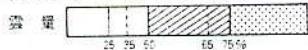


(7月)

1962年6~8月



65th MSS 資料

ペルセ群観測候補地に関する一考察

1993-01-17 渡辺朝雄

極大時刻 1993-08-12 08h(JST)として
考察(時刻はすべてJSTで表示)

バルセロナ $\lambda = 02.1^\circ$, $\phi = 41.4^\circ$

日没	薄終	月出	薄始	日出
03.57	05.43	08.23	12.10	13.50

上図: 8hに於ける
輻射点、太陽、月の相対位置
中図: 前線帯の出現頻度(7月)
下図: 平均雲量(6~8月/1962)
日本・世界の気候図(東京堂出版)

他に、環境/交通/政情/治安等を考
慮すべき。

1996. 03. 17 第58回東京近郊地区流星観測者会集会

73P/Schwassmann-Wachmann 3 彗星関連流星群を観測しよう

橋本岳真

《はじめに》
 1930年に発見され、地球に0.0617AUまで大接近して微光な流星雨を降らせたとされる73P/Schwassmann-Wachmann 3 彗星は、その後、長い間行方不明となっていました。1979年に再検出されました。前回回帰(1990年)後、1995年に予定通り回帰し、9月22日に近日点を通過した同彗星は、核が分裂してバーストを起こし、10月上旬には5等台まで増光しました。今回の回帰では、彗星が降交点を通過した266日後の1996年6月1日に、地球が降交点から0.04AU(地球-月間の距離の約17倍)のところを通過する予定で、それに伴う流星群の出現が予報されています。核分裂によるバーストやアンチテール(未確認情報)も見られ、今後の回帰にともなう流星雨出現の可能性が出てきた今年は、流星群進化のエポックとして観測の重要性が増してきました。

表1: 73P/Schwassmann-Wachmann 3 彗星関連流星群出現予報

日付	太陽黄経	α	δ	Δ_r	V_G	
May. 22	60°	209°	+24°	0.045AU	13.2km/s	… 彗星-地球軌道間の最接近点(長谷川一郎)

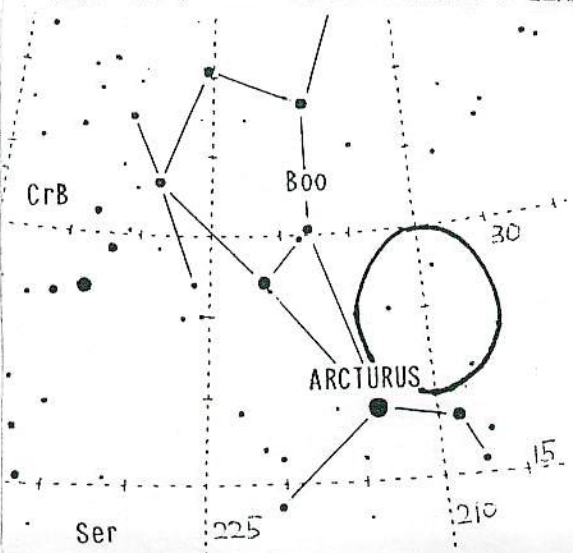
太陽黄経および輻射点は2000.0分点, Δ_r : 彗星-地球軌道間の距離

《観測にあたって》

同群の出現は1930年に同彗星が回帰したとき(降交点付近: $\Delta_r=0.006AU$, 彗星通過の5日後に地球が通過)に、5月24日~6月19日までの期間中、HRは常に10~20, 極大時HR約60の活動が観測された記録がある以外は、日本では6月上旬~中旬にかけて活動する α Boo群としてときおりHR=1~2ほどの活動がみられる('69, 70, 74, 85, 86, 88年天文回報より)だけでした。それだけに、核が分裂してバーストを起し、流星雨出現の可能性が出てきた今年は、流星群進化のエポックとしての観測が重要となるので、出現数の把握と輻射点の決定を目的にした観測をきっちりと行ないたいものです。

出現予報では、彗星-地球軌道間距離の最接近が太陽黄経60°ということ、5月22日にあたります。実際の観測は、月が出る22時30分(5/22)~04時(6/1)頃以降となります。この間は輻射点が南中した後で、観測条件としてはあまり良くありません。1930年の出現記録や軌道要素から、出現期間が長く、遅い微光流星群であることが予想されますので、観測要注意期間は5月22日をはさんで前後1週間ほどを見込み、観測にはできるだけ暗いところを選び、眼視(計数・プロット・望遠鏡)、TV、電波などの方法でチャレンジしてください。なお、群判定は一応流星の軌跡の逆延長が $\alpha=209^\circ$, $\delta=+24^\circ$ を中心とした直径10°の円内を通る遅い流星とします。次に観測にあたっての注意点をあげておきます。

図1 73P/Schwassmann-Wachmann 3 彗星関連流星群予報輻射点位置



- ①群判定の予想輻射点はいくまで予想ですの
 で一つの目安程度と考えておいてください。ちなみに、1930年のときは予想輻射点
 が $\alpha=219.8^\circ$, $\delta=44.8^\circ$ であったの
 に対し、実際は $\alpha=236^\circ$, $\delta=42^\circ$ と赤経で
 約15°ほどずれていました。
- ②同時期に予報輻射点付近で、性状のよ
 く似た6月 ϵ Boo群(HR=1~3ほど)が活動
 をしている可能性があります。群判定は
 慎重に行なってください。

●眼視観測

流星群の出現のぐあいによって計数観測とプロット観測を使い分けたいところですが、どのような出現を見せるか、あるいは出現しないのか予測ができないので、どの観測でもできる準備をしたうえで目的を出現数把握か輻射点検出のどちらかに絞ったほうがよい結果がでるでしょう。

<計数観測>

出現に備えてさぐり書きをお勧めします。通常の出現の時は普段通りの観測行いますが、出現数が多く、記録が追いつかなくなってきたときは、記録事項は時刻(5分単位でOK)、光度(1等刻みでOK)、速さ、群判定などの最低限必要な情報に限定します。もちろん、記録が追いつかなくなりそうであれば散在流星の記録はカットしてもかまいません。

<グループ計数観測>

ふつうグループ計数観測は全天をカバーするために観測者を各方向に配置して行ないますが、この流星群の場合はかなり暗い流星が多いので、見落とし率を減らすために輻射点方向を中心視野とした多重計数観測をお勧めします。

<プロット観測>

ふだんどおりのプロット観測でかまいませんが、出現数が増えてきたら精度のよいもののみを正確にプロットするようにしていきましょう。

<望遠鏡観測>

暗い流星の多い今回のような流星群に適した観測法です。基本的にはこれまで書いた眼視観測と同じと思いますので目的を絞った観測をしていきましょう。

●TV観測

出現数の把握、輻射点の決定と観測できればマルチに利用できる観測法で、このような暗い流星の多い流星群には最も適した観測法です。

そこで今回は、TVどうして同時流星観測が組める場合は軌道を求めてもらい、単独で使用する場合は出現数の把握と輻射点の決定を行なってもらいたいと思います。

●FM電波観測

流星群の出現期間の決定と極大時刻決定を目的として観測しましょう。

このうち出現期間の決定の場合は、活動がない時期を含め、予報日を中心に前後2週間ほどの長期間の観測が必要となります。24時間(12時間)体制での連続観測が不可能な場合、定時観測時間としては、南中時間帯をはずした毎日19時~21時または00時~02時ぐらいがよいのではないのでしょうか。また極大時刻の決定にあたっては、昼間になった場合には中間流星群が活動していますので決定はむずかしいでしょうが、予報日をはさんだ前後1週間ほどの連続観測を試みましょう。

《協定観測日》

73P/Schwassmann-Wachmann 3 彗星関連流星群の協定観測を5月22/23日、25/26日(22:00~02:00)、6月1/2日(00:00~04:00)に行ないたいと考えています。ご協力よろしくお願いします。

観測結果は下記にお送りください。なお、電話での受付は午前0時までとし、本人がいな場合は留守番電話となっておりますので、お手数ですが録音をお願いします。

〒192 東京都八王子市絹ヶ丘 1-28-1
電話 0426-37-0359 橋本岳真
パソコン通信 JYG23286@pcvan.or.jp

もうしわけありませんが、大西は出張のため出席できません。以下に前回と今回の購読部分の概略をまとめました。必ずしも原文を正確に（あるいは逐語的に）翻訳したものとはなっておりません。

前回と今回の購読部分のまとめ

1981年から1991年までの11年間にオーストラリアとオランダのアマチュア観測者16名の眼視観測（のべ4482時間）の結果を集計して、南北両半球で観測できる流星群50群の出現状況をまとめた。散在流星の計数に基づいて観測者ごとの捕捉率 (perception) を算出し、個人差を補正したZHR (Zrnith Hourly Rates) を求めた。この手法によって各流星群の信頼できる出現数を決定することができた。

1. Introduction

毎年出現する定常的な流星群はそれぞれの母彗星から放出されたダストの流れ(stream)を地球が横切るときに出現する。したがって、極大前後における群流星出現数の変化(activity curve)は、彗星からダストが放出され、放出されたダストが太陽系空間を長期にわたって流浪するあいだにその軌道が進化する(orbital evolution)2つの過程の情報を担っている。activity curveを観測から決定することが必要である。

流星の出現数を感度よくとらえる観測法としては、レーダー観測とTV観測がある。1980年代ごろのレーダー観測によって主要流星群のactivityが報告されているが、中小の流星群にレーダーを適用するのは散在流星との区別が難しいために現実的でない。TV観測は個々の流星の経路を記録できるので群判定は容易であるが、いまだ広く利用されているとはいえ、これまで（この論文が出版された1994年まで）にTV観測によってactivity curveを定めた報告はない。

これに対して、眼視観測は特定の装置を必要とせず、群判定も可能であるため、19世紀前半から流星群の観測に広く用いられてきた。しかしながら、観測は簡単であるが、観測条件（たとえば最微等級や雲量）・捕捉率の個人差を十分に補正して信頼できるactivity curveを得ることが難しいという困難がある。

とりわけ最近15年間（1980-1995ぐらい）は、多数のアマチュア観測者の観測結果を集計してactivity curveを求めようとする試みが多くなされてきた。そのような努力によって、本来同じ数を与えるはずの条件での観測によっても観測数には2倍程度のばらつきが避けられないことが明らかとなってきた。個々の観測者のデータは、流星捕捉率の個人差(perception)・最微等級や雲量の主観的判断・なまの観測数(HR)が1時間に10個程度と少ないこと、のためにどうしてもばらつくことになる。

この研究では、南北両半球の熟練したアマチュア観測者のデータを統計的に集計することによって、信頼できる（群同士の極大の高さや活動期間の幅を比較するに足るという意味でhomogeneous-均質な-という語を使っている）activity curveを多くの定常的流星群について決定することを目的とした。第2節で観測方法を述べ、第3節でデータ整約（空の条件・捕捉率個人差・輻射点地平高度の補正）法を説明し、ついで補正したZHRによって各流星群のactivityを論じる。最後に、このようにして眼視観測から求めたactivityから流星物質のmass flux rate(たとえば、地球軌道上で1秒間に1平方センチメートルあたり何グラムの流星物質が通過したかという量)に換算する。

2. 観測方法

この研究で集計した流星数はのべ110,538個である。オランダ(Dutch Meteor Society: DMS)の10人とオーストラリア(The North Australian Planetary Observers- Meteor Section: NAPO-MS)の6人が、のべ4,482時間観測した結果である。個々の観測者のデータはTable 1を参照。

2.1. 観測方法

裸眼で流星を計数する。視野中心は輻射点から20~60度離し、地平高度は60~90度をとった。特定空域に何個恒星が見えるかで最微等級(limiting magnitude: Lm)を判定した。最微等級は5.2~7.2等級での観測である。星図に流星経路を記入する方法、あるいはテープレコーダーに観測者の声を記録する方法で記録をとった。

データを公正に整約するために、流星数0(観測したけれど出現しなかった)と、ブランク(観測しなかった)とを混同せずに評価することに注意した。

以下にのべるように散在流星の出現数を基準として各種の補正を施したので、散在流星と明確に区別できる約50の流星群に注目して観測を行った。そのなかには、写真観測にはかかってこないような小流星群もあった。Table 3に各流星群の概略データをまとめた。

3. 観測流星数の基準化 (normalisation)

観測流星数をZHRに変換して出現数を評価した。ここでのZHRの定義は、「一人の標準的な(standard)観測者が理想的な条件で観測したときに1時間に観測するであろう流星数」、である。「理想的な条件」とは、最微等級が6.5等で輻射点为天頂にあること、である。観測によって得られた実際の流星観測数NとZHRは(1)式の関係にあるとして以下に各補正項について考察する。

3.1. 最微等級による補正

式(1)のZHRは、 $r^{6.5-L_m}$ に比例する形式となっている。ここで基本的な考え方は、「最微Lm等級の空でx等級の流星を捕捉する確率は、最微Lm-1等級の空でx-1等級の流星を捕捉する確率に等しい」ということである。したがって、第一近似としては、rは流星の等級分布係数(magnitude distribution index) χ に等しくなるはずである。 χ は流星の明るさが1等級暗くなるごとに流星数が何倍になるかを表した数値(式(2))。たとえば、散在流星については $\chi=3.4$ という値が報告されている。

著者は、実際のrの値は χ よりもやや小さくなることを見いだした。Fig. 1に散在流星観測数のLm依存性を示した。各観測者ごとの測定点は直線で近似することができたので、 $r=\chi^\epsilon$ なる ϵ を観測者ごとに固有の計数として導入すればよいことがわかった。観測者ごとの ϵ の値はTable 1。(ϵ は0.43~0.87とずいぶんばらばらしている。)

χ が本当に流星の等級によらない定数であるかどうかについては、主要流星群を対象にした多くの研究があるが、本研究で取り上げたような中小の群についてはまったく研究例がない。そこで以下ではrは定数として取り扱う。Lm=5.2~7.2の観測しか取り入れていないので、rが ± 0.3 ずれても、それによるZHRの変動は15%におさまる。

3.2. 月明かりの補正

月食中の観測結果から、月明かりの影響は3.1.にのべた最微等級の効果によって補正できることがわかっている。もちろん、視野中心に月をいれたりしないという条件でだが。

3.3. 輻射点地平高度の補正

純粋に幾何学的な要請からは、輻射点地平高度(h_p)の効果は $\sin(h_p)^{-1}$ となるはずであるが、式(1)には $\sin(h_p)^{-\gamma}$ の形で入っている。 γ の値は、地平すれすれに入射する流星(h_p 小)ほど(おそらく大気が薄い上層で光り終わってしまうために)暗くなってしまう効果によって、1より大きくなる。本研究でもFig. 2のプロットから $\gamma=1.4$ を得た。 γ には χ 依存性もあるはずだが、あまり大きくない。以下では h_p が10度以上の結果を γ を1.4に固定して整約することにした。

3.4. 観測者の個人捕捉率(perception)の補正

観測者個々の捕捉率を補正するために、仮想的な「標準的な観測者」の8月上旬(南半球は3月上

旬) 地方時0時における散在流星観測数は1時間当たり10個になると定義する。日時(8月の0時)は散在流星数の時間変動が十分小さい期間を対象とするために指定した。この考え方で定義する個人捕捉率(C_p)は式(6)で与えられる(このとき r は散在流星なので3.4をとる。)。このようにして定められた C_p は0.4~2.5の範囲に散らばり(ずいぶんばらつきが大きい、というのが大西の印象。)、その平均は丁度1.0程度となった(Table 1)。この C_p を用いて補正したペルセウス群のZHRは観測者によらず±20%の範囲に収まった。また、観測者ごとの C_p の経年変動は8%程度であり非常に小さかった。Fig. 3に C_p を用いて補正した散在流星数の年周変化を示した。点線で示したような緩やかな年周変化がよく捉えられており、観測値のばらつきは40%に抑えられている。(このように C_p を用いた個人差の整約はうまく機能する、というのが著者の主張。)

3.5. 視野中心と輻射点方向との離角の補正

観測流星数は、観測者の視野中心と輻射点方向との離角(D)によって大きく変動することが知られている。Woodは写真と眼視の同時観測から、Fig. 4のような結果を得ている。観測流星数は $D=35$ 度で最大となり、 D が大きくなると単調に減少する。通常の観測では D は60度以下であろうから、この補正はあまり大きな効果を与えない。そこで以下ではこの補正は無視する。(でも、Fig. 4で一番左のデータも入れて線を引くと右肩下がりのかかなり急激な変化となるのだけれど。。。)

3.6. 出現数の年毎の変動

主要流星群の出現数は、outburstと呼ばれるような例外的かつ急激な現象を除けば、年毎にほとんど変化しない。観測値が変動を示すのはむしろ観測条件が変動するからであろう。母彗星から流星物質が放出される速度からみて流星体は数十年から数百年のあいだに速やかに軌道上に平均的に分布するようになるはずだからである。

極大出現数の年毎の変動は20~50%と報告されており、流星が発光する高度100 km大気の密度勾配の変動と関連づけられている。地磁気の変動ないし磁気嵐によって上層大気密度は最大35%もの変動をうけ、それがレーダーで観測される流星数に20-25%の変化をもたらすという研究結果がある。密度勾配が小さくなると、相対的に流星の明るさが Δm だけ減少し、ひいては出現数が $\chi^{-\Delta m}$ 倍に減少する。

もうひとつの説明としては、木星の位置が流星体の数密度に微弱な摂動を与えているという説もある。木星の公転周期は12年であるのに対して、地磁気に関連深い太陽活動の周期は11年である。そこで、流星数(ZHR)年次変動の周期性からどちらの影響が卓越しているかを判定することができるはずである。Fig. 5に示した、ペルセウス群・オリオン群の結果からは太陽活動に同期した変化が認められた。

3.7. 以降は次回。

Meteor stream activity. III. Measurement of the first in a new series of Leonid outburst

PETER JENNISKENS

NASA/Ames Research Center, Mail Stop 239-4, Moffett Field, California 94035-1000, USA

Dutch Meteor Society, Lederkarper 4, 2318NB Leiden, The Netherlands

Author's e-mail address: peter@max.arc.nasa.gov

(Received 1995 February 27; accepted in revised form 1995 September 20)

Abstract—In 1994 November, a shower of bright Leonid meteors signaled what is likely the first meteor outburst of Leonids associated with the upcoming return of comet P/Tempel-Tuttle to perihelion. Measurements of meteor activity and the meteor brightness distribution are presented. By comparing the present observation with those of past Leonid returns, a forecast is made of the time, the duration, the intensity, and the mean meteor brightness of Leonid outbursts that may occur if previously observed patterns are repeated in the forthcoming years.

off-season activity (between the return of the comet)

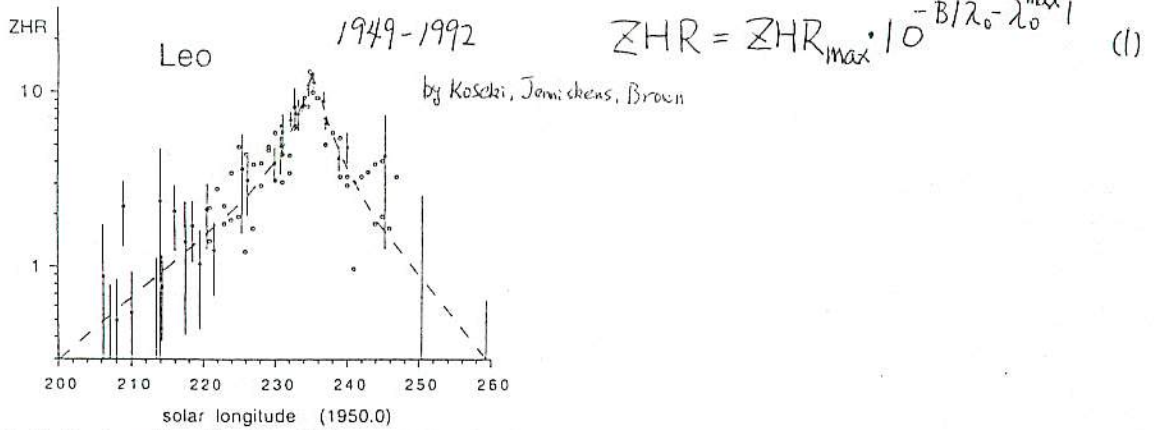


FIG. 1. Profile of annual Leonid activity. This is a compilation of data from Koseki (1993 = ○), Jenniskens (1994a = ●), and Brown (1994 = ▲). The ZHR values calculated by Koseki and Brown are scaled to those of Jenniskens by a factor of 0.37 and 1.22, respectively, and deviate in absolute level because of different definitions of the standard observer, the standard sky limiting magnitude, and a different correction for radiant altitude dilution.

TABLE 1. Summary of Leonid activity curve parameters.†

#	Component	Year	λ_0^{\max} (B1950)	ZHR _{max}	B degree ⁻¹	χ
1*	Outburst narrow - main peak	1966	234.468	15 000	30 ± 2	3.0
		1969	234.567	250	30 ± 2	3.0
		1866	232.627	17 000	30 ± 3	-2.5
		1867	232.713	6000	30 ± 6	-
2*	Outburst narrow - background	1966	(234.468)	-150	-6	-
		1866	232.625	1000	6 ± 0.5	-
		1867	232.713	350	6 ± 0.5	-
		1898	(233.46)	1100	4.1 ± 1.0	-
		1901	(233.46)	7000	3.5 ± 0.6	3.1
3	Outburst broad	1994 visual	235.18 ± 0.10	75 ± 15	1.15 ± 0.30	2.1 ± 0.3
		1994 radar	235.22 ± 0.03	-	1.0 ± 0.1	-
4	Annual-main peak	1961	234.4 ± 0.1	-200	-	2.3
		1965	234.6 ± 0.2	-300	-1.1	1.7
5	Annual-background	1949-92	234.9 ± 0.1	8 ± 2	0.20 ± 0.04	3.0 ± 0.4
			(234.9)	5 ± 1	B* 0.035 ± 0.006 B- 0.05 ± 0.03	-

→ 約115:1 (大≧1)

B = 30 degree⁻¹ → 14分2倍

B = 4 degree⁻¹ → 1.8時間2倍

B = 0.2 degree⁻¹ → 1日2" 1.6倍

† For each Leonid activity curve component detected at a given date, this Table gives the solar longitude of peak activity (λ_0^{\max}) in equinox B1950, which equals J2000 - 0.698°, the peak rate ZHR_{max}, the slope B = d log(ZHR) / d λ_0 , and the magnitude distribution index χ .

MSS-087
1994年01 outburst

TABLE 2. Summary of visual observations.*

Day	UT (hr)	λ_o long B1950	T_{eff} (hr)	f_{cl} %	hr moon o	Lm magn.	N_{leo}	N_{spo}	C_p	Observer†	ZHR (hr ⁻¹)	
6	04.17	232.949	0.75	0	60	5	5.6 [6.2]	2	3	0.7	FR	6 ± 5
6	05.31	232.987	0.75	0	70	-8	5.7 [6.3]	1	4	0.7	FR	3 ± 3
7	09.50	234.181	1.25	0	31	44	5.2 [5.5]	6	6	1.2	BL	25 ± 10
7	11.00	234.244	1.00	0	50	30	5.4 [5.7]	1	6	1.2	BL	3 ± 3
7	12.00	234.286	1.00	0	62	18	5.4 [5.7]	5	4	1.2	BL	10 ± 5
7	13.00	234.328	1.00	0	73	6	5.3 [5.6]	14	9	1.2	BL	27 ± 7
8	01.00	234.832	1.11	0	41	40	4.0 [5.4]	14	4	1.1	VG	47 ± 13
8	02.20	234.883	1.06	0	53	28	5.0 [5.7]	17	4	1.1	VG	36 ± 9
8	03.42	234.934	1.02	0	63	16	5.0 [5.7]	35	2	1.1	VG	67 ± 11
8	03.50	234.938	0.31	0.12	51	33	4.0 [5.1]	8	0	1.3	JT	79 ± 28
8	04.09	234.962	0.32	0.22	58	27	3.3 [5.1]	5	0	1.3	JT	43 ± 19
8	04.42	234.975	0.32	0.22	61	23	3.8 [5.2]	6	0	1.3	JT	46 ± 19
8	04.88	234.997	0.56	0.06	66	17	4.0 [5.3]	4	1	1.3	JT	15 ± 8
8	05.77	235.033	0.43	0.70	69	18	5.9	5	1	1.0	DV	67 ± 30
8	06.30	235.055	0.52	0.50	76	11	5.9	10	1	1.0	DV	62 ± 20
8	10.77	235.243	1.00	0	63	26	4.5	13	0	1.1	DS	62 ± 17
8	11.77	235.285	1.00	0	74	14	4.5	15	4	1.1	DS	64 ± 17
8	12.75	235.320	0.30	0	64	24	5.1	5	0	1.0	PJ	55 ± 25
8	13.15	235.343	0.25	0	68	19	5.1	5	0	1.0	PJ	63 ± 28
8	13.51	235.358	0.27	0	71	15	5.2	5	1	1.0	PJ	49 ± 22
8	13.84	235.372	0.28	0	73	12	5.3	9	2	1.0	PJ	83 ± 28
19	03.75	235.957	0.97	0	54	40	5.1 [5.7]	6	3	1.3	JT	15 ± 6
19	04.22	235.976	0.30	0	61	34	5.1 [5.7]	3	1	0.7	FR	32 ± 19
19	04.73	235.998	0.40	0	66	28	5.1 [5.7]	1	1	0.7	FR	8 ± 8
19	05.12	236.014	0.40	0	69	24	5.1 [5.7]	1	1	0.7	FR	7 ± 7
19	05.73	236.040	0.30	0	73	17	5.3 [5.9]	4	0	0.7	FR	32 ± 16
19	09.70	236.207	0.40	0	30	66	5.6	1	2	1.0	PJ	13 ± 13
19	10.50	236.240	0.97	0	39	89	5.6	2	4	1.0	PJ	8 ± 5
19	11.50	236.283	0.97	0	51	48	5.7	6	3	1.0	PJ	16 ± 7
19	12.38	236.320	0.75	0	61	38	5.8	2	0	1.0	PJ	5 ± 4
20	05.00	237.018	0.85	0	68	35	4.7 [5.3]	3	0	0.7	FR	19 ± 11
20	05.75	237.050	0.50	0	73	26	4.7 [5.3]	0	0	0.7	FR	0 ± 11
20	10.67	237.257	0.97	0	41	65	5.5	2	3	1.0	PJ	11 ± 7
20	11.77	237.303	1.10	0	54	54	5.6	3	3	1.0	PJ	9 ± 5
22	10.95	239.289	0.95	0	44	71	5.9	0	5	1.0	PJ	0 ± 3
22	11.78	239.323	0.62	0	54	68	5.9	0	4	1.0	PJ	0 ± 4
Total:			24.95					219	82		6	

* The columns list date and time, solar longitude (B1950), effective observing time, percentage cloud cover, radiant altitude, altitude of the Moon, sky limiting magnitude, number of observed Leonids and Sporadics, the observer perception, the observer code and the calculated Zenith Hourly Rate.

† The visual observers are (in alphabetical order): Valentin Grigore (VG), at Targoviste, Rumania (+25.5E,45.0N), Peter Jenniskens (PJ), Mountain View, California (-122.0W,+37.2N), Robert Lunsford (BL), San Diego, California (-116.7W,32.8N), Francisco Reyes Andres (FR), Murcia, Spain (+01.1E,+38.0N), David Swann (DS), Carrollton, Texas (-96.9W,+33.0N), Josep Trigo (JT), Grau de Cautello, Spain (+00.0E,+39.0N), and Daniel Verde (DV), Gran Canaria, Spain (-5.6W,+27.7N).

full moon

219 Leonids and 82 sporadics per 25 hrs / visual obs.

IL-Z=P, 2A°E, P×1)7

forward scattering radio obs.

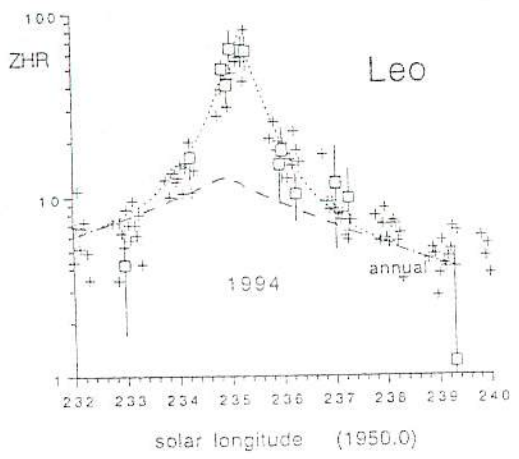


FIG. 2. Profile of the 1994 Leonid outburst. Corrected hourly rates of visual (O) and radio forward meteor scatter data (+). A dashed curve shows the annual activity from Fig. 1.

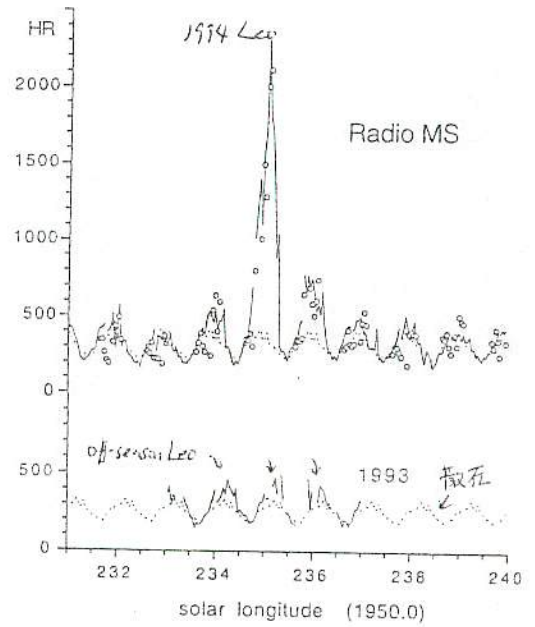


FIG. 3. Hourly rates of radio reflections. Data by I. Yrjölä, Kuusankoski, Finland (-), and M. De Meyere, Deurle, Belgium (o). Upper curve represents the 1994 data while the bottom curve represents the 1993 data. Data by De Meyere are scaled to those of Yrjölä by a factor of four. Daily variations in the sporadic background and the radiant position cause the sinusoidal variation. The dashed line is a mean sporadic background derived from averaging sporadic activity before and after the event. Yrjölä used a two-element Yagi antenna, aimed at the horizon at azimuth 45° (SW), a narrow band FM receiver, and listened to the transmitted power at 87.360 MHz by German radio stations. Meteor reflections that raised the output signal >-122 dB were fed in binary form in a T-1000 SE computer. Reflection rates are the number of such triggering events per one hour interval. De Meyere listened at 66.17 MHz to radio stations in Poland with

彗星より外側を地球が通過
 ↑
 彗星より太陽より地球が通過
 ↓
 彗星より前方に地球が通過

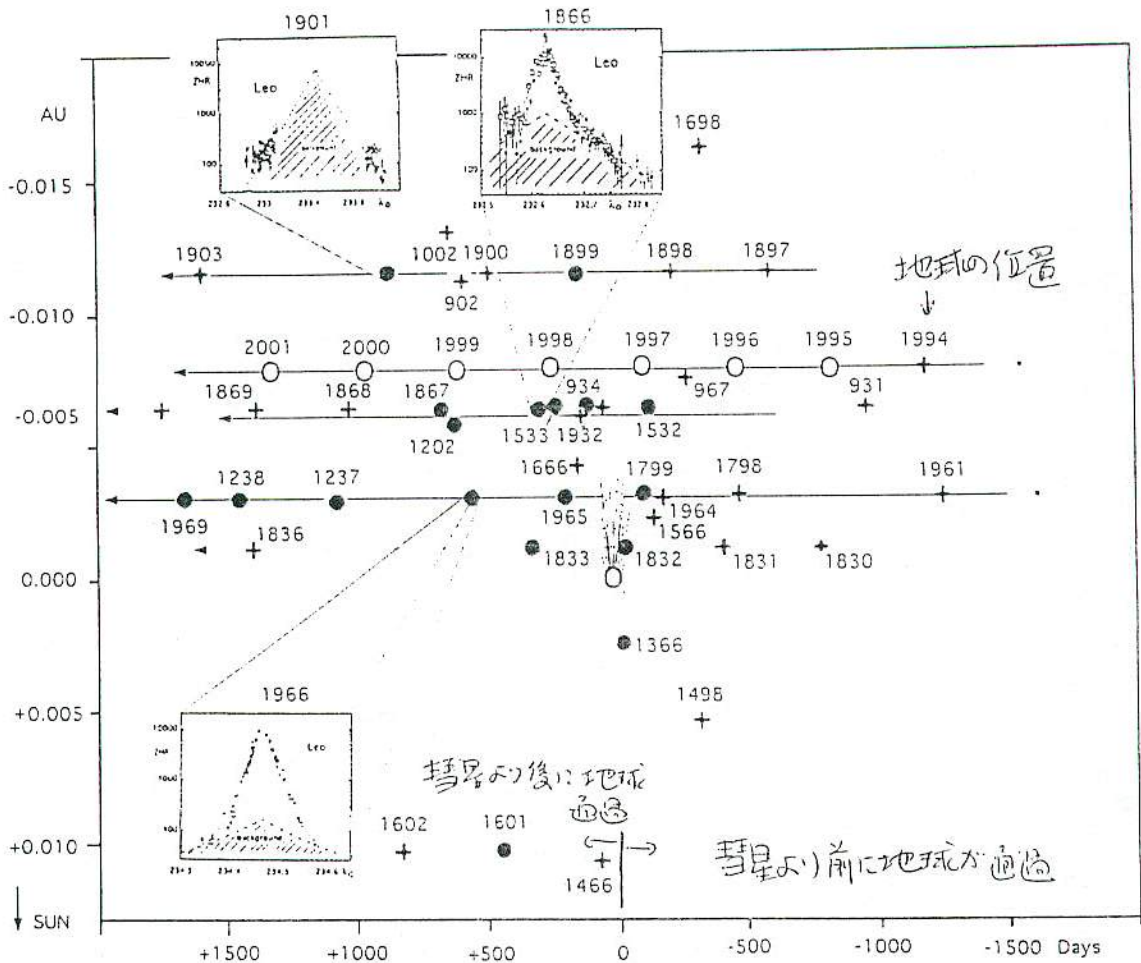


FIG. 4. Encounter conditions of the Earth with the Leonid stream. The time difference between the moment that the Earth and comet cross the descending node is plotted vs. the minimum distance to the comet orbit. The figure is adapted from Yeomans (1981). Crosses show when an outburst was observed while black dots indicate the possible presence of a narrow component of faint meteors. The inset shows ZHR curves for the outbursts of 1966, 1866 and 1901 (Jenniskens, 1993), which are cross sections perpendicular to the plane of the page.

彗星の後方、外側に流星体の濃密な空間がある。

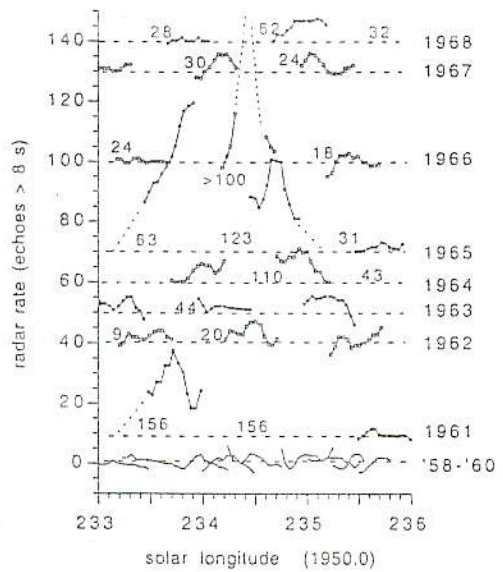


FIG. 5. Radar and visual Leonid rates during the 1961-1968 return. Data by McIntosh and Millman (1970). Leonid shower rates for echo durations longer than 8 s were determined by subtracting an average, non-shower, background count from the total count and correcting for radiant elevation using a simple sine function and are normalized to a radiant elevation angle of 30°. Numbers indicate the corresponding mean visual rate of six observers between 0 and 6 h LMT at Springhill Observatory. These values are $-2-3 \times$ the ZHR, given that the observed mean annual Leonid rate is 10-30.

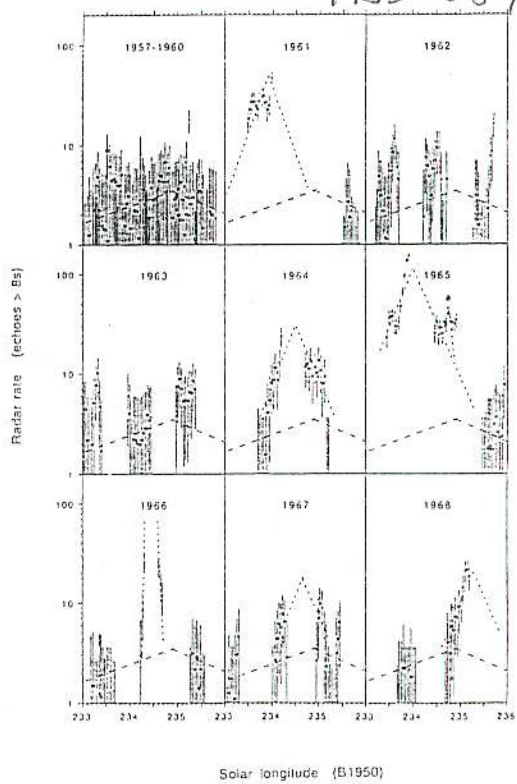


FIG. 6. Radar rates of Fig. 5 corrected for instrumental azimuth dependence and plotted on a logarithmic scale. Dashed lines guide the eye for the possible annual background and the occurrence of meteor outbursts.

1966年の回帰のときも 最接近の5年前(1961年)から出現が増えはじめた。

TABLE 4. Prospects for near future Leonid outbursts †

Year	λ_{\circ}^{\max} (1950.0)	ZHR _{peak}	λ	Duration (hours)	Date	Time (hours UT)	Location	Moon % age
1994	235.22 ± 0.04	85 ± 15	2.1	20	Nov. 18	10 ± 1	E. USA	1.0 14
1995	235.2 ± 0.1	-30	2.0	20	Nov. 18	16 ± 3	Pacific	0.2 26
1996	235.1 ± 0.1	-100	1.9	20	Nov. 17	20 ± 3	Japan	0.5 7
1997	234.9 ± 0.2	-200	1.8 (3.0)	20 (0.7)	Nov. 17	21 ± 6	Japan	0.9 18
1998	234.64 ± 0.05	-10 000	3.0 (1.9)	0.7 (20)	Nov. 17	21 ± 1	Japan	0.0 28
1999	234.75 ± 0.15	-5000	3.0 (2.0)	0.7 (20)	Nov. 18	06 ± 4	E. USA	0.7 9
2000	235.0 ± 0.3	-100	2.1 (3.0)	20 (0.7)	Nov. 17	18 ± 8	-	0.6 21
2001	235.2 ± 0.5	-100	2.1 (3.0)	20 (0.7)	Nov. 18	-05	-	0.1 3

† This forecast is based on the assumption that previously observed patterns will be repeated. This table lists the solar longitude of peak activity (λ_{\circ}^{\max}) in equinox B1950, which equals J2000 - 0.698°, the peak rate (annual + outburst combined), the duration, as well as the most favorable time and place to observe the event. The last column gives the fraction of the Moon that is illuminated (%) and the age of the Moon in days at the peak of the stream.

TABLE 5. Forecast based on theoretical model calculations.

Reference:*	[1]	[2]	[3]	ZHR _{max}
Year	λ_{\circ}^{\max}	λ_{\circ}^{\max}	λ_{\circ}^{\max}	
1997	234.869	-	234.11	1000
1998	234.897 rich	-	234.10	10 000
1999	234.925 rich	234.59 weak	234.10	100 000
2000	234.955 may be rich	235.57 moderate	234.09	1000
2001	-	235.77 very intense	-	-
2002	-	236.19 very intense	-	-

* Data by [1] Terentjeva (1991), [2] Kondratjeva and Reznikov (1985), and [3] Kresák (1993), while Brown and Jones (1993) predict a maximum each year at $\lambda_{\circ} = 234.50$.

これまでの出現パターンを踏襲して (Fig. 4) の予想

流星物質の運動シミュレーションによる予想

Meteor stream activity. III. Measurement of the first in a new series of Leonid outburst

PETER JENNISKENS

NASA/Ames Research Center, Mail Stop 239-4, Moffett Field, California 94035-1000, USA

Dutch Meteor Society, Lederkarper 4, 2318NB Leiden, The Netherlands

Author's e-mail address: peter@max.arc.nasa.gov

(Received 1995 February 27; accepted in revised form 1995 September 20)

Abstract—In 1994 November, a shower of bright Leonid meteors signaled what is likely the first meteor outburst of Leonids associated with the upcoming return of comet P/Tempel-Tuttle to perihelion. Measurements of meteor activity and the meteor brightness distribution are presented. By comparing the present observation with those of past Leonid returns, a forecast is made of the time, the duration, the intensity, and the mean meteor brightness of Leonid outbursts that may occur if previously observed patterns are repeated in the forthcoming years.

INTRODUCTION

In 1994 November, a meteor outburst of Leonids was observed that may signal a series of such events in the coming years. A meteor outburst is defined as a significant enhancement of rates over normal annual activity and is thought to be caused by relatively recent cometary ejecta, providing information on the ejection process of large grains and the orbital evolution towards a meteor stream. Dedicated observations of meteor outbursts have been rare, however, due to their irregular nature. Hence, a new series of Leonid outbursts carries a promise of opportunity.

Among all historic outbursts, the Leonids are of special interest. It was the Leonid meteor storms of 1799, 1833, and 1866 that marked the beginning of meteor astronomy (Lovell, 1954; Hughes, 1982). The discovery of the radiant in the constellation Leo, and a conspicuous 33.25-year recurrence, made it clear that meteors are of extraterrestrial origin and composed of cometary debris.

The Leonids are also special because the orbit of parent comet P/Tempel-Tuttle is relatively stable, and the stream has produced intense meteor outbursts at nearly every return to perihelion, at least back to 902 A.D. This allowed Yeomans (1981) to uniquely map the distribution of dust near the parent comet, showing that most matter is found behind the comet and outward from the cometary orbit. At present, the Leonids are the stream with highest maximum meteor rates, quoted to be as high as 150 000 meteors per hour during the meteor storm in 1966 (Milon, 1967). Although that estimate may be off by a factor of 10 (Jenniskens, 1995), the Leonids at their maximum still offer the best, and perhaps only, opportunity for a dedicated study of a meteor storm.

Previous papers defined normal annual activity (Jenniskens, 1994a) and summarized available observations of meteor outbursts (Jenniskens, 1995). This paper revisits normal off-season Leonid activity and presents observations of the new 1994 outburst. The result is compared to the outbursts reported during the previous return in 1965.

THE OFF-SEASON ACTIVITY

In the off-season (*i.e.*, between the return of the comet), the normal annual Leonid activity has remained fairly constant from year to year. Apart from a few poorly documented exceptions, the reported rates (*e.g.*, Roggemans, 1987) varied by no more than a factor of two since 1969 when the last well documented Leonid outburst was observed. This is consistent with the rates reported between 1935 and 1960 (Kazimircak-Polonskaja *et al.*, 1968).

There has been no report of a gradual increase of annual activity while the comet approached perihelion in the past few years, in

agreement with the behavior of the Perseids prior to and during the return of P/Swift-Tuttle in 1992. This confirms the relevance of distinguishing between normal annual activity and meteor outbursts.

Figure 1 is an average annual Leonid activity curve for the period 1949 to 1992. The x-axis gives the position of the Earth in its path in units of degrees of solar longitude. The y-axis gives the meteor rate in units of Zenith Hourly Rate (ZHR), which is proportional to the meteoroid influx. The diagram is composed of data by Koseki (1993), Jenniskens (1994a), and Brown (1994), obtained from observations in the years 1949–1970, 1981–1991, and 1987–1992, respectively. The agreement in profile shape is excellent.

This zenith hourly rate profile can be described with a small number of parameters, which allows a comparison with other activity profiles. The profiles of the major annual meteor streams are usually well represented by one or two components of the exponential form (Jenniskens, 1994a):

$$\text{ZHR} = \text{ZHR}_{\text{max}} 10^{-B|\lambda_0 - \lambda_0^{\text{max}}|} \quad \text{Eq. (1)}$$

where ZHR_{max} , B , and λ_0^{max} are free parameters. The Leonids need a two-component fit with a narrow main peak and a broad

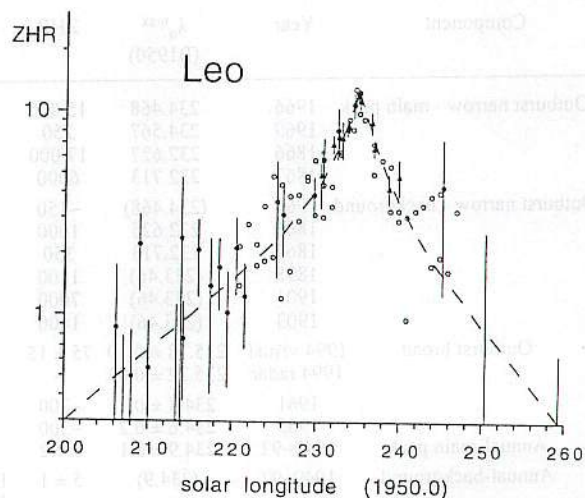


FIG. 1. Profile of annual Leonid activity. This is a compilation of data from Koseki (1993 = \circ), Jenniskens (1994a = \bullet), and Brown (1994 = \blacktriangle). The ZHR values calculated by Koseki and Brown are scaled to those of Jenniskens by a factor of 0.37 and 1.22, respectively, and deviate in absolute level because of different definitions of the standard observer, the standard sky limiting magnitude, and a different correction for radiant altitude dilution.

MSS-087

background. Values for each parameter are listed in Table 1. These values are an improvement on those given in Jenniskens (1994a). This fit to the annual activity curve will be used as a baseline to which anomalous Leonid activity is compared.

A NEW LEONID OUTBURST

The author was fortunate to be among observers that witnessed an outburst of Leonids on 1994 November 18 (Jenniskens 1994b). Several bright meteors made the event most impressive. Unfortunately, no attempt was made to obtain multistation photographic data after a failed attempt due to bad weather the night before. However, visual and radio meteor-scatter observations have become available from other parts of the world that confirm the occurrence of an outburst. These data have now been analyzed, and results are presented below.

The Observations

The visual observations are not abundant because of interference by a nearly full moon. In 25 hours of effective observing time, 219 Leonids and 82 sporadic meteors were recorded by seven observers located in Rumania, Spain, and the USA (Table 2). Raw data are from Josep Trigo, Daniel Verde, Francisco Reyes Andres, Robert Lunsford and the author, which were kindly made available for further analysis, while additional data of David Swann and Valentin Grigore come from Brown (1994) and Grigore (1995). There is no individual series of counts that cover a significant part of the activity profile such as the data discussed in Jenniskens (1995). Therefore, the analysis of the observations depends on the fact that these were experienced observers with a well-established observing history.

The visual observations are complemented by results from two radio forward meteor scatter observers in Europe. I. Yrjölä in Kuusankoski, Finland (26E,+60N), kindly provided counts of radio reflections for further analysis. Similar data by M. De Meyere, Deurle, Belgium (5E,+50N), are given in Steyaert (1994).

TABLE 1. Summary of Leonid activity curve parameters.†

#	Component	Year	λ_0^{\max} (B1950)	ZHR _{max}	B degree ⁻¹	χ
1*	Outburst narrow - main peak	1966	234.468	15 000	30 ± 2	3.0
		1969	234.567	250	30 ± 2	3.0
		1866	232.627	17 000	30 ± 3	~2.5
		1867	232.713	6000	30 ± 6	—
2*	Outburst narrow - background	1966	(234.468)	~150	-6	—
		1866	232.625	1000	6 ± 0.5	—
		1867	232.713	350	6 ± 0.5	—
		1898	(233.46)	1100	4.1 ± 1.0	—
		1901	(233.46)	7000	3.5 ± 0.6	3.1
		1903	(233.46)	1400	3.5 ± 0.4	~2.5
3	Outburst broad	1994 visual	235.18 ± 0.10	75 ± 15	1.15 ± 0.30	2.1 ± 0.3
		1994 radar	235.22 ± 0.03	—	1.0 ± 0.1	—
		1961	234.4 ± 0.1	~200	—	2.3
4	Annual-main peak	1965	234.6 ± 0.2	~300	~1.1	1.7
		1949-92	234.9 ± 0.1	8 ± 2	0.20 ± 0.04	3.0 ± 0.4
5	Annual-background	1949-92	(234.9)	5 ± 1	B ⁺ 0.035 ± 0.006 B ⁻ 0.05 ± 0.03	—

† For each Leonid activity curve component detected at a given date, this Table gives the solar longitude of peak activity (λ_0^{\max}) in equinox B1950, which equals J2000 - 0.698°, the peak rate ZHR_{max}, the slope B = d log(ZHR) / d λ_0 , and the magnitude distribution index χ .

* Results from the narrow outburst component are from Jenniskens (1995).

Radiant and Mean Brightness

The visible meteors radiated from a point in the head of Leo at $\alpha = 150.6 \pm 1.8$, $\delta = +21.3 \pm 1.2$ (B1950). This median value was derived from a small number of 14 meteors seen <30° from the radiant and plotted on star charts by the author in the night of November 17/18 and 18/19. Depending on how well the meteor could be placed on the star background, each entry was given a weight factor. The error margin reflects the 1 σ plotting accuracy and not the intrinsic scatter of the radiant. The position is perhaps slightly off from that of the Leonid storm in 1966, when the radiant was $\alpha = 152.5$, $\delta = +21.3$, at a moment earlier in time by 1.3° solar longitude.

A relatively large number of bright Leonids were seen. The observed magnitude distribution N(m) of several observers are given in Table 3. This distribution is affected by moonlight and observer perception. The true meteor distribution n(m) is equal to N(m) divided by some detection probability function P(m). The physically relevant parameter is the magnitude distribution index χ , defined as (Kresáková, 1966):

$$\chi = \frac{n(m+1)}{n(m)} \quad \text{Eq. (2)}$$

which relates to the mass distribution index $s \sim 2.5 \log(\chi) + 1$, and which can be derived from the observed magnitude distribution N(m), because:

$$N(m) = n(0) \cdot P(m) \cdot \chi^m \quad \text{Eq. (3)}$$

I have analyzed various combinations of data in time intervals and in units of similar sky conditions in order to find the value of χ from the sparse observations. I have used the probability function P(m) of Kresáková (1966) as a mean for all observers, allowing for a shift of the function proportional to the observed decrease of sky limiting magnitude. Alternatively, I have used P(m) derived from my distance of center of vision estimates (Jenniskens, 1994a) to correct my own observations. In addition, χ was derived from the distribution of bright meteors, where P(m) is close to 1, and by comparing the rate of observed Leonids and sporadic meteors as a function of magnitude, where P(m) is assumed to cancel out.

I find that χ of the Leonids is in the range 1.7-2.1, while the sporadic value is in the range 2.5-3.0. No significant variation with time could be determined, because of a lack of observations prior to and after the outburst. On a scale of $\chi = 3.4$ for sporadic meteors as in Kresáková (1966), the result is $\chi = 2.1 \pm 0.3$ for the Leonids. Hence, the Leonids were brighter on average than the annual Leonids, for which $\chi = 3.0 \pm 0.4$ in off-season years (Kresáková, 1966).

Support for the conclusion that the Leonids were brighter than usual comes from the radio forward meteor-scatter data. Automatic counts by Yrjölä show the mean meteor reflection duration, defined as the time that the recorded intensity is above a threshold value, to be longer during the Leonid outburst (0.81 ± 0.08 s) than for any of the annual streams observed with the same equipment (0.28-0.46 s). A similar excess of long duration echoes was detected by Bus *et al.* (1994). From the

mean duration of reflections, in comparison to those of other streams, I surmise that the typical radio reflection during the outburst was from a +2 to +4 magnitude Leonid, while the detected sporadic meteors are typically of order +5 to +7 (McKinley 1961). Hence, the radio system monitors nearly the same mass range of meteoroids as seen visually.

Leonid Rates from Visual Data

The visual meteor counts (N_{Leo}/T_{eff}) listed in Table 2 are corrected for radiant altitude dilution, observer perception, and sky limiting magnitude resulting in a zenith hourly rate (Jenniskens, 1994a):

$$ZHR = \frac{N_{Leo}}{T_{eff}} \chi^{Lm-6.5} C_p^{-1} \sin(h_r)^{-\gamma} \quad \text{Eq. (4)}$$

TABLE 2. Summary of visual observations.*

1994 Nov.	UT (hr)	λ_o long B1950	T_{eff} (hr)	f_{cl} %	hr moon o	Lm magn.	N_{leo}	N_{spo}	C_p	Observer†	ZHR (hr^{-1})
16	04.17	232.949	0.75	0	60 5	5.6 [6.2]	2	3	0.7	FR	6 ± 5
16	05.31	232.987	0.75	0	70 -8	5.7 [6.3]	1	4	0.7	FR	3 ± 3
17	09.50	234.181	1.25	0	31 44	5.2 [5.5]	6	6	1.2	BL	25 ± 10
17	11.00	234.244	1.00	0	50 30	5.4 [5.7]	1	6	1.2	BL	3 ± 3
17	12.00	234.286	1.00	0	62 18	5.4 [5.7]	5	4	1.2	BL	10 ± 5
17	13.00	234.328	1.00	0	73 6	5.3 [5.6]	14	9	1.2	BL	27 ± 7
18	01.00	234.832	1.11	0	41 40	4.0 [5.4]	14	4	1.1	VG	47 ± 13
18	02.20	234.883	1.06	0	53 28	5.0 [5.7]	17	4	1.1	VG	36 ± 9
18	03.42	234.934	1.02	0	63 16	5.0 [5.7]	35	2	1.1	VG	67 ± 11
18	03.50	234.938	0.31	0.12	51 33	4.0 [5.1]	8	0	1.3	JT	79 ± 28
18	04.09	234.962	0.32	0.22	58 27	3.3 [5.1]	5	0	1.3	JT	43 ± 19
18	04.42	234.975	0.32	0.22	61 23	3.8 [5.2]	6	0	1.3	JT	46 ± 19
18	04.88	234.997	0.56	0.06	66 17	4.0 [5.3]	4	1	1.3	JT	15 ± 8
18	05.77	235.033	0.43	0.70	69 18	5.9	5	1	1.0	DV	67 ± 30
18	06.30	235.055	0.52	0.50	76 11	5.9	10	1	1.0	DV	62 ± 20
18	10.77	235.243	1.00	0	63 26	4.5	13	0	1.1	DS	62 ± 17
18	11.77	235.285	1.00	0	74 14	4.5	15	4	1.1	DS	64 ± 17
18	12.75	235.320	0.30	0	64 24	5.1	5	0	1.0	PJ	55 ± 25
18	13.15	235.343	0.25	0	68 19	5.1	5	0	1.0	PJ	63 ± 28
18	13.51	235.358	0.27	0	71 15	5.2	5	1	1.0	PJ	49 ± 22
18	13.84	235.372	0.28	0	73 12	5.3	9	2	1.0	PJ	83 ± 28
19	03.75	235.957	0.97	0	54 40	5.1 [5.7]	6	3	1.3	JT	15 ± 6
19	04.22	235.976	0.30	0	61 34	5.1 [5.7]	3	1	0.7	FR	32 ± 19
19	04.73	235.998	0.40	0	66 28	5.1 [5.7]	1	1	0.7	FR	8 ± 8
19	05.12	236.014	0.40	0	69 24	5.1 [5.7]	1	1	0.7	FR	7 ± 7
19	05.73	236.040	0.30	0	73 17	5.3 [5.9]	4	0	0.7	FR	32 ± 16
19	09.70	236.207	0.40	0	30 66	5.6	1	2	1.0	PJ	13 ± 13
19	10.50	236.240	0.97	0	39 89	5.6	2	4	1.0	PJ	8 ± 5
19	11.50	236.283	0.97	0	51 48	5.7	6	3	1.0	PJ	16 ± 7
19	12.38	236.320	0.75	0	61 38	5.8	2	0	1.0	PJ	5 ± 4
20	05.00	237.018	0.85	0	68 35	4.7 [5.3]	3	0	0.7	FR	19 ± 11
20	05.75	237.050	0.50	0	73 26	4.7 [5.3]	0	0	0.7	FR	0 ± 11
20	10.67	237.257	0.97	0	41 65	5.5	2	3	1.0	PJ	11 ± 7
20	11.77	237.303	1.10	0	54 54	5.6	3	3	1.0	PJ	9 ± 5
22	10.95	239.289	0.95	0	44 71	5.9	0	5	1.0	PJ	0 ± 3
22	11.78	239.323	0.62	0	54 68	5.9	0	4	1.0	PJ	0 ± 4
Total:			24.95				219	82		6	

* The columns list date and time, solar longitude (B1950), effective observing time, percentage cloud cover, radiant altitude, altitude of the Moon, sky limiting magnitude, number of observed Leonids and Sporadics, the observer perception, the observer code and the calculated Zenith Hourly Rate.

† The visual observers are (in alphabetical order): Valentin Grigore (VG), at Targoviste, Rumania (+25.5E,45.0N), Peter Jenniskens (PJ), Mountain View, California (-122.0W,+37.2N), Robert Lunsford (BL), San Diego, California (-116.7W,32.8N), Francisco Reyes Andres (FR), Murcia, Spain (+01.1E,+38.0N), David Swann (DS), Carrollton, Texas (-96.9W,+33.0N), Josep Trigo (JT), Grau de Cautello, Spain (+00.0E,+39.0N), and Daniel Verde (DV), Gran Canaria, Spain (-5.6W,+27.7N).

I adopt $\gamma = 1.4$ as in Jenniskens (1994a), $\chi = 2.1$ during maximum, and $\chi = 2.4-2.8$ on the nights before and after maximum. For the observations of Josep Trigo and Daniel Verde, I allow for a correction for the fraction of cloud cover (f_{cl}): $ZHR_c = ZHR / (1 - f_{cl})$. The total correction from an observed rate to the zenith hourly rate amounts to a factor 3-5. Error bars show the statistical uncertainty only (i.e., $\sigma ZHR = ZHR/\sqrt{N}$, with N being the total number of observed Leonids).

Mean ZHR values per observer per night are shown in Fig. 2. A dashed line gives the level of annual activity from Fig. 1. It follows that the rates were significantly higher than this for three consecutive days. By assuming a symmetric curve as Eq. 1 for the excess outburst component, I find that the outburst component peaked on 1994 November 18 at 9.3 ± 2.5 hours UT, and the

effective ($2 \times e^{-1}$) duration of the event was 18 ± 5 hours (Table 1). Systematic uncertainties due to observer perception (C_p) and limiting magnitude correction (Lm) may amount to a factor of up to +1.7 in ZHR_{max} and a factor of +1.1 in B. The systematic errors are due to uncertainties in observer perception (C_p) and limiting magnitude (Lm) correction. The C_p is based on previous work of the observers in 1993 and 1994 and has an uncertainty of ~20%. The uncertainty in χ introduces an uncertainty of <50%. The uncertainty in the limiting magnitude correction depends on the correctness of an evaluation of the sky limiting magnitude estimates, which are somewhat observer dependent and could introduce errors of up to a factor of four. Hence, the result is most sensitive to the evaluation of the limiting magnitude estimates. Francisco Reyes Andres has systematically lower limiting magnitude estimates than the author by 0.6 magnitudes. Josep Trigo usually reports similar limiting magnitude estimates as the author, but now he reports very low values in the night of the outburst, in spite of an otherwise clear sky (between clouds) while there was no haze. Hence, his Lm values are increased so as to correspond to a clear sky with some moon and city light. The relatively large number of sporadic meteors reported by Valentin Grigore similarly suggests a higher limiting magnitude than given. David Swann, however, has previously reported high values of Lm during full moon conditions, and his lower than usual limiting magnitude estimate is taken at face value. The author observed from downtown Mountain View, California, on November 17/18. Considerable effort was made to make a good estimate of the limiting magnitude during the observations, and the result was compared to that at a darker site outside town on the next night.

Leonid Rates From Radio MS Data

The rate of radio reflections recorded by Yrjölä and De Meyere during the Leonid outburst are in good agreement, in spite of a different frequency and observing geometry.

MSS-087

TABLE 3. Magnitude distribution of Leonids and Sporadic meteors.

1994 Nov.	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	Lm	OBS
16	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	[6.2]	FR
17	0	0	1	3	5	2	1	6	7	1	0	5.4	BL
18	0	3	5	4	9	17	15	5	4	1	0	[5.6]	GV
18	1	2	1	4	1	1	2	7	3	0	0	[5.2]	JT
18	0	0	1	1	2	3	2	3	3	0	0	5.9	DV
18	0	0	0	1	2	4	1	2	3	5	0	5.2	PJ
19	0	0	0	0	2	0	1	3	2	1	0	[5.7]	FR
19	0	0	0	0	0	2	2	1	3	1	2	5.7	PJ
20	0	0	1	0	0	0	1	2	3	0	0	5.6	PJ
20	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	[5.3]	FR
Total	1	5	9	13	22	29	27	30	28	11	2		Leonids
-	0	0	0	0	1	2	3	1	1	1	0	[5.7]	FR
17	0	0	0	1	0	3	3	7	6	4	1	5.4	BL
18	0	0	0	0	0	3	3	2	2	0	0	[5.4]	GV
18	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	5.2	PJ
19	0	0	0	0	0	0	2	2	2	4	0	5.7	PJ
20	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	1	5.5	PJ
Total	0	0	0	1	1	8	12	12	16	11	2		Sporadics

The radio reflection rates were significantly above the sporadic background in three consecutive days at times that the radiant was above the horizon (Fig. 3). This pattern differs from that obtained during Aurora, the main cause of interference, which typically causes a number of sharp spikes. Hence, the raw radio MS data confirm the meteor outburst as well as the long duration of the event. The recorded rate of Leonid reflections is surprisingly high, given that the annual Leonids are barely detected (see 1993 data in Fig. 3). This may reflect the higher abundance of bright meteors in the outburst as compared to the annual activity.

The radio reflection counts can not be directly transferred into an influx rate proportional to zenith hourly rate because the observability function is not known. However, it is possible to use the fact that the detection efficiency for meteors of a particular stream does not vary much at the same time of day for a period of a few days. By imposing a rate evolution as in Eq. (1) with a symmetric curve $B^+ = B^-$, the excess hourly rate over sporadic meteors at the same time during three consecutive days determines a

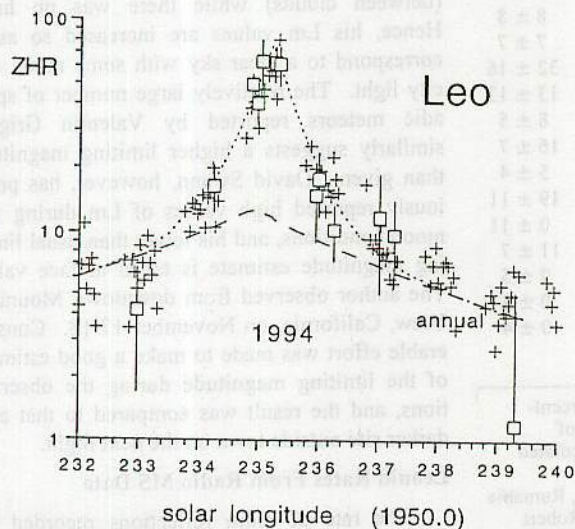


FIG. 2. Profile of the 1994 Leonid outburst. Corrected hourly rates of visual (O) and radio forward meteor scatter data (+). A dashed curve shows the annual activity from Fig. 1.

value of the three parameters HR_{max} , B , and λ_o^{max} . A weighted mean is derived from all hours of the day when the radiant is above the horizon. I find a maximum on November 18, 10 ± 1 h UT, and an effective duration of 21 ± 2 h (Table 1), in good agreement with the visual data. The comparison is made in Fig. 2, where the radio rates have been corrected for the mean observability function (the ratio of observed rates vs. true rates according to Eq. 1) and scaled by a constant factor to the visual zenith hourly rate, assuming that the meteor scatter data contain no contribution from the annual Leonids. Because visual and radio meteor-scatter data represent approximately the same particle sizes during the outburst, a good agreement in time of maximum and slope is not unexpected.

PREVIOUS RETURNS

When Did The Leonids Wake Up?

Following recognition of the first Perseid outburst in 1991, the presence of an outburst component of Perseids could be traced back several years before perihelion passage of the parent P/Swift-Tuttle, albeit at a weak level of activity (Lindblad and Porubcan, 1994; Simek, 1995). Recently,

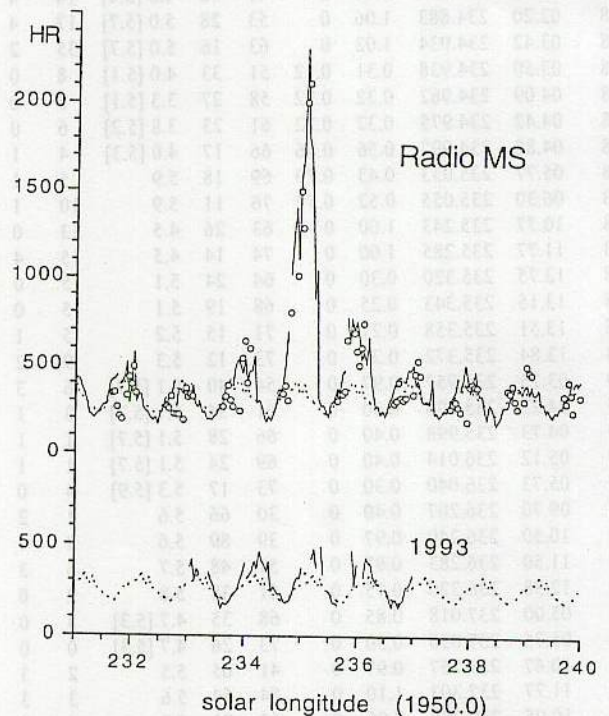


FIG. 3. Hourly rates of radio reflections. Data by I. Yrjölä, Kuusankoski, Finland (-), and M. De Meyere, Deurle, Belgium (o). Upper curve represents the 1994 data while the bottom curve represents the 1993 data. Data by De Meyere are scaled to those of Yrjölä by a factor of four. Daily variations in the sporadic background and the radiant position cause the sinusoidal variation. The dashed line is a mean sporadic background derived from averaging sporadic activity before and after the event. Yrjölä used a two-element Yagi antenna, aimed at the horizon at azimuth 45° (SW), a narrow band FM receiver, and listened to the transmitted power at 87.360 MHz by German radio stations. Meteor reflections that raised the output signal >-122 dB were fed in binary form in a T-1000 SE computer. Reflection rates are the number of such triggering events per one hour interval. De Meyere listened at 66.17 MHz to radio stations in Poland with a four-element Yagi at azimuth 270° and elevation 30°.

1780-2214

MSS-087

Belkovich *et al.* (1995) checked for increased Leonid rates prior to 1994 from visual observations and found that the combined Leonid activity in 1992 and 1993 may have peaked already 2.5x higher than annual. However, those observers that reported high Leonid rates in 1993 November (Konsul and Shahin, 1994; Garrailov and Chakarov, 1994) also reported high sporadic rates (when given), while other observers saw normal annual rates at the same interval of solar longitude (Langbroek, 1994). Hence, the visual data do not conclusively prove enhanced rates in 1993.

Radio meteor scatter data exist for 1993, although these are contaminated by Auroral propagation (Fig. 3). After removing the narrow Auroral spikes, there is no sign of a similar broad outburst as in 1994 with peak rate higher than $ZHR_{max} = 10$, in agreement with the visual data.

The Encounter Geometry of the 1998 Return

The large number of documented historic Leonid outbursts

allowed Yeomans (1981) to construct a map of the dust distribution near the comet, a version of which is reproduced in Fig. 4. The figure's vertical axis is the minimum distance to the comet orbit during an encounter (in astronomical units), while the horizontal axis is the time (in days) between the moment that Earth and comet pass this point. Dark dots mark those historic encounters that suggest a short duration event by giving a reference to a particular time in the night or to large numbers of faint meteors (Imoto and Hasegawa, 1958; Tian-shan, 1977; Hasegawa, 1993). Open circles in Fig. 4 show the encounter geometry for other possible outbursts after 1994 during the forthcoming return of the comet, the 34th since 902 A.D. The comet is due at perihelion on 1998 February 28.

Comparison with the 1965 Return

The 1994 outburst occurred 3.3 years before perihelion passage, at a point close to the location where in 1961 the first meteor outburst was detected (Fig. 4), but this time, the Earth passed 7 x

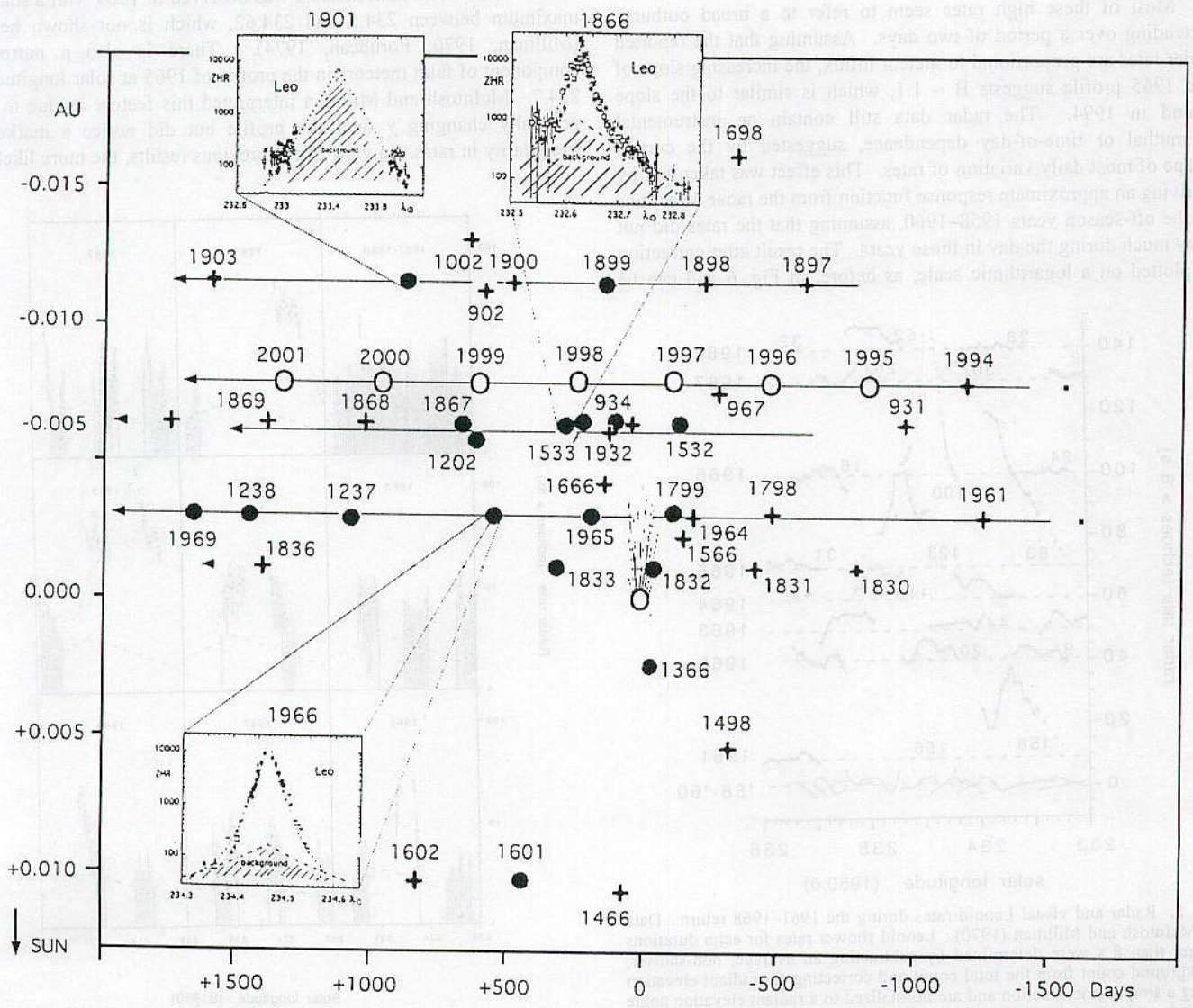


FIG. 4. Encounter conditions of the Earth with the Leonid stream. The time difference between the moment that the Earth and comet cross the descending node is plotted vs. the minimum distance to the comet orbit. The figure is adapted from Yeomans (1981). Crosses show when an outburst was observed, while black dots indicate the possible presence of a narrow component of faint meteors. The inset shows ZHR curves for the outbursts of 1966, 1866 and 1901 (Jenniskens, 1995), which are cross sections perpendicular to the plane of the page.

MSS-087

10^5 km further outward from the comet orbit. From the duration of that outburst, it follows that the extent along the Earth's path was some 2×10^6 km. If that dust is spread out at least as widely perpendicular to the Earth's path, which is likely, then the dust component encountered in 1994 is the same as that responsible for the outburst in 1961.

The 1961 outburst and others during the previous return are described in McIntosh and Millman (1970). Radar and visual data are reproduced in Fig. 5. By taking into consideration that the Canadian observations cover only part of the full range of solar longitude, we can only be certain that enhanced meteor rates occurred at solar longitude 233–235 in 1961, at solar longitude 233.8–236 in 1964, at solar longitude 233–235 in 1965, at 234.2–234.7 in 1966 (the meteor storm), between 234.7 and 236 in 1968, and possibly between solar longitude 234 and 235.5 in 1967. Visual rates at solar longitude 234.1 may have been too high in 1963. The visual rates, however, are uncertain because no limiting magnitude correction was applied, and the data are a very heterogeneous sample.

Most of these high rates seem to refer to a broad outburst, extending over a period of two days. Assuming that the reported radar rates are proportional to meteor influx, the increasing slope of the 1965 profile suggests $B \sim 1.1$, which is similar to the slope found in 1994. The radar data still contain an instrumental azimuthal or time-of-day dependence, suggested by the curved shape of most daily variation of rates. This effect was taken out by deriving an approximate response function from the radar detections in the off-season years 1958–1960, assuming that the rates did not vary much during the day in those years. The result after correction is plotted on a logarithmic scale, as before, in Fig. 6 and can be

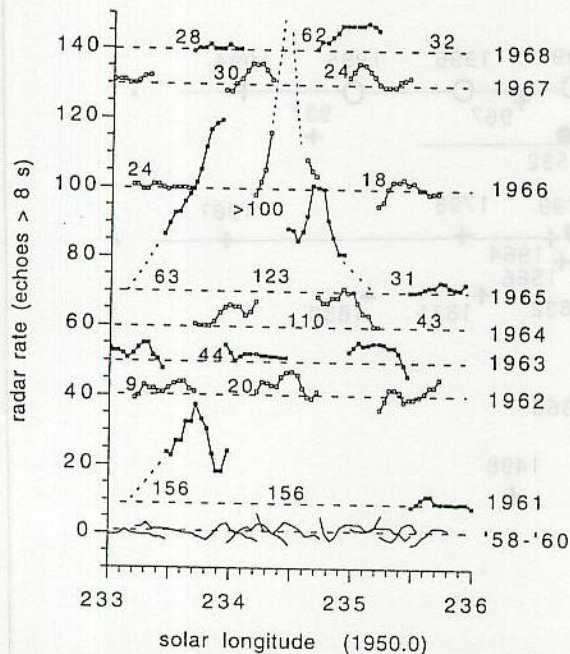


FIG. 5. Radar and visual Leonid rates during the 1961–1968 return. Data by McIntosh and Millman (1970). Leonid shower rates for echo durations longer than 8 s were determined by subtracting an average, non-shower, background count from the total count and correcting for radiant elevation using a simple sine function and are normalized to a radiant elevation angle of 30° . Numbers indicate the corresponding mean visual rate of six observers between 0 and 6 h LMT at Springhill Observatory. These values are $\sim 2\text{--}3\times$ the ZHR, given that the observed mean annual Leonid rate is 10–30.

compared to the raw data in Fig. 5. Dashed curves give the possible position of broad outbursts. These events are found to peak at 233.9 ± 0.2 (1961), 234.4 ± 0.1 (1964), 234.0 ± 0.1 (1965), 234.6 ± 0.2 (1967) and 235.2 ± 0.1 (1968). If I assume that the duration of these meteor outbursts was always the same as in 1961, 1965, and 1994, and the activity curve followed Eq. 1, then the peak rates based on the visual activity from 1961 onward are $ZHR_{\max} \sim 200, 0, 20, 120, 300, 0, 100,$ and 100 meteors per hour in excess of annual rates, respectively. There is information on χ from radar data for two of these outbursts, both suggesting an abundance of relatively bright meteors: $\chi = 2.3$ in 1961 and 1.7 in 1965 (McIntosh and Millman, 1970). Hence, these events were similar to the outburst in 1994, both in duration and mean brightness. Although the 1967 and 1968 data suggest a broad dust component, it is not certain that these consisted of similar bright meteors.

The 1966 meteor storm was exceptional in that it was more narrow ($B \sim 30$; Jenniskens, 1995) and consisted of relatively faint meteors with $\chi = 3.0$ (McIntosh and Millman, 1970). Another narrow outburst of faint meteors was observed in 1969 with a sharp maximum between 234.5 and 234.62, which is not shown here (Millman, 1970; Porubcan, 1974). There is also a narrow component of faint meteors in the profile of 1965 at solar longitude 234.7. McIntosh and Millman interpreted this feature as due to a gradually changing χ over the profile but did notice a marked irregularity in rates. In view of the previous results, the more likely

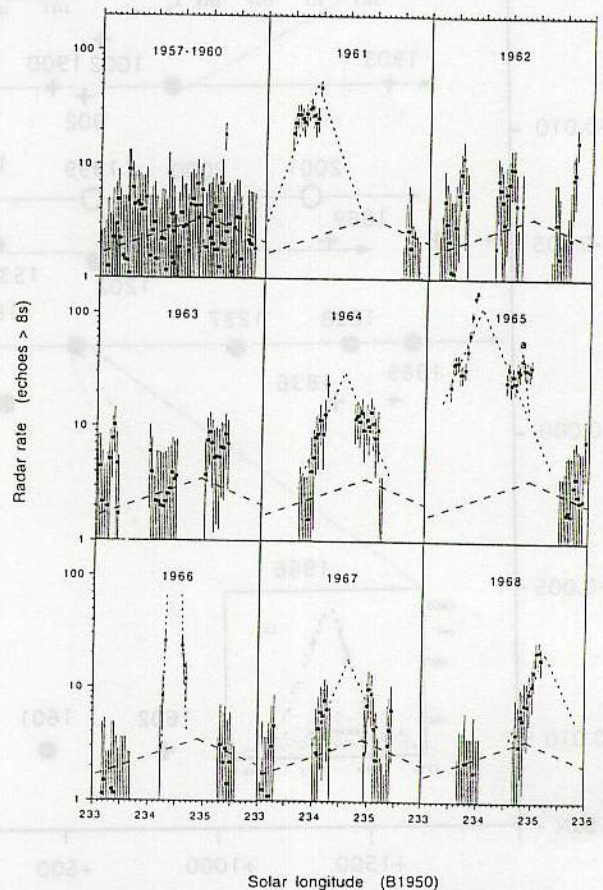


FIG. 6. Radar rates of Fig. 5 corrected for instrumental azimuth dependence and plotted on a logarithmic scale. Dashed lines guide the eye for the possible annual background and the occurrence of meteor outbursts.

MSS-087

interpretation is that of a composite of two unrelated dust components. The narrow component of faint meteors is at $\Delta\lambda_0 = +0.47^\circ$ after passage of the comet node, while the broad component of bright meteors peaks at $\Delta\lambda_0 = -0.32^\circ \pm 0.08^\circ$ before the node, causing a double peaked activity profile. Other such narrow outbursts may have occurred, but the Springhill radar did not cover the relevant interval of solar longitude in 1967 and 1968. The extent of this component, what seems to be a dust sheet, is mapped in Fig. 4.

These two dust components, one narrow and intense with many small meteoroids, the other broad and less intense with mainly bright meteors may represent different stages in meteor stream evolution or different formation processes.

A FORECAST FOR THE COMING YEARS

How will these different dust components behave in near-future returns when the parent comet P/Tempel-Tuttle passes perihelion? Let us assume that the previously observed patterns will be repeated. Such may well be the case, because planetary perturbations were mild in the past few returns (Kazimircak-Polonskaja *et al.*, 1968). The 1994 event is an assurance that the assumption is to some extent valid. The resulting forecast is given in Table 4, based on the following arguments.

Let us first consider the broad dust component of bright meteors. These dominated the events before, and perhaps also after, perihelion passage in 1965 November. There were significant variations of the time of maximum and the peak activity, which may be the result of planetary perturbations. The effect of such perturbations on the distribution of meteor orbits was recently demonstrated in a model of the Perseid stream by Wu and Williams (1993). The main planetary cause of gravitational perturbation is Jupiter, and its 12-year orbital period causes a systematic shift of the pattern of intersection points of individual orbits with the ecliptic on this time scale. However, the predicted motion of the time of maximum, which is a gradual progression to a later time, does not agree with observations. Instead, the observational record of past meteor outbursts often shows a progressive shift of the time of maximum towards the comet's node before perihelion passage and a progressive shift back after that (Jenniskens, 1995). The 1963–1968 outbursts are consistent with this, as may be the 1994 outburst. The 1961 outburst, however, is not consistent with this. Therefore, while I surmise that the peak of activity (at $\lambda_0 = 235.22$ in 1994) will

shift towards the position of the comet's node at $\lambda_0 = 234.58$ while approaching 1998 and will shift back in later years, it can also be that there is a considerable scatter from year to year. The level of activity in each encounter remains even more uncertain. In general, the dust density is expected to increase closer to the comet, thus enhancing the chance of encountering a richer stream. The 1994 return suggests that the peak activity will be of the same order of magnitude as that in the previous series of events.

The Leonid storms are caused by a different dust component, probably relatively recent ejecta, containing weaker meteors with $\chi = 3.0$. From the distribution of dark points in Fig. 4, it is suggested that this component will be met again in 1998 and 1999. I assume that highest rates will be in 1998 because the encounter conditions in 1998 are close to those in 1866. However, either year could give highest rates. The time of maximum is expected to fall shortly after the Earth's passage of the comet's orbital plane (at 234.578) and being progressively later in the years further away from the return of the comet in 1998 (Jenniskens, 1995). A more accurate time of maximum for the meteor storm may be obtained if this dust component announces its coming by a smaller event the year before the big storm, as in 1965. This could happen in either 1997 or 1998.

In Jenniskens (1995), I found that the narrow component of faint meteors has a background to its activity curve with $B \sim 6$. Little is known about the cause of this background, and its role can only be speculative. However, this background is present in varying relative strength, and it seems to become more important further away from the comet orbit. This is shown by the three activity curves shown as an inset in Fig. 4. This component did not play a significant role during the previous return, except perhaps in 1965. However, because the Earth will be further away from the comet orbit in 1998 than in 1966, rates may be high for a longer period of time than during the 1966 storm. Alternatively, the background may reflect recent planetary perturbations, in which case the background will remain weak instead.

It is clear that the forecast in Table 4 should be interpreted with caution when planning future observations. These predictions are not the result of modeling activity but rather assuming the Leonids will do what they did in the past. That is a reasonable assumption because of the absence of strong planetary perturbations since the previous return. The present forecast could be given more confidence with a theoretical underpinning provided by a dynamical model. Table 5 summarizes predictions that were made before based on such numerical simulations. There is considerable disagreement among the authors. The theoretical models are hampered by the unknown (time dependent) absolute dust production of P/Tempel-Tuttle, by unknown ejection mechanisms, and from limitations to the number of particles that can be modeled. However, because of the continuous increase of computing capacity, and supported by new observations, such theoretical models may prove valuable in making more reliable predictions in the near future.

TABLE 4. Prospects for near future Leonid outbursts.†

Year	λ_0^{\max} (1950.0)	ZHR _{peak}	χ	Duration (hours)	Date	Time (hours UT)	Location	Moon % age
1994	235.22 ± 0.04	85 ± 15	2.1	20	Nov. 18	10 ± 1	E. USA	1.0 14
1995	235.2 ± 0.1	~30	2.0	20	Nov. 18	16 ± 3	Pacific	0.2 26
1996	235.1 ± 0.1	~100	1.9	20	Nov. 17	20 ± 3	Japan	0.5 7
1997	234.9 ± 0.2	~200	1.8 (3.0)	20 (0.7)	Nov. 17	21 ± 6	Japan	0.9 18
1998	234.64 ± 0.05	~10 000	3.0 (1.9)	0.7 (20)	Nov. 17	21 ± 1	Japan	0.0 28
1999	234.75 ± 0.15	~5000	3.0 (2.0)	0.7 (20)	Nov. 18	06 ± 4	E. USA	0.7 9
2000	235.0 ± 0.3	~100	2.1 (3.0)	20 (0.7)	Nov. 17	18 ± 8		0.6 21
2001	235.2 ± 0.5	~100	2.1 (3.0)	20 (0.7)	Nov. 18	~05		0.1 3

† This forecast is based on the assumption that previously observed patterns will be repeated. This table lists the solar longitude of peak activity (λ_0^{\max}) in equinox B1950, which equals J2000 - 0.698°, the peak rate (annual + outburst combined), the duration, as well as the most favorable time and place to observe the event. The last column gives the fraction of the Moon that is illuminated (%) and the age of the Moon in days at the peak of the stream.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

During the off-season, the Leonids are a moderately active annual stream with reported

TABLE 5. Forecast based on theoretical model calculations.

Reference:* [1]	[2]	[3]	
Year	λ_o^{\max}	λ_o^{\max}	λ_o^{\max} ZHR _{max}
1997	234.869	—	234.11 1000
1998	234.897 rich	—	234.10 10 000
1999	234.925 rich	234.59 weak	234.10 100 000
2000	234.955 may be rich	235.57 moderate	234.09 1000
2001	—	235.77 very intense	—
2002	—	236.19 very intense	—

* Data by [1] Terentjeva (1991), [2] Kondratjeva and Reznikov (1985), and [3] Kresák (1993), while Brown and Jones (1993) predict a maximum each year at $\lambda_o = 234.50$.

All values of solar longitude are in equinox B1950.

peak activity varying by less than a factor of two in most years. The activity profile consists of a narrow main peak and a broader background, the shape of which has now been determined more accurately.

No significant increase of rates was reported until 1994 November when an outburst of bright meteors was observed by visual and radio meteor-scatter techniques. The encounter geometry was similar to 1961, when the first outburst associated with the previous return occurred. However, the time of maximum was $\Delta\lambda_o = 0.62^\circ$ after passage of the comet node, while in 1961 it was $\Delta\lambda_o = 0.5^\circ$ before. The event confirms the existence of a broad component in the P/Tempel-Tuttle dust distribution rich in large grains prior to perihelion passage. This dust component may have been responsible for a similar outbursts in 1965. There is some evidence that other such outbursts occurred in the years 1963 and 1964 and perhaps also post-perihelion in 1967 and 1968.

The Leonid storms are caused by a different, more narrow ($B \sim 30$), dust component rich in faint meteors ($\chi = 3.0$). This component was present in 1965, 1966, and 1969, with no data for 1967 and 1968. In 1965, both the broad and narrow component were detected. The activity curve of the narrow component contains a background of varying relative strength, with $B \sim 6$ and $\chi = 3.0$.

These features of Leonid activity curves may return in the forthcoming years, because recent planetary perturbations have been mild: A forecast in terms of the possible reappearance of each of these dust components is given in Table 4. All values in this Table include some speculation as to unknown properties of the dust distribution and unknown effects of planetary perturbations, which warrant further theoretical and observational studies. It is hoped that the 1994 event will mark the start of an international Leonid watch, an all-out effort to learn more about these impressive natural phenomena.

Acknowledgments—The writer wishes to thank H. Betlem of the Dutch Meteor Society and L. Ramon Bellot of the Spanish Meteor Society for their kind intermediating role in the gathering of the meteor-scatter and visual observations. E. P. Bus and I. Yrjölä made radio MS data available soon after the event, while B. Lunsford, J. Trigo, and F. Reyes Andres supplied visual observations. All helped with discussion of the data and made comments on earlier versions of this paper. T. Rice, R. Morales, M. Wilson, K. Salomaa, and K. Black supported a photographic four-station network in the San Francisco Bay Area in California in the night of 1994 November 17, which certainly would have been successful if a cold front had not prevented observations shortly after the network was employed. The paper benefited from comments by the referees D. Yeomans and P. Brown, and proofreading by C. S. Hasselbach. This work was made possible by D. F. Blake and D. Morrison and supported in part by a NASA/Ames Research Center Director's Discretionary Fund.

Editorial handling: G. Wetherill

Note added in proof: The Leonid meteor shower did return much as expected in November of 1995. Early reports suggest that a broad shower of bright meteors occurred centered at an early solar longitude $\lambda_o = 234.65 \pm 0.10$ (1950.0) with a peak rate of $ZHR_{\text{peak}} = 32 \pm 5$ meteors per hour.

REFERENCES

- BELKOVICH O., ISHMUKHAMETOVA M. AND SULEYMANOV N. (1995) On when Leonids woke up. *WGN* 23, 117–119.
- BROWN P. (1994) Significantly enhanced Leonid activity in 1994. *WGN* 22, 190–193.
- BROWN P. AND JONES J. (1993) Evolution of the Leonid meteor stream. In *Meteoroids and Their Parent Bodies* (eds. J. Stohl and I. P. Williams), pp. 57–60. Slovak Acad. Sci., Bratislava.
- BUS E. P., SCHOENMAKER T. AND ZANSTRA W. (1994) Leonids 1994 observed with the radio observing method. *Radiant* 16, 144–145.
- GARRAILOV A. AND CHAKAROV R. (1994) 1993 Leonids in Kurdjali, Southern Bulgaria. *WGN* 22, 150.
- GRIGORE V. (1995) High Leonid activity in Rumania. *WGN* 23, 19–20.
- HASEGAWA I. (1993) Historical records of meteor showers. In *Meteoroids and Their Parent Bodies* (eds. J. Stohl and I. P. Williams), pp. 209–223. Slovak Acad. Sci., Bratislava.
- HUGHES D. W. (1982) The history of meteors and meteor showers. *Vistas in Astronomy* 26, 325–345.
- IMOTO S. AND HASEGAWA I. (1958) Historical records of meteor showers in China, Korea, and Japan. *Smithson. Contr. to Astrophys.* 2, 131–144.
- JENNISKENS P. (1994a) Meteor stream activity. I. The annual streams. *Astr. Astrophys.* 287, 990–1013.
- JENNISKENS P. (1994b) High Leonid activity on November 17–18 and 18–19, 1994. *WGN* 22, 194–198.
- JENNISKENS P. (1995) Meteor stream activity. II. Meteor outbursts. *Astr. Astrophys.* 295, 206–235.
- KAZIMIRCAK-POLONSKAJA E. I., BELJAEV N. A., ASTAPOVIC I. S. AND TERENTEVA A. K. (1968) Investigation of perturbed motion of the Leonid meteor stream. In *Physics and Dynamics of Meteors* (eds. L. Kresak and P. Millman), pp. 449–475.
- KONDRATJEVA E. D. AND REZNIKOV E. A. (1985) Comet Tempel-Tuttle and the Leonid meteor swarm. *Solar System Res.* 19 (No. 2), 96–100.
- KONSUL K. AND SHAHIN A. (1994) The 1993 Leonids in Jordan. *WGN* 22, 76–77.
- KOSEKI M. (1993) Leonid observations in Japan. In *Meteoroids and Their Parent Bodies* (eds. J. Stohl and I. P. Williams), pp. 173–176. Slovak Acad. Sci., Bratislava.
- KRESÁK L. (1993) Meteor storms. In *Meteoroids and Their Parent Bodies* (eds. J. Stohl and I. P. Williams), pp. 147–156. Slovak Acad. Sci., Bratislava.
- KRESÁKOVÁ M. (1966) The magnitude distribution of meteors in meteor streams. *Contr. Ast. Obs. Skalnaté Pleso* 3, 75–109.
- LANGBROEK M. (1994) The 1993 Leonids: An increase in radio-MS activity on November 16/17? Evaluation of the data. *Radiant* 16, 126–129.
- LINDBLAD B. A. AND PORUBCAN V. (1994) The activity and orbit of the Perseid meteor stream. *Planet Sp. Sci.* 42, 117–122.
- LOVELL A. C. B. (1954) *Meteor Astronomy*. Oxford Univ. Press, New York. 463 pp.
- MCKINLEY D. W. R. (1961) *Meteor Science and Engineering*. McGraw Hill Company, Inc., New York. 309 pp.
- MCINTOSH B. A. AND MILLMAN P. M. (1970) The Leonids by radar—1957 to 1968. *Meteoritics* 5, 1–18.
- MILLMAN P. M. (1970) Meteor news. *J. Roy. Astron. Soc. Canada* 64, 55–59.
- MILON D. (1967) Observing the 1966 Leonids. *J. Brit. Astr. Ass.* 77, 89–93.
- PORUBCAN V. (1974) On the structure of the 1969 Leonid Meteor Shower. *Bull. Astron. Inst. of Czechosl.* 25, 353–361.
- ROGGEMANS P. (1987) *Handbook Visual Meteor Observations*. 143 pp.
- SIMEK M. (1995) Activity of the new filament in the Perseid meteor stream. Presented at IAU Colloquium 150 on Physics, Chemistry and Dynamics of Interplanetary Dust, Gainesville, Florida, 1995 August 14–18.
- STEYAERT C. (1994) *Radio Meteor Observation Bulletin* No. 16.
- TERENTJEVA A. (1991) Ortho- and clino-Leonids, Cyclid and Eccentrid streams. *WGN* 19, 40–47.
- TIAN-SHAN Z. (1977) Ancient Chinese records of meteor showers. *Chinese Astron.* 1, 197–220.
- YEOMANS D. K. (1981) Comet Tempel-Tuttle and the Leonid meteors. *Icarus* 47, 492–499.
- WU Z. AND WILLIAMS I. P. (1993) The Perseid meteor shower at the current time. *MNRAS* 264, 980–990.

観測方法・算出方法による光度比の値の違い

— 8月協定観測データの解析より —

内山茂男 (NMS)

1. Introduction 光度比とは

光度比 r → 流星が1等級暗くなると流星数が r 倍に増えている。

$$r = \frac{N(m+1)}{N(m)} \quad \text{または} \quad r = \frac{\sum_{k=-\infty}^{m+1} N(k)}{\sum_{k=-\infty}^m N(k)}$$

→ 光度比 r が大きい方が暗い流星の割合が多い。(r が小さい方が明るい流星の割合が多い。)

2. 光度比算出方法

(1) 回帰直線法 (Regression method)

眼視観測から得られた光度分布 (図1)

↓
認識率 (可視面積比) 補正 (図2)

真の等級別流星数 (図3)

※縦軸を対数にすると、直線の傾きが光度比 r となる。

↓
各等級までの流星数の和をとる。 $\sum_{k=-\infty}^m N(m)$

各等級までの真の流星数 (図4)

※縦軸は対数で、傾きが光度比 r となる。

図3より統計的揺らぎの影響が小さくなりグラフがなめらかになるので、光度比の精度がアップする。

*ビデオ観測の場合には、認識率補正は不要であろう。
ただし、1回の見直しでは暗い流星の見落としがあるので、複数回の見直しが必要。

図1. 光度分布 (10/11日Per 内山)

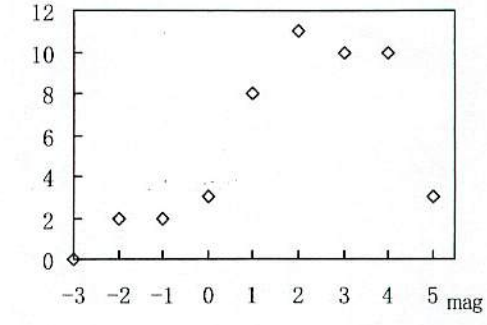


図2. 流星認識率 [1]

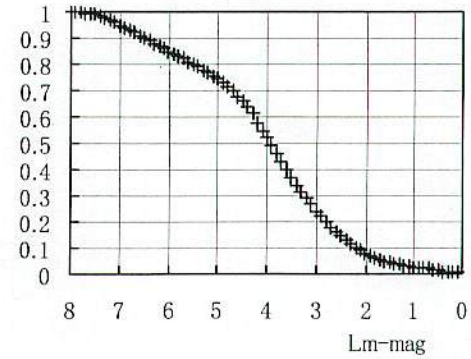


図3. 真の等級別流星数 (10/11日Per 内山)

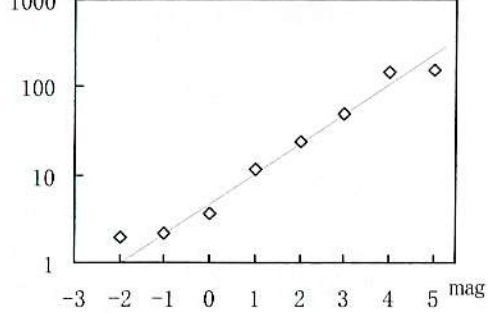
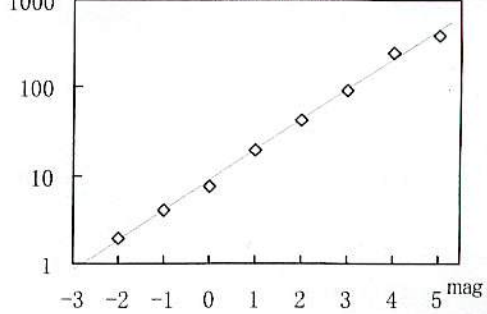


図4. 各等級までの真の流星数 (10/11日Per 内山)



(2) 眼視観測平均光度法

最微星と観測流星平均等級の差 $\Delta m (=Lm - m_{ave})$ から光度比 r を求める。 Δm と r の関係は図5の通り。

※参考： Δm と r の関係の求め方

光度比 r を仮定する



真の等級別流星数分布(図6)



認識率補正(図2)

観測されると期待される等級別流星数(図7)



平均等級差 Δm

*以上を繰り返し、光度比 r と平均等級差 Δm の関係(図5)を求めた。

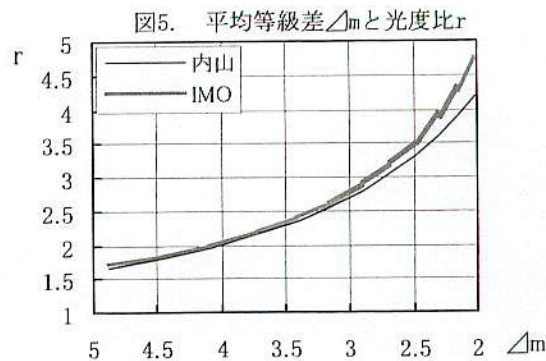


図6. 真の等級別流星数

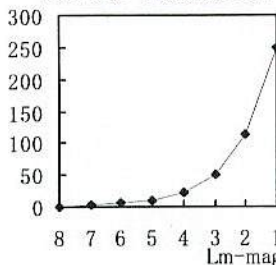
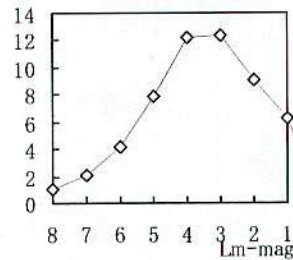


図7. 観測流星数期待値



(3) ZHR 逆算法

$$ZHR = \frac{N \times r^{(6.5-Lm)}}{T_{eff} \times (1-cl/10) \times \sin(h_R)}$$

ここで、 $ZHRb = \frac{N}{T_{eff} \times (1-cl/10) \times \sin(h_R)}$ とすると、

$$ZHRb = ZHR \times r^{(Lm-6.5)} \text{ となる。}$$

⇒ Lm が増加すると $ZHRb$ は指数関数的に増加。その増加率から光度比 r が求められる。

(Lm を横軸、 $ZHRb$ の対数を縦軸にとると、傾きが光度比 r となる。)

- ※1. この方法で光度比を求めるには、いろいろな最微等級の観測データが多数必要。
- ※2. 散在流星の場合には、 $ZHRb$ のかわりに雲量補正した HR (HRb) を用いる。
- ※3. 光度比を ZHR 算出に使うのであれば、この方法で求めた値が最適である。

3. 8月協定観測データから求めた算出方法毎の光度比

(1) 眼視観測回帰直線法

観測者毎の光度比は、2(1)の方法で算出する。しかし、最微星が異なる多数の観測者の集計には、真の等級別流星数のかわりに、群流星では「真の等級別 ZHR ($ZHR_{t,m}$)」を、散在流星では「真の等級別 CHR($CHR_{t,m}$)」を算出し、使用した。光度データは 11 名から報告があった。

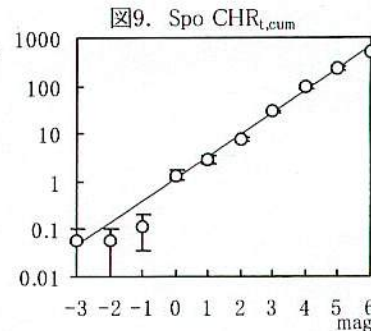
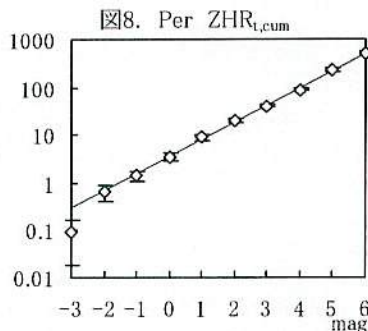


表 1. 算出結果 (眼視観測回帰直線法)

	流星数 N	光度比 r	± (a)	± (b)	適用等級
Per	190	2.30	0.01	0.15	-2~5
Spo	215	2.91	0.04	0.40	0~5

±(a) : Excel 関数 logest で表示された誤差。
値がきれいに並んでいると小さくなる。
±(b) : 各観測者の光度比のばらつきから求めた誤差

(2) 眼視観測平均光度法

これも、光度データが報告された 11 名のデータを使用し算出した。

表 2. 算出結果 (眼視観測平均光度法)

	流星数 N	Δm	内山		IMO	
			光度比 r	±	光度比 r	±
Per	190	3.43	2.33	2.14~2.55	2.38	2.19~2.63
Spo	215	2.70	3.02	2.77~3.31	3.17	2.88~3.53

(3) ビデオ観測回帰直線法

撮影者 : 内山 (眼視観測と同時に)
 撮影機材 : ワテック WAT-100N,
 8mmF0.8
 撮影時間 : 3時間 6分 21秒
 最微星 : 恒星で 4.7 等程度。
 流星では 4 等はやつと。
 検出方法 : 眼視で 3 回チェック。

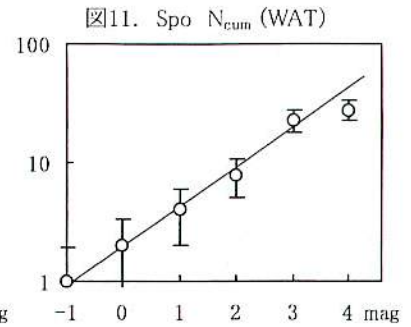
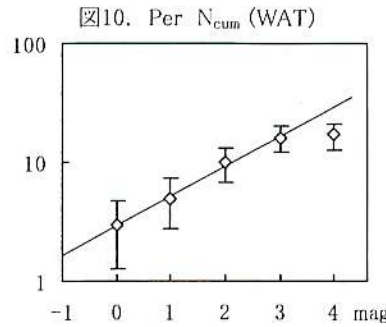


表 3. 算出結果 (ビデオ観測回帰直線法)

	流星数 N	光度比 r	± (a)	± (c)	適用等級
Per	17	1.77	0.03	0.40	0~3
Spo	28	2.15	0.04	0.31	0~3

±(a) : Excel 関数 logest で表示された誤差。

±(c) : 各等級流星数の誤差を考慮して求めた誤差

(4) ZHR 逆算法

協定観測報告者は 34 名、
 合計観測時間は 50 時間 35 分。
 このうち、雲量 3 以下の 27 名、
 37 時間分を解析に使用した。
 最微星を 0.5 等ずつのランク
 に分け、その中の観測は平均し
 た。

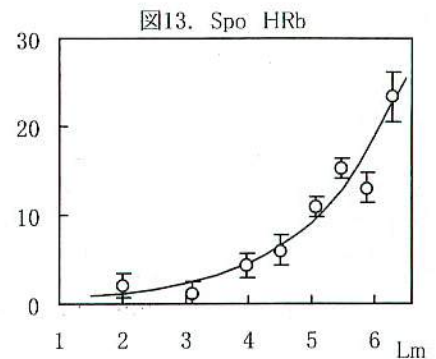
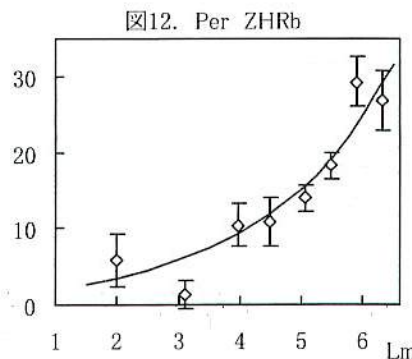


表 4. 最微星ランク別観測数

最微星	1.8-2.2	2.3-2.7	2.8-3.2	3.3-3.7	3.8-4.2	4.3-4.7	4.8-5.2	5.3-5.7	5.8-6.2	6.3-6.8
最微平均	2.00	-	3.10	-	3.97	4.50	5.07	5.48	5.88	6.3
観測数	1	0	1	0	3	2	14	13	5	3

表 5. 算出結果 (ZHR 逆算法)

	観測数	光度比 r	± (a)	± (d)	適用最微等級
Per	42	1.63	0.08	0.19	4~6.3
Spo	42	1.98	0.09	0.26	4~6.3

±(a) : Excel 関数 logest で表示された誤差。

±(d) : 各ランクの ZHRb や HRb の誤差を考慮して
 求めた誤差

4. 光度比の比較についてのまとめ

- (1) 眼視観測の回帰直線法と平均光度法で求めた光度比の値は十分近い。
- (2) ビデオ観測から求めた光度比は、眼視観測回帰直線法等で求めた値より明らかに小さい。
- (3) ZHR 逆算法で求めた光度比の値は最も小さい。

これは、眼視観測の回帰直線法等で求めた値より明らかに小さいが、ビデオ観測から求めた値に近い。

→ 認識率(可視面積比)補正[1]の値は、暗い流星を過修正している可能性あり。

まだデータが少ない、特にビデオ観測データが少ないので、今後も調査継続が必要。

5. 観測者による相違

(1) 流星捕捉率

図 12・13 に示した図は最微星 0.5 等ずつで集計したものだが、全観測を単純にプロットすると図 14・15 のようになる。各観測値にはかなりのばらつきがあることがわかる。

図14. Per ZHRb

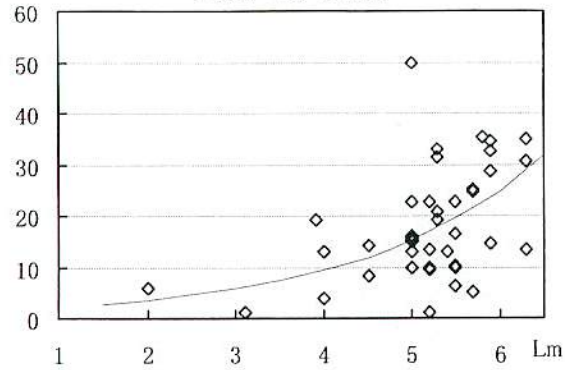
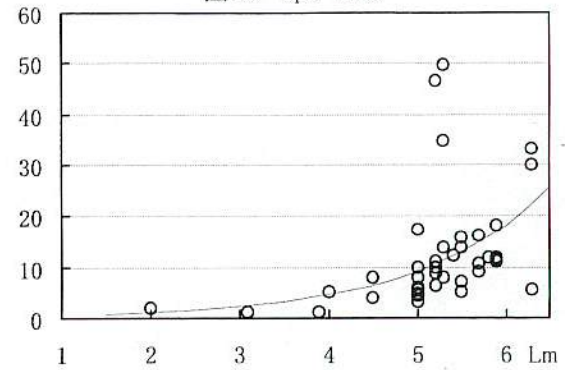


図15. Spo HRb



ZHR 逆算法より、各最微星における標準 ZHRb (Per)や標準 HRb (Spo)を決めることができたが、この値と各観測とを比較することにより、標準値に比較して何倍の流星数を観測しているか(捕捉率)を求めた。

図16. 捕捉率(観測毎)

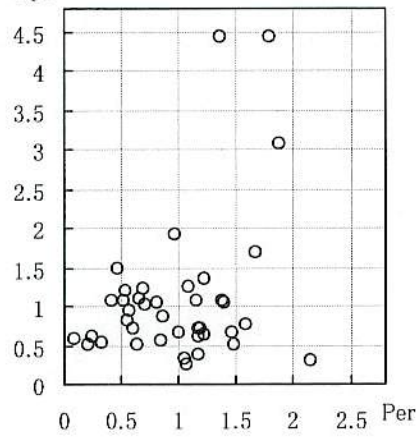
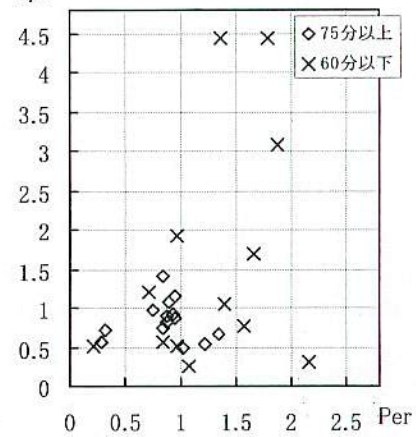


図17. 捕捉率(観測者毎)



※1. ペルセ群の捕捉率と散在流星の捕捉率の間に、相関関係が見られない。

→ IMO では、散在流星数から個人係数を求め、群流星数を補正することがある(例: 2002年ペルセ群の集計)。しかし、この方法では正しい補正ができない。

※2. 極端に1.0からずれている観測はすべて60分以内(観測数1)のものである。したがって、これが本当にその観測者の傾向を表しているのか不明。

※3. 今回の報告者においては、75分以上の観測(観測数2)から求めた捕捉率は1.0に近く、特に個人係数による補正の必要性は低い。(ただし鋭眼として有名な数名の観測者のデータは含まれていない)

→ 眼視観測から信頼できる数値を導き出すためには、多人数による観測結果を集計するのが一番か?

(2) 光度比

各観測者毎の光度比も求めて比較した。

※1. ばらつきは大きい。特に、散在流星の値のばらつきは大きい。(流星数は群流星と散在流星で同じくらいである。)

※2. 群流星と散在流星の値の間に相関関係は低い。特に回帰直線法では相関関係が見られないといえる。

図18. 観測者別光度比分布(回帰直線法)

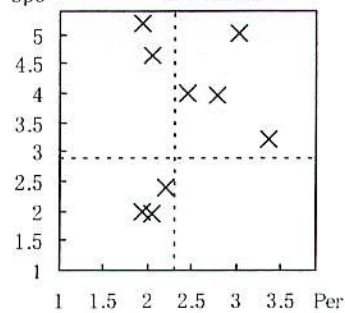
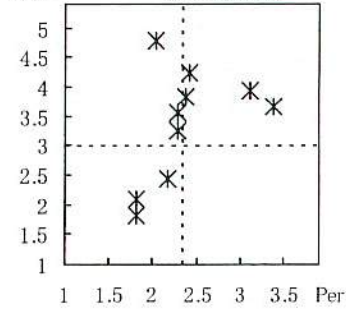


図19. 観測者別光度比分布(平均光度法)



6. 謝辞

観測データを提供していただいた各観測者のおかげでこの研究をまとめることができた。あらためて感謝の意を表したい。

ライチネン予測に基づく 2001 年のしし座流星群の出現数 ～ いつでも夢を ～

日本流星研究会 高梨 雅彰 (takanashi@nms.gr.jp)

オランダ流星研究会 (Dutch Meteor Society : DMS) の Web サイト (*1) に、同会の今年のしし座流星群の観測計画について述べたページ (*2) が追加されました。

この中では今年のしし群の出現について McNaught-Asher の予測 (*3)、McNaught の予測 (*4)、Lyytinen-Van Flandern の予測 (*5) の 3 つの予測を紹介しています。

本稿はこの中の Lyytinen-Van Flandern の予測 (以降、ライチネン予測と記述) を元に、日本で現れるしし座流星群の出現状況をシミュレートしたものです。

1. ライチネン予測

ライチネン予測はいわゆるアッシャー予測と同類の予測法であると思われます。それによるピーク予測を表 1 に示します。

表 1 ライチネン予測によるピーク時刻と ZHR

ピーク時刻 (JST)	予測 ZHR	トレイル生成年	日本での観測条件
18 日 18 時 58 分	2,000	1766 (7-rev)	輻射点東出前・地平線下
18 日 21 時 00 分	110	1799 (6-rev)	輻射点東出前・地平線下
18 日 23 時 10 分	60	1833 (5-rev)	輻射点東出直後
19 日 02 時 19 分	600	1666 (10-rev)	条件良好
19 日 02 時 22 分	260	1633 (11-rev)	条件良好
19 日 02 時 33 分	1,750	1699 (9-rev)	条件良好
19 日 03 時 22 分	6,100	1866 (4-rev)	条件最高

図 1 はその予測による 2001 年 11 月 18/19 日のしし座流星群の ZHR 予測グラフです。

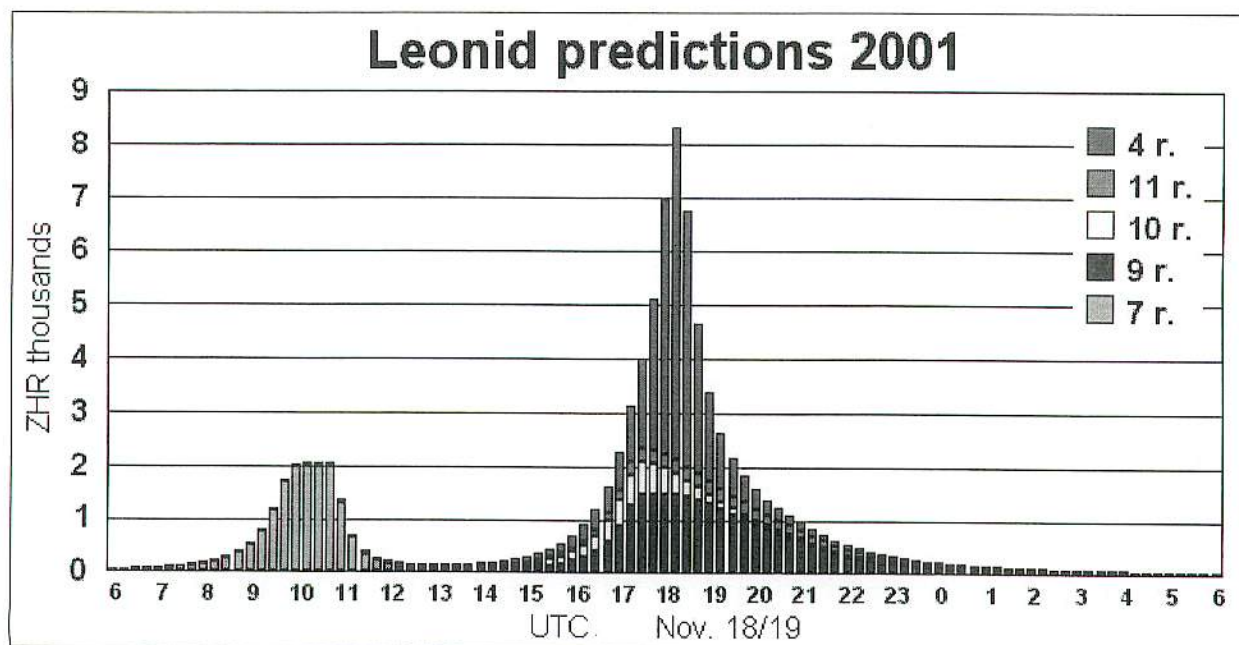


図 1 Lyytinen-Van Flandern の予測による ZHR の推移 (*6 より)

このグラフの横軸は UT、縦軸は 1000 を単位とした ZHR となっています。柱は 15 分刻みでプロットされています。したがってそれぞれの 15 分間には、グラフから読み取れる ZHR 値の 1/4 の流星数の出現が期待できるということです。(もちろん理想的条件下でのことです。)

2. 日本における出現期待数

ZHR 値が推定されているということは、これに天頂補正と最微補正を逆算することにより HR を推定することができるということです。

そこで、東京における HR、いや、MR (Minutely Rate) を以下の条件で推定してみました。

- 輻射点位置は $\alpha=153.8^\circ$ $\delta=21.7^\circ$
- 観測地は東京 (東経 北緯)
 - 輻射点の出没 : 東出 23 時 00 分、西没 13 時 05 分 (2001 年 11 月 18/19 日)
 - 薄明開始 : 04 時 52 分
 - 日の出 : 06 時 19 分
- しし座流星群の光度比は 2.0 (昨年の IMO の速報の採用値)
- 最微は 6.5 等、5.5 等、4.5 等の 3 パターン
- 天頂補正 $z = 1 / \sin(\text{輻射点高度})$ 、最微補正 $c = r^{(6.5 - \text{最微})}$ [r は光度比 (2.0)]

表 1 ZHR 予測値

ZHR 予測値	00	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
23 時台	230	230	240	260	270	280	290	300	310	320	330	360	
00 時台	380	400	430	470	500	530	570	600	640	690	730	800	
01 時台	870	930	1000	1100	1200	1400	1500	1700	1900	2100	2300	2600	
02 時台	2800	3100	3400	3700	4000	4400	4700	5100	5700	6300	7000	7400	
03 時台	7900	8300	7800	7300	6800	6100	5400	4700	4200	3800	3400	3200	
04 時台	2900	2700	2500	2300	2200	2100	2000	1900	1800	1700	1600	1500	
05 時台	1500	1400	1300	1300	1200	1200	1100	1100	1100	1000	1000	960	
06 時台	910	870	820	780	730	700	670	630	610	590	570	550	
07 時台	520	500	480	460	430	410	390	370	360	340	330	320	
08 時台	310	300	290	280	270	260	240	230	230	230	230	220	
09 時台	210	200	200	200	200	190	180	170	170	170	170	170	
10 時台	170	170	160	140	130	130	130	130	130	130	130	130	
11 時台	130	130	120	110	100	100	100	100	100	100	100	100	
12 時台	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

ZHR であることに注意。5 分間の流星数は ZHR 値の 1/12 となる。

表 2 最微 6.5 等の場合の推定 MR

MR 予測値	00	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
23 時台	+	+	+	+	+	+	1	1	1	1	1	1	1
00 時台	1	2	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	
01 時台	6	7	8	8	9	11	13	14	17	19	21	24	
02 時台	28	31	35	39	43	48	53	58	66	75	84	90	
03 時台	97	104	99	94	89	81	72	64	59	53	48	45	
04 時台	42	39	37	35	32	31	30	28	27	26	22	16	
05 時台	11	8	6	4	3	2	2	1	1	+	+	+	

表 3 最微 5.5 等の場合の推定 MR

ZHR 予測値	00	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
23 時台	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1
00 時台	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	
01 時台	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	11	12	
02 時台	14	16	18	19	21	24	26	29	33	37	42	45	
03 時台	49	52	50	47	44	40	36	32	29	27	24	23	
04 時台	21	19	18	17	16	16	15	14	14	13	11	8	
05 時台	6	4	3	2	2	2	1	1	+	+	+	+	

表 4 最微 4.5 等の場合の推定 MR

ZHR 予測値	00	05	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
23 時台	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
00 時台	+	+	+	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
01 時台	1	2	2	2	2	3	3	4	4	5	5	6	
02 時台	7	8	9	10	11	12	13	14	16	19	21	23	
03 時台	24	26	25	24	22	20	18	16	15	13	12	11	
04 時台	11	10	9	9	8	8	7	7	7	7	6	4	
05 時台	3	2	2	1	1	1	+	+	+	+	+	+	+

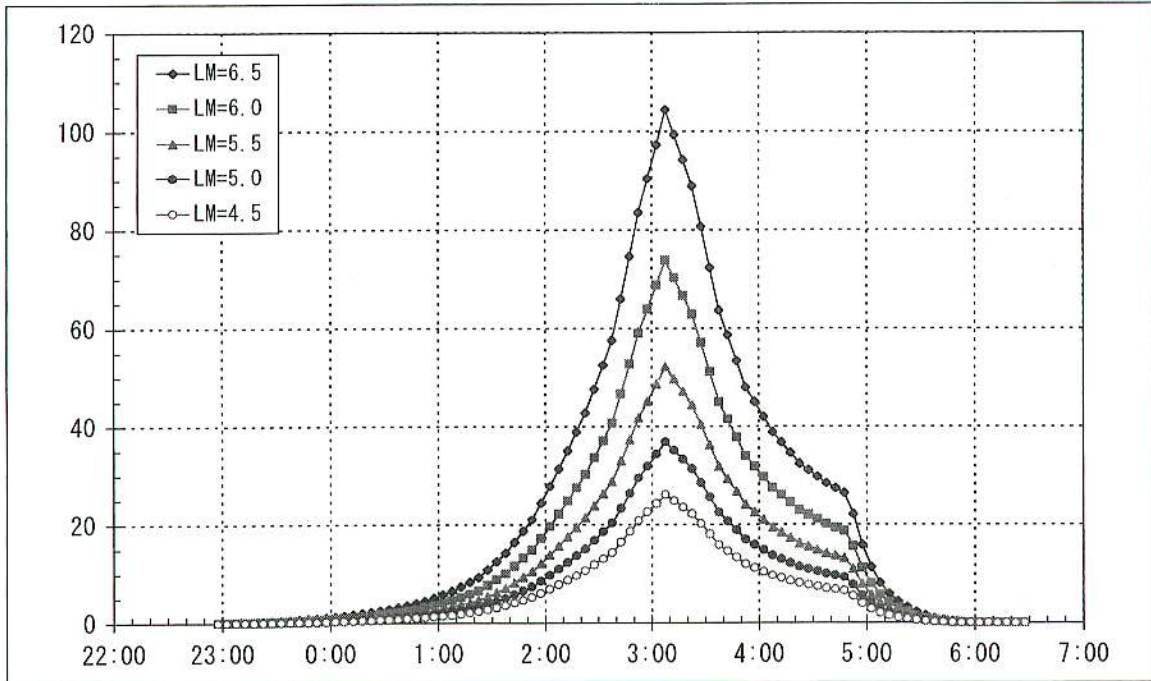


図 2 1分あたりの流星数 (MR) 予測値 実数軸

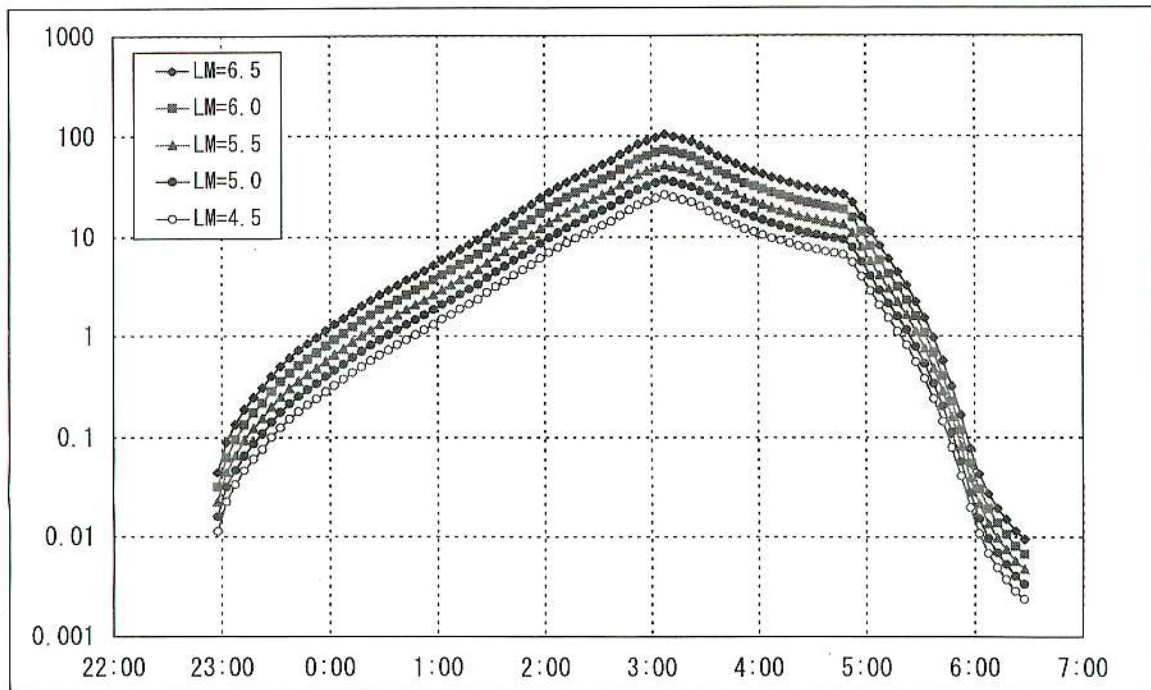


図 3 1分あたりの流星数 (MR) 予測値 対数軸

3. 考察

ライチネン予測は、他の 2 予測より ZHR 推定値が小さくなっています。(他の 2 予測はともに 19 日 03 時 19 分に最大 ZHR15,000。) したがって実際にはこの数字より大きな出現が起こることも十分に考えられます。もちろん 1 桁くらいの誤差は考慮しておく必要はあるでしょう。

1998 年・1999 年の日本におけるしし群の出現は、多い観測者でも HR240 (=MR4) 程度でした。もし 2001 年の出現がこのライチネン予測の通りに起こったとすると、最微 4.5 の劣悪条件下でも 01 時 35 分から 05 時 00 分までの長時間それ以上の出現が見られることとなります。最微 6.5 なら 02 時 40 分から 03 時 40 分までの 1 時間にわたって秒あたり 1 個以上の出現が継続することとなります。

今後の本格化するしし座流星嵐の観測準備をするにあたり、この数字が参考になるかもしれません。

4. 関連 URL

- *1 <http://www.dmsweb.org/>
- *2 http://home.wanadoo.nl/dms/leonids/2001/leo_planning.html
- *3 <http://www.arm.ac.uk/leonid/encounters.html>
- *4 http://www.atnf.csiro.au/asa_www/info_sheets/leonids.html
- *5 http://www.metaresearch.org/solar%20system/leonid/leonid2000_predictions.asp
#Predictions for November 2001
- *6 <http://www.saunalahti.fi/fmbb/astro/meteorit.htm>
日本流星研究会の Web サイト <http://www.nms.gr.jp/>

2002年しし座流星群出現予報と見解 ver2.0

2002 Leonid Predictions and Viewing Conditions ver2.0

小川 宏 (日本流星研究会 / 筑波大自然)

E-mail : ogawa@nms.gr.jp

WGNの10月号が発行され、R.McNaught-D.Asher氏の予報が改訂され、さらにJ.Vaubailon氏の予報も掲載されている。今回は、最新情報をお伝えすると共に、UnixのGMTで描いた、世界規模でのしし座流星群の振る舞いを発表したいと思う。しし座流星群まであと一ヶ月！

1. 最新予報一覧 (2002.10.16 現在)

時刻は UT	Esko Lyytinen, et al.	Peter Jenniskens	R. McNaught / D. Asher	Jeremie Vaubailon	観測適地
7 公転前 (1767)	19日 04:03 ZHR3,500 FWHM=1.76hr	19日 03:48 ZHR5,900 FWHM=0.64hr	19日 03:55 ZHR1,000 FWHM=2.17hr	19日 04:04UT ZHR3,400 FWHM=2hr	西ヨーロッパ 西アフリカ
6 公転前 (1799)	—	19日 04:50 ZHR 51 FWHM=4.1hr	—	—	西ヨーロッパ 西アフリカ
5 公転前 (1833)	19日 06:36 ZHR160 —	19日 05:59 ZHR 28 FWHM=4.8hr	—	—	アメリカ東部
4 公転前 (1866)	19日 10:40 ZHR2,600 FWHM=2.03hr	19日 10:23 ZHR5,400 FWHM=0.60hr	19日 10:30 ZHR6,000 FWHM=1.18hr	19日 10:47UT ZHR3,000 FWHM=3hr	アメリカ中・西部

極大予報時刻はすべて世界時(UT)で示した。日本時への換算は9時間を足していただきたい。ZHRは最微6.5等、輻射点高度90度に換算したひとりあたりの流星数を意味する。また、FWHM(Full Width at Half Maximum)は最大ZHRが半分になる時間「半値幅」を示す。これは、Ascending BranchとDescending Branchの和で求められている。そのため、極大前と極大後で増減率が異なる場合はこのAscending BranchとDescending Branchの値が変わる。単位はhrで、時間(hour)である。

2. 仮定要素

今回のシミュレーションにおいて、いくつかの仮定を行う。それは以下の通りである。今後、特に断りがない場合は、これらの仮定を考慮した計算がなされているものと考えて頂きたい。

- (1) 光度比は活動期間中一定である
- (2) t公転前放出ダストトレイルの光度比 r_i は、 $r_4=2.6$, $r_5=2.5$, $r_6=2.5$, $r_7=2.2$ とした。(昨年の結果などから)
- (3) しし座流星群自体のBackgroundはZHR30、光度比2.0とし、活動期間中一定と仮定する。
(ちなみに今年の通常極大は18日02:28JST(17日17:28UT)に相当する)
- (4) 活動プロファイルはLorenz曲線で示した。(本来は極大時のみの適用だが、今回は全体で適用した)
- (5) 最微等級は空全体の平均値(薄明と月明かりはステラナビゲーターで再現し、ある程度は考慮した)

光度比については、様々な値で試しているが、日本においてはBackgroundのZHRが変化しない限り、大きな変化は見られない。アフリカやアメリカの各地では各トレイルの光度比によって流星数は変化する。

3. 算出式

3.1 ZHR プロファイル

ZHR は、ローレンツ曲線を用いて、ダストトレイル毎に計算している。

$$ZHR = \frac{ZHR_{\max} \cdot Wh^2}{(T - T_{\max})^2 + Wh^2}$$

ZHR_{\max} は極大 ZHR, T_{\max} は極大時刻(hr), T は時刻(hr), Wh は半値半幅(hr)である。極大前の Wh は Ascending branch の値を、極大後は Descending branch の値を使っている。ただし、予報の半値半幅はこれらを足した FWHM (Full Width at Half Maximum) の値が発表されているため、今回は、極大後と極大前の半値半幅は同じものと考え、単純に FWHM の半分の値を Wh とした。そして、この式を用いて各ダストトレイルの ZHR を算出し、それらを足しあわせて、活動全体プロファイルの推定を行った。

3.2 ある時間あたりの実際に見える流星数

上記の ZHR から、実際に見える流星数を算出した。

$$N = Teff \cdot \sin(h) \cdot \left(\sum_t ZHR_t \cdot \frac{1}{r_t^{(6.5-Lm)}} \right)$$

$$\sin(h) = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos(\Theta_0 + \lambda - \alpha)$$

$$Lm_1 = \begin{cases} 0.000002 \times h_s^4 + 0.012 \times h_s^3 + 0.032 \times h_s^2 - 0.1424 \times h_s & (0 > h_s > -18) \\ 6.5 & (h_s \leq -18) \end{cases}$$

$$Lm_2 = \begin{cases} -0.055 \times h_M + 5.5804 & (18 \geq h_M \geq 0) \\ 4.6 & (h_M > 18) \end{cases}$$

$$Lm = \begin{cases} Lm1 & (Lm2 \geq Lm1) \\ Lm2 & (Lm1 > Lm2) \end{cases}$$

N : $Teff$ あたり実際に見えるであろう流星数, $Teff$: 観測時間 (hr), h : 輻射点高度, Lm : 最微等級
 r_t : t 公転トレイルの光度比, ZHR_t : t 公転トレイルの ZHR, 輻射点の(赤経, 赤緯): (α, δ) ,
 観測地の(緯度, 経度): (ϕ, λ) , Lm_1 : 太陽高度による最微等級変化(月明かりなし),
 Lm_2 : 月の高度による最微等級変化, h_s : 太陽高度, h_M : 月高度, Θ_0 : グリニッジ 0 時における恒星時

注: Lm_1 と Lm_2 の式は何か所かのシミュレーションからもとめた近似である。(意外とよくあう)

- ・ Lm_2 については、月齢 13 を想定している。(本当はアメリカでは月齢 14)
- ・ 太陽高度, 月高度は、輻射点高度を求める要領で 10 分毎に赤経・赤緯を算出し、そこから求めている。
- ・ グリニッジ恒星時は理科年表より引用。

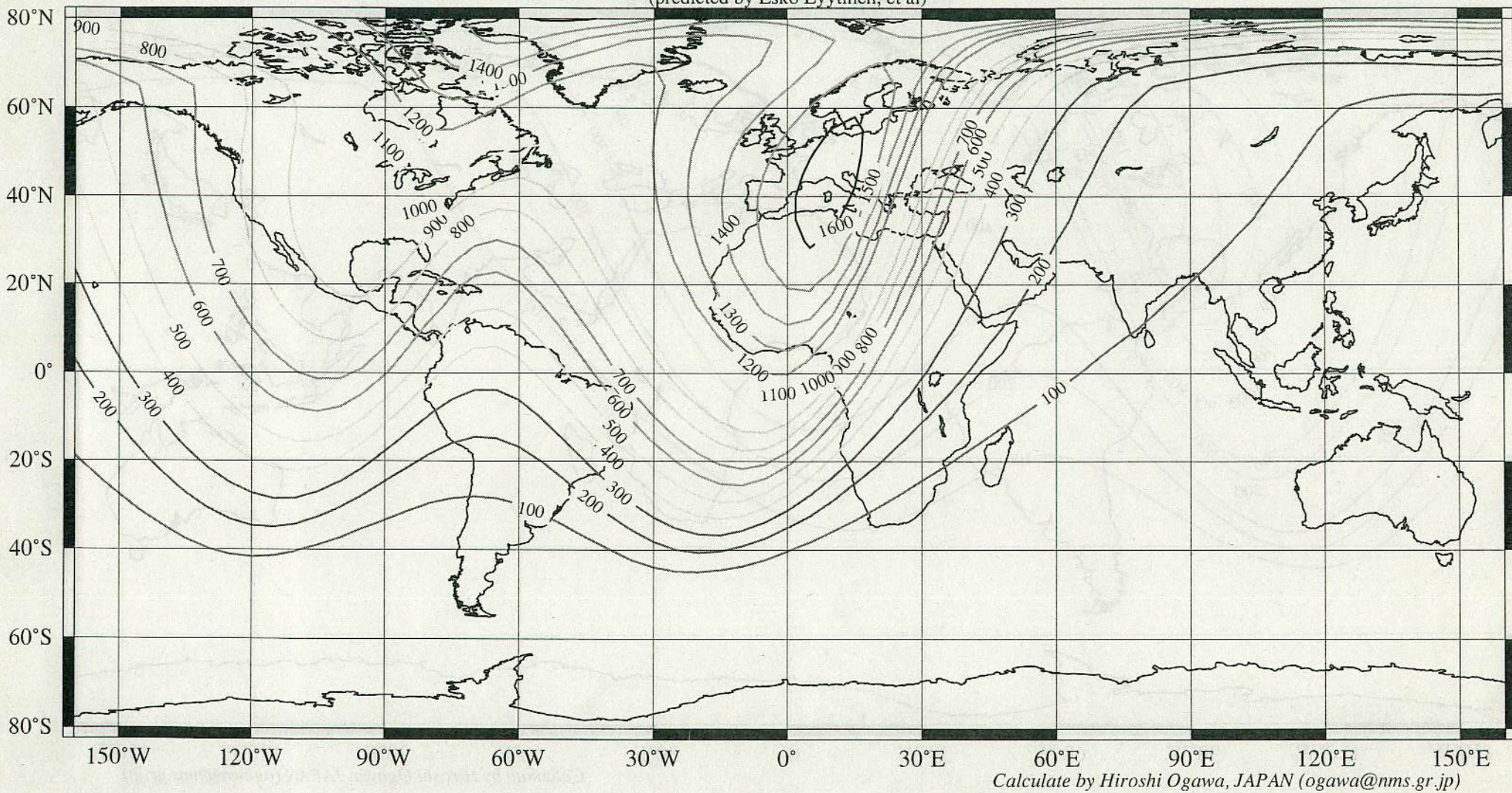
4. 世界各地のしし座流星群のふるまい

上記の算出式より、経度・緯度を 0 度から 5 度毎に区切って、世界 2701 地点を計算。その計算結果から、Unix 上で動く GMT アプリケーションによって、等値線を描いた。その結果を次ページより示す。なお、10 分あたりの最大出現数、18/19 日 LT における総流星数を予報毎に計算している。Web ではカラーなので是非そちらもご覧いただきたい。

しし座流星群の予報と見解: http://homepage2.nifty.com/~baron/leo02forcast_j.htm

2002 Leonid Prediction
The Total Number of Meteors in the Nov.18/19LT Night (untill sunrise)

(predicted by Esko Lyytinen, et al)



Calculate by Hiroshi Ogawa, JAPAN (ogawa@nms.gr.jp)

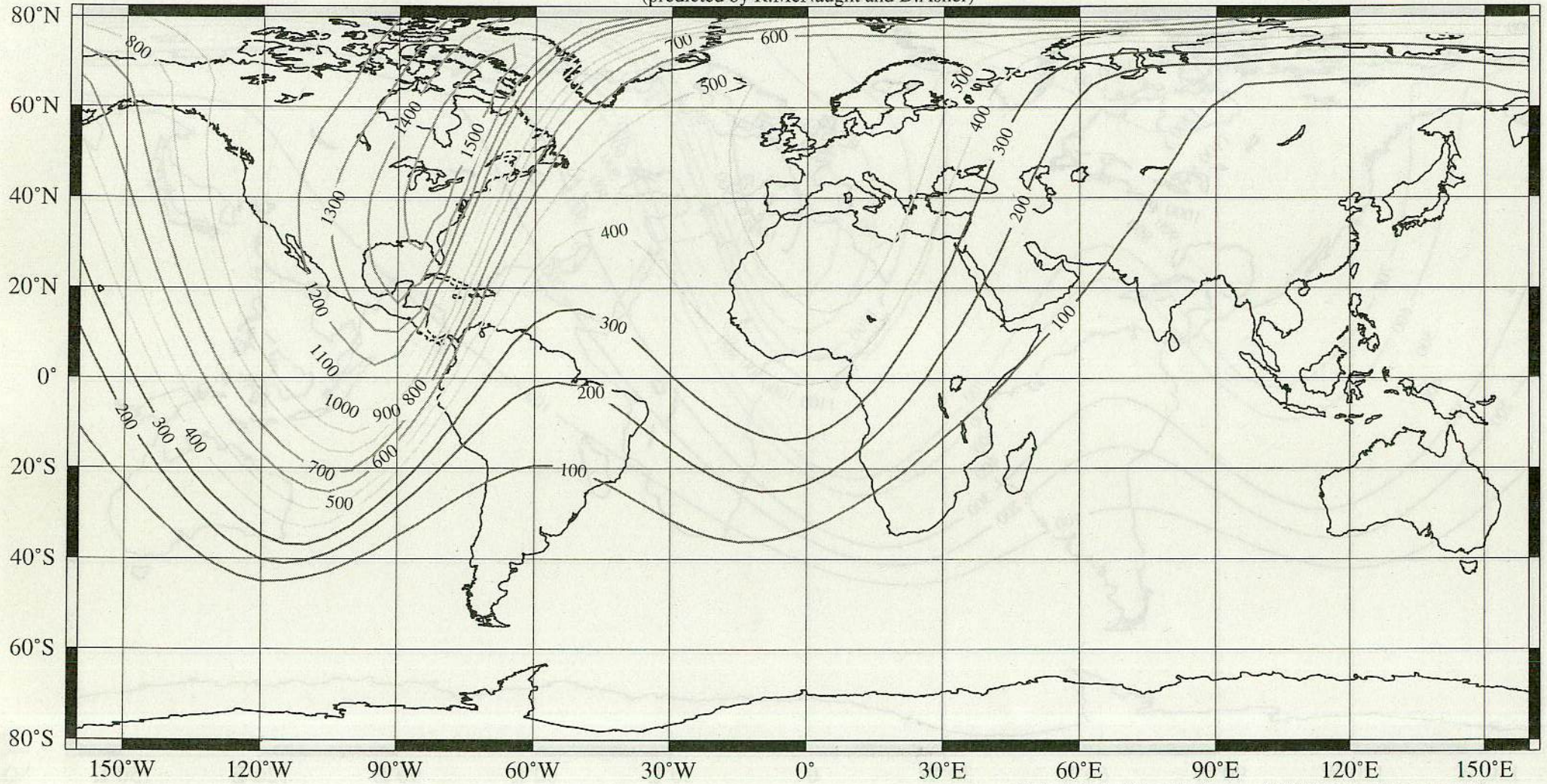
MSS-102

M55-102

2002 Leonid Prediction

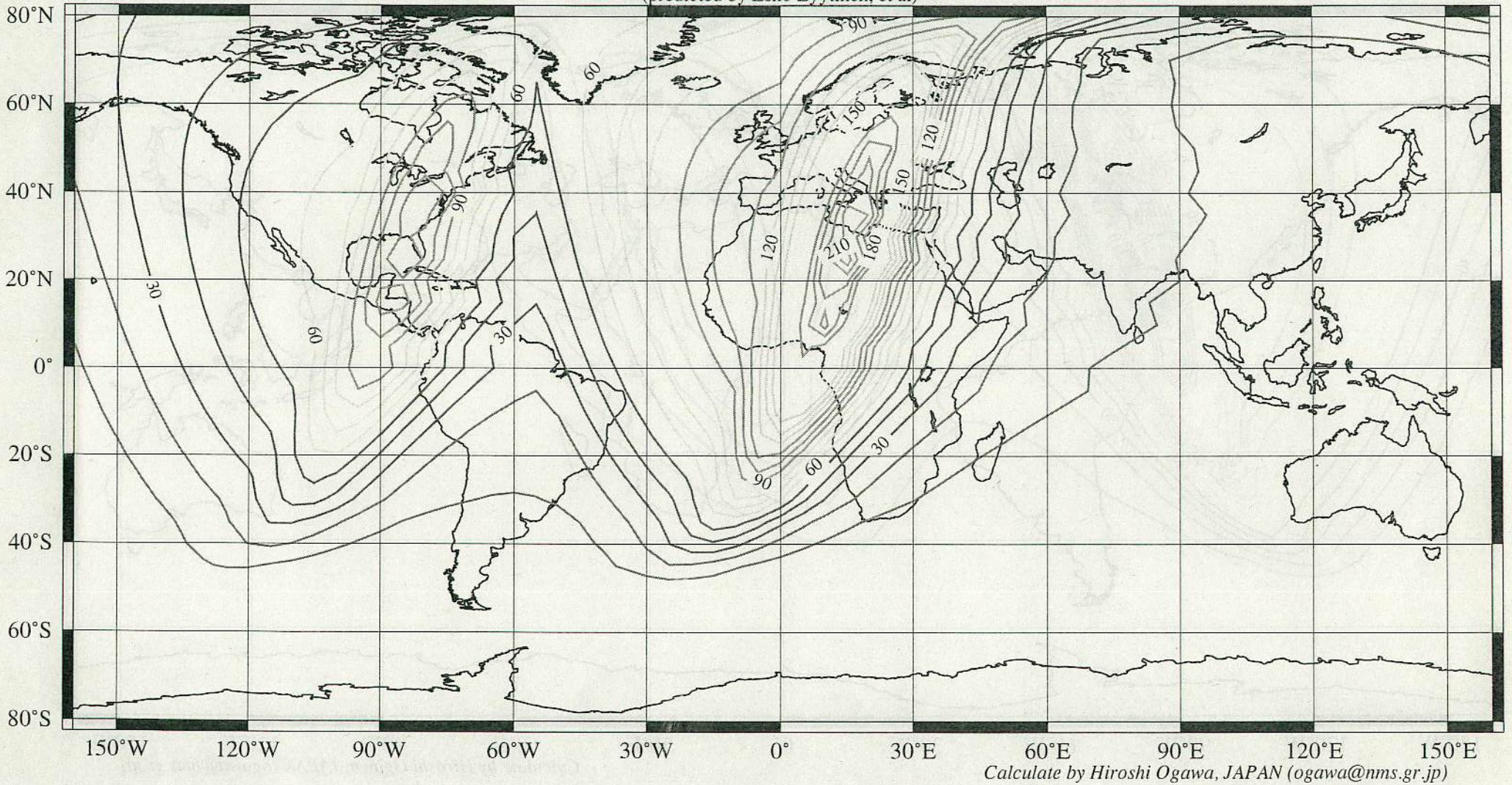
The Total Number of Meteors in the Nov.18/19LT Night (untill sunrise)

(predicted by R.McNaught and D.Asher)



Calculate by Hiroshi Ogawa, JAPAN (ogawa@nms.gr.jp)

2002 Léonid Prediction
The Maximum Number of Meteors in 10 minutes during Nov.18/19LT Night (untill sunrise)
(predicted by Esko Lyytinen, et al)



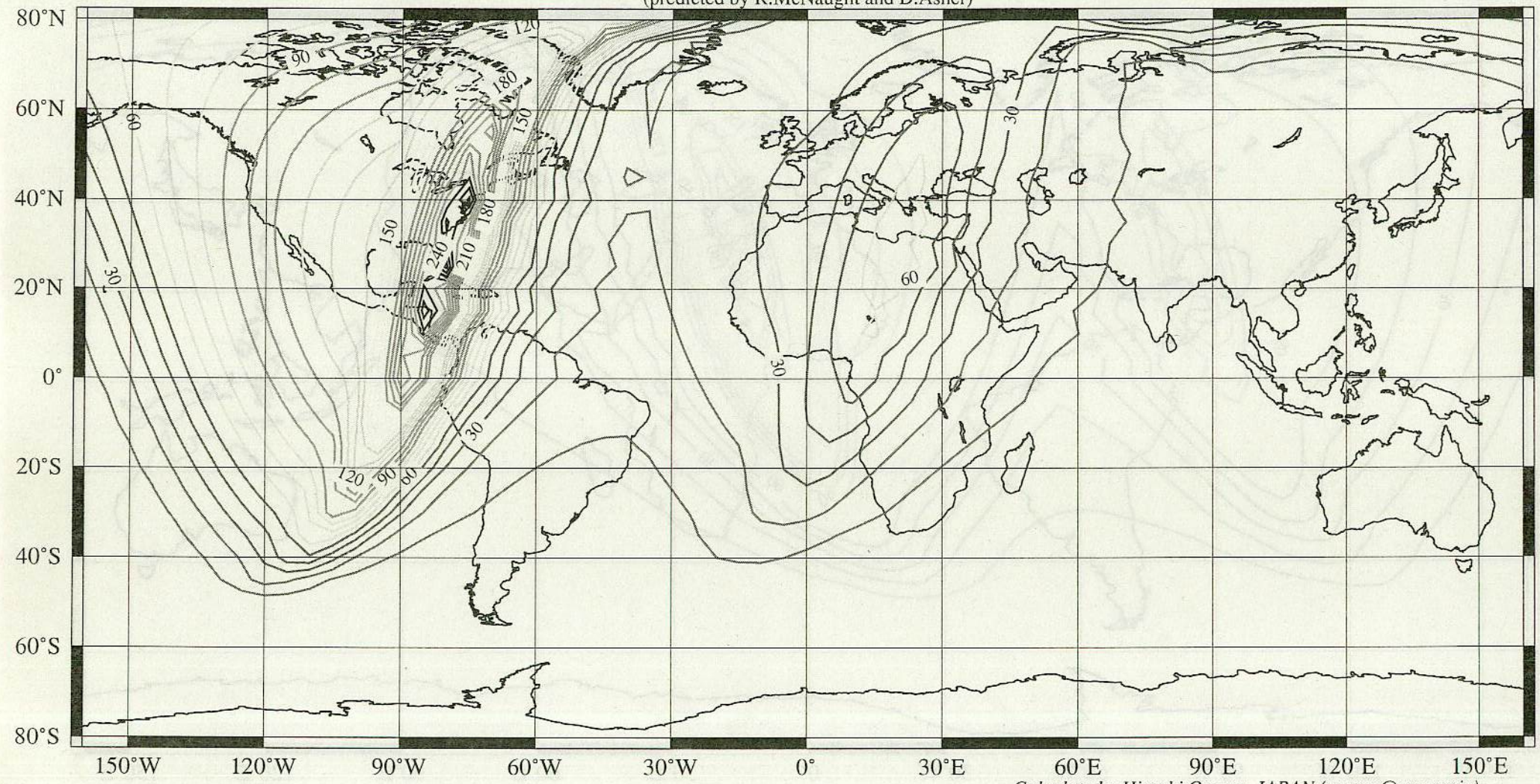
MSS-102

MSS-102.

2002 Leonid Prediction

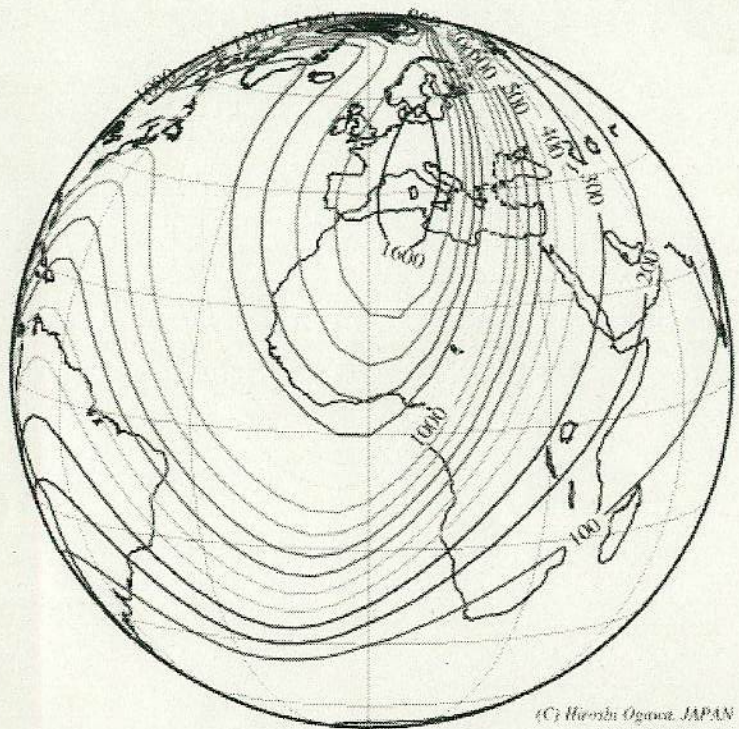
The Maximum Number of Meteors in 10 minutes during Nov.18/19LT Night (untill sunrise)

(predicted by R.McNaught and D.Asher)

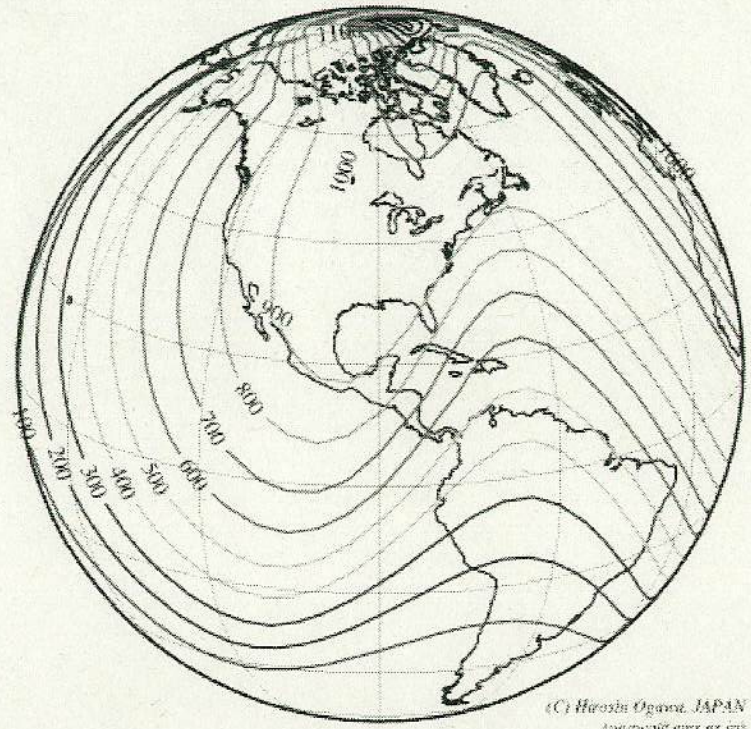


Calculate by Hiroshi Ogawa, JAPAN (ogawa@nms.gr.jp)

2002 Leonid Prediction
The Total Number of Meteors in the Nov.18/19LT Night (untill sunrise)
(predicted by Esko Lyytinen, et al)



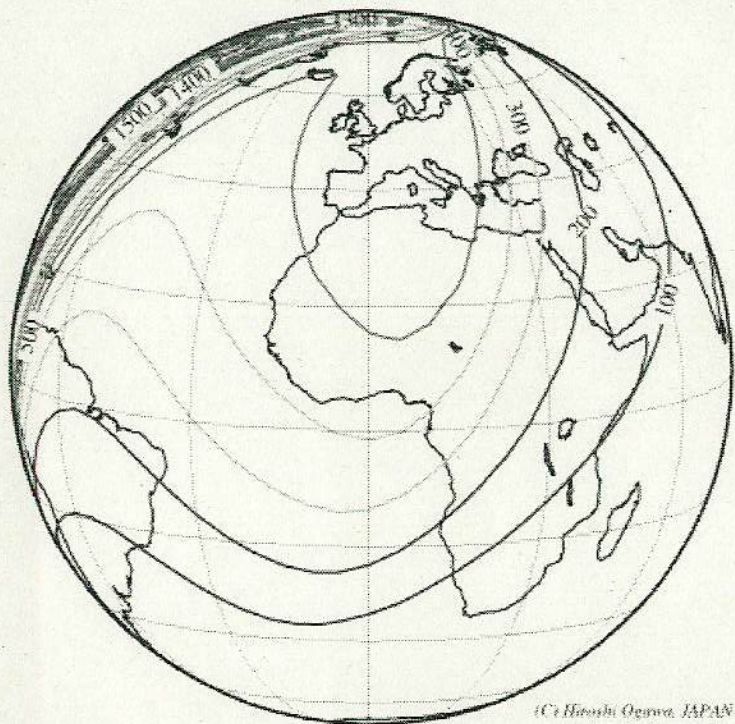
(C) Hiroshi Ogawa, JAPAN
togawash@nurs.gr.jp



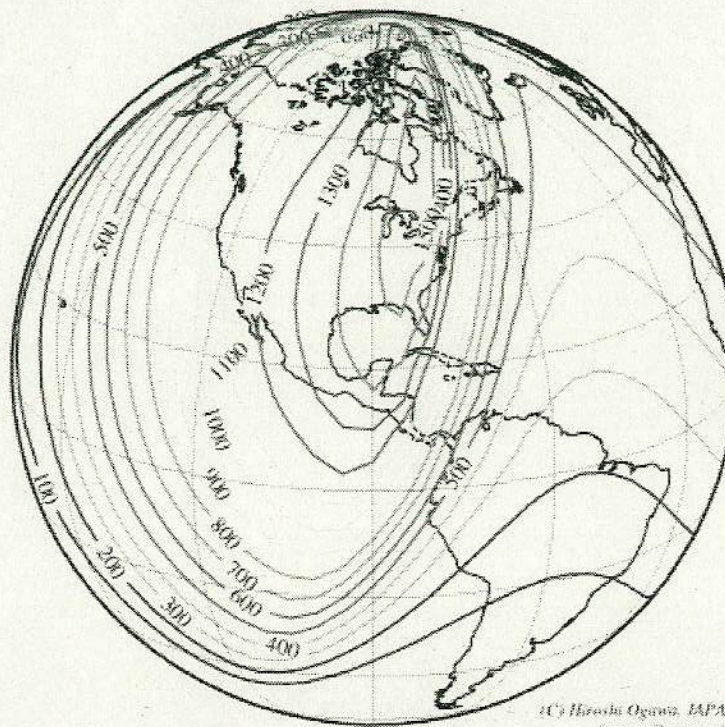
(C) Hiroshi Ogawa, JAPAN
togawash@nurs.gr.jp

MSS-102

2002 Leonid Prediction
The Total Number of Meteors in the Nov.18/19LT Night (untill sunrise)
(predicted by R.McNaught and D.Asher)



(C) Hiroshi Ogawa, JAPAN
to@wv.vsnr.jp



(C) Hiroshi Ogawa, JAPAN
to@wv.vsnr.jp

MSS-102

ししのしっぽを捕まえろ!

10m 波に於ける1965年ダストレイル観測計画

10m 700ジエターム

ししのしっぽを捕まえろ

白居隆志、中根秘夫、大西浩次
小川宏、橋本岳真

マクノト、アツシヤに於ける予想(2002年)

	JST	Ls	Revs	FE-FO	観測ZHR	
2002.11.18	03 ^h 26 ^m	235.2	通常ピーク			M&A, 1999
	04 49	235.258	降交点			
	05 06	235.27	1	0.0018	0	
19	13 ^h 00 ^m	236.610	7	-0.00015	810-2000	M&A, 2000
	13 18	236.623	7	0.00012	25-60	
	19 40	236.890	4	-0.00005	2900-6000	

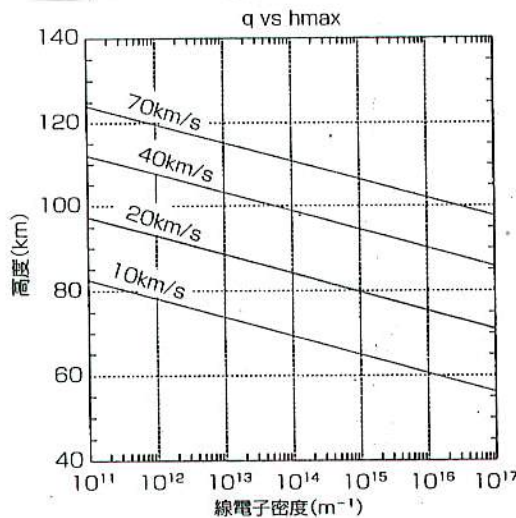
ハイトシーリングの歴史

1965年ダストレイルは1公転レイルでかつ母彗星回歸から5年も経っているのど比較的小さい粒子のみから構成されている可能性が高く、眼視観測では捕まえるのが難しい。

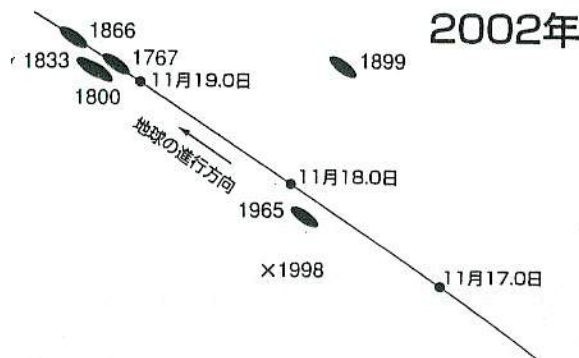
ハイトシーリングと観測可能等級

周波数 (MHz)	波長 (m)	ハイトシーリングの高度 (km)	線電子密度 ($10^{16} m^{-2}$)	光度 (Mag)
144	2.1	100	4×10^{16}	-1
80	3.8	105	2×10^{15}	2
50	6	107	6×10^{14}	4
28	10.7	113	3×10^{13}	7
24	12.5	114	2×10^{13}	7.5

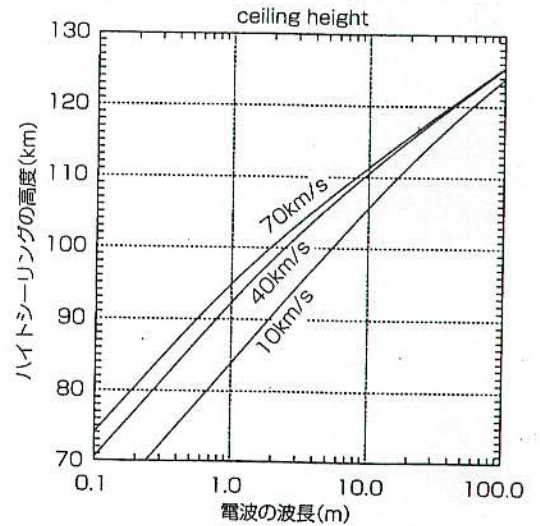
〔図3.11〕 流星飛跡の線電子密度が最大になる高度 (曲線は上から流星の速度が70km/s, 40km/s, 20km/s, 10km/sに対応)



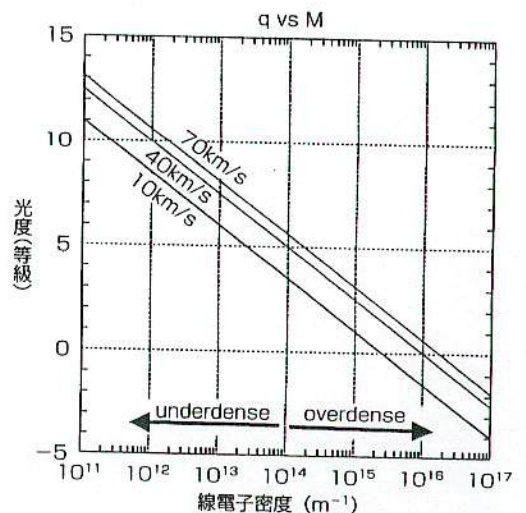
流星電波観測
ガイドブックより



飛跡形成の受信電力損失が40dB (=1/10000)になる高度の波長依存性 (いわゆるアンダーデンスエコーのハイトシーリングの高度。曲線は上から流星速度が70km/s, 40km/s, 10km/sに対応)



〔図3.9〕 流星の光度と線電子密度の関係 (曲線は上から流星の速度が70km/s, 40km/s, 10km/sに相当)



2006 年に接近するしし座流星群の2回帰トレイル(1932 年放出)の検討

佐藤幹哉(欠席)

2006 年は、しし座流星群の 2 回帰トレイル(1932 年放出)が地球と接近する。ただし、放出速度 88m/s と非常に高速で放出された部分である(一般的に、大出現するのは放出速度が 20m/s 程度まで)。そこで、過去、同様の速度で放出されたダストトレイルからの出現と考えられる 1969 年、2002 年のケースと比較した。

【各年のダストトレイルのデータ】

極大(UT)	極大(JST)	LS(2000.0)	$\Delta R(\text{AU})$	放出速度(m/s)	放出年	回帰数	fM
1969/11/17 08:58	11/17 17:58	235.2724	+0.000054	+85.96	1932	1-rev.	1.0
2002/11/17 20:12	11/18 05:12	235.2749	-0.001790	+88.65	1965	1-rev.	1.0
2006/11/19 04:44	11/19 13:44	236.6146	+0.000096	+88.26	1932	2-rev.	0.62

【データ値の比較】

●ダストトレイルとの接近距離

1969 年のケースが最も小さい(0.000054AU=約 8,000km)。2006 年はその 1.8 倍(0.000096AU=約 14,000km)。2002 年のケースは少し離れている(0.0018AU=約 270,000km)。

距離が 2002 年のように離れている場合、実際に地球とぶつかる流星物質は、軌道を変化させるためにさらに大きな放出速度(エネルギー)が必要となる。→2002 年はかなり暗い流星となってしまうことが推測される。

一方で、1969 年のようにダストトレイルの「芯」と遭遇すると、このような大きな放出速度の部分でも、多少明るい流星が出現するのかもしれない。→2006 年は 1969 年に近いケースである。

●放出速度

3回ともほぼ同じ。ただし 2002 年は前述の通り、実際に遭遇した流星物質はもっと大きな放出速度となる。

●回帰数、fM 値

1969 年、2002 年は1回帰トレイル。2006 年は 2 回帰トレイルで、fM 値は 0.62。

→2006 年に期待される出現数は、他の条件が同じならこれら過去のケースの約半分程度である。

【過去の出現状況】

1969 年	眼視:北米東部で HR100~200 以上。非常に鋭いピーク。極大は 9:00(UT)前後。 明るい流星もそれなりに出現した模様。 電波:非常に多い出現。極大は 9:02~9:03(UT)頃。
2002 年	ビデオ:日本で微光流星による突発出現。極大は 5:15(JST)=20:15(UT)頃。

【2006 年の状況の推測】

・1969 年と放出速度・接近距離が近い。fM 値は約 0.6 で期待される流星数は約半分程度。

→出現数(眼視的)は HR50~150 程度か。

・2002 年と放出速度はほぼ同じ。ただし接近距離は 2002 年よりかなり近い。

→流星の光度については、2002 年よりも明るい流星が出現する可能性が高い。

・1969 年、2002 年とも、微光流星が多く出現。

→微光流星は、多く出現することが推測される。

※日本では昼間がかつ輻射点は地平線下となり電波でも捉えるのは難しい。

好条件下であるヨーロッパ西部での観測が重要となる。

2006年のオリオン群突発出現の 起因ダスト・トレイルについて

佐藤幹哉 (NMS・NAOJ・FAS)

■2006年、オリオン群が突発出現

- ZHR=50以上 (CBET No.689, IMO 2006)
- 国内：HR=100を観測した観測者が2名 (CBET No.689, 天文回報 2007.1)
- 極大は長く継続 (IMO 2006)
Oct. 20.4~24.3 でZHR>30 (4日間)

■起因ダスト・トレイルを計算する

- 方法は最も基礎的
- 放出速度±20m/s
- 軌道要素はYeomans 1981による
→ 掲載最古の -1404年以降について計算



■計算結果

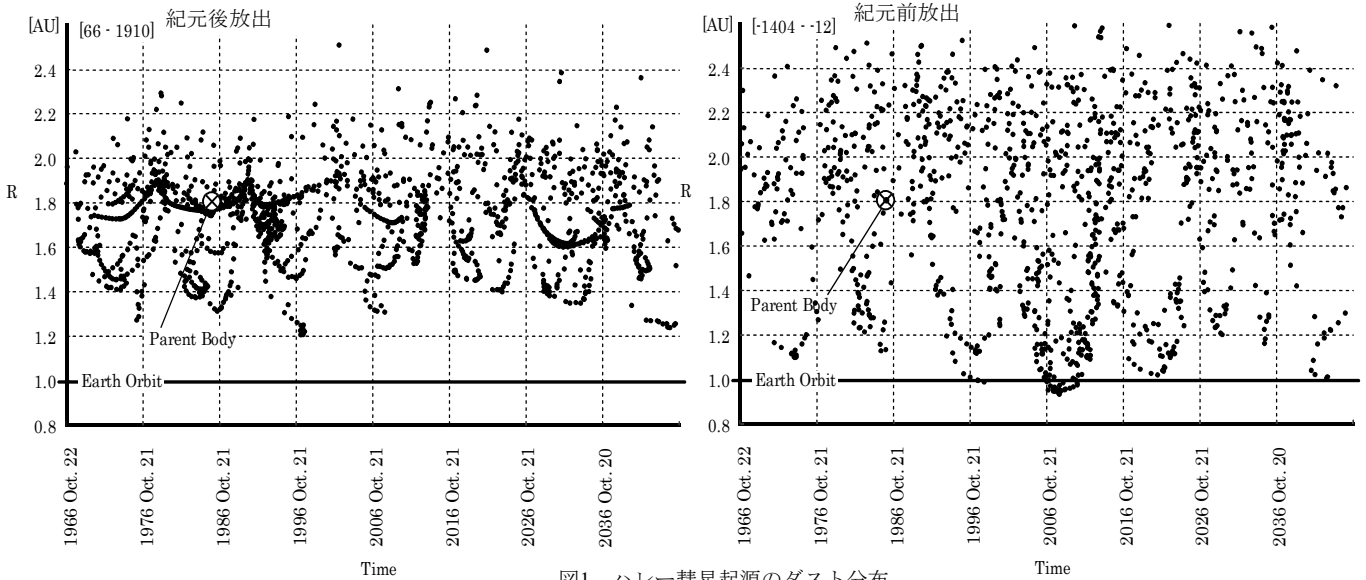


図1 ハレー彗星起源のダスト分布

表1 ダスト・トレイルの接近状況

Ejected year	Expected peak time Date (UT)	Expected peak time Time LS(2000.0)	ΔR (AU)	Ejection Velocity (m/s)	fM	Expected position of radiant α (deg.)	δ (deg.)	Vg (km/s)	Orbital Period (yr)	
-1265	2006 Oct 21.10	02:30	207.466	+0.00057	+10.77	0.14	95.14	+15.45	66.88	70.5
-1197	2006 Oct 21.58	14:01	207.943	+0.0076	+11.98	0.019	95.41	+15.47	66.67	71.8
-910	2006 Oct 23.05	01:16	209.406	-0.0088	-10.26	0.023	96.57	+15.47	66.94	71.4
-910	2006 Oct 23.13	03:05	209.481	-0.0085	-10.76	0.036	96.66	+15.47	66.94	71.1
-910	2006 Oct 23.19	04:33	209.541	-0.0074	-10.75	0.015	96.71	+15.47	66.91	71.0
-910	2006 Oct 23.31	07:22	209.658	-0.0039	-9.87	0.33	96.76	+15.48	66.81	71.3
-910	2006 Oct 23.36	08:34	209.708	-0.0034	-9.73	0.039	96.79	+15.49	66.79	71.4
-910	2006 Oct 23.47	11:23	209.825	-0.00068	-9.62	0.14	96.89	+15.49	66.72	71.3
-910	2006 Oct 23.66	15:53	210.012	-0.00044	-11.12	0.089	97.04	+15.50	66.71	70.9

【紀元後放出】

- 母天体付近にダストの密集
- ダスト・トレイル構造が残る
- しかし、ダストは1.2AUより外側

【紀元前放出】

- ダストはほとんど散逸
- 1.2AUよりも地球軌道側に到達
- 2006年頃にダストが密集して回帰 (トレイル構造が保持)

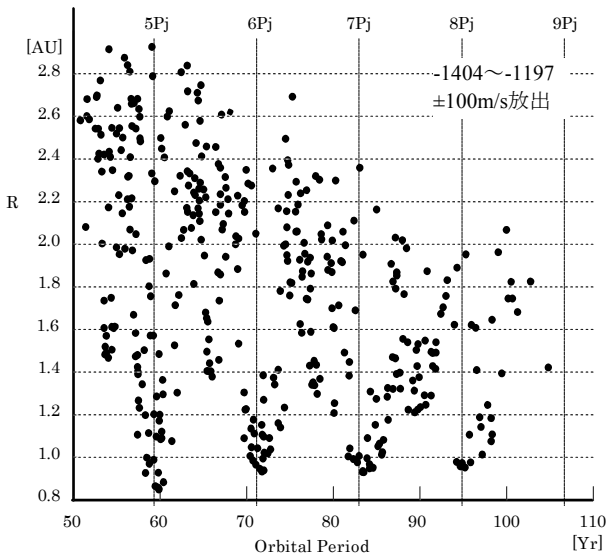


図2 ダストの公転周期と昇交点の日心距離Rの関係

【結果まとめ】

- -1265, -1197, -910年からの非常に古いダストトレイルが、2006年に地球軌道に接近し、活発な出現が期待される。
- 期待される極大は207.5~210.0と数日間わたる
- 実際の出現状況と(完全に一致しているという訳ではないが)よく合っている

【ディスカッション】

- 木星の公転周期の倍数の周期を持つダストのRが小さくなる
- 木星との共鳴構造によって、ダストが速く地球軌道に到達
- 共鳴構造により、古いダスト・トレイル構造が保持される
- 2006年に接近したダストトレイルの公転周期は約71年(木星6公転)
- 70年前(1936年)にも突発出現
→ 2006年とほぼ同じダスト・トレイルの部分が起因した可能性大

- さらに古い起源のダスト、2007~2009年の状況、1936年の詳細、みずがめη群の状況等を計算することが今後の課題

2006年オリオン群突発出現の 起因ダスト・トレイルの背景

佐藤幹哉 (NMS・NAOJ・FAS)

■前回発表

- 2006年、オリオン群が突発出現した。
- 1265年、-1197年、-910年に放出したダストによるダスト・トレイルが関係したことが判明した。
- これらは木星と1:6の共鳴関係にあった。

■前回質問

- なぜ、2006年にだけなのか？（共鳴になりうる部分は、他にも5カ所あるはず）
- 放出された時、すでにこのような軌道だったのか？

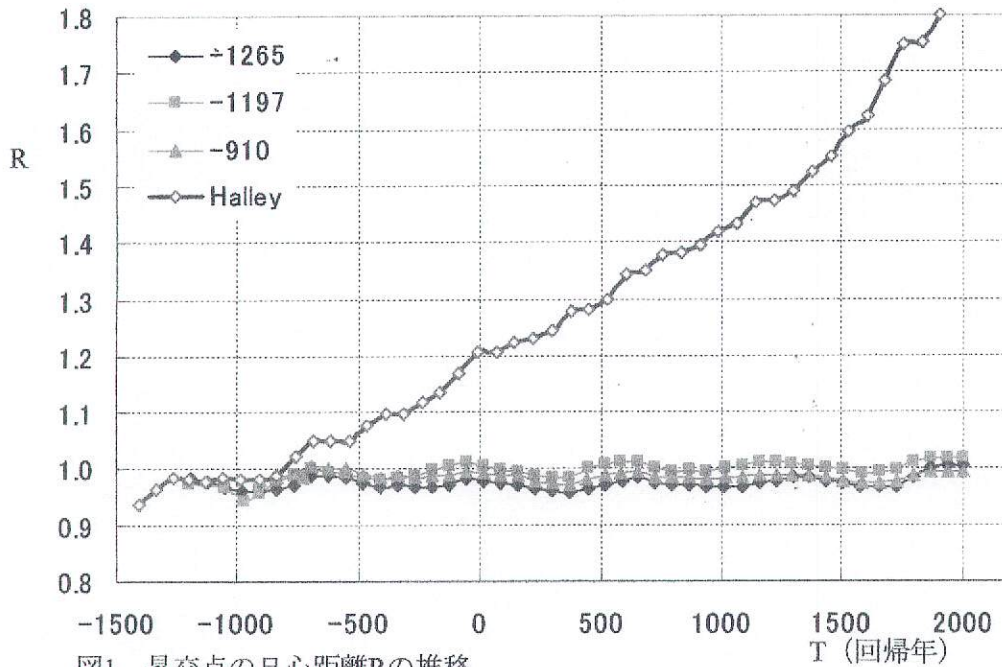


図1 昇交点の日心距離Rの推移

【昇交点の日心距離Rの推移】

- 1265～-762年の期間、ハレー彗星の昇交点は地球軌道付近に存在した。
- それ以降、ハレー彗星の昇交点は、地球軌道の外側に離れていった。
- ハレーの昇交点が地球軌道付近にあった頃に放出されたダストの一部が、2006年に接近した。

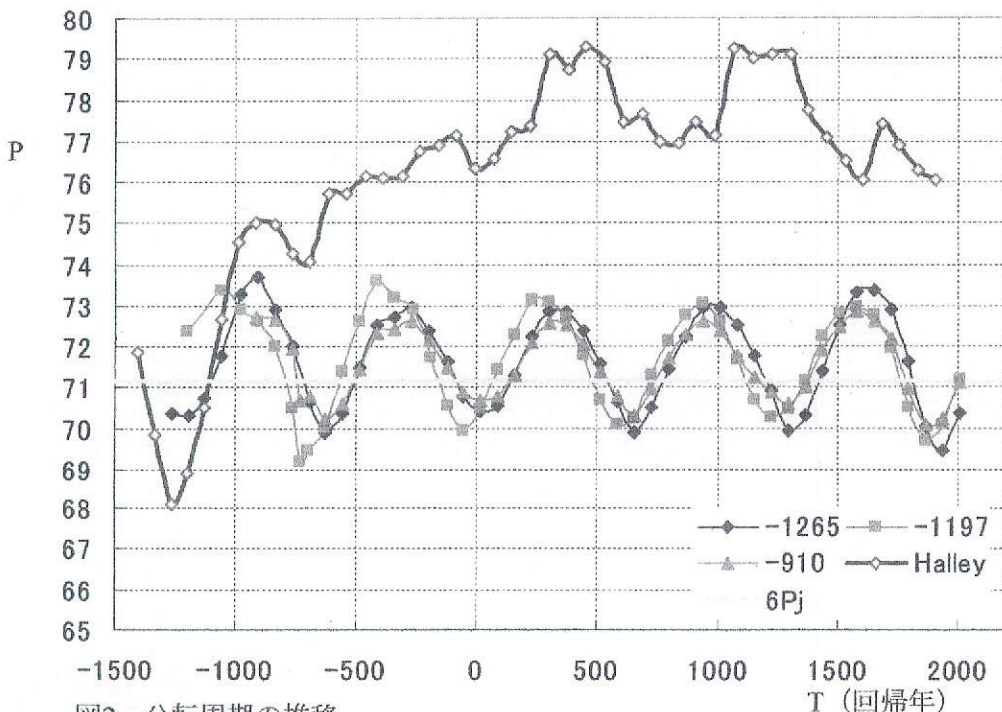


図2 公転周期の推移

【公転周期の推移】

- ハレー彗星の公転周期は、かつて現在よりも短い時期があった。
- グラフからは、-1000年よりも前の期間、木星との共鳴(1:6)に捕まりかけたように見える。ただし、その後は、およそ75～79年の公転周期となった。
- ハレー彗星が木星の共鳴に捕まりかけた頃に放出されたダストは、木星の共鳴に捕まりやすい時期にあった。
- このうちの一部が、木星の共鳴につかまり、その軌道を現代にまで維持する結果となった。
- これらが木星との共鳴の下で公転した結果、2006年に地球と遭遇し、オリオン群の突発出現となった。

こぐま群(Ursids)レビュー

【概要】

IMO : 2007 Meteor Shower Calendar

流星群名	活動期間	極大		輻射点		V _∞ km/s	r	ZHR
		日付	☉	α	δ			
Ursids	12/17-26	12/23	270.7	217	+76	33	3.0	10

B.A.Lindlad, 1987, p.239

流星群名	活動期間	写真 流星数	Vg km/s	q AU	a AU	e	i °	ω °	Ω °
Ursids	12/17-22	3	33.3	0.952	5.8	0.836	52.6	207.5	268.3

Z.Seplecha et al. 1998, p.441

流星群名	活動期間	極大		活動 期間	輻射点		Vg km/s	q AU	a AU	e	i °	ω °	Ω °
		日付	☉		α	δ							
Ursids	12/18-26	12/22	270.9	2	217	+76	33	0.93	5.8	0.84	53	208	268

P.Jenniskens et. al., 2002, p.201

TABLE II
Ursid Orbits (J2000) from the 1945 Outburst (Cepulecha 1951—Recalculated) and the 1997 Ursid Outburst

Year	1945 3 single station (aphelion outburst)	8P/Tuttle 1994	1997 (Filament) median of 10 orbits (perihelion outburst)	2000 59 orbits (aphelion outburst)	2000 1405 trail model
Date	Dec. 22.773 ± 0.051	June 17.0	Dec. 22.434 ± 0.057	Dec. 22.32 ± 0.06	Dec. 26 ± 3
RA _{geo}	217.06 ± 0.07	--	222.1 ± 4.2	219.0 ± 4.6	--
DEC _{geo}	75.63 ± 0.05	--	75.0 ± 0.5	75.3 ± 1.8	--
V _{geo}	33.47 (assumed)	--	32.25 ± 0.87	33.05 ± 1.1	--
a	5.716 (assumed)	5.671775	4.62 ± 0.93	4.673 ± 0.98	5.793 ± 0.002
e	0.8363 ± 0.0015	0.824088	0.795 ± 0.040	0.799 ± 0.053	0.8378 ± 0.0001
q	0.9357 ± 0.0002	0.997732	0.944 ± 0.006	0.940 ± 0.009	0.9398 ± 0.0006
incl	53.10 ± 0.03	54.69254	51.5 ± 1.1	52.5 ± 1.9	52.96 ± 0.02
ω	206.73 ± 0.04	206.7028	204.9 ± 2.0	205.9 ± 2.8	205.68 ± 0.11
Ω	271.35 ± 0.05	270.5487	270.64 ± 0.06	270.76 ± 0.06	270.7579 ± 0.0044

【物性】

流星群の密度 (× 10⁻²⁴ · g/cm³)

P.Jenniskens, 1994, p.1008. より

annual stream : ρ = 1.5 ± 0.3 (しぶんぎ群=19±3、ペルセウス群= 2.73±0.18、ふたご群=22.1±1.1)

outburst (1795) : ρ = 40 (P.Jenniskens,1995, p.211.より)

流星の密度 (g/cm³)

P.B.Babadzhanov(1989)に δ = 1.5(g/cm³)という値が出ているが、その後 P.B.Babadzhanov(2002)では値を全面的に変更。ただし、こぐま群の密度はそこには書かれていない。 P.B.Babadzhanov, 2002, p.320.より

Table 1. Meteoroid densities.

Meteor shower	Parent body	δ g/cm ³	N
Perseids	109P/Swift – Tuttle	1.3 ± 0.2	44
Leonids	55P/Tempel – Tuttle	0.4 ± 0.1	6
Geminids	3200 Phaethon	2.9 ± 0.6	8
Quadrantids	96P/Machholz1	1.9 ± 0.2	3
δ-Aquarids	96P/Machholz1	2.4 ± 0.6	8
Taurids	2P/Encke	1.5 ± 0.2	3
Sporadic		2.2 ± 0.3	39

スペクトル

O,Na,Mg を検出。T=4260±200K(+2等級:P.Jenniskens et. al., 2002)

【歴史】

- 1532年: Hasegawa(1992)より 12月 6.8UT, $\odot=271.3$ (J2000), "stars fell in all direction till down", 出展は Beijin Obs., 1988 および S.Imoto & I.Hasegawa(1958)
- 1794年: Hasegawa(1992)より 12月 21.7UT, $\odot=273.0$ (J2000), "stars fell like rain for hours", 出展は Beijin Obs., 1988
- 1795年: Hasegawa(1992)より 12月 20.7UT, $\odot=271.7$ (J2000), "stars fell like rain" (Japan), 出展は S.Imoto & I.Hasegawa(1958)
- 1874年: A.S.Herschel(1874)が the British Association Report に Mechain(1790 II)- Tuttle(1858 I) 彗星に関連する流星群を $\alpha=220^\circ$, $\delta=+76^\circ$, Dec.20+, および $\alpha=221^\circ$, $\delta=+77^\circ$, Dec.20+と発表。W.F.Denning(1916)より。
- 1882年: Hasegawa(1992)より 12月 22.7UT, $\odot=272.4$ (J2000), "meteores fell like fire", 出展は Beijin Obs., 1988
- 1899年: W.F.Denning(1899)が "General Catalogue of the Radiant Points of meteoric Showers" (俗に言う「Denning のリスト」)を 発表。しかし、このリストには該当する流星群および輻射点の記録はない。^{*1}
- 1916年: W.F.Denning(1916)は A.S.Herschel(1874)が発表した Tuttle(1858 I) 彗星に関連する流星群に対し、「さまざまな年に $\alpha=218^\circ$, $\delta=+76^\circ$, Dec.18-25 からの流星群を見たが、豊富な出現を見たことはない。」とコメント。^{*2}
- 1923年: W.F.Denning (1923)は No.177, $\alpha=218^\circ$, $\delta=+76^\circ$, Dec.18-22, ↓7をリストアップし、Mechain-Tuttle 彗星関連とした。しかし、観測年は "Various" となっていて明らかにされていない。
- 1945年: 12月 22日に Skalnaté Pleso 天文台で A.Becvar(1946)ほかによって HR=169の突発出現が観測。M.Dzubak によるとそのときの暫定輻射点は $\alpha=233^\circ$, $\delta=+82.6^\circ$ であった。その後、Z.Ceplecha(1951)は、HR=169が 18:00~18:10UTの10分間に4人により観測された値によるものとし、輻射点位置も写真観測によってそれぞれ ZHR=108, $\alpha=217.1^\circ$, $\delta=+75.9^\circ$ に修正。なお、P.Jenniskens(1995)は $\odot \geq 270.627$ (J2000), ZHR ≥ 120 とした。
- 1947年: J.P.M.Prentice(1948)は 12月 23日、25分間に8個 ($\alpha=207^\circ$, $\delta=+74^\circ$, HR ≈ 20)の出現を観測。前日は43分間に1個だった。
- 1948年: C.Hoffmeister(1948)は Tuttle(1926IV) 彗星に関連する流星群を $\alpha=237^\circ$, $\delta=+74^\circ$, Dec.22と予報。しかし、このリストには該当する流星群および輻射点の記録はない。^{*3}
- 1979年: 12月 22日、ノルウェーにて2時間で ZHR=25~27の突発出現 (Meteor News, No.51, p.5より)。
- 1981年: 12月 22日 21時頃 ($\odot=270.82$, J2000)、伴良彦氏 20分間に6個の火球クラスの明るい流星が北天から飛来するのを目撃。木曾観測所の全天カメラでも数個の火球が撮影された(上田昌良, 1989)。
- 1982年: オランダにて J.Nijland & H.Brewker が ZHR ≈ 35 の突発を観測(P.Jenniskens et al. 2002)。
- 1986年: 12月 22日 21h30mUT, $\odot=270.25$ (J2000), ZHR=125.2 \pm 17.0の突発出現が眼視/電波の両面からヨーロッパで観測(天文回報No.543(1987)に転載された BMS "Meteors"による)。なお、Jenniskens(1995)は $\odot=270.236$ (J2000), ZHR $\geq 160 \pm 40$ とした。
- 1987年: P.B.Babadzhanov & Y.V.Obrubov(1987)は、こぐま群をしぶんぎ群複合体の8個の複合体の一つとした(軌道進化にて扱う)。
- 1993年: アメリカにて B.Lunsford が ZHR=100の突発出現を観測(P.Jenniskens et al. 2002)。
- 1994年: 12月 22日 18h10mUT ($\odot=270.75$:J2000)、日本にて塩井宏幸氏が $\alpha=217^\circ$, $\delta=+76^\circ$, ZHR ≥ 100 を観測(K.Ohtsuka et al. 1995)。P.Jenniskens et al.(2002)は ZHR=50 とした。
- 1996年: アメリカにて ZHR=25の出現を観測(P.Jenniskens et al. 2002)。
- 1997年: アメリカにて ZHR=16の出現を観測(P.Jenniskens et al. 2002)。
- 2000年: アメリカにて 12月 22日 08h06mUT, ZHR ≈ 90 の突発出現を観測(P.Jenniskens et al. 2002)。1405年および1392年放出トレイルによるものとした。
- 2002年: 日本にて 12月 22日 19h10mUT, ZHR ≈ 70 の突発出現を観測(小川宏, 2002:NMS 同報[nms 19298])。1090年放出トレイルに伴う弱いアウトバーストの可能性が Lyttinen 氏らから指摘されていたなか、佐藤孝悦(HR=6.6)、長田和弘(HR=18)、住江和博(HR=16.5)の諸氏がその活動を捕らえている。
- 2006年: ヨーロッパ~日本にかけて 12月 22.733UT, ZHR $\approx 15 \pm 5$ の弱い突発出現を観測(P.Jenniskens et al., 2006, CBET 788)。E.Lyttinen & M.Nissinen による予想では 996年放出トレイルによるものとした(P.Jenniskens et al., 2006, CBET 773)。

<脚注>

*1:近いものとして次のような記録はあるが、どれもはっきりしない。

「No.CLXIII: β Ursa Minorids, $\alpha=214.2^\circ$, $\delta=75.4^\circ$, 観測例9例」

$\alpha=220^\circ$, $\delta=+72^\circ$, Dec. 9, ↓ 5

$\alpha=206^\circ$, $\delta=+76^\circ$, Dec.10, ↓ 7

これらは出現時期が早い上に観測年の記載がなく、おそらく複数年の12/9または12/10に出現した流星の合成である可能性が高い。

「No.CLXV III: α Draconids II, $\alpha=218.4^\circ$, $\delta=61.9^\circ$, 観測例7例」

$\alpha=214^\circ$, $\delta=+62^\circ$, Dec. 8, 1884, ↓ 4, Slow

これは出現時期が早い上に流星数が少ない。

「No.CLXXIX: ϵ Ursa Minorids, $\alpha=238.8^\circ$, $\delta=82.0^\circ$, 観測例9例」

$\alpha=230^\circ$, $\delta=+85^\circ$, Dec. 8, 1884, ↓ 4, Rapid, Fireball

これは出現時期が早い上に流星数が少なく、速度が速い。

ただ、あとの2つのデータがどちらも1884年12月8日で、両方ともDenningが観測していることを考え合せると性状こそ合わないが、こぐま座の柄杓付近で何らかの突発出現があった可能性がある。

*2:「例年少しは流星群活動があるのは知っている」のか「予報が出ているのは知っていて注視しているが、流星群活動を見たことがない」と言っているのか意味不明。この時期の輻射点検出基準は非常にあまいので、出現数が低いながらも定常群化していれば、いわゆる「Denning のリスト」に載っていないわけがないということとを考慮すると後者の意味だろうか。

ちなみにJenniskens(2006)は「このことは(19世紀後半~20世紀初め頃)こぐま群の活動が定常群(として活動していたこと)のように思われる。」としている。

なお、別件とは思うが、W.F.Denning(1918)は「(1917年)12月21日14h10m-18h10m、私は25個の流星のうち6個が $\alpha=162^\circ$, $\delta=+58^\circ$ の輻射点から放出されたのを見た。この輻射点からは18日に2個、22日に1個(の流星)を見た。流星は速かった。」と記している(Denning 本人が見ているのでイギリスのブリストルだとは思うが14h10mはさすがに観測不能なので17h10m-18h10mだろうか)。

*3:近いものとして次のような記録はあるが、どれもはっきりしない。

1914年(☉=268, $\alpha=214^\circ$, $\delta=+66^\circ$, ↓ 14)

1931年(☉=265.4, $\alpha=196^\circ$, $\delta=+73^\circ$, Wt=4)

1933年(☉=265.2, $\alpha=192^\circ$, $\delta=+79^\circ$, Wt=3: $\alpha=242^\circ$, $\delta=+71^\circ$, Wt=3

☉=264.2, $\alpha=215^\circ$, $\delta=+69^\circ$, Wt=5)

【軌道進化】

P.B.Babadzhanov & Y.V.Obrubov(1987)では、しぶんぎ群はその進化の過程で理論的に次の8個の流星群を生じるとした。

しぶんぎ群、こぐま群、りゅうこつ群、 κ ほ群、 δ みずがめ北群、 δ みずがめ南群、おひつじ群(昼間)、 α くじら群・・・このうち、りゅうこつ群、 κ ほ群は未確認。

P.B.Babadzhanov & Y.V.Obrubov, 1992, p.117

TABLE III

Theoretical and observed geocentric radiants and velocities of the P/Machholz's meteor showers. See the note at the end of the paper concerning the two unobserved meteor showers

	Date	α	δ	V_g	Date	α	δ	V_g
Theoretical					Observed			
Quadrantids	Jan.2	223-243	[+42, +54]	38-43	Jan.3	219-232	[+48, +55]	40-43
Ursids	Dec.31	215-227	[+48, +60]	38-46	Dec.22	190-226	[+58, +76]	33-40
Carinids	Jan.2	149-164	[-64, -46]	41-49	not observed			
κ -Velids	Jan.3	142-160	[-61, -50]	41-49	not observed			
N. δ -Aquadrids	Jul.30	316-340	[-10, +2]	40-44	Aug.12	337-346	[-5, +3]	40-42
S. δ -Aquadrids	Jul.30	334-351	[-18, -13]	39-44	Jul.29	339-351	[-19, -14]	40-44
D.Arietids	Jun.12	42-50	[+22, +25]	40-44	Jun.8	43-50	[+22, +26]	39-44
α -Cetids	Jun.6	39-53	[+8, +13]	39-44	Jun.9	44-53	[+6, +12]	37-39

TABLE VI

Orbital elements of major meteor showers and meteor storms and their parent bodies

Related showers and their parent bodies	a AU	e	q AU	ω	Ω	i degrees	π
Quadrantids	3.1	0.683	0.977	170	283	72	93
Ursids	4.0	0.76	0.968	195	281	63	116
Northern δ Aquarids	2.6	0.97	0.07	332	139	20	111
Southern δ Aquarids	2.9	0.98	0.07	153	305	27	98
Daytime Arietids	1.6	0.94	0.09	29	77	21	106
α Cetids	1.3	0.95	0.06	202	258	20	100
<i>P-Machholz 1986 VIII</i>	3.0	0.958	0.127	14	94	60	108

ただ、Babadzhanovがこぐま群のよりどころとしたものはSekanina(1970)のハーバード電波流星プロジェクトで捕らえられた12月こぐま群というもので、レーダー運用の関係上からか、いわゆるこぐま群とは多少違うものとなっている。

Sekanina, 1970, p.476-477.(B1950)

流星群名	活動期間	極大日	輻射点		Vg km/s
			α	δ	
Dec. Ursids	Dec. 29-Jan. 3	Jan. 1.9	223.4	+61.8	37.6

流星数 D=0.25	q AU	a AU	e	i °	ω °	Ω °
16	0.968±0.003	4.046	0.761±0.012	63.0±1.2	194.7±1.7	280.9±0.7

【その他】

ダストトレイル未検出

地球が8P/Tuttle彗星の軌道面を通過するのは2007年12月24日(地心距離0.3AU)、このとき地上から望遠鏡でダストトレイルを観測することができないだろうか。

なお、8P/Tuttle彗星の降交点通過は2008年1月4日、また近日点通過は2008年1月27.01544日

流星群の母天体とされる彗星でダストトレイルの見つかっているものは以下の通り。

(ダストトレイルは28彗星/小惑星で検出されている)

<http://physics.ucf.edu/~msk/projects/trails/>より抜粋/変更

(1) Sykes & Walker 1992	(2) Davies et al. 1997	(3) Reach et al. 2000	(4) Ishiguro et al. 2002	(5) Ishiguro et al. 2003
(6) Lowry et al. 2003	(7) Lowry & Weissman 2003	(8) Russel 1990	(9) Jones et al. 2003	(10) Stansberry et al. 2004
(11) Kraemer et al. 2005	(12) Nesvorny et al. 2006	(13) Kelley et al. 2006	(14) Vaubaillon & Reach 2006	
(15) Argawal et al. 2006	(16) Reach, Kelley, & Sykes 2007	(17) Kelley, Reach, & Lien 2007	(18) Ishiguro, et, al. 2007	(19) Ishiguro 2007
母天体	宇宙/地上観測		流星群	文献
2P/Encke	IRAS, ISO, Spitzer KPNO 2.3m, Kiso 105cm, UH 88"		おうし座流星群 複合体	1, 3, 6, 13, 18
7P/Pons-Winnecke	IRAS		Jun.Boo群	1
73P/Schwassmann-Wachmann 3	Spitzer		τ Her群	14
2201 Oljato	Pioneer (indirectly)		χ Ori群	8

【参考文献】

W.F.Denning, 1899, "General Catalogue of the Radiant Points of meteoric Showers",
Memoirs of the Royal Astronomical Society, Vol.53, p.203-292.

W.F.Denning, 1916, "Mechain-Tuttle's Comet of 1790-1858 and a Meteoric Shower",
The Observatory, Vol.39, p.466-467.

W.F.Denning, 1918, "Meteor showers from near beta Ursae Majoris", The Observatory, Vol. 41, p.98-98.

W.F.Denning, 1923, "Radiant Point of Shooting Stars observed at Bristol chiefly from 1912 to 1922
inclusive", MNRAS, Vol.84, p.43-57.

- A.Becvar, 1946, IAUC 1026. ×
- C.Hoffmeister, 1948, “Meteorstrome”, Johann Ambrosius Barth, Leipzig.
- J.P.M.Prentice, 1948, JBAA, No.58, p.140. ×
- Z.Ceplecha, 1951, “Umids- Becvar ’s Meteor Stream”, BAC, Vol. 2, p.156-159. ×
- I.Susumu & I.Hasegawa, 1958, “Historical Records of Meteor Showers in China, Korea, and Japan“, Smithsonian Contribution to Astrophysics, Vol. 2, p.131.
- Z.Sekanina, 1970, “Statistical Model of Meteor Streams II .Major Showers”, Icarus, Vol. 13, p.475-493.
- A.F.Cook, 1973, “A Working List of Meteor Streams in Evolutionary and physical Properties of Meteoroids”, NASA-SP, 319, Washington DC, p.183-191.
- A.Miyashita, 1982, in Proceeding Annual Meeting of the Astronomical Society of Japan in spring. ×
- R.Veltman, De herfst - and winterakties, 1982, Radiant, Vol.5, p.4-9. ×
- P.B.Babadzhanov & Y.V.Obrubov, 1987, “Evolution of meteoroid streams”, IN: European Regional Astronomy Meeting of the IAU, 10th, Prague, Czechoslovakia, Aug. 24-29, 1987, Proceedings. Volume 2. Ondrejov, Czechoslovakia, Czechoslovak Academy of Sciences, 1987, p. 141-150.
- B.A.Lindlad, 1987, “Physics and Orbits of Meteoroids”, The Evolution of the Small Bodies of the Solar System. Proceedings of the International School of Physics “Enrico Fermi”, held at Villa Monastero, Varenna on Lake Como, Italy, August 5-10, 1985, Edited by M. Fulchignoni, and L. Kresak. North-Holland, Amsterdam, Holland, New York, NY, 1987, p.229-251.
- 藪保男, 1987, 天文回報「大出現の小熊座流星群」, No.543, p.12.
- G.W.Kronk, 1988, “Meteor Showers : A descriptive catalogue”, Enslow.
- 上田昌良, 1989,「流星ガイド」,天文ガイド 1989年12月号,p.150-151.
- P.B.Babadzhanov, 1989, “Formation of Twin Meteoroid Shower”,
- I.Hasegawa, 1992, “Historical Records of Meteor Showers”, Meteoroids and their parent bodies, Proceedings of the International Astronomical Symposium held at Smolenice, Slovakia, July 6-12, 1992, Bratislava: Astronomical Institute, Slovak Academy of Sciences, 1993, edited by J. Stohl and I.P. Williams, p.209.
- P.B.Babadzhanov & Y.V.Obrubov, 1992, “Evolution of short-period meteoroid streams”, Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy, Vol.54, No.1-3, p.111-127.
- 橋本岳真, 1993,「観測指針」, 天文回報, No.617, p.2-3.
- P.Jenniskens, 1994, “Meteor stream activity I .The Annual streams”, A&A, Vol.287, p.990-1013.
- P.Jenniskens, 1995, “Meteor stream activity II .Meteor outbursts”, A&A, Vol.295, p.206-235.
- K.Ohtsuka, H.Shioi & E.Hidaka, 1995, “Enhanced Activity of the 1994 Ursids from Japan”, WGN, Vol.23, No.2, p.69-72.
- M.Langbroek, 1997, “Conspicuous Ursid rates in 1996”, Proceedings International Meteor conference, poster presentation (IMO), Polsdum. ×
- Z.Seplecha et al., 1998, “Meteor phenomena and bodies”, Space Science Reviews, Vol.84, p.327-471.
- P.Jenniskens et. al., 2000, “Meteors : A delivery mechanism of organic matter to the early Earth”, EM&P, Vol.82, p.82-83. ×
- P.B.Babadzhanov, 2002, “Fragmentation and densities of meteoroids”, A&A, Vol.384, p.317-321.
- P.Jenniskens et. al., 2002, “Dust Trails of 8P/Tuttle and the Unusual Outburst of the Ursid Shower”, Icarus, Vol.159, p.197-209.
- 小川宏, 2002, “NMS 同報[nms 19298]こぐま座流星群 眼視観測速報”
- P.Jenniskens, 2006, “Meteor Showers and their Parent Comets”, Cambridge University Press, p.263-270.△
- P.Jenniskens et. al., 2006, CBET 773.
- P.Jenniskens et. al., 2006, CBET 788.

この秋注目のダスト・トレイル ～ぎよしゃ座群・オリオン群・ほうおう群～

佐藤 幹哉 (NMS・NAOJ・FAS)

●ぎよしゃ座流星群

【概要】

- ・昨年（2007年）突発出現をみせた。出現規模は、9月1日11時27分(UT)にZHR=216 (IMO 2008 No.1)であった。
- ・予報は、Jenniskens & Vaubaillon (2008) などによって行われていた。当方も追計算を行ってほぼ同様の結果が得られた。
- ・2008年は、昨年よりもだいぶ距離が離れるが、観測できる可能性がある。
- ・母天体は、C/1911 N1 (Kiess) が候補として挙げられていた。2007年の出現で確定的となった。

表 ゑよしゃ群のダスト・トレイルの状況 (2007年、2008年)

出現年	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.)	
2007	-18	2007/09/01.47	11:22	09/01 20:22	158.553	-0.00011	+1.80	1.0	91.20	+39.16	66.14
2008	-18	2008/08/31.64	15:27	09/01 00:27	158.469	+0.00092	+1.81	1.1	91.12	+39.11	66.15
		※最接近点	16:28	09/01 01:28	158.510	0.00056			91.16	+39.11	66.16

【計算結果】

- ・母天体の軌道要素は、中野主一氏の計算による（前回回帰は-18年）。この年に放出した場合の、一回帰トレイルを計算した。
- ・2007年の出現は、実際の観測と誤差5分で一致している。
- ・2008年は、2007年と比較するとかなり遠いが、0.001AU以内で、出現する可能性は高い。
- ・距離がやや離れるため、地球が軌道間の最小距離となる地点を通過するのは約1時間後とずれる。このため、実際の極大も1時間程度の誤差が見込まれる。
- ・昨年は日本で観測できなかったが、今年は極大が日本の夜にあたる！！
→ ぜひ検出観測を！

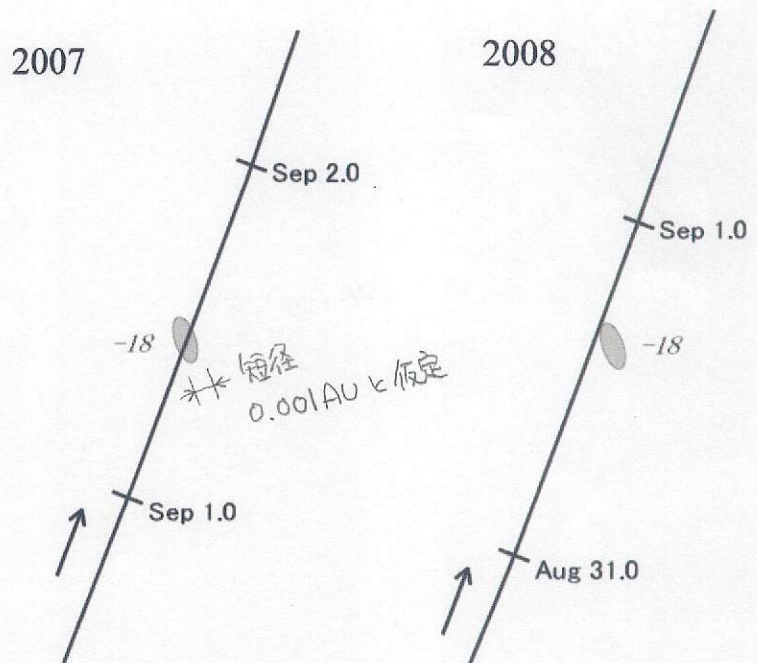


図 ゑよしゃ群のダスト・トレイルの分布

●オリオン座流星群

【概要】

- ・2006年に突発出現が観測。
- ・観測された極大は、IMOのデータとして10月21日20:41(UT)にZHR=57および同22日3:32(UT)にZHR=56 (IMO 2008 No.2)。国内として21日18:00(UT)にZHR=89.9 (Uchiyama 2008)など。
- ・またピークが20日～24日と4日間に渡って継続。ZHRが30を越えた。
- ・約3000年前に母天体であるハレー彗星から放出されて形成されたダスト・トレイルが、2006年に接近したことが筆者らの研究で判明している (Sato & Watanabe 2007)。
- ・2007年も、2006年には劣るものの中規模な活動を予想。実際には、2006年とほぼ同等規模の突発出現が観測された。IMOでは、10月22日0:28(UT)にZHR=70、同4:44(UT)にZHR=68など (IMO 2008 No.3)。

表 オリオン群のダスト・トレイルの状況 (2006年、2007年、2008年)

出現年	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		Vg (速度) (km/s)
			時刻 (UT)	時刻 (JST)					放射点位置 α (deg.)	δ (deg.)	
2006	-1265	2006/10/21.10	02:28	10/21 11:28	207.464	+0.0006	+10.77	0.14	95.14	+15.45	66.88
	-1197	2006/10/21.58	13:59	10/21 22:59	207.942	+0.0076	+11.98	0.019	95.41	+15.47	66.67
	-910	2006/10/23.05	01:14	10/23 10:14	209.404	-0.0089	-10.26	0.023	96.56	+15.47	66.94
	-910	2006/10/23.13	03:03	10/23 12:03	209.480	-0.0086	-10.76	0.036	96.66	+15.47	66.94
	-910	2006/10/23.19	04:31	10/23 13:31	209.540	-0.0075	-10.75	0.015	96.71	+15.47	66.91
	-910	2006/10/23.31	07:20	10/23 16:20	209.657	-0.0039	-9.87	0.33	96.76	+15.48	66.81
	-910	2006/10/23.36	08:32	10/23 17:32	209.707	-0.0034	-9.73	0.039	96.79	+15.49	66.79
	-910	2006/10/23.47	11:21	10/23 20:21	209.824	-0.0007	-9.62	0.14	96.88	+15.49	66.72
	-910	2006/10/23.66	15:51	10/24 00:51	210.011	-0.0005	-11.12	0.089	97.03	+15.50	66.71
2007	-1265	2007/10/19.95	22:52	10/20 07:52	206.067	-0.0038	+19.24	0.0016	94.28	+15.33	67.12
	-1197	2007/10/21.71	17:05	10/22 02:05	207.815	+0.0052	+13.34	0.0018	95.35	+15.48	66.73
	-1197	2007/10/21.71	17:02	10/22 02:02	207.813	+0.0051	+13.34	0.0019	95.35	+15.48	66.73
	-1197	2007/10/21.84	20:06	10/22 05:06	207.940	+0.0058	+13.84	0.0017	95.47	+15.48	66.71
2008	-1265	2008/10/19.09	02:13	10/19 11:13	205.946	-0.0094	+20.11	0.0062	94.14	+15.33	67.25
	-1265	2008/10/19.27	06:32	10/19 15:32	206.125	-0.0081	+19.82	0.0069	94.26	+15.35	67.20
	-1265	2008/10/19.34	08:08	10/19 17:08	206.191	-0.0074	+19.70	0.0026	94.32	+15.35	67.18

【計算結果など】

- ・2006年～2010年にかけてダストが地球軌道を横切る。
- ・2006年にダストが集中している。
-1265年、-1197年、-910年の3つのトレイルが接近。
- ・次いで、2007年、2009年、2010年
が同じ程度の規模で集中。
- ・2008年はダストが地球軌道の内側
に入り込んでしまうため、距離が
遠い ($|\Delta R| > 0.007 \text{ AU}$)。この期間
の中では一番望み薄か。
- ・ただし2006年よりも少ないと予想
された2007年も2006年並の出現。
→今年も多い可能性あり。
- ・トレイルからの予想極大は、10月
19日。ただし数日後まで要注意。

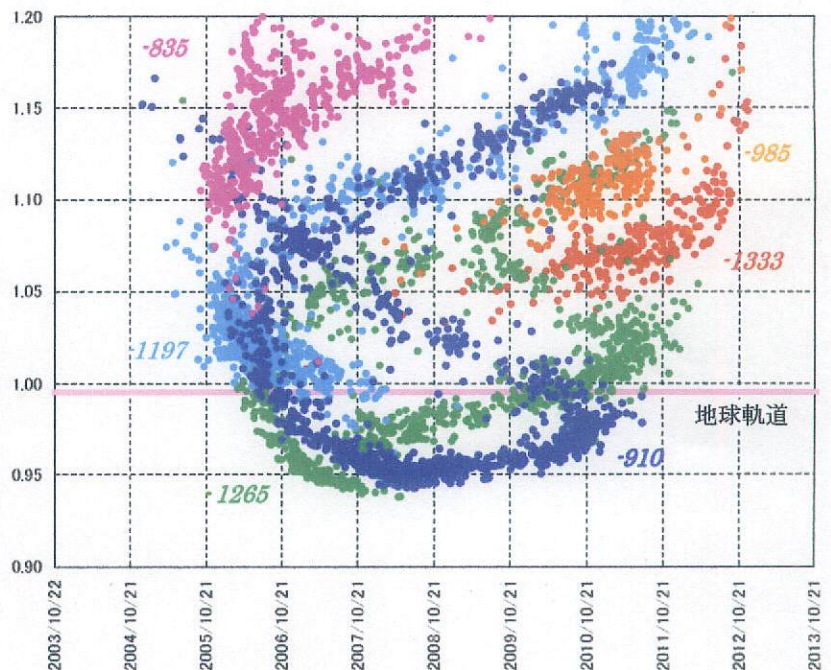


図 ダストの分布

●ほうおう座流星群

【概要】

- ・1956年に大出現。12月5日16:30(UT)にZHR=300 (Huruhata & Nakamura 1957)。
- ・母天体候補だった、D/1819 W1 (Blanpain) が小惑星 2003 WY25 として再発見。
- ・リンクされた軌道要素からダスト・トレイルを計算し、1956年の出現を筆者らが再現した (Watanabe, Sato & Kasuga 2005)。
- ・次回期待される出現は2014年。ただし20世紀前半に母天体がダストを放出していなければならない。
→流星出現から過去の彗星活動を推定できる貴重な機会として期待される。
- ・2008年にも条件は好くないがダスト・トレイルが接近。

【計算結果など】

- ・2008年は、摂動を大きく受けている部分で、出現時期は1カ月早い。
- ・放射点はくじら座β星付近まで北上している。放射点の位置からは、日本でも観測可能となる。

表 ほうおう群のダスト・トレイルの状況 (1956年、2008年、2014年)

出現年	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		Vg (速度) (km/s)
			時刻 (UT)	時刻 (JST)					放射点位置 α (deg.)	δ (deg.)	
1956	1814	1956/12/05.67	16:08	12/06 01:08	254.127	-0.00022	+1.46	0.063	3.46	-41.73	10.47
	1808	1956/12/05.68	16:26	12/06 01:26	254.139	+0.00045	+0.73	0.031	3.50	-41.79	10.45
	1803	1956/12/05.69	16:30	12/06 01:30	254.142	+0.00065	+0.50	0.021	3.51	-41.80	10.45
	1797	1956/12/05.69	16:33	12/06 01:33	254.144	+0.00067	+0.49	0.021	3.52	-41.82	10.45
	1792	1956/12/05.69	16:35	12/06 01:35	254.145	+0.00068	+0.49	0.020	3.52	-41.84	10.45
	1819	1956/12/05.69	16:35	12/06 01:35	254.146	-0.00136	+2.21	0.095	3.23	-41.63	10.48
	1787	1956/12/05.69	16:37	12/06 01:37	254.146	+0.00068	+0.49	0.021	3.53	-41.86	10.45
	1760	1956/12/05.69	16:37	12/06 01:37	254.147	+0.00054	+0.68	0.025	3.56	-41.95	10.47
	1782	1956/12/05.69	16:38	12/06 01:38	254.148	+0.00067	+0.50	0.021	3.53	-41.87	10.46
	1776	1956/12/05.69	16:39	12/06 01:39	254.148	+0.00067	+0.52	0.020	3.54	-41.89	10.46
	1766	1956/12/05.69	16:39	12/06 01:39	254.148	+0.00061	+0.62	0.023	3.55	-41.93	10.46
1771	1956/12/05.69	16:40	12/06 01:40	254.149	+0.00065	+0.54	0.021	3.54	-41.91	10.46	
2008	1866	2008/11/07.99	23:49	11/08 08:49	225.826	+0.00072	-12.11	0.0034	7.04	-5.51	11.46
		※最接近点	04:10	11/08 13:10	226.008	0.00012			6.99	-5.55	11.45
	1861	2008/11/09.98	23:34	11/10 08:34	227.824	-0.00364	-14.61	0.0025	6.77	-6.32	11.26
	※最接近点	00:43	11/09 09:43	226.867	0.00076			7.07	-6.13	11.33	
2014	1914	2014/12/01.96	23:02	12/02 08:02	249.470	-0.00074	-1.28	0.016	7.88	-27.32	9.83
	1919	2014/12/01.97	23:14	12/02 08:14	249.479	-0.00050	-2.03	0.025	7.90	-27.34	9.83
	1925	2014/12/02.00	23:58	12/02 08:58	249.510	+0.0000026	-2.40	0.028	7.95	-27.42	9.82
	1909	2014/12/02.02	00:26	12/02 09:26	249.530	+0.00015	-1.76	0.021	7.99	-27.55	9.82
	1930	2014/12/02.05	01:07	12/02 10:07	249.559	+0.00086	-3.03	0.034	8.02	-27.57	9.80

- 1866年放出トレイルと接近する。黄道面上で0.0007AU、最接近点では0.00012AUとほぼ交差。
- 軌道傾斜角が小さい(2~3度)ため、軌道断面は非常に伸びている。
- fM値は、個々のダスト・トレイルとしては1956年の10分の1。ただし、1956年は約10本のダスト・トレイルの束と交差したため、実際には100分の1程度。1956年をZHR=300としても、2008年はZHR=3。さらに放出速度が大きいため、ZHR値は限りなく0に近い。
- 2008年は、出現数ではなく、出現が認められるかどうか注目。出現すれば、1866年に彗星活動があったことになる。
- 観測に適した地域は、南米の西側、北米の南西側等。ハワイでは薄明時に極大(最接近)を迎える。
- 1861年放出トレイルも出現の可能性はある。

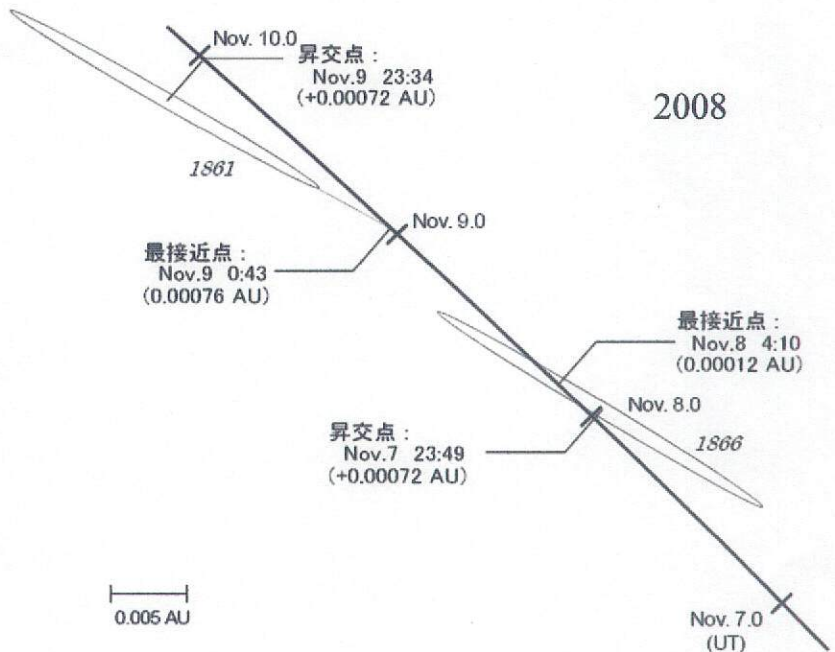


図 ほうおう群のダスト・トレイルの分布

【参考文献】

Huruhata & Nakamura 1957, Tokyo Astron. Bull. 2nd Ser., No.99.
 IMO 2008 No.1 (Web), <http://www.imo.net/live/alpha-aurigids2007/>
 IMO 2008 No.2 (Web), <http://www.imo.net/news/orionids2006>
 IMO 2008 No.3 (Web), <http://www.imo.net/live/orionids2007/>
 Jenniskens & Vaubaillon 2008, EM&P vol.102, Issue1-4, p.157-167.
 Sato & Watanabe 2007, PASJ vol.59, No.4, p.21-24.
 Watanabe, Sato & Kasuga 2005, PASJ vol.57, No.5, p.45-49.
 Uchiyama 2008 (Web), <http://homepage2.nifty.com/s-uchiyanama/meteor/shwr-act/10oriact/ori-act.html>

2008年のしし座流星群のダスト・トレイル

佐藤 幹哉 (NMS・NAOJ・FAS)

2008年に接近するしし座流星群のダスト・トレイルについてまとめた。

【概要】

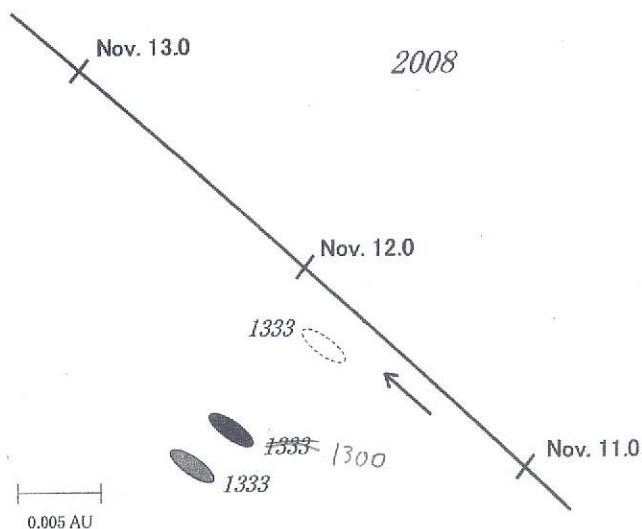
・ダスト・トレイルの状況を表にまとめた。1300年と1466年トレイルからの出現の可能性がある。

表 しし群のダスト・トレイルの状況

トレイル 放出年	日付 (UT)	期待される極大 時刻 (UT)	時刻 (JST)	LS (2000.0)	Δr (AU)	放出 速度 (m/s)	fM	予報 放射点位置 α (deg.)	δ (deg.)	Vg (速度) (km/s)	条件
1300	2008/11/11.79	18:52	11/12 03:52	229.637	-0.0026	+19.29	0.0041	150.16	+24.08	70.41	
1300	2008/11/11.86	20:35	11/12 05:35	229.709	-0.0097	+18.06	1.1	150.20	+24.03	70.58	※
1300	2008/11/11.89	21:24	11/12 06:24	229.743	-0.013	+17.69	0.32	150.21	+23.99	70.66	
1466	2008/11/17.01	00:10	11/17 09:10	234.893	-0.0044	+7.78	0.082	153.43	+22.18	70.69	
1466	2008/11/17.03	00:39	11/17 09:39	234.913	-0.0051	+7.82	0.032	153.43	+22.14	70.71	
1466	2008/11/17.05	01:06	11/17 10:06	234.932	-0.0010	+8.54	0.42	153.48	+22.21	70.60	◎
1466	2008/11/17.12	02:46	11/17 11:46	235.002	+0.0031	+9.15	0.019	153.56	+22.26	70.50	

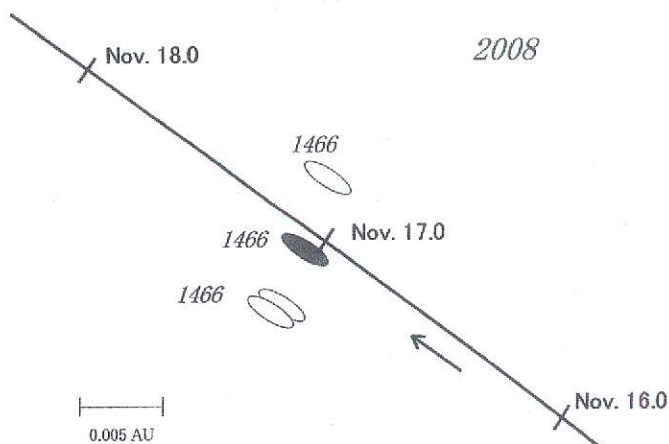
【1300年トレイル】

- ・11月11～12日に接近する。
- ・最も濃い部分は、fM値が1.1である。実際には20回帰目であるが、数値上は1回帰トレイル程度の濃さとなる。
- ・ただしこの部分は、0.01AU離れていて、流星出現に関与するかどうかは微妙である。
- ・一方で0.0026AUまで接近する部分があるが、こちらはfM値が0.004と非常に引き延ばされた部分であり、条件はあまり良くない。
- ・放出速度は17～19m/sで、あまり明るい部分ではない。このため、この時期の出現を検出するのは少々難しいかもしれない。
- ・ただし、日本時刻で12日の4時～6時頃なので、観測は可能である。



【1466年トレイル】

- ・11/17に接近する。
- ・最も濃い部分は、fM値が0.42である。実際には16回帰目であるが、数値上は2～3回帰程度の濃さに相当する。
- ・接近距離は0.001AUである。これは、数値上はかなりの出現が期待される値である。場合によっては、100個/時程度となるかもしれない。
- ・放出速度は7～8m/sで、明るい流星が多めに出現する可能性がある。
- ・このほかにも接近傾向の部分が数多く存在するため、分布は少々広いことが予想される。極大自体は数時間に渡ることが考えられる。
- ・しかし日本では夜明け後にあたり（最も接近する部分が10:06、全体として9時～12時頃）、光学的な観測は難しい。電波観測による検出が期待される。



2009年のしし座流星群の出現予報(第一報)

佐藤 幹哉 (NMS・NAOJ・FAS)

【概要】

2009年には、15世紀から16世紀にかけて、母天体テンペル・タットル彗星 (55P/Tempel-Tuttle) から放出されたダストが作るダスト・トレイルと地球が接近する。J. Vaubailion 氏らは、1466年放出のダスト・トレイルによって ZHR=500 程度のしし群の出現がもたらされると予報している。

(<http://www.imcce.fr/en/ephemerides/phenomenes/meteor/DATABASE/Leonids/2009/index.php>)

今回、当方の計算結果を示し、実際の出現状況について第一報として考察する。

【計算結果】

2009年に接近するおもなダスト・トレイルを表と図にまとめた。

表 しし座流星群のダスト・トレイルの状況 (2009年)

トレイル 放出年	日付 (UT)	期待される極大 時刻 (UT)	時刻 (JST)	LS (2000.0)	Δr (AU)	放出 速度 (m/s)	fM	予報 放射点位置 α (deg.)	δ (deg.)	Vg (速度) (km/s)
1466	2009/11/17.88	21:12	11/18 06:12	235.524	-0.00085	+10.10	0.085	153.97	+22.11	70.61
1466	2009/11/17.91	21:52	11/18 06:52	235.552	-0.00066	+10.25	0.031	153.97	+22.08	70.61
1533	2009/11/17.90	21:30	11/18 06:30	235.536	+0.00031	+12.68	0.083	154.30	+22.89	70.44
1533	2009/11/17.89	21:17	11/18 06:17	235.527	-0.00053	+13.01	0.012	154.26	+22.82	70.47

表と図の通り、2009年にはおもに1466年と1533年のダスト・トレイルが地球に接近する。これらの接近距離は一般的な大出現となる目安の0.001AUよりも近く、確かにそれなりの出現が予想される。

【他との比較】

1466年のダスト・トレイルは、2008年にも地球と接近した。このダスト・トレイルによる出現は、ZHR=99 (11/17 2:04 UT, IMO) として観測された。この2008年のケースと2009年の状況を比較する。また、J. Vaubailion 氏の予報とも比較する。

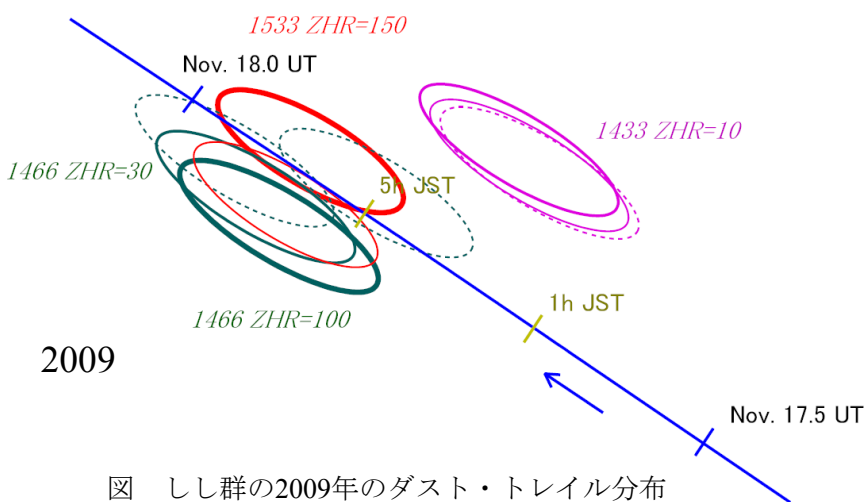


図 しし群の2009年のダスト・トレイル分布

表 2008年との条件の比較と、計算者ごとの状況の比較

計算者	出現年	放出年	極大予報 時刻	Δr (AU)	放出 速度 (m/s)	fM	ZHR	実際の 極大
M. Sato	2008	1466	01:06	-0.0010	+8.54	0.42	100	2:04
	2009	1466	21:12	-0.00085	+10.10	0.085	100?	?
	2009	1533	21:30	+0.00031	+12.68	0.083	150?	?
Vaubailion	2008	1466	0:54	-0.003683		0.377	130?	2:04
	2009	1466	21:43	+0.000447		0.195	500?	?

当方の計算の場合、fM値が2008年の約5分1である。確かに距離は近くなるが、1466年、1533年どちらのトレイルもせいぜいZHRで100台ではないかと推測している。

一方、Vaubailion 氏の計算では、2008年の

接近距離が約0.004AUと、かなり遠く計算されている。このため、2009年には出現数が大幅に増加すると期待しているようだ。またfM値は、2008年については、当方とほぼ同じだが、2009年については当方の計算より大きく、2008年の約2分の1程度である。これらの計算結果の違いから、Vaubailion 氏のZHR値について2009年は500という大きな値が出てきていると推測される。

ただし、2008年の予報極大時刻については、Vaubailion 氏、当方ともに1時間程度も誤差がある。これらの状況から、11月までにはさらなる詳細な検討が必要と考えられた。

オリオン座流星群： 最近の出現状況と2009年の観測条件

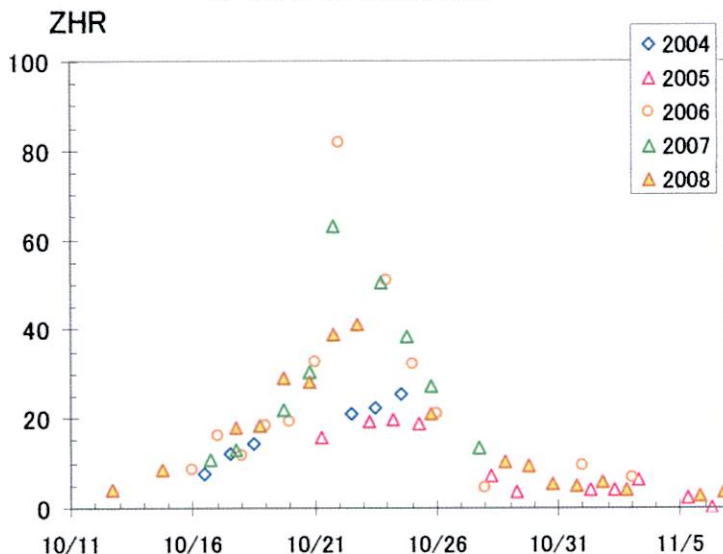
内山 茂男

◎ 2004～2008年の速報集計結果より

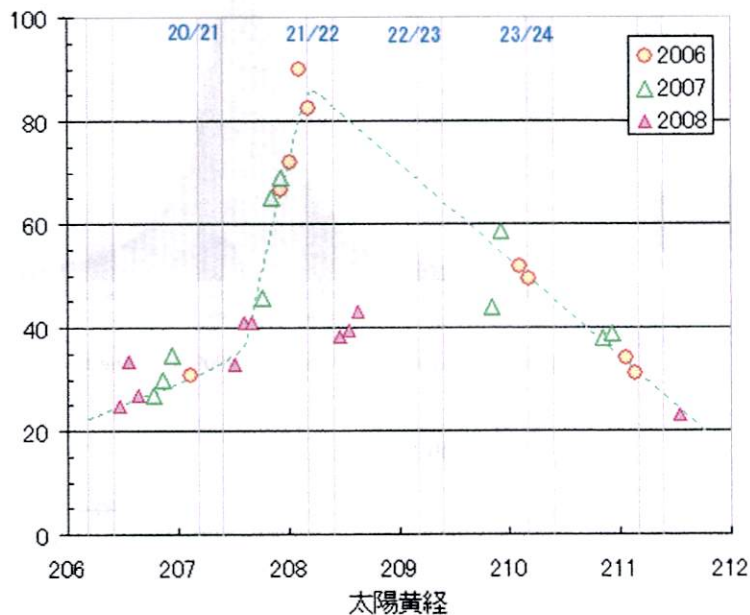
* 平年はZHR 20程度で高原状ピーク。
(04, 05年)

* 2006年から活発な出現
06年 ZHR 80程度
07年 ZHR 60程度
08年 ZHR 40程度

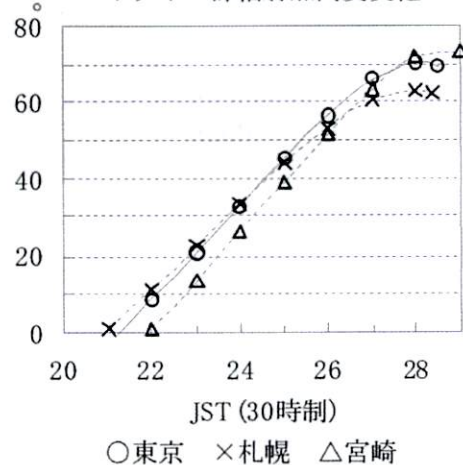
オリオン群 出現状況



ZHR オリオン群 2h集計



オリオン群輻射点高度変化



- * 2時間毎の集計をよく見ると、2006年と2007年の出現はよく似ている。
- * 2008年の出現も太陽黄経 207.7度までや 211.5度では2006・2007年の出現とほぼ一致する。
- * 06・07年のピーク（と思われる付近）が、09年には「日本の夜」にあたっている（10月21/22日）。
- * 太陽黄経 209度付近は過去3年間、観測データなし（天候不良等）。
- * 2009年は10月18日が新月。→ 月明かりの影響はまったくなし。

○ 2009年注目の夜

- No.1: 10月21/22日
- No.2: 10月22/23日
- No.3: 10月23/24日

2009年しし座流星群： Lyytinen 予測に基づく日本での出現予測

内山 茂男

◎ 2009年しし座流星群のダストトレイル

- * 1466年トレイル（16公転）と1533年トレイル（14公転）に地球が接近。
- * 2本のトレイルはほぼ同時に接近。合成された極大は太陽黄経235.535度、11月18日6h28mJST。
- * 合成 ZHR 145 =
65（1466年）+60（1533年）+20（通常）
- * 2008年にも1466年トレイルが接近。Lyytinen のモデルでは ZHR 45。観測された ZHR は 100。
→ 1466年トレイルは最近のトレイルよりダスト密度2倍。
→ その頃は母彗星の活動が今より活発？
→ すると1533年トレイルも若いトレイルの2倍？
→ 観測される ZHR は2倍程度の可能性あり。
(Vaubaillon 予測では6h43mJST、ZHR 500)

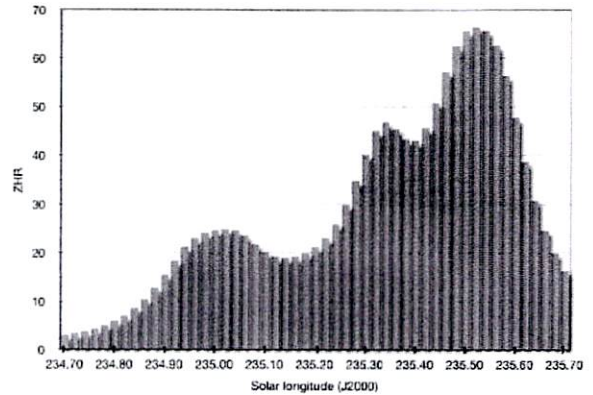


Figure 2 - Prediction for the year 2009 from the trail 1466.

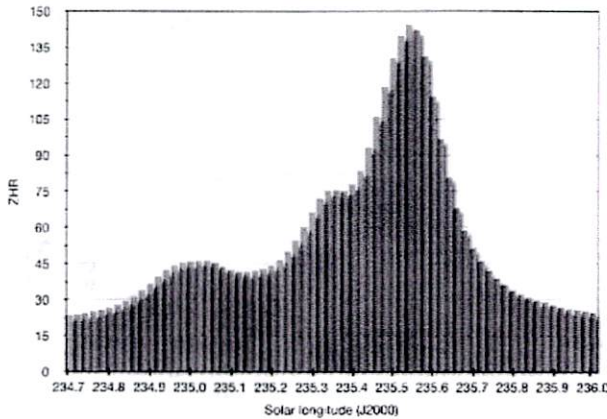


Figure 4 - Prediction for the year 2009 from trails 1533 and 1466 with annual component.

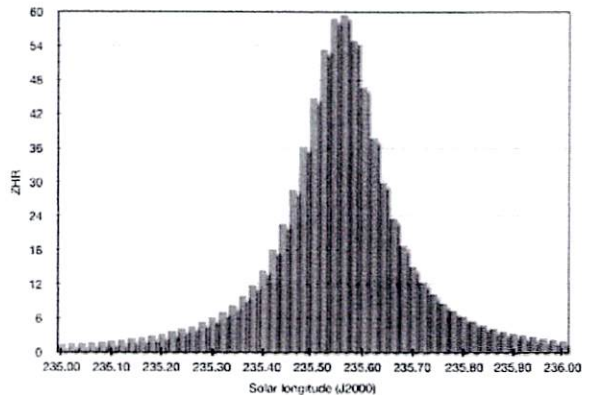


Figure 3 - Prediction for the year 2009 from the trail 1533.

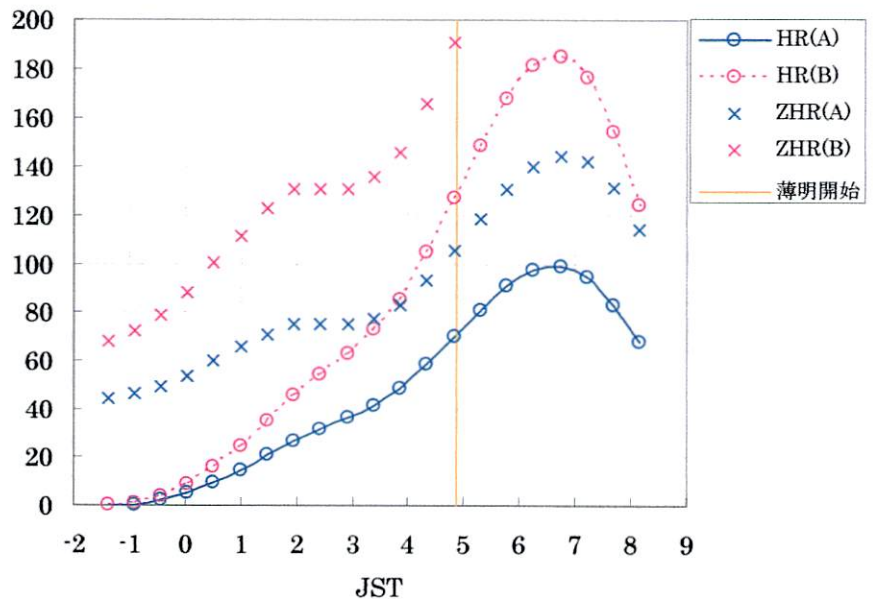
◎ 日本での出現予測

- * HR は次の条件下で計算
 - ・場所は東京
 - ・最微星は6.0等
- * ZHR(A)は Lyytinen 予測
ZHR(B)はトレイル成分2倍
- * 薄明開始時の HR は、沖縄で15%増（主に薄明が遅い影響）。

参考文献

“Predictions for the 2009 Leonids from a technically dense model”, Esko Lyytinen and Markku Nissinen, WGN 37:4 (2009).

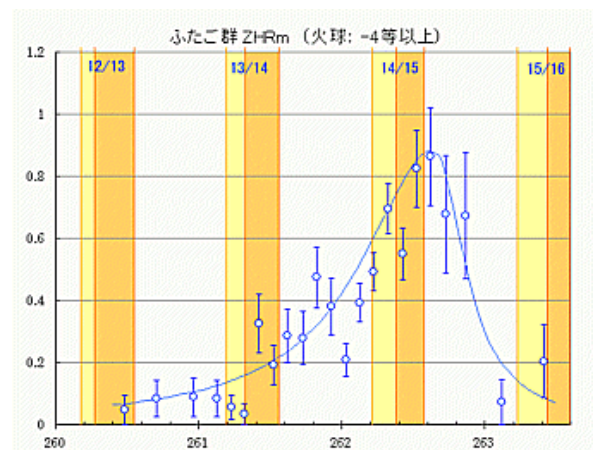
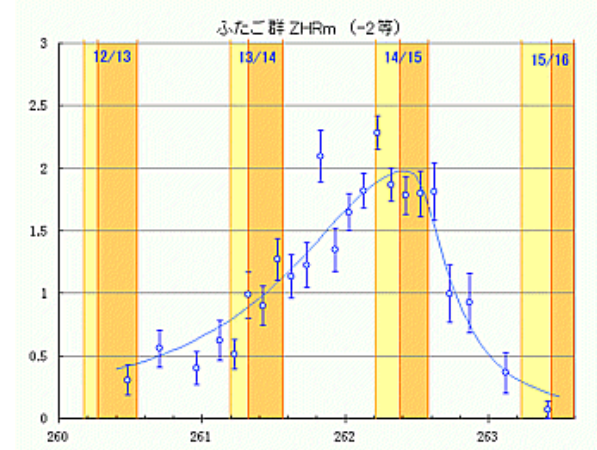
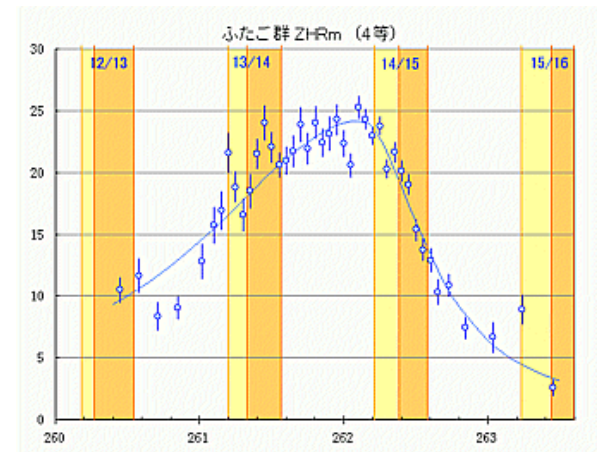
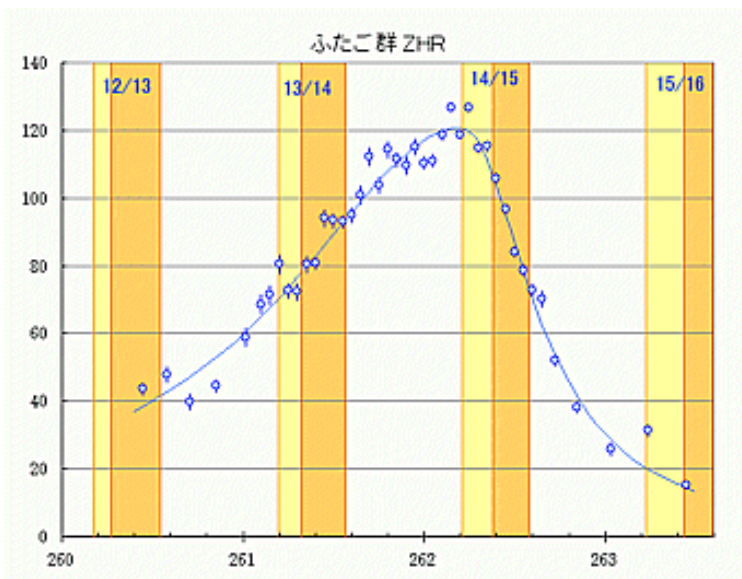
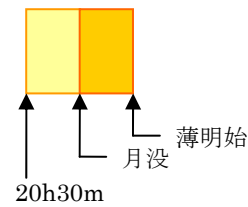
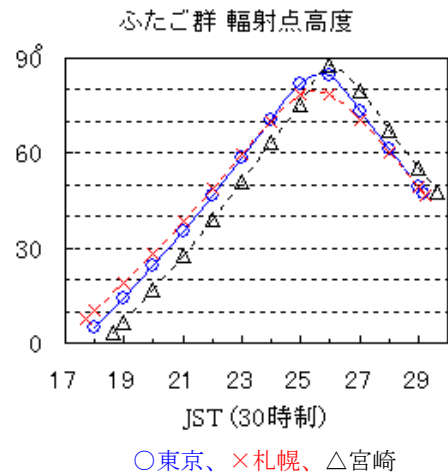
2009 LEO



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。

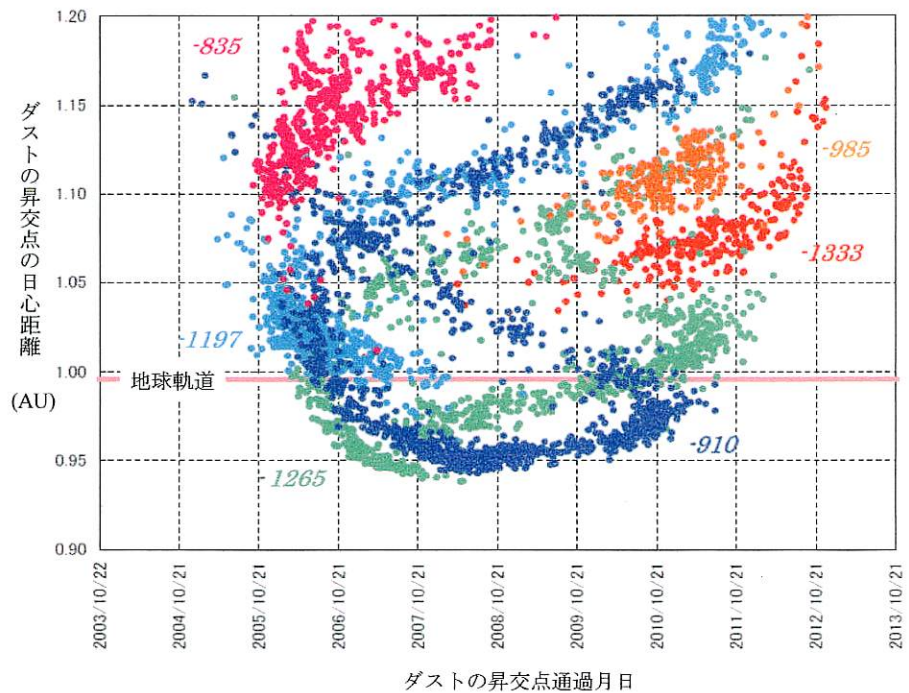


図 オリオン座流星群のダストの分布

【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

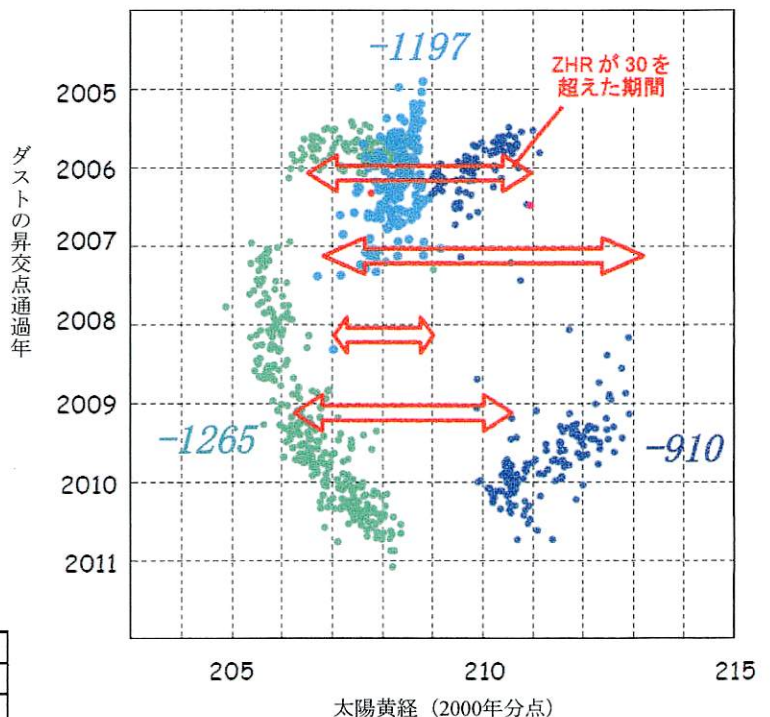


図 地球と0.02AUまで接近するダストの太陽黄経分布

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。

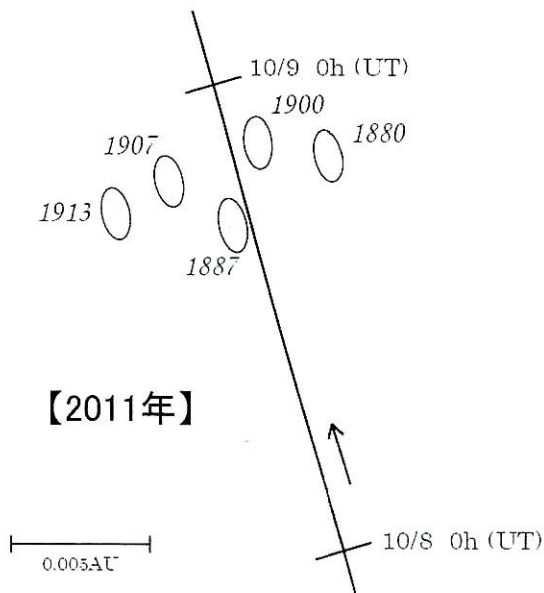
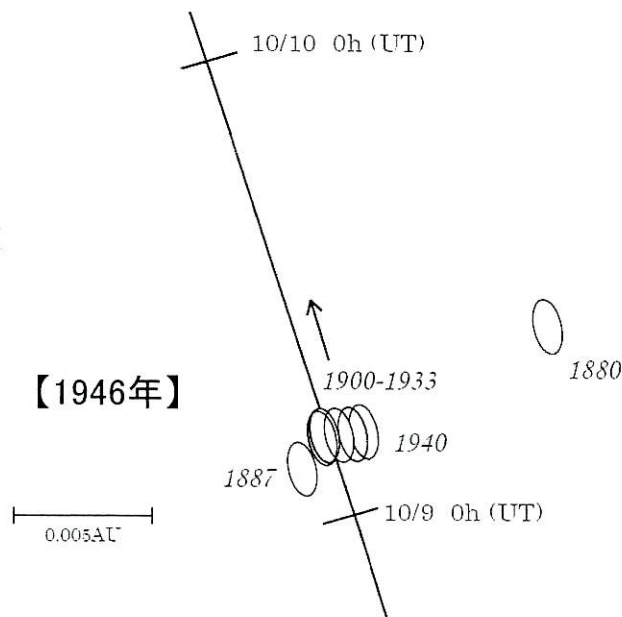
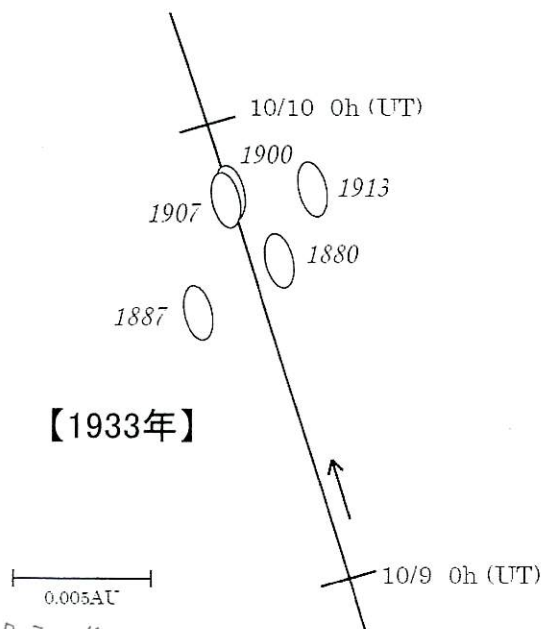


表 2011年のダスト・トレイルのデータ

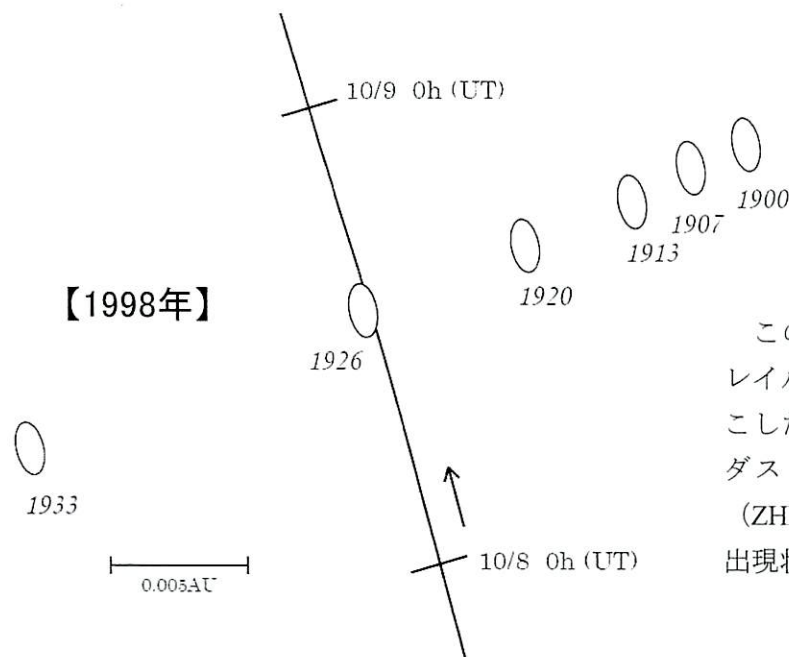
トレイル 放出年	日付 (UT)	期待される極大		LS (2000.0)	Δr (AU)	放出 速度 (m/s)	fM	予報 放射点位置		Vg (速度) (km/s)
		時刻 (UT)	時刻 (JST)					α (deg.)	δ (deg.)	
1880	2011/10/08.79	19:04	10/09 04:04	194.991	+0.0033	+2.99	0.0068	263.09	+55.75	20.80
1887	2011/10/08.71	17:05	10/09 02:05	194.909	-0.00071	+1.68	0.0070	263.26	+55.30	20.74
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		
	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）。

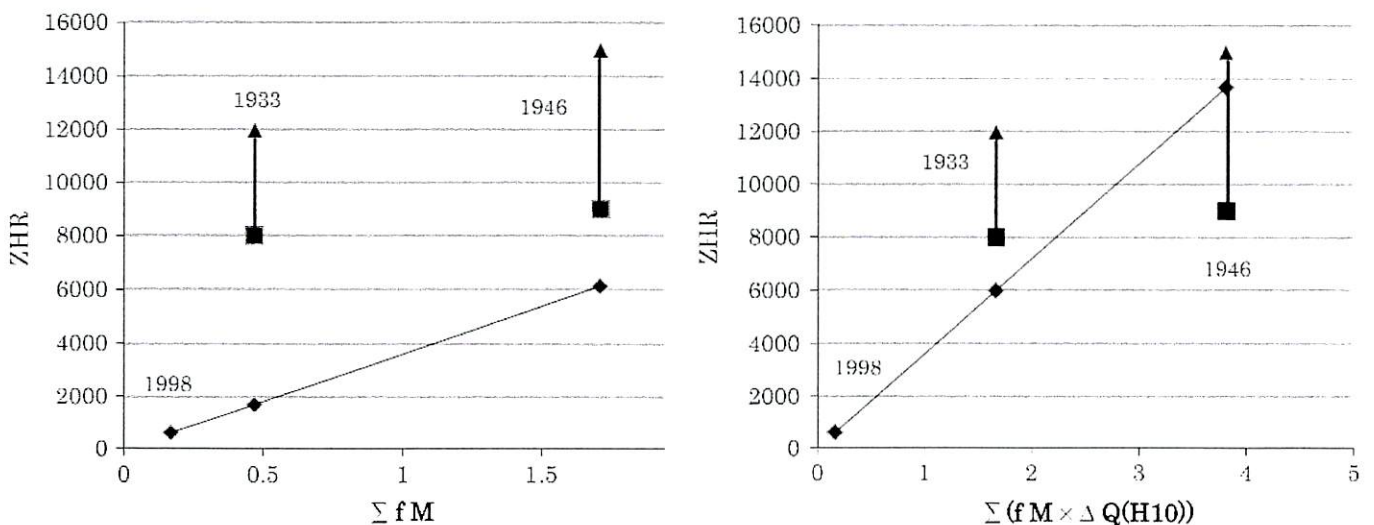


図 fM値の総和とZHRの関係

※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

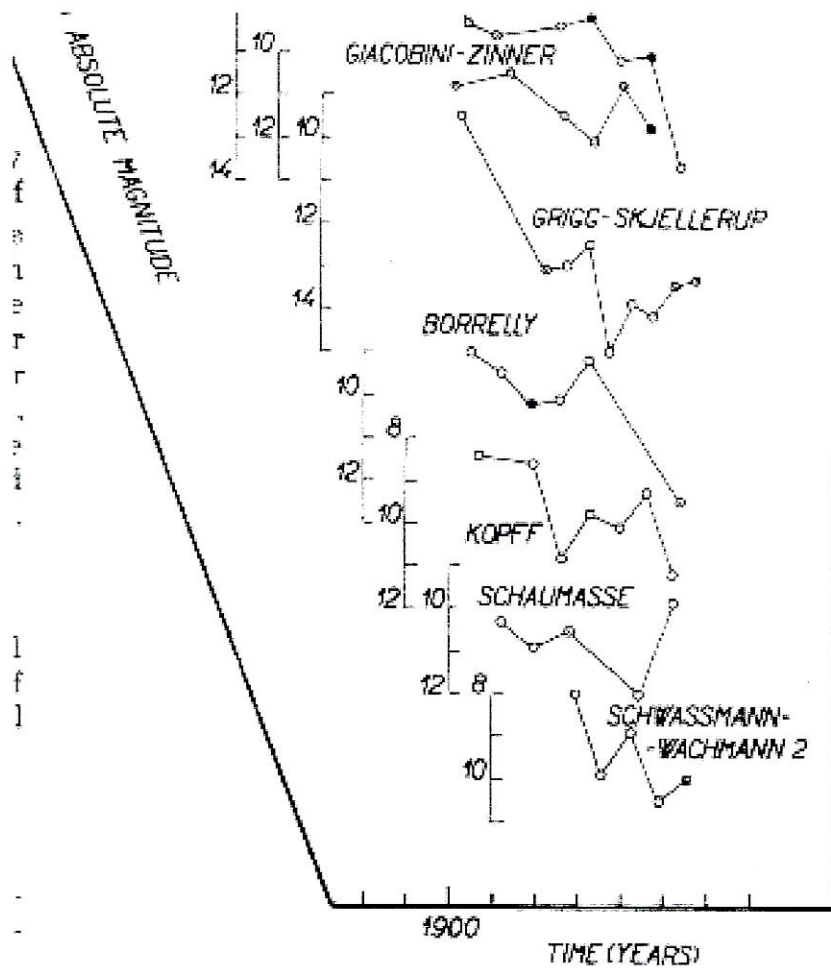


図 周期彗星の標準光度の推移
 ※Sekanina (1964)

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	
1998	1900	0.17	0.17	10.8	0.54	0.17
	1926	0.17		12.0	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）

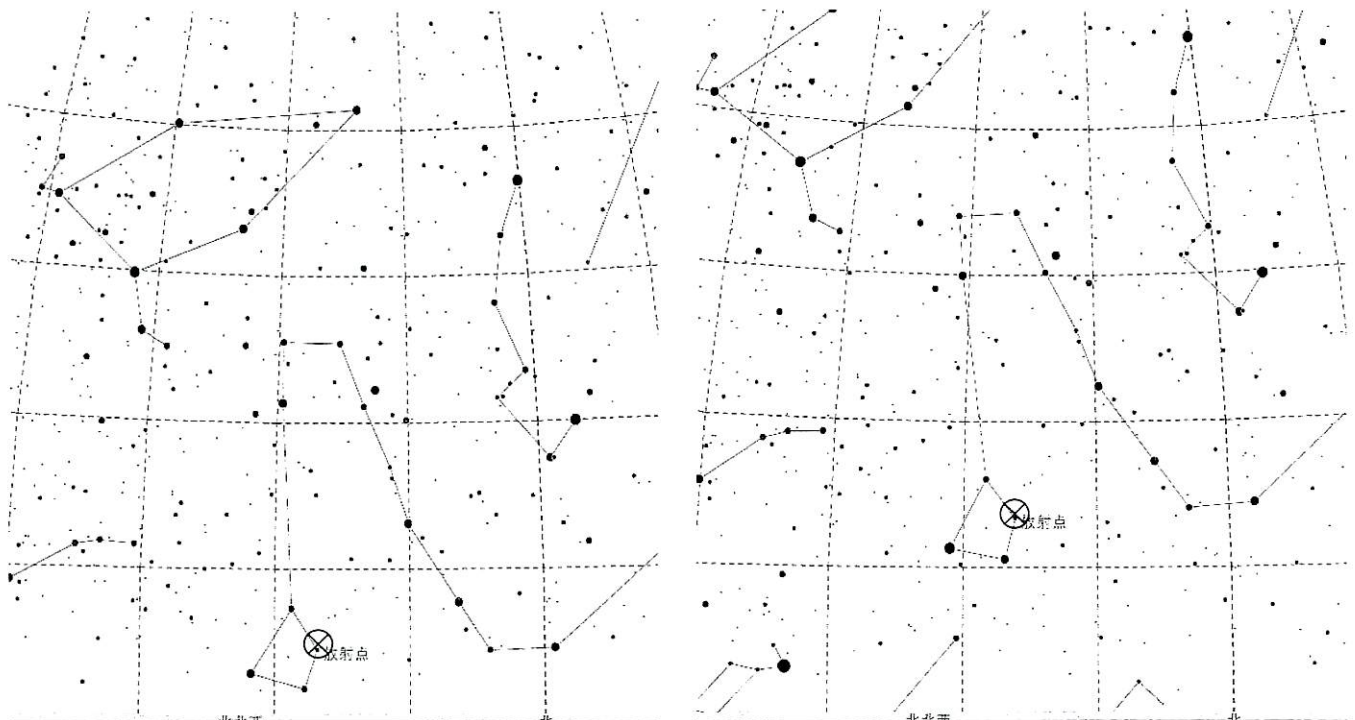


図 1887年トレイル極大の時の放射点の位置
左：東京、右：稚内

10月りゅう座流星群 (ジャコビニ群)
2011年の日本での観測条件と出現状況予測

内山茂男 (NMS)

2011年10月8/9日のダストトレイル予測				
トレイル	極大時刻 (JST)	ZHR	FWHM	研究者
1887年	02:05	70		佐藤幹哉
1873-1894年	02:09	60?		Jeremie Vaubaillon
1887年	02:02	16	25分	Esko Lyytinen
1900年	05:36	520		佐藤幹哉
	04:57	600		Jeremie Vaubaillon
	05:12	150	70分	Esko Lyytinen

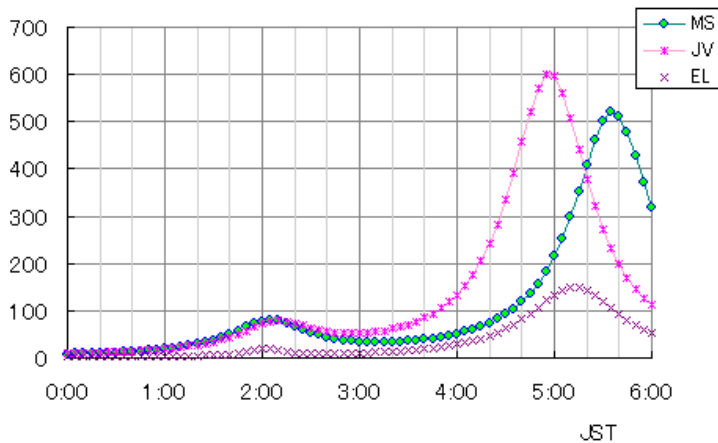


図 1. 予測 ZHR

- 仮定(1) ローレンツ曲線
- (2) 佐藤と J.V は FWHM 公表なし
→ FWHM を 1 時間と仮定
- 補足(1) 日出は 5:42 (東京値)
- (2) 月没は 2:54 (東京値)

図 2. 輻射点高度

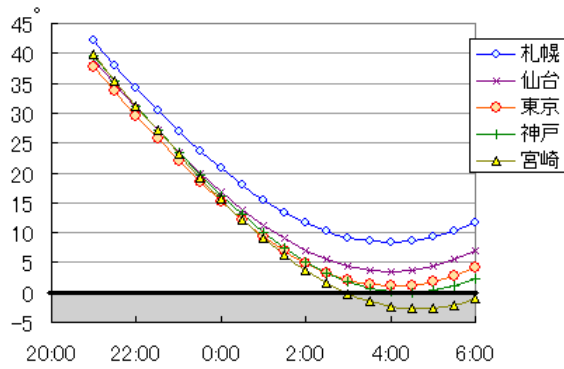


図 3. 輻射点高度 (天頂引力考慮)

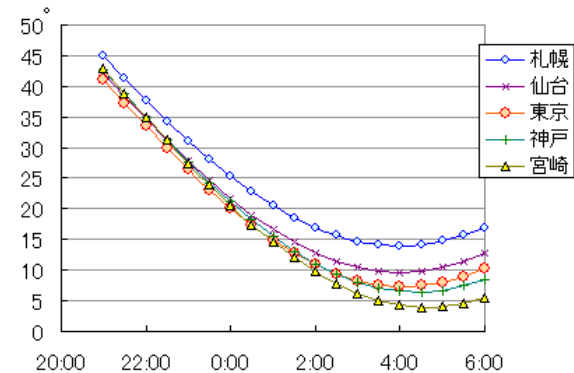
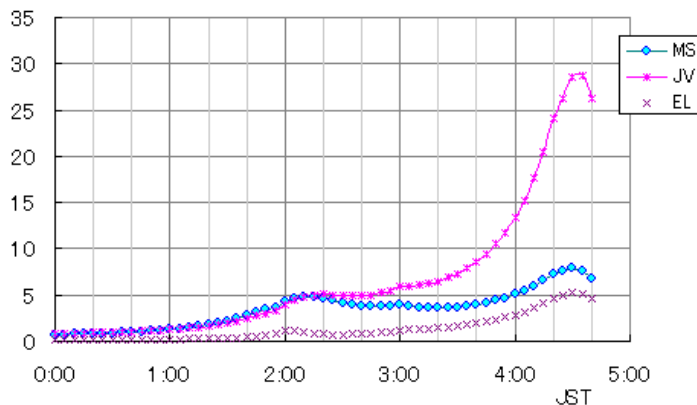


図 4. 予測 HR (関東)



- HR 仮定 (1) 月没後薄明前の最微星 6.2 等。
- (2) 月明かり・薄明の影響は適当

まとめ

1. 日本では条件は良好ではないが、観測可能な出現数は期待できる。
2. 出現数予測はもともと難しい。日本での出現数も観測してみないとわからない。
3. 輻射点高度が低いことで、長経路の群流星が期待できる。りゅう群は非常にゆっくり。見る価値は高い！

10 月りゅう座流星群(ジャコビニ群)の 2011 年の出現予報時刻と

実際の観測値の差に対する考察

佐藤 幹哉*

Examination of the difference between prediction and observation peak time about
October Draconids (Giacobinids) in 2011

Mikiya Sato*

10 月りゅう座流星群の 2011 年の出現が複数の研究者によって予測された。実際に、予測に近い極大が観測されたが、予測自体には約 40 分のばらつきがあり、精度があまり良くないと判断された。この原因として、使用した母天体の軌道要素の差違が考えられるため、これについて検討を行った。その結果、極大予測には、軌道要素の差異はほとんど影響せず、実際の観測結果に非常に近い結果を導き出すことが判明した。

一方で、筆者の以前のシミュレーション結果と、今回の結果との間に矛盾が生じたため、これについて精査を行った。その結果、以前の使用した軌道要素の元期の処理が正しくなかったことが判明した。正しく行われたシミュレーション結果は、実際の観測結果をよく表せている可能性が高い。

1. イントロダクション

1-1 10 月りゅう座流星群

10 月りゅう座流星群(旧ジャコビニ流星群)は、ジャコビニ・ツィナー彗星(21P/Giacobini-Zinner)を母天体とする流星群である。母天体の回帰時期の前後に時折活発となり、過去には 1933 年と 1946 年に活発な流星雨が観測されている。ところが、1972 年には非常に観測条件が良いと予想されながらも不出現に終わったり、反対に、観測条件が悪いと予想された 1985 年や 1998 年に突発的な多い出現が観測されたりするなど、かつては、出現予報が困難な流星群だと考えられていた。

1-2 ダスト・トレイル理論による予測

一方で、ダスト・トレイル理論という新たな手法による予測研究が行われ、1998 年頃からのしし座流星群の出現予測が報告されるようになった(McNaught & Asher 1999)。実際に 2001 年や 2002 年の流星雨がほぼ予報通りに出現し、流星群の予測が可能となってきている。

その後、ダスト・トレイル理論を用いた研究は、しし座流星群以外の流星群でも適用されるようになった。筆者は、10 月りゅう座流星群の 1998 年の突発出現および 1999 年の中規模出現について検証を行い、ほぼ理論通りに出現し

たことを報告している(Sato 2003)。

1-3 2011 年の出現予測

2011 年には、10 月りゅう座流星群の出現予測が複数の研究者によって報告された(Vaubailon, Watanabe, Sato et al. 2011, Maslov 2011, Vaubailon, Sato, Moser et al. 2011)。表 1 にこれらの予報の概略をまとめた。この流星群についての予測が報告されたのは、ダスト・トレイル理論による予報研究がなされて以来、初めてのことである。これらの予報に基づき、世界的規模で観測が計画・実施された。その結果、実際にこの流星群の活発な出現が観測された。筆者も、ウズベキスタンのマイダナク天文台にて、この観測に臨み、ほぼ予報通りの出現を検出している。

1-4 出現予測のばらつき

一方で、主極大(1900 年に放出したダストが形成したダスト・トレイルによる出現)の予報時刻は、各研究者によって若干のばらつきが見られた。範囲は、10 月 8 日 19:57 から 20:36(世界時)に渡り、その時間幅は約 40 分であった。

実際の観測では、速報値として 20:12 の極大が報告されている(IMO 2011, web)。これは、結果的に予測値のばらつきの中央近くであった。この予測の精度は、観測に臨

*川崎市青少年科学館 (かわさき宙と緑の科学館)

* Kawasaki Municipal Science Museum

表 1 各研究者による極大予測結果

研究者	第一極大(副極大)			第二極大(主極大)		
	トレイル (放出年)	時刻 (世界時)	予想 ZHR	トレイル (放出年)	時刻 (世界時)	予想 ZHR
Jeremie Vaubaillon ¹⁾	1873~1894	17:09	~60?	1900	19:57	~600
Danielle Moser ²⁾		15:00		-	19:52	~750
Esko Lyytinen ²⁾	1887	17:02	16	1900	20:12	150
Mikhail Maslov ³⁾	1894	18:06	8	1900	20:13	40~50
筆者 ¹⁾	1887	17:05	75	1900	20:36	520

1) Vaubaillon, Watanabe, Sato et al. 2011、2) Vaubaillon, Sato, Moser et al. 2011、3) Maslov 2011

準備面からみた場合には十分な精度であったが、研究面から考えると、良い精度ではないと判断できる。このばらつきの一因として、使用している軌道要素の違いにあるのではないかと考えた。今回の主極大を形成したダスト・トレイルは、母天体のジャコビニ・ツィナー彗星(21P/Giacobini-Zinner)が発見された1900年にダストが放出されて、形成されたものである。当時の観測精度を考えると、位置観測の採用の是非等によって、計算される軌道が異なる可能性があるからである。そこで本論文の目的は、1900年の軌道要素を複数使用して2011年の極大時刻を計算し、これを実際の観測結果と比較し、その結果より観測結果に近い極大時刻となる軌道要素を見出すことに設定した。

2. 研究手法

2-1 シミュレーション計算

ダスト・トレイルの位置のシミュレーション計算は、最

も単純なダスト・トレイル理論の手法によった。母天体からのダスト(流星体)の放出時期は、近日点通過時に1回とした。ダストの放出方向は、近日点における母天体の運動方向及びその反対方向とした。ダストの放出速度は、 $-20\text{m/sec} \sim +20\text{m/sec}$ (マイナスは、母天体の運動方向の逆方向、プラスは、母天体の運動方向)に設定し、この範囲内で2011年に回帰するダスト・トレイルを見出すことにした。摂動計算には、8惑星、冥王星、3小惑星(ケレス・パラス・ベスタ)、月の重力を考慮した。なお、太陽の光圧の影響は考慮しなかった。

2-2 軌道要素

使用した軌道要素を表2にまとめた。

3. 結果

シミュレーション結果を表3に示した。なお ΔM 値は、ダスト・トレイルの引き伸ばされ具合の目安で、接近するトレイルの部分について、実際に黄道面を通過する時間を

表2 計算に使用した軌道要素

	軌道要素 1	軌道要素 2	軌道要素 3
近日点通過 (T)	1900 Nov 28.49587	1900 Nov 28.49650	1900 Nov 28.50300
近日点距離 (q) AU	0.9315160	0.931516	0.9315163
離心率 (e)	0.7315644	0.731570	0.7315674
近日点引数 (ω) °	171.04558	171.0457	171.04561
昇交点黄経 (Ω) °	198.13622	198.1360	198.13599
軌道傾斜 (i) °	29.82922	29.8295	29.82954
元期	1900 Dec 7	1900 Dec 7	1900 Dec 7
出展	1)	2)	3)

1) Kinoshita 2011, <http://jcometobs.web.fc2.com/pcmtn/0021p.htm>

2) JPL 2011, Small-Body Database Browser, <http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi>

3) MPC 2011, Minor Planet & Comet Ephemeris Service, <http://www.minorplanetcenter.net/iau/MPEph/MPEph.html>

表 3 結果

	極大		太陽黄経 ²⁾	$\Delta r^{3)}$ (AU)	放出速度 (m/s)	fM
	日付 ¹⁾	時刻 ¹⁾				
軌道要素 1	2011 Oct 08.84	20:09	195.0358	-0.00137	+8.27	0.052
軌道要素 2	2011 Oct 08.84	20:10	195.0360	-0.00137	+8.34	0.052
軌道要素 3	2011 Oct 08.84	20:09	195.0358	-0.00136	+8.30	0.052

1) 世界時、2) J2000.0 (2000.0 年分点)、3) ダスト・トレイルの降交点における地球軌道との距離

Δt_0 、同部分が惑星による摂動が無いと仮定したときの 1 回帰後に黄道面を通過する時間を Δt としたとき、以下の式(1) によって求められる。

$$fM = \Delta t_0 / \Delta t \dots\dots式(1)$$

惑星の摂動が無いと仮定した場合、n 回帰後の fM 値は、 $1/n$ となる。

計算した 3 種類の軌道要素毎のシミュレーション結果には、ほとんど差違が見られなかった。すなわち、極大時刻は約 1 分以内で一致し、地球軌道との距離も 0.00001AU 以内で一致した。fM 値についても完全に一致し、すなわち出現規模の予測値にも差もない結果となった。

前節でも述べたとおり、本群の実際の観測から得られた 10 月りゅう座流星群の極大 (速報値) は、2011 年 10 月 8 日 20:12 (UT) であった。したがって、今回得られた結果は、約 3 分の精度で実際の観測と一致することが判明した。この結果は、非常に高い精度で計算できたと判断できる。

4. 考察

4-1 1900 年放出ダスト・トレイルについて

今回の結果から、軌道要素の差違に関わらず、非常に高い精度で 2011 年の 10 月りゅう座流星群の極大をシミュレーションできることが判明した。

一方で、筆者は Vaubaillon, Watanabe, Sato et al. 2011 の中で、その極大の予報時刻を 10 月 8 日 20:36 として報告している。これは、軌道要素 2 を使用して計算した結果であり、今回の結果と矛盾する。そこで、以前の計算手法を精査したところ、使用した軌道要素の元期を処理する段階で、正しくない処理がされていることが判明した。表 2 に示したとおり、軌道要素の元期は、一般的に近日点と一致しない日付となっている。このため、母天体の近日点通過時の正確な軌道要素は、元期を近日点通過時に変換して求めなければならない。しかしながら、この段階の処理が正しくないことが判明した。

実際の観測との差によって、シミュレーションについての精査ができたことは、有意義なことであった。

4-2 1900 年以外の年に放出されたダスト・トレイル

今回の結果を得たため、1900 年に放出したダストが形成するダスト・トレイルだけではなく、他のダスト・トレイルについても再度計算を実施した。その結果を表 4 にまとめた。計算には、軌道要素 2 と同じ出展の軌道要素を使用した。

また、国際流星機構 (IMO) の観測結果と、新たに計算した結果の極大予測との関係を図 1 に示した。この図からも、1900 年放出ダスト・トレイルによる主極大が観測

表 4 2011 年に接近するダスト・トレイル

トレイル (放出年)	極大		太陽黄経 ²⁾	$\Delta r^{3)}$ (AU)	放出速度 (m/s)	fM
	日付 ¹⁾	時刻 ¹⁾				
1880	2011 Oct 08.69	16:31	194.8861	-0.00178	+1.24	0.0045
1887	2011 Oct 08.71	17:00	194.9062	-0.00088	+1.59	0.0078
1894	2011 Oct 08.75	18:02	194.9487	+0.00108	+2.31	0.013
1900	2011 Oct 08.84	20:10	195.0360	-0.00137	+8.34	0.052

1) 世界時、2) J2000.0 (2000.0 年分点)、3) ダスト・トレイルの降交点における地球軌道との距離

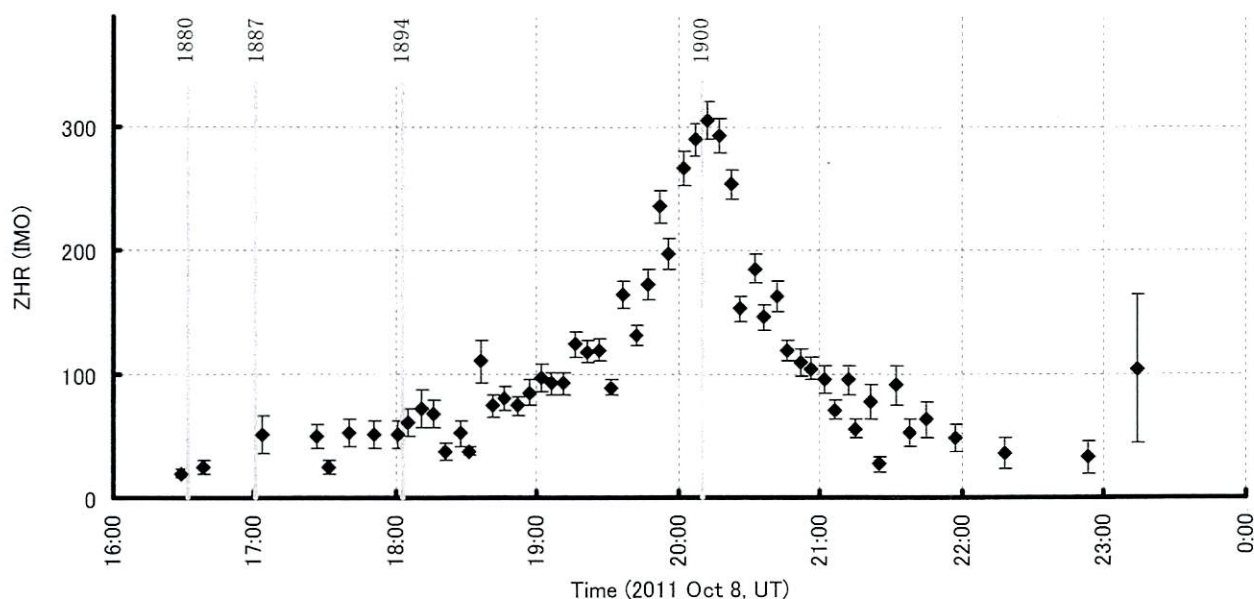


図1 実際の観測からの集計結果¹⁾と予報極大²⁾の比較

1) IMO 2011, web、2) 数字は各ダスト・トレイルのダストの放出年を示す。

されたことがよくわかる。またこの他、1887年や1894年に放出されたダストが形成したダスト・トレイルによっても、なんらかの活動が存在する可能性がうかがわれる結果となった。

5. 結論

10月りゅう座流星群(ジャコビニ群)の2011年の出現において、実際の観測結果に対して予報時刻がばらついてきたことに対する原因を、シミュレーション計算に使用した軌道要素の差違として検討を行った。その結果、軌道要素の差異による大きな差は見られないことが判明した。また、どの軌道要素を使用しても、実際の観測結果とよく一致する極大時刻の予測結果を得られた。

その一方で、筆者の過去の計算結果と、今回の計算結果に矛盾が生じていることが判明した。精査した結果、過去の計算においては、軌道要素の元期の処理に誤りがあったことが判明した。結果的に、実際の観測結果とシミュレーション結果の極大時刻の差を吟味する本研究によって、この計算上の誤りを検出することにつながった。正しく行われたシミュレーション計算結果は、実際の観測結果をよく表現している可能性が高い。

6. 参考文献

- IMO 2011, web, <http://www.imo.net/live/draconids2011/>
- Maslov 2011, WGN (Journal of IMO), Vol.39, No.3, p.64-67
- McNaught & Asher 1999, WGN (Journal of IMO), Vol.27, No.2, p.85-102
- Sato 2003, WGN (Journal of IMO), Vol.31, No.2, p.59-63
- Vaubailon, Sato, Moser et al. 2011, CBET No.2819
- Vaubailon, Watanabe, Sato et al. 2011, WGN (Journal of IMO), Vol.39, No.3, p.59-63

今日の 視天

星ナビ 2012年1月号

佐藤幹哉 (川崎市青少年科学館)

期待されながら不出現となった1972年。
予想外の出現となった1985年や1998年。
気まぐれとも思われる出現を繰り返したジャコビニ流星群も、
理論予報の時代に突入した。
予測通りに出現した2011年のジャコビニ群の観測結果を速報しよう。

ジャコビニ流星群が突発出現

■2011年に期待された二つの極大

2011年のジャコビニ流星群(注1)は、2本のダスト・トレイルによる極大が期待されていた(詳細は本誌2011年10月号の筆者記事を参照)。ひとつめは、母彗星であるジャコビニ・ツィナー彗星(21P/Giacobini-Zinner)が発見された1900年に放出されたダストが形成するダスト・トレイルによる極大である。予報時刻は10月9日の5時(日本時)前後で、ZHR(注2)の値が約500(筆者らの予報)にもおよぶことが期待される今回のメインのピークだ。時刻の関係で、こちらを第2極大と呼ぶことにする。

もうひとつは、母彗星が発見される前の1887年に放出され(注3)形成したダスト・トレイルによる極大である。予報時刻は同日2時(日本時)前後で、ZHRの規模は75程度(筆者らの予報)と小規模だが、もし確認できれば発見前にも母彗星が彗星活動をしていたことを示す重要な極大である。こちらは第1極大と呼ぶことにする。

第2極大は、主にヨーロッパで条件が良く、各地で多くの観測者が観測に臨んだ。一方、第1極大はロシアから中央アジアが好条件であった。ちなみに筆者らは、この第1極大の検出を観測目的とし、ウズベキスタンのマイダナク天文台に遠征した。

ジャコビニ群の眼視観測の結果は、国際流星機構(IMO)のウェブの報告フォームによって世界から観測データが集められた(注4)。

最新データによるZHRの値を、改めてグラフにまとめたのが図1である。これを見ると、10月9日5時頃(日本時)に明瞭なピークが観測されたことがよくわかる。極大時刻は同5時12分で、その時のZHRは306と報告されている。

筆者が遠征したウズベキスタンでも、このピークを快晴の空で観測することができた(写真1)。放射点が約15度と低かったため、実際に観測した流星数の最大は、5時15分を中心とする10分間に4個(HR=1時間当たり24個)と少なめだった(ZHR換算では約230)。しかし、ほぼ予測通りの時刻に出現を増やした流星を見ることで、今回の予測の正しさを実感できたものである。

グラフには、本誌2011年10月号で紹介し

た筆者の出現予測値も掲載した。第2極大の出現予測値のZHR=520と比較すると、実際の観測結果はその6割程度にとどまったが、現状での極大規模の予測精度を考えれば妥当な結果だったと思っている。

■極大の予報と実際のズレ

第2極大の予報時刻は、研究者によって9日4時52分~5時36分(日本時)と比較的ばらついていたが(表1)、実際の観測では5時12分となり、これらの中間の時刻に落ち着いた。このような極大予報時刻にずれが生じた原因のひとつに、計算に使用した母彗星の軌道要素の差異が挙げられる。今回のダスト・トレイルは、彗星発見年である1900年に放出したダストが形成したもののだが、当時の観測精度は現在よりは多少劣っているであろう。この結果、母彗星の放出当時の軌道要素自体に、ばらつきが生じている。

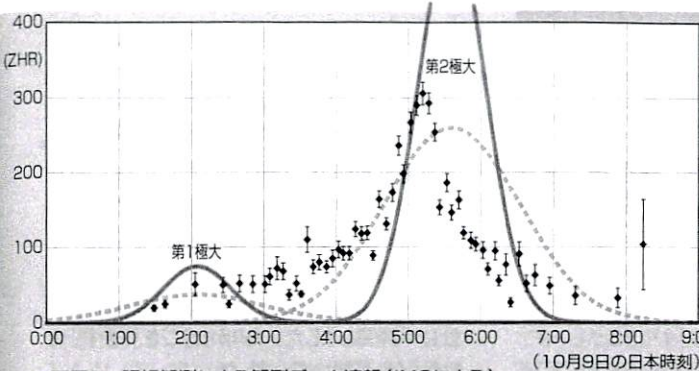
ちなみに筆者は、フランスの研究者であるヴォバイオン氏と母彗星の軌道要素を交換して計算したことがあるが、同じ軌道要素を使った場合には似た予測結果を示した。ということは、今回の観測結果に近い予測時刻を導いた軌道要素は「当時の彗星の軌道と良く合っている」と言える可能性がある。

一方、第1極大は、その有無が非常に不明瞭な結果となってしまった。実は、筆者が遠征したウズベキスタンでは第1極大の前後で雲が出てしまったため、良い精度での観測をすることができなかったのである。

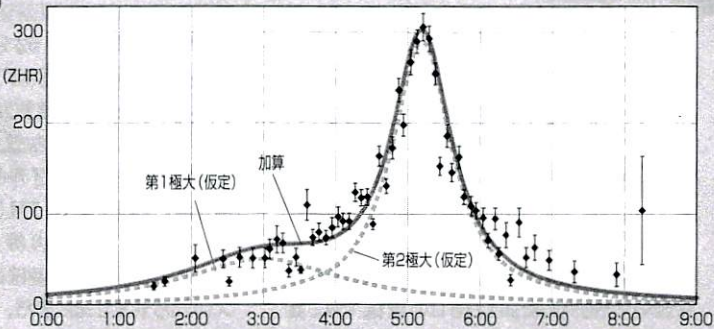
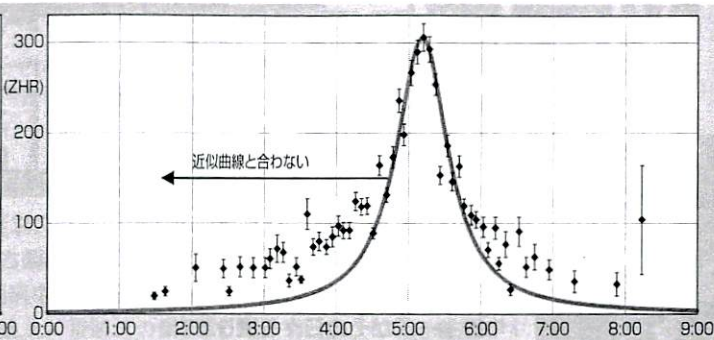
ここでもう一度グラフに注目してみよう。流

■写真1 ウズベキスタン・マイダナク天文台で捉えたジャコビニ群の流星
出現日時:10月9日4時56分47秒(日本時) 撮影:佐藤幹哉





■図1 眼視観測による観測データ速報 (IMOによる)
実線は、筆者によるZHRの予測値。点線は、半値幅が2倍になった場合の予測値。



■図2 観測データと近似曲線
上:第2極大付近を近似したもの 下:第1極大を仮定したものを合わせたもの

■表1 各研究者による予報

研究者	第1極大			第2極大		
	トレイル (放出年)	時刻 (日本時)	ZHR	トレイル (放出年)	時刻 (日本時)	ZHR
Jeremie Vaubailon	1873~1894	2:09	~60?	1900	4:57	~600
Danielle Moser				-	4:52	~750
Esko Lytinen	1887	2:02	16	1900	5:12	150
Mikhail Maslov	1894	3:06	8	1900	5:13	40~50
佐藤幹哉	1887	2:05	75	1900	5:36	520

http://airborne.seti.org/draconids/より (筆者の値は、より詳細なデータを示した)

星群の極大では「ローレンツ曲線」という曲線に近似すると良く合うことが知られている (注5)。図2の上のグラフは、第2極大の結果について暫定的に近似した曲線を描いてある。すると、極大の30分前にあたる4時40分頃 (日本時) までにはよく合うが、それより前の時間帯ではあまり合わないことが判明した。そこで下のグラフでは、3時頃をピークとするならかな第1極大を仮定し、第2極大 (若干修正) の曲線に加算した曲線を描いてみた。すると最初の曲線よりは、実際の観測結果に合っているように見えるのだ。

実際には、第2極大後の曲線でも同様の合わない部分が生じており、これを説明する必要もある。そもそも、出現分布がローレンツ曲線に沿うことが説明されていない。このようなことから、以上の結果をもって「第1極大が存在した」とは言い切れないが「もしかしたら第1極大が存在した可能性がある」くらいには、今年の出現をまとめておく必要がある。母彗星が発見前に活動していたかどうかについての結論が出せないのは残念だが、まだ発表されていない観測データにも期待したい。

■国内でも出現が捉えられた!

極大時刻における条件が悪かったものの、

国内でも熱心な観測者によってジャコビニ群の出現が捉えられた。日本流星研究会の内山茂男氏の集計 (注6) によれば、9日の明け方に向けて観測者数が増えており、流星の出現も9日5時 (日本時) にHR=8.8、ZHR=133を記録している (ただし誤差は大きい)。

この時のジャコビニ群の放射点は、ちょうど北の地平線近くを下方通過している頃で、例えば関東では地平高度が1度以下である。それにも関わらず流星が出現したのは、ジャコビニ群の速度が約21km/秒と遅く、地球の重力の影響を受けやすいことが利いている。地球の重力で流星の経路が地心の方向に若干曲げられると、結果的に放射点が浮き上がったような効果が得られるのだ。その結果、放射点はおよそ7度の高さにある場合と同様となり、ZHRの計算式から逆算すると、放射点が天頂にある時の1割強の流星が見られることになる。

実際、長野県で観測に臨んだ寺久保一巳氏と妹尾英樹氏 (ともにFAS府中天文同好会) は、9日の3時台から5時にかけて、HR=4~12の出現を捉えている。ちょうど第2極大に向かって流星数が増加中の時間帯である。この他にも、この群の観測レポートが掲載されている同好会の会誌・会報が、星ナビ編集部にも何冊も届いているようだ。

近い将来では、2012年や2018年にジャコビニ群の出現の可能性が示されている。しかしながら、今年の出現規模よりはかなり小さいものとなりそうだ。

今回の観測結果が、今後予報の精度を高める上で大変貴重なデータとなったことは間違いない。筆者のビデオ観測や、ヴォバイオン氏を中心としたヨーロッパの飛行機観測のデータ等、まだ解析中のデータもある。これらを参考に、より精度の良いジャコビニ群の予報をみなさんに提供できるよう、さらに研究を進めたいと思う。

注1:現在の正式な和名は「10月りゅう座流星群」。ただし本誌では、これまで親しまれてきた「ジャコビニ流星群」を使用しており、この記事でも同様に扱う。

注2:理想的な空で観測した場合の1時間あたりの流星数。実際に観測できる流星数は、これよりも少なくなる。

注3:筆者の研究では1887年の放出だが、研究者によって起源は若干異なる。いずれにしても母彗星発見前 (1873~1894年) に放出されたダストが形成するダスト・トレイルである。

注4:IMOのウェブページより
http://www.imo.net/live/draconids2011/

注5:ローレンツ曲線での近似方法は、以下の論文による。今回の結果も、正規分布曲線よりは、よく近似できる。ただし理論的な検証はされていないため、筆者の予測時での検討には、正規分布曲線を使用している。Jenniskens et al. 2000, "Successful Hybrid Approach to Visual and Video Observations of the 1999 Leonid Storm", WGN (Journal of the IMO), vol.28, p.58

注6:内山茂男氏のウェブページより
http://homepage2.nifty.com/s-uchiyama/meteor/shwr-act/10draact/dra-act.html

2月りゅう座η流星群のダスト・トレイル解析

佐藤 幹哉 (かわさき宙と緑の科学館/NMS/FAS)

【概要】

前回の流星物理セミナーにて、内山さんから紹介された「2月りゅう座η流星群」について、軌道を仮定してダスト・トレイル分布の解析を行った。

2月りゅう座η流星群:

2011年2月4日に検出された新流星群。詳細は、内山さんが前回紹介した以下の論文を参照のこと

P. Jenniskens and P. S. Gural 2011, WGN, Journal of the International Meteor Organization, vol. 39, no. 4, p. 93-97 "Discovery of the February Eta Draconids (FED, IAU#427): the dust trail of a potentially hazardous long-period comet"

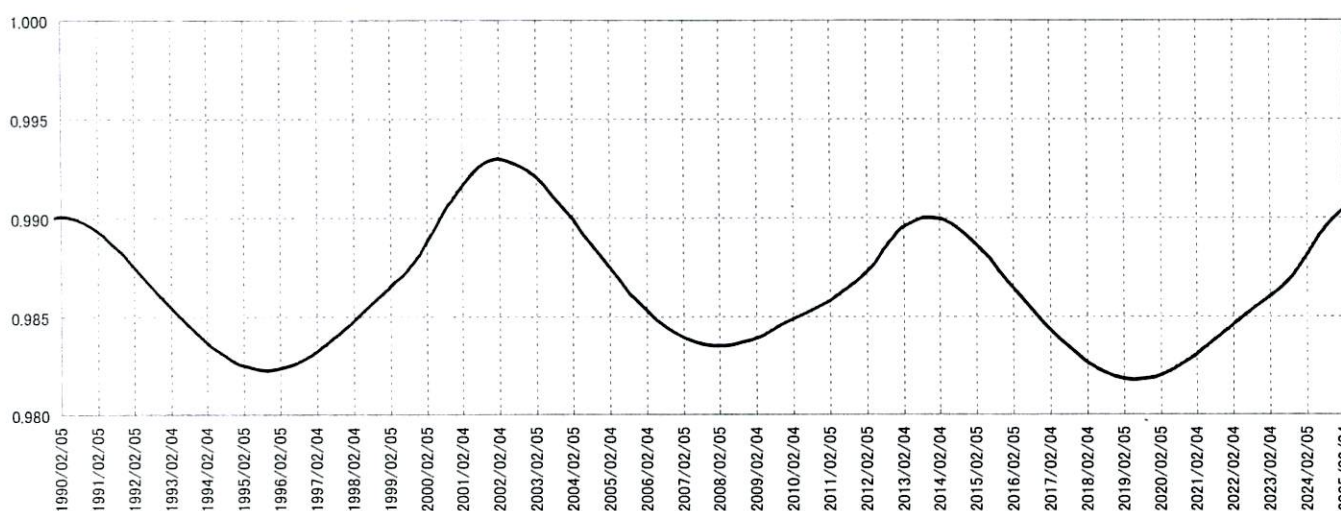
【母天体軌道の仮定】

以下の長周期軌道（公転周期約900年）を仮定し、さらに1190年に近日点を通過した長周期の彗星が母天体であると仮定して、一回帰のダスト・トレイルの分布を計算した。

	T	q	e	ω	Ω	i
元軌道の仮定	2011/02/14.3017	0.97	0.99	194.09	315.07	55.20
一回帰前仮定軌道	1190/04/25.4707	0.9725	0.9894	194.0686	315.2406	55.1325

【ダスト・トレイルの分布状況】

Date(UT)	Time	JST	LS(2000)	$\Delta r(\text{AU})$	α	δ	V(km/s)
2006/02/04.30	07:14	02/04 16:14	315.249	-0.00051	240.01	+62.20	35.52
2010/02/04.19	04:39	02/04 13:39	315.107	-0.00090	239.92	+62.32	35.49
(2011/2/04.50)	(12:00)	(02/04 21:00)	(315.07)	(0)	(239.92)	(+62.49)	(35.58)
2012/02/04.62	14:58	02/04 23:58	315.026	+0.0015	239.97	+62.34	35.42
2016/02/04.86	20:41	02/05 05:41	315.243	+0.00065	239.99	+62.19	35.49



2011年がダスト・トレイルの中心だとすると、以前には、1993、1999、2006年、この先は2016、2023年に接近する。また2010～2012年は比較的接近している。

10月りゅう座流星群(ジャコビニ群)の2012年の予報

佐藤 幹哉 (かわさき宙と緑の科学館/NMS/FAS)

昨年大出現した10月りゅう座流星群だが、2012年にもダスト・トレイルとの接近が予想される。しかしながらダスト・トレイルの性質は2011年とはかなり異なっている。

- 1) 1959～1966年と放出年代が新しい
- 2) 放出速度が30～50 m/s 程度と高速である
- 3) 過去に地球と接近していて、ダスト・トレイルが乱れている

(1959年トレイルは1992年に約0.01AU、1966年トレイルは1972年に約0.02AUと1992年に約0.01AUまで地球に接近している部分が、それぞれ今年接近する。ただし、これらの接近年には、流星が出現する程の接近ではなかった)

これらが挙げられる。

1) と 2) の状況は、1999年の中規模出現 (Sato 2003) のケースとよく似ている。1999年の状況と、2012年の状況を、表にまとめる。

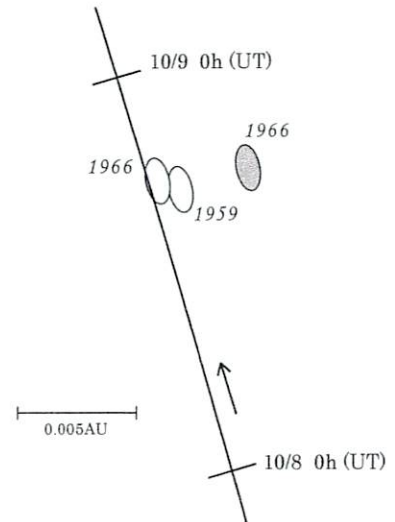


図2 2012年のダスト・トレイル分布

表1 2012年のダスト・トレイルの状況

トレイル (放出年)	日付(UT)	極大 時刻(UT)	太陽黄経	Δr^* (AU)	放出速度 (m/s)	r_M	放射点		速度
							赤経	赤緯	
1959 ^{*1}	2012 / 10 / 08.69	16:40	195.6245	0.0012	+38.70	0.0033	262.79	+55.84	20.99
1966 ^{*2}	2012 / 10 / 08.70	16:48	195.6299	0.0042	+43.07	0.24	262.37	+55.76	20.91
1966	2012 / 10 / 08.73	17:28	195.6578	0.00041	+51.34	0.027	262.51	+55.60	20.96
1966	2012 / 10 / 08.73	17:28	195.6579	0.0004	+51.35	0.022	262.52	+55.61	20.96

表2 1999年のダスト・トレイルの状況

トレイル (放出年)	日付(UT)	極大 時刻(UT)	太陽黄経	Δr^* (AU)	放出速度 (m/s)	r_M	放射点		速度
							赤経	赤緯	
1959	1999 / 10 / 09.45	10:51	195.7142	-0.0026	+59.98	0.20	262.83	+55.48	21.01
1966	1999 / 10 / 09.50	12:00	195.7614	-0.0014	+69.42	0.26	262.50	+55.26	20.94

1999年と2012年を比較する。

- 1) 接近距離は2012年の方が小さい → 2012年出現規模 ↑
- 2) 放出速度は2012年の方が小さい → 2012年出現規模 ↑
- 3) r_M 値は2012年の方が約10分の1である → 2012年出現規模 ↓ (約10分の1)
- 4) 2012年は過去の地球との接近により乱れている → 2012年出現規模 ↓

なお、1999年には、HR = 30程度 (ZHR = 50 程度?) の出現が見られた。

以上から、2012年の出現は ZHR = 10以下の小規模な出現であると判断される。

極大時刻は、日本では放射点が低い時間帯であり、国内で群流星の検出はかなり困難である。ただし、自動観測等では検出される可能性があるだろう。

参考：1999年の10月りゅう座流星群（ジャコビニ群）の出現状況

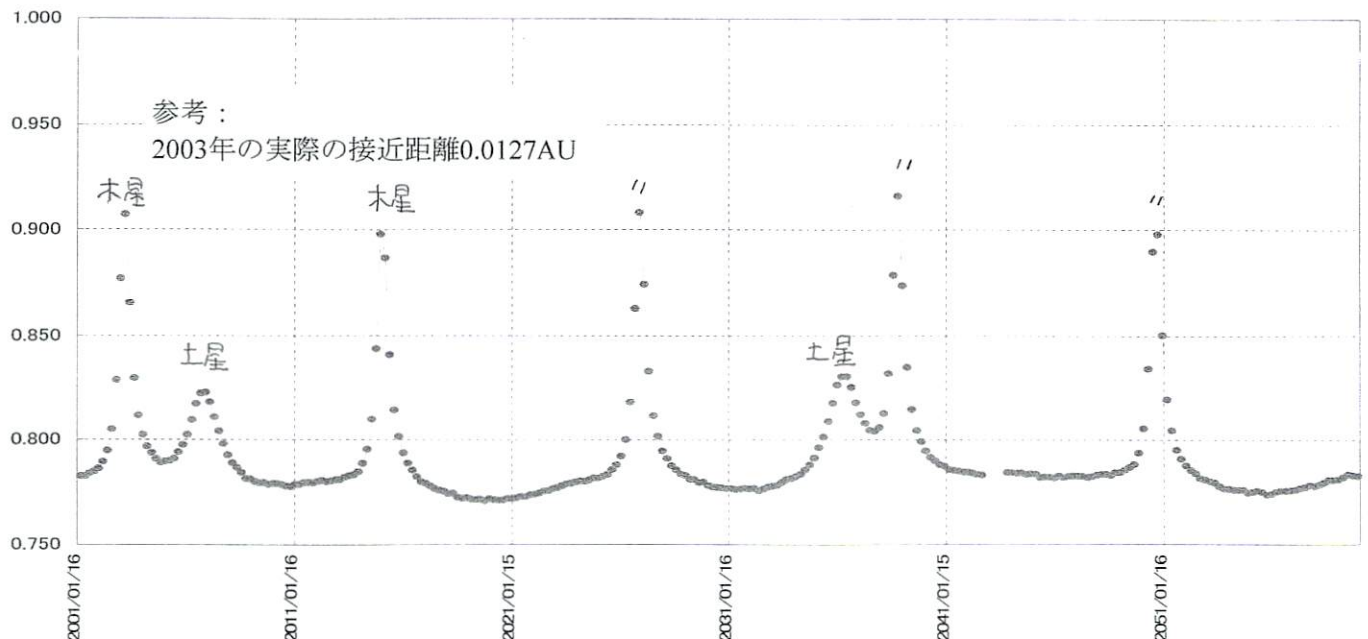
DATE	JST	TIME	aM	Spo.	Dra	Lm	CL	Dir	Obs.	Meth.
Oct. /1999										
09/10	18:25-19:10	45	13	10	3	5.5	0	Z	田中正一	V
09/10	18:45-19:15	30	4	1	3	4.6	3	-	伊藤大雄	V
09/10	19:00-20:00	60	30	-	28	5.7	0	Z	赤木誠司	V
09/10	19:20-20:20	60	-	-	4	-	9	-	寺久保一巳	V
09/10	19:20-20:20	60	-	-	5	-	9	-	佐藤幹哉	V
09/10	19:20-20:20	60	-	-	6	-	9	-	西野亨	V
09/10	19:55-21:58	123	3	1	2	5.2	0	Dra	児玉広幸	TV(28mm)
09/10	20:00-20:50	50	23	05	18	5.5	0	Z	児玉広幸	V
09/10	20:00-21:00	60	41	14	27	7.8	0	-	野勢國雄	TV(50mm, F=1.4)
09/10	20:00-21:00	60	28	-	23	5.7	0	Z	赤木誠司	V
09/10	20:20-21:00	40	23	20	3	6.6	0	Dra	住江和博	V
09/10	20:20-21:20	60	-	-	2	-	9	-	寺久保一巳	V
09/10	20:20-21:20	60	-	-	2	-	9	-	佐藤幹哉	V
09/10	20:20-21:20	60	-	-	2	-	9	-	西野亨	V
09/10	21:00-21:57	57	19	15	4	7.2	0	-	野勢國雄	TV(50mm, F=1.4)
09/10	21:00-22:00	60	22	-	10	5.8	0	Z	赤木誠司	V
09/10	21:00-22:00	60	39	36	3	6.7	0	Dra	住江和博	V
09/10	21:00-22:00	60	13	07	6	5.5	0	Z	児玉広幸	V
09/10	21:00-22:00	60	15	12	3	5.6	0	Cyg	佐藤孝悦	V
09/10	21:20-22:20	60	-	-	2	-	9	-	寺久保一巳	V
09/10	21:20-22:20	60	-	-	2	-	9	-	佐藤幹哉	V
09/10	21:20-22:20	60	-	-	1	-	9	-	西野亨	V

橋本さんのウェブ http://www.din.or.jp/~thashi/Inf1999_10_GZ.htm より抜粋

おまけ：ISON彗星（C/2012 S1）からの一回帰ダスト・トレイルの分布

仮定：約1400年の長周期を仮定

結果：一番近いときでも約0.008AUまで



2013年のみずがめ座 η 流星群のダスト・トレイル

佐藤 幹哉 (かわさき宙と緑の科学館/日本流星研究会/FAS府中天文同好会)

【概要】

2013年、みずがめ座 η 流星群のダスト・トレイルが地球に接近することが判明した。そこで、このダスト・トレイルの状況と、実際の観測結果について報告する。

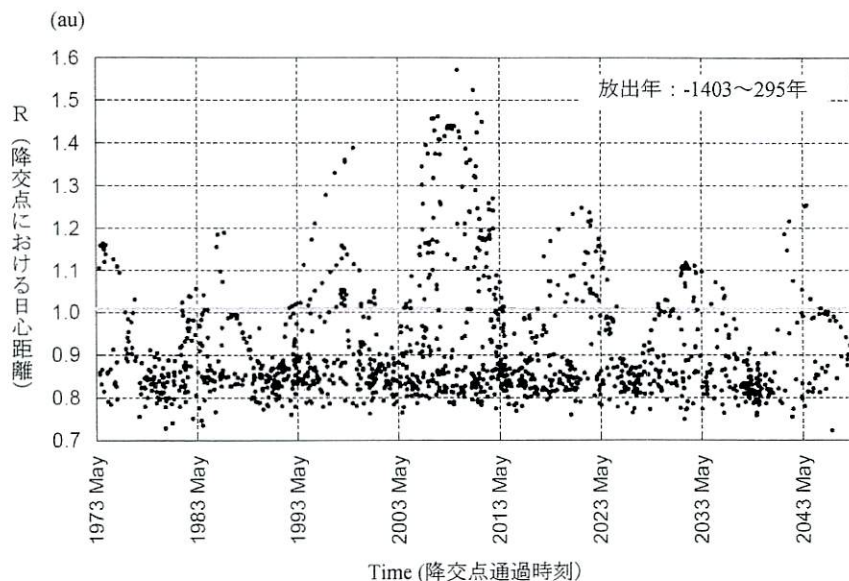


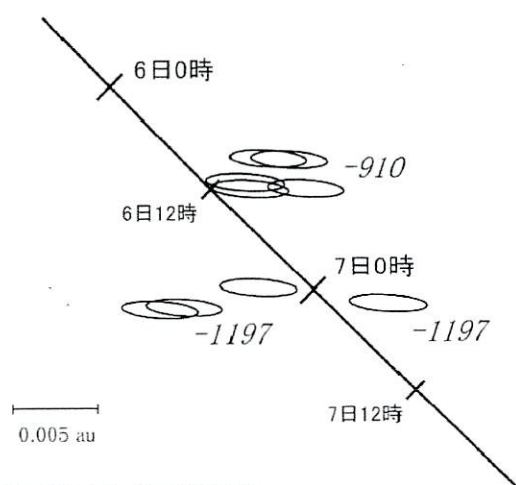
図1 ダスト (ダスト・トレイル) の分布

【ダスト・トレイルの状況】

295年より前に放出されたダストは、時折、地球軌道よりも外側(グラフの上側)に達する。2013年は比較的まとまったダストが地球軌道付近に分布し、ダスト・トレイルが接近することが判明した。

表1 2013年のダスト・トレイルのデータ

放出年	Date (UT)	極大予測時刻 Time	LS(2000)	ΔR (au)	放出速度 (m/s)	fM	放射点位置 α (deg.)	δ (deg.)	Vg (km/s)	公転周期 (yr)
-910	2013 May 06.24	05:44	45.681	-0.0037	-2.36	0.038	337.78	-0.88	66.08	72.0
-910	2013 May 06.24	05:45	45.682	-0.0018	-2.12	0.095	337.77	-0.89	66.04	71.9
-910	2013 May 06.26	06:16	45.703	-0.0017	-2.05	0.038	337.78	-0.88	66.04	71.8
-910	2013 May 06.27	06:27	45.710	-0.0017	-2.11	0.017	337.79	-0.88	66.04	71.9
-910	2013 May 06.29	07:02	45.734	-0.0046	-2.50	0.11	337.82	-0.86	66.10	72.0
-910	2013 May 06.40	09:42	45.841	-0.0041	-2.29	0.035	337.88	-0.83	66.10	71.9
-1197	2013 May 06.53	12:37	45.959	+0.0021	+3.44	0.013	337.89	-0.80	65.99	71.7
-1197	2013 May 06.89	21:19	46.310	-0.0026	+3.43	0.012	338.14	-0.67	66.12	71.7



※日付は5月・時刻は日本時

図2 2013年のダスト・トレイル分布

【2013年のダスト・トレイルの状況】

詳細な計算をすると、-910年および-1197年放出のダスト・トレイルが接近することが判明した。5月6日5時頃～22時頃(世界時、日本時では6日14時頃～7日7時頃)にダスト・トレイルが接近し、この前後で流星数が増加する可能性が高いことが予想された。

ただし、ダストの分布は広がっているため、極大は鋭くなく、なだらかで継続的となることが予想された。

【観測結果】

眼視観測結果、ビデオ観測結果とも、例年より多い出現が記録された。また出現数が増加している時間帯は、ダスト・トレイルの状況から予測される時間帯と一致した。

このほか、国内のテレビ観測（上田さん他）、HROによる電波観測（杉本さん）でも、ほぼ予測された頃に出現数の増加が観測された。

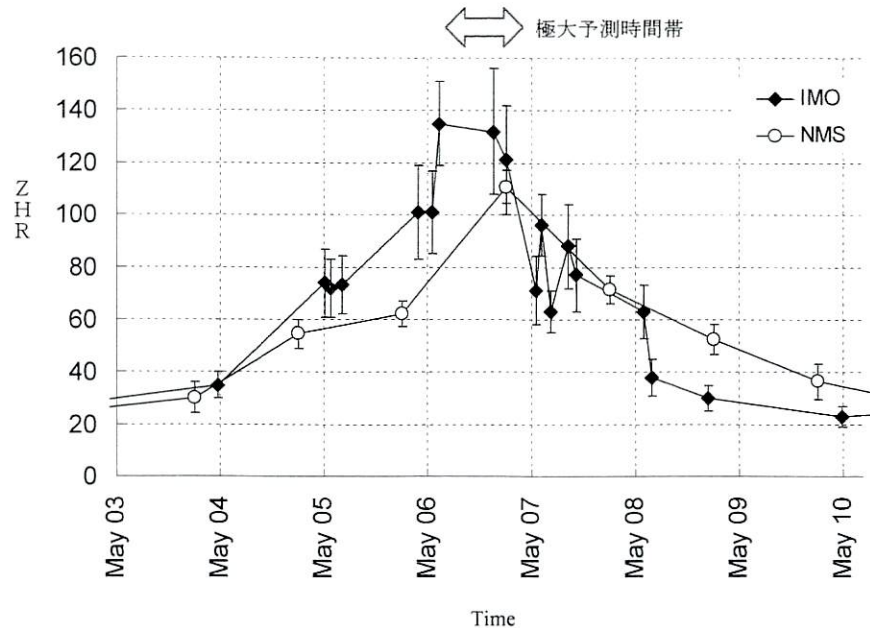


図2 みずがめ座 η 流星群の眼視観測結果

IMO : <http://www.imo.net/live/eta-aquariids2013/>

NMS : <http://homepage2.nifty.com/s-uchiyaama/meteor/shwr-act/05etaact/eta-act.html>

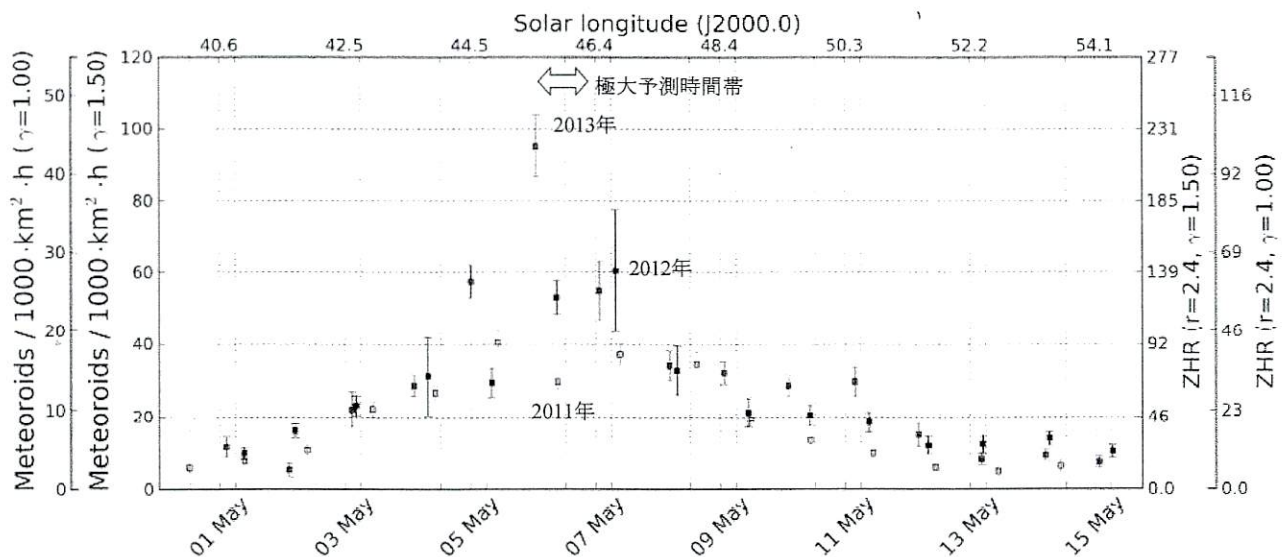


図3 みずがめ座 η 流星群のビデオ観測結果

Molau 2013 (Results of the IMO Video Meteor Network – May 2013) より

【まとめ】

シミュレーションから、2013年のみずがめ座 η 流星群の活発化が期待された。

実際に例年の2~3倍程度の活発化が観測された。また極大時間帯も、シミュレーションから予測されたものとはほぼ一致した。

このことから、2013年のみずがめ座 η 流星群の活発化は、約3000年前に放出されたダストが形成するダスト・トレイルによって引き起こされたと考えられる。

(こちらをご参照ください「2013年のみずがめ座 η 流星群の突発出現について」<http://meteor.kaicho.net/eta2013.html>)

209P/LINEAR 関連群(5月きりん座群(仮))

佐藤 幹哉 (かわさき宙と緑の科学館/日本流星研究会/FAS府中天文同好会)

【概要】

世界的に注目されている5月きりん座流星群(仮)について、母天体の209P/LINEAR彗星からのダスト・トレイルを計算してみた。

表1 各研究者毎の予報概略

研究者	極大時刻 (UT)	最大ZHR	ダスト・トレイル
Jeremie Vaubaillon	5月24日 7時40分頃	100~400	1803~1924年
Mikhail Maslov	5月24日 7時18分	200~300	1903年 (1898年~1919年)
	5月24日 7時55分	50~150	1763年~1783年
佐藤幹哉	5月24日 7時~7時30分頃	10~15	1898~1909年

Jeremie Vaubaillon氏のデータ :

http://www.imcce.fr/langues/en/ephemerides/phenomenes/meteor/DATABASE/209_LINEAR/2014/index.php

Mikhail Maslov 氏のデータ :

<http://feraj.narod.ru/Radiants/Predictions/1901-2100eng/209p-ids1901-2100predeng.html>

表2 本予報の詳細データ

Ejected year	Expected peak time Date (UT)	Time LS(2000.0)	Δr (AU)	Ejection Velocity (m/s)	fM	Expected position of radiant α (deg.) δ (deg.)	Vg (km/s)	
1898	2014/05/24.29	07:03	62.851	+0.00025	+0.81	0.097	122.78 +79.16	16.20
1903	2014/05/24.30	07:10	62.856	-0.000045	+1.04	0.12	122.83 +79.14	16.20
1909	2014/05/24.31	07:25	62.866	-0.00061	+1.51	0.15	122.93 +79.11	16.21
1914	2014/05/24.33	08:02	62.890	-0.0020	+2.65	0.18	123.15 +79.03	16.24

【流星数の概略推測について】

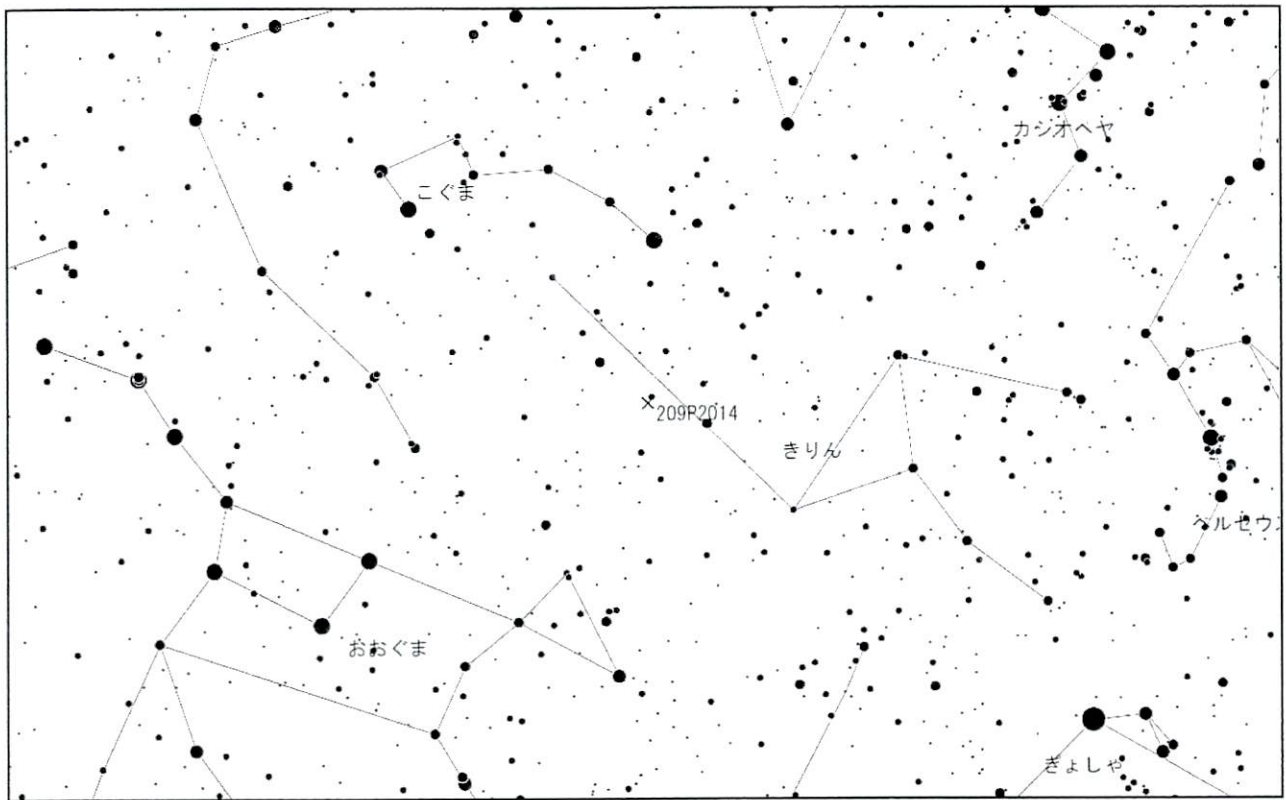
今回のケースは、1946年に見られた10月りゅう座流星群(ジャコビニ群)の流星嵐のケースと似ている。このときのダスト・トレイルのデータは以下の通り。母天体は21P/Giacobini-Zinner。

表3 1946年の10月りゅう座流星群(ジャコビニ群)のダスト・トレイルのデータ

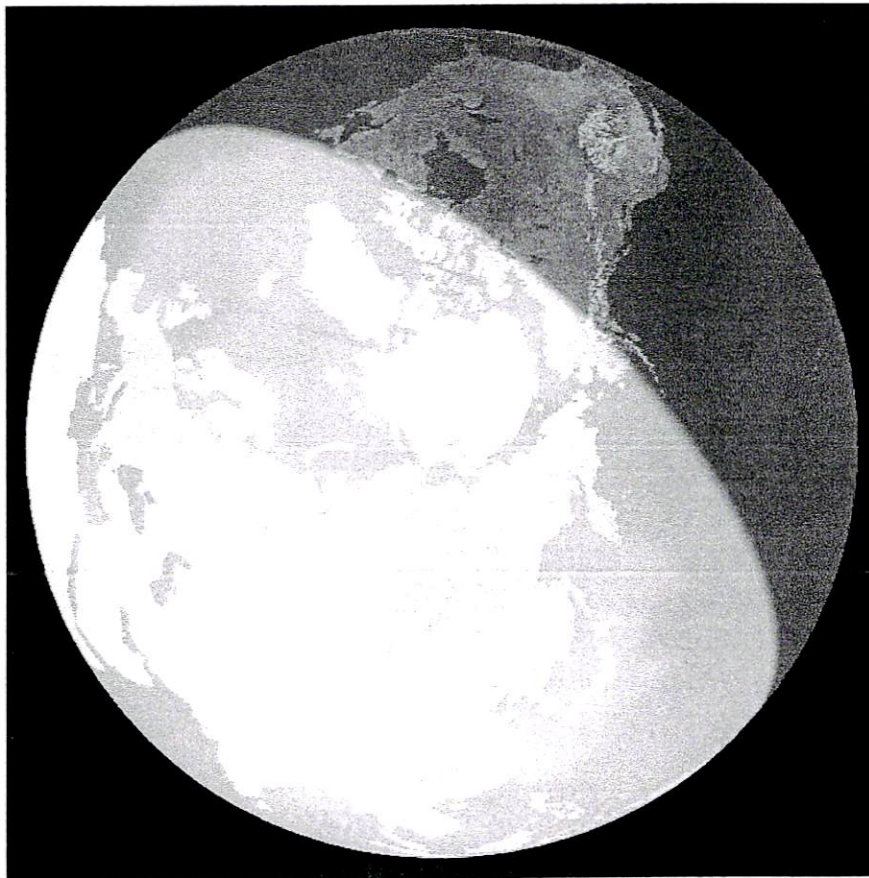
Ejected year	Expected peak time Date (UT)	Time LS(2000.0)	ΔR (AU)	Ejection Velocity (m/s)	fM	Expected position of radiant α (deg.) δ (deg.)	Vg (km/s)	
1900	1946/10/10.17	04:11	197.009	-0.00024	+1.38	0.17	262.32 +53.94	20.44
1907	1946/10/10.17	04:05	197.005	-0.00019	+2.24	0.21	262.29 +53.95	20.45
1913	1946/10/10.17	03:58	197.000	+0.00027	+2.34	0.22	262.23 +53.97	20.45
1920	1946/10/10.17	04:05	197.006	-0.00039	+0.89	0.26	262.23 +53.94	20.46
1926	1946/10/10.16	03:46	196.992	+0.00074	-0.78	0.34	262.21 +54.01	20.44
1933	1946/10/10.16	03:44	196.991	+0.00090	+1.94	0.51	262.22 +54.01	20.44
1940	1946/10/10.16	03:46	196.992	+0.0012	+10.34	1.0	262.21 +54.00	20.44

209Pの標準等級は16.4等(現在)、21Pの標準等級は10.5等(現在)。その差は5.9等となり、母天体の活動度として約230倍の差がある。fM値は、1946年のりゅう座群が2.73(7本のダスト・トレイルの合計)、2014年のきりん座群が0.54(4本のダスト・トレイルの合計)。ダスト・トレイルの濃度として、約5倍の差がある。これらを合計すると、1946年の流星嵐に対して、約1000分の出現数となる。1946年のZHRが9000~15000とされているので、そのまま換算すると2014年のきりん座群のZHRは10~15程度か。

●放射点の位置



●観測できる地域(予報極大時に放射点から見た地球)



- ・観測に適した地域は、アメリカやハワイなど。
- ・日本は放射点は地平線の上だが、昼間。電波による観測は期待できる。

1. はじめに

太陽をかすめる彗星の代表の1つに 1965 年の池谷・関彗星がある。その後、太陽観測衛星(SOHO など)によって、太陽をかすめる小さな彗星が多数発見されるようになった。JPL の彗星軌道リストのかなりの部分を SOHO 彗星が占めている。近日点を通過しないで崩壊してしまう彗星が大半(ISON 彗星等)である。彗星を観望する立場では残念だが、その残渣が地球と遭遇するのであれば、流星ファンには別の期待、楽しみを提供してくれることになる。

2. 太陽をかすめる彗星のグループ

サングレーザー、サンスカーターと呼ばれたりするが、<http://www.ast.cam.ac.uk/~jds/klist.htm> による分類では次のようになる。

- Kreutz group I objects (1334 comets= 69%)
- Kreutz group II objects (304 comets = 16%)
- Probable Kreutz group (4+ comets)
- Meyer group (117 comets = 6%)
- Marsden group (39 comets/returns = 2%)
- Kracht group I (38 comets/returns = 2%)
- Kracht group II (6 comet apparitions, 2/3 comets = 0%)
- Other comets (93 comets/returns = 5%)
- All SOHO and STEREO comets (2022 comets)

このうち、Marsden group と Kracht group は昼おひつじ群、南δみずがめ群、さらには四分儀群に関連すると言われている。

3. 彗星からの流星出現の可能性・出現予想

「彗星の軌道要素よりの流星輻射点の計算法と、東京天文台での方法に就いて」(廣瀬秀雄、東京天文台報、10, 288-296, 1953) を教科書として学び、大学生の時に異なる方法で南δみずがめ群の輻射点移動を計算したことがある「輻射点の東方移動」(小関正広、星の友、19, 21-24, 1969)。この中で、筆者独自の“軌道半長径と近日点の方向を固定する”という方法を紹介している。これは、「流星群のプロファイリングーしし群を例として」(小関正広、流星物理セミナー、2011/10/2)と同じ発想である。以前であれば、対数表を片手にコツコツ計算するしかなかったが、現在では、ありきたりのエクセルで十分に用を足すことができる。次ページに計算画面を示す。

2行目：full_name 以下が彗星の原初軌道。

4行目以下：太陽黄経 0.1 度刻みで、地球と交差するように変化させた軌道と予想輻射点。

L 列：原初軌道と変化させた軌道の D_{SH} (ただし、次式の第4項を除く)。

$$[D(A, B)]^2 = (e_A - e_B)^2 + (q_A - q_B)^2 + \left(2 \sin \frac{I_{AB}}{2}\right)^2 + \left[\frac{1}{2}(e_A + e_B)2 \sin \frac{\Pi_{AB}}{2}\right]^2$$

3 0 行AN列： D_{SH} の最小値。

一般に、極小値は2回現れる。

3 1 行AN列：第1回目の極小値、AP列：第2回目の極小値

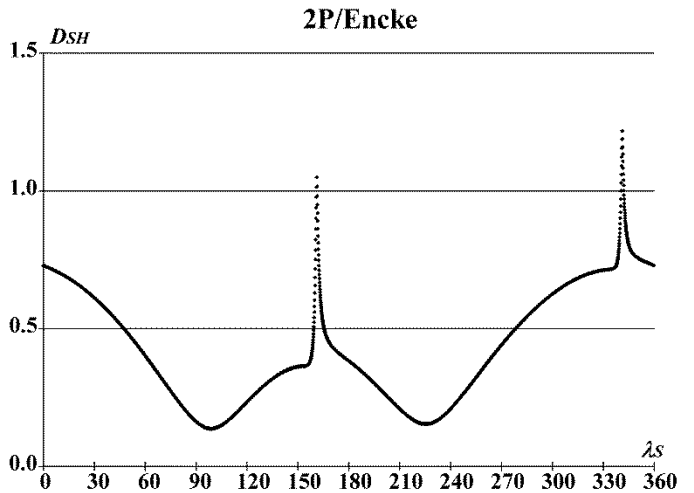
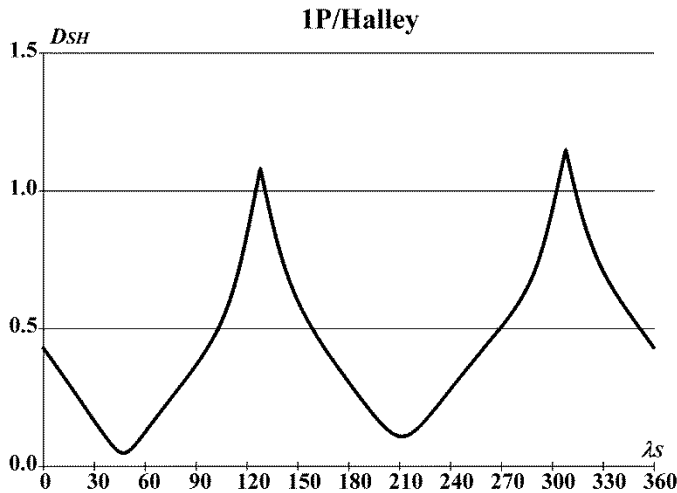
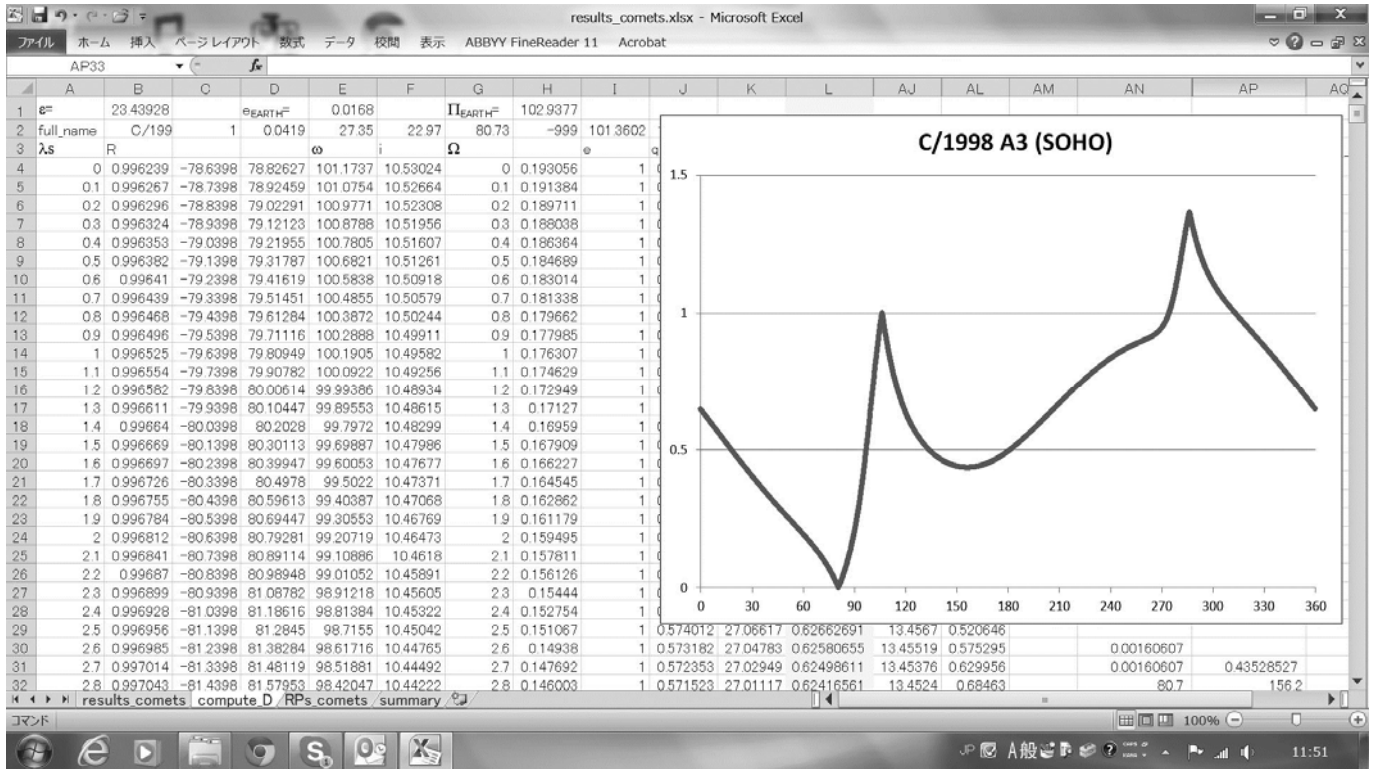
3 2 行AN列：第1回目の極小値となる太陽黄経、AP列：第2回の極小値となる太陽黄経。

グラフは太陽黄経 0-360 度の間における D_{SH} の変化。

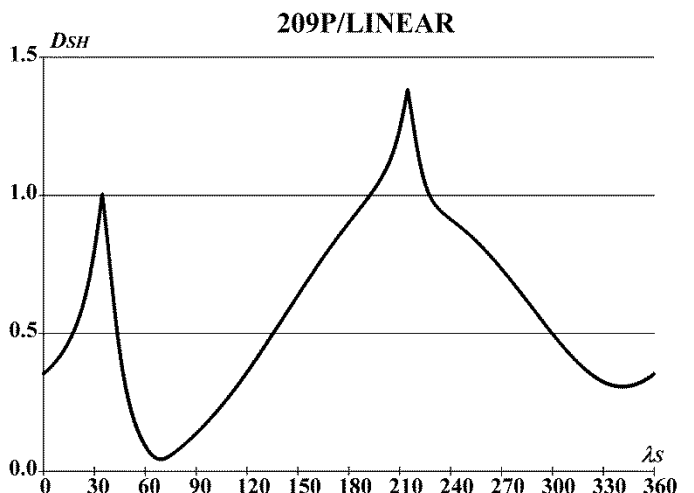
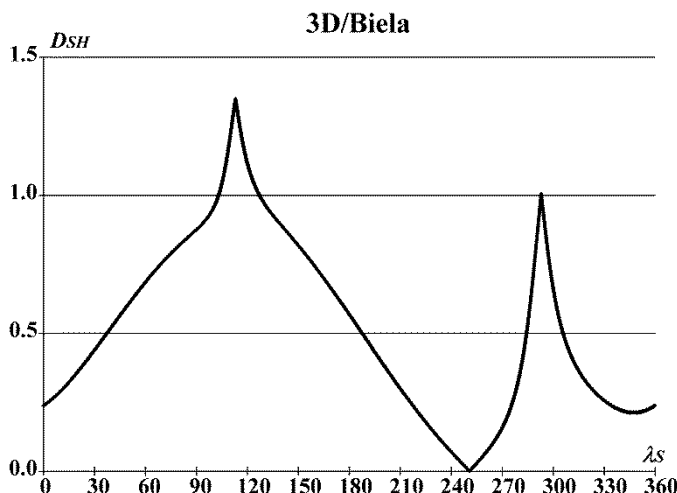
操作は JPL のサイトで取得した軌道要素 (多少手を加える) を full_name 以下に貼り付けるだけである。貼り付けてから、グラフが表示されるまでは<瞬く間>である。対数表を使ったら、0.1 度刻みで計算しないで、もっとスマートな方法を考えることになるだろうが、力技で済んでしまう。

計算例として示した、C/1998 A3 (SOHO)は Marsden group の彗星であるが、本稿では主として Kreutz group を扱うことにする。まずは、 D_{SH} の数値が意味するところをよく知られている彗星・小惑星を例として考察することにする。



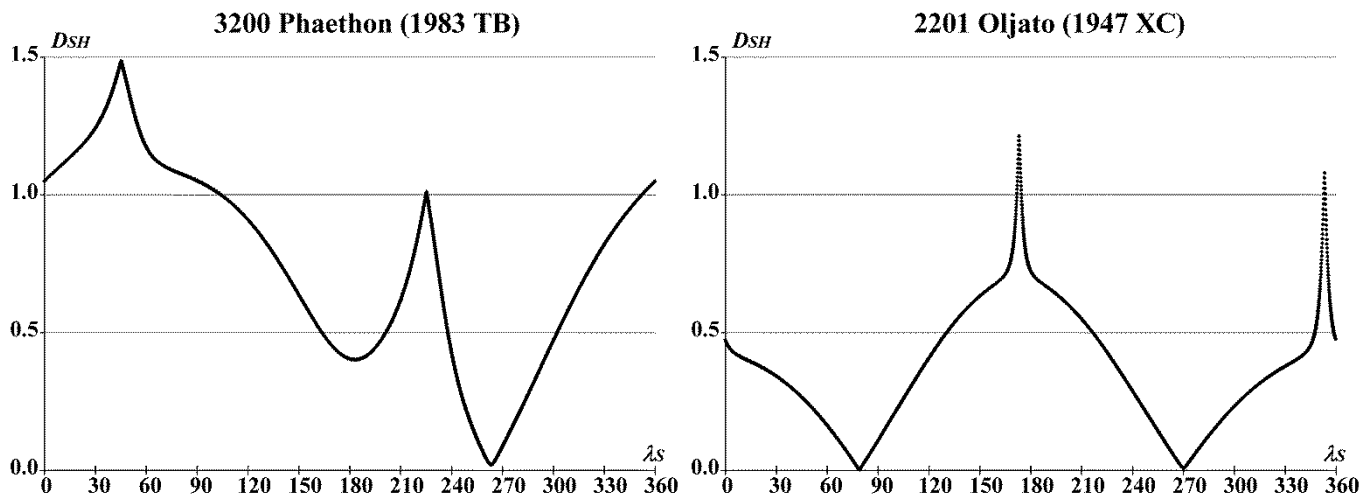


近日点引数 ω が90度または270度に近い場合には、2回の極小値がほぼ同じ値になり、流星活動が2回見られることになる。1P/Halley の場合は、 η -みずがめ群とオリオン群、2P/Encke の場合には、昼おうし群と夜のおうし群となる。



近日点引数が90度または270度から大きく外れると、2回の極小値は大きく異なり、一方の極小値においてだけ流星活動が見られる。

ここで別の例を見てみよう。3200 Phaethon (1983 TB)と 2201 Oljato (1947 XC)はともに活動を終えた彗星核と推定されて研究が進められているものである。3200 Phaethon (1983 TB)は、ふたご群の母天体として有力なものだが、昼ろくぶんぎ群にも関連すると考えられている。 $\lambda_s=183$ で $D_{SH}=0.40$ となっているのが、ろくぶんぎ群に相当する。ただし、ろくぶんぎ群と直接関連するのは 3200 Phaethon (1983 TB)の兄弟分 2005 UD ではないかと言われている。また、2201 Oljato (1947 XC)は $\lambda_s=79$ で $D_{SH}=0.002$ 、 $\lambda_s=270$ で $D_{SH}=0.008$ となり、極めて盛んな流星活動が期待され、前者は昼 β -おうし群、 χ -オリオン群の活動領域に相当するが、他の群や散在流星の活動に埋もれて、確実に関連すると見られる流星群は IAU のリストでも示されていない。



いよいよ「太陽をかすめる彗星」から流星が出現する可能性について見てみよう。C/1998 A3 (SOHO)は Marsden group の例であり、96P/Machholz 1 はそれから派生した彗星と推定されているものである。

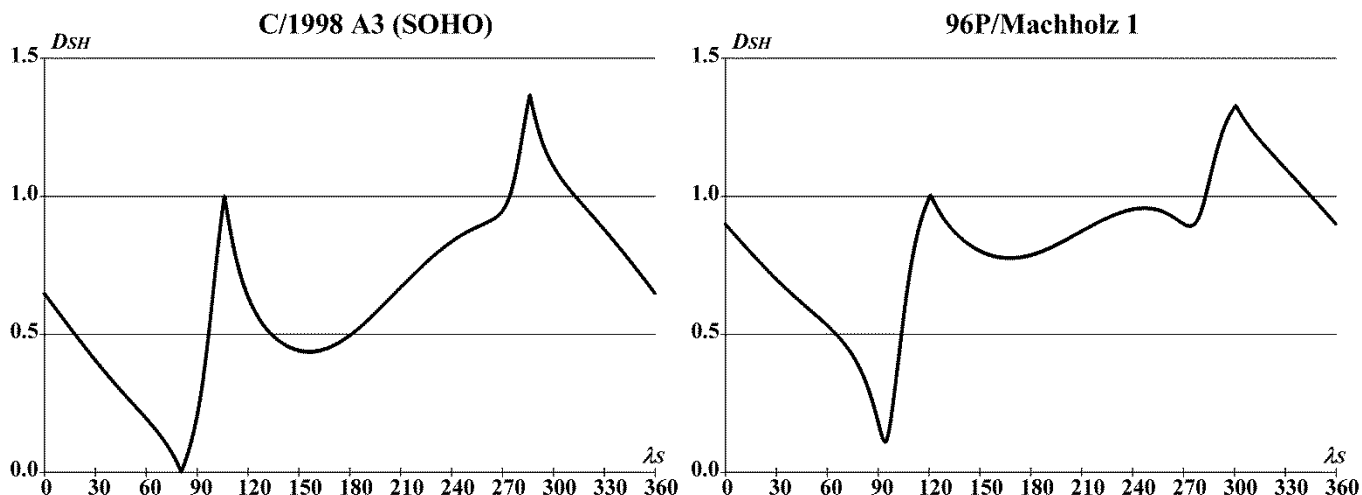
Marsden group や 96P/Machholz の場合には、以上で述べた例に従えば、流星活動が見られるのは1回だけということになる。しかし、これらが δ -みずがめ群やしぶんぎ群の源泉とされるのは長期間の摂動を考慮した場合のことである。つまり、現在の軌道が似ているというよりも、過去の軌道が現在の流星群の軌道に似ているかを検討する必要がある。

しかし、この問題については、様々な研究者が詳しく研究しているのでここではそれらの結果を単純化して説明するのにとどめる。

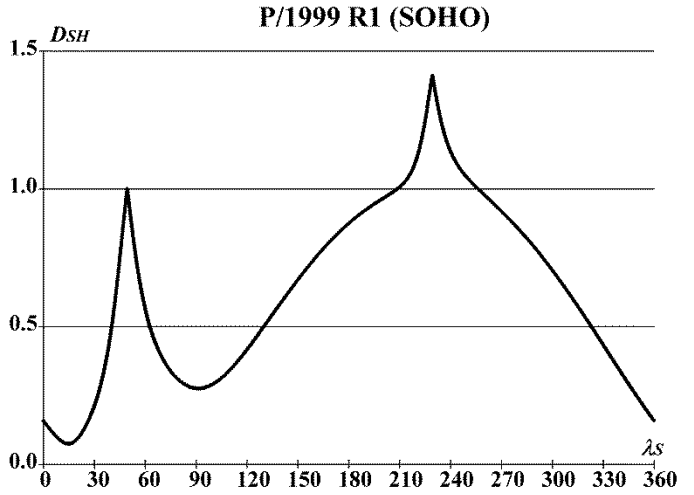
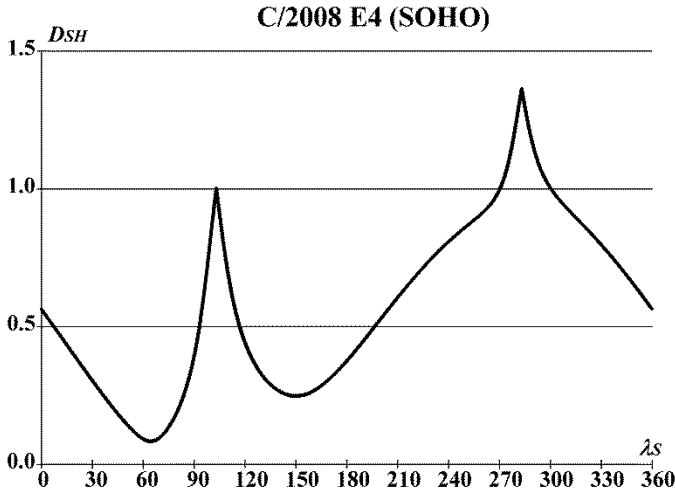
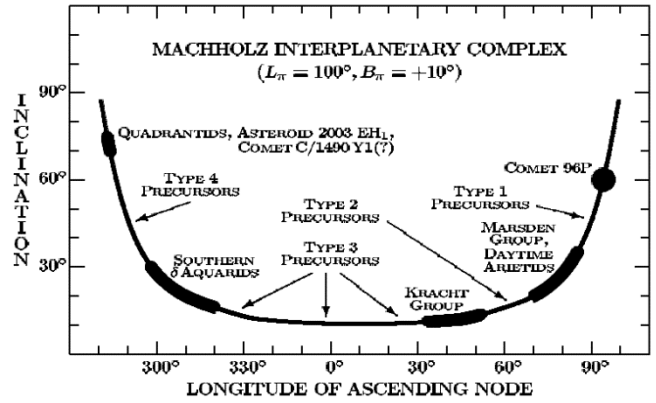
3D/Biela の場合に「アンドロメダ流星雨」を生じることが先の図から理解できるが、摂動によって軌道面が回転したらどうなるかを考えてみよう。昇降点・降交点は移動し、「アンドロメダ流星雨」を生じていた側(降交点)は地球軌道から離れて、流星雨は出現しなくなる。これが現在の状況である。しかし、回転が続けば、逆の側(昇降点)で地球軌道に接近して流星活動が見られるようになるはずである。 $\lambda_s=347.3$ 付近で昼間群として活動するようになるという予想がなされている。

ふたご群と昼ろくぶんぎ群との関係も同様で、軌道面の回転を考えると、3200 Phaethon (1983 TB)によって $\lambda_s=183.0$ 付近での昼間流星群が想定できるのである。

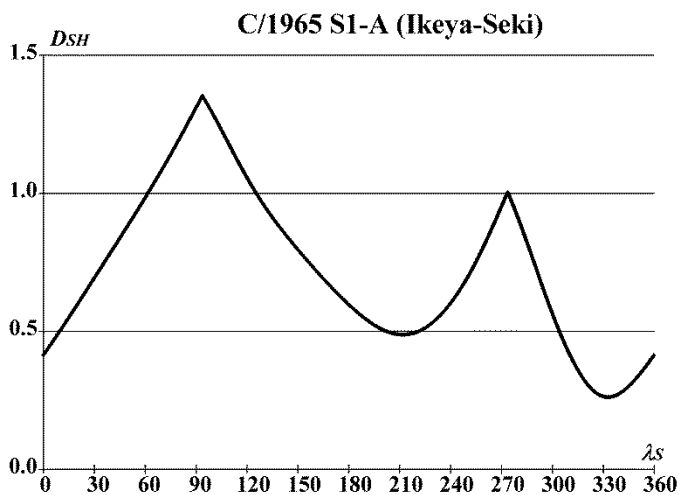
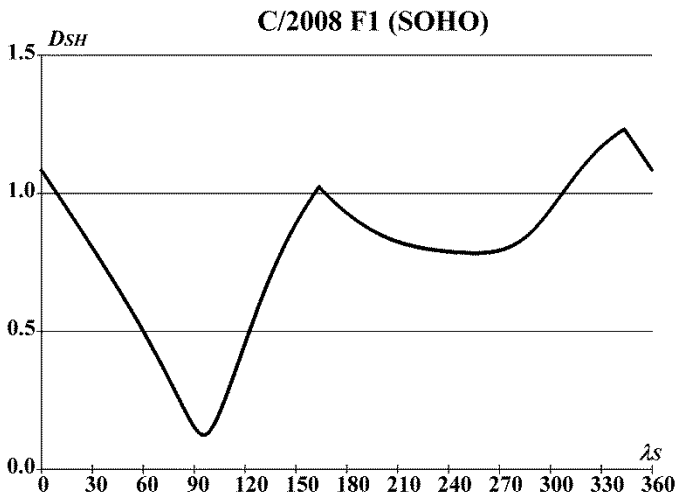
C/1983 A3 (SOHO)でも軌道面が回転すれば、 $\lambda_s=80.7$ (降交点)と逆側(昇降点) $\lambda_s=156.2$ 付近での流星活動が想定できる。これが δ -みずがめ群に相当するという考えが成り立つ。実際には摂動は軌道面の回転だけ働くわけではないので、活動時期また輻射点の位置は実際の δ -みずがめ群に近いとする計算結果が出ている。さらに長期間の摂動が働けば、しぶんぎ群の活動にも関連するという推定も提唱されている。



下図の左側が Kracht group I、右側が II である。この Kracht group も Marsden group に近縁のものとしてされている。Sekanina による右図を見てみよう。 $(L_{II}, B_{II}) = (100, 10)$ を軸として軌道面が回転したとして、しぶんぎ群、南δみずがめ群、Kracht group、Marsden group・昼おひつじ群、96P/Machholz 1 の関係を示したものである。Kracht group I/II 自体は Marsden group 同様に D_{SH} の値がかなり小さくなり、流星出現の可能性がかなり高いと推定できるが、輻射点等が Marsden group のものと識別困難なほどに近い。また、これらのグループに属する彗星はそれほど多くない。

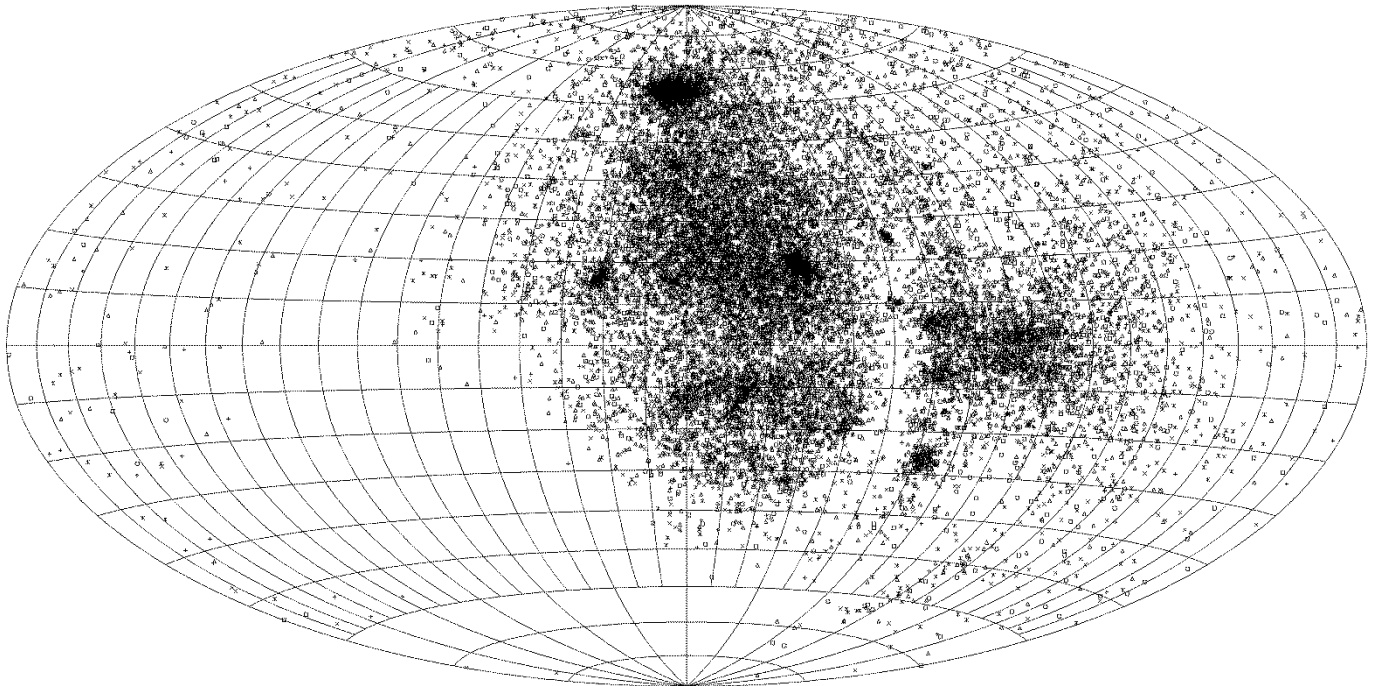


2 番目に多い Meyer group を下図左側に示す。Marsden group の場合と同様のグラフであり、単純に考えれば流星活動が見られるのは 1 回と考えられる。これもかなり D_{SH} が小さくなる。従って、そこそこの流星活動が期待されるが、このグループに関連すると見られる短周期彗星は発見されておらず、流星活動も知られていない。Harvard の電波観測の中には数個、 $DSH < 0.2$ となる流星が含まれる。しかし、とても流星《群》の活動を認めることのできるレベルではない。



太陽をかすめる彗星の中で最大グループである Kreutz group の例として、C/1965 S1-A (Ikeya-Seki) を上図右側に示したが、このグループは残念ながら D_{SH} があまり小さくならない。1P/Halley と 2P/Encke の例に見られるように、一般に $DSH < 0.2$ 程度が流星活動の見られる範囲と考えられる。単純に考えれば、Kreutz group からの流星出現はありえないことになる。

しかし、Kreutz group は巨大なグループであり、実は Kracht group 同様、I/II の区別があり、さらに、降交点 ($\lambda_s \sim 330$) で C/1965 S1-A (Ikeya-Seki) よりも地球軌道に接近するものがある。その中で C/2007 X13 (SOHO) は最も条件が良い。しかも SnotCo ネットの観測の中に 1 個だけではあるが、極めて類似した軌道をもつ流星が記録されている。輻射点が太陽に近い方向にあることを考えれば、貴重なデータと言える。もちろん、観測困難



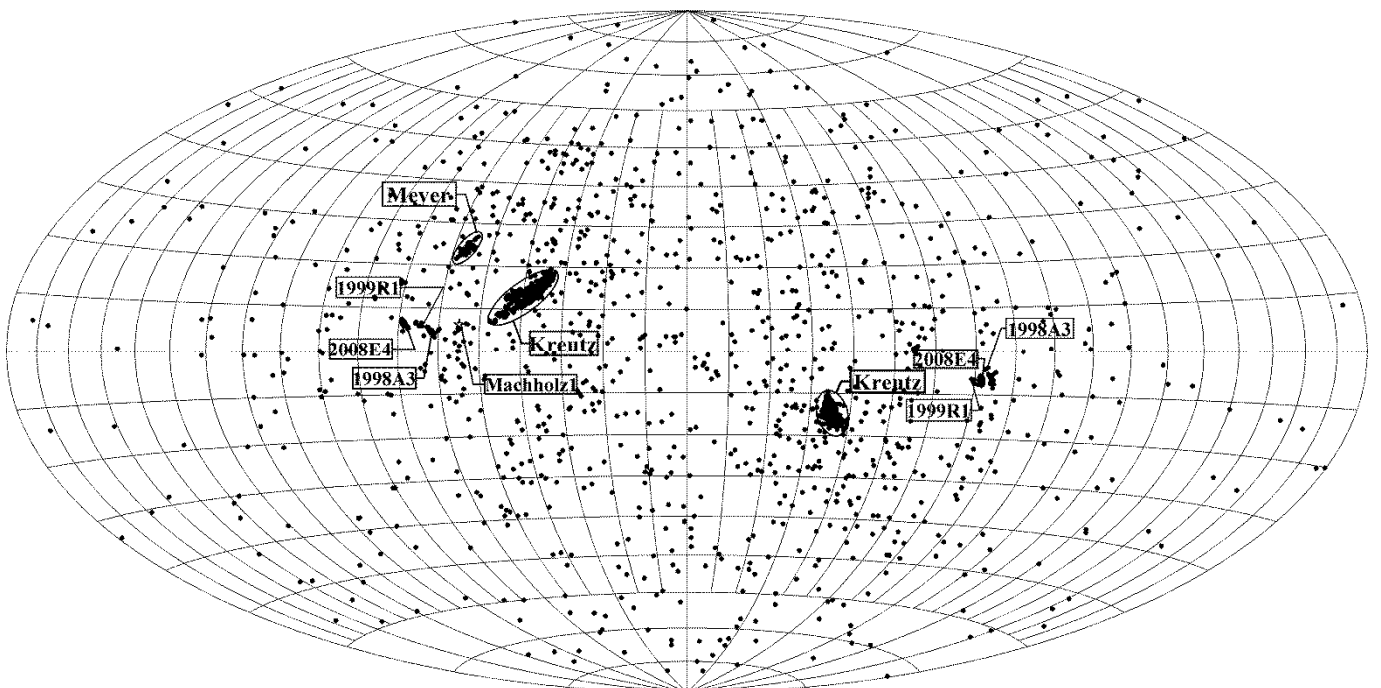
な状況にあるわけで、「流星群」と言えるだけの数ではない。275< λ_s <335 の時期について、SonotaCo ネットで得られた輻射点分布を下図に示す。Kreutz group の輻射点 that 想定される($\lambda-\lambda_s, \beta$)=(310,10)付近に明瞭な輻射点の集中は見られていない。 $(\lambda-\lambda_s, \beta)$ =(290, 10)付近に見られる集中は λ_s <290 の流星によるもので、SonotaCo ネットでは散在と判定されている流星である。電波観測は昼間群に強いはずであるが、Kreutz group と軌道の類似する流星群は知られていない。

Kreutz group の中には降交点よりも昇降点で地球軌道に接近するものもあり、C/2007 M6 (SOHO)はその例である。興味深いことに、 $D_{SH}>0.2$ ではあるが、こちらには関連する可能性を持つ観測が存在する。関連を指摘するには程遠いとは言え、今後の注意が必要であろう。

4. まとめ

太陽をかすめる彗星の中には、Marsden group のように流星群の起源と目されるものが存在する。一方、最大のグループである Kreutz group を起源とする確実な流星活動は残念ながら認められない。

しかし、膨大な数の太陽をかすめる彗星から、さらにそれらの彗星の祖先(太陽をかすめる彗星は近日点距離 $q<2$ の超長周期彗星から発生したと考えられている)からは大量の流星物質が放出されていることは明らかであり、それらの内の一部が摂動を受けて地球軌道に接近することは容易に考えられる。下図は放物線に近い軌道の彗星(逆を言えば短周期彗星を除いた)から予想される輻射点分布である。短周期彗星や小惑星からの輻射点分布とは異なり、地球向点方向に輻射点が多く存在する。我々が「夕方よりも朝方に流星が多く見える」と観測するのは、太陽をかすめる彗星も含めて、放物線に近い軌道をたどる彗星を起源とする流星を見ているのであろう。



full_name	e	q	i	ω	Ω	I	D_{SH}	λ_s	α	δ	Vg	$\lambda-\lambda_s$	β	Shower
1P/Halley	0.967	0.586	162.3	111.3	58.4									
	0.966	0.605	163.2	100.6	47.2	3.5	0.047	47.2	338.6	-0.3	66.1	292.9	8.1	η -Aquariids
	0.969	0.545	163.5	85.4	31.3	-8.0	0.107	211.3	96.9	15.6	66.2	245.4	-7.7	Orionids
2P/Encke	0.848	0.336	11.8	186.5	334.6									
	0.850	0.331	1.5	242.2	278.8	11.0	0.136	98.8	86.0	22.2	29.3	347.5	-1.2	D-Taurids
	0.846	0.341	1.5	295.6	225.4	-12.3	0.152	225.4	55.3	20.9	28.9	192.4	1.2	Taurids
3D/Biela	0.751	0.879	13.2	221.7	250.7									
	0.751	0.879	13.2	221.6	250.7	0.0	0.000	250.7	26.2	46.3	15.8	151.8	32.8	Andromedids
	0.773	0.801	10.5	303.8	167.3	15.9	0.211	347.3	13.9	-17.7	17.7	18.3	-21.7	
209P/LINEAR	0.689	0.914	19.1	149.7	66.5									
	0.677	0.948	17.7	147.1	69.2	-1.7	0.042	69.2	118.7	69.7	15.3	35.1	47.7	
	0.727	0.802	11.4	56.8	161.3	23.0	0.305	341.3	139.7	-8.5	17.9	163.7	-23.0	
2201 Oljato (1947 XC)	0.713	0.624	2.5	98.2	75.0									
	0.713	0.624	2.5	94.2	79.0	-0.2	0.002	79.0	80.7	26.9	20.3	2.7	3.7	
	0.713	0.623	2.5	83.1	90.1	0.7	0.008	270.1	87.2	19.5	20.4	177.2	-3.9	χ -Orionids
3200 Phaethon (1983 TB)	0.890	0.140	22.2	322.1	265.3									
	0.794	0.262	18.2	228.0	3.0	-30.3	0.401	183.0	158.0	-4.5	28.8	338.4	-12.8	D-Sextanids
	0.881	0.151	23.2	323.9	263.4	-1.2	0.020	263.4	115.3	32.5	33.4	208.1	11.0	Geminids
C/1998 A3 (SOHO)	1	0.042	27.4	23.0	80.7									
	1	0.040	27.3	23.0	80.7	0.0	0.002	80.7	48.7	22.9	46.4	331.7	4.7	
	1	0.219	12.6	124.5	336.2	-32.7	0.435	156.2	355.3	-9.0	38.4	195.9	-6.3	
96P/Machholz 1	0.959	0.124	58.3	14.8	94.3									
	0.993	0.020	57.9	14.8	94.2	0.4	0.109	94.2	55.7	26.1	46.1	325.2	6.2	D-Arietids
C/2008 E4 (SOHO)	1	0.050	13.1	50.6	51.9									
	1	0.110	16.4	38.5	64.4	-4.6	0.082	64.4	37.8	20.4	42.6	337.6	5.2	
	1	0.174	13.4	130.9	330.0	-17.3	0.247	150.0	351.6	-9.9	40.0	198.4	-5.8	
P/1999 R1 (SOHO)	0.977	0.057	13.7	43.7	4.9									
	0.958	0.107	16.9	34.3	14.7	-4.1	0.073	14.7	347.5	1.0	38.7	334.2	5.8	
	0.930	0.176	13.5	135.7	271.3	-19.7	0.274	91.3	295.1	-27.9	35.9	200.9	-6.4	
C/2008 F1 (SOHO)	1	0.032	66.7	46.1	94.6									
	1	0.153	67.7	45.7	95.7	-1.5	0.123	95.7	58.4	39.2	47.3	328.9	18.5	
C/2007 X13 (SOHO)	1	0.008	138.3	27.7	306.0									
	1	0.055	137.7	27.3	305.5	0.7	0.048	305.5	262.7	-16.3	56.1	317.5	6.9	
SNM2008-1453	0.984	0.064	135.5	27.9	306.2		0.044	306.2	261.1	-15.1	54.3	315.1	8.0	
C/2007 M6 (SOHO)	1	0.006	124.5	115.2	42.4									
	1	0.255	121.4	119.0	49.5	6.7	0.262	229.5	97.9	4.7	57.8	228.8	-18.5	
LE-658	0.93	0.26	142.7	122.4	61.2		0.411	241.2	115.9	8.5	59.7	235.1	-12.6	
T1-143S	0.946	0.301	147.0	116.2	50.3		0.453	230.3	106.4	10.6	60.5	236.2	-11.9	(S)CMi-Aurds
NMS-61								235	109	5		235	-17	α -Canis Minorids

2016 ペルセウス群の活動が盛んになる。

SKY and TELESCOPE Aug 2016

2016年のペルセウス群は月例条件が上弦過ぎでありあまり良くないが、極大の8月11-12は午前1時位に月没になるため、夜明けまでの3時間くらい良い条件で観測出来る。通常、極大日にはHR60-90の出現が見られるが、今年は通常年より多くの出現が期待できる。

これまでの経過

ここ数年の活動は全くノーマルである。しかし、過去1970年代から1980年代にかけて、活動が活発だった。特に1980年は活動が盛んで、HR120を超え、HR250を観測した日本人もいた。(訳者注：誰でしょう) ペルセウス群の母彗星は1862年に発見されたスィフト・タートル彗星である。当時、周期は 120 ± 2 年と計算されていた。その結果、1981年位の回帰が期待されていた。したがって1980年頃のペルセウス群の活発化が期待されたわけである。しかし、彗星は発見されず、ペルセウス群の活動も1980年以降、1980年代には通常に戻ってしまった。マースデンは母彗星の回帰が遅れ、1992年頃になる予想を立てた。予想通り1992年秋に母彗星は発見され(訳者注：日本の木内鶴彦氏)この前後の年に大変活発な活動が観測された。この活動の活発化は母彗星の回帰に伴うものであることは明白だが、1980年の活発化の原因は何であったのであろうか。それはおそらく、木星の摂動の影響であろう。LyytinenとFlandernは2004年、母彗星は木星に1.7 auまで接近した。ダストトレイルと母彗星の軌道はそれほど違わないのでダストトレイルが接近したことになる。木星の公転周期11.86 yearごとに、摂動の影響で地球軌道にダストトレイルを0.01 au接近させる作用が起り、地球との交差点で12年おきに、この接近が起こることがある。(1921、1945、1968、2004、2016)今年は1980年ほどではないにせよ、活発な出現が期待できる。

2016年の予報

Mikhail Maslow 氏 (ロシア)

極大 Aug 12 th 12:40 UT (日本: 8月12日21時40分)

ZHR 150-160 (2015はZHR 90)

好条件な地域 東ヨーロッパ、西アジア

(日本でも22時以降は輻射点高度も上がり、十分観測可能)

これは1479、1862年に放出された若いダストトレイルであるので、ピークの時間はあまり長くないだろう。

Vauvbaillon 氏 (フィンランド)

極大 Aug 12 th 4:56 UT (日本8月12日13:56)

これは1079年の古いダストトレイルのため突発的な火球の増加が期待できる。しかし、古いトレイルなので予測の精度は低い。

Perseids to Get a Jupiter Boost?

After the Moon sets, the Perseid meteors could be unusually rich.



The most-observed meteor shower is the annual Perseid display, active for several nights in prime vacation season. This year the Moon will be waxing gibbous on the predicted peak night, August 11–12. But the Moon will set around 1 a.m. for mid-northern observers, leaving the night dark for the three or four prime meteor-watching hours before dawn: this is when your side of the Earth faces most directly into the oncoming meteoroids.

In a normal year, you may see about 60 to 90 Perseids per hour on the peak night between midnight and dawn if you have an excellent dark sky. But the

shower can vary a lot from year to year.

And this year's shower will probably be better than usual. There's even a chance that it could be spectacular.

Four hours, compressed. "I created a composite of all the meteors captured on August 13, 2015, from 12:30 to 4:30 a.m.," writes Brad Goldpaint from northern California. "The large mountain in the distance is Mount Shasta, and the glow from the base of the mountain is the city of Mount Shasta." The evening before, he recorded the starry sky and its reflection in the still lake in a 25-second exposure. The landscape is from a long exposure he shot at a very low ISO during deep twilight. He took dozens of sky exposures during the morning hours, subtracted out the 65 meteors that these recorded, and aligned them to their star backgrounds in the original sky image.



An Enigmatic Enhancement

For the last several years, the Perseids have been quite normal. But in the late 1970s and early 1980s the shower turned unusually active. The 1980 display was one of the best in memory up to then; many observers reported seeing more than 120 per hour and occasionally up to 5 or 6 a minute. A reputable Japanese observer counted nearly 250 in one hour.

The Perseid meteoroids are dusty debris bits shed by the periodic comet 109P/Swift-Tuttle, which was discovered in the summer of 1862. Many experts in the 19th and 20th centuries calculated its orbital period to be 120 ± 2 years, and summer 1981 was considered the “most probable” time for the comet to be recovered. Meteoroids tend to be thicker in the vicinity of their parent comet, so astronomers naturally assumed that the strong Perseid activity in 1980 was due to the impending arrival of Swift-Tuttle.

Yet the comet failed to appear during its anticipated 1979–1983 time frame. Perseid activity through the 1980s returned to normal, and many assumed that Comet Swift-Tuttle — which had evolved into a strikingly beautiful object after its 1862 discovery — had somehow slipped by undetected.

The late Brian G. Marsden, longtime director of the Minor Planet Center (MPC) at the Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, put forward an alternative solution: that Comet Swift-Tuttle was perhaps identical with a comet briefly seen in 1737. If so, it might still return. . . around 1992.

Few astronomers believed it. Hadn't the Perseids ramped up around just the right time? The legendary astronomy popularizer Sir Patrick Moore pooh-poohed the idea that Swift-Tuttle would reappear in 1992 and bet a colleague a bottle of whiskey that it wouldn't.

He lost. The comet indeed returned in the fall of 1992, validating Marsden's prediction. And the Perseids in the years around then were even more memorably abundant.

So what caused the high rates in 1980? It was probably a completely unrelated perturbing influence by the most massive planet: Jupiter.

The first to formally propose that Jupiter plays a role in Perseid activity were Esko Lyytinen of Finland and Tom Van Flandern of the U.S. Naval Observatory, in 2004. The comet passes a good 1.7 a.u. above Jupiter's orbit while moving inbound toward the Sun. But because the comet — and the meteoroid stream all along its orbit — have made hundreds of trips around the Sun over tens of thousands of years, slight periodic perturbations can add up.

Every 11.86 years (Jupiter's sidereal period), Jupiter passes under the broad rubble stream. Each time, its gravitational field shifts some of the comet dross about 0.01 a.u. closer to passing Earth's orbit. This segment of dusty debris takes about 16 more months to reach our path, whether Earth happens to be there or not. The long-term result: when Earth reaches the Perseid-intersecting part of its orbit in mid-August, occasionally an extra stream of Perseids will be passing through at the same time.

If this happens about every 12 years in sync with Jupiter's orbital period, we have a nice explanation for not only the strong 1980 display, but also the enhanced showers that were reported in 2004, 1968, 1945, and 1921.

What About 2016?

This would appear to be another of those “prime years.” Russian meteor expert Mikhail Maslov, who has closely studied the evolution of the Perseid stream in space, predicts a “significant increase of Perseid background activity, with a zenithal hourly rate (ZHR) of 150–160.” By comparison, last year's Perseid shower reached a peak ZHR of about 90, judging from the counts submitted to the International Meteor Organization (IMO) by observers worldwide.

The shower's predicted time of maximum is 12:40 UT August 12th. That's

after sunrise for North America, but peak activity usually lasts about 24 hours.

Maslov points out that in addition, fresh debris trails shed by Swift-Tuttle in 1479 and 1862 (“fresh” implies dense and narrow) will likely encounter Earth and might also provide a brief enhancement of activity. Eastern Europe and western Asia are in the best position to watch for this, as it should happen during their early-morning hours when the Perseid radiant is highest.

Moreover, French meteor expert Jérémie Vaubaillon has calculated an older discrete trail of the comet's rubble dating back to 1079. He forecasts Earth passing closest to the middle of this trail at 4:56 UT August 12th, which would favor eastern North America on top of whatever else is happening. This might lead to a sudden outburst of bright meteors, but Vaubaillon cautions, “This 1079 trail [is] quite old, making the forecasting less certain. I certainly would look for it, but just keep in mind the uncertainties.”

As always, the rates you actually see are less than the ZHR unless the radiant (in northern Perseus) is overhead and your sky is dark enough for magnitude-6.5 stars to be visible. Light pollution reduces the numbers, though the brightest ones will shine through. The meteors themselves flash into view anywhere in the sky, not necessarily near the radiant.

To do a meaningful meteor count by standard methods, so that your count can be integrated with others made all over the world for many days running, see imo.net/visual/major. There too you will find the required forms for submitting a report of your count.

Good luck and clear skies to all!

— Joe Rao

FOLLOW THE SHOWER ONLINE:
As meteor observers report their counts to the IMO, you can watch this year's Perseid activity curve develop hour by hour at imo.net.

Oumuamuaからの流星がもし出たら

重野好彦

昨年、太陽系外小惑星(1I/2017 U1 Oumuamua)が話題になりました。そうすると太陽系外流星はどんなものなのか知りたくなります。あり得ないことですが、Oumuamuaに伴う流星がもし出たら、いつどこに出るのか調べてみました。輻射点予想は ω アジャストメント法(Hasegawa I., 1999)です。

昇交点側は輻射点がろくぶんぎ座(しし座の南)にあります。地球と小惑星軌道の距離が0.318AU離れており、出現は望めません。降交点側は輻射点がわし座になります。距離が0.555AUとさらに離れてしまいます。流星の出現はあきらめるとして、軌道要素を見ると、速度と軌道傾斜角がペルセウス群によく似ていることが分かりました。

表1. Oumuamuaの軌道要素と予想輻射点

ID	DATE	UT	Co.	Rad2000	Cns	dist.	VG	a	e	q	ω	Ω	i
Oumuamuaの軌道	2018							1.199	0.255	241.7	24.6	122.7	
昇交点での流星	20181017	19	151.0	-7.3	Sex	0.318	58.3	-1.3	1.199	0.255	240.8	24.1	122.7
降交点での流星	20180527	03	296.4	-8.1	Aql	0.555	59.9	-1.3	1.199	0.255	299.8	65.5	140.5

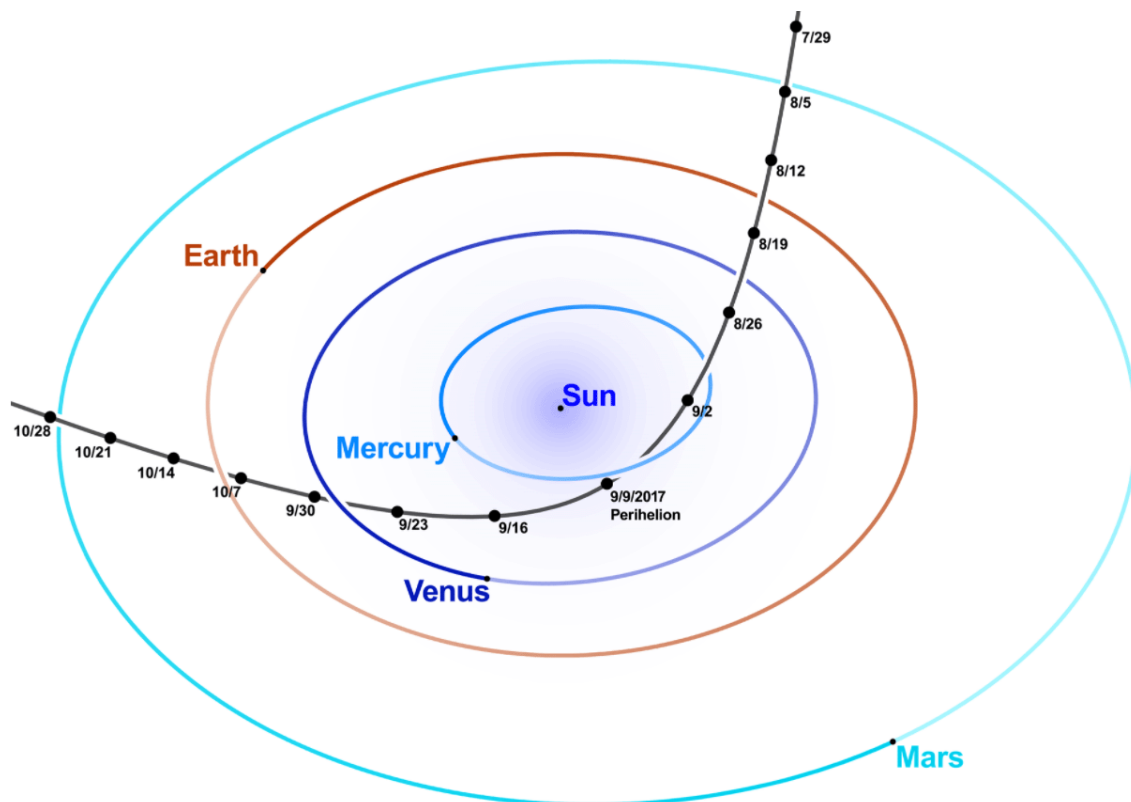


図1. Oumuamuaの軌道図。Robert J. Weryk(University of Hawaii), Wikipedia. によるものです。この図は黒い部分が多いためネガにしています。

アンドロメダ流星群の回帰と2018年の観測の重要性

泉 潔

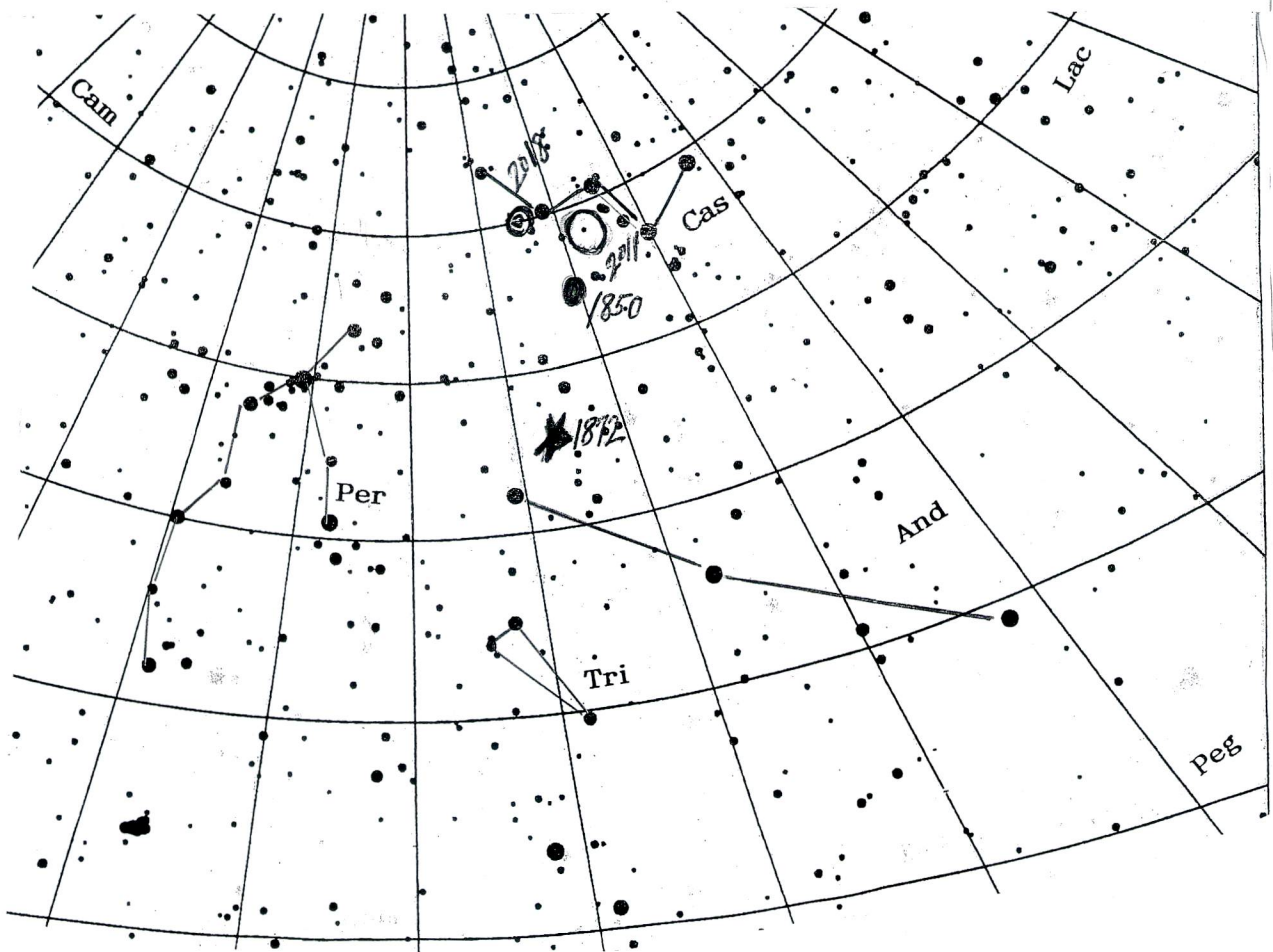
アンドロメダ流星群(ピエラ群)は19世紀の夜空を飾った大流星雨として、しし座流星雨と共によく知られた流星群である。しかし、母彗星のダストレイルからの距離が離れ20世紀以降流星群としても弱小化し、眼視的にはほとんど注目されない存在になっている。しかし、流星群自体が決して消滅してしまったわけでは無く、暗い流星が主体ではあるが、散発的な出現が電波やTV観測で捕らえられている。特に2011年12月上旬に推定ZHR50クラスの突発出現がカナダのCMOR(電波)や自動TV観測で捕らえられ、これらは軌道計算の結果、1649年にピエラ彗星が近日点を通過した際に放出されたダストレイルの回帰である可能性が高いようである。また、このダストレイルが今年2018年12月に再び地球軌道に接近するとのシミュレーションの結果がでている(*1)。月齢条件も良好であるのでこれを是非、様々な観測手段を駆使して確認してみたい。ここではアンドロメダ流星群のこれまでの観測歴史を振り返り、今年回帰が予報されているダストレイルの詳細を述べたい。ここでは文末に揚げた論文、書籍を参考にしつつ、私見を述べさせていただきます。

1 ピエラ彗星について

ピエラ彗星は周期6.6年の周期彗星であり、エンケ彗星などと共に短周期彗星として知名度は高い。ピエラ彗星は周期彗星と確定される以前に発見されていた。

1772年3月8日にフランスのモンタギュによって発見され、29日間観測された。1805年11月10日フランスのポンによって発見され、36日間観測された。1826年2月26日にドイツのピエラによって発見され72日間観

912 - 21



測された。ピエラはこれらが同一彗星の回帰であることを指摘した。その後、1836年の回帰は条件が悪く未発見に終わったが、1845年11月26日にはイタリアのデビコによって再発見された。12月には観測が少ないながら、興味深い核の分裂が観測された。1つの分裂核がゆっくり離れて行き3月末には中心角から14分の距離になった。1852年の回帰では分裂核が2つとも観測された。1859年の回帰は注目されたが、彗星は消滅し、その後ピエラ彗星は検出されていない(*2、7)。

2 21世紀までのアンドロメダ流星群の観測史

文末に掲げた文献より調査した18-21世紀のアンドロメダ流星群の観測状況をまとめたものが表1である。出現数については複数の記述の仕方があるため、筆者の独断による推定値であり、およそのものであることをお断りしておく。また、21世紀のカナダCMORは電波観測による値である。同様に観測史をまとめたものに信清由美子・渡辺美和氏によるもの(*4)や、河越彰彦氏によるもの(*6)がある。

表1 アンドロメダ流星群の観測史 *特に著しい流星雨

年	月日	観測記録	国
1741	Dec6	many shooting star	アメリカ(古記録)
1797	Dec7	star fell like rain	中国(古記録)
1798	Dec6	large display of shooting star 数千の流星	ドイツ(古記録) 日本 中国
1830	Dec7	falling star	フランス、南米
1838	Dec	流星雨	アメリカ、フランス イタリア、イギリス
1847	Dec7-10	21個の流星から輻射点を決定 $\alpha 25^\circ \delta + 40^\circ$	ドイツ
1867	Nov30	$\alpha 17^\circ \delta + 48^\circ$ より弱い活動。極大が11 月にずれ込んでいることを確認	イタリア
* 1872	Nov27	HR5000 (4人で)	イタリア
		PM8:00 HR 24万以上 火球多い	フランス
		PM6:30 HR1800、7:45 HR2160 PM10:45 HR840	イングランド
		HR2400 検出不可能 90%が暗い流星 RPの東方移動確認	西ヨーロッパ
	Nov24	HR40-50	西ヨーロッパ
Nov25	HR20-25	西ヨーロッパ	
Nov28	HR1000 遅く暗い流星多い 輻射点を $\alpha 26^\circ \delta + 44^\circ$ に決定	西ヨーロッパ	
* 1885	Nov27	HR6000 輻射点 $\alpha 21^\circ \delta + 44^\circ$ に決定 永続痕を伴う火球も多し。	スコットランド
		デニング HR3600	イングランド
		HR14000	フランス
		コートン HR75000	アメリカ
1892	Nov24	HR700	アメリカ
1899	Nov24	HR100	アメリカ
1904	Nov21	HR20	アメリカ
1928		12.5 cm屈折(視野 1°)の望遠鏡 観測で102分間で11個(6.8mag)	アメリカ
1940	Nov15	HR30 (暗い流星)	アメリカ
	Nov27-Dec4	アレックスがHR5を記録	イングランド
2008	Nov27	ZHR30 CMOR 電波	カナダ
2011	Dec5	ZHR50 CMOR 電波	カナダ
2011	Dec4-6	SonotaCo Net TV19 Vg16km/s	日本
2007-12	Oct5-	SonotaCo Net Total629	日本
	Dec26	TV観測	

19世紀では1872、1885年の出現が特に著しく、多くの記録が残されている。18世紀も古記録で詳細は不明であるが、記述内容から流星雨をもたらしていたことは確実であろう。1940年以降、明確な眼視観測記録はおそらくない。ただし、日本では1960-70年代の眼視プロット観測が盛んであった時代にはピエラ群関連の可能性のある輻射点は多く検出されている(*6)。1950年代のハーバード大学写真流星プロジェクトの中からアンドロメダ群と思われる流星が見いだされた。(ホーキンズ、サウスワース、レモン、1959) 1950-1956年のスーパッシュミットカメラで捕らえられた流星で($\alpha = 0 \sim 50^\circ$ 、 $\delta = 0 \sim 50^\circ$)の領域から放射した流星の軌道決定の結果、アンドロメダ群と判定された流星が49個見いだされた。内23個は対地速度19km/sであった。写真流星の極大は11月14日であり、HR=1である。眼視観測に換算するとおよそHR=5になると見込まれる。出現期間は11月2日-22日であった(*3)。1971年、マースデンとクレサックは彗星軌道の摂動による変化で、極大は従来より12日早まり、11

2018.7.1. MSS

月 17 日と予報した。また、輻射点予報も ($\alpha = 26.2^\circ$ 、 $\delta = +24.6^\circ$) と算出した。これは大流星雨をもたらした 19 世紀の位置よりも 20° 南下している。地球と母彗星軌道の最接近距離は 0.05AU で、流星出現が期待できる 0.1AU 以内に接近する期間は 11/6-12/1 日であった。リンドブラッドは 865 個の流星軌道の D 判定解析で、アンドロメダ群を 2 つのストリームに分けた。クックはアンドロメダ群とされるいくつかの流星は 9 月のうお群に属することを指摘し、単純に 2 つのストリームに分けられるものではなく、広く複合的なアンドロメダコンプレックスの考えを示した(*2)。

20 世紀末までは現在のようなダストレイルの理論が確立されておらず、単純に母彗星軌道と地球軌道との接近距離や位置関係のみで論じられていたわけだが、この時代の出現は流星雨をもたらした母彗星の分裂に伴い放出されたダストが広く拡散し、いくつかのストリームを作り、それとタイミングが合えば地球との遭遇が起こり、流星がもたらされたのではないだろうか。近年では SonotaCo Network により得られた流星軌道 DATA からある条件をつけて抽出した結果、2007-2012 年の延べ 6 年間で 629 個のアンドロメダ群が検出された(*5)。これらは 19 世紀に大流星雨をもたらしたストリームの拡散によるものと思われる。このストリームは 2120 年以降昇交点において地球軌道に接近し、彗星の分裂片が残存していれば再び流星雨をもたらす可能性があるとの計算もある(*8)。

3 近年のアンドロメダ群の回帰と 2018 年の観測の重要性

21 世紀になり、アッシャーらによって確立されたダストレイル理論を駆使し、様々な流星群の予報が行われ、良的中するようになった。的中しなくても、母彗星のダストの含有量の個体差などが原因であり、この理論そのものは確立されたと言って良いのではないだろうか。近年の主に電波観測で見いだされたアンドロメダ群の出現も詳細に各年代ごとのダストレイルとの遭遇シミュレーションによる同定が試みられている。

カナダの CMOR は 2011 年 12 月初旬(3-5 日)にアンドロメダ流星雨の出現を捕らえた。これはおよそ 1 世紀ぶりの大きな出現である。その輻射点は 19 世紀の大流星雨をもたらした時の輻射点の位置に近く、いわゆるクラシカルなアンドロメダ群を捕らえたといえる。位置はカシオペア座の近くで ($\alpha 18.2^\circ$ 、 $\delta +57.2^\circ$) である。極大は太陽黄径 (λ) = 252.8° (2011, Dec 5.12UT) で合計 122 個の流星が電波で捕らえられている。ピーク時の ZHR=50 である。ほとんどがダスト直径 500 μ m 以下の粒子で、光学的には対地速度も遅いので、暗い流星となる。この突発出現は日本の SonotaCoNet でも捕らえられ、カシオペア座に輻射点を有する群としていち早く、植原 敏氏が報告されている。2008 年にも CMOR の後の調査で ZHR30 クラスの出現が捕らえられていたことが判明した(*1)。この年の輻射点位置は 2011 年の位置と異なるが近い。19 世紀末の流星雨は 1845 年の母彗星の分裂に伴うダストレイルに伴うものだと考えられている(*5)。以降、このダストレイルは軌道進化し、結果的に 20 世紀以降は活動期間が 11 月中旬頃に早まり、輻射点位置の南下をもたらしている。また、拡散も進行している。2011 年に起こった流星雨はこれとは異なるダストレイル起源である。それはピエラ彗星が発見前の 1649 年に近日点を通過した際に放出されたダストから形成されたダストレイルと地球が遭遇したとシミュレーションすると、2011 年の流星雨の活動期間や輻射点位置を説明できる。ただし、若干の理論とのずれもあるようである。このダストレイルは木星と 3:5 のレゾナンスの関係にあり、これによる安定軌道への捕獲で軌道変化が遅く 1800 年代の流星雨の輻射位置に近くなったものと思われる。

今年 2018 年にこのダストレイルと地球の接近が予報されている。2011 年以上の出現が期待できる。今後の回帰は今年と 2023、2036 年になる。今年の予報は極大が太陽黄径 (λ) = 254° (Dec 6.月齢 29)、輻射点は ($\alpha 24^\circ$ $\delta +50^\circ$) でカシオペア座に近い(*1)。11 月下旬から 12 月上旬の月のない時間帯を狙い観測されてみてはいかがであろうか。微光流星が主体とはいえ、流星の速度はおうし群よりも遅いので判別はしやすいのではないだろうか。また、2011 年にはカナダの写真流星ネットワークでこの群と思われる 1 等級の流星も撮影されている。

現在は観測機材の進歩で手軽に高感度デジカメでの動画撮影が可能になった。筆者は、SONY α 7s に 35mm F1.4 のレンズ搭載で7~8等の流星まで捕らえられることがわかっているので予報輻射点付近をなるべく長時間撮影してみる予定である。また、それなりの出現があれば眼視観測でも捕らえられるはずなので、なるべく空の条件の良い所での眼視プロット観測も有効であろう。様々な観測方法を駆使し、19世紀の夜空を飾ったアンドロメダ流星群の残党を是非捕らえていただきたい。

参考文献

- 1 PAUL.A.WIEGERT, PETEOR G., BROWN, ROBERT J.WERYK, AND DANIEL.K.WONG
THE RETURN OF THE ANDROMEDIDS METEOR SHOWER
THE ASTRONOMICAL JOURNAL 145-70(11pp) 2013 March
- 2 KRONK. METEOR SHOWERS(p257-266)2014
- 3 OAA 天界 437 1961年10月
- 4 信清由美子 渡辺美和 第50回流星会議資料 2009
1885年に日本で目撃されたアンドロメダ座流星雨記録の発見
- 5 司馬康生 第54回大阪ベイス台流星会議資料集 2013
SonotaCo Network の自動TV流星観測によるアンドロメダ流星群
- 6 河越彰彦 アstralシリーズ流星II p142-145 1984
- 7 長沢工 流星にむかう 1972 p22-26
- 8 PETEOR JENNISKENS Meteor Showers and their parent comet p380-38



Leonids

Leonid prediction for the period 2001-2100

Mikhail Maslov WGN 35:1 2007 から

L計画Ⅱへの提言 2019.2.3 MSS 泉 潔 MSS-151

2019: 通常極大が Nov17、23hUT ZHR15-20。Nov16、02hUT 1400年トレイルによる増加で ZHR15-20、やや明るい流星。Nov19、05hUT、1800年トレイルによる明るい流星の増加が予想される。

2020: レベルの低い通常ピークが Nov17、03hUT、ZHR10-15 程度。ダストトレイルとの遭遇なし。

2021: レベルの低い通常ピーク、Nov17、07hUT ZHR10 程度。ダストトレイルとの遭遇なし。

2022:: 中レベルの通常ピーク Nov17、16hUT、ZHR10-15。Nov19、06hUT。1733年トレイルとの遭遇で強い突発の予想あり。ZHR250-300 で明るい流星が多く期待できる。Nov21、15hUT、1800年トレイルとの接近で ZHR5-10 の活動が期待できて、通常より明るい流星が多い。

2023: Nov17、22hUT ZHR15 以上の通常極大。Nov21、12hUT、1767年トレイルによるわずかの増加で ZHR10-15、明るい流星が多い。

2024: Nov17、04hUT、通常極大が強まり、ZHR15-20 ダストトレイルの遭遇はない。

2025: Nov17、10hUT、ZHR15-20。Nov17、19-23hUT、1699年トレイルとの遭遇で ZHR60-90 の明るい流星の突発が期待できる。

2026: Nov17、16hUT 穏やかな ZHR15 程度の通常ピーク。ダストトレイルとの遭遇なし。

2027: 55P 回帰が近づき、強い通常極大 Nov17、22hUT、ZHR40-50、Nov20、04hUT、1167年トレイルによる ZHR40-50 の予報。明るい流星が多い。

2028: 穏やかな通常極大 Nov17、05hUT、ZHR30-40。ダストトレイルとの遭遇なし。

2029: 通常極大 Nov17、11hUT、ZHR30-40 ダストトレイルとの遭遇なし。

2030: 55p 回帰。Nov17、17hUT、ZHR10-15。他の年の ZHR10 以下の通常ピークより強いが低調な活動。ダストトレイルとの遭遇なし。

2031: 前年同様に 55 p 回帰にもかかわらず、ダストトレイルの予報がないため、Nov17、23hUT に ZHR15-20 程度の活動。

2032: Nov17、05hUT に ZHR15 程度の通常極大。ダストトレイルの回帰なし。

2033: 通常極大 Nov17、11hUT、ZHR25-35、Nov17、17hUT に 1932 トレイルによる暗い流星の多い ZHR30 程度の活動。1899 年トレイルによる強い回帰が Nov17、20h53m に ZHR300-400 になる予報だが暗い流星が多い。

2034: 複数のトレイルが接近するため、突発出現が予想されている。通常極大 Nov17、18hUT ZHR40-50、Nov18、3h4UT、1932 年トレイルによる ZHR400-500 の出現、暗い流星が主体。Nov18、9h2UT、1899 トレイルによる ZHR30-40 の出現。暗い流星が主体。Nov18、22h4UT、1767 年トレイルによる ZHR150-250 の出現。光度は平均的。Nov19、5-6hUT、ZHR300-400 の出現。

2035: 通常極大 Nov18、0hUT、ZHR30-40、Nov19、15h24UT、1800,1834 トレイルによる ZHR50-60 の出現、光度は平均的。Nov19、22h10UT、1866 トレイルによる弱い増加。ZHR30 暗い流星がやや多い。Nov20、6h06UT、1633 トレイルによる ZHR300-350。明るい流星が多い。

まとめ

次回帰のしし座流星雨は前回帰(1998-2002)のような有望なダストトレイルの接近がなく、流星雨になる可能性はあまりなさそうだ。55 p 回帰後の 2033、2034、2035 の 3 年間でダストトレイルとの接近が多く予想され、一番期待はできる。しかし ZHR300-400 程度の予報である、

注目したいのは、55 p 回帰以前の 2022、2025、2027 にトレイル接近による活発な出現が予報されていることである。特に 2022 は ZHR300 クラスで注目に値する。2019 年は前回帰の 1987 年に相当する。1987 年には L 計画が立ち上がり、来るべき大流星雨に向けて活発な議論が展開されていた。当時はなかったダストトレイル理論や進歩した観測手段に基づいた L 計画 II を立ち上げたいかがだろうか。

10月りゅう座流星群（ジャコビニ群）の2019年の予報

佐藤 幹哉（NMS）

MSS-152
2019.7.7
ダスト・トレイル
Mikiya Sato

2019年も10月りゅう座流星群（ジャコビニ群）のダスト・トレイルによる出現の可能性はある。

- ・近年の10月りゅう座流星群の突発出現は、1998年、2011年、2018年
- ・翌年に、中規模な出現（1999年、2012年）
- ・1959年、1966年のダスト・トレイルと考えられる
- ・放出速度が速い → 一般的には出現は少ないか、微光になる

表. 2019年のダスト・トレイルの状況

放出年	予報極大時刻			太陽黄経 (J2000.0)	Δr (距離) (AU)	放出 速度 (m/s)	fM	予報放射点		Vg (速度) (km/s)	備考
	日付 (UT)	時刻 (UT)	日本時 (JST)					α (°)	δ (°)		
1959	2019/10/08.60	14:19	10/08 23:19	194.744	-0.0013	+62.83	0.19	261.41	+53.73	20.45	
1966	2019/10/08.64	15:25	10/09 00:25	194.789	+0.0075	+65.17	0.16	260.73	+53.90	20.30	距離遠い

- 【予報】
- ・1959年に放出したダストが形成するダスト・トレイルが比較的接近
 - ・1966年トレイルは、だいぶ遠い（寄与不明）
 - ・日本の深夜の時間帯で、放射点が低いが見える可能性がある

表. 2012年のダスト・トレイルの状況

放出年	予報極大時刻			太陽黄経 (J2000.0)	Δr (距離) (AU)	放出 速度 (m/s)	fM	予報放射点		Vg (速度) (km/s)	備考
	日付 (UT)	時刻 (UT)	日本時 (JST)					α (°)	δ (°)		
1959	2012/10/08.69	16:40	10/09 01:40	195.624	+0.0012	+38.70	0.0033	262.79	+55.84	20.99	fM大変小さい
1966	2012/10/08.70	16:48	10/09 01:48	195.630	+0.0042	+43.07	0.24	262.37	+55.76	20.91	距離やや遠い
1966	2012/10/08.73	17:28	10/09 02:28	195.658	+0.00041	+51.34	0.027	262.51	+55.60	20.96	fM小さい
1966	2012/10/08.73	17:28	10/09 02:28	195.658	+0.00040	+51.35	0.022	262.52	+55.61	20.96	fM小さい

- 【結果】
- ・MUレーダーで検出：10/8 16:20-17:40 (UT) にピーク、2011年よりも多い (Fujiwara et al 2016)
 - ・カナダのCMOR（レーダー）でかなりの出現：10/8 16:38 (UT) (Ye et al 2014)
 - ・眼視的にはチェコとウクライナで観測（詳細不明）

表. 1999年のダスト・トレイルの状況

放出年	予報極大時刻			太陽黄経 (J2000.0)	Δr (距離) (AU)	放出 速度 (m/s)	fM	予報放射点		Vg (速度) (km/s)	備考
	日付 (UT)	時刻 (UT)	日本時 (JST)					α (°)	δ (°)		
1959	1999/10/09.45	10:51	10/09 19:51	195.714	-0.0026	+59.98	0.20	262.83	+55.48	21.01	
1966	1999/10/09.50	12:00	10/09 21:00	195.761	-0.0014	+69.42	0.26	262.50	+55.26	20.94	

- 【結果】
- ・10/9 10時～12時 (UT) 日本でHR=20～30の出現を記録

DATE	JST	TIME	aM	Spo.	Dra	Lm	CL	Dir	Obs.	Meth.
Oct./1999										
09/10	19:00-20:00	60	30	-	28	5.7	0	Z	赤木誠司	V
09/10	20:00-20:50	50	23	05	18	5.5	0	Z	児玉広幸	V
09/10	20:00-21:00	60	28	-	23	5.7	0	Z	赤木誠司	V
09/10	21:00-22:00	60	22	-	10	5.8	0	Z	赤木誠司	V
09/10	21:00-22:00	60	13	07	6	5.5	0	Z	児玉広幸	V
09/10	20:00-21:00	60	41	14	27	7.8	0	-	野勢國雄	TV (50mm, F=1.4)
09/10	21:00-21:57	57	19	15	4	7.2	0	-	野勢國雄	TV (50mm, F=1.4)

(Web, Hashimoto より抜粋)

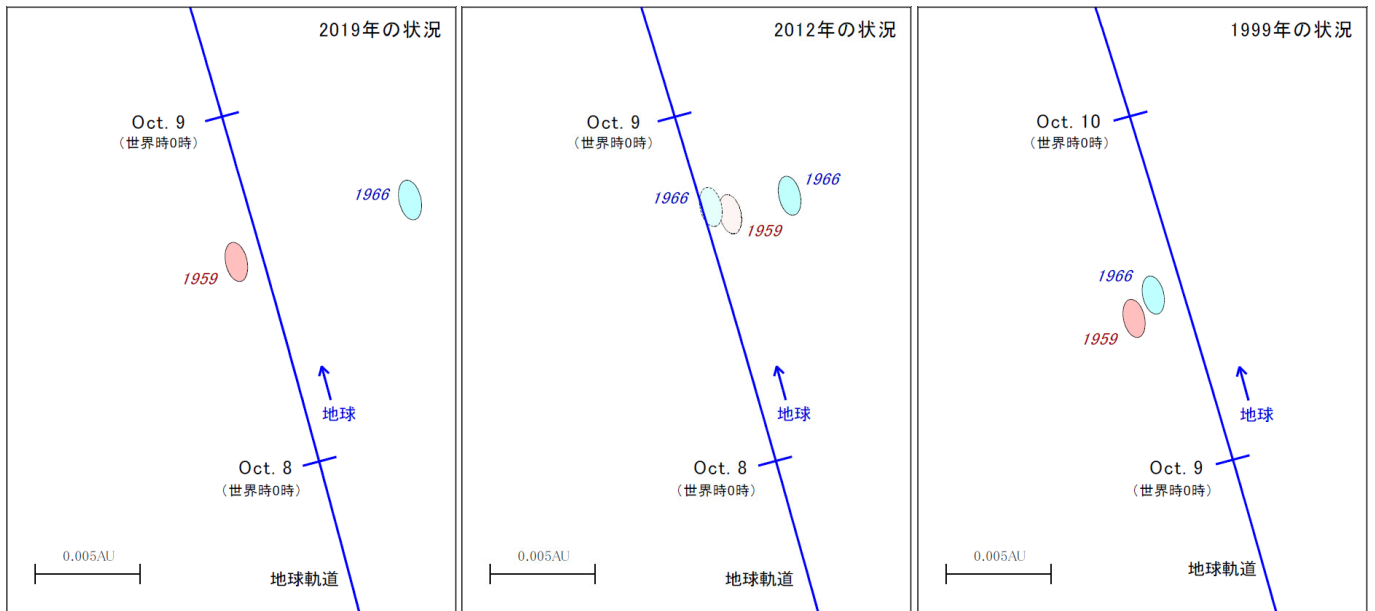


図 各年のダスト・トレイルの位置

【近日点距離の効果について】

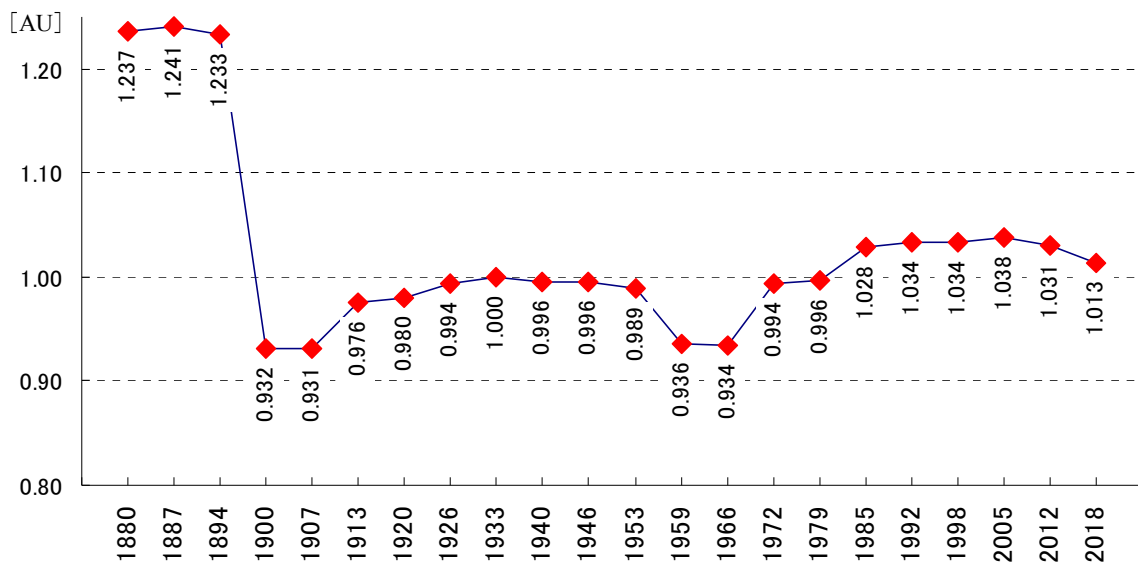


図 母天体の近日点距離の推移

- ・ 1926～1953年：約0.99～1.00 au に対して、1959年と1966年：約0.935 au
- ・ 単純に距離の2乗に反比例すると考えると、12～16%程活発化の期待
- ・ ダストの放出期間が長くなる

【放射点高度について】

極大年	時刻	放射点高度	修正高度	対 19:51	対 21:00
2019年極大	23:19	18.6	23.5	43.4%	26.4%
2019年極大	00:25	11.2	16.7	26.4%	32.2%
1999年極大	19:51	47.4	50.1	-	-
1999年極大	21:00	37.1	40.5	-	-

- ・ 1999年と同等の出現と仮定すると見られる数はおよそ25～40%
- ・ HR = 30 を基準とすると
今年のHRは、5 ～ 15 くらいか？