaptureV2 で撮影して、その結果を DropBox に置いて、イベントの有った時刻の動画を確認するようにしています。



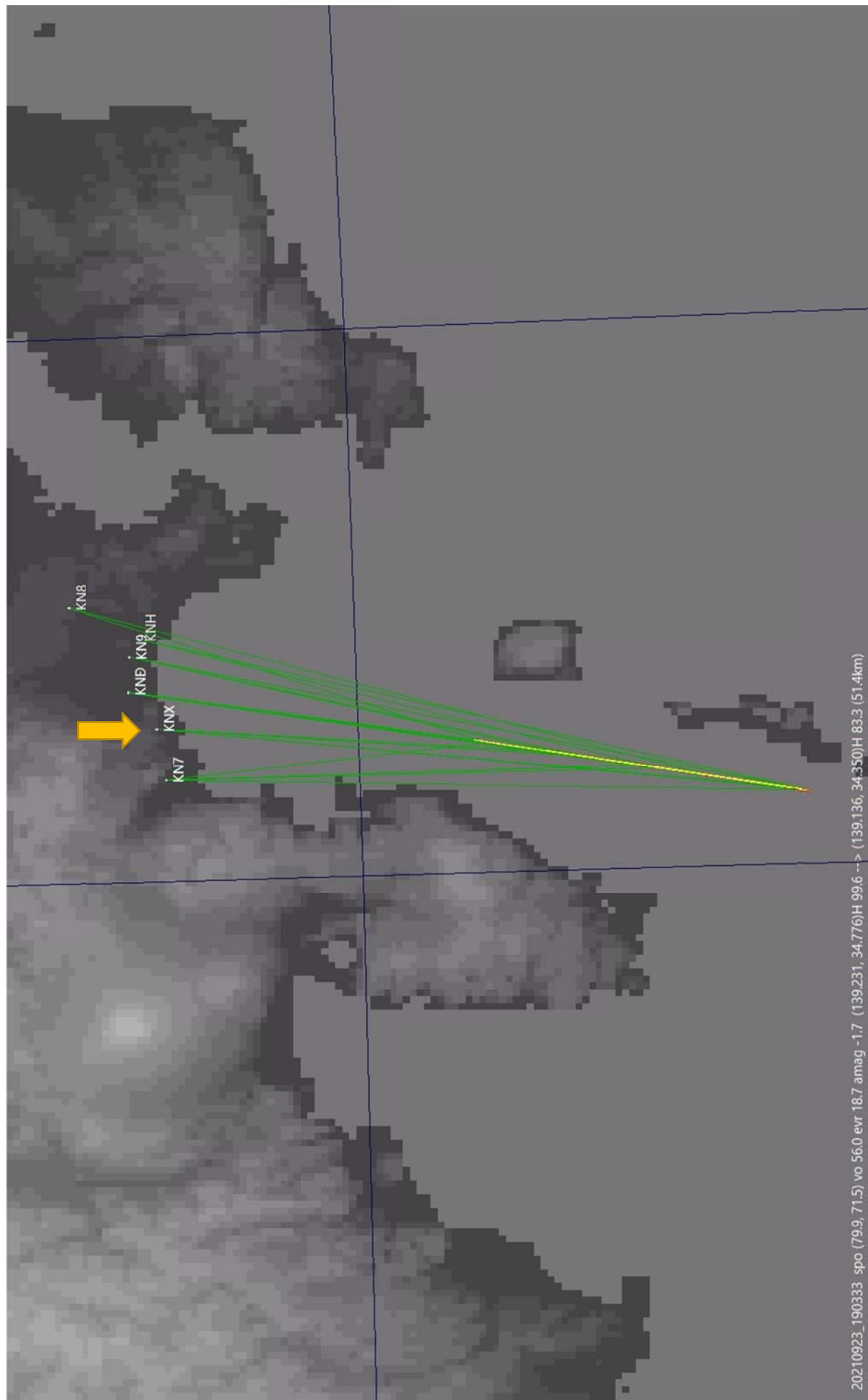
更に流星分科会では 10 名程度の会員が TV 観測を行っていて、その観測報告をメーリングリストに投稿しています。この観測結果も用いて動画の確認をしています。

動画から流星の部分の切り出したり、1 分毎の mpeg 動画をつなぎ合わせたり、mpeg4 を UFOAnalyzerV2 が扱える AVI に変換する作業にはフリーソフトの PIPP を使っています。PIPP は惑星観測に使われている画像処理ソフトです。ここから <https://sites.google.com/site/astropipp/> 入手できます。日本語のマニュアルも作られていて http://docs.sakuraweb.com/PIPPmanual_JP-web/manual で閲覧できます。

PIPP を「JOIN モード」の設定で使うことで複数の mpeg4 のファイルを 1 つの動画として扱うことが出来ます。読み込んでからフレーム数を指定して流星の写っているフレームをカット編集し AVI で保存します。UFOAnalyzerV2 で解析するにあたって動画の 1 秒後位に流星が現れるように編集します。

ATOM CAM には時刻がズレて記録される問題があります。監視カメラとしては問題とはならないのかも知れませんが流星観測では時刻が正確である必要があります。最大で数秒ズレる事もあります。UFOAnalyzerV2 は AVI ファイルのファイル名を観測時刻としています。そこで、AVI ファイルを保存する際に流星が光り始めた時刻をファイル名にしています。

AVI ファイルが出来ましたら UFOAnalyzerV2 で流星の飛跡を解析します。



このグランドマップで黄色矢印が ATOM CAM 1/2 の観測地です。黄色の線が流星です。緑の線は各観測地からの流星の始点と終点の線です。このように流星は 6 カ所の観測で対地軌道が求まっています。ATOM CAM の観測は他の TV 観測とよく一致しています。測定にズレがあると流星の飛跡を表している黄色の線が多重になりますが、この図では黄色線が一本です。他にも多数の解析が出来ていますが、ここではこの 1 つを紹介致します。

このように ATOM CAM で流星の TV 観測と同様な観測・解析が出来ることがわかりました。また、軌道計算に必要な観測精度も得られることもわかりました。TV 観測では WATEC のカメラ数万円を買ってハウジング・電源・観測用の PC を用意しますので高価なものになります。それに対してかなり安価で観測出来て解析も所望の精度で出来ることがわかりました。