

最微等級と眼視流星数の関係

1. はじめに 明治大学天文部は2010年のペルセウス座流星群の眼視観測で、エリア法による最微等級目測を全員で行った。従来は、クリアの空だと最微5等、少しもやっていると最微4等という曖昧な目測だったため、観測者による最微等級の違いを正しく表すことができなかった。最微等級を0.1等まで正しく目測することにより、観測者ごとの眼視流星数の違いを表すことができるようになったので紹介する。

2. 観測結果 八海山で夏合宿を行い、8月9/10~13/14(5晩)の観測を目指したが、一晚中快晴だったのは9/10日のみだった。そこでこの日の最微等級と眼視流星数の関係を調べた(図1参照)。

- 1) 最微等級を0.1等まで目測したことにより、ばらつきはおおきもののペルセウス群、散在共に、最微等級が暗い人ほど眼視流星数が増加することが分かった。従来の観測では観測者により流星数が数倍違うことがあっても原因が不明だった。
- 2) 最微等級の目測がおおよそ正しく行われていることが分かった。

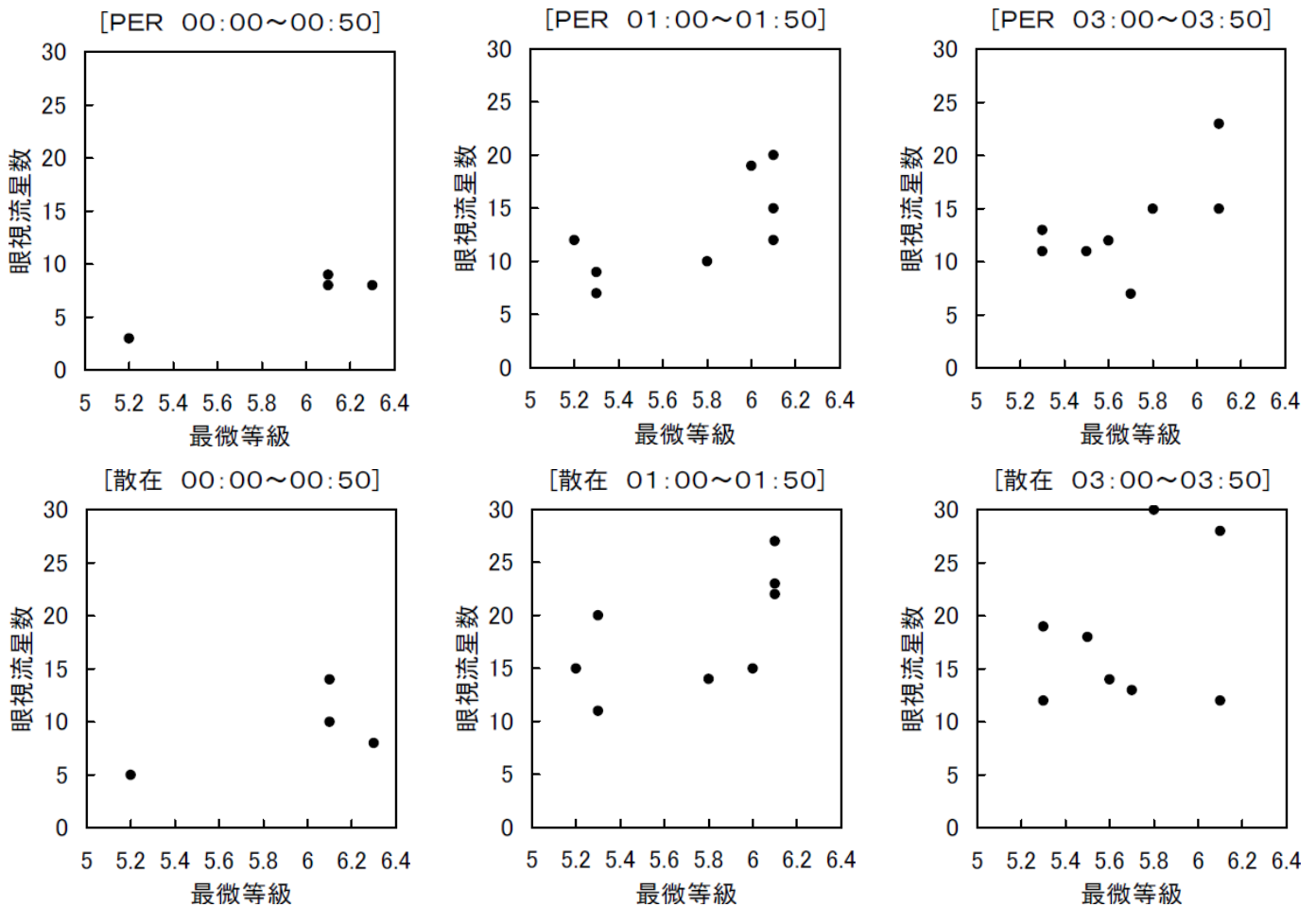
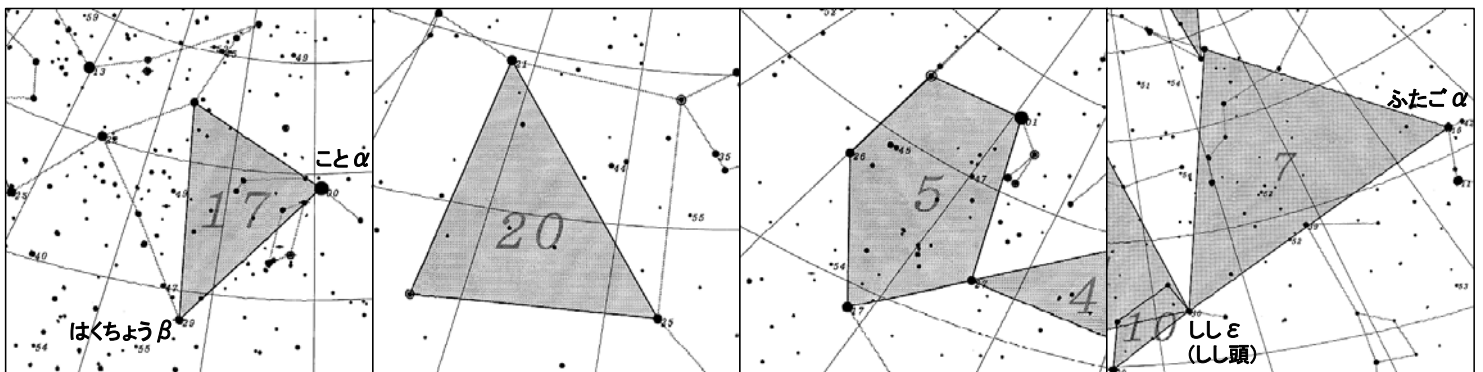


図1. 最微等級と眼視流星数の関係 (2010.08.09/10の観測者数の多い時間帯のみを調べた)

3. 付録：推奨エリア 夏・秋・冬の観測で使用するエリア法星図を紹介する。



【ことα-はくちょうβ】
8月中旬 22時南中

【ペガサス】
8月中旬 02時南中
10月中旬 22時南中

【ぎょしゃ】
12月中旬 00時南中
10月中旬 04時南中

【ふたごα-ししε】
12月中旬 03時南中

1. はじめに

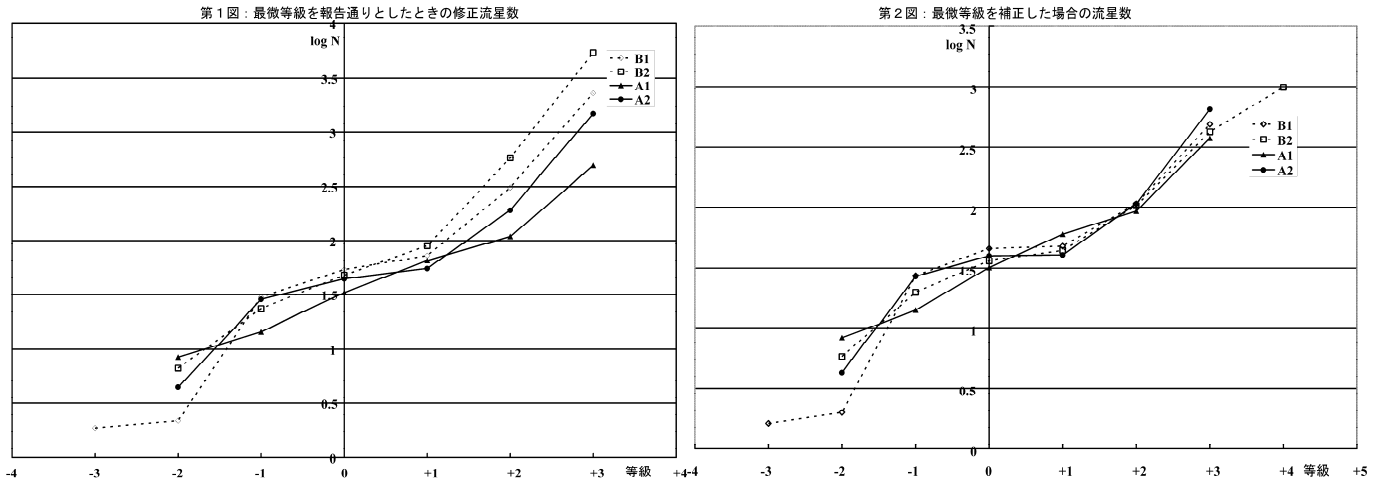
流星を団体で眼視観測することは2, 30年前までは盛んであったが、最近ではあまり行われなくなった。一つには眼視観測者自体が減少していることもあるが、団体観測の意義が不明確になったこともあると考えられる。ZHRを求めるだけが目的であれば、団体で観測する意味は薄れる。しかし、団体ならではの観測意義・目的があることを示すことが本稿の目的である。貴重な資料を提供された、明大天文部並びに重野、比嘉両氏に感謝する。

2. 観測精度の検証

2010年のペルセウス群、ふたご群のデータがNMS同報上で公開された。しかし、ふたご群のデータは「最微等級と観測限界流星等級の差が、1等級以上ない観測者は、データそのものをカット」されたものであった。眼視観測の問題点・意義を確認するには、全てのデータが必要であると考え、比嘉氏から直接、カットされたデータを提供して頂いた。まず、ふたご群を中心にデータを分析して、問題点を探る。以下では、公開された(選ばれた)データ群をA、カットされたデータ群をBと呼ぶ。

(1)最微等級と限界流星等級の差について

クレサコワの視認率[別紙1参照]によって観測流星数を補正してグラフ化すると第1図のようになる。最微等級を補正して視認率を適用すると、第2図のグラフのように観測者間の差異が小さくなる。これについて



は2通りの解釈が成り立つ。

- (a)最微等級の見積もりに誤差が大きい。
- (b)流星の光度を暗く見積もっている。

(a)については、(a1)周囲に引きずられた可能性と、(a2)見えているのか自信が持てないで確実に見えているものにとどめた可能性が考えられる。(b)の可能性は否定できないが、明るい流星が少ない(光度見積もりがずれている)わけではない。従って、最微等級を補正することによって、「カットされた観測」もデータとして使用可能と考えられる。

第1表:最微等級の補正とクレサコワの視認率を適用した場合のふたご群流星数。Lmは最微等級(以下同様)。

観測者	限界等級	補正值	1等級までの累積流星数
B1	Lm=4.2	Lm=4.8	125
B2	Lm=4.0	Lm=5.0	106
A1	Lm=4.4	Lm=4.5	115
A2	Lm=4.0	Lm=4.3	112

(2)流星の光度見積もり：明るい流星について

ふたご群の光度比を $r=2.199$ と仮定し(後述)、0等級の流星を観測値(A群とB群の合計)に合わせて275個とすると、各等級のふたご群の流星数は第2表のように推定される。なお、散在流星の光度比は $r=3.50$ としている。ここでは、触れないが、ペルセウス群とふたご群の観測に際して得られた散在流星の光度比はともに3.5に極めて近いものであった。

1等級より暗い流星については、見落とし率が増加するため、推定値より観測数が少なくなるのは当然であ

る。ここで問題になるのは、-1、-2 等級の流星が推定より多いのに対して、-3、-4 等級の流星が減少していることである。ふたご群の流星体の分布がそのような偏りをもつと考えるよりは、観測に問題があると考える方が自然であろう。恐らく、-4 等級を推定する際の比較対照となりうる金星が見られないために、明るい流星の等級を暗く見積もっているのであろう。

第2表：ふたご群の観測流星数と光度比から推定される流星数の比較

等級	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
観測群流星数	0	7	66	174	275	267	187	114	26	0
推定群流星数	12	26	57	125	275	605	1330	2924	6430	14140
観測散在流星数	0	0	5	28	59	80	102	81	41	1
推定散在流星数	0	1	5	17	59	207	723	2530	8854	30988

(3)群判定について

ふたご群について問題は見られないが、ペルセウス群の観測では、やや問題が見られる。

第3表：ペルセウスの観測流星数と光度比から推定される流星数の比較

等級	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
観測群流星数	0	0	3	7	34	71	84	80	41	3
推定群流星数	1	2	5	13	34	92	249	672	1818	4915
観測散在流星数	0	0	1	13	15	76	124	134	98	10
推定散在流星数	0	0	1	4	15	53	184	643	2251	7878

ふたご群の場合と同様、0 等級の流星を観測値に合わせており、ペルセウス群の光度比を $r=2.704$ としている（後述）。ふたご群の観測から推定されたと同様に-3、-4 等級の流星の光度見積もりに問題がある傾向は見られる。しかし、-1 等級の散在流星が推定よりも多く、ペルセウス群の流星は少なくなっている。これは群流星を散在と判定している可能性を示唆する。群流星の出現が散在流星を大きく上回るという条件ではなかったために、判定に揺らぎを生じたものと考えられる。

3. 眼視グループ観測の有用性

初心者を含むグループ観測では、最微等級の推定、明るい流星の光度見積もり、群判定で多少の問題が見られることが示された。しかし、この検証を行うこと自体がグループ観測によって初めて可能になることである。この3つの問題点は、個人の観測では気づかれないままになっているだけで、眼視観測ではベテランであるにせよ常に留意しなければならない点であろう。以下では、グループ観測だからこそ得ることのできるデータについて述べる。

(1)光度比：2通りの求め方

光度比を求める方法は何通りかある [別紙1参照]。ここでは、グループ観測で有用となる2つの方法について説明する。

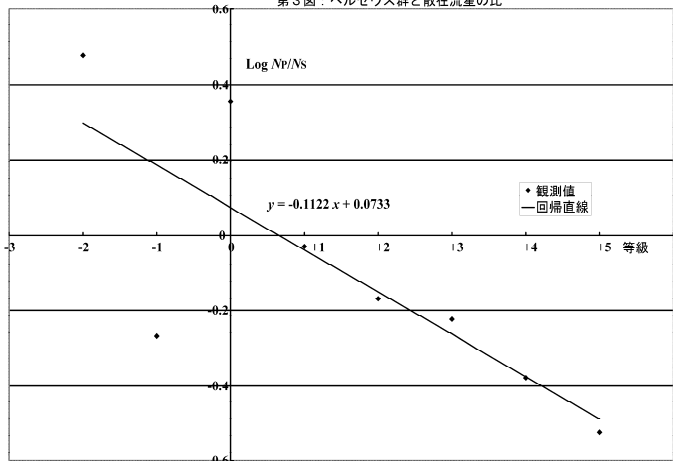
(a)視認率を用いる方法

「1」で示したように、限界等級を補正して視認率を適用することによって、光度比を求めることができる。

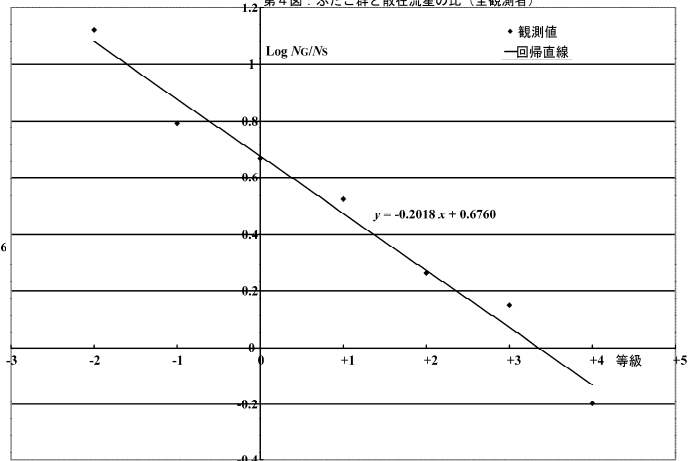
第4表：限界等級の補正による光度比の推定値変化。下線を付した光度比から求めた平均を最下欄に示した。下線を付した推定値が、B2については $L_m=5.0$ で、A1については $L_m=4.5$ でほぼ安定している。

B2				A1					
等級	流星数	光度比			等級	流星数	光度比		
		$L_m=4.0$	$L_m=5.0$	$L_m=6.0$			$L_m=4.0$	$L_m=4.5$	$L_m=5.0$
-4	0				-4	0			
-3	0				-3	0			
-2	3				-2	4			
-1	9	5.503	5.465	5.741	-1	6	3.752	3.714	3.732
0	14	<u>3.118</u>	<u>2.969</u>	<u>2.996</u>	0	11	<u>2.857</u>	<u>2.767</u>	<u>2.726</u>
1	13	<u>2.464</u>	<u>2.136</u>	<u>2.090</u>	1	14	<u>2.665</u>	<u>2.343</u>	<u>2.242</u>
2	15	<u>3.638</u>	<u>2.050</u>	<u>1.828</u>	2	6	<u>2.532</u>	<u>2.040</u>	<u>1.790</u>
3	11	<u>7.022</u>	<u>2.542</u>	<u>1.703</u>	3	3	<u>3.909</u>	<u>2.426</u>	<u>1.808</u>
4	2		<u>2.554</u>	<u>1.561</u>	4	0			
5	0				5	0			
合計・平均	39	4.060	2.450	2.036		35	2.991	2.394	2.141

第3図：ペルセウス群と散在流星の比



第4図：ふたご群と散在流星の比（全観測者）



(b) 散在流星数と群流星数の比を用いる方法

同じ等級であれば、散在流星と群流星の視認率は等しく散在流星の光度比を 3.50 と仮定することにより、光度比を求めることができる [別紙2参照]。ペルセウス群とふたご群についてグラフを示す。このグラフの傾きから、ペルセウス群とふたご群の光度比をそれぞれ 2.704、2.199 と求めることができる。ペルセウス群の光度比は大きすぎるが、「1」で述べたように、-1 等級の群判定には問題があるので、-2 等級と-1 等級を除くと、ペルセウス群の光度比は 2.439 となり、ほぼ妥当な値となる。ふたご群の場合に A と B それぞれについて光度比を求めると、それぞれ、2.358、2.301 となり、精度の範囲で十分に一致している。

(2) 視認率の推定

散在流星数と群流星数の比から求めた光度比を用いることにより、視認率を推定することができる。クレサコワの値と比較するために、次の仮定を用いた。

(a) 0 等級におけるクレサコワの視認率を正しいものとする

→ 0 等級の推定出現数をクレサコワの視認率から逆算して求め、光度比から各等級の流星数を推定する。

(b) 求めた視認率のグラフを観測時の限界等級から 6.5 等に平行移動できるものとする。

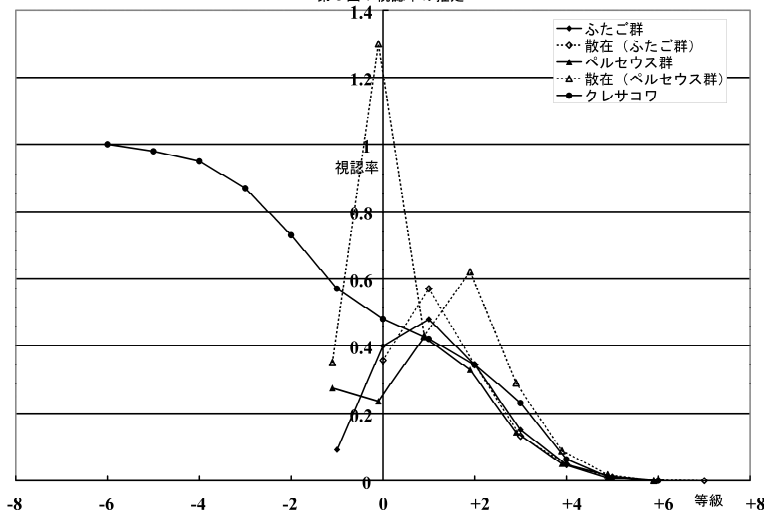
ふたご群では 0 等級の流星が総計 275 個記録されているが、クレサコワの視認率 0 等級の視認率（実際には平均の限界等級が 4.5 等であるので、それを補正した数値）と合わせるには、推定出現数は 800 個と考えられる。この流星数が等級により、光度比 2.199 で変化すると仮定する。推定される流星数に対する観測数が視認率となる。ペルセウス群の観測についても同様に計算し、得られた結果を合わせて第5図に示す。

ふたご群については+1 等級までの範囲でクレサコワの値に近いものが得られた。ペルセウス群については、群判定の問題から、ふたご群よりもずれが大きくなっている。また、マイナス等級の流星は数が少ないこともあるが、光度見積りに問題があることがここでも示されている。

4. まとめ

グループ観測は同時に得られるデータ量が多いという特性がある。個人観測として ZHR を求めるだけでお終いとしないで、光度比を求める、視認率の検証をする等の活用が望まれる。光度比は群流星が散在流星に卓越する状況では初心者者のデータでも用いることができ、50 年以上前の視認率を再検討して更新するという重要な課題に取り組むこともできるのである。

第5図：視認率の推定



《要旨》

ZHR を計算するために、光度比の算定のしかたを検討した。一般的な ZHR の計算であれば、P.Roggemans (1987)の推奨するように、群流星は 2.5、散在流星は 3.0 と固定して差し支えないと考えられる。光度比を求めることが目的であれば、状況に応じて、推定方法を変えることが望ましい。

I. 序論

NMS でも、いよいよ ZHR の計算式が改訂されようとしている。その中で最も重要と思われるのは、いわゆる小楨 F の代わりに、光度比による補正を導入したことである。その際に、

- a. どのような光度比を用いるのか、または、どのようにして光度比を求めるのか。
- b. 最微星 0.5 等級ではなく、0.1 等級の精度で求めるにはどうすれば良いか。

という問題が生じる。本稿では、最初の問題について検討する。

II. 従来の方法

1. 最小 2 乗法

『流星観測ガイドブック』では、藪(1974)によって以下の手順が紹介されている。

- i. ホフマイスターの『面積比』によって流星数を補正する。
- ii. 流星数の対数を縦軸にとったグラフから直線の傾きを求める。
- iii. 傾きの真数を求める(指数回帰を求める)。

藪はこれにより、自身の観測から散在流星の光度比を 2.2 としているが、明らかにこの数字は小さ過ぎる(小関、1987)。

2. 海外のグループの方法

DMS の Jenniskens は、以下の 3 つの考え方を紹介している(P.Jenniskens、1988)。

- i. エーピクの方法(多重計数)。
- ii. 視認率による補正(上記 1 と同じ)。
- iii. 散在流星との比較法。

彼は様々な理由から、iii を薦めている。iii には 2 通りの方法がある。

- a. 散在流星と群流星の平均光度を比較し、M.Kresakova (1966)の表にあてはめる。
- b. 散在流星と群流星の比の対数をとって、グラフの傾きを求める。

a の方法は海外のグループで広く用いられているものであり、最近、日本でも紹介され、使用されるようになってきている(小関、1987)。また、b の方法は筆者が既に発表しているものと同じである(小関、1983)。

3. 植木の方法

植木は、単純に最小 2 乗法を適用して、指数回帰を求めるのは良くないことを指摘している(植木、1987、p.4-20)。また、彼は光度比を r 、 m 等級迄の流星の平均光度を M とするとき、光度比の最尤推定値が次式で与えられることを示した(植木、1987、p.4-14)。

$$r = 1 + \frac{1}{m - M}$$

見落としに対する補正無しにこの式を用いることの限界は彼自身が報告の中で指摘している通りである。この補正の仕方については後述する。

III. 適用上の問題点

筆者は近年、光度比を求める際に上記 3 つの方法を試みた(小関 1986, 1987, 1988)。ここでは、その際に生じた様々な問題を列挙する。

- i. 最微光星の精度に極めて大きく影響される。
- ii. 最小 2 乗法は明るい流星の数に極めて大きく影響される。
- iii. 最微光星が 6.5 等から外れた場合に視認率をスライド使用することの適否。
- iv. 散在流星数が少ない場合には比較法は適用が困難である。
- v. 散在流星の光度比は常に一定とは限らない。
- vi. 視認率にはかなりの個人差がある。また、標準視認率を選択する必要がある。
- vii. 散在流星・群流星の混入の問題。

IV. 検討

流星の出現数が多く、観測者数が多い場合には、エーピックの方法(多重計数法)が適している。ソヴィエトでは、この方法を推奨している(P.Babadzhanov, 1987)。この方法では、観測者別、等級別に視認率が推定出来る点も優れている。しかし、1人の観測から光度比を求める際に用いられないことは言うまでもないので、ここでは触れない。また、最小2乗法についても植木の指摘通り、不相当と考えられるので除外する。

IIIで挙げた最微光星の決定精度の問題については本稿の範囲から外れると考えられるので以下の考察からは除外する。従って、以下に於いては、

- a. 散在流星との比較
- b. 植木の方法

または、その変法(視認率の補正をする、または、下記)を用いる場合について考察する。

aの方法を用いる場合には、III-iii、viの問題を或る程度避けることが出来る。bを用いる場合には、当然、視認率の補正が必要になる。また、その際には、最微光星により視認率をスライドさせねばならない。しかし、aとは逆に、bを用いた場合には、III-iv、vを避けられる。従って、流星数が多く、光度比を求めること自体が目的であれば、両者を併用すべきである。そのことによって、光度見積もりの癖、最微光星の妥当性、最微光星と流星に対する限界等級の差等を知ることが出来る。

更に、植木の方法に流星数それ自身ではなく、群流星数/散在流星数の比をあてはめることにより(この比もまた光度の指数関数である)、光度比の「比」を求める、または、群流星と散在流星の平均光度の差だけを計算しておくのも一方法である。光度比が必要な場合には、散在流星の光度比を別に求めれば良いのである。

V. 結論

光度比を求める目的によって、推定方法は替えるべきである。即ち、

1. ZHRの計算を目的とする――P.Roggemans(1987)に従って、群流星2.5、散在流星3.0として差し支えない。
2. 光度比の研究を目的とする――

- 【1】 団体であれば、多重計数法を用いる。
- 【2】 個人の場合には、前掲の植木法(変法)、または、散在流星との比較法。

とするのが適当であろう。

VI. 参考文献

Babadzhanov, P.B., 1987, <Meteory i ikh nablyudeniya>, Nauka.
 Jenniskens, P., 1988, <DMS Visueel Handboek>, DMS.
 Koseki, M., 1988, "Japanese η -Aquarids Observations in 1987", WGN, 16, 94-96.
 Kresakova, M., 1966, "The magnitude distribution of meteors in meteor streams", Contr. astron. obs. Skalnaté Pleso, 3, 75-109.
 植木核栄, 1987, <NMS Halley Project. review 1>, H計画ワーキンググループ。
 小関正広, 1983, 「光度関数と流星の見落とし率」、第21回東京近郊地区流星観測者会。
 小関正広, 1986, 「日本における1985年のジャコビニ群(Draconids)の観測」、流星研究論文集, p.31-47。
 小関正広, 1987, 「眼視観測についての一考察」、第28回流星会議。
 藪保男, 1974, 「観測結果の整理」、<流星観測ガイドブック>, p.196-199。

<計算例――1987年のオーストラリアに於ける柳の観測：5月4/5日>

最微光星	6.5	6.4	6.3	6.2	6.1	6.0	
光度	N	視認率	r				
-3	1	0.870*****	0.856*****	0.843*****	0.830*****	0.816*****	0.802*****
-2	0	0.730 2.000	0.710 2.000	0.692 2.000	0.674 2.000	0.657 2.000	0.641 2.000
-1	2	0.570 3.026	0.559 3.031	0.549 3.034	0.539 3.037	0.530 3.039	0.521 3.039
0	14	0.480 5.861	0.474 5.838	0.469 5.816	0.463 5.795	0.458 5.776	0.452 5.758
1	22	0.420 3.113	0.413 3.115	0.407 3.118	0.400 3.122	0.393 3.127	0.385 3.133
2	23	0.343 2.206	0.334 2.213	0.325 2.221	0.315 2.229	0.305 2.240	0.294 2.251
3	31	0.232 2.023	0.210 2.066	0.189 2.114	0.169 2.169	0.151 2.233	0.134 2.307
4	15	0.064 1.919	0.056 1.969	0.048 2.026	0.042 2.094	0.035 2.174	0.029 2.270

注：ここで、光度比は観測者の推定している最微光星に対するものの他、0.1等級刻みで最微光星を変化させたものについても計算している。2~4等級の光度比が2.2~2.3の範囲にあることは明らかであり、最微光星が6.0等級であったとすると流星数の分布に矛盾がなくなる。この例では余り光度比が最微光星によって大きく変化していないが、このような表は観測者の最微光星の推定値のチェックにも使うことができる。

[資料2]

光度関数と流星の見落とし率

東京近郊地区 1983.12.4

1. 理論

光度比を r , 0等級の流星数を C とすると m 等級の流星数は

$$N(m) = C r^m$$

見落とし率を m の関数として $\Psi(m)$ であらわし、それぞれ添字 s, p を散在流星、群流星をあらわすものとする。このとき、実際に観測される流星数 $N_s(m)', N_p(m)'$ は

$$N_s(m)' = N_s \Psi_s(m), \quad N_p(m)' = N_p \Psi_p(m)$$

ここで N_p' / N_s' の比を考える (以下 $N_p \dots$ は m 等級の流星数である)

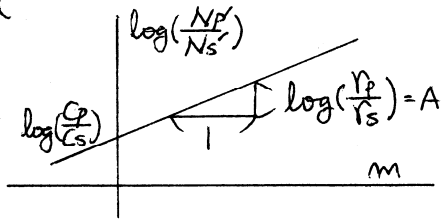
$$\frac{N_p'}{N_s'} = \frac{N_p \Psi_p(m)}{N_s \Psi_s(m)}$$

見落とし率は群流星、散在流星で差ぬばいと見出す ($\Psi_s(m) = \Psi_p(m)$) と、

$$\frac{N_p'}{N_s'} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{C_p r_p^m}{C_s r_s^m} = \frac{C_p}{C_s} \cdot \left(\frac{r_p}{r_s}\right)^m$$

$$\therefore \log\left(\frac{N_p'}{N_s'}\right) = \log\left(\frac{r_p}{r_s}\right) \times m + \log\left(\frac{C_p}{C_s}\right)$$

従って



観測より各等級について N_p / N_s' を求め、最小2乗法 (グラフでもよい) द्वारा グラフの傾きを求める
 $A = \log\left(\frac{r_p}{r_s}\right)$

グラフの傾きを求めれば

$$r_p = r_s \times 10^A$$

より、 r_s を仮定することにより、 r_p を求めることができる。観測よりほぼ r_s は一定と見なせるので (右図参照) ... 一般に $r_s = 3.5 \sim 3.7$ である。

さらに、 C_s または C_p を仮定すれば (たとえば 0 等級の見落とし率を 0 とすれば)、見落とし率 $\Psi(m)$ を知ることもできる。

(参考 $s = 1 + \alpha X, \quad X = 2.5 \log r, \quad \alpha \approx 1$)

2. 例題

m	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
N_p'	1	0	11	10	18	23	44	48	25	10
N_s'			0	1	3	5	14	9	2	
N_p' / N_s'				10	6	4.6	3.1	5.3		
$\log\left(\frac{N_p'}{N_s'}\right)$				1	0.78	0.66	0.49			

$$r_s = 3.7 \text{ とし}$$

$$r_p = 3.7 \times 10^{-0.17} \approx 2.5$$

ペルセウス座流星群 眼視観測ガイド

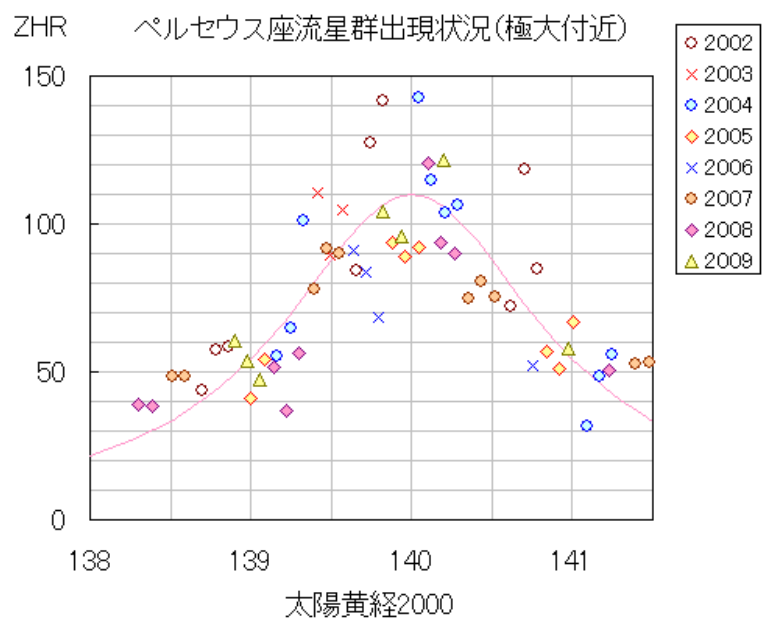
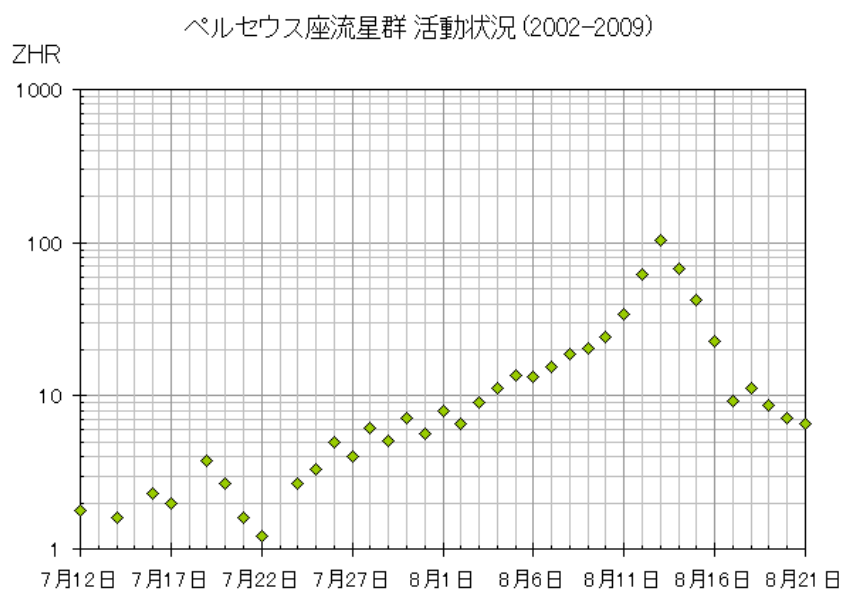
内山 茂男

1. 各観測方法の長所

- (1) 電波観測：天候無関係、24 時間観測可能。パトロール観測。他。
- (2) 写真観測：多点観測で高精度の軌道 ← 位置精度の高さ
- (3) TV 観測：自動検出により、パトロール観測。多点観測で軌道。小流星群の検出。他。
- (4) 眼視観測：ZHR 算出（流星群出現状況把握） ← 観測条件による補正がしやすい。

2. ペルセウス座流星群を観測しよう

- (1) 活動期間：
 - 7 月 17 日～8 月 24 日
- (2) 極大時刻：
 - 太陽黄経 140.0 度付近
 - 今年は 8 月 13 日 9 時 JST
- (3) 極大 ZHR：110 前後
- (4) 極大付近の特徴：
 - a. 1 日ずれると半減。
 - b. 極大付近では前後対称
 - c. 年によってバラつきあり
- (5) 今年の極大前後は、月明かりがない。（8 月 10 日が新月）
- (6) 1992 年に母天体（スイフト・タートル彗星、周期 130 年）が回帰。長期的に「出現数が減少していくのか、維持されるのか」が計数観測の注目ポイントの 1 つ。



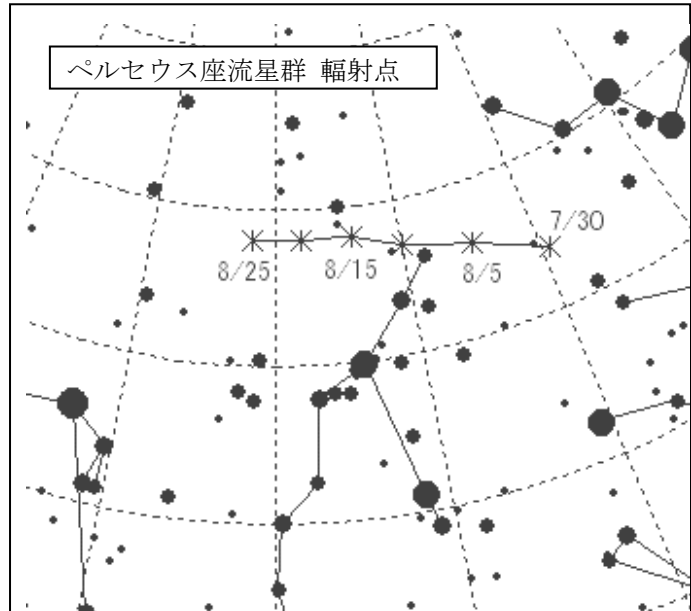
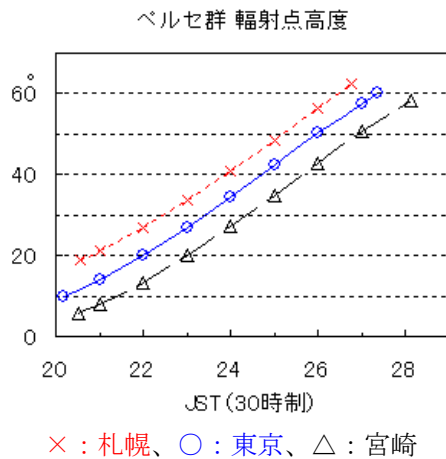
補足. ZHR とは

- (1) 理想的条件で観測者 1 人が 1 時間あたりに観測する群流星数。
- (2) 理想的条件とは：
 - 最微星 6.5 等、雲等なし、
 - 輻射点は天頂。
- (3) 観測者は標準的な観測者
- (4) Zenithal Hourly Rate の略。

3. ペルセ群をいつ観測する？

- (1) 第1おすすめ：8月12/13日。極大夜。たくさん見たいならこの夜。
- (2) 第2おすすめ：8月10/11日～14/15日。極大前後数日を観測すると、その変化がよく分かる。
- (3) 第3おすすめ：8月4/5日～18/19日。ZHR10以上で、月が下弦過ぎ～上弦過ぎ。
- (4) 観測時刻は：基本は23時以後、3時30分まで（輻射点高度が30度程度以上、薄明開始直後まで）
ただし、22時から（輻射点高度20度）も可。

※輻射点高度が高い方が、群流星数は多い。輻射点高度が低い方が、長経路流星が多い。



4. 眼視観測方法

- (1) グランドシート or サマーベッド に寝転がり、夜空を広く見えるようにする。
- (2) 観測開始前に次のことを確認。
 - a. 主な星座。
 - b. 輻射点位置。
 - c. 主な恒星の等級（流星の等級判定用）。
 - d. 最微星確認エリア
- (3) おすすめ観測方向は、高度60～70度。輻射点が見える方向（群判定ができるように）。複数の観測者で同時に観測する場合は、観測方向を少し変えて。ただし、個人計数観測が基本。グループ計数観測はおすすめしない。
- (4) 人数が多い場合、記録係をつくる。1人 or 少ない場合には、録音 or さぐり書き で記録（観測者ではできるだけ夜空から眼を離さない）。
- (5) 長時間観測は、疲労による補足率の低下につながることもある。連続2時間まで（休憩を）。

5. 眼視観測をするときに記録すること

- (1) 観測日：2重日付使用。例：8月12日から13日にかけての夜の場合「8月12/13日」。
- (2) 観測者名
- (3) 観測開始時刻、終了時刻（中断時刻）：24時制を使用するのが普通。観測時間が長い場合には、1時間程度（30分以上）の区分に分けて記録・報告する。観測開始時刻は、00分ちょうどにこだわる必要はない。
- (4) 雲量・最微星：観測区分毎。観測区分途中で変化したら平均を求める。

6. 観測中、流星が出現したときに記録すること

- (1) 出現時刻：計数観測では分単位で十分。5分単位でも支障なし。
- (2) 光度（等級）：周辺の恒星の等級と比較して判定。1等単位で記録すればよい。
- (3) 群判定：流星群名、または散在流星。
- (4) 痕の有無：痕が残ったら「痕あり」。痕は英語で **Train**。必ず記録する必要はない。
- (5) 速度：vR, R, rR, M, rS, S, vS の7段階で記録することが多い。R: Rapid(速い), M: Medium(中程度), S: Slow(遅い) と、v: very(とても), r: rather(やや)を組み合わせたもの。5段階などでも可。必ず記録する必要はないが、これを記録するようにすると速度感覚が養える。
- (6) その他：永続痕など、特徴的な流星で記録することあり。

7. 記録項目の補足説明

(1) 群判定

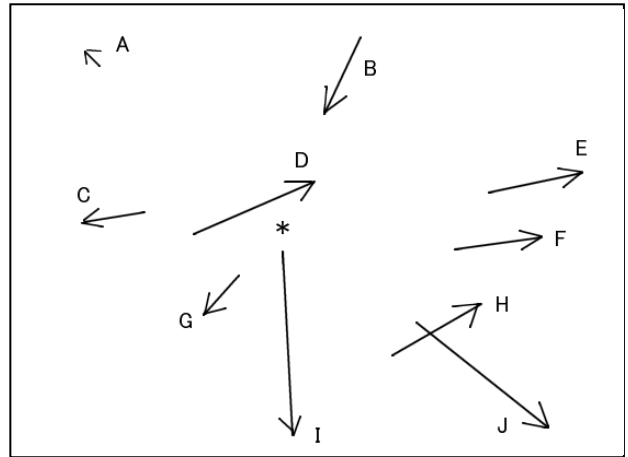
(1-1) 次の3つの条件を全て満たしていれば、群流星。

- a) 輻射点方向から飛来
- b) 輻射点の近くでは短く、離れるとやや長い。
(明るい流星はやや長い傾向あり)
- c) 速度などの性状 (ペルセ群はやや速い)

(1-2) 輻射点は「点」ではなく、「エリア」

(1-3) 主要群の極大付近では、群判定は甘めでよい。

※ 右図で“*”印が輻射点の位置とすると、A~Jの流星のうち、どれが群流星？



(2) 雲量

- (2-1) 完曇は雲量10。だいたいを見積もる。(雲量4以上は観測データとして質が落ちる)
- (2-1) 観測視野の中の雲量を見積もる。(全天の雲量ではない)
- (2-2) 雲以外の障害物も含む。ただし、なるべく障害物の少ない方向を観測する。
- (2-3) 視野周辺部の雲の影響は少なく、中心付近の影響は大きい。

(3) 最微星

- (3-1) 0.1等単位で測定し、報告。(0.01等単位も可)
- (3-2) エリア法。2つ以上のエリアを使うのがおすすめ。
- (3-3) そらし眼で見る。
- (3-4) 一応見えていそうな等級まで。

8. 観測報告例

(1) 主要流星群速報集計 (report@nms.gr.jp)

(観測後なるべく早く報告(2~3日以内推奨))

DATE	JST	TIME	aM	Spo.	ORI	NTA	STA	Lm	CL	Dir

Oct./2005										
27/28	02:30-03:25	55	9	4	3	1	1	5.5	0	Per
	03:25-04:15	50	9	4	3	1	1	5.4	0	Aur

観測地：茨城県桜川市(筑波山) 東経140d6m、北緯36d14m

観測方法：計数

内山 茂男 (うちやま しげお)

- *日付は2重日付:「27/28」とは「27日から28日にかけての夜」
- *JST: 日本時間。時刻は24時間制
- *TIME: 観測時間(分)
- *aM: 全流星数(all Meteor)
- *Spo: 散在流星数
- *ORI・NTA・STA: 各流星群名
ペルセ群はPER。
- *Lm: 最微星
- *CL: 雲量
- *Dir: 観測方向。天頂なら“Z”。
星座名もOK。
- *観測地は「都道府県市町村等」と東経・北緯(分までで十分)。

8. 観測報告例（続き）

(2) 日本流星研究会 月別正式報告 (visual@nms.gr.jp)

2005年10月 眼視観測報告

観測者：内山 茂男（うちやま しげお）

観測地 A：茨城県桜川市（筑波山） 東経 140d06m、北緯 36d14m

観測方法：計数

観測日	観測時刻	時間	方向	流星数	最微	雲量	群流星			Loc.
							ORI	NTA	STA	
23/24	02:30-03:20	50	Per	18	5.4	0.5	9	0	0	A
23/24	03:20-04:10	50	Per	11	5.3	1.0	7	0	0	A
27/28	02:30-03:25	55	Per	9	5.5	0	3	1	1	A
27/28	03:25-04:15	50	Aur	9	5.4	0	3	1	1	A
31/01	22:25-23:40	75	Per	13	5.3	0.7	1	1	5	A
合計	3夜	280		60						

ORI：オリオン群

NTA：おうし北群

STA：おうし南群

光度分布

23/24日

	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	Ave
ORI	1	0	1	0	2	1	4	5	2	1.63
Spo	0	0	0	1	1	2	3	2	4	2.23

(以下、他の日の光度分布省略)

*この月別報告は、原則として、1カ月分をまとめて、翌月の10日までに報告する。

*31/01日は、31日の月に含めて報告する。

*観測方法には「計数観測」と「記録観測（プロット観測）」があります。記録観測とは「星図に流星経路を記録する観測方法」です。小流星群の観測やパトロール観測では、記録観測がおすすめです。

9. 詳しくは

内山茂男のページ：<http://homepage2.nifty.com/s-uchiyama/index.html>

流星の部屋：<http://homepage2.nifty.com/s-uchiyama/meteor/meteor-index.html>

「流星とは」「流星の眼視観測をしよう」「流星群解説」「主要流星群出現状況」「流星に関する解説」等があります。

※「日本流星研究会」のHPからもリンクされています。「内山茂男」で検索しても見つかります。

7. 群流星の解答 (人によって判定が異なるかと思いますが、内山の判定は次の通りです。)

(1) 群流星と判定するべきは「C, E, F, G, J」。(ただし、速度条件を満たしていれば。)

(2) Aは輻射点方向から流れてきているが、経路が短すぎるので、おそらく群流星ではない。ただし、「輻射点が高い時刻」かつ「流星が暗い」場合には、群流星の場合もある。

(3) Iは輻射点方向から流れているが、経路が長すぎる。群流星でここまで長いものはない。Jくらいの長さは存在。

(4) CとFは、輻射点から少しずれている。しかし、「輻射点は点ではない」と、「眼視観測で経路をそれほど正確に捉えられない」ので、この程度であれば群流星としてよい。このとき、流星の速さ等が重要なポイントとなる。

The Dynamics of Low-Perihelion Meteoroid Streams

Paul A. Wiegert (Earth Moon Planet (2008) 102:15-26)

Abstract The Canadian Meteor Orbit Radar (CMOR) has collected information on a number of weak meteor showers that have not been well characterized in the literature. A subsample of these showers (1) do not show a strong orbital resemblance to any known comets or asteroids, (2) have highly inclined orbits, (3) are at low perihelion distances ($\ll 1$ AU) and (4) are at small semimajor axes ($\ll 2$ AU). Though one might conclude that the absence of a parent object could be the result of its disruption, it is unclear how this relatively inaccessible (dynamically speaking) region of phase space might have been populated by parents in the first place. It will be shown that the Kozai secular resonance and/or Poynting-Robertson drag can modify meteor stream orbits rapidly (on time scales comparable to a precession cycle) and may be responsible for placing some of these streams into their current locations. These same effects are also argued to act on these streams so as to contribute to the high-ecliptic latitude north and south toroidal sporadic meteor sources. There remain some differences between the simple model results presented here and observations, but there may be no need to invoke a substantial population of high-inclination parents for the observed high-inclination meteoroid streams with small perihelion distances.

Table 1 Comparison of the orbits of 96P/Machholz (Marsden and Williams 2005) and the Daytime ϵ Perseids

Name	a (AU)	q (AU)	e	i ($^\circ$)	Ω ($^\circ$)	ω ($^\circ$)
D ϵ Perseids	4.6 ± 1	0.13 ± 0.01	0.97 ± 0.01	63 ± 2	96 ± 0.3	40 ± 2
96P/Machholz	3.01	0.123	0.959	59.9	94.5	14.6

Errors for the shower elements are approximate

Table 2 The elements of the Daytime April Piscids and South Daytime May Arietids, together with those of the better-known North and South ι Aquariids

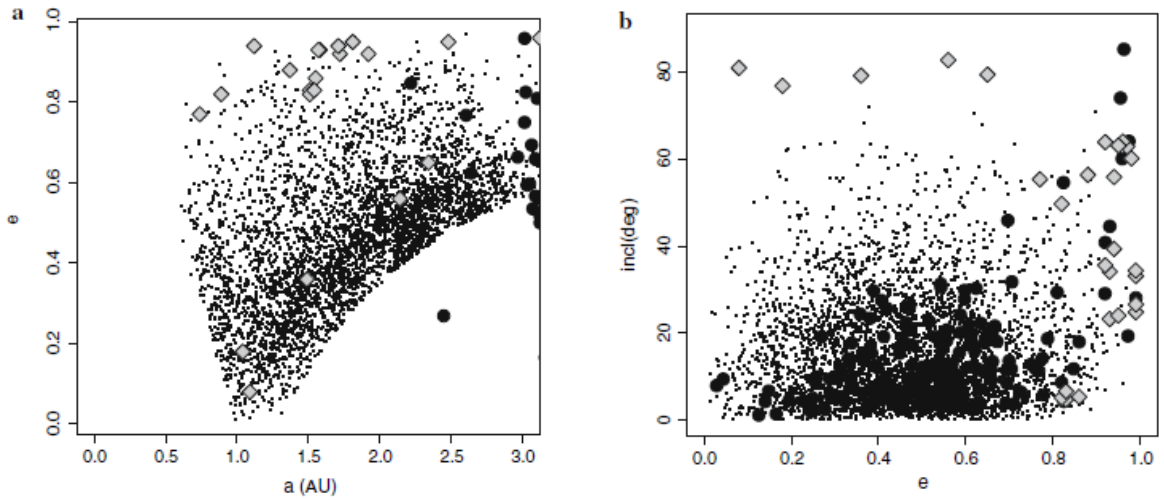
Name	a (AU)	q (AU)	e	i ($^\circ$)	Ω ($^\circ$)	ω ($^\circ$)
Daytime April Piscids	1.51	0.26	0.83	4.7	25	50
S Daytime May Arietids	1.51	0.27	0.82	5.1	227	232
N ι Aquariids	1.52	0.27	0.83	5.7	159	309
S ι Aquariids	1.55	0.22	0.86	5.3	309	134

The orbits are from the CMOR catalogue

Table 3 A selection of the new or previously little-studied meteor showers in the CMOR catalogue

Name	a (AU)	q (AU)	e	i ($^\circ$)	Ω ($^\circ$)	ω ($^\circ$)
N Daytime ω Cetids	1.58	0.12	0.93	34	45	33
S Daytime ω Cetids	1.72	0.14	0.92	36	225	216
S June Aquilids	1.12	0.06	0.94	56	260	159
Daytime γ Taurids	1.57	0.10	0.93	23	266	211
Vulpeculids	0.76	0.17	0.77	55	105	335
N June Aquilids	1.71	0.11	0.94	39	101	328
β Equulids	0.89	0.16	0.82	50	106	330
July σ Cassiopeiids	1.09	1.00	0.08	81	105	217
ψ Cassiopeiids	2.14	0.93	0.56	83	118	141
N δ Aquariids	1.81	0.10	0.95	24	139	329
σ Serpentids	1.92	0.16	0.92	64	276	41
ω Serpentids	1.37	0.16	0.88	56	276	39
θ Coronae Borealids	1.11	0.92	0.17	77	296	125
λ Bootids	1.49	0.96	0.36	79	295	207
ζ Coronae Borealids	2.34	0.82	0.65	80	294	125
α Antilids	2.47	0.14	0.94	64	136	140

Fig. 1 The orbital distributions of near-Earth asteroids (dots, from the AstDys website <http://hamilton.dm.unipi.it/cgi-bin/astdys/astibo>), comets (black circles, Marsden and Williams (2005)) and the showers discussed here (grey diamonds) in (a) a-e and (b) e-i space (点：地球近傍小惑星、黒丸：彗星、灰色四角：流星群 (表3))



CMORカタログの多くの小流星群 (表3・図1) は、明らかな母天体も既知の流星群との関連も見られない。

多くは $a < 2$ AU、近日点は水星の軌道の内側、大きな軌道傾斜角を持つ。

- このような彗星や小惑星はほとんどない。
- 流星群をつくった彗星が消滅したのか？ (太陽に近いのですぐに枯渇する)
- 母天体はどのようにしてこの領域へ来たのか説明できない。(この領域への力学的軌道進化は遅い)
- 現在の軌道上の粒子の軌道を過去にさかのぼって調べてみた。

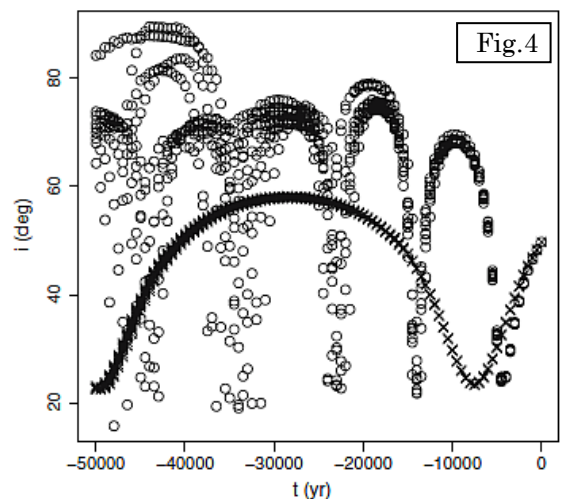
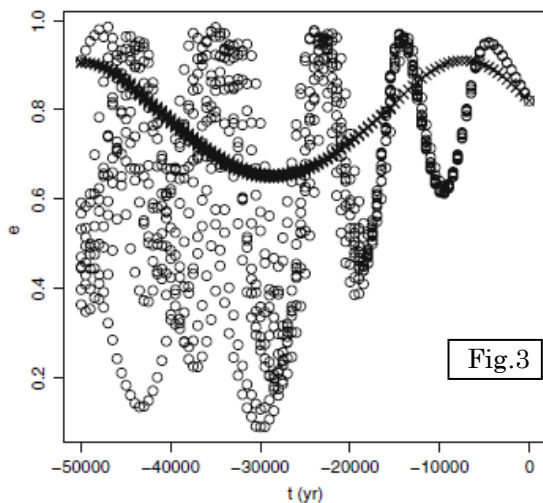
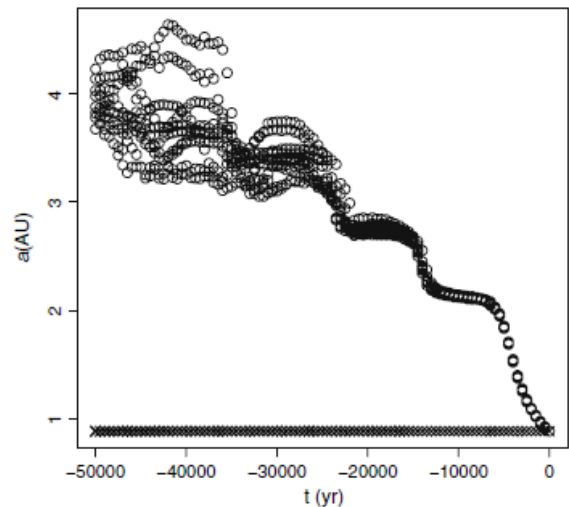
Fig. 2~4 こうまβ群の軌道進化。5万年過去までさかのぼったシミュレーション結果 (粒子数10個)。
○：半径100 μ mの粒子 ($\beta=0.0057$)。×： $\beta=0$ の粒子。

図2：木星族彗星の軌道 ($a \sim 3$ AU) から数千~数万年で $a \sim 1$ AU の軌道に進化する (ポインティング・ロバートソン効果)。(これらの小流星群は眼視流星群カタログにない)

図3：離心率eが小さくなっていかない (PR効果で期待される)。

- 古在共鳴の効果 (離心率eと軌道傾斜角iが周期的に変動し、eが小さくなるとiが大きくなる (図4))。
- 軌道傾斜角が大きい期間が長い。

⇒ a が小さく、 i が大きい流星群はたくさんできる。(そのような軌道の母天体は必要ない。)



3.2 The Toroidal Sporadic Meteor Sources

散在流星のトロイダルソースは次の特徴を持つ (Jones and Brown 1993)。

- a) 軌道長半径 a は1AUをピークとする。
 - b) 軌道傾斜角 i は60度付近が多い。
 - c) 離心率 e は小さい (円軌道に近い)。
- 大きい軌道傾斜角の彗星や小惑星は少ない。
- ここで議論している軌道傾斜角の大きい小流星群 (PR効果で軌道が小さくなり、古在共鳴で軌道傾斜角が大きい) が、やがてトロイダルソースになるのでは？
- 次の条件でシミュレーションを試みた。
- a) 表3の軌道 (ただし、 $a=3$) から、b) 将来に向かって計算、c) 粒子サイズは50, 100, 200 μm の3通り、d) 各10個。
- 10万年間に、地球に0.1AUまで近づいた流星物質を調べた。

図5 シミュレーション流星物質による輻射点分布。
 → トロイダルソースに近い分布が得られた。
 → 中心は $\pm 50^\circ$ 付近。(トロイダルは $\pm 60^\circ$ 付近)
 → 近いが完全ではない。

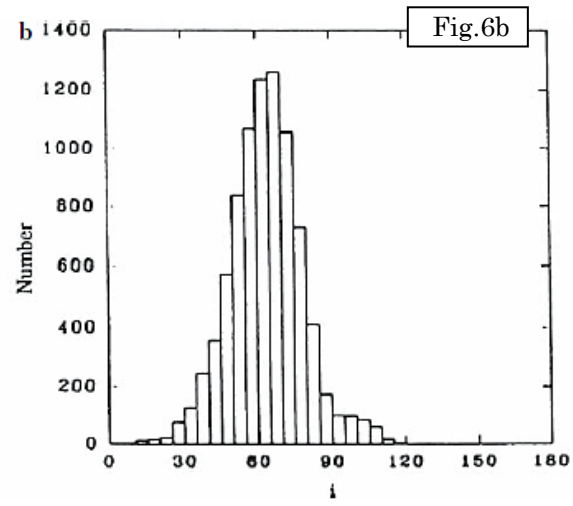
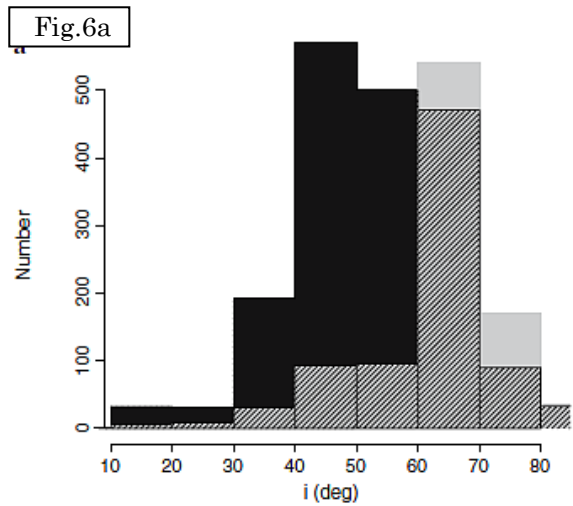
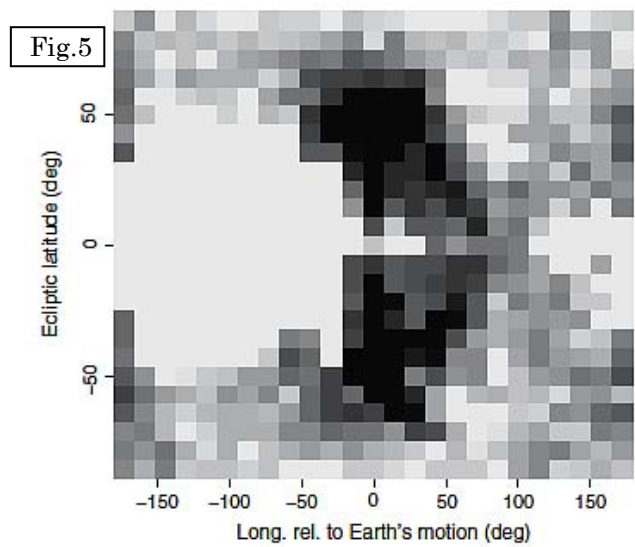


図6a シミュレーションでトロイダル付近を輻射点とする流星物質の軌道傾斜角 i の分布。
 黒は衝突可能性を考慮してウェイトをかけた分布。
 → 観測データ (図6b, Jones and Brown (1993)) と少し似ているが、期待ほどではない。

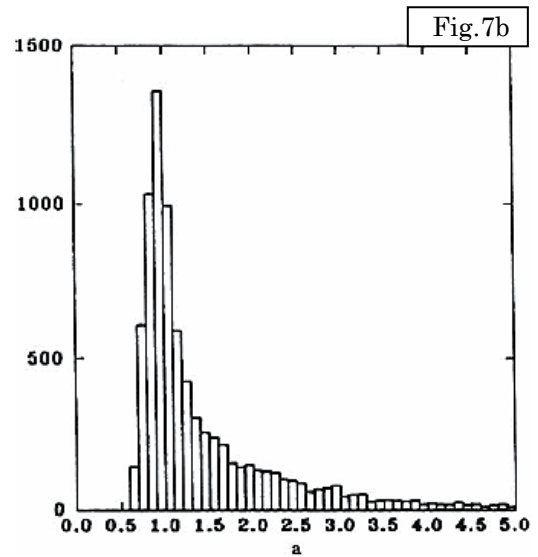
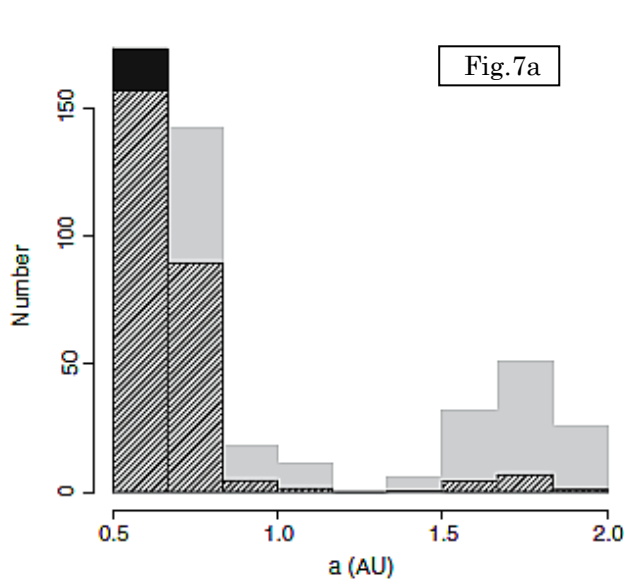


図7a シミュレーションでトロイダル付近を輻射点とする流星物質の軌道長半径 a の分布。

黒は衝突可能性を考慮してウェイトをかけた分布。

→ 観測データ (図7b, Jones and Brown (1993)) と少し似たピークが得られたが、観測データの値より小さい。

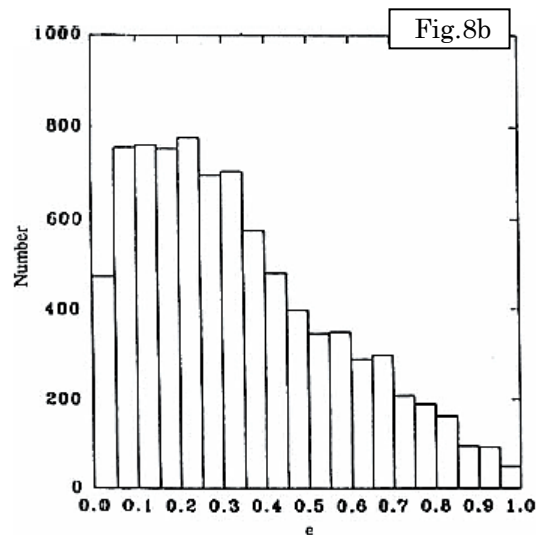
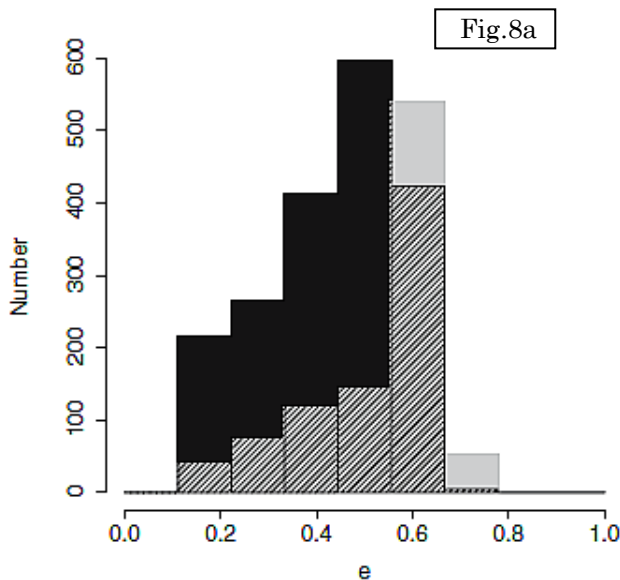
図8a シミュレーションでトロイダル付近を輻射点とする流星物質の離心率 e の分布。

黒は衝突可能性を考慮してウェイトをかけた分布。

観測データ (図8b, Jones and Brown (1993)) では円軌道に近いものが多い。

→シミュレーション結果のウェイトをかけたものは、ウェイトをかけないものと比較するとやや観測データに近い。

しかし、よく一致しているとは言えない。



結論

CMORカタログは流星群の性質に新しい情報をもたらした。ペルセウス座 ϵ 昼間流星群は96P/マックホルツ彗星と関連付けられた。4月うお座昼間流星群と5月おひつじ座南昼間流星群はみずがめ座 ι 南北流星群と関連付けることができた。小さい近日点距離と軌道長半径で軌道傾斜角の大きな多くの小流星群は、もっと大きな軌道長半径の彗星から放出された小さな流星物質がポインティング・ロバートソン効果と古在共鳴による進化によって生じたとして矛盾しないことが示された。これらの流星物質がトロイダルソースの一部となる、という印象を受けたが、これについてはさらに研究が必要である。

流星の短痕を測る

—イメージインテンシファイア付ビデオカメラの2点観測成果から迫る短痕の成長—

戸田雅之 * 山本真行 ** 重野好彦 ***

流星の短痕を測る

—イメージインテンシファイア付ビデオカメラの 2点観測成果から迫る短痕の発達・減衰過程—

戸田 雅之* 山本 真行** 重野 好彦***

(受領日:2010年4月28日、受理日:2010年6月13日)

* 日本流星研究会 流星痕同時観測(METRO)チーム
〒168-0063 東京都杉並区和泉 1-16-13
E-mail: *metrotokyo_masa_toda@yahoo.co.jp

** 高知工科大学 システム工学群
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口 185
E-mail: **yamamoto.masa-yuki@kochi-tech.ac.jp

*** 流星物理セミナー
〒211-0021 神奈川県川崎市中原区木月住吉町 5-6

要約: 流星出現直後にはごく稀に流星経路をなぞるように細い発光体が見える。それは短時間で減光し、形を変えながら消失する。これを流星痕と呼ぶ。流星痕の発生確率が最も高いのは毎年11月中旬に出現する「しし座流星群」である。我々はしし座流星群の2001年大出現で、イメージインテンシファイアを使用した流星の2点観測を実施した。動体検出ソフトウェアの使用により、動画から発光継続時間が短い流星痕(以下、短痕)を効率よく抽出できた。本研究では、しし座流星群に属する流星起源の短痕18例、しし群以外の流星起源の短痕8例、計26例の短痕を測定して発光高度と継続時間を求めた。その結果、(1)短痕は平均的に120 kmから96 kmの範囲で発光する。(2)短痕発生後、上端側は時間経過とともにその高度を直線的に徐々に低下させる一方で、下端側は母流星突入に伴い低高度側へ一気に成長し短痕長の最大を迎えた後、対数関数の漸近曲線的に上昇し、短痕消失直前には平均高度107 kmに収れんする。(3)短痕の継続時間は短いもので0.1秒、最長で5秒。(4)母流星絶対等級と短痕の継続時間に有意な相関がある。(5)短痕の継続時間はOI557.7 nm(励起状態特性寿命0.7秒)発光を仮定すれば説明できる可能性が高い、ことが分かった。

1. はじめに

流星発光直後の軌跡に、一般に1秒程度、時には1分、大変に稀な例では60分にわたり継続した発光が見られる。それを流星痕と呼ぶ。流星は瞬時の現象であり、いつどの方向に何等級の流星が出現するか予測するのは不可能である。このような流星の撮影は、基本的にはカメラを一定の天域方向に向ける待ち受け観測の手法がとられる。この場合はカメラの視野内に偶然入ってきた流星のみが解析対象となる。

流星痕はその発光時間長で短痕と永続流星痕に分けられる。継続時間が長いものを永続流星痕と

呼ぶ。永続流星痕の発生確率は非常に低い、観測の歴史は決して新しくない。永続流星痕のうち発光時間が非常に長いものは流星本体消失後でも十分に目撃可能であり、科学研究がなされる以前より謎の発光物体として市民によるスケッチや目撃記録等が残されている(戸田ら, 2004)⁽¹⁾。

Trowbridge (1907)⁽²⁾以降、眼視観測された流星痕の知見は時々学術論文として出版されてきた。母彗星の回帰にあわせ約33年おきに爆発的な出現を見せてきたしし座流星群と歩調を合わせるように永続流星痕の知見が増加し、観測機材も進化した。1966年の大出現では長沢(1978)⁽³⁾により

写真を用いた観測・研究が残された。2001年の大出現前後では前回出現時には存在しなかった高感度フィルムが活躍し、大勢のアマチュア天文家が流星痕撮影を行なった。一眼レフデジタルカメラ、イメージインテンシファイア（以下II）、冷却CCD等も流星痕観測にはじめて使われた。阿部ら(2005)⁽⁴⁾のしし座流星群の永続流星痕の分光観測論文では、1998年の観測では高感度フィルム、2001年の観測ではIIビデオによる結果が報告されており4年間の観測機材の進歩も反映されている。

2001年の大出現では観測手法でも特筆すべき変化があった。流星痕の良質かつ大量のデータ取得を目的に、戸田と山本は、流星痕同時観測キャンペーンを提唱した。日本のアマチュア天文家を主とする観測者の献身的な協力により2001年11月18日UTの極大夜の数時間で、国内各地で行われた写真撮影から永続流星痕40例以上の同時観測と100例以上の単独観測による人類観測史上最大の流星痕データを取得した(戸田ら, 2003)⁽⁵⁾。

この成果は流星痕画像カタログ論文(戸田ら, 2004, 比嘉ら, 2005)^(1,6)として結実した。そして永続流星痕の3次元構造解析と発光高度(山本ら, 2003)⁽⁷⁾をはじめ、しし座流星群永続流星痕の形状分類や、形態学・統計学的な解析と考察(比嘉ら, 2003)⁽⁸⁾を行い、さらに永続流星痕の観測条件や母流星の絶対光度別の形態分類も試みた(比嘉, 2006)⁽⁹⁾。

永続流星痕に対し、極めて短時間で消失する流星痕を短痕と呼ぶ。両者の発光過程は未だ完全には解明されていないため、本論文では便宜的に継続時間3秒をもって永続流星痕と短痕を区別する。短痕も視認可能であるが、出現後の撮影が著しく困難な対象として長らく解析の対象になり得なかった。2001年しし座流星群の大出現の夜に幸運にも捉えられた流星と同流星起源の短痕の写真撮影例を図1に掲載する。

日本では1980年代はじめに眼視の数万倍の感度を持つIIとビデオカメラ(以下IIビデオ)を用いた流星撮影が始められた。1980年代後半から熱心な流星観測者たちはIIビデオによる定常的流星観測を始めている。観測目的は暗い流星までを含む流星群の軌道計算の統計や回折格子を用いた分光観測、そして出現数のモニター観測である。軌道計算目的で数10km程度離れた2地点から同時撮影された動画像には、ときどき流星出現後の短痕も記録されていた。2001年しし座流星

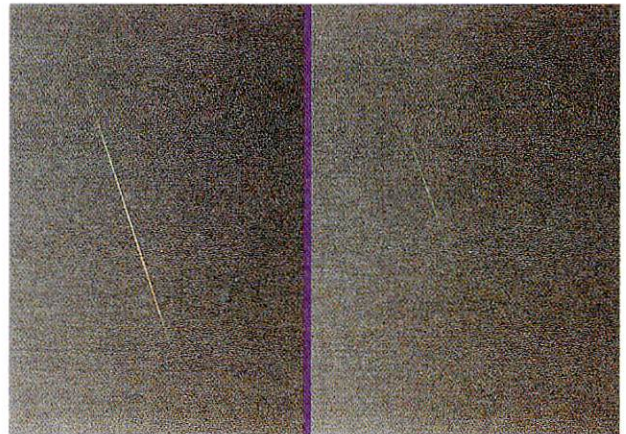


図1 しし座流星群の流星(左)と直後に出現した短痕(右)。流星は斜め左上から右下へ流れている。短痕は流星の光り始めの領域で残っている。2001年11月18日19時24分19秒UT(世界時)、ニコンF4s, 200 mm F2, シャッタースピード1秒、フィルム:フジ・スペリア1600, 撮影:戸田雅之。

群の極大夜に写真とIIビデオによる2点同時観測を実施した重野ら(2003)⁽¹⁰⁾はわずか数時間に100例以上の同時流星記録を得た。

我々は、流星観測が主目的のIIビデオ2点同時観測が流星出現から短痕の発達と消長までを切れ目無く捉えている点に注目した。これは流星の発光高度のみならず、短痕の発光高度や発達・減衰についても議論可能なことを意味する。軌道計算目的で撮影されたIIビデオによる2点観測動画アーカイブのうち、2001年しし座流星群の動画像に最新の動体検出ソフトウェアを適用し再解析した。極大時刻を含む約2時間の観測結果の再解析から26例の短痕を抽出した。本解析では、全ての母流星と短痕がビデオ観測の時間分解能を有している。2点同時観測が成立した流星は三角測量の応用で軌道計算や高度の算出が可能で、既に重野により流星の出現高度が計算済みであり、短痕の出現高度も詳細に算出可能である。

2. 観測

IIビデオカメラによる観測機器を群馬県赤城山麓(139°11' E, 36°28' N, 529 m)と埼玉県長瀨(139°06' E, 36°05' N, 230 m)の2点に設置した。観測地間の距離は43.2 kmである。対物レンズの焦点距離と明るさは85 mm, F1.2、視野は10.5度×8.5度。第2世代のIIにより光を約5万倍に増幅し、最微恒星等級は10等級である。

増幅された蛍光面を41万画素CCDカメラで撮

影し、Hi-8 ビデオテープに録画した。観測期間は 2001 年 11 月 18 日 17 時 14 分～20 時 17 分 UT(日本時間 11 月 19 日 2 時 14 分～5 時 17 分) の 183 分間。撮影された同時流星数 150 のうち 102 流星の軌道が求められた。このうち、しし座流星群は 35 流星。流星経路の平均誤差は 90 秒角であった(重野、重野ら, 2003)^(10, 11)。

この夜の眼視観測でしし座流星雨の極大が求められている。極大時刻は 11 月 18 日 18 時 17 分 UT(日本時間 19 日 3 時 17 分) で、理想条件下の時間流星数(ZHR)は 3120 ± 100 であった(小川・内山, 2002)⁽¹²⁾。

3. 流星痕の抽出

撮影済の動画像から流星や流星痕などのイベントを見つけ出すのは容易ではない。代表的な方法を 2 つ挙げる。

- (1) 1 人または数人で同じ動画像を見続けて流星を数え、流星痕が視認できたらコマ送りで抽出する。
- (2) 動体検出ソフトウェアを使用して流星や流星痕を抽出する。

最初の方法は手軽に始められる半面、流星や流星痕イベントを目視する人を長時間束縛する必要がある。しかも 1 回の目視では必ず見逃したイベントが発生する。何度も同じ動画像を見直した結果、1 回目の目視よりも必ずイベント数が増える。

(2) の方法では専用のビデオキャプチャーボードを搭載した PC に動体検出ソフトウェアのインストールが必要である。本研究ではシェアウェアの“UFOCapture”(SonotaCo, 2009)⁽¹³⁾を使用した。2004 年に誕生した UFOCapture は流星観測者とソフトウェア開発者の熱心なやり取りの結果バージョンアップが繰り返されている。2010 年現在、流星の動画観測分野では標準的に使われているソフトウェアで、流星や流星痕だけでなくレンズ前を横切ったものを設定された一定境界条件の下で自動的に抽出できる。

我々は当初から (2) の方法を採用した。Hi-8 ビデオテープに記録されたアナログ映像は、ビデオキャプチャーボードによる A/D 変換を介し、動体検出ソフト UFOCapture のインストール済 PC を経由して、標準動画形式 AVI ファイルに変換される。撮影領域内に何か動いた時刻の前後数秒間の動画のみが自動的に抽出・記録される。このままでは流星だけでなく、移動する雲、鳥や虫の飛来、霧を照らしたクルマのヘッドライト等も

記録される。最終的には AVI ファイルを再生して目視で流星と流星以外と仕分けしなくてはならない。その手間を含んでも UFOCapture の使用で流星と流星痕の抽出効率が格段に向上した。

AVI ファイルからビデオ時間分解能 (1/30 秒) で流星の位置測定をするため、フリーウェア“Bara-Baby AVI”を用いて 1 フレーム毎の静止画(BMP ファイル)に分割、さらにフリーウェア“IrfanView”を用いてデータ形式を BMP から低圧縮の JPEG に変換した。これは位置測定ソフトウェア“PicturePosition”(宮本 篤, 2004, private communication)で読み取り可能にさせるためである。PicturePosition を用いて、1300 フレームを超える短痕画像を丹念に 1 フレームずつ位置測定を行った。最終的に短痕の抽出と測定専用のソフトウェア開発に時間や労力を費やすことなく、シェアウェアおよびフリーウェアの活用で効率的に作業を実施できた。

解析では、183 分間のビデオテープから比較的流星の出現数が多い 18 日 17 時 48 分～19 時 48 分 UT(日本時間 2 時 48 分～4 時 48 分)の 120 分間を選んだ。77 流星が同時観測され軌道が計算されている。内訳はしし座流星群に属する流星が 29 例。しし座流星群以外の流星が 48 例であった(重野)⁽¹⁰⁾。

120 分間の動画から UFOCapture を使い、44 例の流星(しし座流星群に属する流星 29 例、しし座流星群以外の流星 15 例)を抽出し、うち 26 例が短痕を伴っていた。26 例中 18 例がしし座流星群起源の流星発光に伴う短痕で、残り 8 例はしし座流星群以外の流星(散在流星)を起源とする短痕であった。短痕を生じた流星をここでは母流星と呼ぶ。母流星と短痕の一覧表を表 1 に掲載する。

歴史的に永続流星痕や短痕は眼視観測者により目撃されている。短痕と永続流星痕をひとまとめにして有痕率(観測された流星数に対する痕を残した流星の比率)として記録されている。眼視観測に倣い、2001 年しし座流星群観測における II ビデオカメラ動画像から UFOCapture を用いて抽出した流星による有痕率を記すと、しし座流星群について $18/29 = 62.0\%$ 、しし座流星群以外では $8/15 = 53.3\%$ となった。

4. 短痕の発光高度とその変化

観測例として 2001 年 11 月 18 日 18 時 22 分 27 秒 UT に出現した絶対等級 -1.3 等級の流星出現 0.1 秒後から 2.4 秒後までの 0.1 秒毎の画像を図 2 に

表1 母流星と短痕一覧表。動体検出ソフト“UFOCapture”を用いて抽出した短痕と、短痕を発生させた母流星のデータ。左から番号、MSS-ID、年月日、出現時刻(UT)、しし群とその他の流星(散在流星)との区別、母流星の絶対光度、母流星の高度(発光点、消失点)、対地速度、短痕発生時の高度(上端側、下端側)、短痕長最大時の高度(上端側、下端側)、短痕消失直前の高度(上端側、下端側)。短痕発生時の流星出現および短痕出現からのフレーム数と経過時間、短痕最大時の流星出現および短痕出現からのフレーム数と経過時間、短痕消失直前の流星出現および短痕出現からのフレーム数と経過時間。なお[fr.]はビデオフレーム数である。表中の斜体数字は、母流星がカメラ写野の外から飛び込んだ時点、あるいは写野の外へ飛び出した時点における高度を示す。短痕長が短くかつ変化が無いものは短痕最大時の値に関してNo Record(-印)とした。

No.	MSS-ID	年月日 [UT]	流星 出現時刻 [hhmmss]	流星 群/ 散在	流星 絶対 光度 [Mag.]	流星 高度 [km]	流星 消失点 [km]	流星 速度 [km/s]	短痕発生時		短痕最大時		短痕消失直前		短痕発生時		短痕最大時		短痕消失直前							
									短痕 高度 [km]	短痕 高度 [km]	短痕 高度 [km]	短痕 高度 [km]	流星出現 時間経過 [fr.]	流星出現 時間経過 [s]	短痕出現 時間経過 [fr.]	短痕出現 時間経過 [s]	流星出現 時間経過 [fr.]	短痕出現 時間経過 [s]	流星出現 時間経過 [fr.]	短痕出現 時間経過 [s]						
1	MSSJBF	Nov.18,2001	174850	しし群	1.8	125.1	102-	70.4	122.4	120.6	120.0	102-	118.3	116.6	3	0.10	1	0.0	13	0.43	10	0.33	32	1.03	19	0.63
2	MSSJBI	Nov.18,2001	175254	散在	0.5	124.2	109-	68.2	120.5	119.9	118.1	109-	111.9	110.9	4	0.13	1	0.0	10	0.33	6	0.20	61	2.00	51	1.70
3	MSSJBL	Nov.18,2001	175928	しし群	0.0	111+	94.8	69.8	111+	110.6	111+	98.0	108.0	106.5	1	0.03	1	0.0	8	0.27	7	0.23	54	1.80	46	1.53
4	MSSJBO	Nov.18,2001	180640	しし群	0.3	107+	90.4	71.4	107+	106.5	107+	93.5	107+	106.3	3	0.10	1	0.0	11	0.37	8	0.27	38	1.27	27	0.90
5	MSSJBR	Nov.18,2001	181219	しし群	-0.9	129.4	112-	71.7	125.0	123.8	124.6	112-	115.2	112.2	4	0.13	1	0.0	10	0.33	6	0.20	46	1.53	36	1.20
6	MSSJBT	Nov.18,2001	181337	しし群	0.5	127.5	105-	71.5	126.3	125.7	120.1	105-	109.7	108.4	2	0.07	1	0.0	14	0.47	12	0.40	50	1.67	36	1.20
7	MSSJBU	Nov.18,2001	181717	しし群	-0.5	99+	88.2	70.2	99+	98.0	99+	88.6	98.2	97.1	3	0.10	1	0.0	8	0.27	5	0.17	39	1.30	31	1.03
8	MSSJBV	Nov.18,2001	181733	散在	3.9	117.8	97.9	64.6	113.6	111.2	-	-	107.0	104.9	6	0.20	1	0.0	-	-	-	-	9	0.30	3	0.10
9	MSSJBW	Nov.18,2001	181736	散在	3.6	114+	99.2	52.8	107.6	107.3	-	-	105.2	104.4	6	0.20	1	0.0	-	-	-	-	11	0.37	5	0.17
10	MSSJBX	Nov.18,2001	181827	しし群	0.3	155.7	122-	70.8	123.2	122.6	-	-	122.9	122-	13	0.43	1	0.0	-	-	-	-	16	0.53	3	0.10
11	MSSJBY	Nov.18,2001	181909	しし群	0.0	120+	92-	71.8	116.5	115.3	113.7	94.7	109.3	108.5	5	0.17	1	0.0	17	0.57	12	0.40	71	2.37	54	1.80
12	MSSJBZ	Nov.18,2001	181934	しし群	-6.3	123+	93-	71.2	123+	121.7	123+	93-	105.6	93.7	3	0.10	1	0.0	18	0.60	15	0.50	167	5.57	149	4.97
13	MSSJBa	Nov.18,2001	182137	しし群	-4.1	119+	111-	72.3	119+	118.3	119+	111-	114.7	112.0	3	0.10	1	0.0	9	0.30	6	0.20	92	3.07	83	2.77
14	MSSJBb	Nov.18,2001	182227	しし群	-1.3	120+	91.2	71.3	118.8	117.8	117.1	96.0	110.0	108.0	3	0.10	1	0.0	16	0.53	13	0.43	75	2.50	59	1.97
15	MSSJBe	Nov.18,2001	182610	しし群	-3.3	173+	128-	71.8	153.8	153.0	141.0	128-	128.6	128-	14	0.47	1	0.0	26	0.87	12	0.40	80	2.67	54	1.80
16	MSSJBg	Nov.18,2001	182822	しし群	2.6	105.8	91.0	70.3	102.2	99.5	101.8	95.5	100.6	100.0	5	0.17	1	0.0	7	0.23	2	0.07	17	0.57	10	0.33
17	MSSJBp	Nov.18,2001	184245	散在	2.7	119.1	99.2	62.7	118.3	117.7	113.3	97.1	106.4	104.8	2	0.07	1	0.0	12	0.40	10	0.33	38	1.27	26	0.87
18	MSSJBq	Nov.18,2001	184556	しし群	-0.6	137.3	113-	71.5	126.7	124.7	124.7	113-	115.0	113-	8	0.27	1	0.0	14	0.47	6	0.20	73	2.43	59	1.97
19	MSSJBs	Nov.18,2001	184835	しし群	2.9	129.1	106-	71.4	118.4	117.8	114.5	107.0	111.4	110.0	8	0.27	1	0.0	15	0.50	7	0.23	31	1.03	16	0.53
20	MSSJBx	Nov.18,2001	185700	散在	3.6	117.5	101-	64.2	113.1	111.7	109.7	102.0	109.3	107.3	5	0.17	1	0.0	11	0.37	6	0.20	27	0.90	16	0.53
21	MSSJC1	Nov.18,2001	185824	しし群	-2.4	158.3	114-	71.4	136.3	133.7	126.5	114-	117.7	114-	13	0.43	1	0.0	21	0.70	8	0.27	84	2.80	63	2.10
22	MSSJC8	Nov.18,2001	191124	散在	3.4	95+	86.6	51.5	94.9	94.2	-	-	94.0	90.0	3	0.10	1	0.0	-	-	-	-	7	0.23	4	0.13
23	MSSJCJ	Nov.18,2001	192537	しし群	-7.3	141+	113-	69.5	141.0	139.7	134.3	113-	115.5	114.6	3	0.10	1	0.0	17	0.57	14	0.47	137	4.57	120	4.00
24	MSSJCM	Nov.18,2001	193204	散在	4.1	113.1	102.6	54.3	107.6	107.3	-	-	106.3	104.6	5	0.17	1	0.0	-	-	-	-	12	0.40	7	0.23
25	MSSJCR	Nov.18,2001	194517	散在	4.2	121.7	103-	71.9	120.6	119.6	-	-	106.7	105.4	2	0.07	1	0.0	-	-	-	-	10	0.33	8	0.27
26	MSSJCT	Nov.18,2001	194643	しし群	-3.4	107+	93-	70.8	107+	105.1	107+	93.0	105.4	104.9	4	0.13	1	0.0	13	0.43	9	0.30	88	2.93	75	2.50
				しし群 (n=18)	-1.17	133.5	91.1	71.1	125.9	119.7	121.7	95.8	112.1	107.1		0.18				0.46		0.28		2.33		1.88
			平均値	散在 (n=8)	3.25	118.9	97.1	61.3	112.0	111.1	113.7	99.6	105.9	104.0		0.14				0.38		0.27		0.73		0.50
				全体 (n=26)	0.17	127.3	94.1	68.1	120.3	117.1	120.0	96.5	114.3	110.2		0.17				0.43		0.28		1.62		1.29

示す。画像上では測定した短痕の上端側を○で、下端側を×で示した。流星出現後 0.5 秒後までは流星本体の発光と短痕が写っている。×印よりも低高度側の光芒は流星本体によるものである。下端側の位置測定では出現 0.2 秒までは流星の尾(wake)と呼ばれる部分との区別は難しいので、便宜的に流星本体の光芒の最後端を測定した。

短痕の出現から消失までの全てのフレームを測定したところ、短痕は以下のような時間経過をたどることがわかった。

- (1)短痕出現・成長
- (2)短痕長の最大
- (3)短痕の減衰と消失

すなわち、流星本体の高度低下に伴い短痕発光領域の下端側は急激に伸長していく。しかし、流星本体発光の消失後は短痕発光領域の下端側が上端側に向かって徐々に短縮していく。

短痕の発生から消失までの時間経過 (1) ~ (3) の間、緩慢かつ一定な高度低下を示す上端高度に比べ、高度変化が顕著なのは下端高度である。(1) から (2) にかけて流星本体発光中は短痕の下端

高度は流星本体の発光領域 (つまり流星物質の放出・散逸域) に大きく依存する。その後 (2) から (3) の間、短痕の最大伸長時から減衰・消失にかけて短痕の下端高度は上端側に向かって上昇・収れんするような動きを示す。

図 3 (a) ~ (e) に、流星本体の発光高度と短痕の上端高度と下端高度の時間変化の詳細を示す。母流星の発光から消失、そして短痕の出現から消失までの全経過が撮影画面内に収まった 5 例である。図 3 (a) ~ (d) にはしし座流星群による 4 例の時間変化を、図 3 (e) にはしし座流星群以外による 1 例の時間変化を示す。図 3 (a) は 2001 年 11 月 18 日 18 時 22 分 27 秒 UT に出現したしし座流星群の流星に伴う短痕 (分割した静止画を図 2 に示した) の発光高度の上端と下端の時間変化である。

短痕長最大時の上端高度と下端高度について述べる。II ビデオカメラ動画像の観測視野内に短痕長最大時の上端高度と下端高度が同時に撮影されているのは 6 例 (しし座流星群: 4 例、しし座流星群以外: 2 例)。上記 6 例と下端高度側のみ撮影

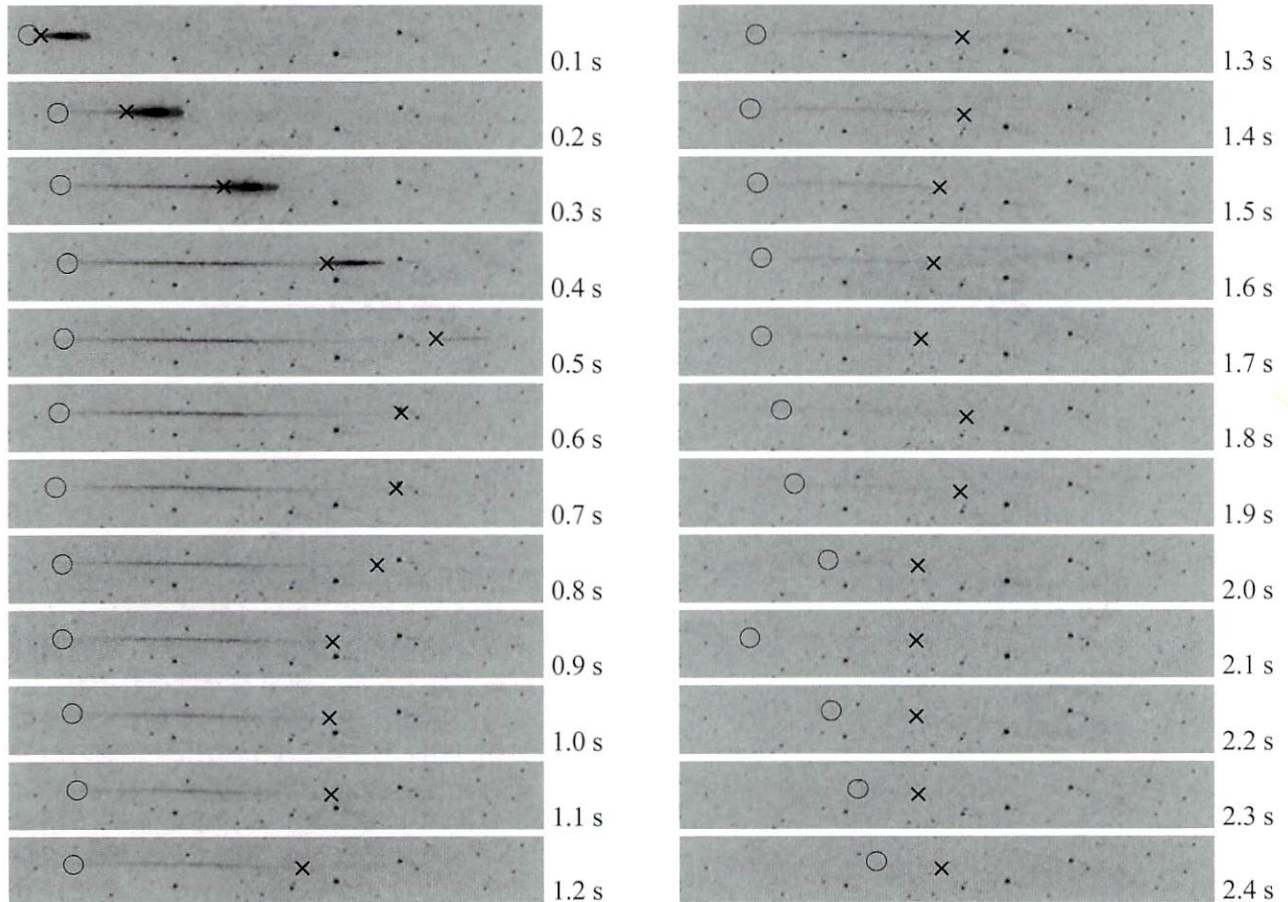


図 2 2001 年 11 月 18 日 18 時 22 分 27 秒 UT に出現したしし座流星群に属する流星と短痕。出現 0.1 秒後から 2.4 秒後まで 0.1 秒ごとの画像。流星は画像の左側から右側に流れた。○は短痕の上端側、×は短痕の下端側の測定点を示す。短痕の下端側に 0.1 秒から 0.5 秒にかけて見られる光芒は流星本体。

されている4例(しし座流星群:4例、しし座流星群以外:0例)を加えた10例(図4)を用いて短痕長最大時の上端高度と下端高度を求めた。上端高度平均は111.6 km、下端高度平均は96.4 kmである。一方、永続流星痕の発光高度は山本ら(2005)⁽¹⁴⁾の統計によれば、平均的に100.2 km ~ 86.3 kmの範囲に発光しており、今回調査している短痕に比べ有意に低高度域に位置する。

短痕の消失直前の収束領域の高度について述べる。短痕消失直前時の高度は、その時点の上端高度と下端高度の計測値の平均である。これは短痕

26例全体で平均すると107 km。しし座流星群の短痕では18例の平均で109 km、しし座流星群以外の短痕では8例の平均で106 kmであることがわかった。加えて、しし座流星群の母流星絶対等級平均は18例平均で-1.2等、しし座流星群以外の母流星絶対等級は8例平均で3.3等であった。母流星の絶対等級と消失直前時の短痕高度(図5)に示すように、それぞれ、高度109 km付近と高度106 km付近にまとまりが見られた。

なお、高度の計測誤差は流星本体で $\pm 0.2 \sim 0.3$ km(戸田ら, 2005)⁽¹⁾であり、流星痕の測定誤差も

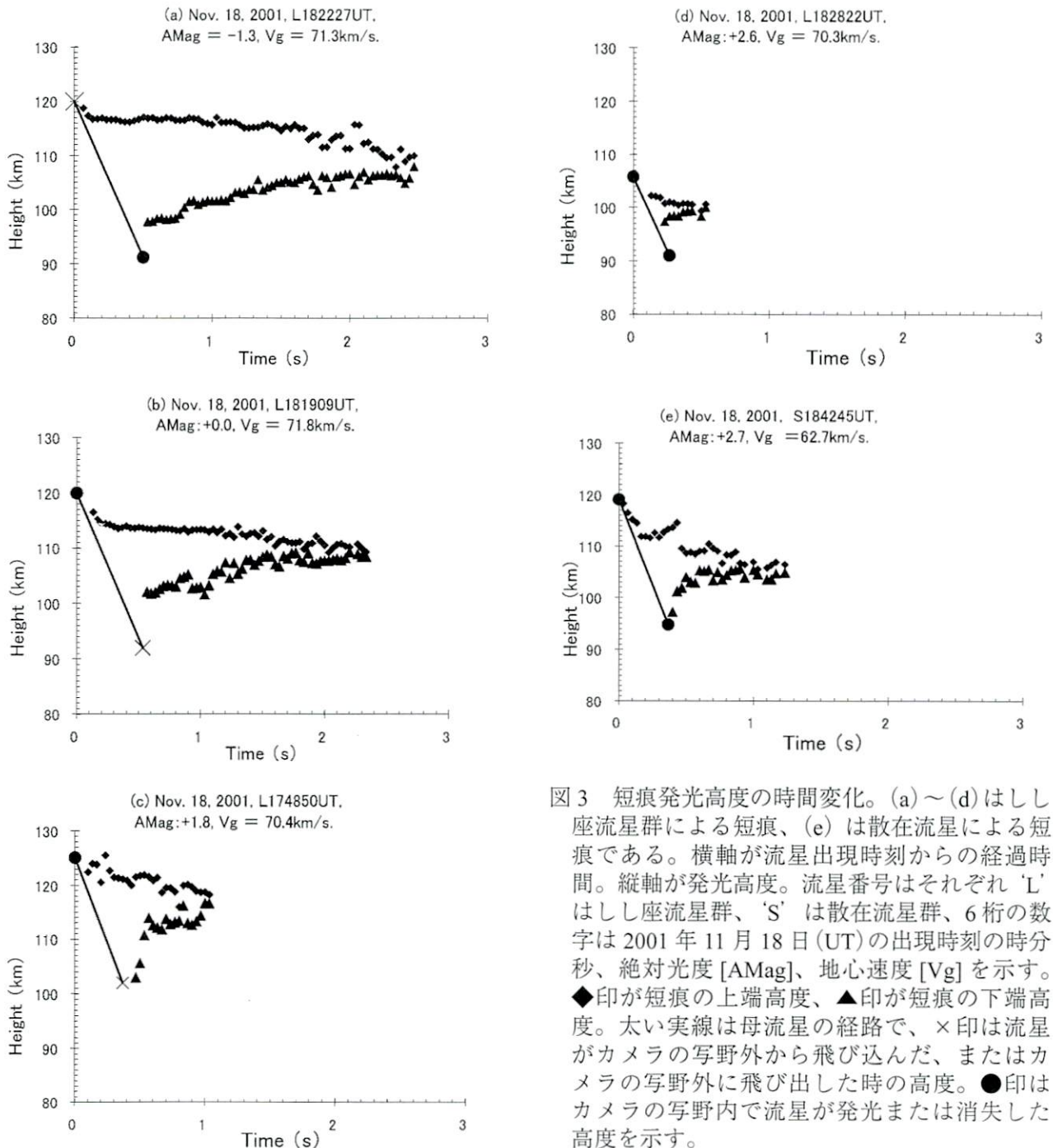


図3 短痕発光高度の時間変化。(a)~(d)はしし座流星群による短痕、(e)は散在流星による短痕である。横軸が流星出現時刻からの経過時間。縦軸が発光高度。流星番号はそれぞれ'L'はしし座流星群、'S'は散在流星群、6桁の数字は2001年11月18日(UT)の出現時刻の時分秒、絶対光度[AMag]、地心速度[Vg]を示す。◆印が短痕の上端高度、▲印が短痕の下端高度。太い実線は母流星の経路で、×印は流星がカメラの写野外から飛び込んだ、またはカメラの写野外に飛び出した時の高度。●印はカメラの写野内で流星が発光または消失した高度を示す。

これに準ずる。

5. 短痕の継続時間と母流星の絶対等級

歴史的に永続流星痕や短痕は眼視観測者により目撃され、短痕と永続流星痕をひとまとめにして有痕率（観測された流星数に対する痕を残した流星の比率）として記録され、流星群による有痕率の違いと組成の問題が推論されてきた。明るい流星ほど有痕率が高いことは眼視観測の結果よく知られている。母流星絶対等級と短痕の継続時間に高い相関があることが予想されたので、今回のデータにおいて関連を調べた。

母流星の光度の議論には、観測地と流星との距離に依存しない絶対等級（観測者の上空 100 km に流星が出現した理想的条件に換算した等級）を用いる。等級は、恒星画像について閾値以上の輝度を持つ領域の大きさとカタログ等級との相関から本観測画像上での光度を算出し、母流星の光度については更に角速度補正を行った。これに加え、流星までの距離が 100 km になるよう補正し母流星の絶対等級を得た(重野・戸田, 2008)⁽¹⁵⁾。

短痕の出現時刻から消失直前までを短痕の継続時間とした。さらに短痕の消失直前の中央高度

短痕最大伸長時の上端高度と下端高度と母流星絶対等級
Upper and Lower Height of Short-duration Meteor Train at the Maximum
with respect to Absolute Magnitude of Parents Meteor

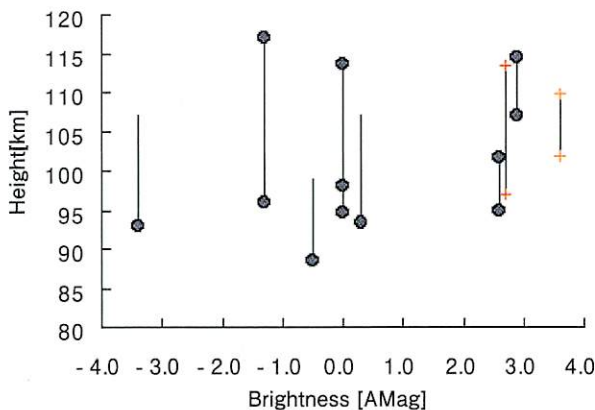


図4 短痕最大伸長時の上端高度と下端高度と母流星絶対等級。縦軸は高度 [km]、横軸は短痕を生成した母流星の絶対等級 [AMag]。黒丸はしし座流星群、+印はしし座流星群以外。短痕最大時において上端および下端高度の双方とも II ビデオカメラ視野内にあるものと、下端高度が II ビデオカメラ視野内にあるものを用いた。2つの黒丸およびプラス印を細い線で結んだものは同一短痕の上端高度と下端高度である。細線が途中で切れているのはカメラ視野外を示す。

を調べた。中央高度はその時点における上端高度と下端高度の平均である。継続時間の議論では短痕の出現と消失が視野内に収まる例のみを使用した。測定例の内訳はしし座流星群が 8 例、しし座流星群以外が 8 例の合計 16 例である。母流星の

流星の絶対光度と消失直前時の短痕高度
Height Distribution of Short-duration Meteor Trains just before Disappearance
with respect to Absolute Magnitude of Parent Meteors

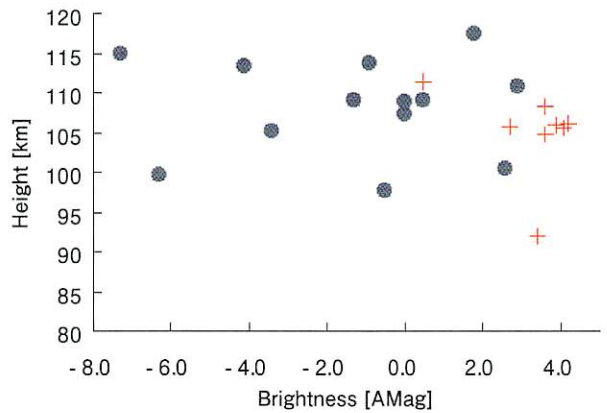


図5 消失直前の短痕平均高度と母流星絶対等級。縦軸は消失直前の短痕の上端と下端の平均高度 [km]、横軸は短痕を生成した母流星の絶対等級 [AMag]。黒丸はしし座流星群、+印はしし座流星群以外。26例のうち消失直前の短痕の上端および下端高度の双方とも II ビデオカメラ視野内にあるものを用いた。

母流星絶対等級と短痕の継続時間の相関
Absolute Magnitude of Parent Meteors with respect to
Duration Time of Short-duration Meteor Trains

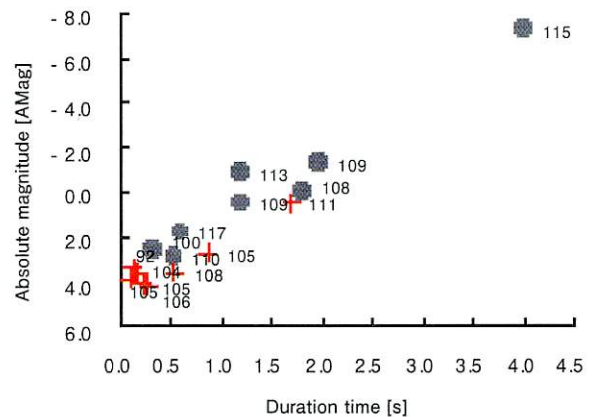


図6 母流星絶対等級と短痕の継続時間。縦軸は母流星の絶対等級 [AMag]、横軸は短痕の継続時間 [s]。黒丸はしし座流星群、+印はしし座流星群以外。26例のうち消失直前の短痕の上端および下端高度の双方ともカメラ視野内にあり高度が求められた例をプロットした。隣に付した数字は短痕の消失直前時点での上端高度と下端高度との平均高度。

絶対光度と短痕の継続時間には明らかな相関が見られた。すなわち、しし座流星群に属する流星だけでなく、他の流星も母流星絶対等級が明るければ短痕の継続時間も長くなる(図6)。

母流星の発光継続時間が短痕の発光継続時間に影響を及ぼすだろうか? 流星の継続時間を求めるには、母流星の発光から消失まで撮影画面内に収まった例を使う。しし座流星群4例としし座流星群以外2例の合計6例とデータ数が少ない点是否めないが、わずかながら相関が見られた。それ以上に、母流星の発光継続時間よりも母流星絶対等級の明るさが、短痕の継続時間の長さに貢献しているように見える(図7)。この件については今後のデータの蓄積でより明確にしたい。

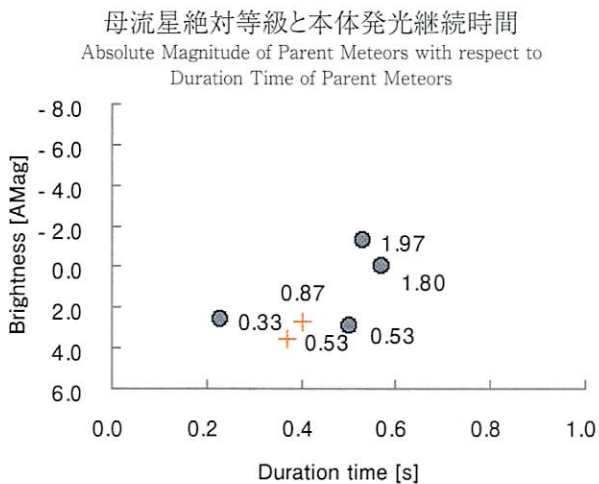


図7 母流星絶対等級と本体発光継続時間。縦軸は短痕を生成した母流星の絶対等級 [AMag]、横軸は母流星本体の発光継続時間 [s]。黒丸はしし座流星群、+印はしし座流星群以外。26例のうち母流星の発光と消失の双方がIIビデオカメラ視野内にあるものを用いた。プロット印の隣の数字は短痕の発生から消失までの継続時間 [s]。

6. 議論

IIは光増幅に蛍光面への電子の衝突を利用する性格上、視野内を明るい光点が通過すると残光が残ることがあり、今回の短痕の測定のように継続時間の短い対象においては注意を要する。流星本体通過直後の短痕の下端側では特に残光の影響を受けやすいとも考えられる。そして毎秒71 kmの速度を持つしし座流星群ではビデオ時間分解能1/30秒をもってしても、コマ送りの静止画面中に本体を静止させることは出来ない。流星本体や光芒

が1/30秒間に移動した分だけ伸びて記録される。実際には1/60秒の偶数、奇数の各フィールドによるインターレースを採用しているビデオ記録方式による影響も見られる。今回の解析では図2で示すように、流星本体の光芒の外側を短痕の下端高度として測定出来ているため、残光の影響は予想されるほど大きくなく、測定誤差の要因にはなり得ない。経路途中で爆発的に発光する例においても、該当高度での残光の影響は測定に影響を与えるほどには見られなかった。

短痕の発光は波長557.7 nmの中性酸素原子(OI)と考えられ、阿部ら(2005)⁽⁴⁾により報告されている貴重な1例の分光観測解析でも永続流星痕高度より明らかに上空で、少しの間残る発光成分は557.7 nmのみであった。OI(557.7 nm)の励起状態特性寿命は0.7秒とされている(NIST Atomic Spectra Database Line Data)⁽¹⁶⁾。今回の26例(しし座流星群18例、散在流星8例)の短痕発光継続時間はほとんど1秒以上であり、3秒以上発光が認められた例もある。MSX衛星による研究例(Carbary et al., 2003)⁽¹⁷⁾でも3秒程度の発光が報告されている。

我々の結果は分光観測でないため、発光成分が557.7 nmでない可能性や557.7 nm以外の成分が同時に含まれる可能性を否定するものではない。そして、OIの励起状態特性寿命は短痕発光の継続時間に直接対応していない。むしろ流星通過後には加熱された中性大気分子・原子やプラズマが発生するため、中性酸素原子へのエネルギー供給が少しの間続けば発光がより長く継続すると考えられる。

我々のデータから、短痕を生成した母流星絶対等級と短痕の継続時間との相関を見いだした(図7)。母流星の絶対光度が暗いと短痕の継続時間が短く、その逆だと短痕の継続時間は長くなる。それは今回観測された短痕を生成した母流星の殆どに当てはまる。

流星から短痕・永続流星痕にいたる過程について述べた先行研究がある(例えば阿部ら, 2002, Borovička, 2006)^(18,19)が、短痕について発光高度・継続時間・時間変化について踏み込んだ記述はあまり無い。我々はしし座流星群の2001年大出現における短痕の発光高度と時間変化についてまとめた。これは光学観測で世界初の試みである。特に短痕の上端側と下端側で発光の減衰または発光高度幅の収れんする特性が明らかに異なる様子は興味深い。上端が時間に対し1次関数的なのに対

し、下端は対数関数的に変化するように見える。

また短痕最大時の下端高度で高度 88 km 以下での発光例が無い事実も興味深い (図 4)。流星物質が軌跡上に等方密度拡散すると仮定すれば、面積拡散により $1/t^2$ に比例するが、高度方向に指数関数的に異なる背景大気密度の変化により OI 発光の励起状態特性寿命 0.7 秒以内に励起状態の酸素原子が周辺大気分子と衝突再結合して発光出来なくなる (クエンチング) 確率は上空になるほど少なくなる。

OI 557.7 nm はオーロラグリーンラインの発光として良く知られているが、オーロラ粒子の降り込みに対しても通常 100 km 以上でしか発光出来ない。本研究により得られた高度分布の時間変化は OI 557.7 nm の発光として説明でき、大気化学においても重要な示唆に富む。電波観測では Chapin and Kudeki (1994) ⁽²⁰⁾ が 1990 年 8 月にペルーのヒカマルカ (Jicamarca) 電波観測所にて流星ヘッドエコー観測を行い、詳細なエコー特性を報告している。彼らの論文中的エコー特性図 (Chapin and Kudeki (1994) ⁽²⁰⁾ Fig.4 参照) と我々の求めた短痕の上端側発光高度とその時間変化 (図 3) とは一見よく似た傾向を示しており興味深い。光学観測で記録された短痕は中性の酸素原子 (OI) と考えられ、レーダーエコーとして検出出来るのは流星物質が高温で解離・電離した結果のプラズマであり、両者は明確に異なる。しかしながら高度 110 km 付近では電離大気と中性大気はお互いの衝突によりほぼ同じ動きをしており、関連性の研究は興味深い。

今後の発展形として過去 16 年にわたり重野により蓄積された良質な II ビデオアーカイブスを用いて、しし座流星群だけでなくペルセウス座流星群、ふたご座流星群などの安定した出現が観測された流星群で、短痕発光高度および時間変化の特性を統計的に明らかにしたい。また国内流星観測者による過去データを探索 (データマイニング) すれば、滋賀県信楽の京都大学 MU レーダーと I I ビデオの同時観測など電波観測との比較を議論できる例を見いだせる可能性もある。

7. 結論

まとめとして、II ビデオカメラにより流星雨出現の夜に計画的に 2 点同時観測された良質な流星観測画像データから、連続する 2 時間に記録された 26 例の短痕と母流星のデータを抽出した。得られた知見を以下まとめると、

- (1) 短痕の発光高度の経時変化を精密に測定した。短痕は平均的に高度 111.6 km から 96.4 km の範囲で発光し、その高度は時間経過とともに消失直前には高度 107 km 付近に収れんするように変化することが確認された。
- (2) 母流星絶対等級と短痕継続時間には高い相関があることがわかった。母流星絶対等級の値に関わらず短痕発光は高度 107 km 前後で収束することもわかった。
- (3) 短痕上端の高度変化は直線的かつ緩慢で、下端高度の変化は時間経過につれて対数関数的かつ漸近的に上昇することがわかった。これらは OI 557.7 nm 発光の大気依存とクエンチングで説明出来そうであることが示唆された。
- (4) 本研究は OI 557.7 nm 禁制線発光過程の経時変化を知る貴重な観測であると言えるだろう。

謝辞

本稿の改訂にあたって査読者として有益なコメントをくださった長妻 努氏 (情報通信研究機構) と渡部潤一氏 (国立天文台) に感謝する。本報告をまとめるにあたり、阿部新助氏 (国立中央大学・台湾)、前田幸治氏 (宮崎大学)、鈴木 智氏 (日本流星研究会)、春日敏測氏 (西オントリオ大学・カナダ)、石原良明氏 (国立天文台)、比嘉義裕氏 (日本流星研究会) より貴重なコメントをいただいた。本研究は平成 19 年度の文部科学省科学研究費補助金 (奨励研究) 「流星出現直後に発生する短痕の研究」 (課題番号 19914025、研究代表者: 戸田) と国立天文台共同研究費 (研究代表者: 山本) の成果の一部である。

文献

- (1) M. Toda, M.-Y. Yamamoto, Y. Higa, and J.-I. Watanabe, "Catalogue of Persistent Trains I : Meteor Train Images during 1986-1997 and the Development of an Optimum Observation Technique," Publ. Natl. Astron. Obs. Japan, Vol.7, 53-66, 2004.
- (2) C. C. Trowbridge, "Physical nature of meteor trains," Astro Phys. J., Vol.26, 95-116, 1907.
- (3) K. Nagasawa, "Analysis of the spectra of Leonids meteors," Tokyo University Tokyo Astronomical Observatory Annals. Second Series, Vol. 16, No.

- 4, 157-187, 1978.
- (4) S. Abe, N. Ebizuka, H. Murayama, K. Ohtsuka, S. Sugimoto, M.-Y. Yamamoto, H. Yano, and J.-I. Watanabe, J. Borovička, "Video and Photographic Spectroscopy of 1998 and 2001 Leonid Persistent Trains from 300 to 930nm," *Earth, Moon, Planets*, Vol.95, 265-277, 2004.
- (5) M. Toda, M.-Y. Yamamoto, Y. Higa, and M. Fujita, "Meteor train observation (METRO) campaign in Japan I : Evolution of the campaign and observation results during 1998-2001," *Inst. Space Astro. Sci. Rep. SP*, Vol.15, 229-236, 2003.
- (6) Y. Higa, M.-Y. Yamamoto, M. Toda, K. Maeda, and J.-I. Watanabe, "Catalogue of Persistent Trains II : Images of Leonid Meteor Trains during the METRO Campaign 1998-2002," *Publ. Natl. Astron. Obs. Japan*, Vol.7, 67-131, 2005.
- (7) M.-Y. Yamamoto, M. Toda, Y. Higa, M. Fujita, "METRO campaign in Japan II : Three-dimensional structures of two Leonids meteor trains in early stage," *Inst. Space Astro. Sci. Rep. SP*, Vol.15, 237-244, 2003.
- (8) Y. Higa, M. Toda, M.-Y. Yamamoto, M. Fujita, S. Suzuki, K. Maeda, and Y. Ishizuka, "METRO campaign in Japan III: High-resolution images obtained in the campaign and morphology of the meteor train," *Inst. Space Astro. Sci. Rep. SP*, Vol.15, 242-252, 2003.
- (9) 比嘉義裕, "流星痕の輻射点高度別および母流星絶対光度別形態分類," *天文月報*, 2006年7月号, 400-401 ページ.
- (10) 重野好彦, "軌道要素と輻射点一覧表 (Orbital elements of all meteors)," (URL = <http://meten.net/meteor>).
- (11) Y. Shigeno, H. Shioi, T. Shigeno, "Radiants and orbits of 2001 Leonids," *Inst. Space Astro. Sci. Rep. SP*, Vol.15, 237-244, 2003.
- (12) H. Ogawa and S. Uchiyama, "The 2001 Leonids meteor storm over Japan," *WGN*, Vol. 29, 206-213, 2001.
- (13) SonotaCo, "A meteor shower catalog based on video observation in 2007-2008," *WGN*, Vol. 37, No.2, 55-62, 2009.
- (14) M.-Y. Yamamoto, M. Toda, Y. Higa, K. Maeda, and J.-I. Watanabe, "Altitudinal Distribution of 20 Persistent Meteor Trains: Estimates Derived from METRO Campaign Archives," *Earth, Moon, Planets*, Vol.95, 278-288, 2005.
- (15) Y. Shigeno and M. Toda, "Comparison of TV magnitudes and visual magnitudes of meteors," *WGN*, Vol. 36, No.4, 79-82, 2008.
- (16) National Institute of Standards and Technology, "Atomic Spectra Database Line," (URL = http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html).
- (17) J.F. Carbary, D. Morrison, G.J. Romick, and J.-H. Yee, "Leonid meteor spectrum from 110 to 860 nm," *Icarus*, Vol. 161, 223-234, 2003.
- (18) 阿部新助, 矢野 創, 海老塚昇, 春日敏測, 杉本雅俊, 渡部潤一, "流星に生命の起源を求めて," *天文月報*, 2002年11月号, 515-528 ページ.
- (19) J. Borovička, "Meteor Trains – Terminology and Physical Interpretation," *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, Vol. 100, 194-198, 2006.
- (20) E. Chapin and E. Kudeki, "Rader interferometric imaging studies of long-duration meteor echoes observed at Jicamarca," *J. Geophys. Res.*, Vol.99, No.A5, 8937-8949, 1994.

Measuring of short-duration meteor trains: altitude distribution of luminescence by double-station meteor observation with image intensified video cameras

Masayuki Toda*, Masa-yuki Yamamoto**, and Yoshihiko Shigeno***

(Received : April 28th, 2010, Accepted : June 13th, 2010)

*Team of the METRO / Nippon Meteor Society
1-16-13 Izumi, Suginami, Tokyo 168-0063, JAPAN
E-mail: metrotokyo_masa_toda@yahoo.co.jp

**Faculty of Engineering, Kochi University of Technology
185 Miyanakuchi, Tosayamada, Kami, Kochi 782-8502, JAPAN
E-mail: yamamoto.masa-yuki@kochi-tech.ac.jp

***Meteor Science Seminar
5-6 Kizuki-Sumiyoshi, Nakahara, Kawasaki, Kanagawa 211-0021, JAPAN

Abstract: Just after appearing of meteors, faint illuminating trails can rarely be seen along their trajectories. The luminescence, so-called meteor trains, rapidly disappear with changing their shapes in the sky. Meteor shower with the most frequent appearance rate of meteor trains is "Leonid." In 2001, during an encounter of Leonid meteor storm in Japan, double-station observation of meteors was carried out by using image-intensified (I.I.) video cameras. Purpose of the I.I. video observation was to obtain precise trajectory parameters of Leonid meteors, however, many video clips of meteors with meteor trains of short duration within 3 s (short-duration meteor trains, hereafter) were found. By using a motion-detection software, 26 short-duration meteor trains (18 examples of Leonids as well as 8 of sporadic meteors) were successfully picked out, deriving altitude distribution of short-duration meteor trains. As a result, (1) short-duration meteor trains averagely appeared between 120 km and 96 km altitude, (2) altitude distribution of short-duration meteor trains averagely changes in time to be finally centered at around 107 km, with having linear dependence for their upper limit altitudes as well as logarithmic dependence for lower limits, (3) duration time of short-duration meteor trains was in a range between 0.1 s to 5 s, (4) high correlation between absolute magnitudes of parent meteors and duration time of short-duration meteor trains, and (5) the altitude distribution of short-duration meteor trains could be explained with OI 557.7 nm luminescence and collision (quenching) process with surrounding upper atmosphere.

木星での流星

田部一志、三品利之、米山誠一、山崎明宏、立川正之、青木和夫、市丸雅行、渡部潤一

Summary

2010年8月20日18h22m12s 木星面での位置 $CM2=159^\circ$ 地理緯度 $+21.1^\circ$ に閃光。
継続1.3秒 最大光度 6.2 ± 0.1 等 温度 4300-4400K impactor の大きさ 4.2m以下

Introduction

木星に天体が衝突する現象は、1979年3月、1994年7月、2009年7月、2010年6月に観測された。(Cook and Duxbury 1981, Sanchez-Lavega et al 2010, Hammel et al. 2010, Hues et al. 2010)

SL-9を除いて impactor が何か判っていない。

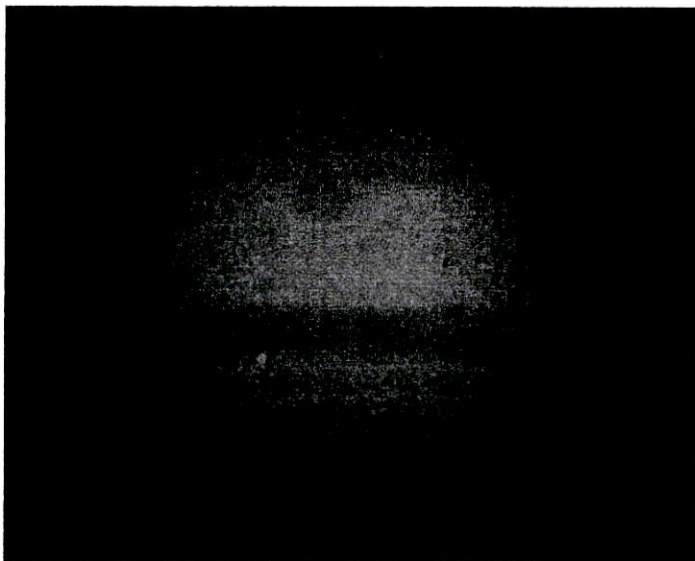
Observation and reduction

日本で Amateur Astronomer 3名が撮影に成功。

2010年8月20日18h22m12s (UT)

Observer	Location	Telescope	Camera
Masayuki Tachikawa	Kumamoto City, Kumamoto	15cm Refractor	Phillips Toucam2
Kazuo Aoki	Setagaya, Tokyo	22.5cm Schmidt-Cassegrain	Phillips Toucam2
Masayuki Ishimaru	Toyama-city, Toyama	12.5cm Refractor	DFK21AU04

3名の観測者+遅れて報告のあった、和歌山県有田市の〇市も観測していたことが判明。
直線距離 熊本-世田谷 880 km 熊本-富山 730 km 世田谷-富山 240 km



2010 Aug.20 18h22m12s(UT)
 $CM1=336.7$ $CM2=165.2$
Masayuki Tachikawa, Kumamoto

This image shows south is up.

パララックスが無いので木星表面での閃光と断定できる。

3つの観測の中で最も SN の良い M.Tachikawa の画像を測定

1 最大光度の決定

方法

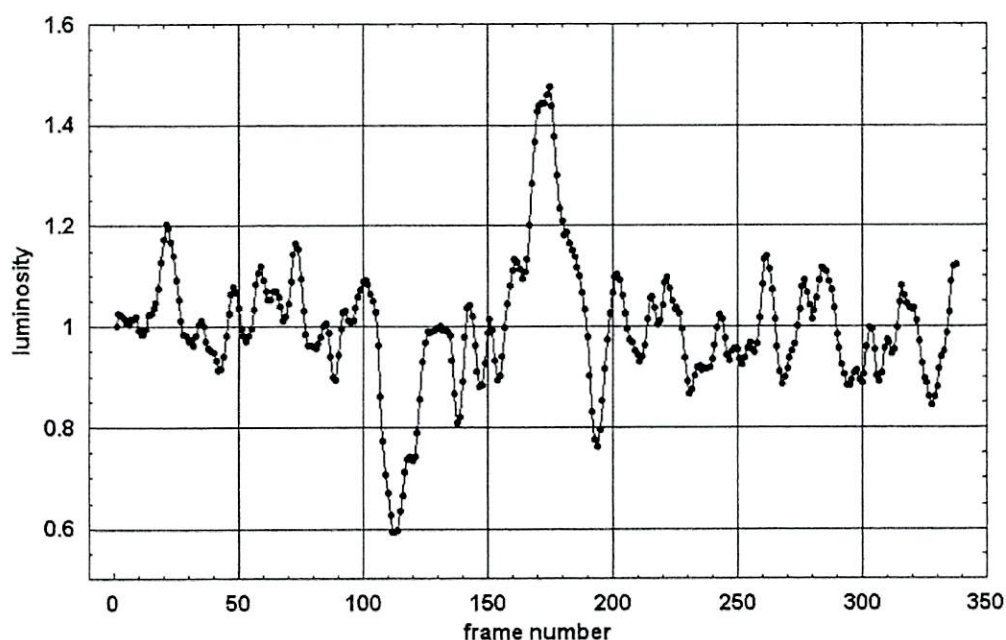
測定は下記の3画像を使用しています。

- フレーム番号 732 1枚の BMP 画像
- フレーム番号 730~734 をスタック処理のみした画像
- フレーム番号 730~734 をスタック処理+wavlete 処理した画像

測定方法の概要は下記のとおりです。

- ステライメージを使用
- 前回の木星面輝度測定と同様の方法で、輝点左右の表面輝度を測定。その中間値を発光点の表面輝度に採用。
また、その点の輝度を 4.95 等/arcsec² に設定。
- 発光点をピクセル半径 3 画素(37 ピクセル)で測定。
下記の値を引いた値を、火球の総光量とした。
 - ・ ダーク部分の平均輝度(37 ピクセル換算値)
 - ・ 木星表面輝度(37 ピクセル換算値)
- 火球の総光量を、表面輝度(4.95 等/arcsec² に相当する光量)で輝度比を算出して、4.95 等を基準に等級を算出した。
- 結果は、6.1~6.3 等 (6.2 等±0.1 等)

2 光度曲線



3 温度

RGB の強度から 4300-4400K (Hueso et al 2010 の結果と奇しくも一致する。)

Result

m_{∞} : 衝突天体の質量 V : 衝突速度 (64 k m/s)

τ : 発光効率 = 5.4×10^{-6} [mag kg⁻¹ m⁻² s³]

I: 火球の絶対光度 (100 k m, 0mag の倍数)

$$m_{\infty} = \frac{2}{\tau V^2} \int I_{PR} dt$$

64 k m/s は Cook and Duxbury (1981) より

同じ計算方法で推定した値 (1, 4, 5) 参考値 (SL-9, 2009 年の痕跡のみのイベント)

	衝突日時	観測者	絶対等級(100k m)	質量	密度(仮定)	直径	Reference	備考
1	1979 年 3 月 5 日	Voyager 1	-12.5 等	11kg	2g/cm ³	0.2m	Cook and Duxbury 1981	火球
2	1994 年 7 月 19 日	OA0				<1000m	Watanabe et al 1993	SL-9
3	2009 年 7 月 23 日	-	-	-	2.5g/cm ³	200-500m	Orton et al 2011	痕跡のみ
4	2010 年 6 月 5 日	Go and Wesley	-25.2 等	$5 \times 10^5 \sim 2 \times 10^6$ kg	2g/cm ³	8~13m	Hueso et al 2010	火球
5	2010 年 8 月 20 日	立川、青木、市丸	-22.4 等	7.6×10^4 kg	2g/cm ³	4.2m	This work	火球

5 のイベントは、地球からの光点の明るさ 6.2 等級 (1 秒間) = -22.4 等級 (100 k m) (木星-地球の距離 4.1006AU) I= 8.50×10^8 [mag 秒]

RGB 分解による温度の推定 4400K (くしくも Hueso2010 と同じ)

Reference

Cook A.F. and Duxbury T.G. 1981 JGR 86,8815-8817

Hammel H.B. and 11 authers 2010 ApJ 715 L150-L154

Hueso R. and 16 authers 2010 ApJ 721 L129-L133

Orton G.S. and 26authers 2011 Icaus 211 587-602

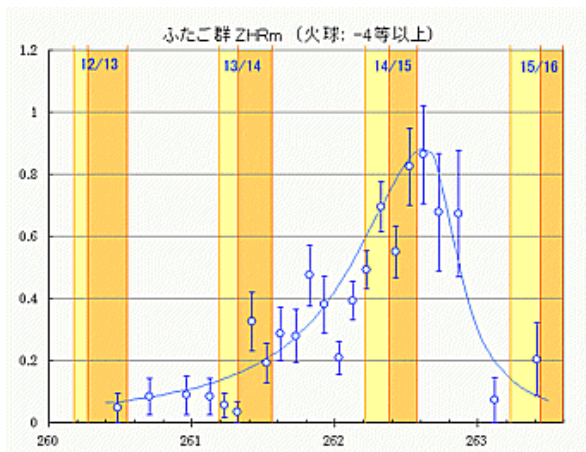
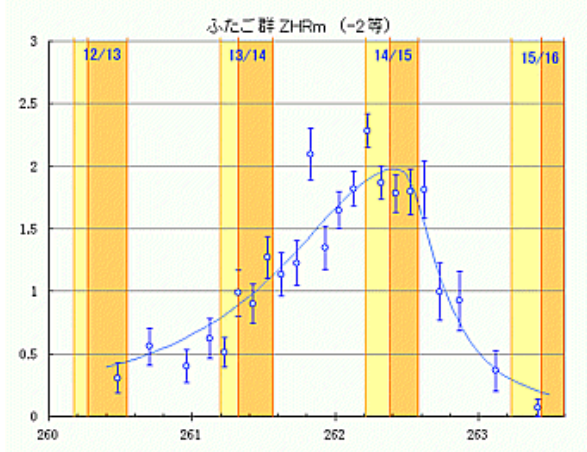
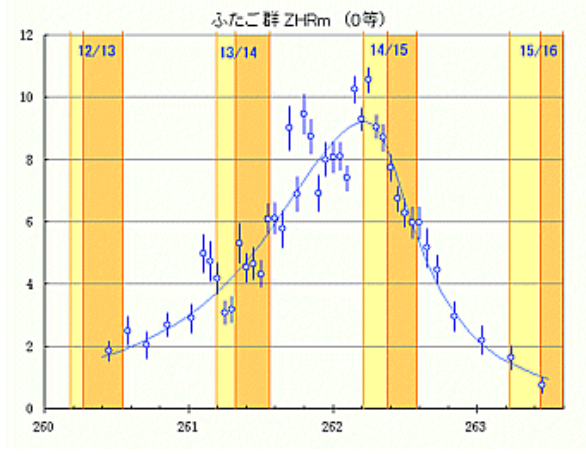
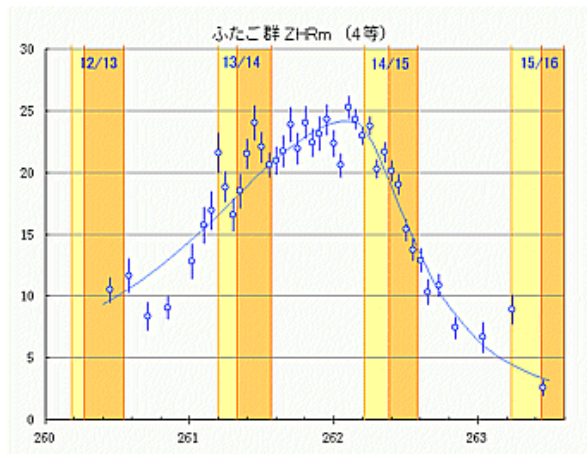
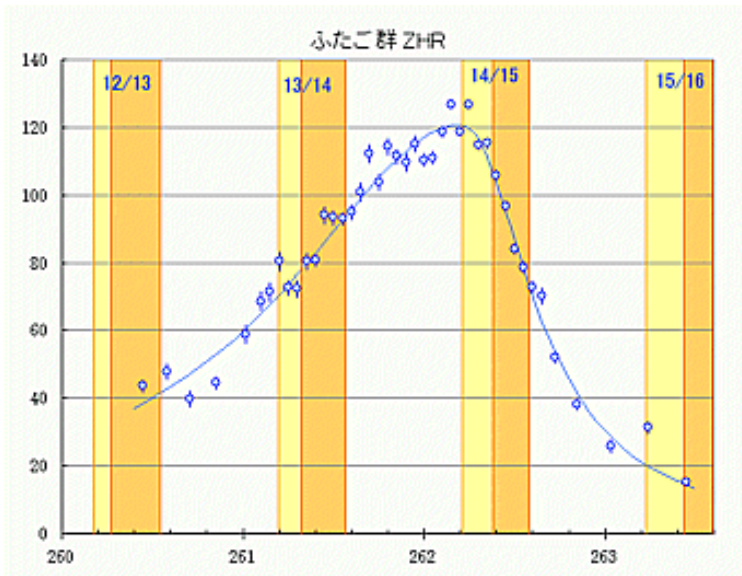
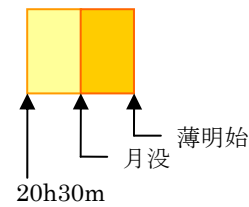
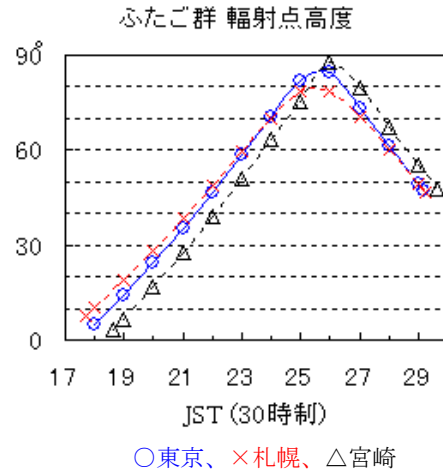
Sanchez-Lavega A. and 15 authers 2010 ApJ 715 L155-L159

Watanabe J.,Hirota Y., and Abe,M 1994 PASJ 46, L1-L4

2010年のふたご座流星群の観測条件

内山茂男

	薄明終了	月没	薄明開始
12月 12/13日	17h58m	22h41m	5h13m
13/14日		23h37m	
14/15日		0h32m	
15/16日	18h00m	1h29m	5h14m



2010年のオリオン座流星群

佐藤 幹哉 (NAOJ・NMS・FAS)

【概要】

2006年に活発化したオリオン座流星群は、その後筆者の研究により、約3千年前に母天体であるハレー彗星から放出し、木星と1:6の平均運動共鳴下にあるダストが形成するダスト・トレイルが、地球軌道と接近して引き起こされていることが判明した。このダスト・トレイルとの接近期間は2006～2010年であり、今年がラストチャンスとなる。

【ダストの分布】

右図は、ダスト・トレイル理論によって計算されたオリオン座流星群に関与するダストの分布である。

2006～2010年の期間で、ダストが地球軌道と交差していることがわかる。2011年には地球に接近するダストはほとんどなく、一連の活発化は本年が最後と推測される。

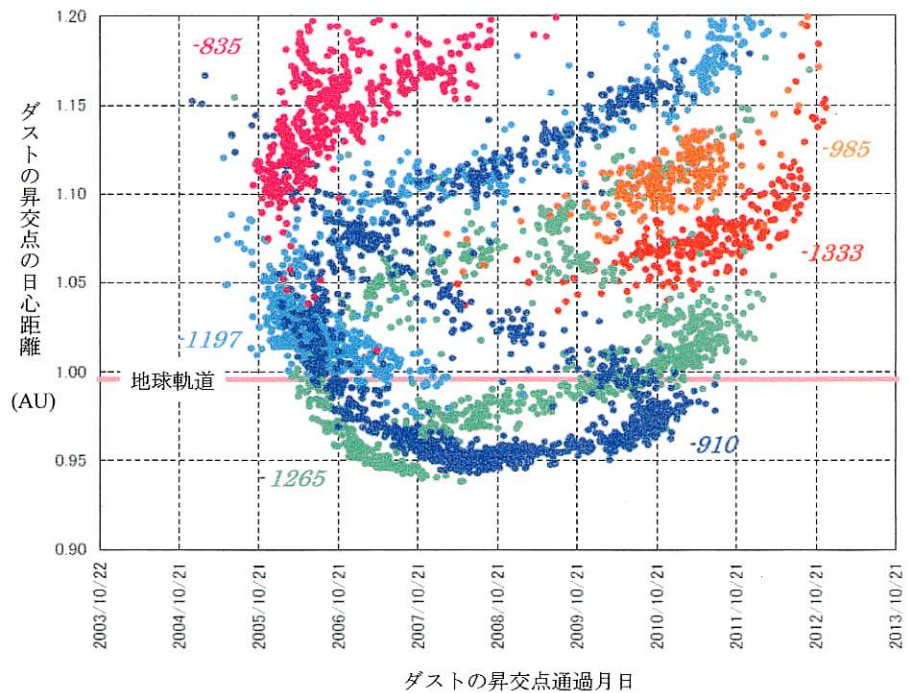


図 オリオン座流星群のダストの分布

【太陽黄経分布】

地球と0.02AUまで接近するダストについて、その太陽黄経分布を右下図に図示した。

また矢印はIMOの集計において、ZHRが30を超えた期間である。

全体的な傾向はよく合っているが、必ずしも一致しているとは限らない。これは、計算できているダストよりもさらに古いダストの影響が考えられる。

このシミュレーションからは、下表の通り、2種類のピークが予測されるが、実際にはこの2つのピークの間も活発化は継続し、なだらかなピークが数日間継続すると推測される。

表 ダスト・トレイルとの接近期間

ダスト 放出年	ダスト・トレイルとの接近期間	
	太陽黄経	日時(日本時)
-1265年	206.8~207.7	10月20日 20時~21日 18時
-910年	209.9~211.5	10月24日 8時~25日 13時

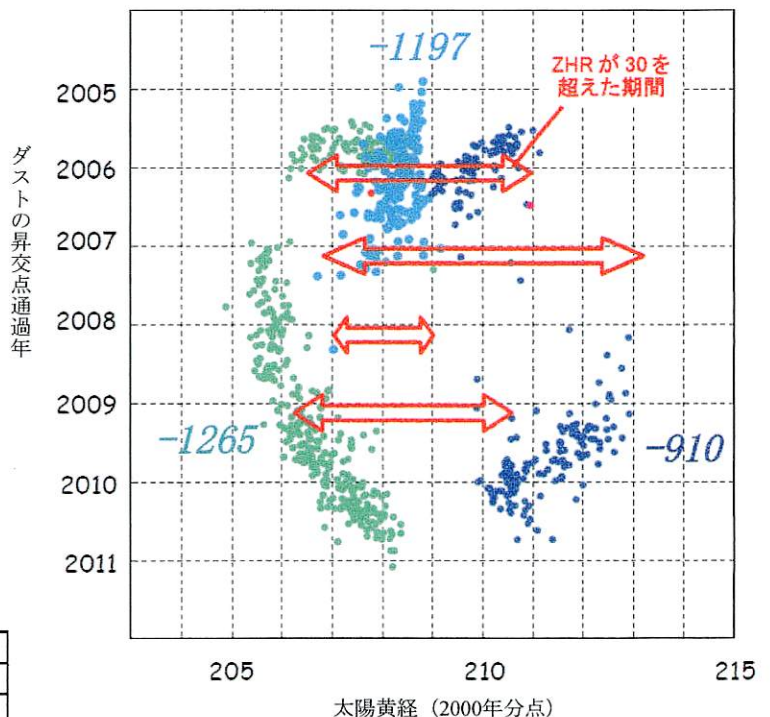


図 地球と0.02AUまで接近するダストの太陽黄経分布

2011年の10月りゅう座流星群(ジャコビニ群)

佐藤 幹哉 (NAOJ/NMS/FAS)、渡部 潤一 (NAOJ/NMS)

【概要】

2011年には、10月りゅう座流星群、いわゆるジャコビニ群の突発出現が予報されている。この現状について、ダスト・トレイル理論によるピーク予報研究、および出現規模の予測研究について紹介する。

【2011年のダスト・トレイルの状況】

2011年には、1880年～1913年のダスト・トレイルが地球軌道付近に分布する。とりわけ、1887年と1900年放出のダスト・トレイルは、0.001AU以内まで地球軌道に接近し、活発な出現が期待される。

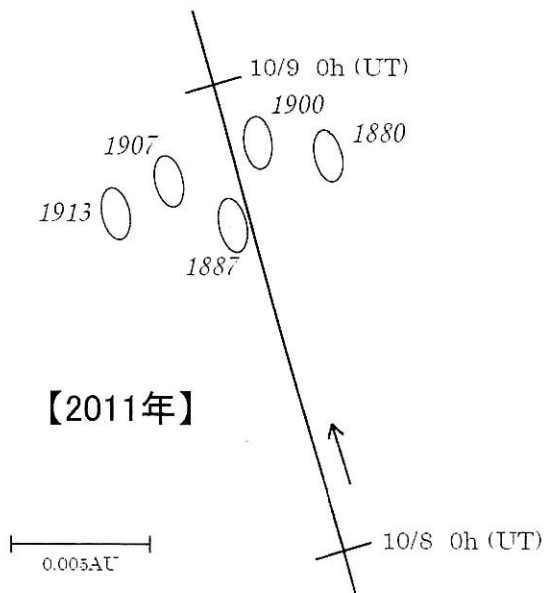
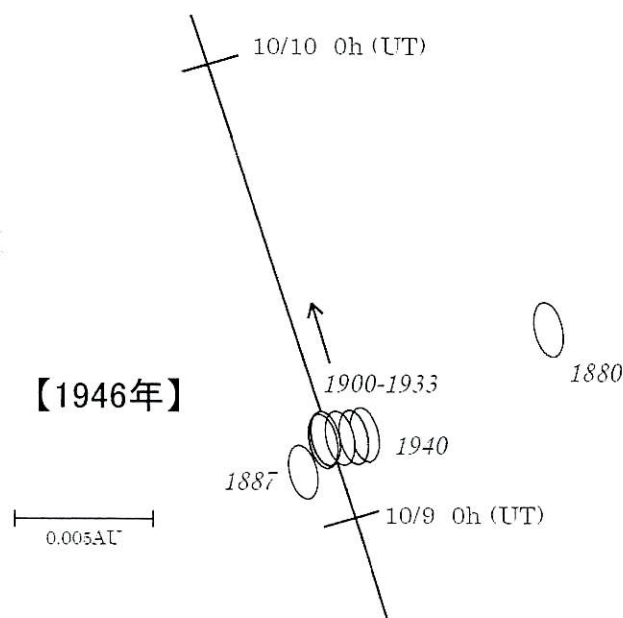
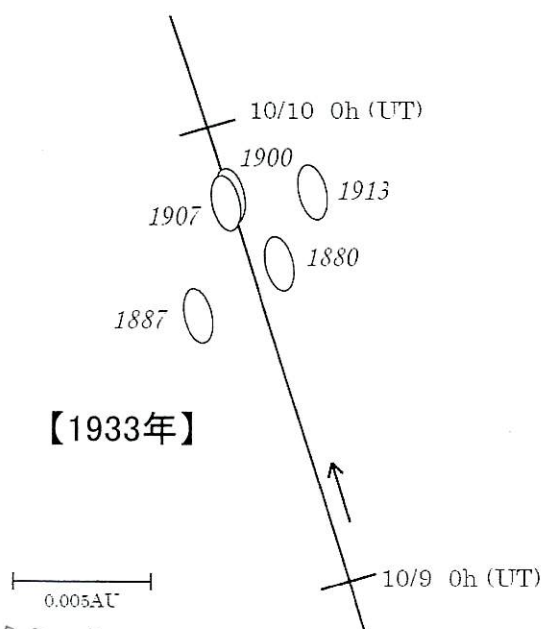


表 2011年のダスト・トレイルのデータ

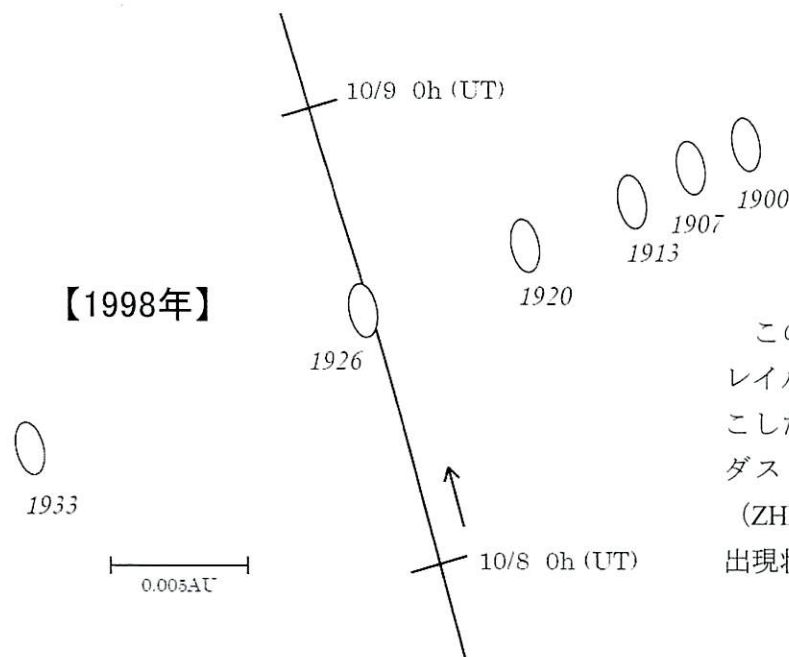
トレイル 放出年	日付 (UT)	期待される極大		LS (2000.0)	Δr (AU)	放出 速度 (m/s)	fM	予報 放射点位置		Vg (速度) (km/s)
		時刻 (UT)	時刻 (JST)					α (deg.)	δ (deg.)	
1880	2011/10/08.79	19:04	10/09 04:04	194.991	+0.0033	+2.99	0.0068	263.09	+55.75	20.80
1887	2011/10/08.71	17:05	10/09 02:05	194.909	-0.00071	+1.68	0.0070	263.26	+55.30	20.74
1900	2011/10/08.86	20:36	10/09 05:36	195.054	+0.00097	+6.78	0.049	263.22	+55.81	20.89
1907	2011/10/08.83	19:59	10/09 04:59	195.029	-0.0024	+8.82	0.060	263.37	+55.67	20.94
1913	2011/10/08.79	19:04	10/09 04:04	194.991	-0.0046	+9.50	0.064	263.50	+55.58	20.96

【過去のダスト・トレイルの状況】

過去、ジャコビニ群は、1933、1946、1985、1998年に突発出現を記録している。これらの状況は以下の通りであった（なお、1985年はうまくフィットできるダスト・トレイルが無い）。



2010.7.3 or 10
 2010.7.11
 2009.7.5
 2008.7.6



このうち1998年は、1926年のダスト・トレイル一本が深く関与して、突発出現を起こしたことが判明した。したがって、このダスト・トレイル分布と実際の観測結果（ZHR）を基準として、1933年、1946年の出現状況を検討することにした。

表 過去の大出現時における起因と推測されるダスト・トレイルのデータとZHR

出現年	トレイル 放出年	期待される極大		LS (2000.0)	Δr (AU)	放出 速度 (m/s)	fM	ΣfM	ZHR
		日付 (UT)	時刻 (UT)						
1933	1907	10/09.84	20:08	197.002	-0.00015	+18.58	0.27	0.47	10,000±2,000
	1900	10/09.85	20:23	197.012	+0.00072	+12.94	0.20		
1946	1933	10/10.16	03:44	196.991	+0.00090	+1.94	0.51	1.71	12,000±3,000
	1926	10/10.16	03:46	196.992	+0.00074	-0.78	0.34		
	1913	10/10.17	03:58	197.000	+0.00027	+2.34	0.22		
	1907	10/10.17	04:05	197.005	-0.00019	+2.24	0.21		
	1920	10/10.17	04:05	197.006	-0.00039	+0.89	0.26		
1998	1900	10/10.17	04:11	197.009	-0.00024	+1.38	0.17		
1998	1926	10/08.56	13:19	195.083	-0.00020	+11.08	0.17	0.17	600

【過去の出現状況のフィッティング】

1933年は2本、1946年は6本のダスト・トレイルが0.001AU以内に接近し大出現に深く関与した。これらのダスト・トレイルはほぼ重なっているため、それぞれのfM値を合算し、1998年の出現と比較した。この結果、単純な換算fM値の総和を用いると、1933年、1946年ともZHR値が低く換算された（下図の左）。

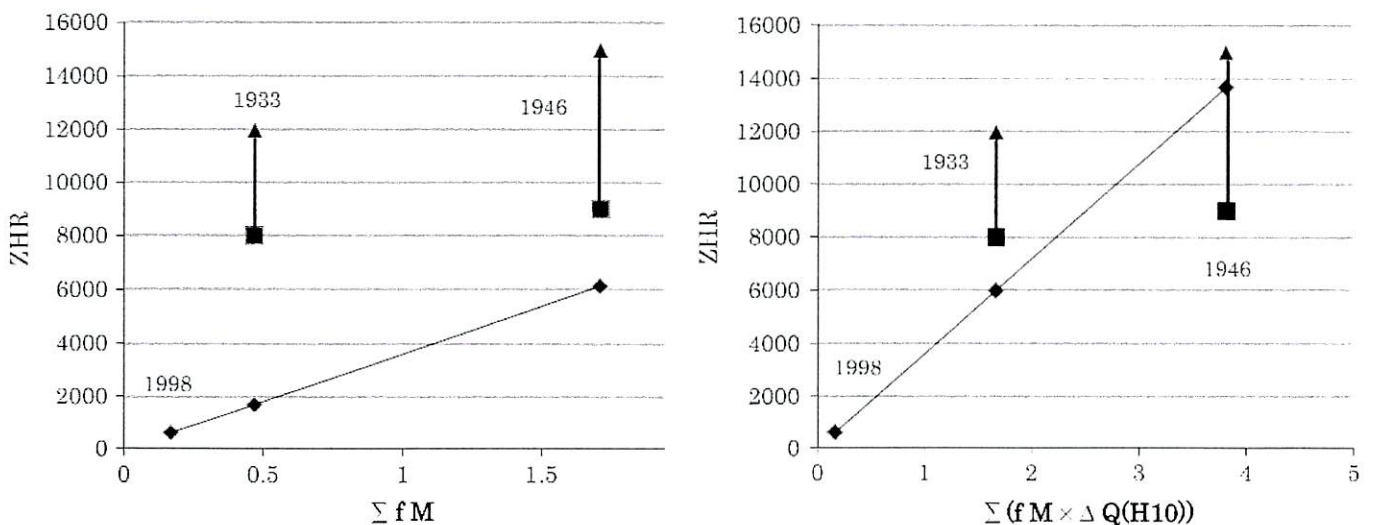


図 fM値の総和とZHRの関係

※左図はfM値の総和そのままとの比較、右図は彗星活動を考慮した修正fM値の総和との比較

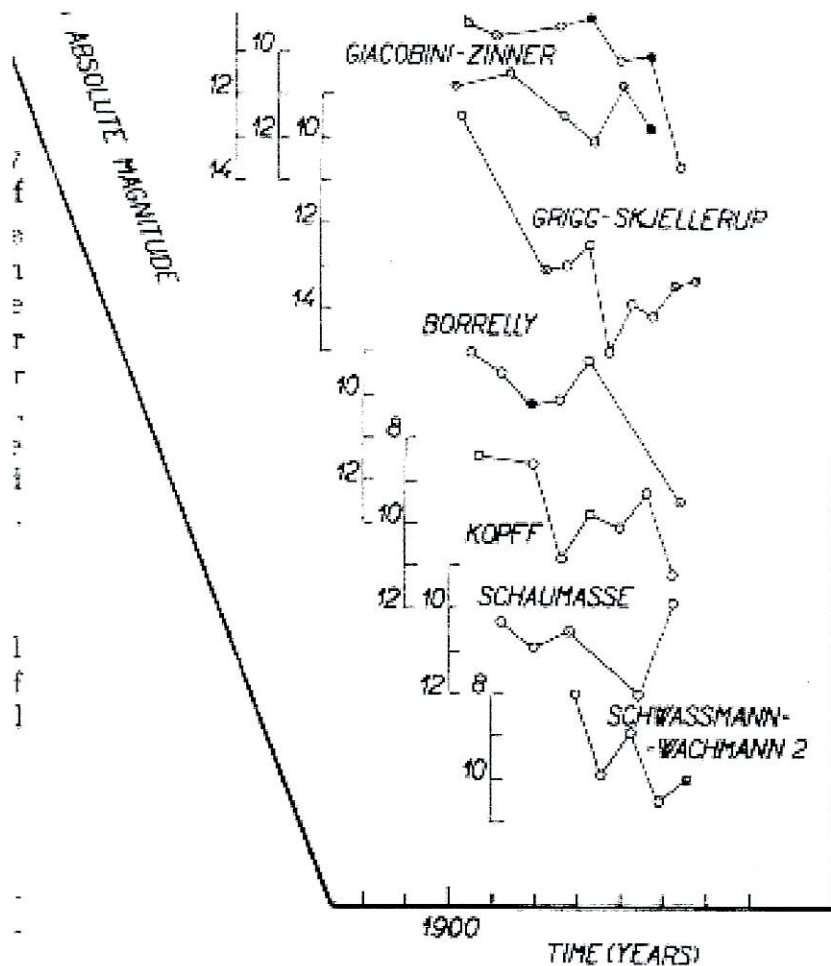


図 周期彗星の標準光度の推移
 ※Sekanina (1964)

表 母天体の標準光度と修正fM値

出現年	トレイル 放出年	fM	Σ fM	H10	CfM	Σ CfM
1933	1907	0.27	0.47	(10.5)	1.07	1.67
	1900	0.20		10.8	0.6	
1946	1933	0.51	1.71	12.0	0.51	3.81
	1926	0.34		12.0	0.34	
	1913	0.22		10.2	1.14	
	1907	0.21		(10.5)	0.83	
	1920	0.26		(11.4)	0.45	
	1900	0.17		10.8	0.54	
1998	1926	0.17	0.17	12.0	0.17	0.17
2011	1887	0.007	0.47	(10.8)	0.021	(74)
	1900	0.049		10.8	0.147	(519)

そこで、放出年における母天体の活動度を考慮することを検討した。それには、各年の標準光度を用いてこれを活動度に換算し、fM値を修正を試みることにした。

まず、1926年の母天体は、標準光度が暗く、活動度が低いことが伺われた。これを元に修正したfM値(CfM)と、その総和を表にまとめた。

これを用いた結果は前図の右である。その結果、完全ではないものの、修正前(図の左)と比較して、出現数(ZHR)について、はるかに良く表現できることがわかった。

なお、母天体が観測されていない回帰については、前後の回帰時の値を平均した。

【2011年の出現状況の推測】

この結果を用いて、2011年のZHRを推測すると、1887年と1900年のダスト・トレイルの総和として、ZHRは約600と推測された。ちなみに、1887年は発見前のため、1900年の彗星活動度を同じと仮定している。論文時は、この値のみ使用したが、1887年と1900年のダスト・トレイルは、極大時刻が数時間ずれているので、これを考慮し、個々に求めると、1887年がZHR=約70、1900年が約520となる。

1900年のダスト・トレイルの方は、出現は確実であり、出現規模も大きいと予想される。一方、前者のトレイルは出現規模は小さいと見積もられるが、母天体発見前に放出されて形成されたダスト・トレイルであり、その観測は（サイエンスの観点から）興味深い。

なお、今回の研究では、異なる放出速度の状況でのダストの放出具合が考慮されていない。また、近日点距離の差も影響する可能性がある。

※ここまでの内容（の一部）は、以下の論文に発表済みである。

“Activities of Parent Comets and Related Meteor Showers“

Watanabe J., Sato M. 2008

Earth, Moon, and Planets, Volume 102, Issue 1-4, pp. 111-116

【日本での観測条件】

日本では、1887年トレイルの極大（9日2:05）は、夜であるが、放射点は極めて低い（東京4.8度、稚内13.7度）。1900年トレイルの極大（9日 5:36）は、東日本では日の出直前、西日本でも薄明中であり、放射点は超低空または地平線下であり、事実上観測不可能である。

なお、当日は明るい月があり条件が悪い。

（ただし、日本で理観測することにおいては、深夜過ぎとなり、かなり月が西に傾くため、月明かりの影響は軽減される）

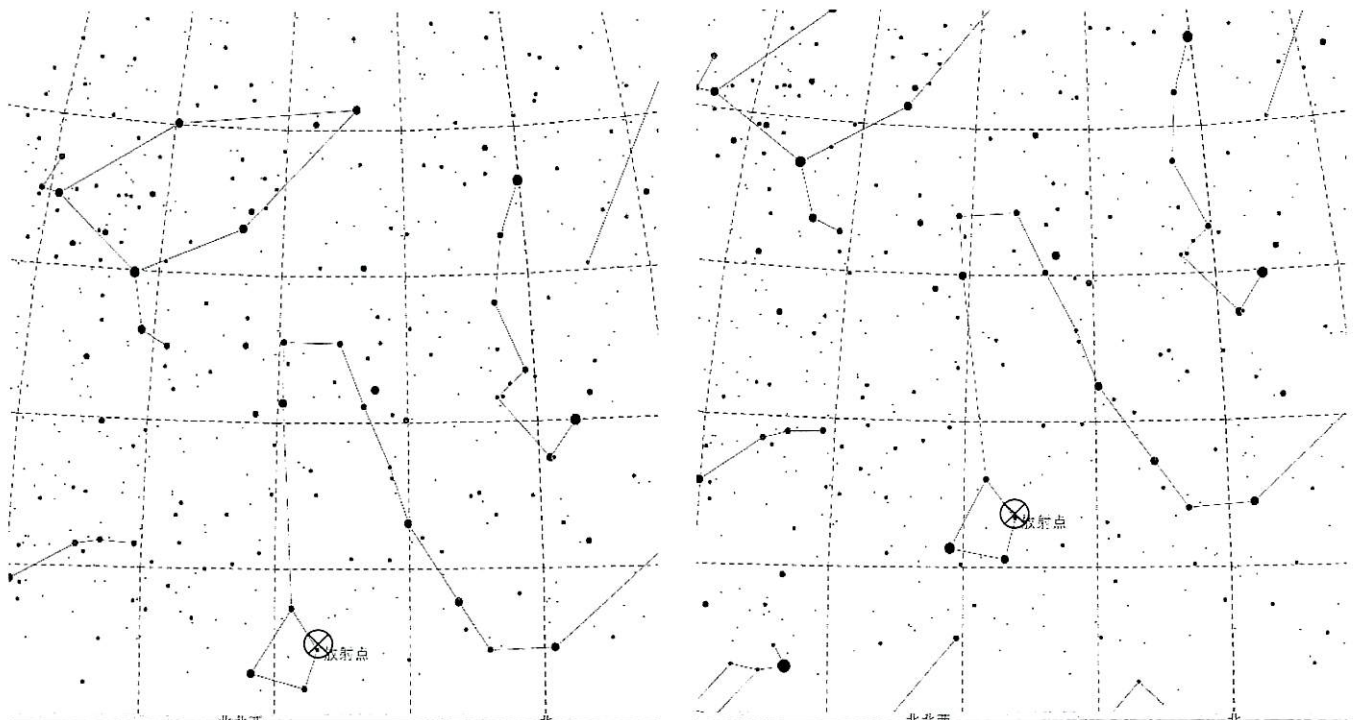


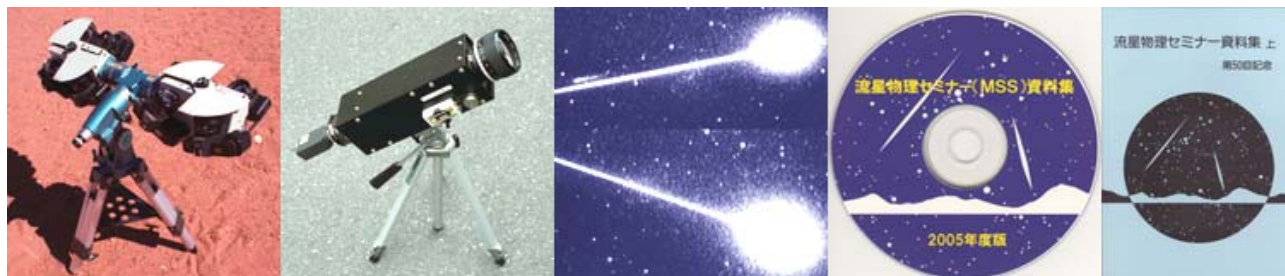
図 1887年トレイル極大の時の放射点の位置
左：東京、右：稚内

MSS資料集ホームページ ～2010年度更新～

重野好彦

MSS資料集を2010年度版に更新しましたのでお知らせします。2009.05.30～2010.07.01間のユニークアクセス数は119PCでした。

 <http://meten.net/mss>



流星物理セミナー(MSS)資料集

第1回MSS (1978.10.08) から現在までの全ての配布原稿約3,000ページをPDF化しました。

1. DVDで配付

全てのファイルはこのサイトから入手可能です。しかし合計すると800MB以上になるため、希望があればDVD-Rでお送りします。

- 1) 以下まで300円をお振り込みください。
 - a) 郵便振替口座 00200-7- 95069 流星物理セミナー
 - b) 銀行振込 → ゆうちょ銀行 〇二九(029)支店 当座:95069 リュウセイブツリセミナー
- 2) 必ず郵送先を正確に記入ください。
- 3) 銀行振込の場合、メールで郵送先をお知らせください。重野好彦 cvg@nikon.co.jp
- 4) スпам対策のため、件名に「流星」または「meteor」の文字を入れてください。

2. 資料集

本資料集は2010年7月版です。

[2010年度資料.pdf](#) (最近3回の全資料)
[要約集.txt](#)

[2009年度資料.pdf](#)

[MSS00-1-はじめに.txt](#)
[MSS00-2-ごあいさつ.txt](#)
[MSS00-3-インデックス.txt](#)
[MSS00-3-インデックス.xls](#)
[MSS00-A-50回記念誌上.pdf](#)
[MSS00-B-50回記念誌下.pdf](#)
[MSS01-隕石.pdf](#)
[MSS02-隕石落下シミュレーション.pdf](#)
[MSS03-遠征観測報告.pdf](#)
[MSS04-音.pdf](#)
[MSS05-解析法.pdf](#)
[MSS06-観測機器.pdf](#)
[MSS07-観測結果.pdf](#)
[MSS08-観測理論.pdf](#)
[MSS09-軌道計算研究発表.pdf](#)
[MSS10-軌道計算精度.pdf](#)
[MSS11-軌道計算論文.pdf](#)
[MSS12-軌道シミュレーション.pdf](#)

[MSS13-1-議事録.pdf](#)
[MSS13-2-議事録.txt](#)
[MSS14-空間密度.pdf](#)
[MSS15-構造.pdf](#)
[MSS16-痕.pdf](#)
[MSS17-シューメーカーレビー9.pdf](#)
[MSS18-出現予報.pdf](#)
[MSS19-スペクトル.pdf](#)
[MSS20-測光.pdf](#)
[MSS21-その他.pdf](#)
[MSS22-電波.pdf](#)
[MSS23-同時観測.pdf](#)
[MSS24-同時観測MSS-WG.pdf](#)
[MSS25-同時観測理論.pdf](#)
[MSS26-発光.pdf](#)
[MSS27-輻射点.pdf](#)
[MSS28-豆まき現象.pdf](#)

ユニークアクセス数

2009.01.18～2009.05.30 59PC

2009.05.30～2010.07.01 119PC

流星塵についての研究 II

前橋東高校理科同好会

2年 高山 瑞佳 木村 裕也 1年 岡田 優也

1 流星塵とは

流星は彗星などが放出したダスト（数mm—数cm）が地球の高層大気に突入してプラズマ発光する。その後気化したダストは再びミクロンサイズの球体になり、2ヶ月ほどかかり地上に落下して流星塵として検出される。一部の小さいダストは発光せずにそのまま落下するとも言われている。このようにして現在でも地球には年間数万トンの流星塵が降り注いでいる。流星塵は深海底や南極の氷中にも検出されている。地球に降り注ぐ流星塵の多くは流星群に属さない散在流星起源のものと考えられている。惑星に突入しないダストは主に黄道面に添って分布し、しだいにらせん軌道を描きつつ、太陽に落下するとの理論も知られている。これらのダストは恒星や惑星を形成する材料であり、太陽系の形成過程とその進化を考える上で極めて重要である。近年は人工天体を小惑星や彗星に打ち上げ、直接ダストを地球に持ち帰る探査も盛んである。また、サイズ分類で隕石—火球—眼視流星—電波流星—流星塵のつながりを明らかにし、広く太陽系空間や地球に降り注ぐダストの質量分布を明らかにすることも極めて重要なことである。前橋東高校の理科部は2008年4月から流星塵の観察を行っており、この2年間に得られたデータを解析し、いくつかの結論を導くことができたのでここに報告する。

2 結果

(1) 年周変化について

2008年10月より2009年10月までの空中採取法による流星塵の年周変化を図1に示した。2008年も秋期に増加が見られたが、2009年は、特に9月に顕著な増加傾向が見られた。雨水濾過法でも8月末に増加傾向が見られた。図2に散在流星の年周変化を示した。この年周変化の傾向と流星塵の年周変化の傾向は良く似ている。流星群は一過性のものであり、年間を通しての流星物質の地球への流量は散在流星の占める割合が高いので、流星物質の地球への落下と整合性があると思われる。なお、金属鉄などの溶融などで形状が良く似た人工流星塵も存在するが、採集地点の周囲は広く田園地帯であり、また、これらの年周変化も考えられないことから、採集した流星塵のほとんどが宇宙起源のダストであるものと思われる。

(2) 粒径分布について

直径15—20 μm のものが一番多く、つづいて10—15 μm であった。この結果は前年度と変わらない。小さな物は検出出来ずに見逃されている可能性があるが、20 μm 以上の大きな物はあまり存在していない。これは気化したものが昇華して固結する際の物理的な要因によるものと思われる。

(3) 型分類について

流星塵の形状を3つに分類した。I型（完全球体、黒色）、II型（球体透明）III型（完全球体、黒色だが双子状になっている）。

ほとんどの流星塵が図4（写真）のようなI型であった。

図1 流星塵の年周変化

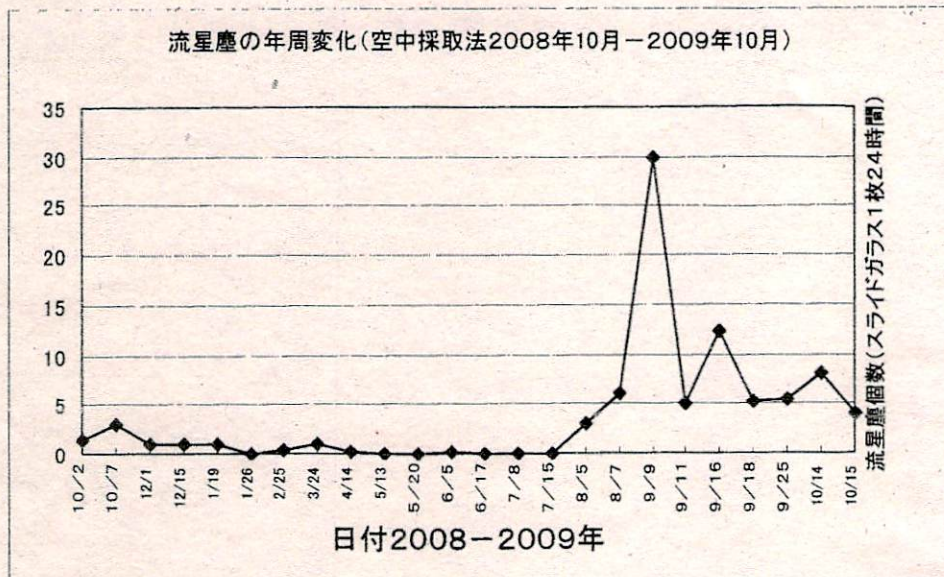


図2 散在流星の年周変化(北半球)

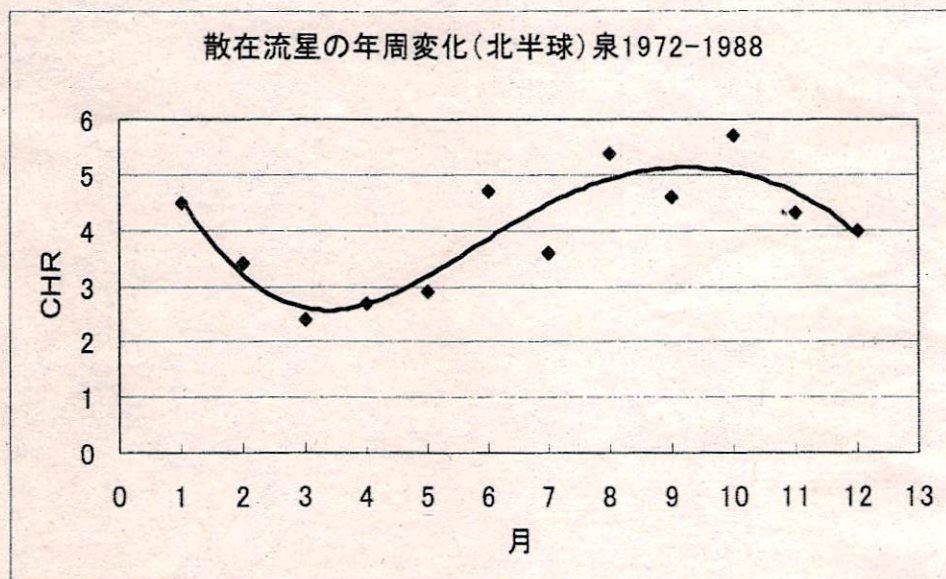
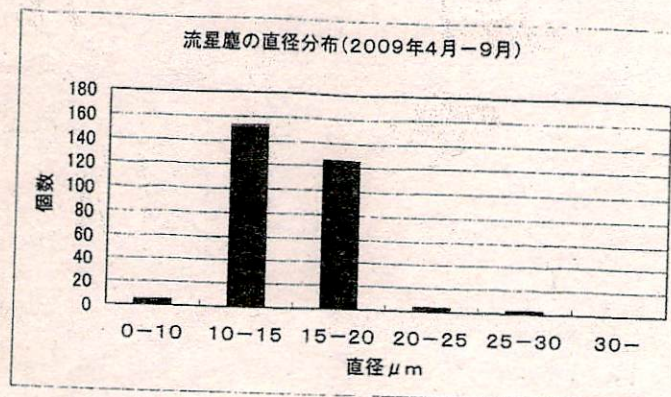


図3 流星塵の直径分布



簡易放射線測定器で地表のミュオンを測る

10km~100km 上空の太陽および宇宙 (太陽系外) 起源の微粒子 (宇宙線) の最期をみる

(独) 日本学生支援機構・東京日本語教育センター
非常勤講師 松沢孝男 (元茨城高専ラジオ部)

私の興味は、ラドン、JCO、星の電波観測から始まり、電波観測による流星の方位の測定、太陽のフレアの電波観測、環境放射線、国際線の航空機内の放射線強度の測定、科学教育としての富士山頂における放射線の測定ならびに二次宇宙線 (ミュオン) の簡易測定と、次々に変わり、気が付いたら定年退職 (昨年 3 月) の時を迎えた。

今回は、顧問をしていた「ラジオ部(JQ1YVG)」の生徒と行ってきた簡易放射線測定器 (ただし「はかるくん」ではなく、USB-GM(Strawberry Linux 社製、検出器は LND, INC の GM管(LND 712))を 2 台組み合わせた同時時計数回路を作って測定した結果を紹介する。組み合わせの材料費は約 100 円である。

太陽および宇宙 (太陽系外) 起源の高速微粒子 (宇宙線、主成分は陽子、一部中性子) が地球表面数 10km 上空の気体原子と衝突し核破砕反応 (スポレーション) を起こすと原子核が粉碎されその際、高速の陽子、中性子、電子、ミュオン、ニュートリノ等が生じ、この反応を繰り返す。ミュオンは電子の約 200 倍の質量をもち、静止寿命は 2×10^{-7} [sec] という。単純に考えれば、光速 3×10^8 [m/sec] で移動しても、走行距離は速さ \times 時間 = 3×10^8 [m/sec] \times 2×10^{-7} [sec] = 600 [m] であるが、下界 (地表) で観測できることから、高速運動をする物体の寿命が延びるという相対性理論の具現の一つと考えられている。

[前段階] 私たちは、簡易放射線測定器「はかるくん」や、他の簡易放射線測定器 RM-60, RM-80 (Aware electronics Corp. 製) を用いて、国際線の航空機内の放射線強度 (線量率及び計数率) の測定を繰り返し行ってきた。日本—中国、日本—欧州 (ウィーン)、日本—オーストラリア、日本—ニュージーランドの例を示す。地上に比べ値は非常に高い。

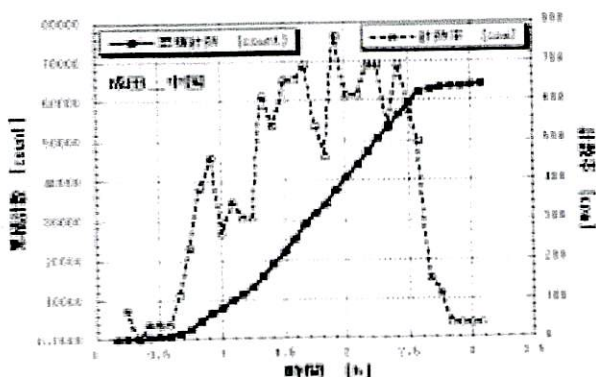


図1 GM管の計数率の時間変化 (中国：上海—成田)

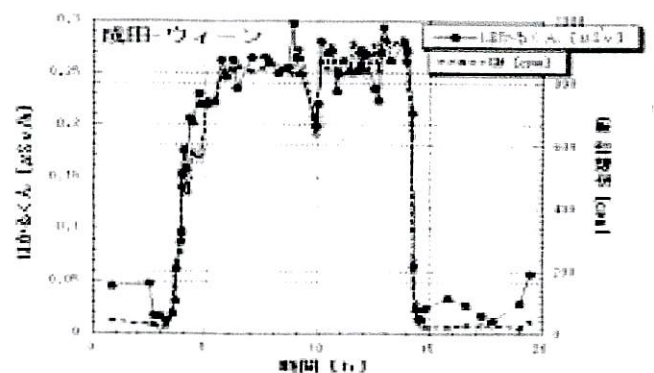


図2 線量率の時間変化 (成田—オーストラリア：ウィーン)

ガンマ線の測定データーから線量を求めると、それでも専門家の予想計算値の 1/20～1/30 に過ぎない。宇宙線（二次宇宙線）を測っていないためと思われる。

国際線の航空機の巡航高度は約 11km、測定は難しいため、高山（富士山）山頂 3.7km での測定を計画し実現した。

場所の確保 NPO 富士山測候所を活用する会 気象庁より借用（平成 19 年度から）
課題申請所提出、課題採択、実施期間（7,8 月）平成 18,19,21,22 年登山（借用前から）

[状況] 素泊まり、水、食糧自参。電気あり（ただし、雷時、停電あり）。電話、インターネット無なし。最大の問題点は、トイレ（汲み取り式）。

大人の研究者に交じり、「教育研究」で正規利用を行った。

[テーマ] 放射線測定のほか、山頂用電気ポットの開発、紫外線強度測定、空気の薄さ（ろうそくの燃え方）、下界へのデーター送信用超微弱出力無線機（出力 0.4mW、006P 乾電池 1 本、s s スペクトラム拡散法）を開発し、200km 離れた富士山頂～茨城高専間の連続データー転送等を行った。

[ミュオン測定用同時計数回路の作成]

1830 年代、宇宙線の発見・研究の黎明期、ロッシ（Bruno Rossi）は複数の GM 管を並列に並べ、それらを同時に通過する高エネルギー粒子の観測を行った。同時計数回路の開発である。生徒たちと 80 年後の再現実験を行ったことに当る。同時計数部の回路はロジック IC, 74HC32(OR 回路、4 個入り、¥35 程度)1 個のみである。2 台の放射線検出器(GM 管)に信号が入ったときのみ、出力が 1 になると説明する。ただし、回路で実現するときは、GM 管に放射線が入ると GM 管の電位が下がるため、信号が 1 から 0 に下がる（正理論）、2 個の GM 管とも GM 管の電位が下がった（信号が 1 から 0 に下がる）とき宇宙線が 1 個入ったと考える。GM の電圧で考えれば、両方の信号が「1」（電圧が下がった時）IC の信号が「1」（電圧的には 0）になればよい。OR 回路の否定がそれに当る。¥35 の 1/4, すなわち ¥9 程度で実現できる。（大学の物理の学生実験等でも同時計数回路もあるはずであるが、それを応用して、フィールドで 2 次宇宙線を測って遊んでいる話は聞かない。

データーが宇宙線であることを確認するために、入射角（天頂角）依存性を測定した。データーは $\cos^2 \theta$ 依存性を示した。宇宙線の傍証になる。さらに、高度依存性を測定し、専門家の中性子輸送計算の結果（地表、及び 8000m、未公表）と一致することを確認した。

東西南北の方位依存性（東西効果）、日周変化、季節変化、太陽のフレアとの関係等測定していきたい。ただし、一次宇宙線と異なり、地球の大気圏に入り、シャワー状態の核破砕を繰り返すため、方位の情報は希薄になってしまっており、面白味は少ないと思う。

大気圏での反応という意味で、流星物質の発行に似た高度の反応でもあり、紹介した。図を数用、次ページに掲げる。

航空乗務員（パイロット及び CA）に対する放射線被曝の管理は重要な問題になっており、社会的意義があることも紹介しておく。原子力発電所の従業員以上と考えられる。

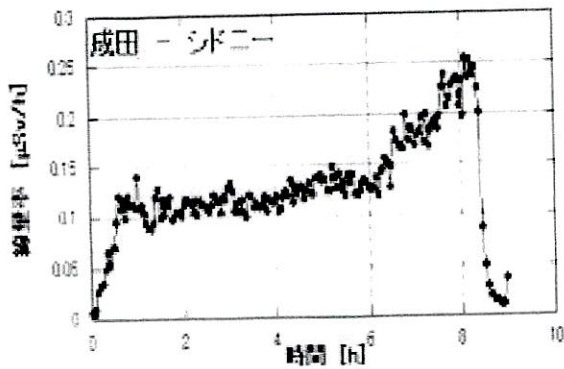


図3 線量率の時間変化 (成田-オーストラリア: シドニー)

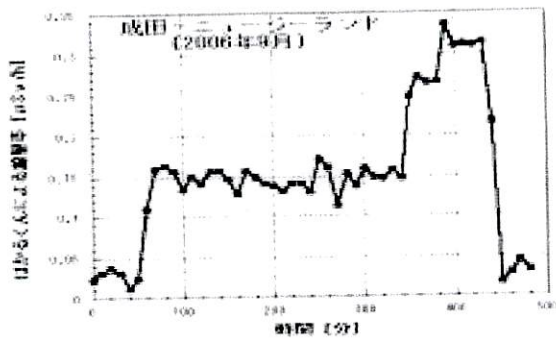


図4 線量率の時間変化 (成田-ニュージーランド)

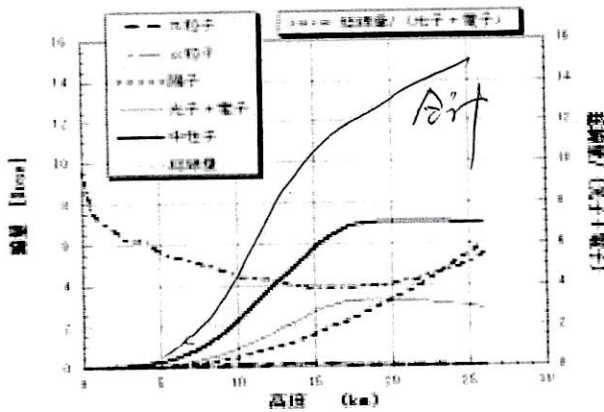


図6 中性子、光子+電子、陽子の線量率と
「線量率の総和/(光子+電子)」[2]より計算

(3) CARI-6による計算値の線量率の巡航高度依存性をロジスティック曲線の定数A, B, Dで表す。

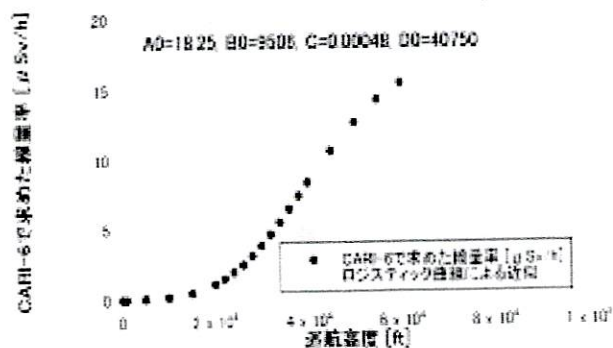


図7 成田 - ニューヨーク便の線量率の巡航高度依存性

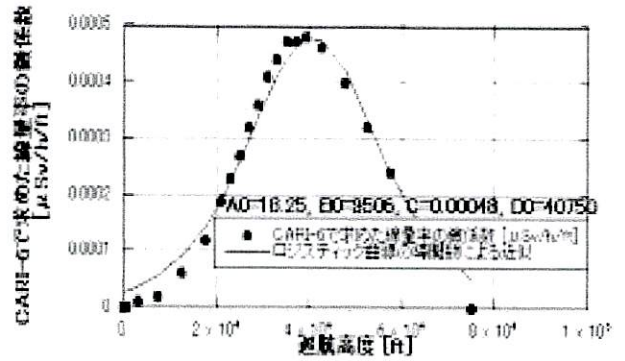


図8 成田 - ニューヨーク便の線量率の微係数の巡航高度依存性

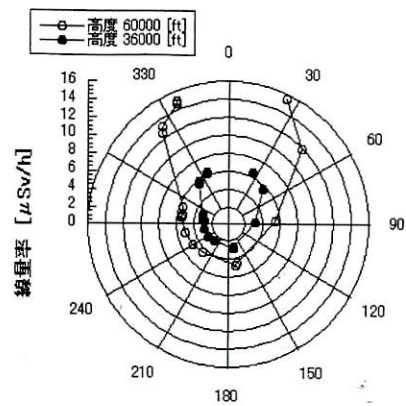


図10 CARI-6により求めた巡航高度60000 [ft]と36000[ft]の線量率の方位依存性の極グラフ (東京中心)

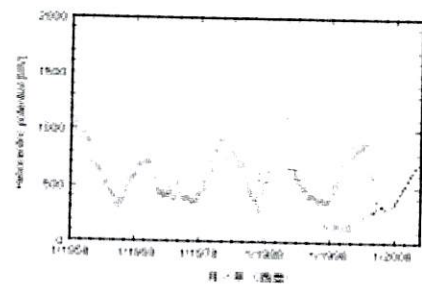


図11 Heliocentric Potential の変化 [2,3]

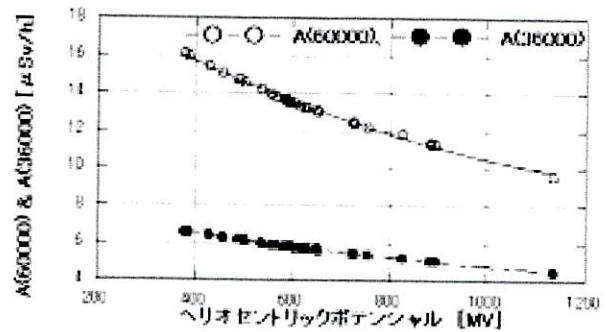


図12 CARI-6および図9より求めた巡航高度60000[ft]の線量率のHeliocentric Potential 依存性

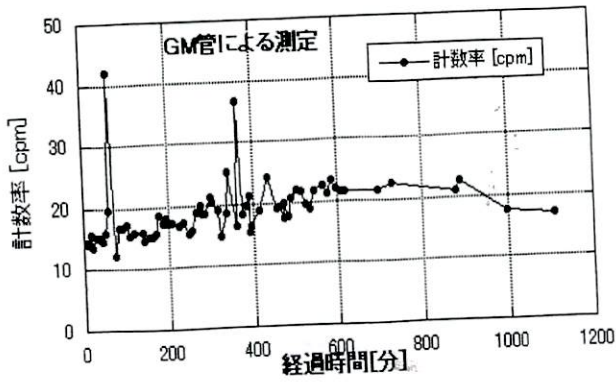


Fig.9 Dose rate measured with on self-made GM radiation meter at Mt. Fuji^(6,23).

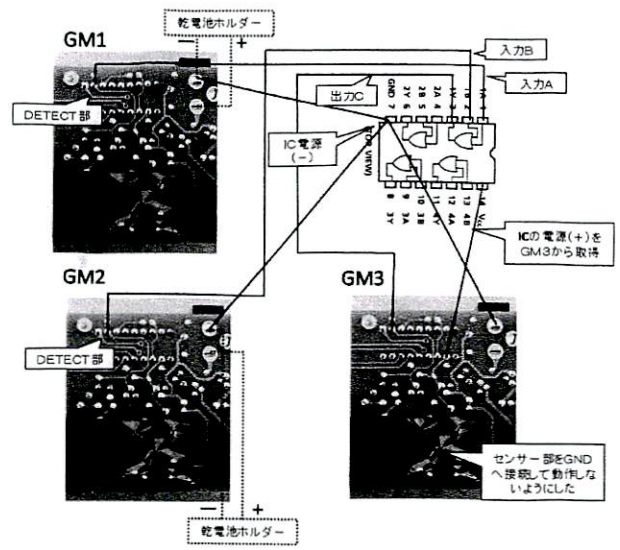


Fig.15 Schematic diagram of time coincidence circuit.

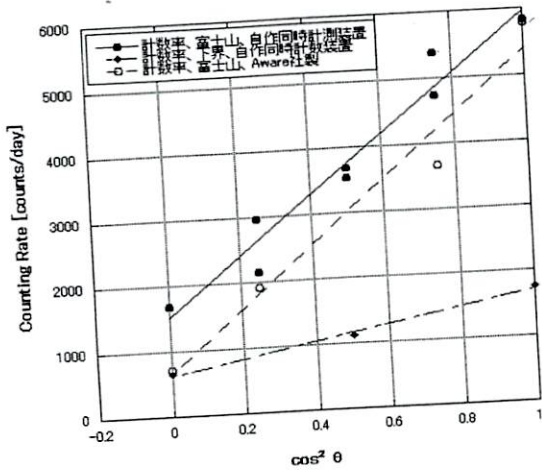


Fig.17 Comparison with two kinds of time coincidence equipment⁽¹³⁾.

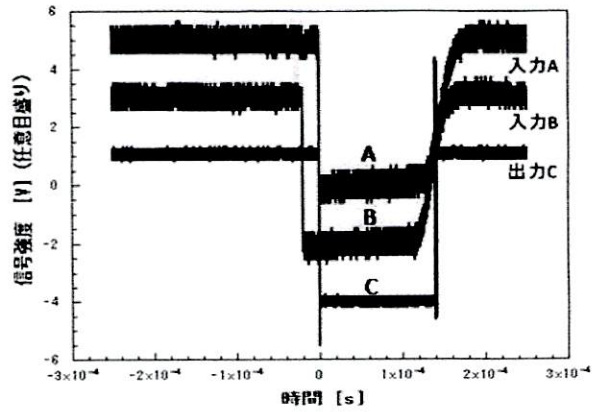


Fig.16 Signal of time coincidence circuit produced by 511 keV annihilation photon.

Table 1 Truth table.

入力A	HI	LO	HI	LO
入力B	HI	HI	LO	LO
出力C	HI	HI	HI	LO

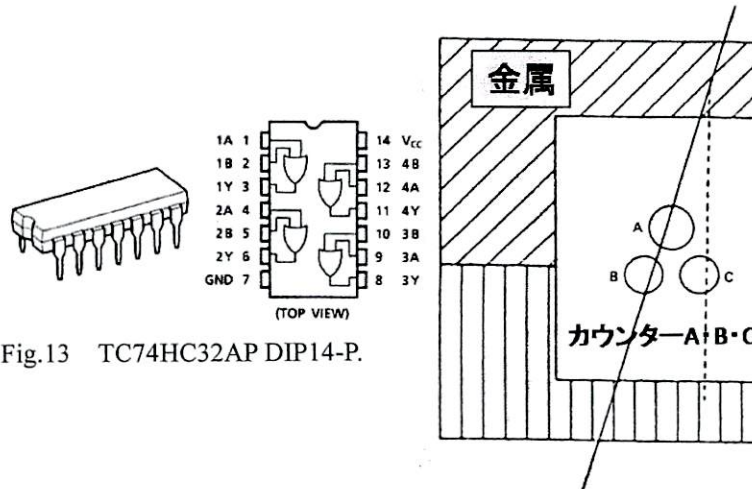


Fig.13 TC74HC32AP DIP14-P.

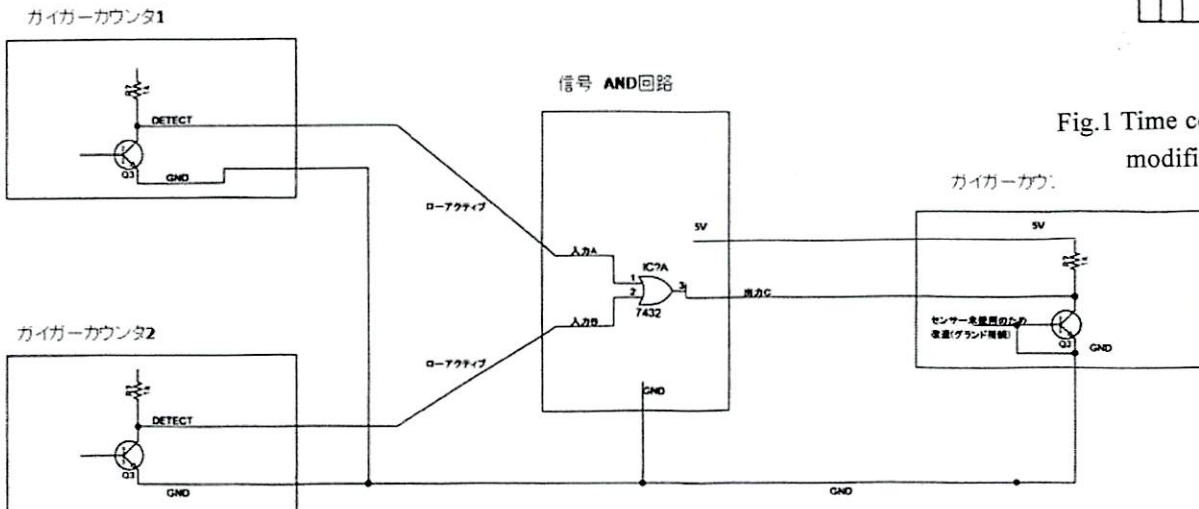


Fig.1 Time coincidence method used modified by the author⁽¹²⁾.

Fig.14 Diagrammatic illustration of coincidence counter tube.

「何故、流星仲間は増えないのか？」 について考えてみました

もちろん僅かながらですが、機会あるごとに流星仲間は増えています。しかし、東京近郊地区流星観測者会の絶頂期のような増加ではありません。

「何で流星の世界に新人が入ってこないのでしょうか？」。以前から疑問に思っていたことです。ここではパソコンの世界と比較して、改めて考えてみたいと思います。

実はパソコンの世界、特に自作パソコンの世界でも流星界と同じ様な現象が起こっていると感じています。

2011年1月9日、インテルは新しいCPUの発売を開始しました。新技術を搭載したCore i5とi7です。このCPUの最大の特徴は高性能グラフィック機能を演算回路部と基板レベルで融合したことにあります。

秋葉原では恒例となりましたが、ボジョレーヌーボと同様に午前0時の解禁と同時に深夜販売を開始します。また初日は開店時間を大幅に繰り上げて、早朝販売をする店も多いです。

9日は自分自身が早朝販売の現場を目撃することができました。今回の早朝販売は5店舗で行われていたのですが、どの店でも100人を超える長蛇の列ができていて、行列の解消には2時間くらい要していたようです。

ここで疑問が生じました。皆さんには逆に聞かれるかもしれませんが、「何故こんなに新CPUに人気があるのだろうか」というものです。

新しい技術を搭載した魅惑的なCPUだからでしょうか。しかしメーカーも認めていることですが、今回発売されたのは最新のCPUであっても、最強（最速）のCPUではありません。仮にパソコンを低価格機、最も売れ筋の主流機、高性能機、サーバーやワークステーション用の超高性能機に分けるなら、今日提供されたCPUは低価格機と主流機用途のものです。

行列に並んでいる人を見ると、そのクラスのパソコンを必要としているとは思えません。コストパフォーマンスに優れた新CPUですが、依然として旧テクノロジーで作られた更に高性能な在来CPU（加えて更に高性能な外付けグラフィックカード）が存在しているからです。パソコンを自作する彼らですから、新製品より高速なパソコン、つまり高性能機を所有していると短絡的に考えてしまいます。

この現象が今の流星界（あるいは天文界）が抱える、普及（新人の参入）を妨げている問題に通じているように感じます。

意外なことですが、秋葉原に通う多くのパソコンマニア達は高性能機、超高性能機にはほとんど興味を持っていません。

その証拠に高性能機のパーツを扱う店は極めて少数であり、超高性能機パーツに至っては大部分の店が倒産してしまい秋葉原を探しても皆無に等しいからです。

では彼らはパソコンの性能に興味は無いのでしょうか。そんなことはありません。それどころか性能向上に関してはオタクの域に達していると言えます。

そうなると次の疑問が生まれます。「パソコンマニアは高性能機を欲していないのか？」

新CPU発売開始の前日、1月8日には大阪で「流星・火球・流星痕に関する小集会」がありました。ここに集まった参加者はディープな話題を扱う、極めて専門性が高い集団だったと思います。パソコンの世界に例えると、マニアの範疇を超えた高性能機や超高性能機を扱う集団に相当するでしょう。もちろん熟練した眼視観測や集計・解析もこの集団に属します。

奇跡の帰還を果たした「ハヤブサ」の国民的大ブームが起こったように、多くの人たちは宇宙に（拡大解釈すれば天文や流星にも）興味を持っていて、更に詳しく知りたいとも思っています。これはパソコンマニアが主流機で性能を追求するのと同様です。

しかし興味を持っていても、そこから進んでマニアの範疇を超えた世界に足を踏み入れることは稀です。さっきの疑問の答えですが、「マニアは高性能機を欲していない」というのが体験的な正解のようです。理由の一つは「ここまで知っていれば充分、この性能があれば充分」というように、彼らが次のステップに進む必要性を感じていないことにあります。

以前は「なぜ新人が入らないのか」の答えを漠然に「若い人はいろいろ興味を引く物が多いため」と考えていました。しかし最も大きな要因は高性能機以上を扱う我々が欲しているものと、主流機で充分と考える彼らが求めているものが大きく異なっていたためかもしれません。

両者の考え方の違いは、今後の普及活動を進めるにあたり憂慮すべき要素となります。

つまり、初心者向けのオリエンテーションを開催して多くの参加者を集めても、参加者が流星仲間に加わることは難しいということになりますから。

では、どうするか。両者を融合させる解決策は無いのか。

最近の流星の世界はハイアマチュアや専門性の高いグループはいるものの、「興味を持っている人たち」を組み入れるシステムが失われた気がします。

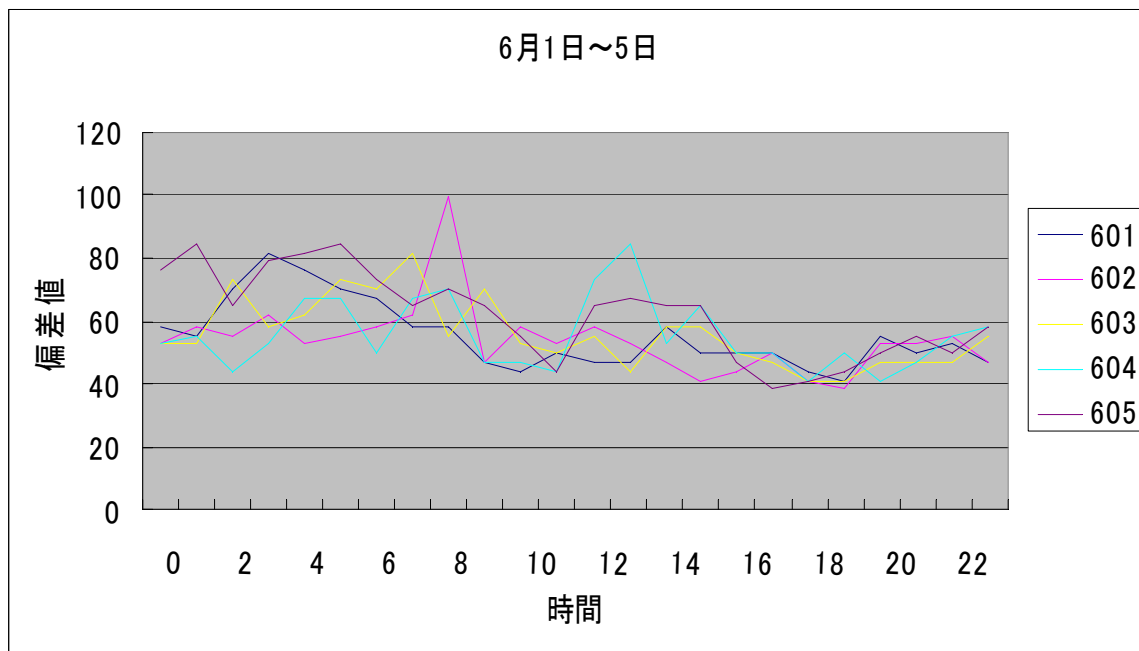
前述したようにステップアップは期待できません。ならば逆に彼らのニーズを取り入れ、無理に上を目指さず、パソコンで言うならば低価格機や主流機で充分というグループが日本流星研究会の中にあってもいいような気がします。（友の会みたいなもの？）

もしこれで観測者（観望者）が増えて、以前のように各地で行われていた観測者集会在復活するようになれば、自然とステップアップのアシストになり、極わずかでもマニアの範疇を超えた世界に足を踏み入れてくれる人が出てくる可能性があります。期待したいですね。

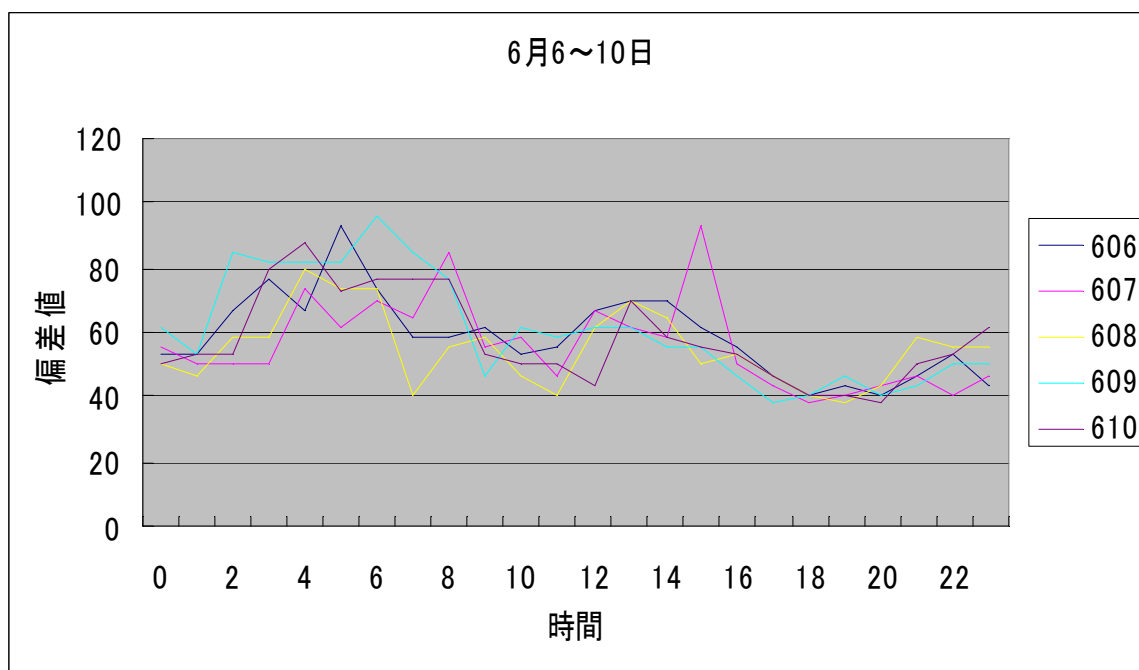
2010年6月のデータによる昼間流星群の検出

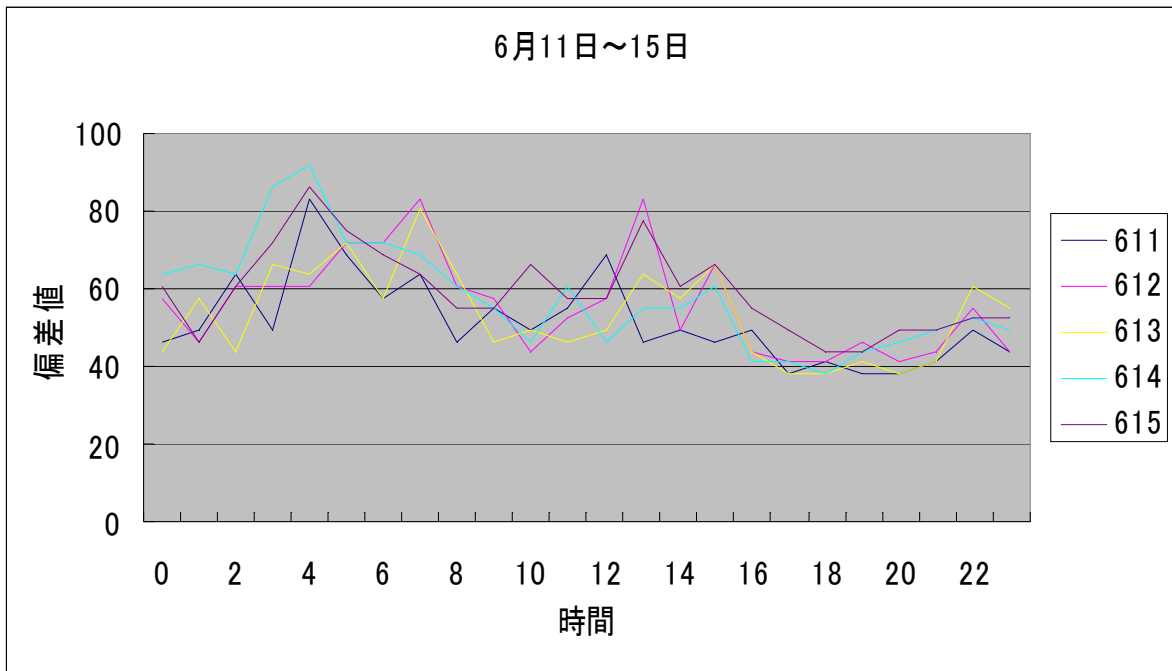
都立総合工科高校
矢島&塚本

2010年6月は綺麗な観測データを取得することができた。それを元にして昼間流星群の検出を試みた。(福井高専に向けたアンテナ)。

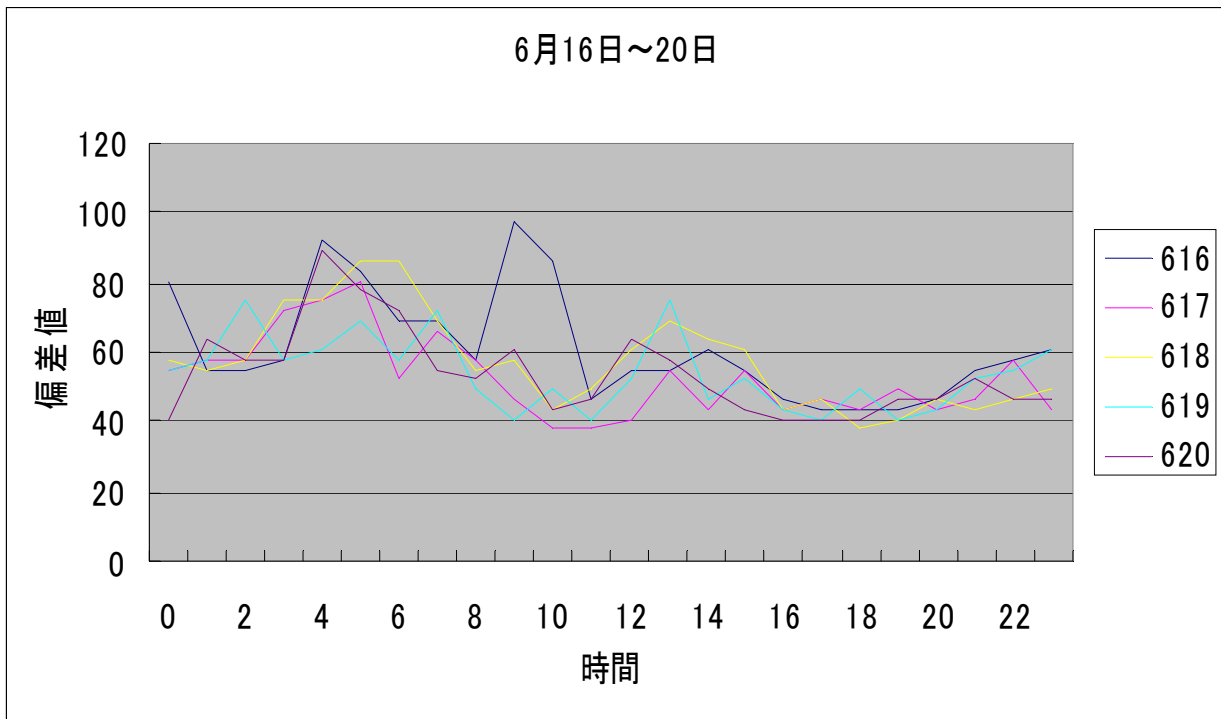


ヘルクレス τ 群 6月3日 19時30分頃 太陽黄経 72.6
おひつじ昼間群 6月8日 2時30分頃 太陽黄経 76.7
ペルセウス ζ 群 6月10日 2時30分ごろ 太陽黄経 78.6

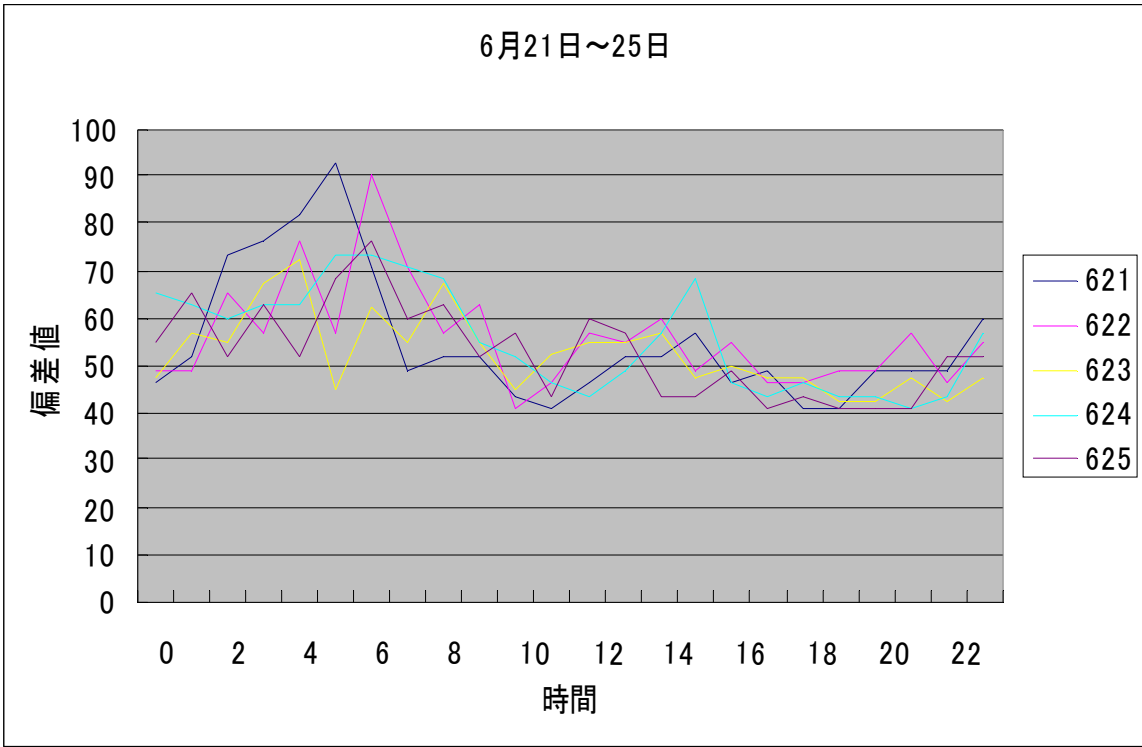




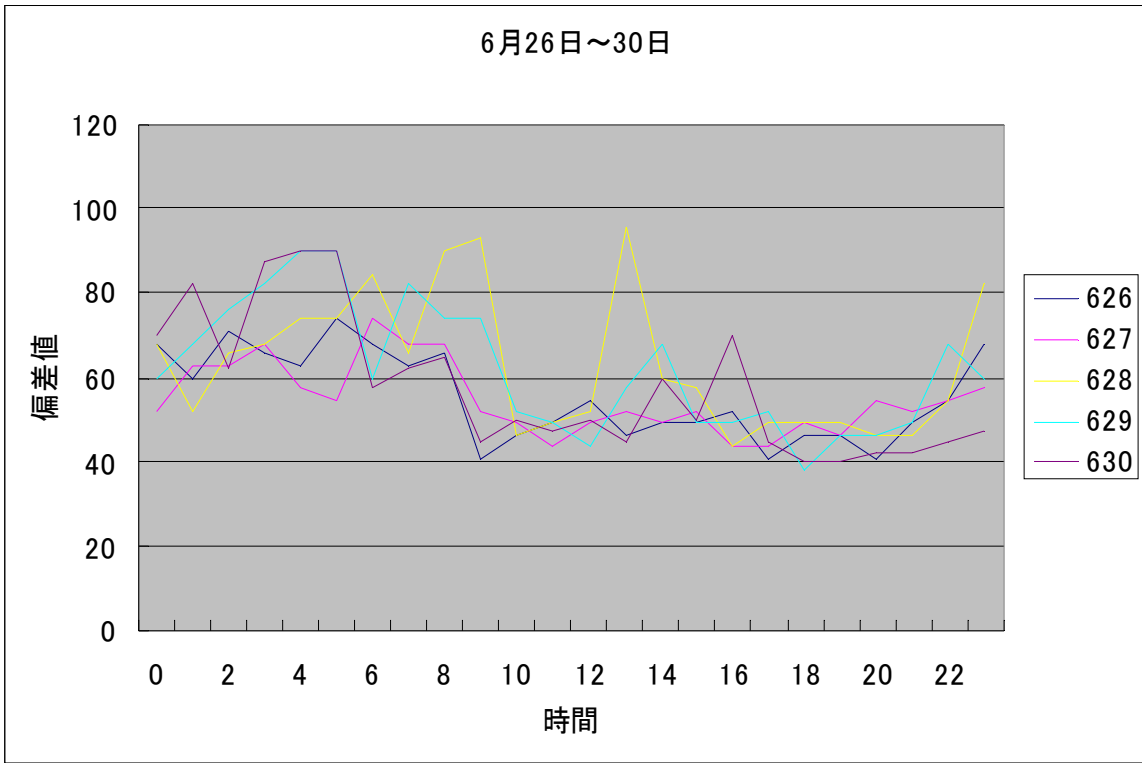
6月わし南群 6月11日13時30分頃 太陽黄経 80



6月わし北群 6月17日20時30分頃 太陽黄経 86
 おうしλ 昼間群 6月17日7時30分頃 太陽黄経 85.5



6月24日はおうしβ群と考えられる。



- からす座 6月27日 3時30分頃 太陽黄経 94.9
- ペルセウスε群 6月27日 18時30分頃 太陽黄経 95.5
- 6月うしかい群 6月28日 15時30頃 太陽黄経 96.3 (ポン・ウィンネック群)
- おうしβ群 6月29日 1時頃 太陽黄経 96.7

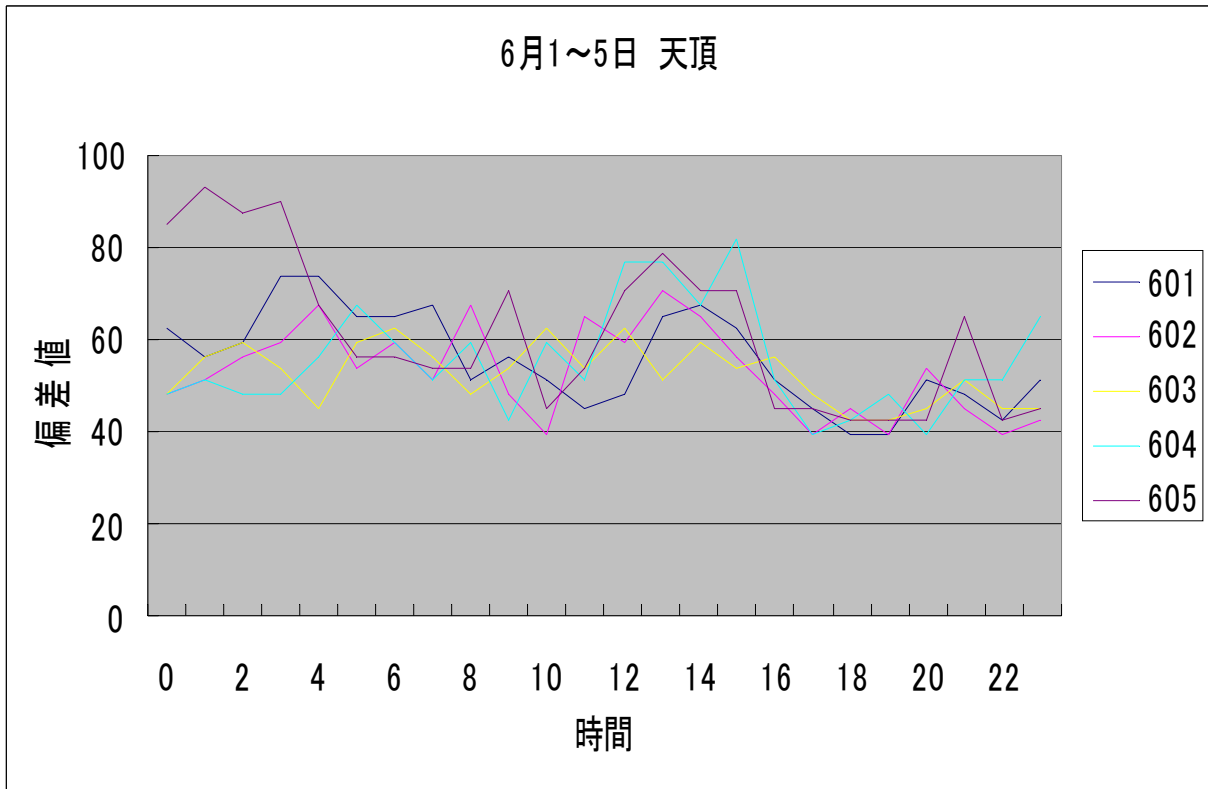
考 察

今回は、IAU 流星群リストの太陽黄径を見比べてみた。流星群の輻射点高度については考慮に入れていない。また、輻射点高度も考慮しデータを積み重ねていけば、明らかになるだろう。

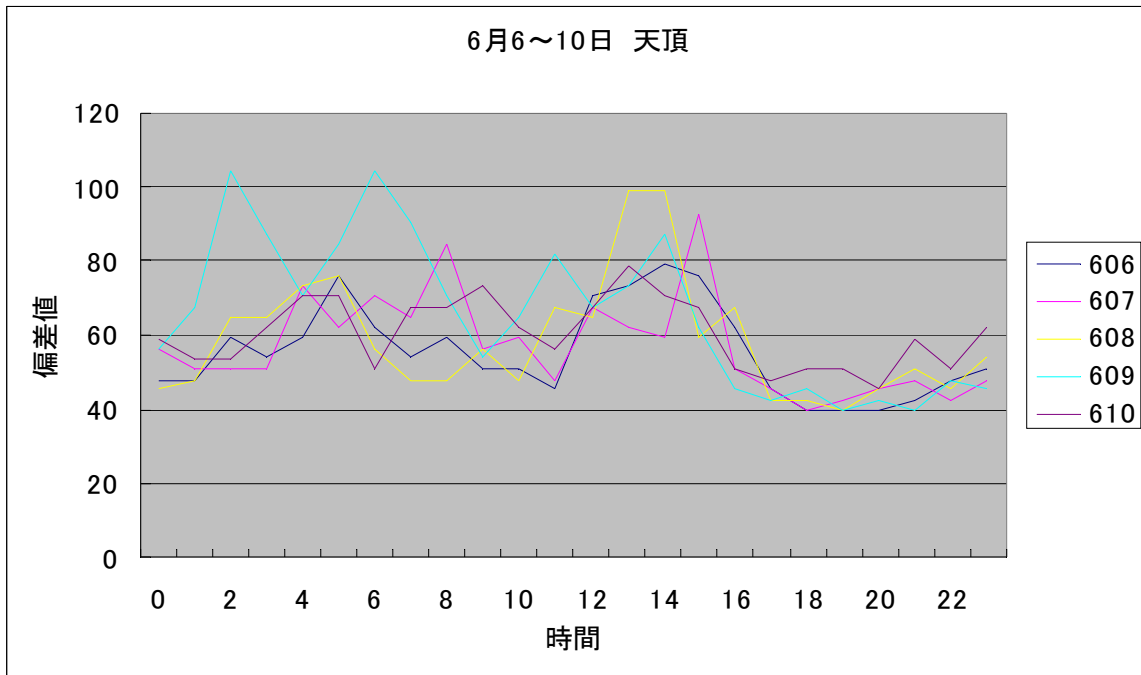
Referenece

天体観測データブック 東亜天文学会編 1970年 恒星社厚生閣
IAU 和名リスト <http://www.nao.ac.jp/new-info/meteor/table-ls.html>

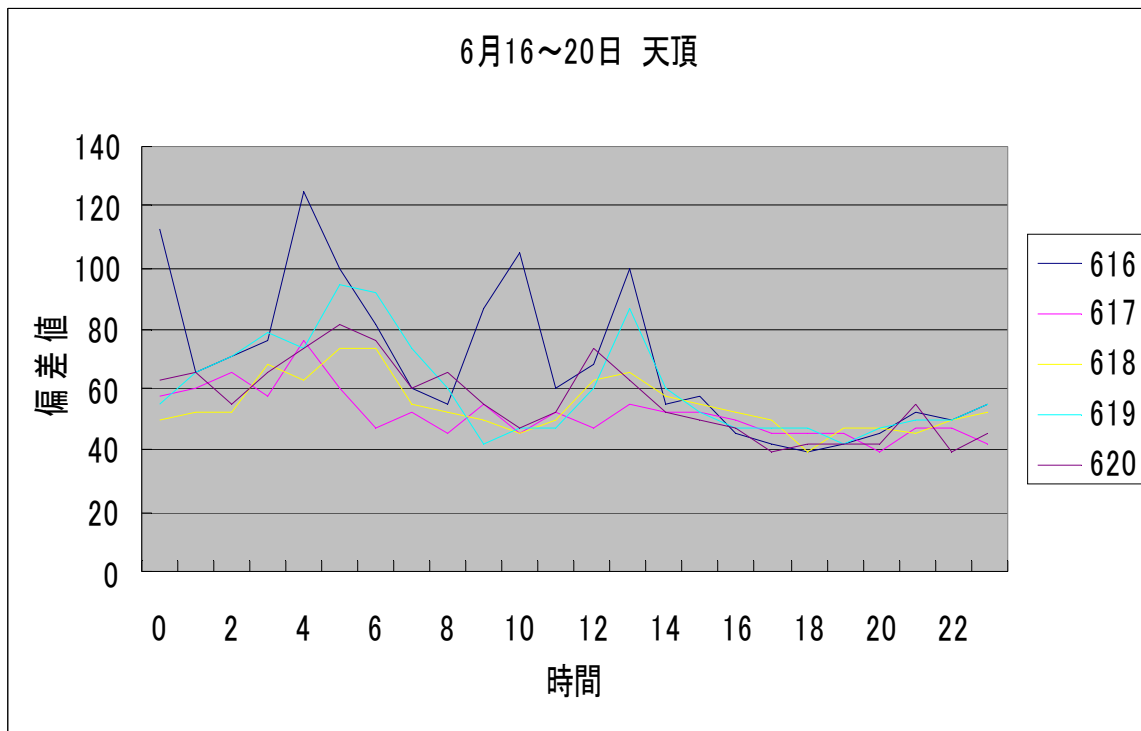
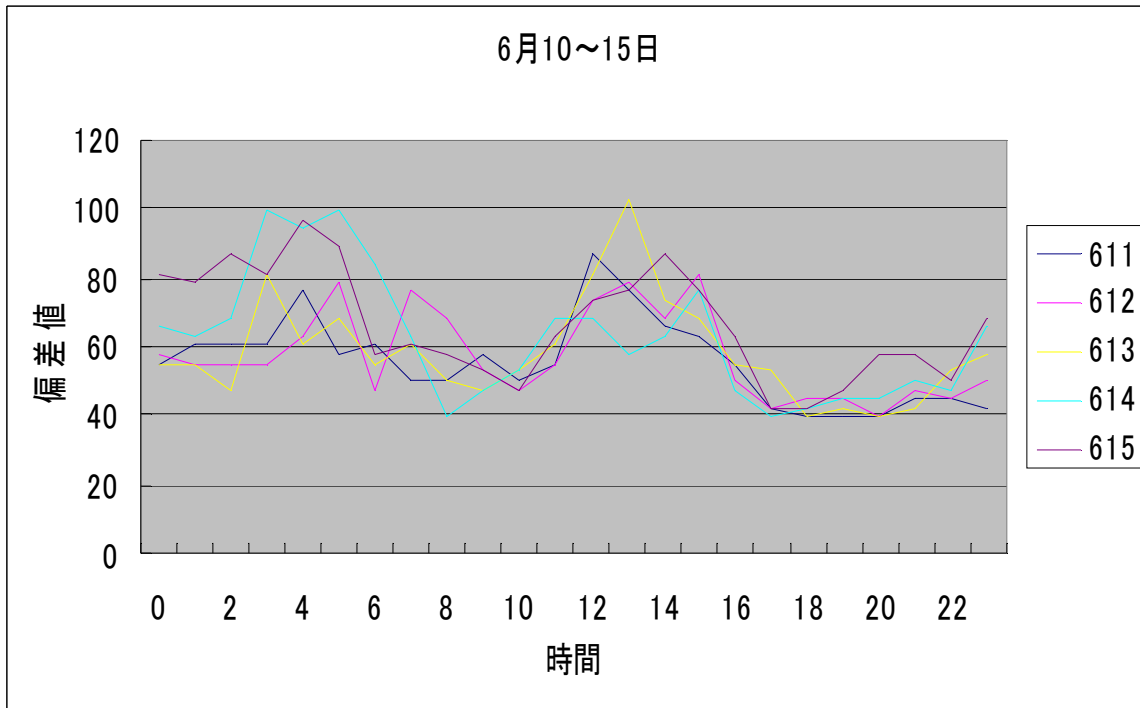
流星観測ハンドブック 日本流星研究会編 誠文堂新光社
流星 I 齊藤・長沢編 恒星社厚生閣
流星とその観測 小槇孝二郎 恒星社厚生閣

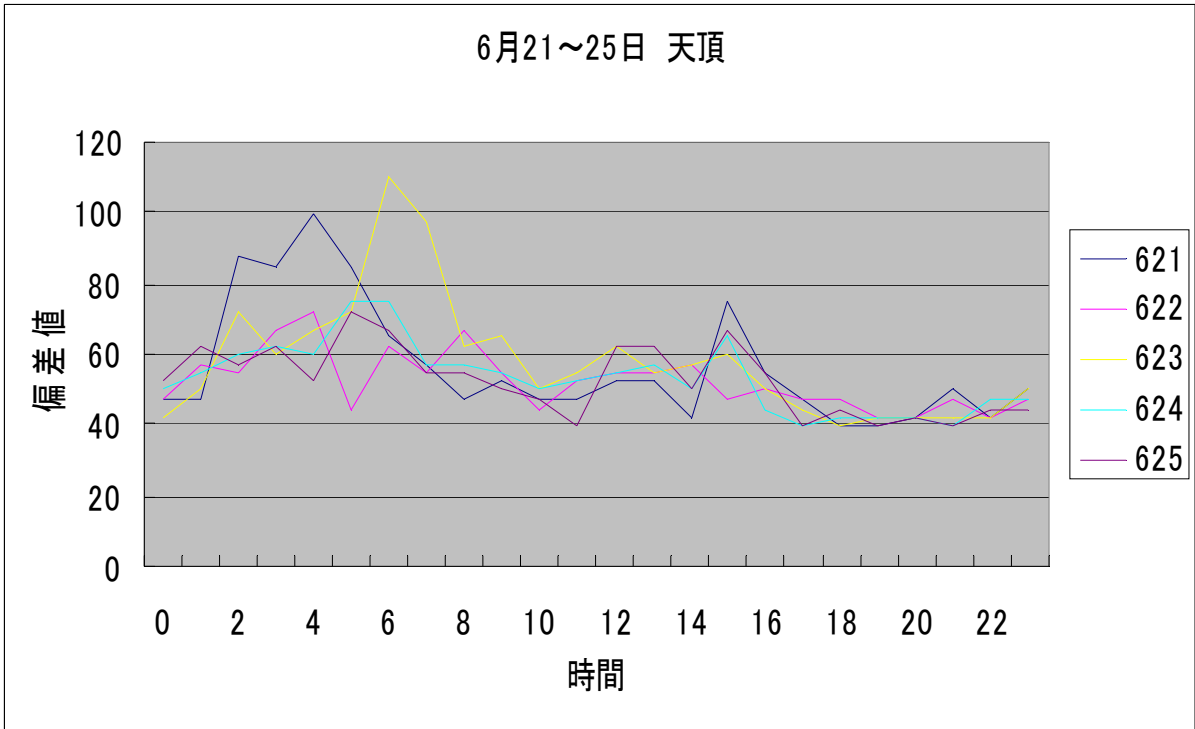


天頂の様子 1

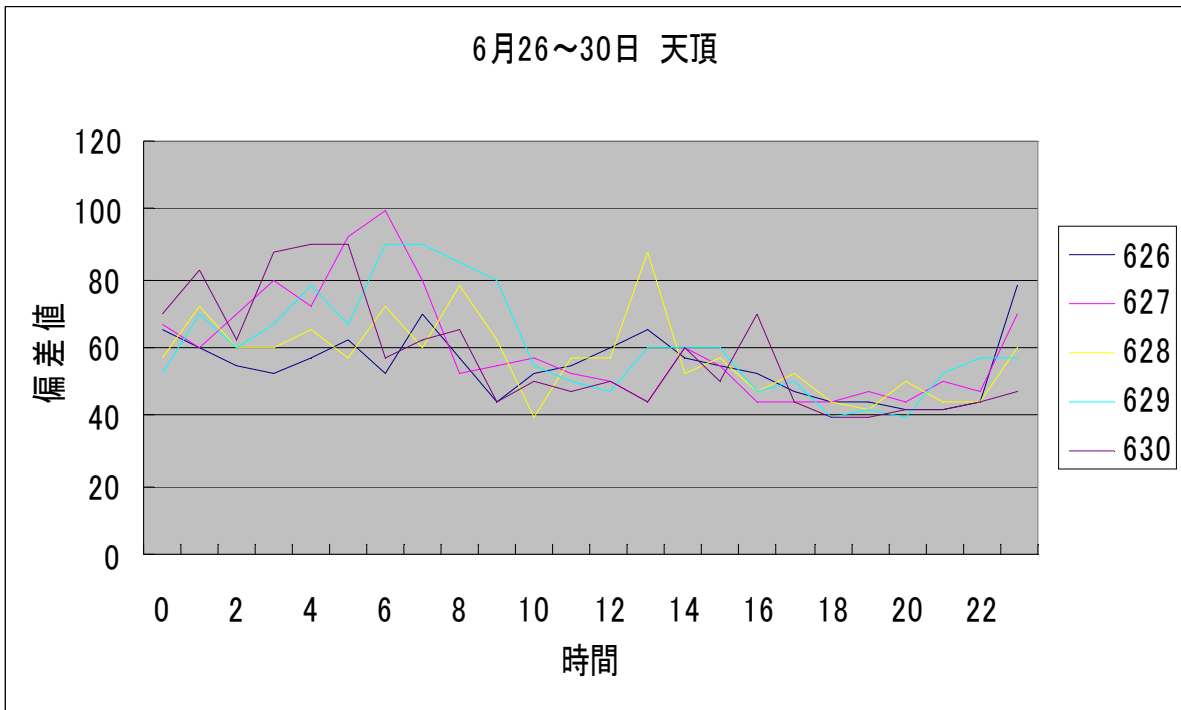


天頂の様子 2



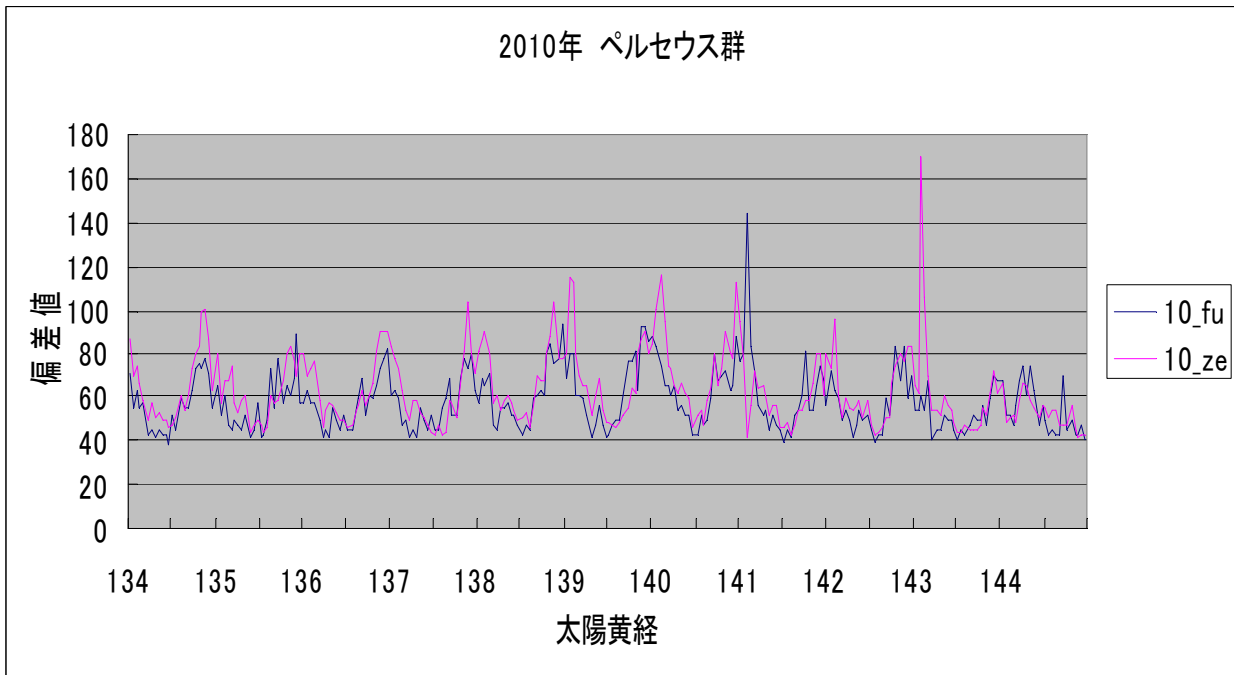


天頂の様子 3

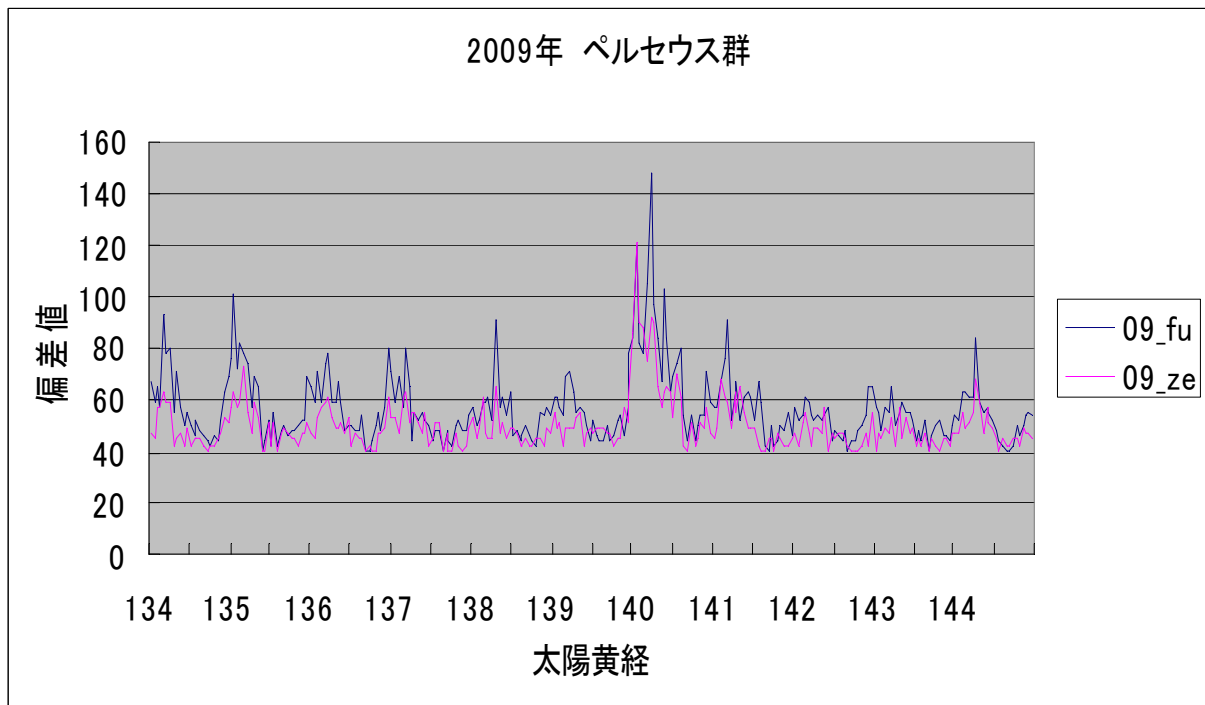


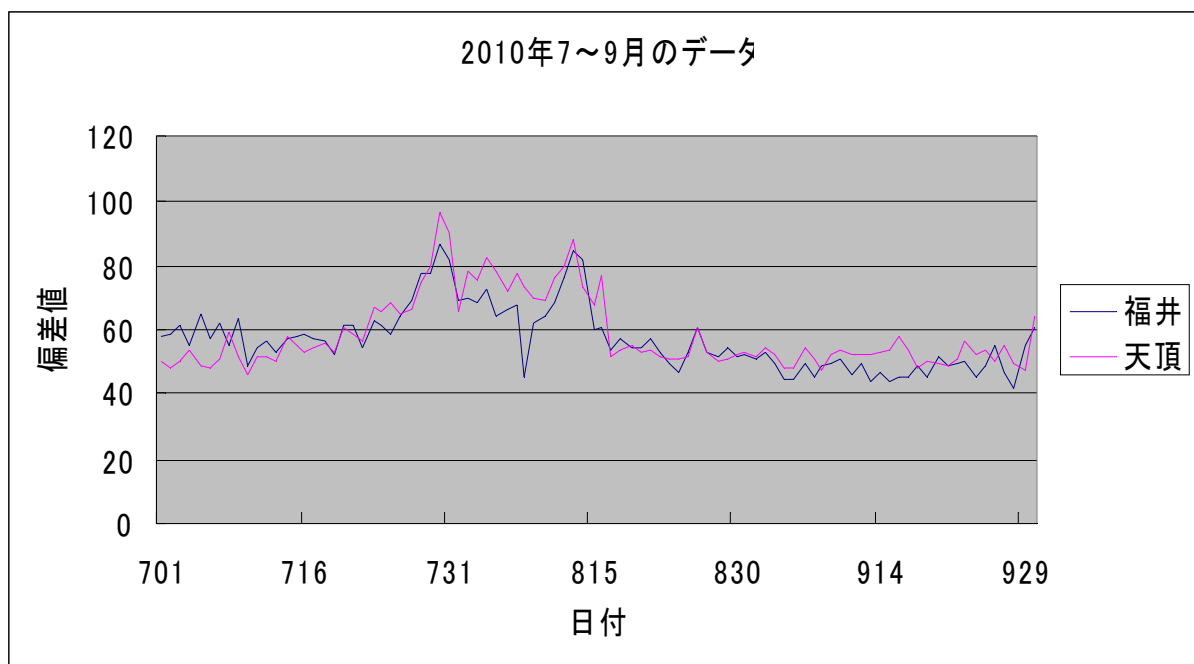
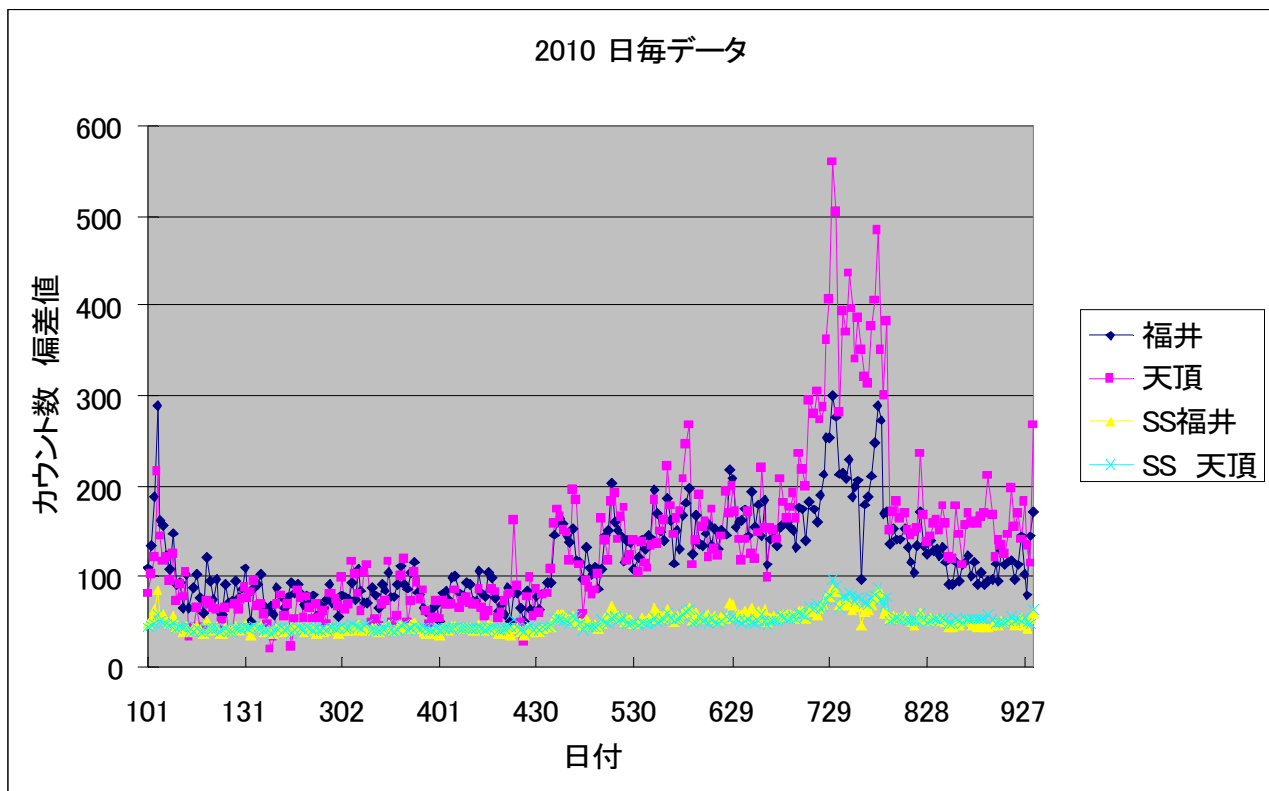
2010年8月ペルセウス群の報告と電波観測近況

都立総合工科高校
矢島&塚本



今年は太陽黄経 143 付近にピークが見られる。みずへび β 群か？





特に今年は、7月後半から天頂方向のカウント数が増えている。複数の流星群の活動していることが分かる。

流星の電波観測

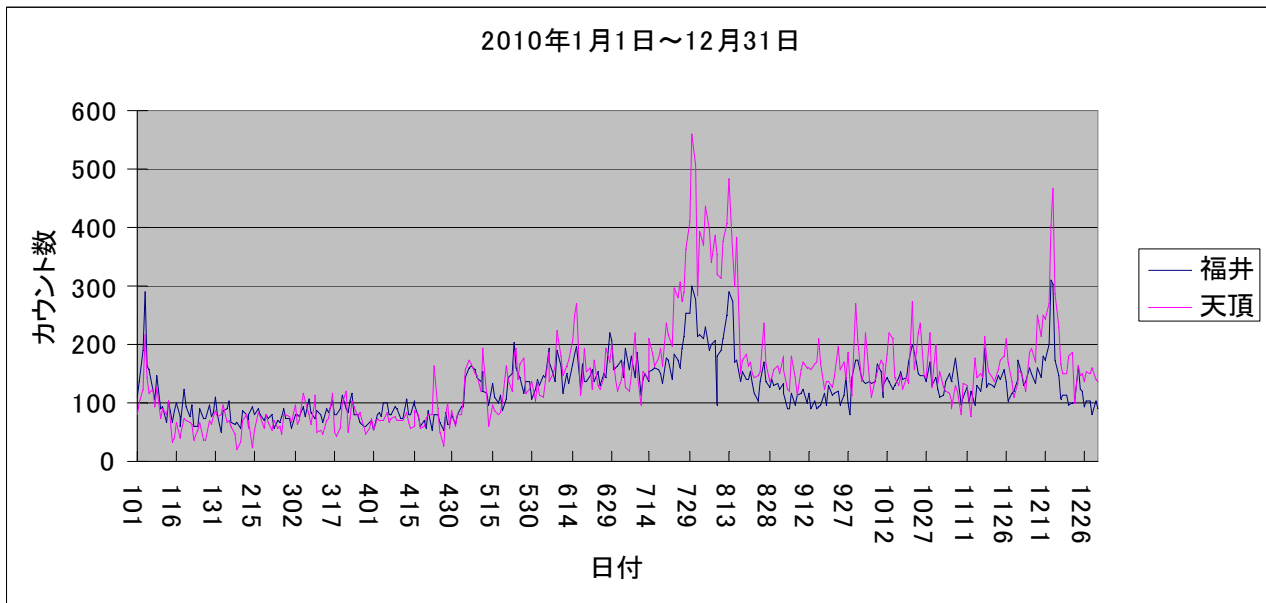
2010年の観測報告とふたご、しぶんぎ群のデータ、他

MSS-127

2011/02/06

藤由 嘉昭

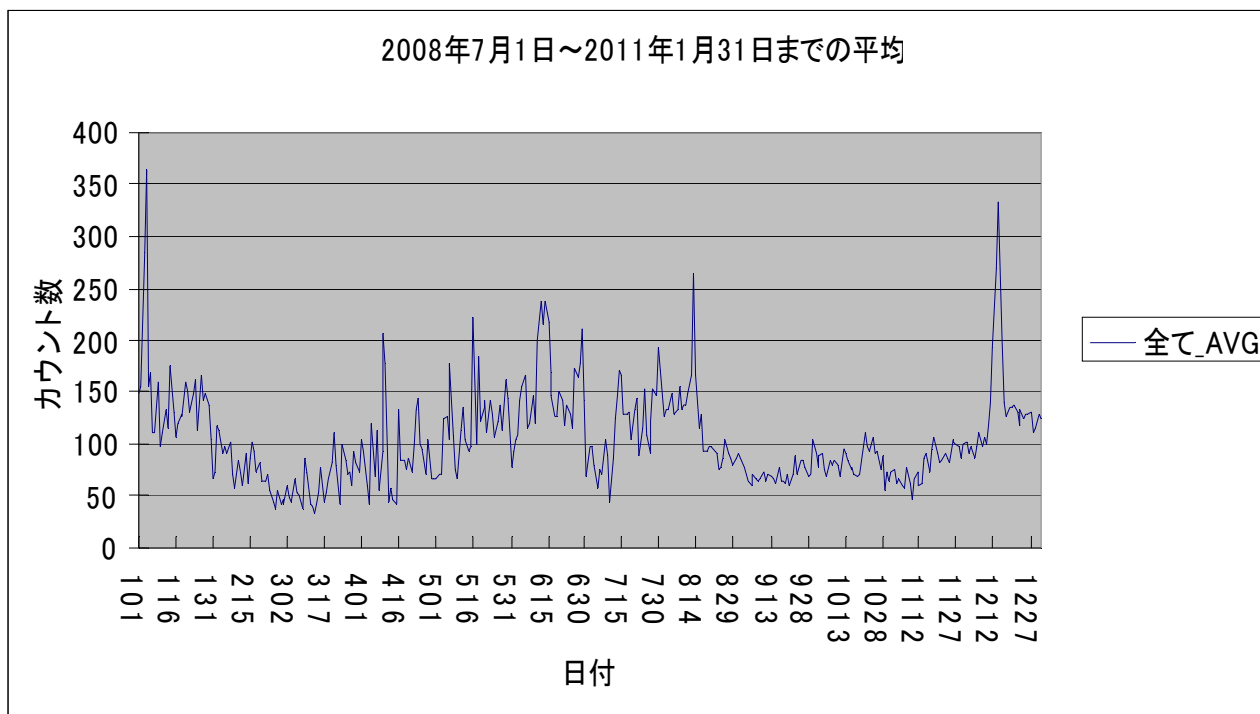
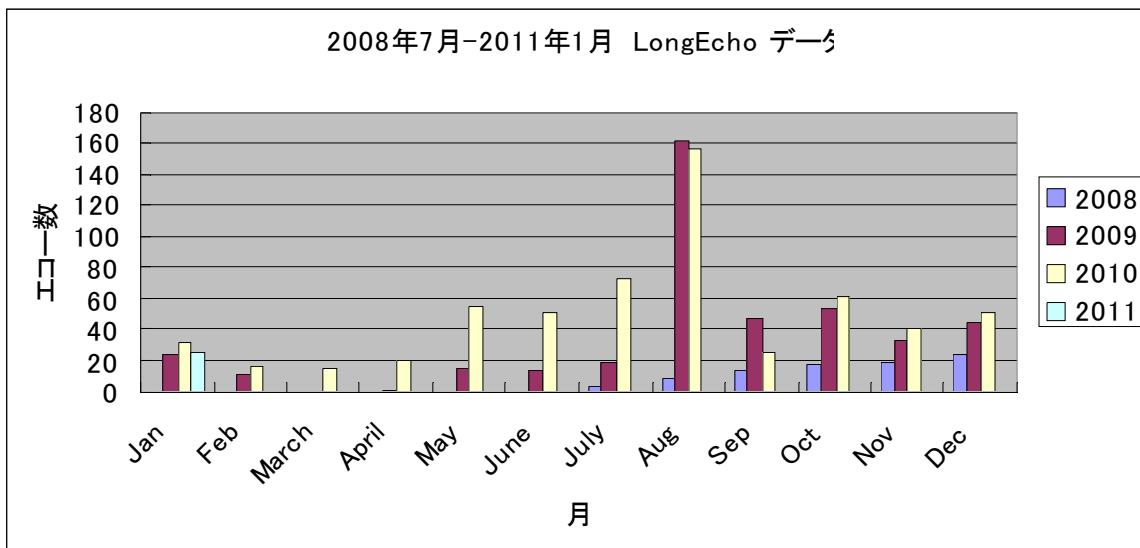
2010年 1日毎の観測データ



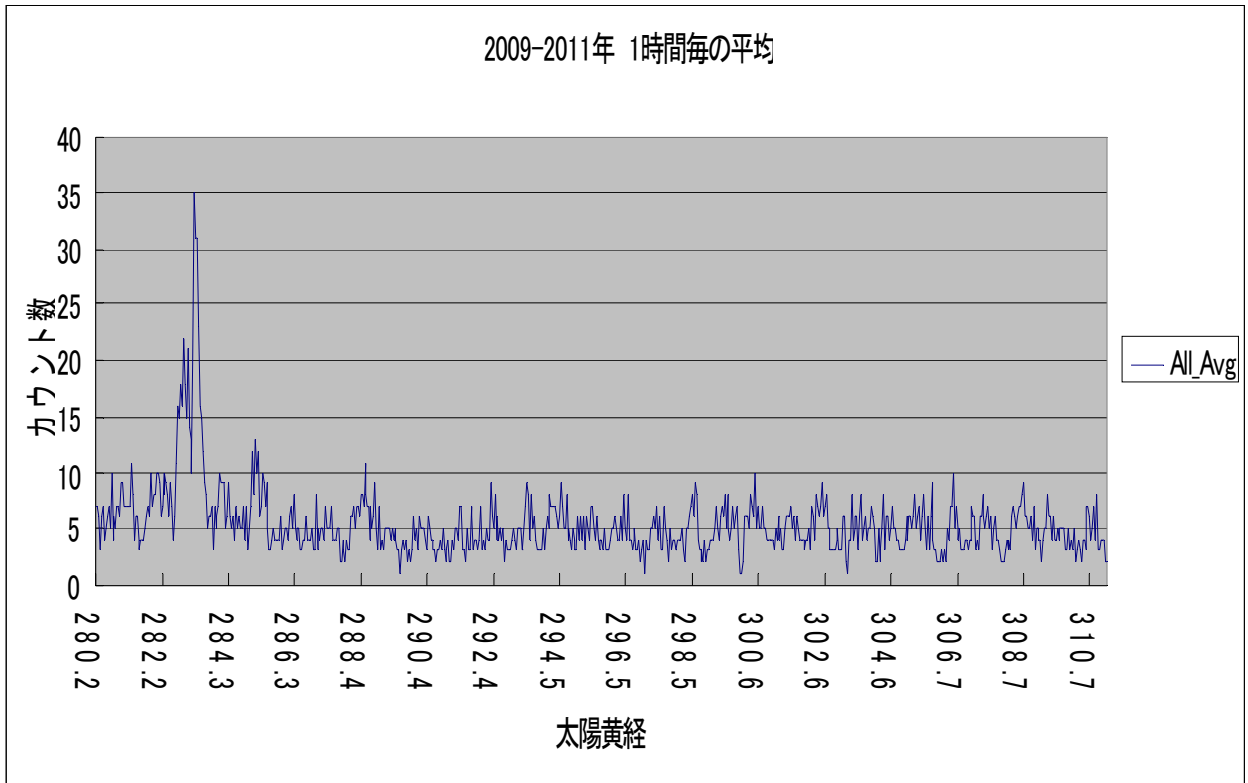
2010年は天頂に向けたアンテナの方がカウント数が伸びている。

2010年	福井	天頂
合計	43663	50866
1日平均	119	139
1時間平均	4	5

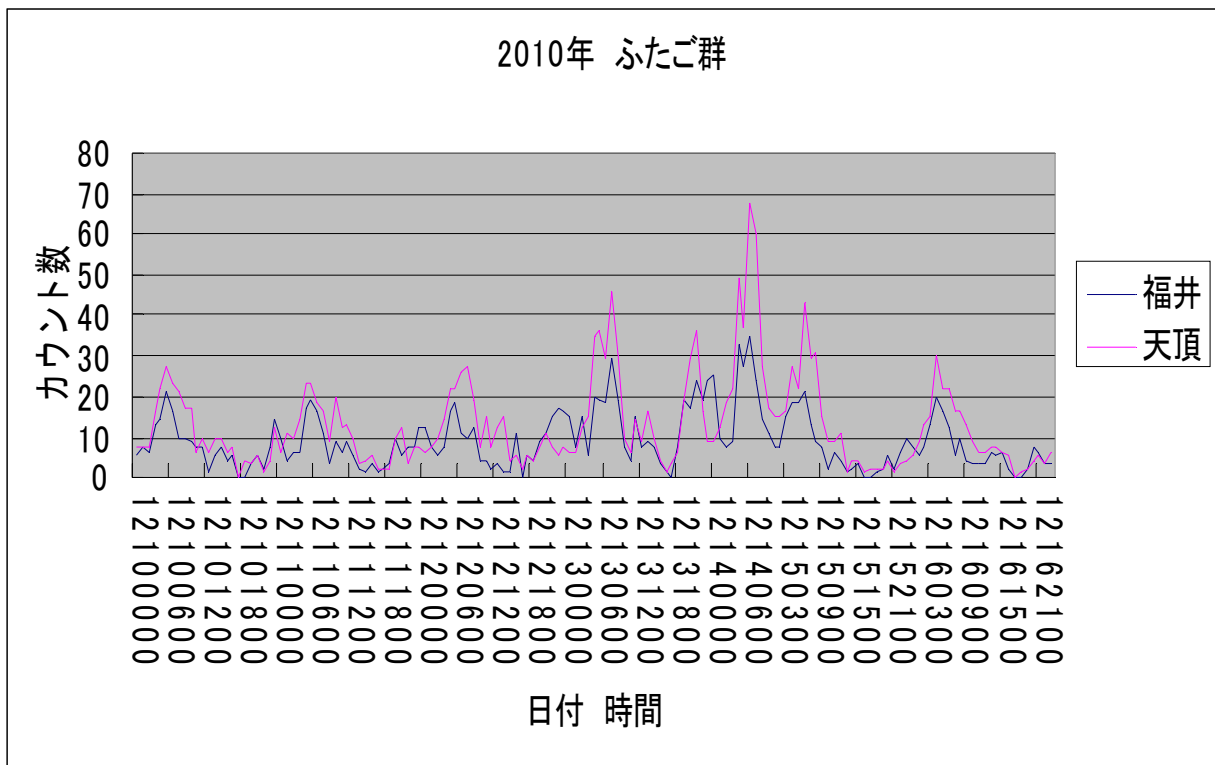
LongEchoのデータ 2008年7月～2011年1月



2009年から2011年 3年間 1月の1時間毎の平均

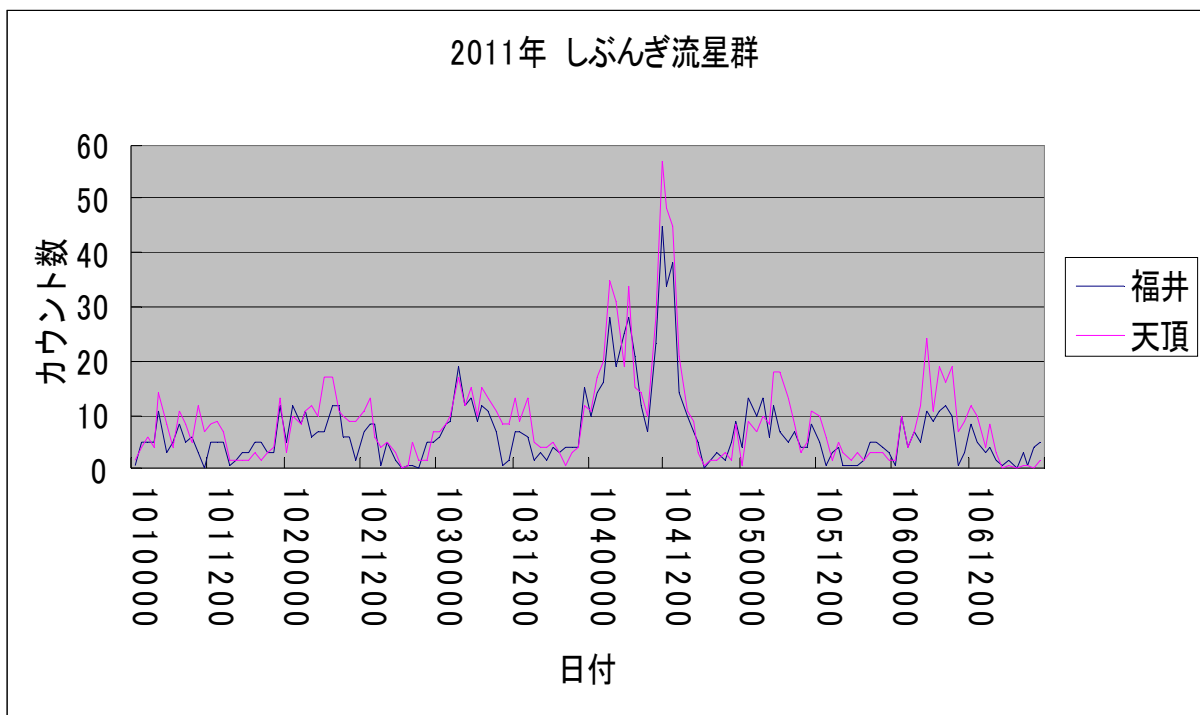


2010年ふたご座流星群のデータ

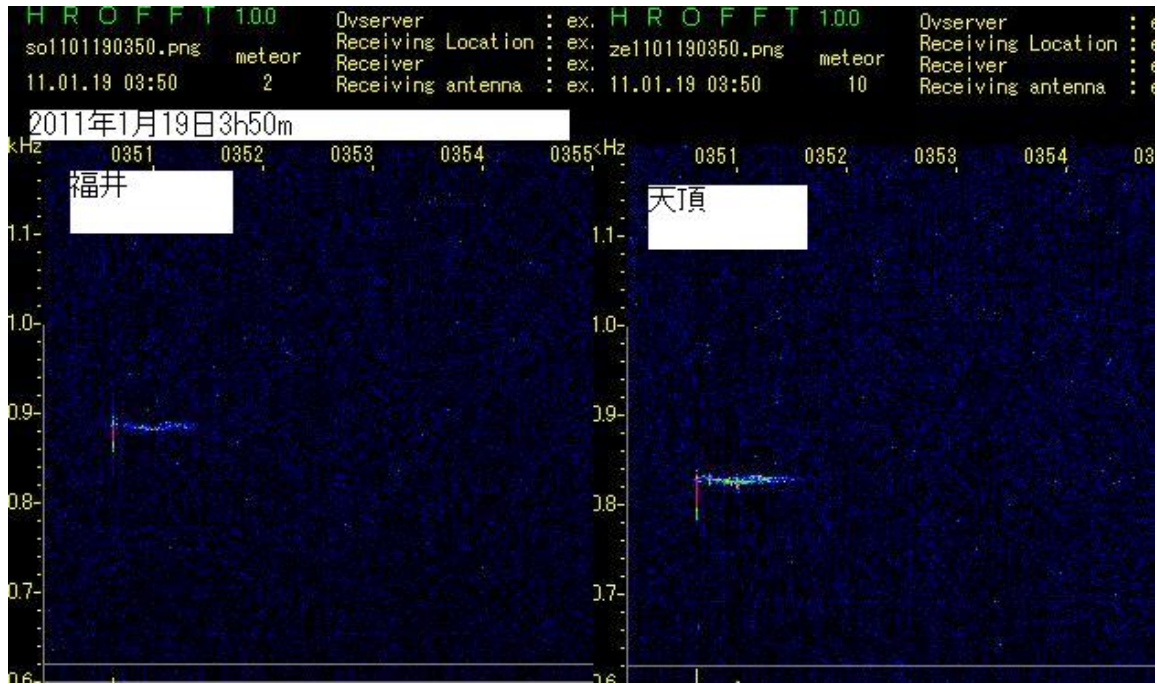


12月10日0時～16日23時まで
 0～3時付近は天頂効果のためカウント数は減少している。

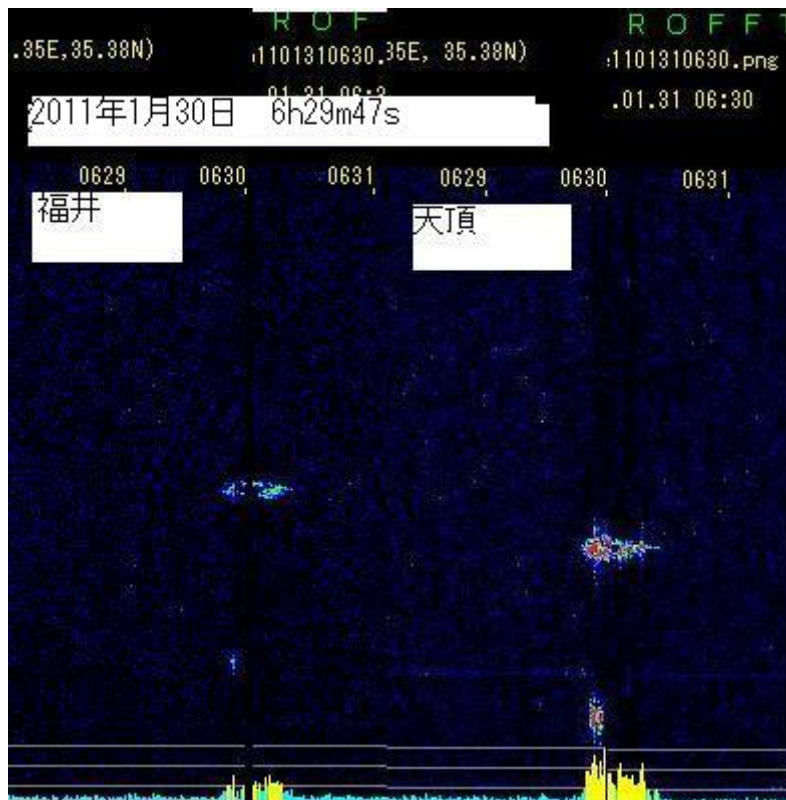
2011年しぶんぎ流星群のデータ



ちょっと変わったロングエコー



2011年1月19日 3h50m39- 55s
天頂のアンテナの方がきちんと受信している。



2011年1月30日 6h29m47s - 継続時間 49s
2枚の画像を切り張りした。福井に向けたアンテナでは別々な状態に感じられるが天頂方向の画像を見るとロングエコーになっている。



2011年1月31日 8h34m59s 継続時間 51s

これも天頂方向のアンテナの方の受信状態が良い。福井の画像だけだと、ロングエコーと
感じられないだろう。

これら3種類の画像を見ると、受信時の周波数が違っている。

アンテナの角度は、福井高専は水平、天頂は垂直で、丁度90度の角度にしてある。

IIビデオ同時観測により検出された流星群輻射点カタログ

から抜粋。我々の同時流星観測から得られた輻射点とIAU流星群リスト(295群)との比較

重野好彦

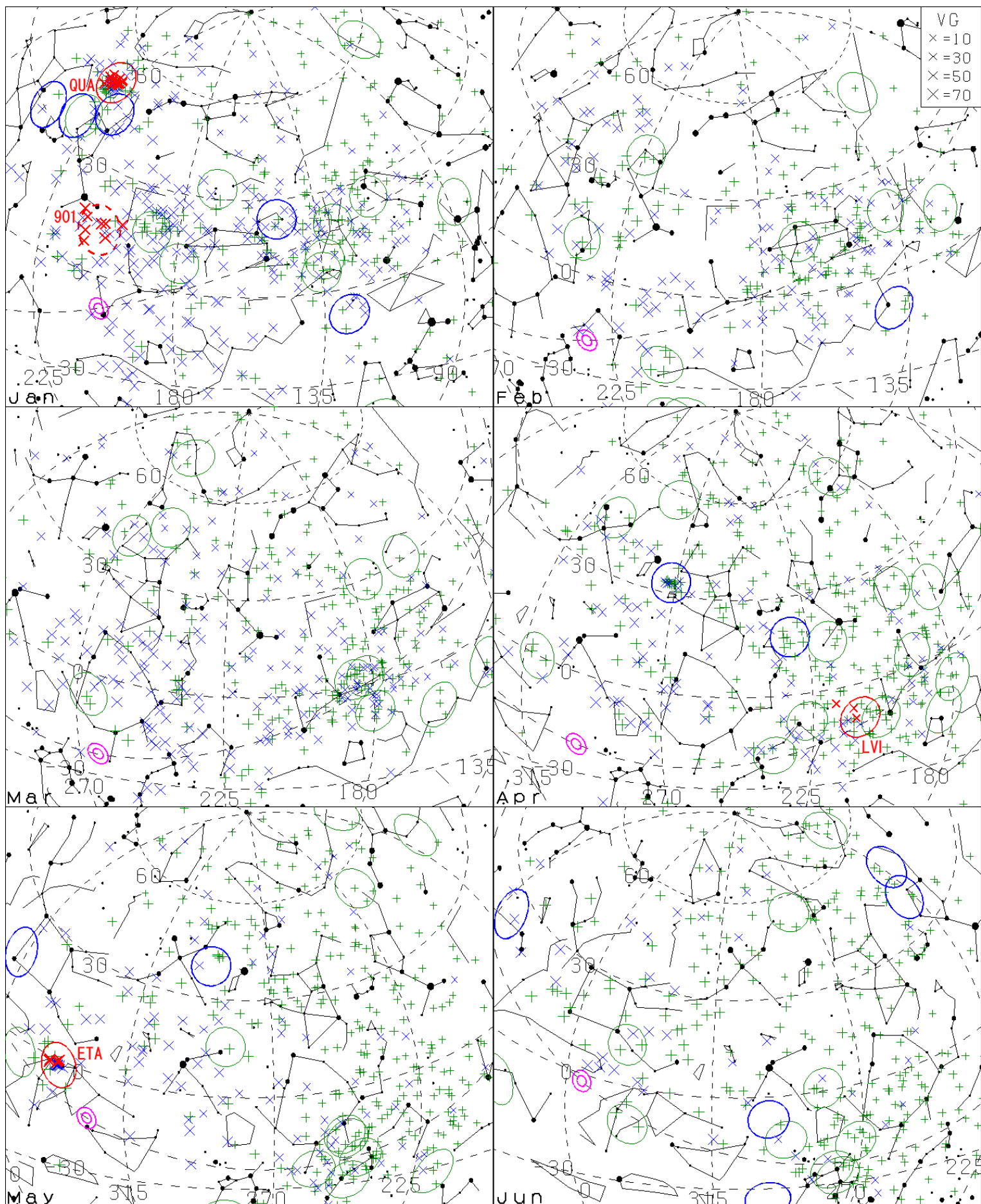


図4. II同時観測により得られた3,770例の輻射点分布(1月~6月、続く)

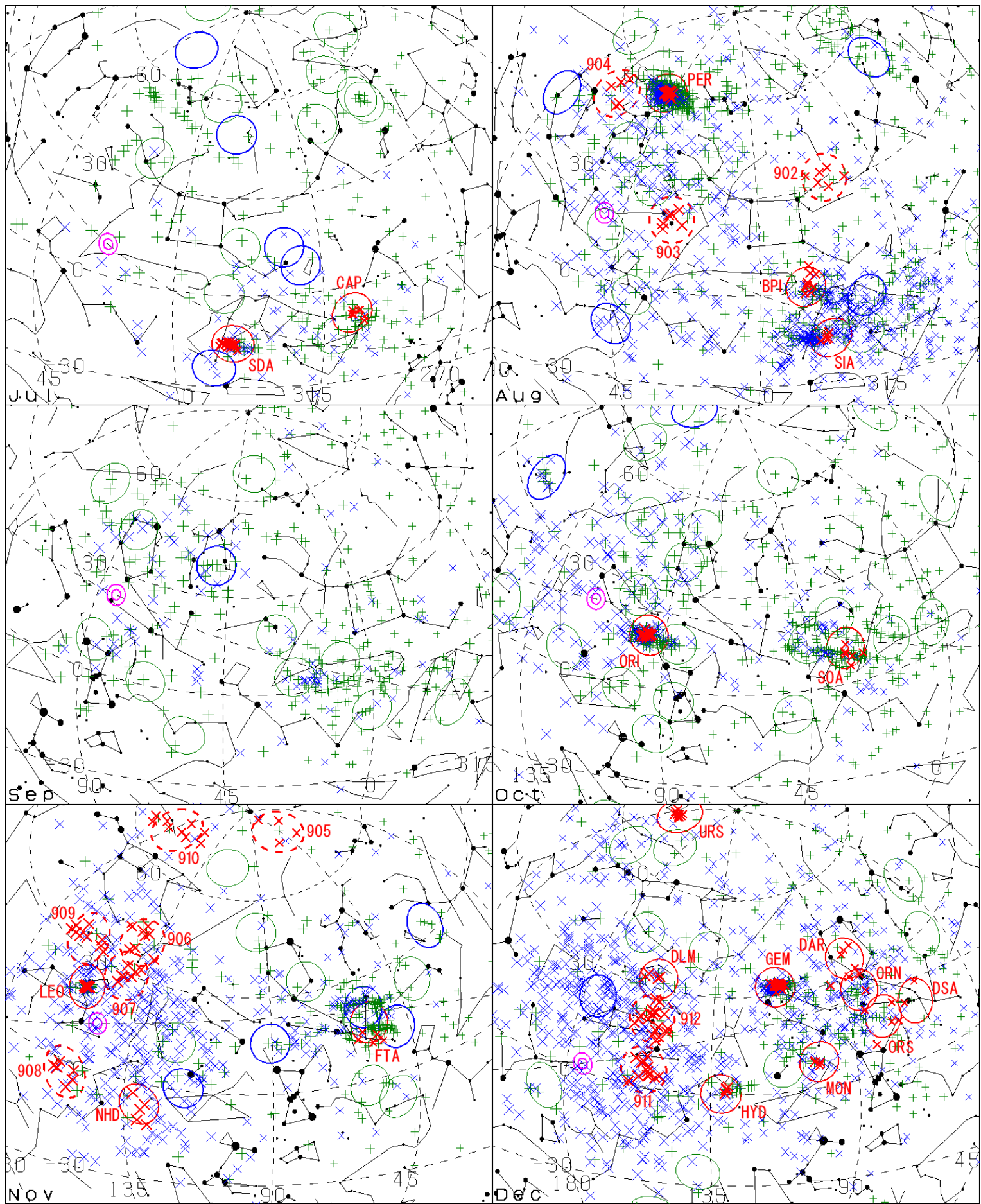


図4(続き). 輻射点分布(続き、7月~12月)

- ×印(青色) : 我々の輻射点 (平均を求めるために使用した流星は赤色)
- +印(緑色) : M&Pデータの輻射点 ◎印(紫色) : 地球向点 (各月15日の位置)
- 実線の楕円(緑色)(半径6度) : IAUリストの輻射点. established meteor showersは太線で青色の楕円とした。我々の観測で同定された場合は赤色とした。
- 点線の楕円(赤色)(半径7度) : 今回検出した未知群の輻射点

かみのけ群？

2010/10/10 流星物理セミナー
日本流星研究会 小関正広

1. 「かみのけ群」とは

かみのけ群が注目を集めるようになったのは、McCrosky と Posen がスーパーシュミットカメラによる写真観測から1月中旬の活動を指摘して依頼である。これが紹介されて、日本でも眼視観測されるようになった。その後、Lindblad が1月初旬の活動を、さらに、Cook が12月の活動(こじし群)を指摘して、三者の連続性が注目されるようになった。

2. 現在の注目点

IMO では「かみのけ群」を12月から1月にかけて活動するとして扱い、IAU でもほぼ同様の扱いとなっている。最近、CCD 観測によって、12月の活動がかなり活発であることが指摘され、注目を集めるようになってきている。しかし、眼視等では特に盛んな活動が見られているわけではない。

3. 流星活動の活発な領域

流星群以外の「散在流星」の輻射点が集中する領域として、次のものが知られている。

- (1)太陽と反対方向に輻射点をもつもの：<木星族>の彗星を起源とすると見られる：近日点通過前。
- (2)太陽の方向に輻射点をもつもの：<木星族>の彗星を起源とすると見られる：近日点通過後。
- (3)地球向点の方向に輻射点をもつもの：多くは逆行軌道をもつもの。
- (4)黄緯の高い輻射点をもつもの：軌道半径が小さく、傾斜角の大きいもの。

これらに加えて、「かみのけ群」と称される領域も同様に周年の活動をしていると推測される。

4. 「かみのけ群」の輻射点分布

黄道座標を用いて、太陽の方向を固定した(L-Ls, B)の座標系で輻射点を表すと、輻射点移動をほぼ無視できる。第1図はシュミットカメラと小型カメラによる写真観測の結果を示したものであり、△が「こじし群」、●が1月初旬の「かみのけ群」、*が中旬の「かみのけ群」に相当する。

5. 周年の活動

第1図の範囲から放射する流星の活動はほぼ1年を通してみられる。写真観測された流星数を第2図に示す。確かに、年末から年初にかけての撮影数が多くなっているが、これには、輻射点の天球上の位置も関係していると考えられる。第3図に上田の CCD 観測による輻射点集中域(写真観測もほぼ同様)である(L-Ls, B)=(243, +22)の位置が赤道座標上でどのように移動するかを示した。ただし、それぞれ、太陽黄経で0度から30度刻みで月を示したので、表示位置はほぼ各月の22日頃に相当する。第2図で撮影数の少ない時期は輻射点が低緯度にあることが分かる。

7月のペガサス、9月のペルセウス、10月のぎょしゃ等、眼視観測によってもしばしば、高速の流星活動が指摘されてきているが、これらの活動は年間を通してのものである可能性がある。

第1表に写真撮影数の多い時期について活動中心と考えられる位置を示す。なお、日付は目安である。

第1表：CCD 観測による活動中心(L-Ls=243, B=+22)の赤道座標

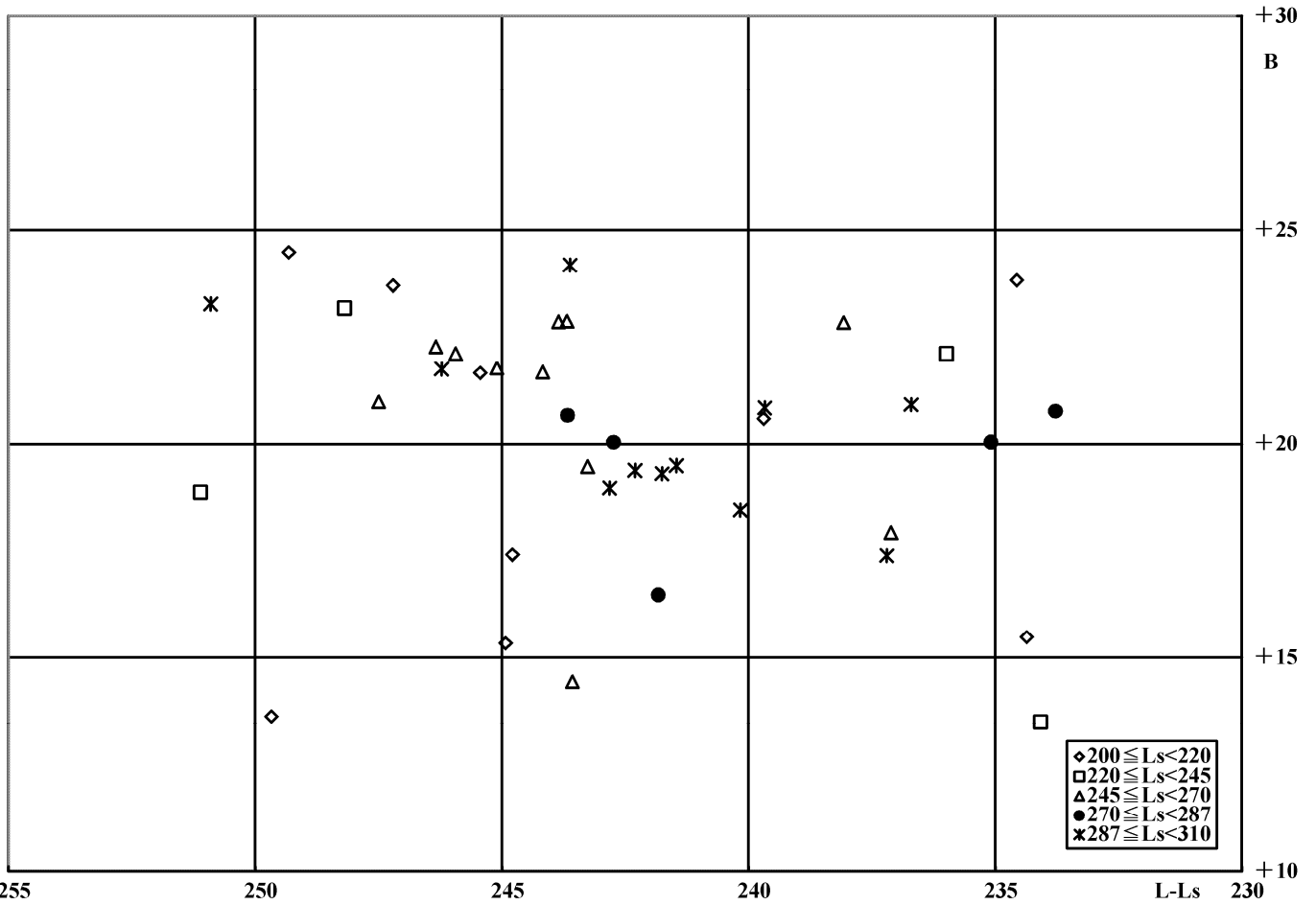
Day	9/22	10/2	10/12	10/22	11/2	11/12	11/22	12/2	12/12	12/22	1/2	1/12	1/22
Ls	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
R.A.	55	68	81	94	107	120	132	143	154	164	174	183	192
Dec.	42	44	45	45	45	43	41	38	34	31	27	23	19

6. 考察

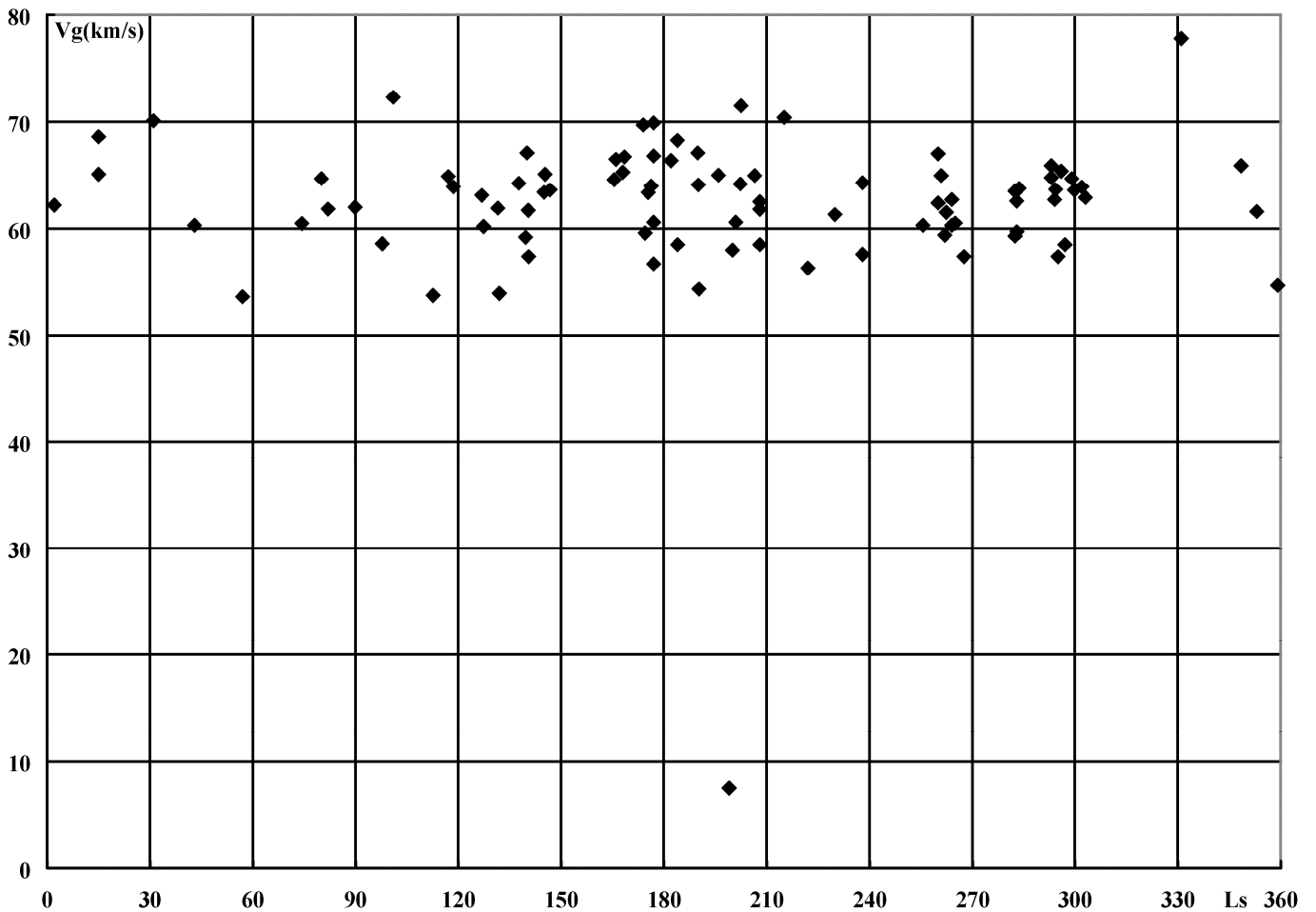
軌道傾斜角が大きく、離心率も1に近い特徴的な軌道であり、このような軌道をもつものが年間を通して活動するとは考えにくい。しかし、「3」で示した領域の他では、この領域が際だった輻射点の集中領域であることから、何らかの起源を検討する必要がある。

また、この活動領域の大きな特徴は、明るい流星に特異的に見られるということである。第4図はハーバードの電波観測による輻射点分布を示す。第1図のような集中は見られない。また、第5図は暗い流星を対象とする別の観測方法による分布である。

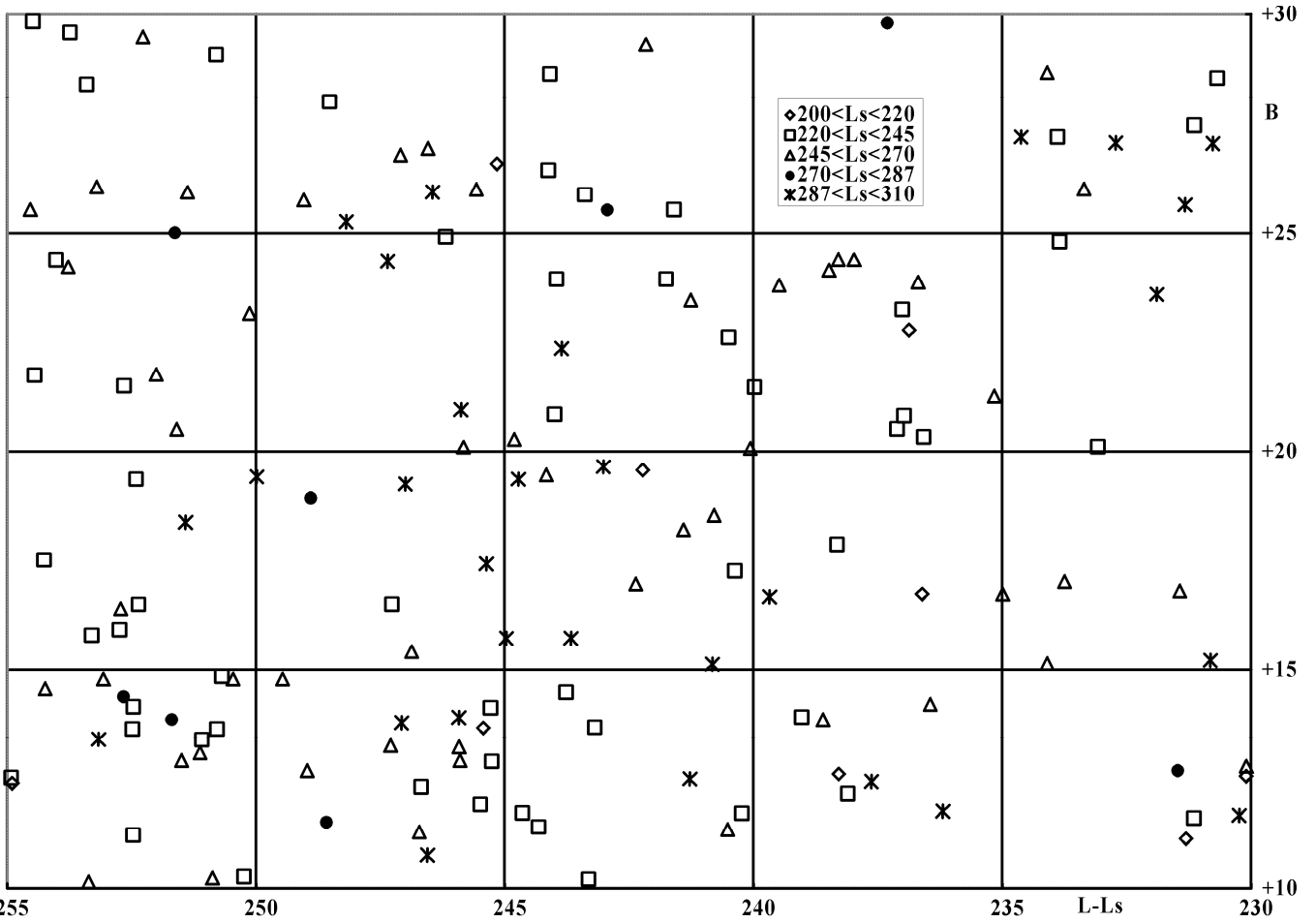
この領域での活動は、明るい(mag<2)流星が HR<1 程度の出現を見せることによって特徴づけられている。CCD 観測によって俄に注目されるようになったのは、このためである。従って、今後の観測、研究にも特性に応じた方法が必要になる。



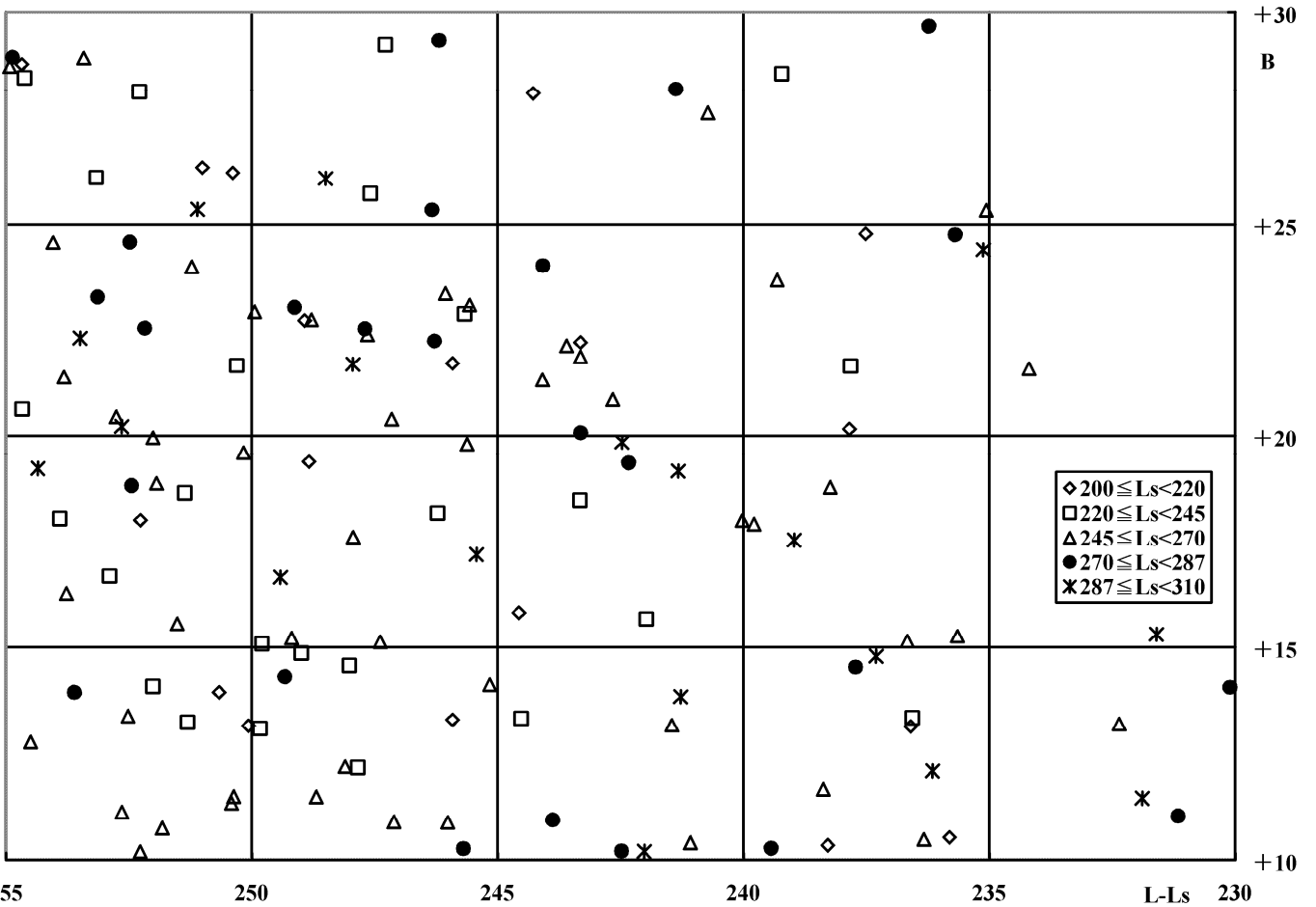
第 1 図：写真観測による輻射点分布：L-Ls=輻射点の黄経-太陽黄経、B=輻射点の黄緯



第 2 図：第 1 図の領域で観測された写真流星数：Ls=太陽黄経、Vg=地心速度



第4図：Harvardの電波観測(1961-65)による輻射点分布



第5図：____による輻射点分布

I I ビデオ同時観測により検出された流星群輻射点カタログ

Meteor shower catalog based on 3,770 triangulation analyses of double-station Image-Intensified video observations over Japan

重野好彦 山本真行

要旨

1992年12月から2009年10月までにImage Intensifier (I I) 付きビデオで2点観測し軌道の求まった3,770例の同時流星に関して、D判定及びD'判定を利用して、IAU流星群リストと照合を行った。その結果22既知群と12未知群を検出した。IAUリストには295群(2009年6月現在)が登録されているが、毎年定常的に出現している群は少ないことが分かった。またI Iは8等までの暗い流星を対象としているため、得られた未知群の多くが地球向点付近の高速で暗い流星群であった。IAUリストは流星群数が多いため全体のイメージがつかみ難い。そこで本論文では星図上にプロットすることで読者に理解しやすくした。本研究のためには輻射点の誤差を正しく示すことが重要である。そこで輻射点の誤差楕円の考え方を導入し検証した。多くの研究者に役立てていただくため、本研究で用いた独自のI I観測による同時流星ビデオ動画像と軌道データをカタログ形式で収録した。

1. はじめに

1992年12月からI Iを使用した同時ビデオ観測を開始した。2009年10月までに3,770流星が得られており、幾つかの観測報告(e.g. Shigeno et al., 1997; Y. Shigeno & T. Shigeno, 2004.)を行ってきた。

従来の研究でも、既知群と照合するため幾つかの文献を参考にしてきた。Cookのリスト(Cook 1971)はMcCrosky & Posenによる観測結果(McCrosky & Posen, 1961)などを参考にして58流星群の輻射点、軌道要素などを一覧にしている。写真観測による古典的リストとすることができる。Cronkの冊子(Cronk, 1988)は非常に多くの文献をまとめ、119群を紹介しており、流星群の集大成となっている。IMOのHandbook(Rendtel et al., 1995)は観測方法の説明とともに、主要な38群を紹介している。

ところでIAU Meteor Data Centerが流星群リスト(Jenniskens et al., 2009)を発表した。295群もあるため、観測結果と照合するにも扱いが容易でない。そこでまずは星図上にIAUリストの輻射点と今回観測された3,770個の同時観測流星から得られた輻射点をプロットすることから始めた。そして次に、既知群及び未知群を検出し、幾つかの考察を行ったので紹介する。

2. 観測機材

観測に用いた機材の外観とブロック図を図1に示す。I Iは浜松ホトニクス製V3287P、またはデルフトハイテック製XX1470を使用した。これらは第2世代I Iと言われ、増幅率は約5万倍である。1992年当時の可能な限りの観測方式として、画像は41万画素CCDで撮影し、Hi8ビデオテープに録画した。2005年以降はDVフォーマットでPCに録画している。

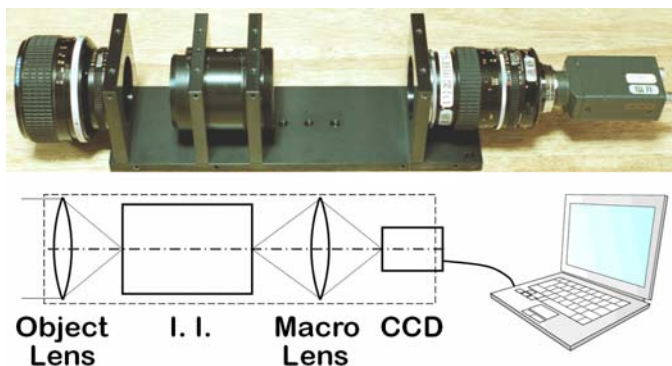


図1. I Iを使用したビデオ機材とブロック図

対物レンズは交換式で、主に使用したレンズはCanon製85mm F1.2、視野は12度×9度、最微恒星等級は約9.5等、最微流星等級は約8等である。位置の平均測定誤差は約70秒角(標準偏差)、三角測量による輻射点算出の平均誤差は

約0.6度(標準偏差)である。この観測機材は約50台製造され、日本の観測者に配付されている。

著者のグループの主な観測地は群馬県赤城山(E:139° 11' 33" N:36° 28' 42")と埼玉県秩父郡(E:139° 06' 10" N:36° 05' 56") (世界測地系)で、ほぼ南北に並んでおり、基線は42.9 kmである。視野が狭いのでファインディング星図を作成し、最大の同時率が得られるように約0.5度の精度で視野設定を行った。

3. 流星群の検出方法

295群にも及ぶIAU流星群リストは、今までの流星観測の集大成と言えるだろう。よってこれを基準として、我々の観測結果を当てはめ、既知群を同定した。次に既知群には該当しないが流星群活動と思われる未知群を探し出した。

3.1. D/D' 判定による群の検出

基本的な考え方として、以下1-1)~1-4)に示す流れで、全データより流星群をピックアップすることとした。

1-1) 目的の流星群(軌道要素)に関連する流星を検出するにあたり、まずはD判定(Southworth & Hawkins, 1963)及びD'判定(Drummond, 1979)により分類した。軌道要素により検出されやすさが異なるため、D判定とD'判定のどちらか一方でも検出されれば同一群とみなした。次に検出された流星をさらにふるいにかける方法で絞り込んだ。ここでD判定及びD'判定を簡単に紹介する。

a) D判定は2つの軌道要素間の類似度を調べる方法で、要約すると(1)式で表される。多くの実データへの当てはめ結果から、経験的にDの値が0.2以下を同一群とみなす。

$$\begin{aligned} D^2 = & (\text{離心率の差})^2 \\ & + (\text{近日点距離の差})^2 \\ & + \{2\sin(\text{軌道面間の角度})\}^2 \\ & + \{2\sin(\text{近日点黄経間の角度})\}^2 \end{aligned} \quad (1)$$

b) D'判定は、D判定に改良を加えた方法で、(2)式で表される。

$$\begin{aligned} D'^2 = & (\text{離心率の差})^2 \\ & + (\text{近日点距離の差})^2 \\ & + \sin(\text{軌道面間の角度})^2 \\ & + \sin(\text{近日点方向間の角度})^2 \end{aligned} \quad (2)$$

D'判定の改良点は以下の通り。

- ・ 近日点黄経間の角度の代りに、実際の近日点方向間の角度にした。
- ・ 判定式の4項それぞれの値が、0~1の間の値を取る様に4項それぞれの計算式を工夫して、判定値に平等に影響を与える様にした。D判定では、離心率の差、近日点距離の差は0~1の値、 $2\sin(\text{軌道面間の角度})$ 、 $2\sin(\text{近日点黄経間の角度})$ は0~2の値を取っていたため、項目によって判定値に与える影響が異なっていた。
- ・ D'判定はD判定の1/2程度になることが多く、経験的にD'の値が0.1以下を同一群とする判定が採用されている。

1-2) 流星群の平均を求めるにあたり、我々のビデオ観測データのみを使用した。

1-3) 観測が複数日にまたがり、流星数が多い場合は、最も流星数の多い1日の観測データを使用して平均を求めた。

1-4) 我々の全観測データから関連のありそうな流星を探し出すにあたり、参考のためMcCrosky & Posen(1961)による観測データ(以下M&Pデータ)から、同一群と思われる流星数を求めた。両者の比較で分かることは、

a) M&Pデータは1952~1954年の写真観測であり、我々のビデオ観測と同群が求

められたと言うことは、少なくとも50年間活動していることになる。

b) M&Pデータの写眞はおよそ4等までの明るい流星、我々のビデオ観測はおよそ8等までの暗い流星を対象としており、明るい流星、暗い流星のどちらも出現していることが分かる。

3.2. IAUリストを使用した既知群の同定方法

上節の流れで得られたデータとIAUリストの比較で問題となることは、IAUリストは流星群の軌道要素を扱っていないことである。そこで以下2-1)~2-4)の手法を採用した。

- 2-1) 極大時太陽黄経、輻射点、速度から軌道要素を求めた。
- 2-2) 求めた軌道要素を親データとして、D判定及びD'判定により、全観測データから関連のありそうな流星を探し出した。
- 2-3) 探し出した流星から、観測日や輻射点の平均と標準偏差(σ)を求め、 2σ を基準として、原則としてそれ以上平均から離れている場合は切り捨てた。そして平均輻射点、速度、軌道要素を求めた。
- 2-4) これらの処理により既知の22群を同定した。表1に示すように、これらはIAU番号001~342に該当すると考えられる。

3.3. 未知群の検出方法

295群のIAUリストに対する3.2節のデータ比較には該当せず、独自データにより検出された未知の流星群についてその検出手法を述べる。

- 3-1) 星図上に、IAUリストと我々の観測及びM&Pデータの輻射点を月ごとに分けてプロットした。M&Pデータは論文(McCrosky & Posen, 1961)から塩井宏幸氏がキーインしたものを譲り受けた(Shioi, 1994, private communication)。
- 3-2) 目視で、IAUリストの輻射点には含まれていない未知の輻射点の集まりを探し、おおよその赤経、赤緯を求めた。
- 3-3) 求めた赤経、赤緯に近い輻射点を持ち、速度がほぼ一致する個々の流星をピックアップした。そして平均輻射点、速度、軌道要素を求めた。この方法により未知の15群が検出された。
- 3-4) 求めた軌道要素を親データとして、上記既知群の2-2)~2-3)の方法で平均輻射点、速度、軌道要素を求めた。
- 3-5) 輻射点がほぼ同じでも、速度の少しの違いにより、軌道が大きく異なる場合があり、3群削除して12群を残した。例えば地球向点付近に輻射点を持つ流星の場合、速度が3%違うと離心率が0.1変わり、D'判定の範囲を超えてしまう。ビデオ観測の場合、速度の誤差は大きいので、速度の速い流星群の判定は慎重を要する。結果を仮番号901~912として表2に示す。

4. 誤差楕円による輻射点の評価

流星群を検出する場合、輻射点の誤差の評価はたいへん重要である。そこで本報告では図2に示す誤差楕円(Shigeno et al., 2003)を使用して輻射点の誤差を求めた。

4.1. 誤差楕円の求め方

図2のように流星経路の測定点を P_1, P_2, \dots, P_n とするとき、それぞれ楕円で示す誤差を持っているものとする。ここで $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ は、それぞれの測定点の流星経路と直交する向きの誤差(標準偏差)である。このとき流星経路を平行移動させる誤差(σ_u)と、流星経路を傾かせる誤差(σ_t)は、それぞれ(3)式で表すことができる。ただしここで x_i は流星経路全測定点の平均位置から各測定点までを流星経路に沿って測った距離(radian)。

$$\sigma_u = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}}}, \quad \sigma_t = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{\sigma_i^2}}} \quad (3)$$

流星経路大円の極において、誤差楕円は流星経路全測定点の平均位置に向かう方向に σ_u 、それと直交する方向に σ_t の大きさを持つ。同じ流星を2地点以上で観測すると、それぞれの流星経路大円の極とその誤差楕円が求められる。複数の流星経路大円の極から輻射点を求めると、以上と全く同様の方法で輻射点の誤差楕円を求めることができる。

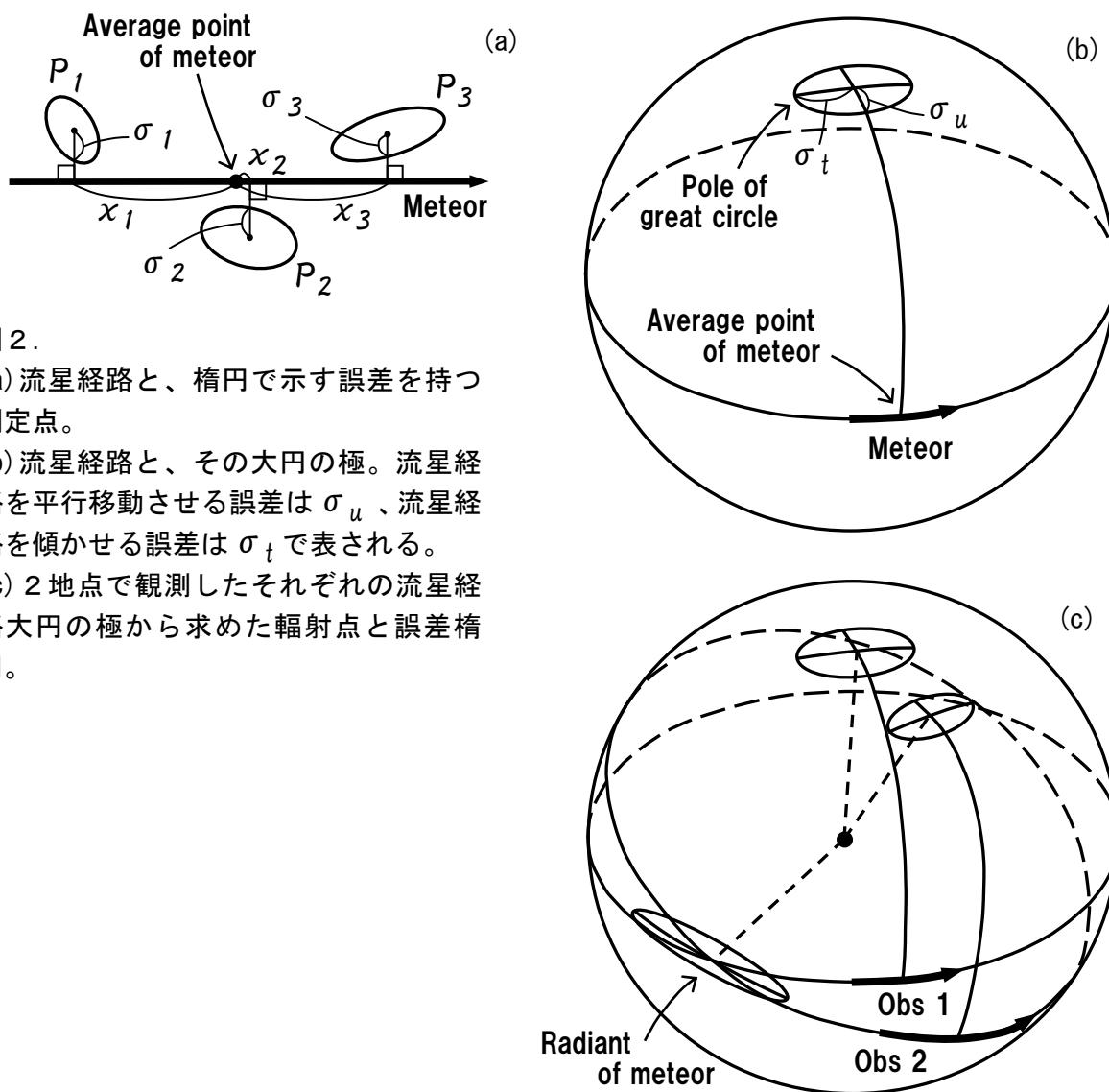


図2.

(a) 流星経路と、楕円で示す誤差を持つ測定点。

(b) 流星経路と、その大円の極。流星経路を平行移動させる誤差は σ_u 、流星経路を傾かせる誤差は σ_t で表される。

(c) 2地点で観測したそれぞれの流星経路大円の極から求めた輻射点と誤差楕円。

4.2. 観測された輻射点の広がり誤差

観測で得られた輻射点の誤差楕円の例を図3に示す。中心付近に小さい誤差楕円が集まり、周辺に大きい誤差楕円が広がっている。しかも誤差楕円の長径軸が中心から放射状になっており、誤差により輻射点が中心からずれたことをよく表している。

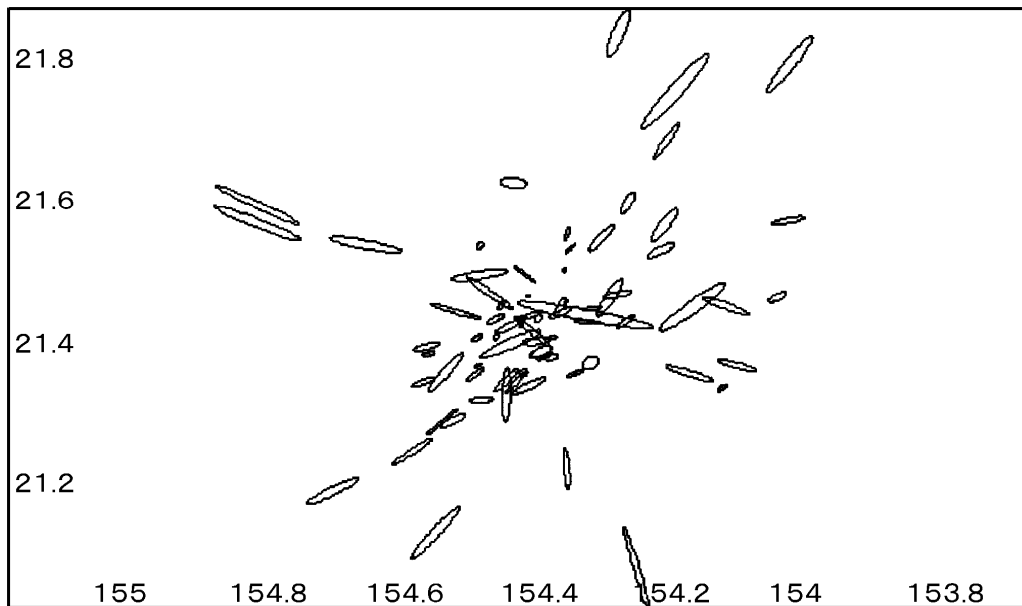


図3. 2001年11月18日の同時写真観測で得られた輻射点の誤差楕円分布。分かりやすくするため楕円のサイズを1/5に縮小している。

5. 輻射点の分布と比較

5.1. 輻射点分布図について

図4に月ごとの輻射点分布を示す。左図の×印は我々の観測した輻射点、+印はM&Pデータの輻射点、◎印は地球向点である。実線の楕円(半径6度)はIAUリストの輻射点を表す。IAUリストの中で65例が定義されているestablished meteor showersは太線とした。

右図は今回検出された流星群を示す。我々の観測で同定された既知群は実線の楕円(半径6度)、点線の楕円(半径7度)は今回検出した未知群の輻射点を表す。平均を求めるために使用した流星は×印で示した。(星図は平面に投影した場合、中心から離れるに従って円周方向に伸びるため、楕円に見えるが、正しい半径の円を表している)。

IAUリストを表すのに半径6度の円を使用した理由は、多くの群でこの円内にほとんど全ての輻射点計算結果が分布するからである。既知群は流星群CODEを付記した。未知群の輻射点を表すのに半径7度の円を使用した理由は、未知群は既知群よりも少し広い輻射点分布までを採用したためである。未知群は仮番号(IAU番号に相当)901~912を付記した。

図中に地心速度(VG)と×印サイズの関係を示した。×印のサイズはVGと比例し、VGが速いほど×印サイズを大きくプロットした。+印も同様にVGに比例して+印サイズを変えている。地球の公転運動の影響を反映し、地球向点付近は速い流星が多く、離れるに従ってVGが遅くなっていく様子が良く分かる。

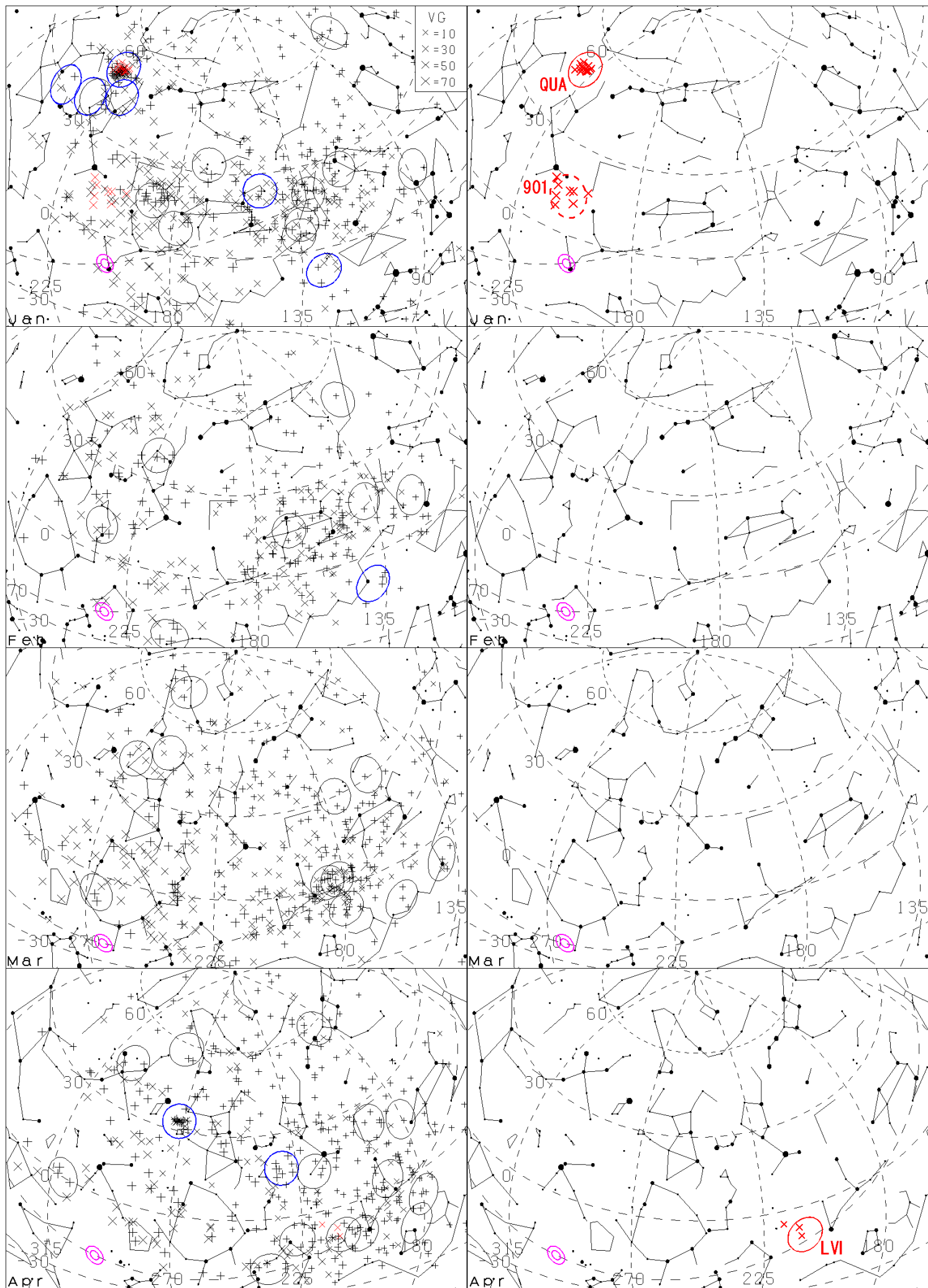


图4-1 (1月~4月) 左图: 輻射点分布 右图: 検出された輻射点

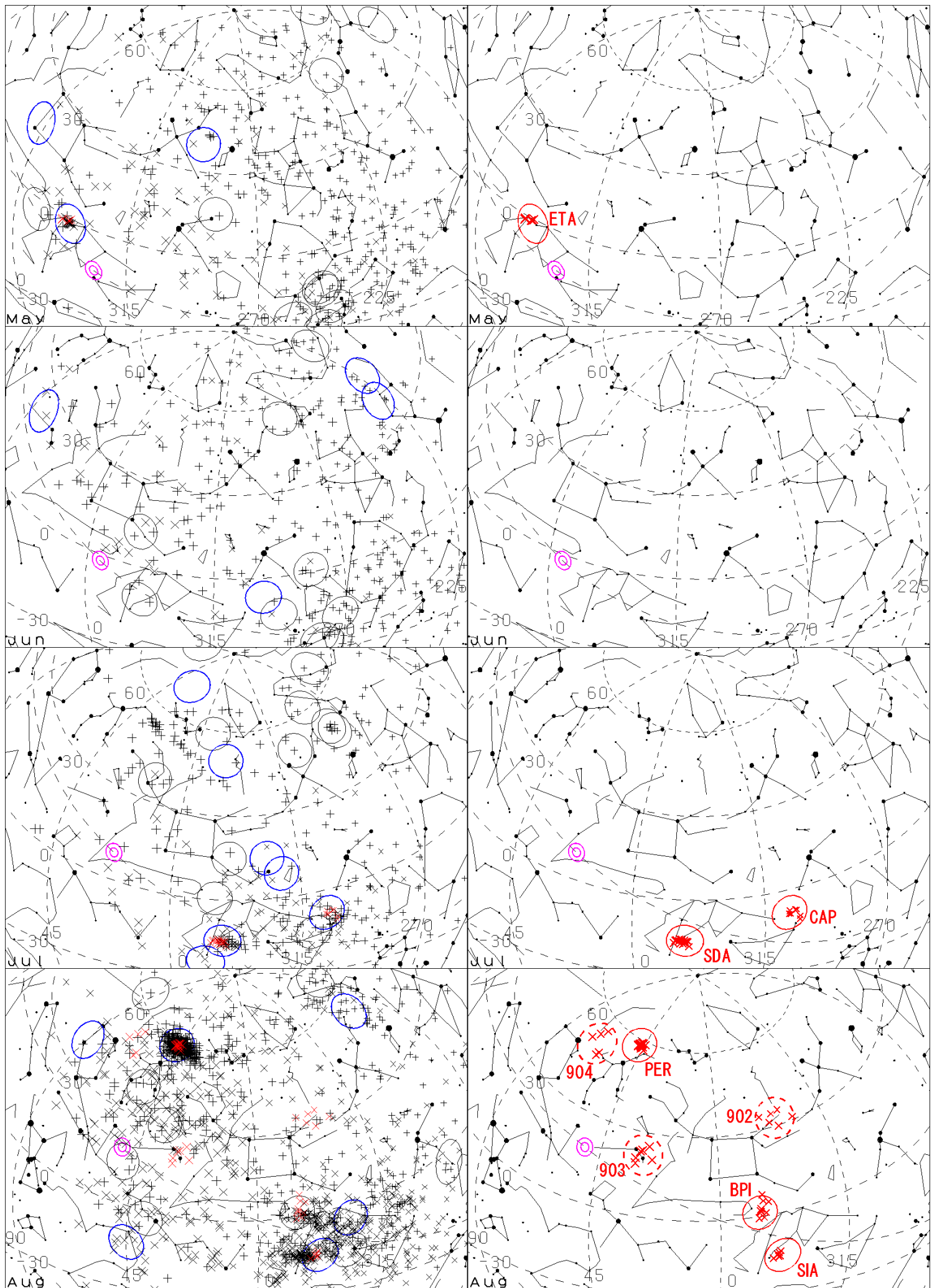


图4-2 (5月~8月) 左图: 輻射点分布 右图: 検出された輻射点

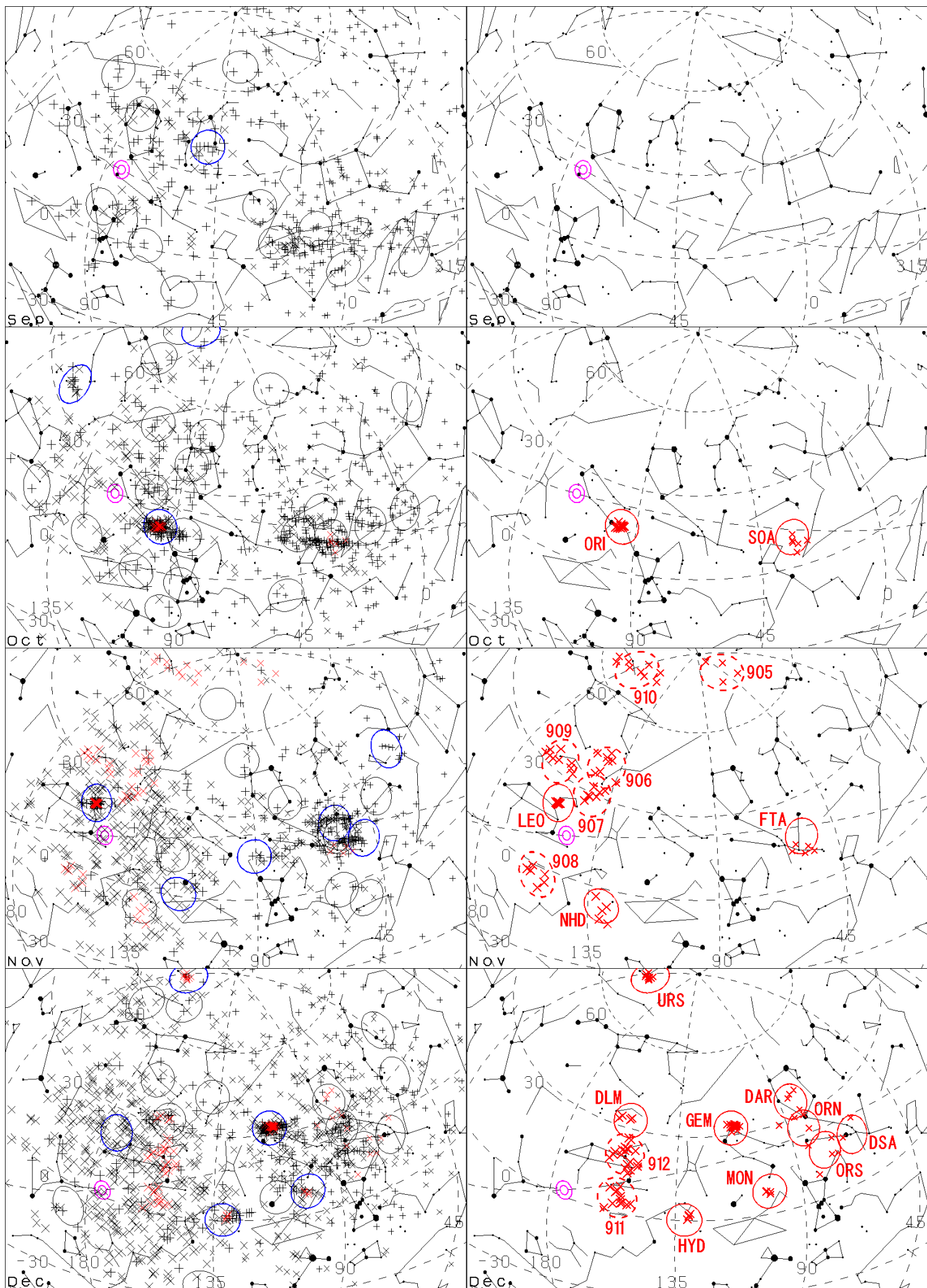


図4-3 (9月~12月) 左図: 輻射点分布 右図: 検出された輻射点

図4. I I 同時観測により得られた3, 770例の輻射点分布

月ごとに星図を分けて理解しやすくした。

- 1) 左図は我々の観測した輻射点、M&Pデータの輻射点、IAUリストの輻射点を表す。
- 2) 右図は今回検出された輻射点を表す。これには既知群、未知群が含まれる。

×印 : 我々の観測した輻射点

+印 : M&Pデータの輻射点

◎印 : 地球向点 (各月15日の位置)

実線の楕円(半径6度) : IAUリストの輻射点295群(2009年6月現在)

established meteor showers の65群は太線で表した。

点線の楕円(半径7度) : 今回検出した未知群の輻射点

5.2. 表1の既知群の同定結果の誤差について

各流星群で上段は平均値、下段はデータの拡がりを標準偏差で表したものである。例えば輻射点であれば、下段は輻射点の拡がりを標準偏差で表したものになる。一方、上段のAcoRP, DcoRP, VGの右側のEaは個々の流星の測定に含まれる計測・解析誤差の平均を表している。

例えばふたご群(IAU004:GEM)を見ると、輻射点の(赤経, 赤緯)は(111.7, 32.8)となっており、誤差はそれぞれ(0.2度, 0.1度)である。一方、下段のデータの拡がりを見ると、それぞれ(1.0度, 0.5度)となっている。つまり輻射点データの拡がりは、我々の観測における計測・解析誤差の5倍大きく、明らかに輻射点の拡がりを表していることが分かる。このような傾向はペルセウス群やしぶんぎ群などの主要群で同様に見られる。

このように主要群で観測精度が良いのは、主要群(しぶんぎ群、ペルセウス群、ふたご群など)の輻射点位置を知った上で、輻射点に直交する方向に写野が来るように観測場所の2地点の配置を考え、撮影方向を決めたためである。主要群以外は輻射点方向がランダムになり、個々の輻射点の決定精度は良くない。全観測3, 770例の輻射点の決定精度(誤差の平均)は約0.6度(標準偏差)である。

主要群の中でもしし群(IAU013:LEO)は傾向が異なる。輻射点の平均決定精度が(赤経, 赤緯) = (0.3度, 0.1度)であるが、データの拡がりもそれぞれ(0.3度, 0.1度)となっている。誤差とデータの拡がりと同じと言うことは、データの拡がりはこれ以上小さかった可能性があるが、誤差のために検出できていないことになる。このしし群は2001年の大出現を捉えたものであり、集中度が高かったことが分かる(Shigeno et al., 2003)。

5.3. 表2の未知群の検出結果について

表2のデータについても観測精度は上述した主要群以外の場合と同様である。未知群は流星数が少ないため、長い観測期間に対応し、広い輻射点を採用するため精度的には問題ないと言える。検出した全ての群に於いて複数年、複数日の観測から平均を求めている。実際に平均を求めるにあたり、観測日は最大で±6日以内、輻射点は最大で±6度以内の範囲を使用した。より多くの観測結果から同質の流星を得られるように絞り込みを行った結果、この範囲内が最適と考えた。

表 1. 既知群の同定結果

全て2000年分点。DATEで年の表示があるものは最も流星数の多い1日の観測データを使用して平均を求めた場合。年の表示がないものは複数年、複数日の観測から平均月日を求めた場合。S. Long : 太陽黄経、AcoRP, DcoRP : 補正輻射点、VG : 地心速度、a, e, q, Peri, NODE, i : 軌道要素、Hb, He : 発光/消滅高度、Amag : 絶対等級、clc : 平均を求めるために使用した流星数。MSS : 我々の観測で同群と思われる流星数。M&P : M & P データで同群と思われる流星数。

誤差について : 各流星群で上段が平均値、下段がデータの拡がりを標準偏差で表したもの (注意 : 個々の流星の計測・解析誤差ではない) 。上段のAcoRP, DcoRP, VGの右側のEaは個々の流星の計測・解析誤差の平均値を表している。

同定された既知群のIAU番号, CODE, ShowerNameは以下の通り。

IAU CODE ShowerName	IAU CODE ShowerName
001 CAP alpha Capricornids	003 SIA South. iota Aquariids
004 GEM Geminids	005 SDA South. delta Aquariids
007 PER Perseids	008 ORI Orionids
010 QUA Quadrantids	013 LEO Leonids
015 URS Ursids	016 HYD sigma Hydrids
019 MON Dec. Monocerotids	028 SOA South. Oct. delta Arietids
031 ETA eta Aquariids	032 DLM Dec. Leonis Minorids
049 LVI lambda Virginids	245 NHD Nov. Hydrids
256 ORN North. chi Orionids	257 ORS South. chi Orionids
258 DAR Dec. alpha Aurigids	286 FTA omega Taurids
288 DSA South. Dec. delta Arietids	342 BPI Aug. Beta Piscids

IAU	DATE (UT)	S. Long	AcoRP Ea	DcoRP Ea	VG Ea	a	e	q	Peri	NODE	i	Hb	He	Amag	clc	MSS	M&P
001 CAP	19980731.62	128.23	305.0 0.3	-8.7 0.8	20.8 1.1	2.32	0.728	0.632	264.0	128.2	7.1	98.4	87.1	5.0	7	26	20
	0.02	0.02	1.6 -	1.3 -	0.8 -	-	0.022	0.026	3.2	0.0	0.9	3.4	2.6	0.6			
003 SIA	19980801.65	129.21	340.7 0.2	-15.6 0.5	38.2 1.2	2.07	0.952	0.100	148.1	309.2	20.7	101.0	83.5	3.9	6	24	6
	0.04	0.04	1.0 -	0.8 -	1.1 -	-	0.009	0.005	0.9	0.0	2.7	0.9	2.6	2.3			
004 GEM	19991212.70	260.22	111.7 0.2	32.8 0.1	33.4 1.1	1.27	0.883	0.149	324.1	260.2	22.8	101.6	85.8	4.7	50	242	147
	0.06	0.06	1.0 -	0.5 -	1.1 -	-	0.012	0.007	0.9	0.1	1.3	1.7	3.2	1.6			
005 SDA	19980801.65	129.22	343.3 0.5	-15.8 0.7	38.6 1.1	1.82	0.953	0.085	151.3	309.2	26.7	99.8	85.9	3.5	16	34	13
	0.03	0.03	1.4 -	0.6 -	1.6 -	-	0.012	0.007	1.6	0.0	2.4	2.3	4.2	1.5			
007 PER	19970812.66	140.00	47.3 0.6	58.1 0.3	58.8 1.0	10.9	0.913	0.950	150.5	140.0	112.6	119.3	99.0	1.7	20	142	330
	0.06	0.06	1.2 -	0.6 -	1.0 -	-	0.071	0.009	2.5	0.0	1.3	7.3	2.6	1.9			
008 ORI	19961021.76	208.68	95.9 0.8	15.8 1.1	66.2 2.0	8.47	0.932	0.574	83.1	28.7	164.1	115.8	99.0	2.2	16	37	46
	0.06	0.06	1.0 -	0.5 -	1.4 -	-	0.071	0.028	4.7	0.1	1.0	1.5	5.0	0.9			
010 QUA	19970103.67	283.38	230.1 0.9	49.7 0.4	41.1 0.9	2.95	0.668	0.979	172.0	283.4	71.5	105.8	96.3	2.4	16	33	22
	0.04	0.04	2.1 -	1.2 -	0.9 -	-	0.037	0.004	3.8	0.1	1.4	2.9	-	1.7			
013 LEO	20011118.78	236.48	154.3 0.3	21.5 0.1	70.6 1.1	9.57	0.897	0.986	174.4	236.5	162.5	125.8	92.3	0.9	35	141	23
	0.03	0.03	0.3 -	0.1 -	0.8 -	-	0.061	0.001	1.2	0.0	0.2	17.0	4.3	3.0			
015 URS	20061222.75	270.66	219.2 2.3	75.1 0.2	32.4 1.0	4.19	0.776	0.939	206.3	270.7	52.3	105.7	97.1	4.6	10	10	3
	0.04	0.04	3.7 -	0.7 -	1.2 -	-	0.054	0.006	1.7	0.0	1.4	2.1	1.1	0.6			
016 HYD	1215.25	262.85	130.4 0.3	1.5 0.4	57.7 1.0	9.76	0.978	0.217	125.3	82.9	126.8	116.4	94.7	3.2	4	6	5
	0.83	0.74	0.4 -	0.8 -	0.5 -	-	0.007	0.007	0.9	0.7	1.5	-	1.4	1.3			
019 MON	1212.95	260.51	102.1 0.2	7.8 0.4	40.1 1.1	7.29	0.973	0.199	128.3	80.3	33.8	103.2	88.8	5.1	4	11	8
	0.59	0.66	0.9 -	0.5 -	1.6 -	-	0.020	0.004	0.9	0.5	1.7	3.6	4.9	1.1			
028 SOA	19931011.67	198.44	32.9 1.4	9.0 4.9	27.0 1.1	1.66	0.805	0.323	121.2	18.4	5.0	103.6	90.7	3.6	6	6	33
	0.03	0.03	1.4 -	1.6 -	1.7 -	-	0.041	0.032	3.7	0.0	1.7	4.0	3.4	1.3			
031 ETA	19950506.72	45.79	338.1 0.6	-0.8 0.3	66.0 1.9	21.7	0.972	0.599	100.1	45.8	162.9	114.4	99-	1.9	5	19	2
	0.02	0.02	1.4 -	0.5 -	0.6 -	-	0.026	0.024	2.8	0.0	1.2	-	-	1.7			

032	1214.08	261.90	158.0	0.4	33.0	0.3	61.9	1.8	4.80	0.878	0.587	262.3	261.8	133.3	113.9	100.0	4.2	4	7	5
DLM	0.51	0.59	2.7	-	0.5	-	1.3	-	-	0.081	0.027	3.0	0.5	1.0	1.3	2.4	0.3			
049	20070414.68	24.24	215.7	0.3	-6.8	1.3	26.5	0.9	1.50	0.723	0.414	293.7	24.3	7.0	102.8	93.4	5.2	3	3	6
LVI	0.10	0.10	3.7	-	3.2	-	4.7	-	-	0.060	0.026	4.1	0.1	4.2	3.5	3.6	0.3			
245	1118.68	235.91	130.0	0.5	-7.1	1.0	64.5	2.5	7.26	0.877	0.895	36.8	55.8	134.5	113.1	95.7	3.8	5	6	0
NHD	0.35	0.26	1.9	-	3.5	-	1.9	-	-	0.113	0.027	6.2	0.3	5.8	6.2	5.3	1.3			
256	1212.25	259.96	86.5	0.2	29.3	0.1	22.9	1.1	1.76	0.723	0.487	282.0	259.9	4.9	100.2	90.5	6.1	5	19	23
ORN	0.51	0.25	5.5	-	2.1	-	1.4	-	-	0.036	0.064	9.0	0.2	1.8	2.1	1.3	0.8			
257	20011211.65	259.65	80.8	0.3	14.1	0.3	20.4	1.0	1.97	0.706	0.579	89.5	79.6	6.2	97.2	87.6	6.2	4	29	14
ORS	0.05	0.05	4.6	-	5.0	-	3.0	-	-	0.063	0.090	10.1	0.0	3.4	5.4	2.6	0.2			
258	1212.87	260.65	83.8	0.4	35.1	0.2	19.9	0.8	1.60	0.652	0.559	275.4	260.7	8.1	95.3	82.4	6.5	5	24	6
DAR	1.39	1.31	2.0	-	4.0	-	2.8	-	-	0.071	0.067	6.2	1.3	2.6	5.9	9.3	0.4			
286	1123.06	240.72	58.7	0.3	11.7	0.3	19.4	0.8	1.86	0.661	0.630	84.6	60.5	5.2	98.5	86.6	4.8	5	10	6
FTA	4.09	4.22	2.9	-	1.3	-	1.4	-	-	0.035	0.056	7.0	4.3	0.3	6.0	2.3	1.9			
288	1212.16	260.19	72.9	0.5	16.0	0.3	16.0	0.9	1.80	0.601	0.719	73.6	80.0	3.0	92.0	84.1	6.0	5	16	12
DSA	0.91	1.07	4.4	-	3.1	-	1.9	-	-	0.055	0.046	6.6	1.0	2.4	5.2	4.0	1.0			
342	0811.90	139.51	345.0	0.6	4.5	1.6	36.1	1.2	1.38	0.907	0.129	326.7	139.4	24.8	100.2	84.2	3.4	9	16	11
BPI	0.39	0.35	0.7	-	3.0	-	3.0	-	-	0.031	0.016	0.9	0.2	4.2	3.4	2.8	1.4			

表 2. 未知群の検出結果

データの項目、内容は表 1 と同様。検出された未知群の仮番号 (IAU番号に相当), CODE, ShowerName はここで以下の通り定義する。

IAU CODE	ShowerName	IAU CODE	ShowerName	IAU CODE	ShowerName
901 NBO	nu Bootids	902 ETP	eta Pegasids	903 BAR	beta Arietids
904 MPR	mu Perseids	905 GCP	gamma Cepheusids	906 NLY	Nov. Lyncids
907 MLE	mu Leonids	908 ASX	alpha Sextantids	909 NLM	Nov. Leonis Minorids
910 LDR	lambda Draconids	911 RLE	rho Leonids	912 DCL	Dec. Leonids

IAU	DATE (UT)	S. Long	AcoRP	Ea	DcoRP	Ea	VG	Ea	a	e	q	Peri	NODE	i	Hb	He	Amag	clc	MSS	M&P
901 NBO	0119.74	299.18	206.0	0.8	12.6	0.3	62.8	2.5	2.75	0.691	0.850	221.7	299.8	140.5	111.3	97.6	3.9	8	13	1
	4.39	4.29	4.1	-	2.7	-	2.5	-	-	0.166	0.086	24.6	4.4	4.9	1.8	5.2	1.1			
902 ETP	0808.16	135.40	334.6	0.4	32.7	0.4	34.5	0.9	1.46	0.685	0.460	293.1	134.8	55.1	101.7	88.1	5.0	6	7	3
	2.82	2.93	5.2	-	2.0	-	7.9	-	-	0.147	0.067	17.2	3.2	10.9	2.6	8.3	1.4			
903 BAR	0808.16	135.38	28.8	0.4	21.9	0.9	65.5	2.8	3.25	0.728	0.882	226.2	135.0	161.1	111.4	101.5	4.2	6	12	1
	2.20	2.34	2.6	-	2.7	-	2.2	-	-	0.135	0.072	14.8	2.1	5.8	4.1	4.7	0.8			
904 MPR	0812.10	139.64	70.4	0.9	50.0	0.3	54.2	2.6	1.91	0.691	0.592	88.4	139.5	121.3	108.1	99.0	4.1	5	5	2
	0.56	0.54	4.6	-	2.6	-	3.8	-	-	0.042	0.099	15.8	0.4	7.2	3.2	6.2	0.5			
905 GCP	1117.32	234.99	47.6	10.	79.5	0.8	33.8	1.5	6.12	0.864	0.830	228.9	235.6	51.6	105.1	98.0	4.5	4	4	1
	1.36	1.31	15.4	-	5.0	-	1.4	-	-	0.058	0.048	7.9	1.2	3.3	0.6	2.2	0.8			
906 NLY	1120.35	237.92	141.8	0.8	40.0	0.4	60.6	2.0	2.57	0.709	0.748	246.1	237.9	132.5	110.8	98.0	4.2	8	15	1
	3.68	3.81	5.6	-	3.4	-	3.7	-	-	0.144	0.101	18.7	3.8	9.1	4.2	4.9	0.9			
907 MLE	1118.09	235.70	142.4	0.5	29.3	0.2	66.0	2.9	3.31	0.740	0.860	225.2	235.8	153.6	109.7	97.9	3.5	7	31	0
	0.60	0.74	2.5	-	2.6	-	2.2	-	-	0.119	0.067	13.6	0.7	4.2	3.5	4.5	1.0			
908 ASX	1119.71	237.37	154.6	0.5	-3.4	0.5	68.8	2.4	16.9	0.947	0.898	325.3	56.6	155.6	116.6	99.7	3.2	6	17	2
	3.60	3.60	3.1	-	2.0	-	2.3	-	-	0.191	0.055	11.8	3.4	4.1	10.3	1.6	2.0			
909 NLM	1120.28	237.99	162.2	1.6	33.0	0.2	65.2	1.8	3.83	0.750	0.959	171.0	237.4	138.9	111.8	100.4	3.4	9	29	1
	3.25	3.29	6.4	-	1.4	-	1.6	-	-	0.119	0.033	20.6	2.7	4.5	6.3	4.2	1.8			
910 LDR	1118.52	236.07	177.3	7.2	70.4	0.6	41.7	1.4	2.57	0.630	0.953	200.8	236.0	74.8	104.3	87.5	3.9	9	17	2
	0.64	0.75	12.1	-	3.6	-	2.6	-	-	0.156	0.034	13.5	0.7	3.8	9.7	4.9	1.9			
911 RLE	1214.31	262.18	155.6	0.5	5.2	0.8	65.6	3.0	3.00	0.771	0.686	72.8	82.2	170.8	112.3	96.0	4.4	12	23	0
	1.04	1.02	2.1	-	2.7	-	2.3	-	-	0.117	0.078	13.2	1.0	4.8	4.8	4.8	0.7			
912 DCL	1214.42	262.19	155.3	0.4	20.8	0.3	64.1	2.0	3.27	0.835	0.539	270.1	262.3	159.0	109.0	94.9	4.0	19	24	2
	3.20	3.21	3.0	-	3.4	-	2.2	-	-	0.102	0.082	11.3	3.3	8.1	6.6	5.5	1.5			

6. 議論

- 1) 輻射点分布図(図4)に示すとおり、IAUリストの輻射点は1年中を通じて、全天に分布していることが分かる。一方、観測した輻射点を当てはめてみても、一部しか適合しない。上記既知群の同定に示すように22群しか適合しなかった。この結果は2007年~2008年の結果を用いてIAUリストと照合したSonotaCo氏の報告とも一致する(SonotaCo, 2009)。SonotaCo氏の報告では既知群25、未知群13となっており、本報告の結果と近い。よってIAUリストには突発群や年によって出現にむらのある群が多く含まれているようだ。
- 2) SonotaCo氏が報告している未知群IAU342:BPI(August β Piscids)はIAUリストに登録済みであり、我々はこれを既知群として同定した。SonotaCo氏の未知群13例の内、我々の観測結果との関係が得られたのは、この1群のみであった。
- 3) 未知群に関しては、北半球が冬(11月~1月)の地球向点付近の高速流星が多い。これは以下が原因と考えられる。
 - a) 夜が長く、地球向点が北半球にあるため、早朝に付近の地平高度が高くなり、観測しやすくなる。
 - b) 地球向点付近の流星は高速で暗いものが多いがIIは8等までの暗い流星を対象としている。
- 4) その他の未知群に関しても、暗い流星の活動を検出した可能性がある。我々は過去にIIで暗いうお群を捕らえたことがある。同時に行った眼視観測では全く見るができなかった。(Shigeno & Shioi, 2002)。
- 5) M&Pデータとの比較では、平均光度が暗い群に関して、我々の観測の方が多流星数を得ていることが分かる(表1、2)。M&Pデータで1例しか得られなかった群が十分な数の群として検出された例もあり、今後さらに暗い分布を持つ群が検出される可能性を示唆する。しかし暗い流星群を捉えたと考えられる電波流星観測による輻射点を含むIAUデータとの間にも良い一致は見られなかったと言える。
- 6) 本研究は2009年6月現在のIAU流星群リストに基づいている。その後も検出され登録された流星群は増加し続けており、例えばMolau & Rendtel (2009)による12新群が追加されている。一方、Koseki (2009)は流星群の細分化や小流星群の増加に以下の疑問を呈している。
 - a) 流星群の活動は年々変化するものであり、大流星群を除いては、毎年観測されるとは限らない。
 - b) 写真観測による明るい流星と、電波観測による暗い流星では、流星群が一致するとは限らない。
 - c) 小流星群の分類には様々な考え方が成り立ちうるので、観測者を架空の結果に導く可能性があり、注意が必要である。よって流星群に対する固定的な名称は大流星群だけで十分である、とKoseki (2009)は述べている。IAUリストはこのような議論に重要な役割を果たすが、我々のデータとの比較結果もこの考えを支持するものとする。

7. 結論

我々は1992年から2009年に渡り、季節によるムラの無いように配慮しつつ、継続してIIを用いた同時ビデオ観測を行った。合計3,770例の同時流星から高精度な輻射点解析を行い、日本(北緯35度)から観測できる全ての領域について詳細な輻射点マップを作ることに成功した。赤緯-45度以北の輻射点に対するIAUリストなど過去の輻射点データを評価する良いデータセットである。2009年6月現在のIAUリスト295群との比較から表1の既知群22例を同定し、表2の未知群12例を新たに報告した。約50年前のM&Pデータとの比較では最微等級8等のII観測のメリットとして平均等級の暗い群に関して良い検証を与えた。

付記. 同時流星ビデオ動画画像の配付

1995年～2005年に同時観測したHi8テープ160本を全てDVファイルに変換した。約6TBになり、このままでは使い勝手がわるいので、6等より明るい流星だけ、流星部分を切り出したファイルを作った。ファイルには1流星に関し主に3秒間だが、永続痕のあるものは120秒間になった。そして2005年以降に、観測時点からDVフォーマットで記録された流星も含めて合計579流星、15.6GBになる。このデータセットをDVD-Rに記録して希望者に配付することにした。詳しくは以下を参照されたい。

<http://meten.net/meteor>

DVフォーマットはMedia Player、Quick Timeなどほとんどの動画閲覧ソフトで再生可能で、ファイルサイズは大きいがMP EGより画質が良い。画像サイズは640×480ピクセルで、1秒あたり29.97コマである。

謝辞

本観測は、流星物理セミナーワーキンググループの戸田雅之、塩井宏幸、柳信一郎、進藤泰昭、田中正一各氏の協力により行われた。誤差楕円の理論は長沢工博士に指導いただいた。

References

- Cook A. F. :1971, A Working List of Meteor Streams, EVOLUTIONALY AND PHYSICAL PROPERTIES OF METEORIDS, NASA SP-319, 183-191.
- Cronk G. W. :1988, METEOR SHOWERS, Enslow Publ.
- Drummond J. D. :1979, ON THE METEOR/COMET ORBITAL DISCRIMINANT D, Proceedings of the Southwest Regional Conference for Astronomy and Astrophysics, 5, 83-86.
- Jenniskens P., Jopek. Y. J., Rendtel J., Porubcan V., Spurny P., Baggaley J., Abe S., and Hawkes R. :2009, On How to report new meteor showers, WGN, Journal of the IMO 37:1, 19-20.
- Koseki M. :2009, Meteor Shower Records: A Reference Table of Observations from Previous Centuries, WGN, Journal of the IMO 37:5, 139-160.
- McCrosky R. E. and Posen A. :1961, Orbital Elements of Photographic Meteors, Smithsonian Contributions to Astrophysics, Vol.4, 15-84.
- Molau S. and Rendtel J. :2009, A Comprehensive List of Meteor Showers Obtained from 10 Years of Observations with the IMO Video Meteor Network, WGN, Journal of the IMO 37:4, 98-121.
- Rendtel J., Arlt R., and McBeath A. (ed.):1995, Handbook for Visual Meteor Observers, IMO Monograph no.2.
- Shigeno Y., Toda M., and Shioi H. :1997, Double-Station Observations of the Eta-Aquarids, WGN, Journal of the IMO 25:5, 217-221.
- Shigeno Y. and Shioi H. :2002, Outburst of Faint Piscids in 2001, WGN, Journal of the IMO 30:3, 56-58.
- Shigeno Y., Shioi H., and Shigeno T. :2003, Radiants and orbits of the 2001 Leonids, The Institute of Space and Astronautical Science Report SP No. 15, 55-62.
- Shigeno Y. and Shigeno T. :2004, Radiant distributions of the Capricornid-Aquarid complex, WGN, Journal of the IMO 32:3, 77-80.
- Southworth R. B. and Hawkins G. S. :1963, Statistics of Meteor Streams, Smithsonian Contributions to Astrophysics, Vol.7, 261-285.
- SonotaCo:2009, A meteor shower catalog based on video observation in 2007-2008, WGN, Journal of the IMO 37:2, 55-62.
- All meteors have been opened to the public. <http://www.imo.net/files/data/msswg/>