

しし座流星群の暗い流星分布計測

大西浩次^{*1} 柳沢俊史^{*2} 鳥居研一^{*3} 小浜光洋^{*4}

Faint Meteor Search of Leonid, 2001-2003

OHNISHI Kouji, YANAGISAWA Toshifumi, TORII Ken'ichi, KOHAMA Mituhiro,

McNaught and Asher (2001) predicted the Leonids Meteor Storm in 2001 due to the 4-rev (1866 yr.) and 9-rev (1699 yr) dust trails of the Leonids. To measure the flux and magnitude distribution of very faint meteors, we performed deep imaging telescopic observations with the cooled CCD camera toward the radiant points of the Leonids. We observed the Leonids meteor storm Nov.18 UT 2001, and succeeded to separate the radiant points due to the 4-rev and 9-rev dust trails (Yanagisawa et al. 2003, Torii et al. 2003) and we also succeeded to detect the faint meteors under 10 magnitudes (Kohama et al. 2003). The flux of faint meteors increases with the population index of 2.4, and the flux was obtained as $(4.2 \pm 2.1) \times 10^{-4} \text{ km}^{-2} \text{ s}^{-1} (\text{mag} \leq +12)$. We have found no apparent cutoff of the flux at brighter than ~ 12 magnitude. The size of meteoroid of 10th magnitude meteor is a several tenth μm . Such small meteoroids are not the meteoroids of 4-rev (1866 yr.) and 9-rev (1699 yr) dust trails, because it is considered that they cannot return around the orbit of dust trail due to the solar radiation pressure. Thus we have to consider the new physical mechanism to create such small meteoroids. To established the property of faint meteor distribution, we also performed the deep imaging telescopic observation at the duration of the Leonids 2002 and 2003. This paper describes the detailed observation circumstances of Leonids 2001, 2002, and 2003 and the preliminary result of faint meteor distribution of Leonids.

キーワード: Leonids, dust trail, radiant, faint meteor, mass index

1. はじめに

しし座流星群は最も活動的な流星群として知られている。この強い活動は、母天体である 55P/Tempel-Tuttle 彗星の周期に対応し、ほぼ、33 年ごとに起きている。今回の回帰は 1998 年 2 月末であり、1998 年と 1999 年に流星嵐になる可能性が高いと考えられていた (Yeomans 1981)。この回帰にあたり、Leonid MAC キャンペーンのような多くの国際的な観測組織が作られ、CCD ビデオカメラを始め最新の観測技術が用いられた (Jenniskens et al. 2000)。それらの初期観測より、流星群の流星物質分布に関する理論的に非常に重要な進展があった。特に、McNight と Asher らは、1998 年 11 月 18 日のヨーロッパでの突発的な火球出現を契機に、流星嵐の発生のメカニズムの再考を

行い、Dust Trail(DT) 理論を発展させた (McNight & Asher 1999)。それによれば、眼視流星になるほどの「大きな」流星物質 (\approx 太陽輻射圧が効かないサイズ) は、数百年、母彗星とほぼ同じ軌道要素を横方向には拡散せず保つという。このダスト群は、次第に軌道方向に広がり、きわめて細長い DT をつくる。母彗星の回帰毎に、このようなきわめて細い DT ができ、惑星の重力の摂動を受け、しだいに、母天体の軌道からずれて行く。その結果、母彗星の軌道に沿った DT の束、および、時間を経て拡散した、流星物質達がダストチューブを形成させる。通常の流星群は、地球がダストチューブを横切るときに起こる。特に、流星嵐は、地球がダストチューブ内の狭い DT に遭遇するとき起きるというのである。

2001 年のしし座流星群は、母彗星の 1866 年の回帰時に生成された DT(4 回前の回帰時の DT、以下 4-rev. DT と呼ぶ) と 1699 年の回帰時に生成された DT(9 回前の回帰時の DT、以下 9-rev. DT と呼ぶ) による流星嵐が生じると予報されていた (Mc-

^{*1} 一般科助教授

^{*2} 宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部

宇宙先進技術研究グループ主任研究員

^{*3} 大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻助手

^{*4} 理化学研究所宇宙放射研究室研究員

原稿受付 2004 年 5 月 20 日

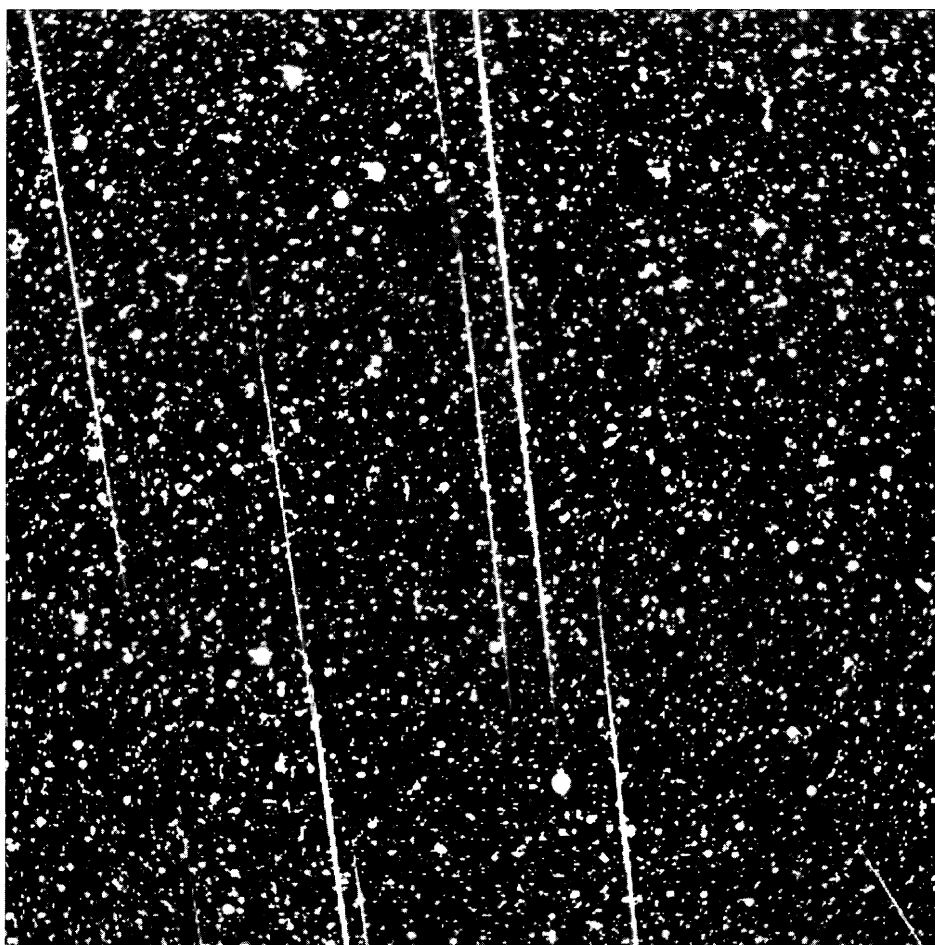


図1 Composite image of meteors by 180mm camera lens

Naught and Asher 1999, Lyytinen and van Flan-
dern 2000, Lyytinen et al. 2001, McNaught and
Asher 2001)。Lyytinen et al. のモデル (2000, 2001)
では、2001 年 11 月 18 日 18h03m UT と 18h20m
UT に、それぞれ 9-rev.DT と 4-rev.DT による嵐
が生じると予報した。一方、McNaught と Asher の
モデル (1999, 291) では、それぞれ、17h24m UT と
18h13m UT と予報した。これら 2 つの DT による流
星嵐の観測に、日本は最適の観測場所であった。

ところで、流星観測においては、流星の流量 (Flux)、
および、光度分布 (population index and/or mass
index) が重要な物理量である。1999 年時点までのし
し座流星群の観測では、5 等星より暗い流星はきわめて
少ないと示唆されていた (例えば、Arlt et al. 1999)。
この結果が、ある種の観測的バイアスによるものか、
あるいは、DT の進化による (DT 内の微小サイズダ
ストの減少) リアルな現象なのかを確認するには、さ
らに深い等級までの流星の流量測定が必要である。

我々は、2001 年のしし座流星群の観測に関して 2

つの新しい観測法を提案し (詳細は 2 章)、望遠鏡に
よる 7 等星から 12 等星の範囲での暗い流星分布を求
めることに成功した。このデータとビデオ観測のデー
タの結合では、-2 等星から 12 等星まで、すなわち、
 1×10^4 の明るさのレンジでの流星分布を求めること
ができた。この結果、暗い流星は、

- (1) 一様なべき (光度比 $r = 2.4$) で増加する、
- (2) 明るい流星のべきと暗い流星のべきが一致する。
ただし、5-6 等星でずれている、
- (3) クラスタ現象の流星の光度分布は、一様なべき
(光度比 $r = 2.4$) で増加する、
- (4) 12 等星までの範囲で cut-off がない。
- (5) 4-rev. DT と 9-rev. DT の分離データ (未発表)
の両者の時間分散の比較から、優位な差が見当たらない、

などが判った。このことは、暗い流星=小さい流星
物質の起源が、DT 生成時のものではなく、非常の最
近、たとえば、DT 内の大きな流星物質が近日点を通
過した前後、すなわち、地球に衝突する (流星になる)

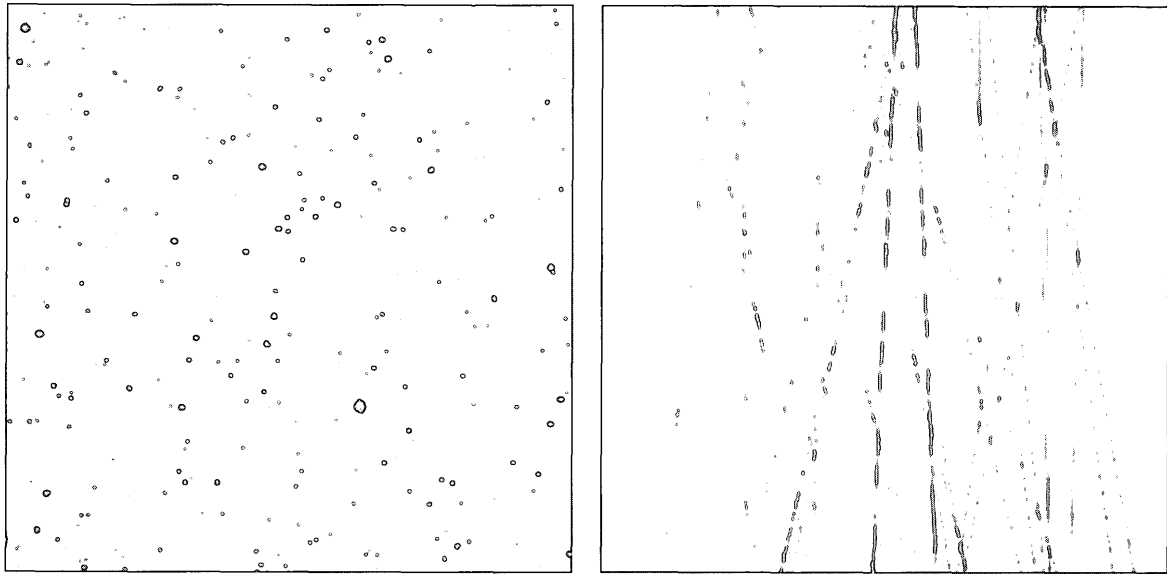


図2 左: ϵ 160+NIL FCC-104B で撮影した①領域の画像 視野 1.4° 角、露出 10 秒、右: 18:20:35~18:32:8(UT) の間に撮影された 50 枚の画像で検出された線像

2-3ヶ月前に崩壊したことによって生じたものではないかと考えられる。

この仮説を確かめるために、2002 年、2003 年のしし座流星群の時期にも、望遠鏡による暗い流星観測を実施した。2002 年は、ヨーロッパ、および、アメリカで流星嵐が観測された。日本は、この 2 つの流星嵐の間に挟まり、いずれの嵐も観測できなかったが、この両嵐のバックグラウンドを観測した。ここで、2002 年 11 月 18 日未明、1-rev. DT による暗い流星のみの流星嵐を検出することに成功した。2003 年は、2003 年 11 月 14 日早朝に 1499 年の DT による流星嵐が期待されていた。ビデオ観測ではしし座流星群の暗い流星の増加を捉えているが、流星嵐とはいえないものであった。

本報告では、2001 年のしし座流星群における観測状況を報告し、暗い流星分布に関する結果を紹介する。さらに、2002 年のしし座流星群において、1965 年回帰時の DT による暗い流星の流星嵐の観測状況を報告する。また、2003 年のしし座流星群において、1499 年回帰時の DT による暗い流星の観測状況を報告する。

2. 計測手法

暗い流星観測の手法としては、通常 I.I. をつけた CCD ビデオ観測が行われている。この観測での限界等級は 8-10 等星程度である。我々は、これより、さらに暗い流星の検出を狙い、望遠鏡と冷却 CCD、および、画像解析を組み合わせた新しい手法を開発した。

2-1 Toward the Radiant direction

望遠鏡と冷却 CCD を流星群の輻射点方向に向けることで、(1) 流星の見かけの動きを遅くする (小さな角速度)、(2) 見かけの経路を短くすることで、CCD の pixel 上に落ちる光量が増加し、通常より深い (暗い) 流星の探査が行える。これは、特定の流星群を選択的に観測することになる。というのも、散在流星は任意の方向に出現するので、流星群の輻射点方向に向けた場合に比べて、角速度がはるかに大きく、CCD の pixel 当たりの光量が非常に小さく、明るい散在流星しか検出できない。すなわち、狭視野観測では、散在流星の寄与はほとんどないと考えられる。

2-2 Line Detection Methods

線像検出法は、スペースデブリや小惑星を検出する方法として、柳沢俊史によって開発された (Yanagisawa et al. 2003)。はじめに、USNO-A 2.0 catalog を基準として各フレームごとに星の位置測定を行い、ピクセルごとの位置を 0.01 度以上の精度で決定する。次に、星をマスクし、フレームの中心より、フレームを回転させ、すべての線分上の画素について、全ての画素の中央値をとる。ここで、線分と流星の軌跡と一致すると、有意に高い中央値が得られる。回転角を次々と変えながら演算を繰り返し、流星軌跡を検出する。図 2 は、16cm($F=3.3$) の望遠鏡による撮像画像と線像検出法で検出した線分を表す。この解析を行うと、目視で確認した場合の 20~30 倍暗い流星が検出できる。

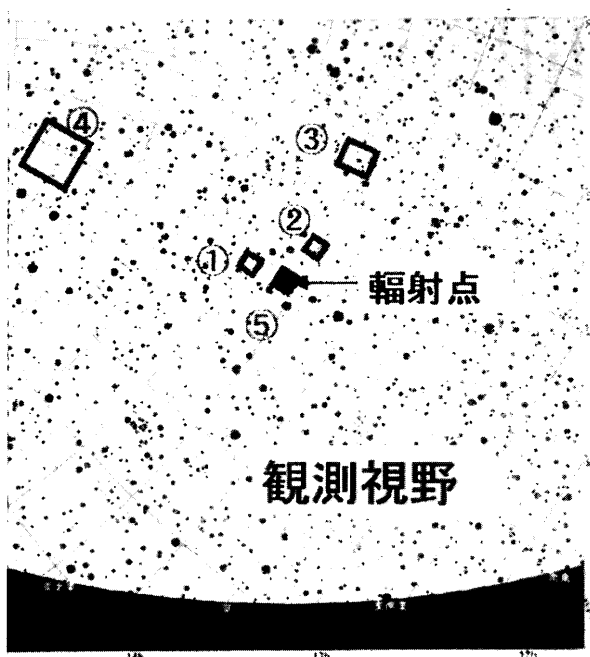


図3 FOVの方向 AM3h, 19 Nov. 2001

3. 観測目的

我々は、2001年のしし座流星群流星嵐に際して、これらの手法により下記の2つをテーマとする暗い流星探査を行った。

(A) 望遠鏡を流星群の輻射点方向に向けて、通常より深い(暗い)流星の探査を行ない、暗い流星までの光度分布関数を得ること、特に暗い流星のカットオフ現象等を捕らえ、DTの進化の情報を得る。

(B) 小惑星やスペースデブリの検出用に開発した線像検出法を流星に適応し、しし座流星群の流星輻射点を高精度に測定して、9-rev. DTと4-rev. DTによる流星の輻射点の位置の差を検出し、DT理論の直接的な検証を行なう。これと同時に、9-rev. DTと4-rev. DTによるそれぞれの流星の流量を求める。

ところで、一般にダストチューブサイズは大きく、通常の流星群の輻射点は1度から数度に広がっているが、流星嵐の原因となるDTのサイズは、きわめて狭く、流星嵐のときの輻射点は数分の1から数十分の1度程度であると考えられる。ここで、DT理論以前に予報されている輻射点の位置は、ダストチューブの予報位置である。すなわち、今回の目的のような、輻射点の高精度予報位置は要求されていなかった。

いま、観測(A)を計画する場合、望遠鏡の視野内に輻射点が入っていることが望ましい。そのためには、少なくとも、 0.3° 程度の精度で輻射点の予報位置が求

まっている必要がある。さらに、観測(B)を計画する場合、9-rev. DTと4-rev. DTの輻射点の予想離角により、分離に必要な観測装置の構成(焦点距離、CCDサイズ)が異なる。そのため、9-rev. DTと4-rev. DTの輻射点(差)の高精度の位置予報が必要となる。

我々は、D.Asherから計算中の9-rev. DTと4-rev. DTの輻射点の予報位置の情報を得て、観測計画を企画し、輻射点予報位置を中心に、複数の冷却CCDカメラによる撮像を実施した。

その結果、観測(A)より、通常より大変暗い流星を検出することに成功した。Ohnishi et al.(2003)は、ガンマ線バーストの追観測の望遠鏡、RIBOTS, RIMOTS、および、東京大学宇宙線研究所明野観測所にセットした20cm($F=4$)の望遠鏡データを解析した。Nishiura et al.(2002)は、東京大学天文学教育センター木曽観測所の105cm木曽シュミットカメラのデータを解析した。

また、観測(B)より、Astrometric的な観測手法によるDT理論の直接的な検証を行った(Yanagisawa et al. 2003, Torii et al. 2003)。図3のように、輻射点を挟む2方向で観測する。線像検出法で検出された線分を延長し交点を求めることで輻射点の位置を決定する。ここで、線像検出法が有効に働くように、CCD上での流星軌跡の長さがFOVのサイズと同等になるように、CCDの中心視野を輻射点方向からCCDのFOVの4倍程度ずらしている。実際の観測のFOVの方向と位置関係を、図3、および表1で示す。図1は、同観測手法のための180mm望遠レンズによる撮像画像を65フレーム合成したものである。解析手法や結果の詳細は、Yanagisawa et al.(2003)やTorii et al.(2003)を参照してほしい。

4. Observation

4-1 2001年しし座流星群

McNightとAsherらは、DT理論によりしし座流星群の予報を行なった(McNight & Asher 1999)。予報では、(1)2001年のしし座流星群は、3つのDTとの遭遇による流星嵐が起きる。(2)11月18日17時31分(UT)の9-rev. DTによるZHR9000、11月18日18時19分(UT)に4-rev. DTによるZHR15000の流星嵐は、日本が最適の観測サイトであるという(McNaught, Asher 1999, 2001; Lyytinen, van Flantern 1999; Lyytinen et al. 2001)。

2001年しし座流星群の観測は、11月17日より20日までの3日間、東京大学宇宙線研究所明野観測所で行った。同時に、同研究所より、ガンマ線バースト光

表 1 Equipment parameters for line detection method and faint meteor serach in 2001 Leonid

direction	equipment	aperture	focal length	CCD	exposure	frames
1)	Takahasi, €160	160mm	530mm	N.I.L., FCC-104B	10s	
2)	Takahasi, €160	160mm	530mm	Apogee, AP7	10	
3)	180mm camera lens	64mm	180mm	Apogee, AP7	10	
4)	180mm camera lens	64mm	180mm	Apogee, AP6	10	
5)	AKENO 20cm	200mm	800mm	Apogee, AP6	20	757
4)	85mm	56mm	85mm	SBIG, ST9E	15	
5)	RIBOTS	300mm	1000mm	SBIG, ST8E	15	411
5)	RIMOTS	300mm	1000mm	SBIG, ST9E	15	305
5)	KISO SCHNIDT	1050mm	3300mm	2KCCD	900	5
5)	KSC SCHNIDT	500mm	750mm	70mm film	180	

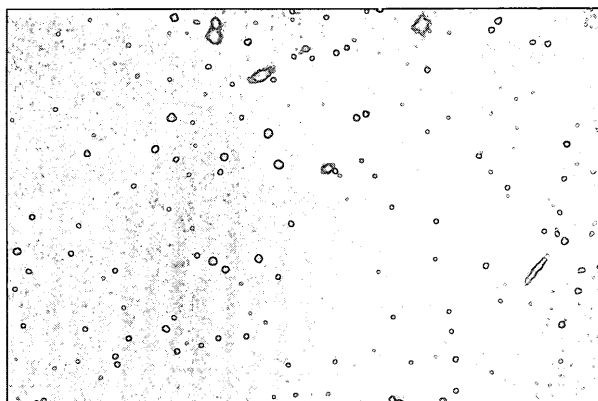


図 4 RIBOTS Images

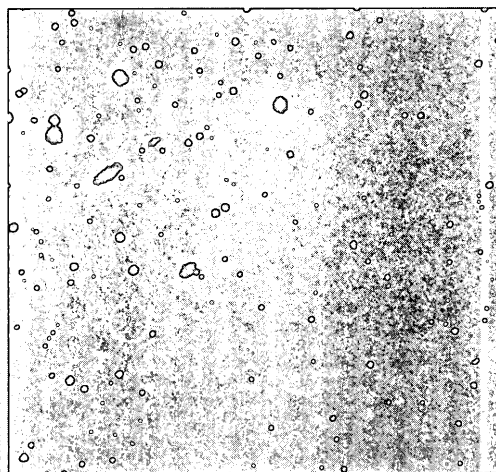


図 5 RIMOTS Images

学対応天体探査・追観測用の 2 台のロボット望遠鏡、RIBOTS(岡山県美星町、美星天文台)、RIMOTS(宮崎県宮崎市、宮崎大学工学部)をインターネット経由で制御し、輻射点方向の同時観測を行なった。表 1 に、暗い流星探査観測に使用した望遠鏡と冷却 CCD の一覧を示した。図 4、図 5 は、それぞれ、RIBOTS、RIMOTS による流星である。これらの流星の検出限界等級は 13 等星である。

4-2 2002 年しし座流星群

2002 年のしし座流星群は、日本では 11 月 19 日の明け方、および深夜に 1767 年と 1866 年のダストトレイルによる流星嵐の前後の裾野が観測できると予報されていた。同時に、11 月 18 日の明け方、1965 年

のダストトレイルによる暗い流星の検出の可能性も指摘されていた。そこで、2002 年しし座流星群の観測は、2002 年 11 月 17 日より 20 日までの 3 日間、国立天文台野辺山電波観測所にて行った。図 6 は、1965 年 DT によるしし座流星群の流星の画像である。初期解析として、16cm 望遠鏡による 17 日の 19:45:21 のから 20:44:59 までの 506 枚を目視して確認した。結果、しし座流星群の流星候補 5(+2)、散在流星 8(-2)であった。このフラックスは、9 等星限界で $6.5 \times 10^{-5} \text{km}^{-2} \text{s}^{-1}$ である。2001 年と同様の解析を行えば限界等級 11 等星まで検出できる。この Flux は 2001 年の嵐の時の 9 等星での値とほぼ同じであり、暗い流星による流星嵐があったと考えられる。図 7 は、85mm 望遠レンズに II をつけたビデオ観測の結果である。現在、他のデータも合わせて解析中である。

表 2 Equipment parameters for faint meteor serach in Leonid 2002 and 2003

17-20 Nov.2002					国立天文台	野辺山電波観測所
equipment	aperture	F	CCD	exposure	frames	
Takahasi, $\epsilon 160$	160mm	3.3	N.I.L., FCC-104B	10s	5040	
Takahasi, $\epsilon 160$	160mm	3.3	Apogee, AP6	5s	6583	
AF Nikkor 85mm	56mm	1.4	Apogee, AP7p	5s	3508	
AF Nikkor 180mm	64mm	2.8	Apogee, AP7p	5s	3119	
Nikkor 24mm		2.8	Apogee, AP47p	10s	1297	
13/14 Nov.2003					航技研	入笠山観測所
equipment	aperture	F	CCD	exposure	frames	
Takahasi, $\epsilon 160$	160mm	3.3	N.I.L., FCC-104B	10s	≈ 1000	
Takahasi, $\epsilon 350N$	350mm	3.6	NIL FCC-420B	10s	≈ 700	

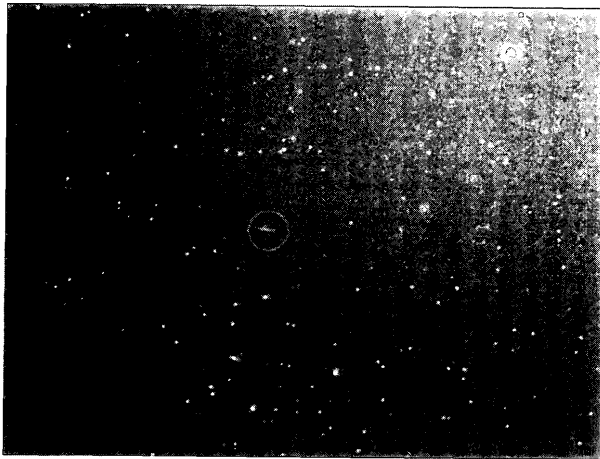


図 6 Meteor due to 1965DT in Leonid 2002

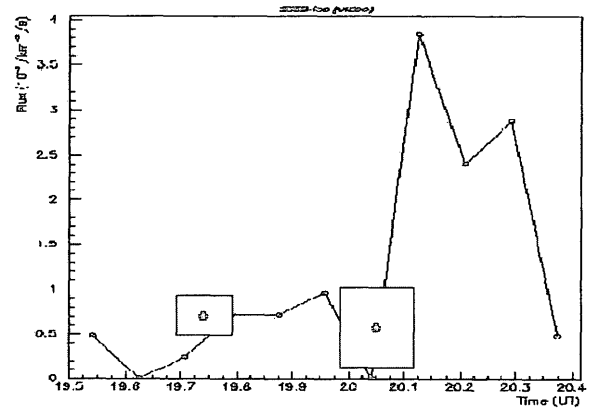


図 7 Flux due to 1965DT in Leonid 2002

4-3 2003 年しし座流星群

2003 年しし座流星群の予報によれば、11 月 14 日の明け方に 1499 年のダストトレールがぶつかり、Vaubailon によれば ZHR=120、Esko Lyytinen によれば、ZHR=200 ほどの流星が出ると予報されていた。我々は、1499 年 DT による暗い流星探査のために、11 月 13 日から 14 日未明に掛けて、長野県入笠山に設置されている航技研の口径 35cm 光学望遠鏡と口径 16cm 光学望遠鏡による観測をおこなった。同時に行っている 85mm, 180mm + II の観測結果、通常時より多いしし座流星群の流星を検出している。今後、望遠鏡観測を含めて解析する予定である。

5. 暗い流星の流量測定

ここでは、2001 年、明野観測所 20cm、RIBOTS, RIMOTS の 3 つの望遠鏡、および、木曽シュミット (Nishiura et al. 2002) の解析結果を合わせて、暗い流星の流量を求めてみた。表 3 は検出された暗い流星の総数である。

AKENO, RIBOTS, RIMOTS は、天体画像検出ソフト PIXY2 にて、数百の候補画像を捜し、候補天体すべてを目視でチェックした。PIXY2 で出力される光度を実際の光度に変換を 2 つのことで行なった。その 1 は、AKENO 観測所で光度変換用に高感度ビデオで輻射点をモニターしたビデオ等級と比較した。装置は、WATEC 社 Neptune100 に Nikon の

表 3 Detection number of faint meteor

Name	field of view ($^{\circ} \times ^{\circ}$)	Liming mag.	total time(s)	total number of meteor
AKENO	3.1	11.5 ± 0.5	15140	31
RIBOTS	0.60	12.5 ± 0.5	6165	5
RIMOTS	0.52	12.8 ± 0.5	4590	4
KISO SCHMIDT	0.5	11.5 ± 0.5	4800	1

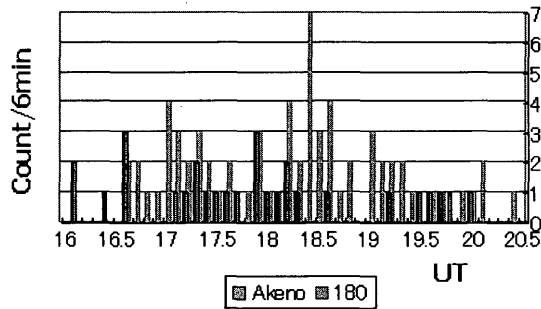


図 8 The time variation of flux of Telephoto lens obs.

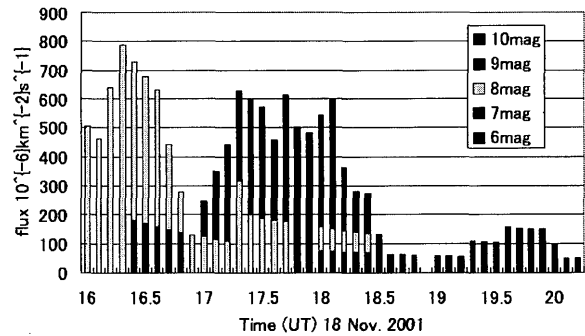


図 10 flux-magnitude diagram

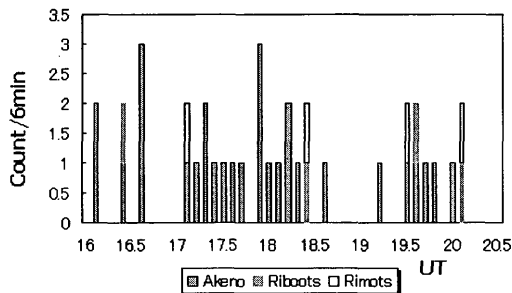


図 9 Time variation of telescopic observation.

50mm(F=1.4) カメラレンズを使用し、星の最微等級は 10 等星で、望遠鏡で観測した流星のうち最も明かるい 2 つについて比較することができた。その 2 は、流星の出現時間間隔を 0.5 秒と仮定し、CCD 画像の星の最微等級から露出時間を考慮して推定した。この 2 つはきわめて良い一致をした。そこで、ここでは、流星の出現時間間隔を 0.5 秒と仮定した等級を M_{ccd} を流星の CCD 等級と呼ぶことにする。

図 8 は、180mm 望遠レンズによる流星の検出時間変動、図 9 は、AKENO、RIBOTS、RIMOTS で検出流星の時間変動を表す。

図 10 は、2001 年 11 月 18 日 (UT) の AKENO

20cm でのデータを M_{ccd} で 7 等級から 11 等級まで分類しそれぞれの流量の変化の 60 分移動平均を示した。全量で見ると 18:00(UT) 前にピークに達して、その後ゆっくり減少して行く様子が見れる。また、その半値幅は非常に広く、1 時間近い値であることがわかる。この様子は眼視やビデオによる明るい流星の変動の様子と同じ傾向にある。それゆえ、我々の検出した暗い流星はしし座流星群に起因した流星であると考え。なお、ここで次のことに注目してほしい。明るい流星のピークは 18:10-18:20(UT) と報告されている (IMO 2001 ほか)。一方、我々の観測の結果、暗い流星のピークはこれより 10 分から 20 分早く起きているように見える。さらに、 $M_{ccd}=9\text{mag}$ と $M_{ccd}=11\text{mag}$ を比較すると、明らかに 11 等星の方がさらに早いピークを迎えている。また、明るい ($\text{mag} \leq +3$) 流星のピークより暗い流星のピークは高原状であり、これは、小さい流星物質の拡散が進んでいることと矛盾しない。

しかし、10 等級の流星サイズは数 10 ミクロン程度である。このような小さなサイズの流星物質は、太陽光輻射圧で母天体の軌道上を 1 周回することはできない。すなわち、観測された暗い流星は、9 回帰前や 4 回帰前に生成された小さな流星物質ではありそうにない。このことを、どのように解釈すれば良いのだろうか。

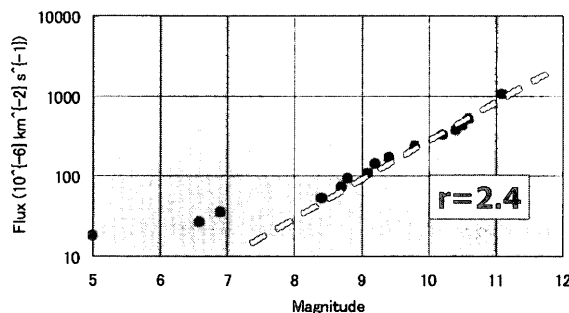


図 11 flux-magnitude diagram of Leo 2001 by AKENO 20cm

それぞれの装置での限界等級の時間変化より限界等級ごとの有効観測時間が求められる。これを使って、等級の流量の変化を求めたのが図 11 である。この観測限界等級の深い観測結果は、7 等星から 12 等星まで、流星の累積数分布は 2.4 のべきで一様に増加している事がわかった。また、その流量は $4.3 \times 10^{-4} \text{ km}^{-2} \text{ s}^{-2} (\text{mag} \leq +12)$ であった。

一方、眼視等級の光度比も、ビデオ観測からほぼ、同じ光度比であった。

ところで、2001 年のしし座流星嵐のときにいくつかのクラスター現象が観測されている (Watanabe et al. 2002)。これらのうち、17h56m(UT) と 18h29m(UT) の 2 つのクラスター現象の累積数分布のべきは、ほぼ同じ 2.4 であった (未発表のデータより)。これは、暗い流星の累積数分布のべきと一致している。このクラスター現象は、地球に衝突する直前、流星ダストが近日点を通じた前後に大きな流星ダストが崩壊したことによると解釈されている (Watanabe et al. 2003)。このことは、古い DT 内で、常に次々と微少のダストが作られていることを示唆している。

このクラスター現象と眼視光度の流星の分布、望遠鏡による暗い流星の流量の増加、および、それらのべきがほぼ一致することを合わせると、次のような推論が考えられる。

「クラスター現象のような大きなダストが崩壊し大量の小さなダストを作るような崩壊現象が頻繁に起きている。この崩壊の原因は、ダストどうしによる衝突か、太陽の放射光によるダスト内部の溶融によるものかは分らないが、その崩壊の起きた時期は、DT 内のダスト密度が一番大きくなる近日点通過頃である。母ダストの崩壊に伴う大量の小さなダストは、非常に早く拡散しているが、地球と衝突するころには、崩壊もない拡散途上の時期であり、望遠鏡流星になるような暗い流星の流量増加になった。また、その分布は

これらのダストの崩壊による流星ダストのサイズ分布は、母流星ダストの分布とダスト強度等による崩壊のべき的な関係に依存し、その結果が、光度比 2.4 の値を作っている。」

これらの推論を確かめるためにも、未解析のデータを解析とともに、流星物質の崩壊、拡散のモデルの構築が必要である。

Reference

- Arlt, R., Rendtel, J., Brown, P., Velkov, V., Hocking, W. K., & Jones, J. 1999, MNRAS, 308, 887
- Jennikens, P., Butow S. J., & Fonda, M. 2000, Earth, Moon, Planets, 82, 1
- Lyytinen, E., & van Flandern, T. 1999, Meta Res. Bull., 8, 33
- Lyytinen, E., Nissen, M., & van Flandern, T. 2001, WGN, 29, 110
- McNaught R., & Asher D., 1999, WGN, 27, 85
- McNaught R., & Asher D., 2001, WGN, 29, 156
- Nishiura S., Ohnishi K., Dobashi K., Watanabe J., Miyata T., & Nakata Y., 2002, PASJ 54, L83
- Ohnishi, K., Yanagisawa, T., Torii, K., Kohama, M., Hatukade, Y., Chaya, M., Shibata, H., Kawai, N., Sato, R., Nishiura, S., Miyata, T., Nakata, Y., Dobashi, K., Watanabe, J.-I., Agata, H., Koike, K., Usui, F., Ishiguro, M., Eiraku, M., Mitikami, T., Sugawara, A., Uehara, A., Takano, T., Yoshikawa, M., Abe, S., Asher, D., 2003, Proceedings of the 2002 International Science Symposium on the Leonid Meteor Storms, The Institute of Space and Astronautical Science, Report SP 15, 29
- Torii, K., Kohama, M., Ohnishi, K., & Yanagisawa, T. 2003, PASJ, 55, L27
- Yanagisawa, T., Ohnishi, K., Torii, K., Kohama, M., Nakajima, A., & Asher, D. 2003, PASJ, 55, 553
- Yeomans, D. K. 1981, Icarus, 47, 492
- Watanabe, J., Tabe, I., Hasegawa, H., Hashimoto, T., Fuse, T., Yoshikawa, M., Abe, S., & Suzuki, B., 2003, PASJ, 55, L23
- Watanabe, J., Sekiguchi, T., Shikura, M., Naito, S. & Abe, S., 2002, PASJ, 54, L23