

研 究 報 文

ペルセウス座流星群の光度分布と 出現数の推定

原 口 孝 昭 (上対馬高校)

1. はじめに

ペルセウス座流星群(以下Perseids)はペルセウス座に輻射点(Radiant Point)をもつ年間を通じ、最大の流星群である。8月を中心に出現をみせ、学生には夏休みにあたっているので格好の観測対象であり、例年多くの観測がなされる。(図1)

筆者はこのPerseidsに関してすでにいくつかの調査研究をなし、発表してきたが、今回は過去10年間に得られた同群の光度分布をもとに論じてみようと思う。調査にあたっては筆者の観測分を含め、日本流星研究会等の得た光度分布を基礎としている。^{注1)}

2. 結果の処理

観測者によっては0.5等きざみで光度を見積る(筆者もその一人)が、これは観測誤差を少なくしようとする配慮からなされるものである。

たとえば、ある流星が出現したが、1等級よりはやや暗く、2等級よりはやや明るいと判断する場合は、これを1.5等と記録するのである。

したがって、0.5等きざみの測定がそのまま0.5等の精度で信頼できるものではない。そのまま信頼して結果を処理するとかえって誤ったものをもたらすおそれがある。眼視観測の場合の欠点の一つでもあるのである。

ところで、実際結果処理する方法を述べる。0等、0.5等、1等、1.5等、2等、2.5等…の順にその出現数を $n_0, n_{0.5}, n_1, n_{1.5},$

$n_2, n_{2.5}$ …とすると。

このうち0.5等ごとの出現数をその両側の等級の出現の比に分配して、加えるのである。

0.5等の出現を0等と1等の出現比に分配して加えてやればよいわけで、今、この方法を式で示すと次のようになる。

1等級の出現に加えられる数は、0.5等の出現数から

$$(n_1 \times n_{0.5}) / (n_0 + n_1) \dots(1)$$

また、1.5等の出現数を分配して加えるから

$$(n_1 \times n_{1.5}) / (n_1 + n_2) \dots(2)$$

となる。

したがって、1等級の出現数として計算上処理される数 N_1 は、

$$N_1 = n_1 + (n_1 \times n_{0.5}) / (n_0 + n_1) + (n_1 \times n_{1.5}) / (n_1 + n_2) \dots\dots\dots(3)$$

で示すことができる。

以下同様にして、2等、3等…の出現数 N_2, N_3, \dots を求める。

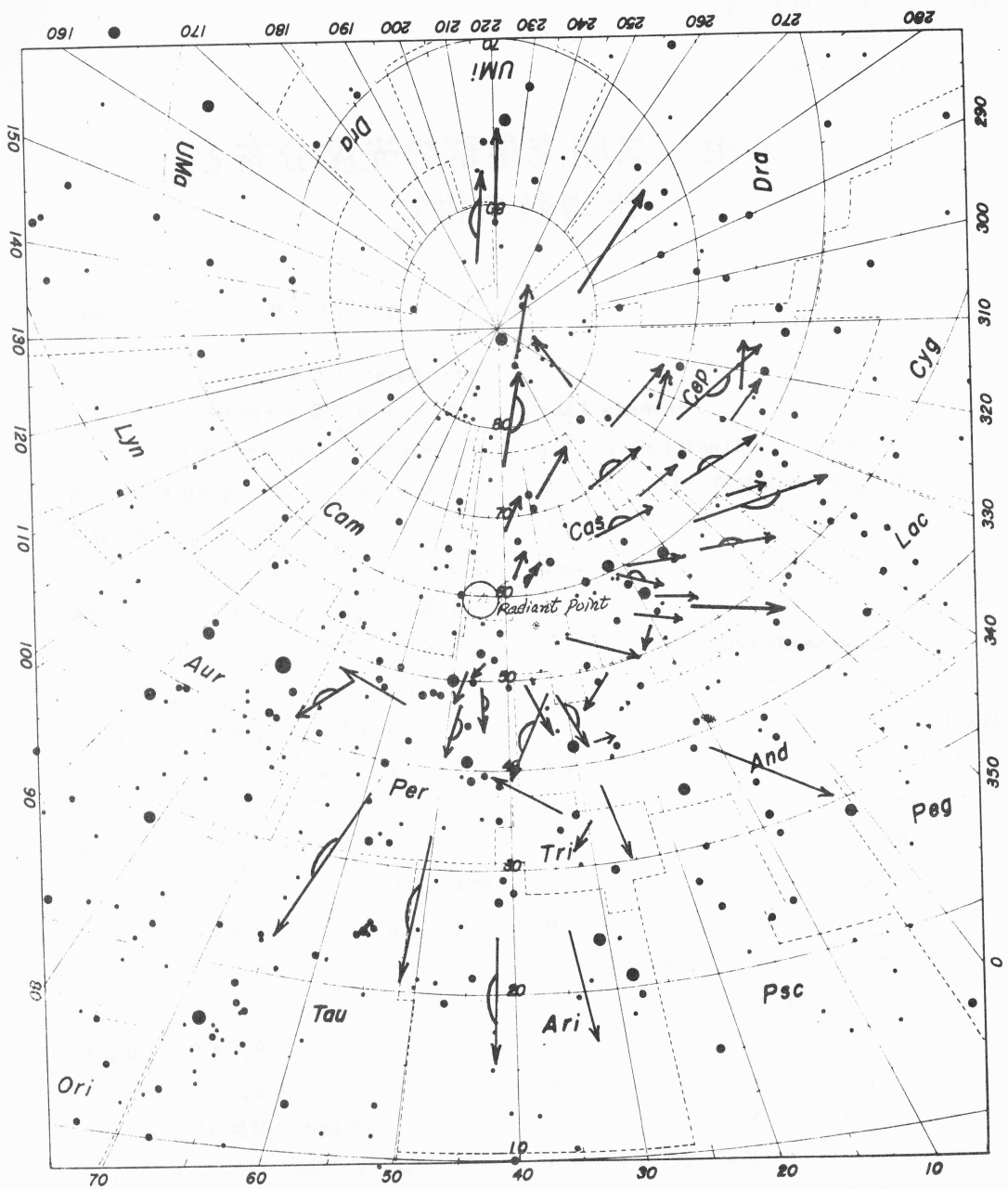
一般に、 m 等級の出現数を N_m とすれば、

$$N_m = n_m + (n_m \times n_{m-0.5}) / (n_{m-1} + n_m) + (n_m \times n_{m+0.5}) / (n_m + n_{m+1}) \dots(4)$$

で求めることができる。

ここにその例を示しておく。(表1)

このようにして求めた各光度別出現数の各々の全体に対する割合を計算する。また、これとは別に、出現数の対数をとってみる。対数値を縦軸に、光度を横軸にとってグラフ化してみる



T. Haraguchi



☒ 1 Perseids
 Aug. 12/13, 1970 23h 30m~4h 30m T. Haraguchi

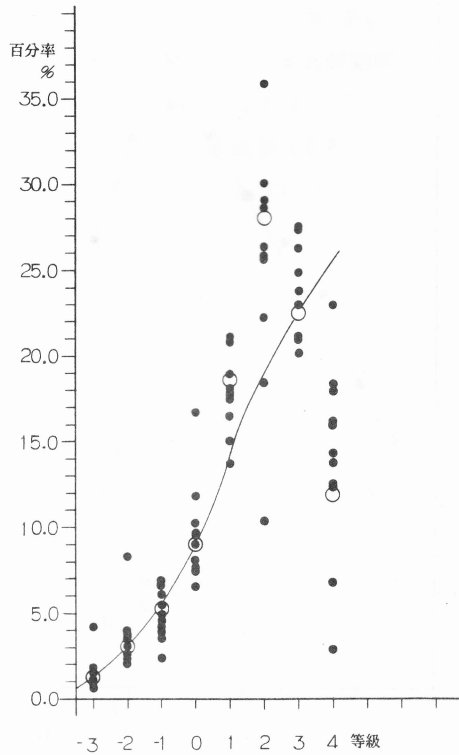


図2 Perseids 光度分布(1966~1975)

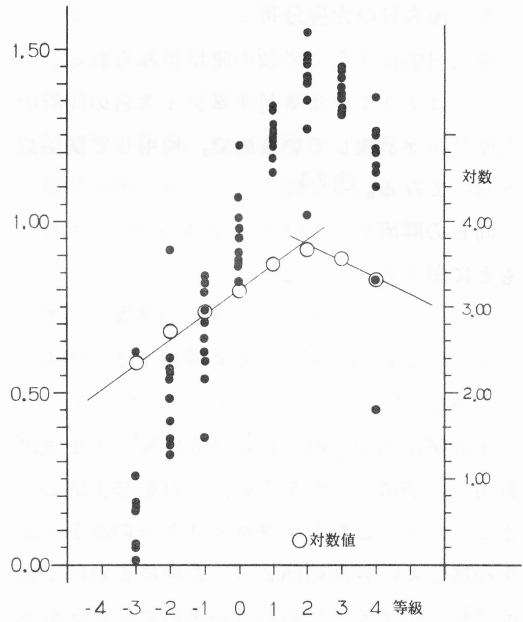


図3 光度分布(1966~1975)

と、この両者の関係を直線としてみる事ができる。すると、この直線式を簡単に求めることができる。

今、光度 m_0 の出現数を N_0 、 m_2 の出現数を N_2 とすれば

$$y - N_0 = \frac{N_2 - N_0}{m_2 - m_0} \times (x - m_0) \dots (5)$$

で示せる。傾きである $(N_2 - N_0) / (m_2 - m_0)$ は方向係数ともいうものであり、対数值である。したがって、傾きを m とすれば、

$$\log_{10} m = K \dots (6)$$

という関係となる。

ここに K という数値は出現数を見積もる際の等比でもある。

3. 過去10年間の光度分布

1966年から1975年までに得られた16950個のPerseids光度分布一覧を示す。

(表2)

1968年の結果は十分に集まっていない。他年のものも含めて、各光度における出現の割合を求めている。また、その平均ならびに標準偏差 σ を求めてみた。それによれば、2等級の部分で大きな偏差を示している。測定誤差が大きくひびいているのであろうか。4等級の偏差もやや大きい。これは4等級以下のものも含めて統計していることが影響しているであろう。(表3)(図2)

10年間の各光度別出現数を求めて、その対数值を求めている。これをグラフ化し、関係式を求めた。ちょうど2等級部分を境として2本の直線が想定される。求めた関係式は次のとおりである。(図3)

$$y = 0.29x + 3.21 \quad (-3 \sim 2 \text{等}) \dots (7)$$

$$y = -0.28x + 4.42 \quad (3 \text{等以下}) \dots (8)$$

この(7)(8)式から求めた各光度 x に対する対数
 値 y を「式値 N' 」の項に、実測値の対数 N と
 の増減を「増減 $N-N'$ 」の項に示している。

4. 極大日の光度分布

極大日頃はかなり多数の流星がみられる。
 ここでは 1970 年 8 月 12 / 13 日の同群の
 光度分布を調査しているので、利用して関係式
 を導いてみる。(注 2)

同日の群流星は 3689 個であった。これを
 もとに関係式を求めると、

$$y = 0.31x + 2.59 \quad (-4 \sim 2 \text{ 等}) \dots (10)$$

$$y = 0.52x + 4.44 \quad (3 \text{ 等以下}) \dots (11)$$

となった。

上記関係式から得られる「式値 N' 」を実際
 数値で何個になるかを求め、これを修正値 n'
 としている。これをホフマイスターの値 $P(ma)$
 を利用して、観測範囲 60° の中にどれほどの
 流星が出現すると思われるかを求めた。その値を
 $N(ma)$ として示している。 $N(ma)$ を総計した数
 6050.8 個に対する割合をも示している。(表 5)
 (図 4)

5. 光度分布利用の出現数推定

1970 年 8 月 12 / 13 日の出現について
 は 30 分間ごとに求め、それを輻射点高度との
 関係から関係式を求めている。この表を示す。
 表中、 $C \cdot H \cdot M$ は理想的晴夜における 1 時間平均
 出現数を、 n は使用した観測値数、 σ は標準偏
 差輻射点高度を h とし、関係式から求めた値
 を「式値 y 」としている。この式値は対数であ
 るから自然数に換算したものを「式値 $C \cdot H \cdot M$ 」
 とし、さらに $C \cdot H \cdot M$ の平均値をもとにしての比
 率を示している。(表 4)

こうして求めた式値 $C \cdot H \cdot M$ が、光度分布を修
 正した割合を利用することで、各光度別にどの
 ように分布するかを推定したのが表 6 である。

この表は任意の個人がその観測視野 60° と
 した時、理想的晴夜においてみる事ができる

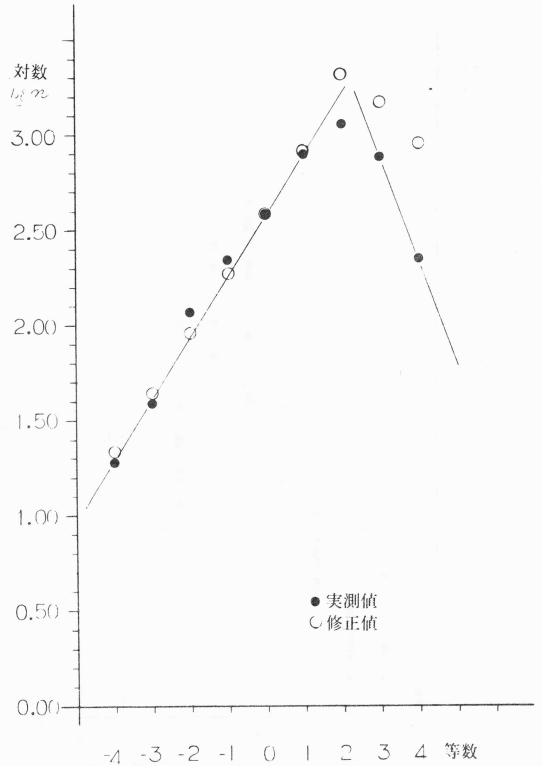


図 4 1970. 8 月 12 / 13 日
 Perseids 光度分布

各光度別の出現予想値を示すものである。

筆者の推定の妥当性については残念ながら調
 査できないので一応推定値を提唱するにとどめ
 ておく。

6. 多重計数観測による出現数推定

1970 年 8 月 12 / 13 日は長崎市におい
 て真の出現数を知るための多重計数観測がおこ
 なわれた。多重計数観測から得られる流星数と、
 光度別出現数をもとにして求めた流星数とに関
 連があるかどうか調べる。(表 6)

まず、多重計数観測についてのべる。

一人の観測者がいかに注意深く観測しても出
 現した流星の全てをとらえることはできない。
 そこで、複数の観測者が同一条件下で同一視野
 を観測し、各観測者のとらえ得る流星数から出
 現したと思われる全流星を推定するのである。^{注 3)}

たとえば, A (No. 1), B (No. 2), C (No. 3), D (No. 4) の 4 人が観測し, 次の結果を得るとする。(表 7)

出現した流星数 N , 観測者 A が捕える確率を P_1 , B の確率 P_2 …… とすれば

$$\left. \begin{aligned} a &= P_1 \cdot N \\ b &= P_2 \cdot N \\ c &= P_3 \cdot N \\ d &= P_4 \cdot N \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} n_{12} &= P_1 \cdot P_2 \cdot N & P_1 &= n_{12} / P_2 \cdot N \\ n_{13} &= P_1 \cdot P_2 \cdot N & P_1 &= n_{13} / P_2 \cdot N \\ n_{14} &= P_1 \cdot P_2 \cdot N & P_1 &= n_{14} / P_4 \cdot N \\ \vdots & & \vdots & \end{aligned} \right\} (2)$$

(1) (2)式より

$$\begin{aligned} P_1 &= (n_{12} + n_{13} + n_{14}) / (b + c + d) \\ &= (a - n_1) / (T - a) \end{aligned}$$

$$N = a / P_1$$

したがって一般式で書き表わすと,

$$\begin{aligned} P_i &= \sum n_{ij} / \sum n_j \quad (i \neq j) \\ N &= n / \{ 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \cdots (1 - P_i) \} \end{aligned}$$

ここに, n は物理的に異なった流星数

特に, 2 人での観測の場合には,

$$N = n_1 \cdot n_2 / n_{12}$$

n_1, n_2 観測者 A, B が独立にみた流星数

n_{12} A, B 共に見た流星数

観測者が捕える確率 P_i は認識係数といわれるものであり, 観測者固有の値となるものであるが, 変動はあってもよい。

長崎市で実施された結果をのべる。

当時の高校 3 年生是枝重人氏, 1 年生桑原潤氏と筆者が天頂を目標に実施した。各時間帯別の結果を示す。(表 8)

修正光度別出現と多重計数観測から求めた流星数との比較をすると, その値がすこぶる近いものであることに気付く。光度別出現からの総計は 236.6 個, 多重観測の総計は 239.0 個であり大差はない。(表 9)

これがはたして偶然一致したものであるか, も

しくは必然性があるのかについては今後この種の観測をくりかえし検討する必要がある。

7. 流星総数の概算と流入密度

今まで得ている結果を利用して地球上にどれだけの流星が流入するかを概算する。

流星の発光・消滅層の平均の高さ h , 個人の観測可視半径 θ , 地球半径 R とする。

観測可能な高さ h での面積 S_0 は

$$S_0 = \pi \times (h \times \tan \theta)^2$$

全地球の平均の高さ h での表面積 S_E は

$$S_E = 4 \times \pi \times (R + h)^2$$

観測できた流星総数 n とすれば, 全表面積に流入する流星数 N は,

$$N = 4 \times \pi \times (R + h)^2 \times n / \pi \times (h \times \tan \theta)^2 \quad \dots\dots\dots (12)$$

ところで, 地球の公転速度を v_E km/s とし, 観測時間を T とすると, この間に地球が動いてできる体積 V は,

$$V = \pi \times (R + h)^2 \times 3600 \times T \times v_E$$

である。

すると, 1 km^3 中に含まれる流星は次式で求めることができる。

$$\begin{aligned} N/V &= 4 \times (R + h)^2 \times n / (h \times \tan \theta)^2 \\ &\quad \times \pi \times (R + h)^2 \times T \times v_E \times 3600 \\ &= 4 \times n / (h \times \tan \theta)^2 \times 3600 \\ &\quad \times T \times v_E \quad \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

以上の記号に数値を代入する。流星の発光消滅層の平均については筆者がすでに発表している値を利用する。^{注4)}

$$h = 100 \text{ km}, \theta = 60^\circ, R = 6370 \text{ km}, n = 236.6 \text{ 個},$$

$$T = 4 \text{ 時間}, v_E = 30 \text{ km/s}$$

流星総数 N は,

$$\begin{aligned} N &= 4 \times (6470)^2 \times 236.6 / (100 \times \tan 60^\circ)^2 \\ &= 1.32 \times 10^6 \text{ 個} \end{aligned}$$

流入密度

$$\begin{aligned} N/V &= 236.6 / (100 \times \tan 60^\circ)^2 \times 3600 \\ &\quad \times 30 = 7.30 \times 10^{-8} \text{ 個/km}^3 \end{aligned}$$

すなわち、およそ100kmを一辺とする立方体の中に7.8個の流星が含まれていることになる。

8. まとめ

過去のPerseids観測値をもとに、特に光度分布とそれから得られる出現数推定をこころみて下記の結果を得た。

- i) 10年間の光度分布から出現数との関係を次のように求めた。

$$y = 0.29x + 3.21 \quad (-3 \sim 2 \text{等})$$

$$y = -0.28x + 4.42 \quad (3 \text{等以下})$$

-3~2等級の流星に関しては1等級暗くなるごとに流星数は1.95倍の増加をみせる。また、3等級より暗いものは、1等級暗くなるごとに0.52倍の割合で出現数が減少する。

- ii) 最多出現を示すのは2等級の流星であり、全体の約28%を占める。

- iii) 最盛期の光度分布は全活動期間のものとは多少異なる。1970年観測分を例にとれば光度関数は、

$$y = 0.31x + 2.59 \quad (-4 \sim 2 \text{等})$$

$$y = -0.52x + 4.44 \quad (3 \text{等以下})$$

となる。明るい流星に関しては1等級暗くなると2.04倍の増加をみせ、3等級より暗いものについては0.30倍の割合で流星数は減少する。

- iv) 光度関数を利用し、実測値を修正して得た出現総数と、多重計数観測から得られる全流星の推定値がきわめて類似する。

- v) 光度関数を利用すれば出現数から、各光度別出現数を推定できるかもしれない。

- vi) 1970年8月12/13日0時から4時までに地球が出合った流星は 1.32×10^6 個と推定する。また、これをもとにすれば 1 km^3 中に 7.80×10^{-8} 個の流星があったことになる。

参考資料・文献

- 注1) 天文回報(日本流星研究会機関誌)

No. 279, 291, 303, 315,
363, 375, 387, 399,
327, 339, 351,

- 注2) 天界(東亜天文学会機関誌)

第558号(1971年11月号)P.289

- 注3) 天界(東亜天文学会機関誌)

第542号(1970年7月号)

P.179~P.184

- 注4) 流星の発光・消滅点分布について

長崎県高校地学会報10号P.5~P.9

(昭和52年1月29日受理)

(表1) 観測数の分配例

項目	光度	等 -1	等 -0.5	等 0	等 0.5	等 1	等 1.5	等 2	等 2.5	等 3	等 3.5	等 4	等 4.5	合計
実測数 n		56		93	9	134	25	128	25	141	19	92	7	729
分配数 n'		0		3	6	14	11	11	14	13	6	7		
修正数 n+n'		56		96		154		150		168		105		729
割合 %		7.68		13.17		21.12		20.58		23.05		14.40		100.0

(表2) 各年次別 Perseids の光度分布調査(1966~1975)

年次 \ 光度	≥-4等	-3等	-2等	-1等	0等	1等	2等	3等	4等	合計
1966	7	6	19	17	55	129	185	190	115	723
1967	3	3	38	59	63	159	214	204	221	964
1968	0	2	4	2	8	10	5	11	6	48
1969	16	26	58	127	226	497	733	662	447	2792
1970	29	49	179	342	527	1089	1496	1090	349	5150
1971	4	3	11	17	44	74	147	121	67	488
1972	0	18	42	89	134	324	639	489	50	1785
1973	0	0	14	15	29	53	99	106	69	385
1974	0	9	30	56	96	154	150	168	148	811
1975	0	44	115	208	367	667	1086	773	544	3804
合計	59	219	510	932	1549	3156	4754	3814	2016	17009
割合	0.35	1.29	3.00	5.48	9.11	18.55	27.95	22.42	11.85	100.00
対数値 N	1.77	2.34	2.71	2.97	3.19	3.50	3.68	3.58	3.30	
式値 N'	2.05	2.34	2.63	2.92	3.21	3.50	3.79	3.58	3.30	
増減 N-N'		0.00	0.08	0.05	-0.02	0.00	-0.11	0.00	0.00	

(表3) 各年次別 Perseids 光度分布の百分率一覧と標準偏差

年次 \ 光度	≥-4等	-3等	-2等	-1等	0等	1等	2等	3等	4等	合計
1966		1.80	2.63	2.35	7.61	17.84	25.59	26.28	15.91	100.01
1967		0.62	3.94	6.12	6.54	16.49	22.20	22.16	22.93	100.00
1968		4.17	8.33	4.17	16.67	20.83	104.2	22.92	12.50	100.01
1969		1.50	2.08	4.55	8.09	17.80	26.25	23.71	16.01	99.99
1970		1.51	3.48	6.64	10.23	21.15	29.05	21.17	6.78	100.01
1971		1.43	2.25	3.48	9.01	15.16	30.12	24.80	13.73	99.98
1972		1.01	2.35	4.99	7.51	18.15	35.80	27.39	2.80	100.00
1973			3.64	3.90	7.53	13.77	25.71	27.53	17.92	100.00
1974		1.11	3.70	6.91	11.85	18.99	18.50	20.72	18.25	100.02
1975		1.16	3.02	5.47	9.65	17.53	28.55	20.32	14.30	100.00
平均百分率 n		1.59	3.54	4.86	9.47	17.77	25.22	23.60	14.11	
標準偏差 σ _n		0.97	1.72	1.38	2.83	2.17	6.61	2.64	5.48	

(表4) 1970年8月12/13のPerseids 30分間出現変化

$$y = 1.59 \sin(h + 18.3)$$

時間帯 (J. S. T)	一時間 平均値 C·H·M	比 率 $\frac{C \cdot H \cdot M}{C \cdot H \cdot M} = 1$	n	標準偏差 σ	輻射点高度 h	式 値 y	式値からの C·H·M	式値 C·H·M 基準の比率
22h30m ~23h00m	13.4	1.13	2	2.6	25.0	109	12.3	0.49
23h00m ~23h30m	16.4	1.21	2	2.3	28.5	116	14.4	0.60
23h30m ~0h00m	18.2	1.26	2	7.4	32.5	123	17.1	0.67
0h00m ~0h30m	25.5	1.41	10	14.1	36.0	129	19.6	0.93
0h30m ~1h00m	26.4	1.42	10	10.0	40.5	136	22.9	0.97
1h00m ~1h30m	27.0	1.43	10	10.4	44.5	141	26.0	0.99
1h30m ~2h00m	28.2	1.45	9	7.6	48.5	146	28.9	1.03
2h00m ~2h30m	30.8	1.49	8	6.8	52.5	150	31.7	1.13
2h30m ~3h00m	32.9	1.52	9	4.1	56.5	153	34.2	1.21
2h00m ~3h30m	33.9	1.53	8	2.0	60.0	156	36.1	1.24
3h30m ~4h00m	35.9	1.56	8	5.8	63.0	157	37.3	1.32
4h00m ~4h30m	35.3	1.55	6	10.5	66.0	158	38.2	1.29
4h30m ~5h00m	30.4	1.48	5	7.9	69.5	159	38.8	1.11

(表5) 1970年8月12/13日Perseidsの光度別出現変化

項目	光度									
	≥4等	—3等	—2等	—1等	0等	1等	2等	3等	4等	合計
観測数 n	19	39	117	218	392	800	1112	746	228	3689
割合 %	0.52	1.06	3.17	5.91	10.63	21.69	30.14	20.76	6.18	100.01
対数値 N	1.28	1.59	2.07	2.34	2.59	2.90	3.05	2.88	2.36	
式 値 N'	1.35	1.66	1.97	2.28	2.59	2.90	3.21	2.88	2.36	
増減N-N'	-0.07	-0.07	0.10	0.06	0.00	0.00	-0.16	0.00	0.00	
式値からの修正 個数 n'	2.24	45.7	93.3	190.5	389.0	794.3	1621.8	758.6	229.1	4144.7
同上割合 %	0.54	1.10	2.25	4.60	9.39	19.16	39.13	18.30	5.53	100.00
P (ma)	1.05	1.04	1.03	1.02	1.00	0.95	0.78	0.51	0.25	
N (ma)	2.13	4.39	9.06	18.68	38.90	83.61	207.92	148.75	91.64	6050.8
同上割合 %	0.35	0.73	1.50	3.09	6.43	13.82	34.36	24.58	15.15	100.01
I o g N (ma)	1.32	1.64	1.96	2.27	2.59	2.92	3.32	3.17	2.96	

(表6) 1970年8月12/13日 Perseids

光度別修正出現率から推定した光度別出現数

時間帯	光度	2-4等	-3等	-2等	-1等	0等	1等	2等	3等	4等	合計
	修正出現率	0.35	0.73	1.50	3.09	6.43	13.82	34.36	24.58	15.15	100.01
22h30m~23h00m	0.04	0.09	0.18	0.38	0.79	1.70	4.23	3.02	1.86	12.29	
23h00m~23h30m	0.05	0.11	0.22	0.44	0.93	1.99	4.95	3.54	2.18	14.41	
23h30m~0h00m	0.06	0.12	0.29	0.53	1.10	2.36	5.88	4.20	2.59	17.13	
0h00m~0h30m	0.07	0.14	0.29	0.61	1.26	2.71	6.73	4.82	2.97	19.60	
0h30m~1h00m	0.08	0.17	0.34	0.71	1.47	3.16	7.87	5.63	3.47	22.90	
1h00m~1h30m	0.09	0.19	0.39	0.80	1.67	3.59	8.93	6.39	3.94	25.99	
1h30m~2h00m	0.10	0.21	0.43	0.89	1.86	3.99	9.93	7.10	4.38	28.89	
2h00m~2h30m	0.11	0.23	0.48	0.98	2.04	4.38	10.89	7.79	4.80	31.70	
2h30m~3h00m	0.12	0.25	0.51	1.06	2.20	4.73	11.75	8.41	5.18	34.21	
3h00m~3h30m	0.13	0.26	0.54	1.12	2.32	4.99	12.40	8.87	5.47	36.10	
3h30m~4h00m	0.13	0.27	0.56	1.16	2.40	5.15	12.82	9.17	5.65	37.31	
4h00m~4h30m	0.13	0.28	0.57	1.18	2.46	5.28	13.13	9.39	5.79	38.21	
4h30m~5h00m	0.14	0.28	0.58	1.20	2.49	5.36	13.33	9.54	5.88	38.80	
合計	1.25	2.61	5.36	11.05	22.99	49.41	122.84	87.87	54.16	357.54	

(表7) 多重計数観測結果例

No.	(A) 1	(B) 2	(C) 3	(D) 4	合計
(A) 1	n ₁	n ₁₂	n ₁₃	n ₁₄	a
(B) 2	n ₁₂	n ₂	n ₂₃	n ₂₄	b
(C) 3	n ₁₃	n ₂₃	n ₃	n ₃₄	c
(D) 4	n ₁₄	n ₂₄	n ₃₄	n ₄	d

T

n₁, n₂, n₃, n₄ : 観測者の独立観測

n₁₂ : 観測者A, Bが共に観測

a, b, c, d : 各観測者個人の観測数

T = a + b + c + d

(表8) 流星の多重計数観測結果

(1970年8月12/13日)

時間帯 観測者	0h00m~1h00m N ₂ 40.6σ8.2				
	是枝	原口	桑原	n	Pi Ni
是枝	4	8	8	13	0.44 29.3
原口	8	4	4	16	0.36 44.1
桑原	8	4	12	20	0.41 48.4
時間帯 観測者	1h00m~2h00m N ₂ 59.7σ3.6				
	是枝	原口	桑原	n	Pi Ni
是枝	4	5	9	15	0.27 55.8
原口	5	11	10	21	0.33 64.4
桑原	9	10	16	31	0.53 58.8
時間帯 観測者	2h00m~3h00m N ₂ 67.2σ7.6				
	是枝	原口	桑原	n	Pi Ni
是枝	6	16	12	31	0.42 74.8
原口	16	9	20	30	0.53 56.7
桑原	12	20	14	37	0.52 70.6
時間帯 観測者	3h00m~4h00m N ₂ 71.5σ5.6				
	是枝	原口	桑原	n	Pi Ni
是枝	6	21	20	40	0.52 77.2
原口	21	5	25	35	0.55 64.0
桑原	20	25	12	44	0.60 73.8

(表9) 結果の比較

項目	時間帯 0h00m~1h00m	1h00m~2h00m	2h00m~3h00m	3h00m~4h00m	合計
光度別出現より 求めた数	42.5	54.9	65.9	73.4	236.7
多重計数観測から の数	40.6	59.7	67.2	71.5	239.0