

第 54 回 大 阪 ベ イ サ イ ド 流 星 会 議

研究発表収録

2013 年 8 月 24 日（土）～25 日（日）

於：ホテルコスモスクエア国際交流センター（大阪市）

目 次

【研究発表・ミニ講演】

1. 鈴木 和博 「石灰岩中の異物の化学分析（地層中の古隕石検出めざして）」 ※1 1
2. 内山 茂夫 「ペルセウス座流星群の出現状況IMOとNMSの眼視観測比較」 2
3. 戸田 雅之 「高感度デジタル一眼レフカメラによる2012年ふたご座流星群の流星と流星痕の観測」 3
4. 岡本 貞夫 「すばる見学紀行」 ※2
5. SonotaCo 「ビデオ流星観測の課題」（ミニ講演） 7
6. 前田 幸治・海老塚 昇 「ビデオ観測による様々な流星の形状とスペクトル」 17
7. 司馬 康生 「SonotaCo Network の観測によるアンドロメダ流星群」 20
8. 小関 正広 「流星群の見え方」 26
9. 藤原 康徳 「全天ビデオカメラによる流星観測」 + α ※2
10. 上田 昌良 「火球の爆発点の高さの統計」 34
11. 長谷川一郎 「彗星 209P/LINEAR から放出される流星の予報」 36
12. 山本真行 「高知工科大学における10年間の取組み」（ミニ講演） ※2

【ポスター発表】

1. 松本 誠樹 「金星日面通過」 38
2. 伊代野 淳 「スカイモニターTENGENによる流星・火球観測」 ※2

※1 要旨のみ掲載

※2 題名のみ掲載

掲載は発表順とさせていただきます。なお、モノクロ印刷の都合上、原稿がカラー印刷であるものと、パワーポイントについては、若干読みづらくなっておりますが、ご承知おき下さい。

不明点、疑問点等は、発表者に直接お問い合わせ願います。

鈴木 和博 「石灰岩中の異物の化学分析（地層中の古隕石検出めざして）」

私は、10 年以上にわたって、地層中の隕石を探している。南極で大量の隕石が発見されるのと同じ原理で、石灰岩中にも過去の隕石が保存されているはずだ。私は、定年退職後の、ある程度自由になる時間を利用して、全国の石灰岩体の巡検を続け、目視による古隕石の検出に力を注いでいる。今春、偶然、鍾乳洞中の石灰岩中に埋もれた隕石様異物を発見し、その非破壊化学分析（蛍光 X 線分析）によって、その異物を採集することなく化学成分が特定できた。その経緯と今後の展望について報告する。

1. IMO の眼視観測データ (VMDB) を集計

- ・極大付近については、2001～2011 年のデータから、極大が満月付近 (03・06・08・11 年) とダストトレイルによる突発出現 (04 年) のデータを除いて集計 (図 1)
- ・その他 (裾野部分) については、2002 年から 10 年間のデータを集計 (図 2)

→ 裾野部分は指数関数的に増減

→ 裾野成分とピーク成分の合算でフィット曲線を得られた。

・裾野成分極大前： $23 \times 2^{-0.15(140 - Sollong)}$

裾野成分極大後： $23 \times 2^{-0.3(Sollong - 140)}$

ピーク成分： $57 \times \frac{0.73^2}{0.73^2 + (Sollong - 140)^2}$

→ 裾野成分の極大は 140° に ZHR 23

極大前は 7 日で 2 倍、極大後は 3.5 日で半減。

ピーク成分の極大は 140° に ZHR 57

半値幅は $0.73^\circ \simeq 18 \text{ h}$ で極大前後で対称的。

2. 長田氏・住江氏のデータを集計

- ・裾野部分の観測は長田氏が主。
- ・両者とも観測量豊富。個人補正值もほぼ同じ。
- ・集計結果は 図 3。
- ・IMO の曲線を 2.3 倍にすると、裾野部分はほぼ一致。しかし、極大付近は一致しない。

→ 原因は？

- ・原因可能性 1：暗い流星を多くとらえる

→ 裾野付近でも同様。理由として不適。

- ・原因可能性 2：観測視野が広い

→ 極大付近は明るい流星が増加するから？

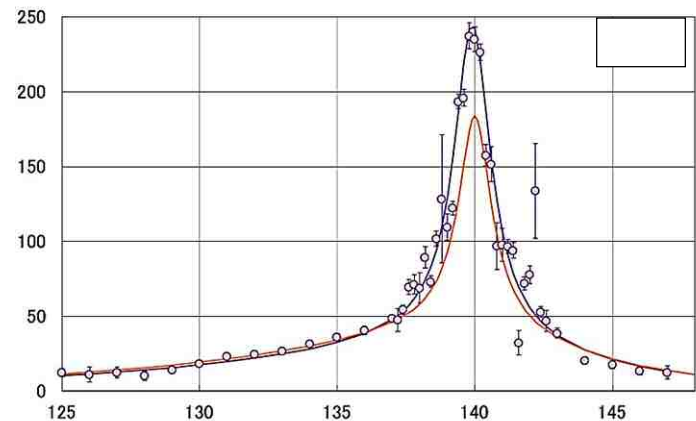
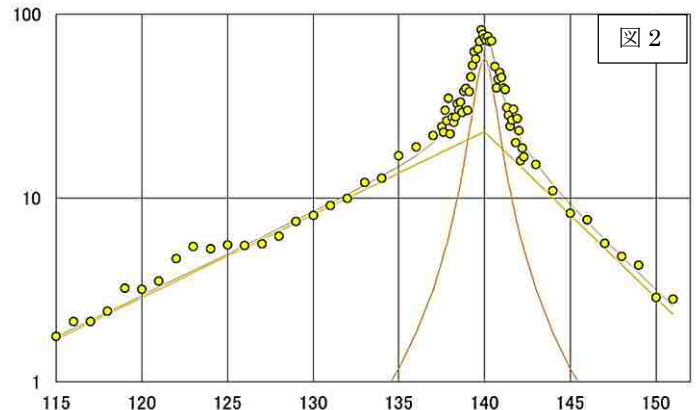
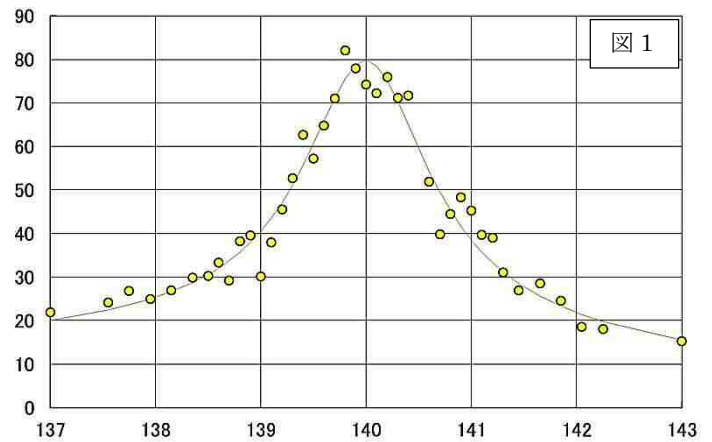
- ・原因可能性 3：IMO が正しくない？

→ 極大付近だけを観測する初心者が多いから？

- ・フィット曲線データ

裾野成分極大前： $46 \times 2^{-0.15(140 - Sollong)}$ 、裾野極大後： $46 \times 2^{-0.3(Sollong - 140)}$ → IMO のちょうど 2 倍

ピーク成分： $200 \times \frac{0.80^2}{0.80^2 + (Sollong - 139.9)^2}$



高感度デジタル一眼レフカメラによる 2012年ふたご座流星群の 流星と流星痕の観測

○戸田雅之（日本流星研究会 流星痕同時観測チーム）

概略:

筆者は高感度デジタル一眼レフカメラと28mmF1.4レンズとシャッタースピード1秒(2011年より0.77秒)の連続撮影で流星と流星痕の撮影を行っている。2012 年ふたご座流星群の極大夜で110個の流星痕が観測された。

ふたご座流星群は出現数の多い3大流星群の1つであるが、流星痕の発生頻度が低いと言われていた。本報告は2010年と2012年ふたご座流星群の流星痕観測成果を紹介する。

	V ∞ (km/s)	%	Train / Meteor
オリオン座流星群(2009) :	66	85%	(71 / 83)
しぶんぎ座流星群(2009) :	41	62%	(30 / 48)
ふたご座流星群 (2010) :	35	12%	(12 / 99)
ふたご座流星群 (2012) :	35	67%	(110 / 173)

観測:

観測日時 : 2012 年12月13日20h43m(JST)から
14日05h39mまで.

観測地 : 長野県木曽郡木曽町 東京大学木曽観測所

カメラ : ニコンD3.

レンズ : 28mm/f1.4 (対角線画角 : 74度) .

設定 : ISO 感度25,600.

シャッタースピード : 1/1.3 秒 (0.769 秒).

インターバル : 1 秒.

色温度 : 5560K

撮影枚数 : 18,578コマ

CF カードの容量が許す限り連続撮影を行った。

流星の検出:

取得した18,578画像はPC のディスプレイ上で1フレームずつ目視チェックし、流星と流星痕が写った画像をピックアップした。2012年12月14日00h29mから05h38mまでの310分間で223個の流星を検出した。内訳は以下の通り。

全流星 : 223個.

ふたご座流星群の流星 : 173個.

ふたご座流星群の流星起源の流星痕 : 110個.

散在流星 : 50個

散在流星起源の流星痕 : 35個

流星と流星痕の光度は流星用観測星図と比較して決定したので、絶対光度ではなく見かけの光度である。精度は ± 1 等。

出現数と光度分布:

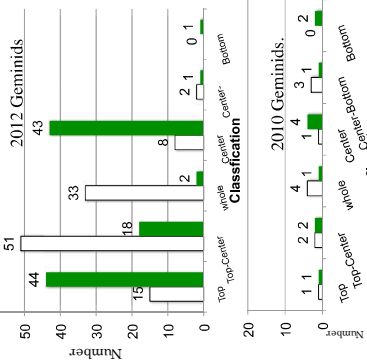
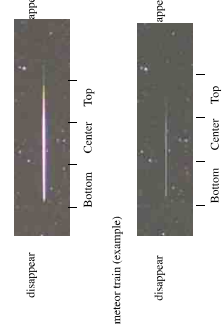
2010. Dec. 14/15	JST	UT	Gem.	Shwr	Train	Spo.	Train
15d 14d							
0h 15h	29*	19*	10*	4*			
1 16	29	15	10	7			
2 17	37	30	5	2			
3 18	35	23	4	3			
4 19	38	21	15	11			
5 20	29*	3*	15*	9*			
3 18	48*	6*	10*	4*			
4 19	36	5	8	6			
5 20	29*	3*	15*	9*			
-5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7							
Gem	0 0 0 7 6 7 8 8 18 23 17 4 1						
Tr	0 0 0 3 5 2 0 0 1 0 0 0						
Spo	0 1 1 0 1 1 2 2 4 6 9 0 0						
Tr	0 1 1 0 1 1 0 1 1 2 3 6 0 0						

2012. Dec. 13/14	JST	UT	Gem.	Shwr	Train	Spo.	Train
14d 13d							
0h 15h	29*	19*	10*	4*			
1 16	29	15	10	7			
2 17	37	30	5	2			
3 18	35	23	4	3			
4 19	38	21	15	11			
5 20	30*	17*	17*	16*			
-5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 7							
Gem	0 2 10 8 12 25 21 23 22 26 16 7 0						
Tr	0 2 10 8 10 22 17 16 13 10 1 1 0						
Spo	0 0 1 2 3 7 4 1 1 1 9 2 0						
Tr	0 0 1 0 1 0 3 6 3 8 7 6 1 0						

*印は正味60分の出現数ではない。

流星痕とその最大光輝域

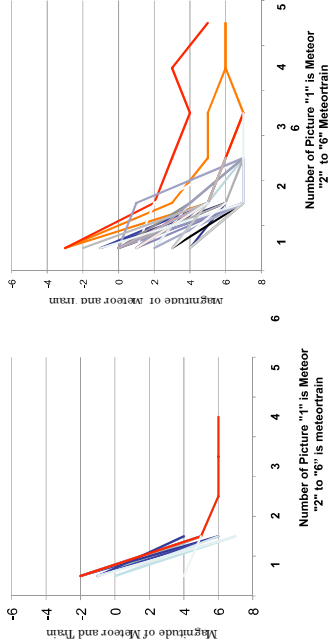
ふたご座流星痕の最大光輝域を順列に知るために母流星軌跡を3等分して、流星痕の発光範囲と最大光輝部をそれぞれその前部、中部、後部、写真(上)流星軌跡を3等分した図写真(下)流星軌跡に対して流星痕はTopからBottom(=wholeに読み替える)にかけて発光し、最大光輝はCenterが最も明るい。



図：流星軌跡に対する流星痕全体の発光範囲と最大光輝範囲。上は2012年、下は2010年。白棒グラフは流星痕全体、黒棒グラフは最大光輝。2012年は流星軌跡に対する流星痕の発光範囲はTop-Center、最大光輝はTopとCenterが多い。

流星痕の光度と時間変化

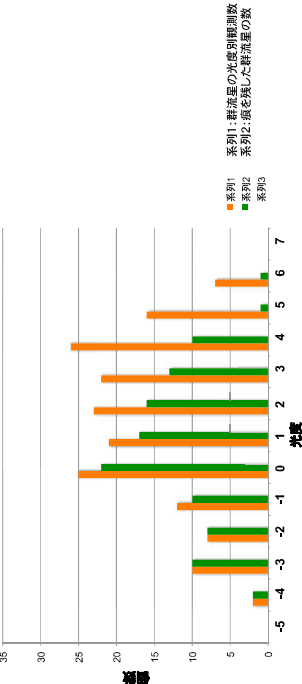
2010. Dec. 14/15 2012. Dec. 13/14

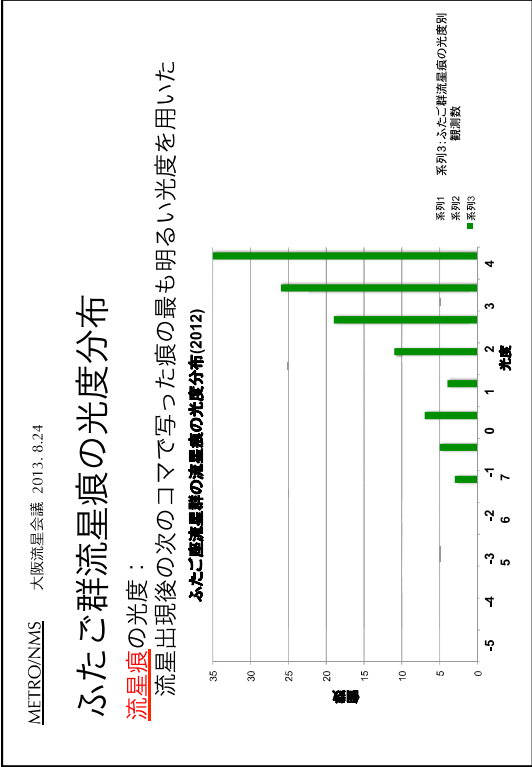


ふたご座流星の光度分布

流星の光度：流星の最も明るい部分の光度を用いた。明るく流星ほど痕を残しやすい。

ふたご座流星群流星の光度別観測数と痕を残した流星数(2012)





METRO/MMS

大阪流星会議 2013. 8.24

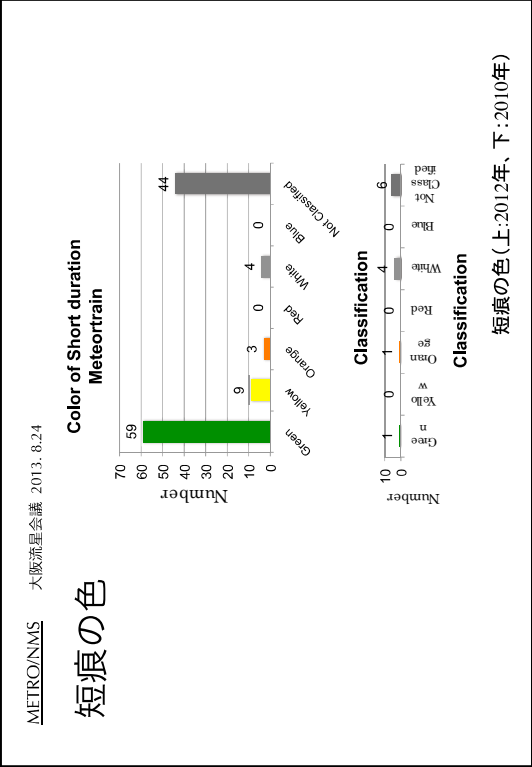
流星痕の色別光度分布

痕の光度：流星出現後の次のコマで写った痕の最も明るい部分。
痕の色：上と同じ条件で顕著な色を記述。少数だが1つの流星痕で複数の色を認めたものもある。その場合は痕の実数である合計(ALL)とは一致しない。

	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	

Green							3	5	7	4	10	14	12	5
Yellow									1	2	5	1		
Orange									1	2				
White									1	1	1	1		
NoClass											1	12	30	
ALL							3	5	7	4	11	19	26	35

	痕の色別光度分布(2012)													



METRON/MMS 大阪流星会議 2013. 8.24

継続時間の長いふたご群流星痕

年月日	母流星 出現時刻 (± 0.5 s)	母流星 光度	コマ数	痕光度 (最初の10駒)	出現星座	写真
20101215	045838	-2mag	4コマ	5.6.6.6.	Gem	1

20121214	003837	0mag	4コマ	4.6.6.6.	Per	
	011305	-4mag	9コマ	0.5.6.6.6.6.7.7.6.	Aur	
	021351	-4mag	25コマ	3.6.7.7.6.6.7.7.6.6...	Leo	
	021536	-2mag	4コマ	0.6.6.7.	Aur	
	021839	-2mag	5コマ	4.6.7.7.7.	Gem	
	023331	-5mag	5コマ	6.7.6.7.6.	Lyn	
	023448	-3mag	4コマ	6.7.7.6.	Lyn	
	025300	-3mag	11コマ	4.5.6.6.6.7.7.6.7...	Gem	
	030801	-4mag	55コマ	1.1.2.2.3.3.2.3.3...	Lyn	2
	033354	-3mag	8コマ	5.6.7.7.7.6.7.	Lyn	
	035642	-3mag	8コマ	5.6.7.6.6.5.5.5.	Lyn	
	040443	-3mag*	45コマ	3.5.5.6.6.6.6.7.7...	Aur	3
	041924	-3mag	22コマ	2.3.4.3.5.5.3.4.4.4...	Gem	4

*印：経路途中で画面の外に出る

METRONNMS大阪流星会議 2013. 8.24

ふたご群流星痕ギャラリー

写真

1

2

3

4

0(流星出現)

1

2

3コマ

METRONNMS大阪流星会議 2013. 8.24

2010年と2012年の観測条件

2010年

2012年

カメラ
レンズ
絞り
ISO感度

ニコンD3
Ai AF Nikkor 28mm F1.4D
F1.4開放
25600

観測地
シャッタースピード
ホワイトバランス
空の透明度
(参考)
眼視ZHR

高知県香美市夜須町
1秒
晴天
良
84 → 66

長野県木曽町
0.769秒
5560K
特に良い
125 → 135 → 112

METRONNMS大阪流星会議 2013. 8.24

2012年のふたご群流星痕が多かった。

前回2010年のデジカメ観測や長年の観測蓄積のある眼視観測でもこれだけ多く観測されたことが無い。

V_∞(km/s)

%

Train / Meteor

ふたご座流星群 (2010) :

35

12%

(12 / 99)

ふたご座流星群 (2012) :

35

67%

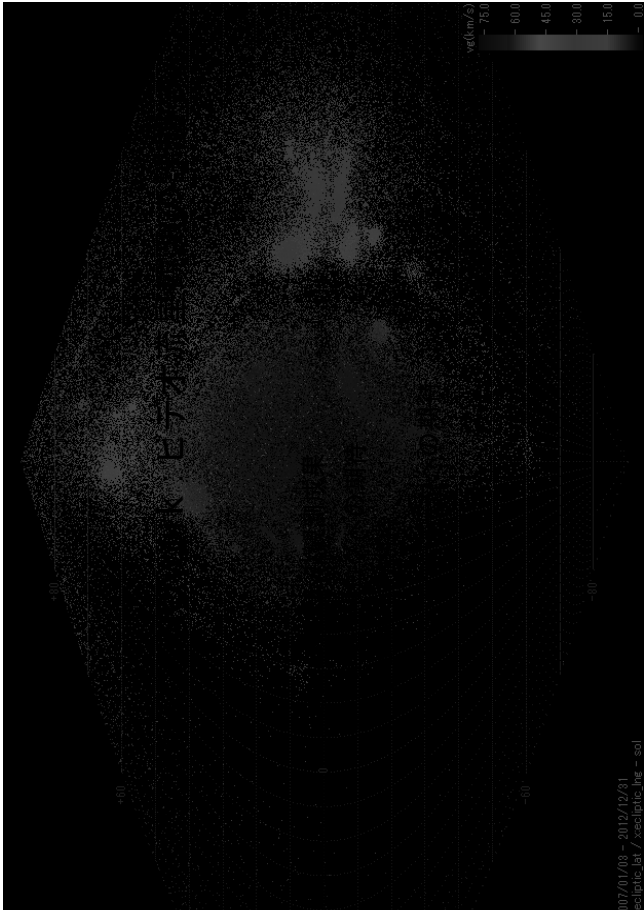
(110 / 173)

☆条件の変わらないもの
カメラ、レンズ、絞りとISO感度設定(25,600)。
☆条件が異なるもの
観測地、シャッタースピード (1秒→0.77秒)、カラーバランス、
空の透明度、観測時間中の流星数(内山氏集計の眼視流星速報より)。
・空の透明度→悪条件下で微光流星痕数を減らした？
・デジカメによる流星痕出現数観測→過去にデータ無

METRONNMS大阪流星会議 2013. 8.24

まとめ

- ・2012年ふたご座流星群で大量に観測された流星痕データをを用いて、流星と流星痕の光度分布、流星痕の時間変化、出現範囲と最大光輝範囲、色などをまとめた。
- ・流星痕の発光範囲および最大光輝は母流星軌跡と比較すると、その中央部(center)から発光側(Top)にかけて多く見られた。
- ・2012年の流星痕観測数の増加の要因は観測時の透明度の良さを考えられるが、2010年比で有痕率が4倍強(12%→67%)の大幅増加の説明は出来なかった。



August/ 2013 SonotaCo

1

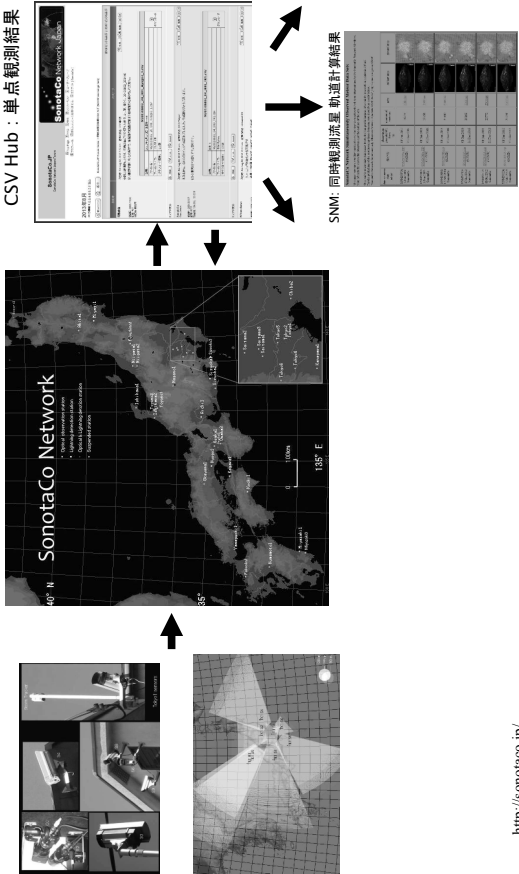
SonotaCo Network Meteor Observation History

Year	#stations > 100 obs	#single station observations	#simultaneous meteors	Epoch
2003	1	Not analyzed	0	Apr: UFOCapture Sep: UFOCaptureEx (w. S.M.)
2004	10	...10,000	0	Jan: UFOAnalyzer Dec: UFOOrbit, CSV Hub
2005	10	...60,000	Not counted	May: UFOCaptureV2
2006	15	...100,000	7,705	Mar: UFORadiant Oct: Finding of OCU
2007	20	163,804	19,274	Jan: UFOAnalyzerV2 Apr: UFOOrbitV2
2008	21	146,301	19,436	
2009	22 (73cams)	180,735	25,940	Jan: J4 shower catalog Jun: SNM2007,2008, APOD
2010	22 (68cams)	181,667	25,858	Feb: SNM2009 Apr: MODWG at ESA
2011	20 (66cams)	162,762	23,772	
2012	21 (73cams)	174,411	27,231	Jul: SNM2010,2011

August/ 2013 SonotaCo

3

SonotaCo Network におけるビデオ流星観測

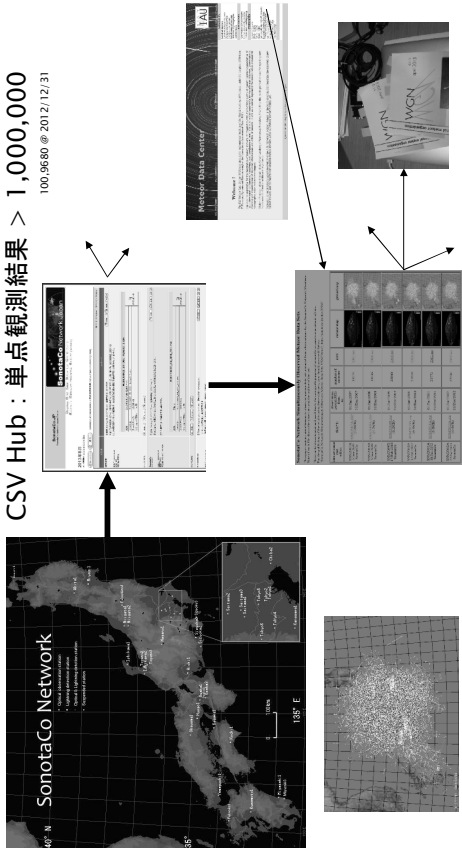


<http://sonotaco.jp/>

August/ 2013 SonotaCo

2

SonotaCo Network 2007-2012 の観測成果



SNM : 同時観測結果 流星軌道データ > 140,000

<http://sonotaco.jp/>

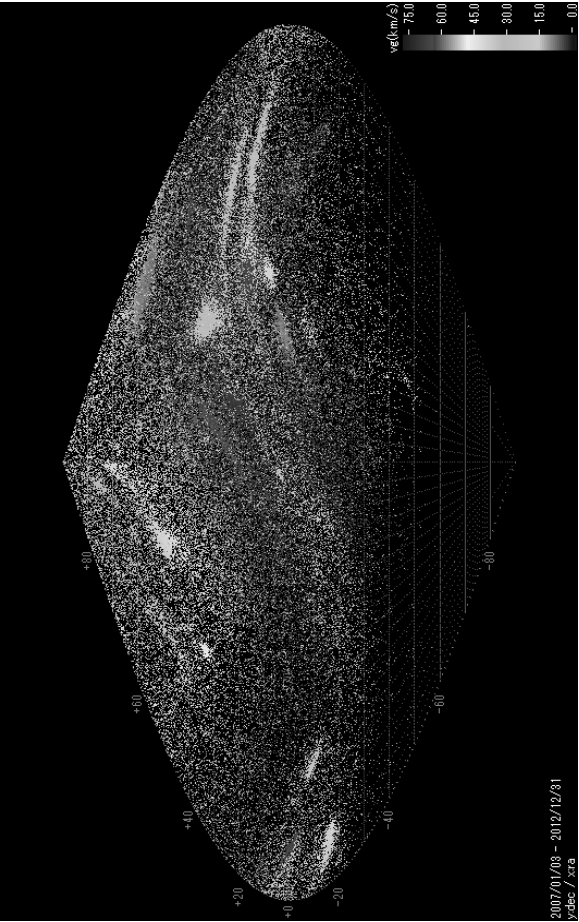
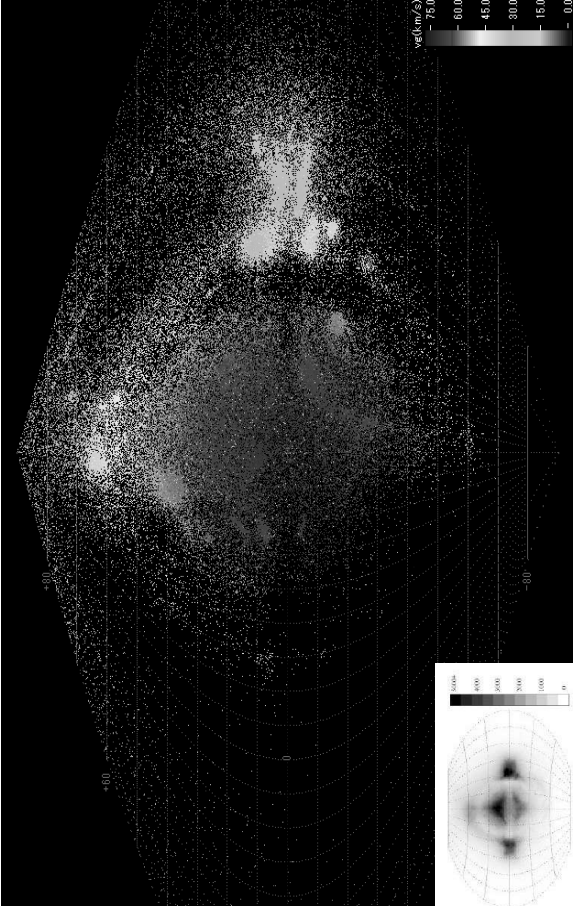
August/ 2013 SonotaCo

4

Contributors

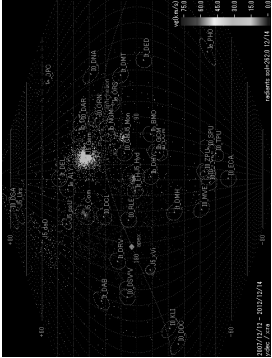
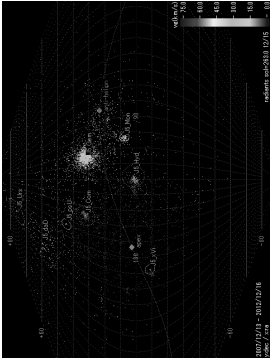
Observer	LocationID	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total
T. Masuzawa	Nagano1	27511	28695	27867	25015	27934	31637	168659
Takashi Sekiguchi	Saitama1	21876	15777	16494	19417	23515	26400	123479
SonotaCo	Tokyo1/Sizuoka3	19115	15216	12300	13729	14245	18740	93375
Masayoshi Ueda	Osaka03	10015	1996	12705	13486	18684	15516	72402
Hiroyuki Inoue	Kanagawa1	9580	10159	11424	13219	12903	13957	71242
Kouji Maeda	Miyazaki1	9638	11730	21157	21159	3567	1099	68350
Ada	Chiba2	7738	11105	11100	14917	8347	10903	64110
Hiroshi Yamakawa	Ishikawa2,Tokyo4	10528	6085	9443	10425	11779	12131	60341
Toshio Kamimura	Nigata2	7087	11888	8148	9035	8521	8968	53647
Satoshi Uehara	osaka01	8455	8820	8244	8143	9935	8755	51752
Junichi Nakai	Tokyo5/Saitama4	13239	7675	7961	6586			35461
Santonmatsu High School	kagawa1			6560	7798	8982	8477	31817
Hideaki Muroishi	Ishikawa1	2731	4291	5356	4749	4438	1526	23081
Nayya Saito	Tokyo6	3720	3561	2942	4300	3029	4032	21584
Junichi Yokomichi	Okayama1_4	3022	2334	5141	4319	4120		18936
Toyama Astronomical Observatory	toyama1			4460	4688	4065	719	13932
Hiromichi Horigane	Fukushima1		687	2038	1705	2259	2899	9588
Shua	Yamaguchi1	4843	1411	3257				9511
Yasuo Shiba	Hyogo3			622	2546	1365	2117	6650
Koji Ito	Tokyo2		141	1978		1626	2827	6572
T. Komai	Toyama2		204	2061		125		4451
Shigetaka Shiraiishi	Fukuoka1		720	1737	1256			3713
Ezumi	Akita1		3220	84				3304
Koutei high school	Hyogo2						762	762
NOMOTO Sotoko	Saitama2		604					604
Kazuhiko Yoneguchi	Ishikawa5						275	275
PURU	Nigata1		138					138
		163780	146268	183253	187930	165493	171021	1017746

L-Ls plot : Apex View , Front View of the Earth



SNM avi (Radiant map movie)

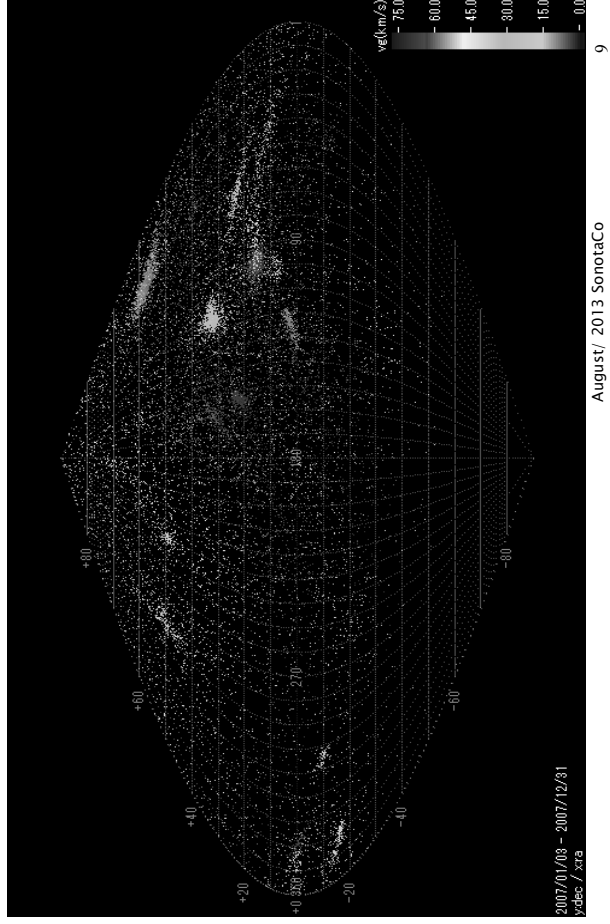
-- 全流星輻射点の太陽黄経1度毎動画 --



- データ: SNM2007年からSNM2012年までの6年分の輻射点情報(Ra, Dec, Vg)
- 流星数: 141516
- 1画像: 流星発生日時の太陽黄経4度分
- 画像枚数: 2011年3月20日から一年間分の各日12:00UTの太陽黄経を中心とした366枚
- 表示座標系: 地球向点方向+45度を中心とする 赤経赤緯
- 流星群名表示: J5 および IAU all
- 表示レート: 10画像/秒
- 解像度 640x480 および 1280x844

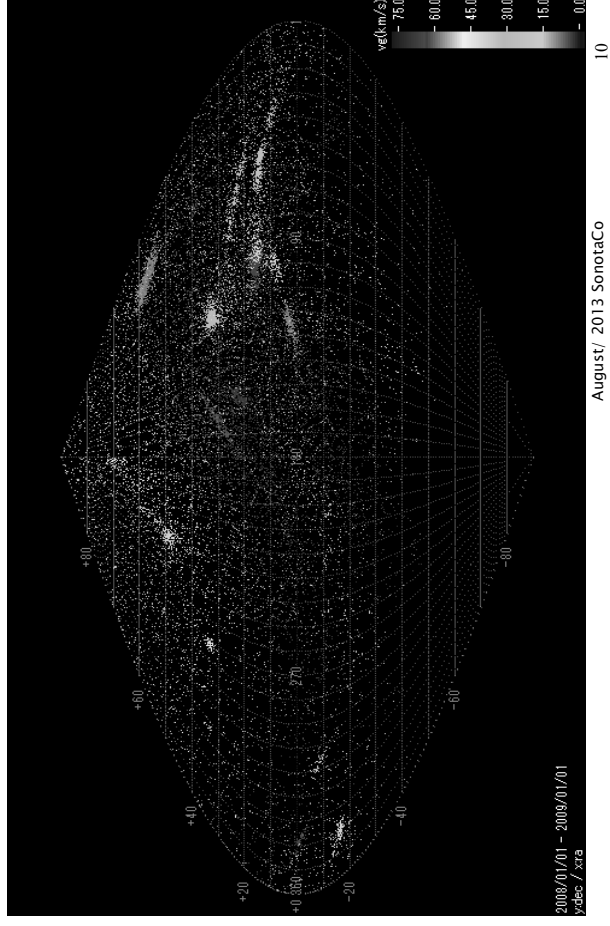
2007

19274 meteors



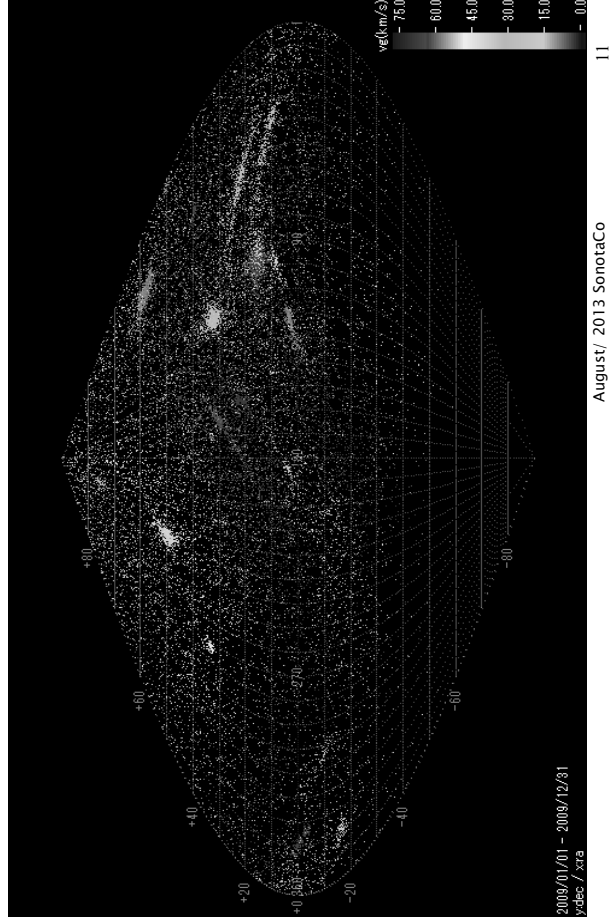
2008

19436 meteors



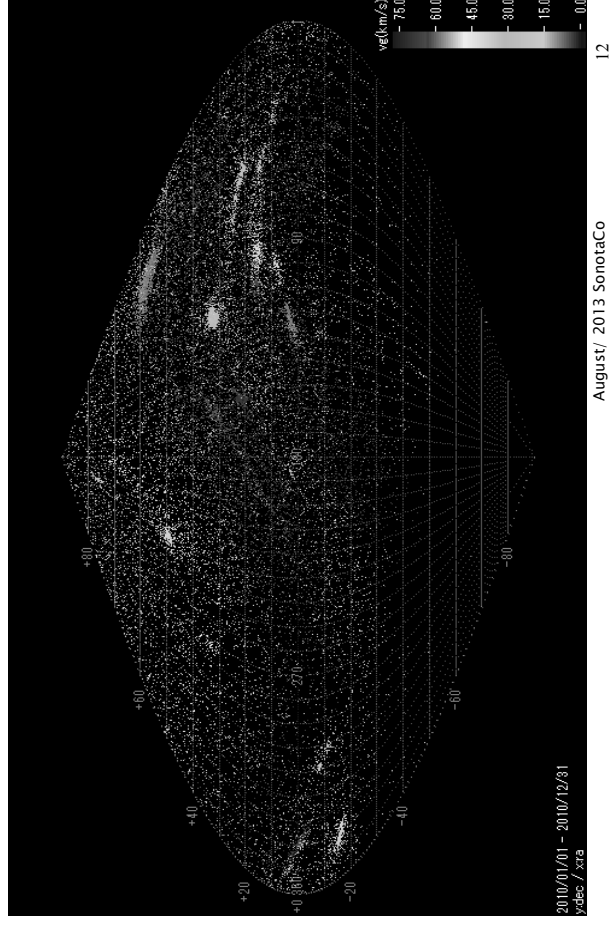
2009

25940 meteors



2010

25858 meteors

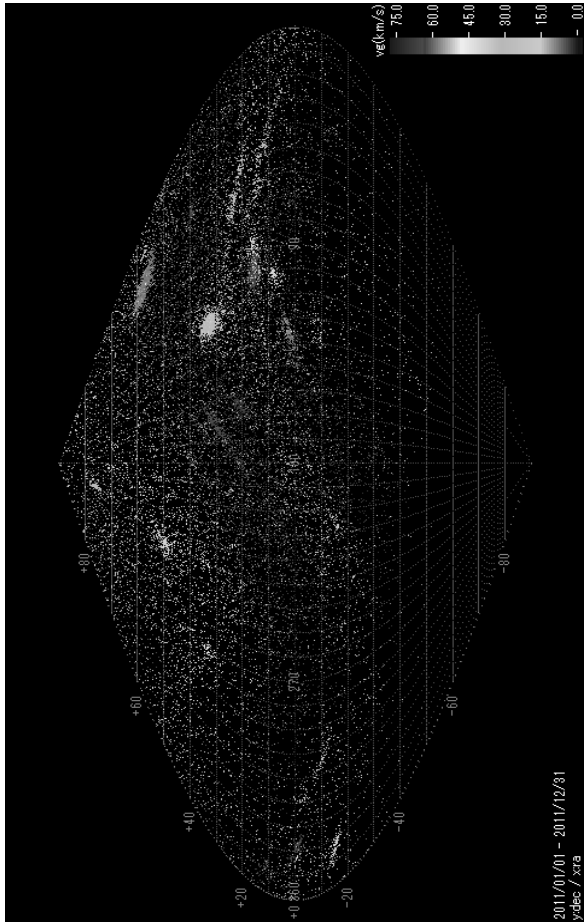


2011

23772 meteors

2012

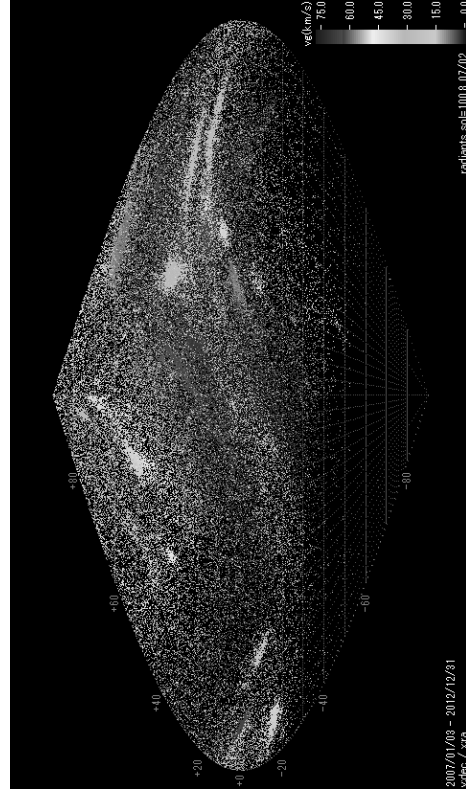
27231 meteors



August/ 2013 SonotaCo

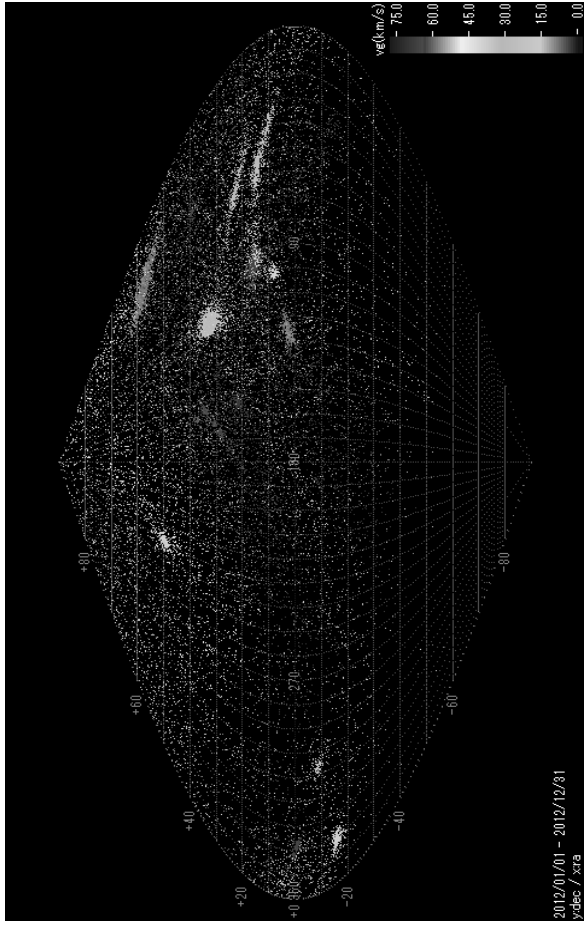
13

Q1: 141516



August/ 2013 SonotaCo

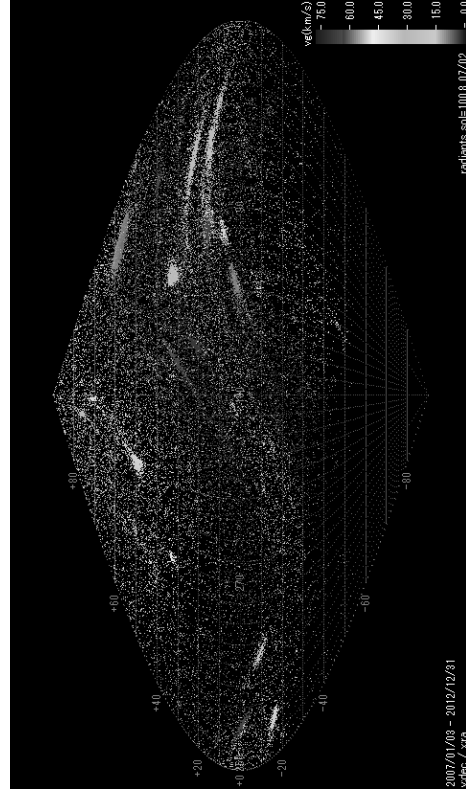
15



August/ 2013 SonotaCo

14

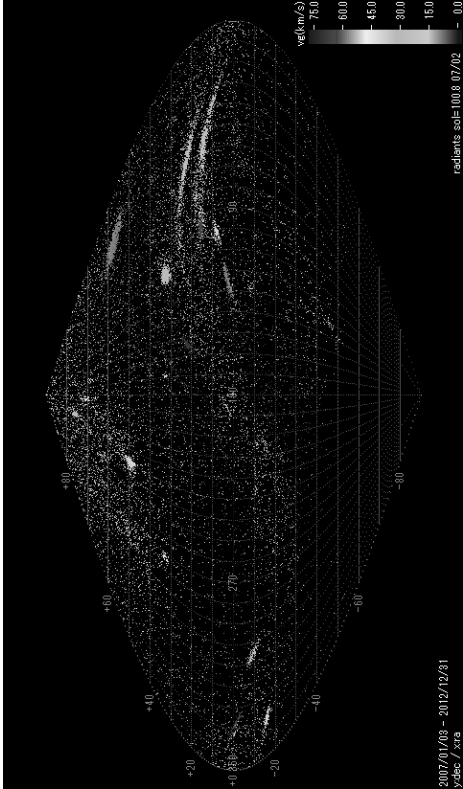
Q2: 47726



August/ 2013 SonotaCo

16

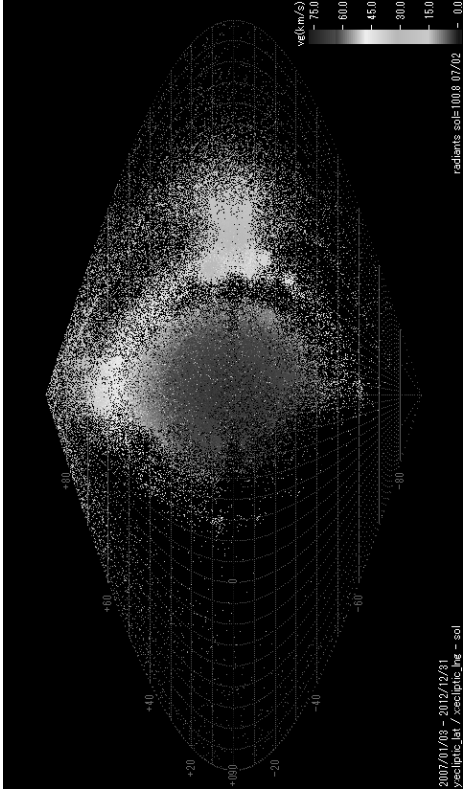
Q3: 19553



August/ 2013 SonotaCo

17

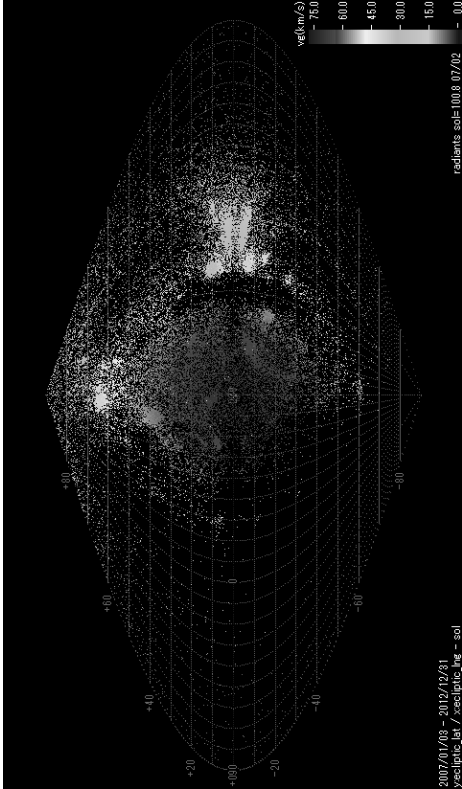
Q1: 141516



August/ 2013 SonotaCo

18

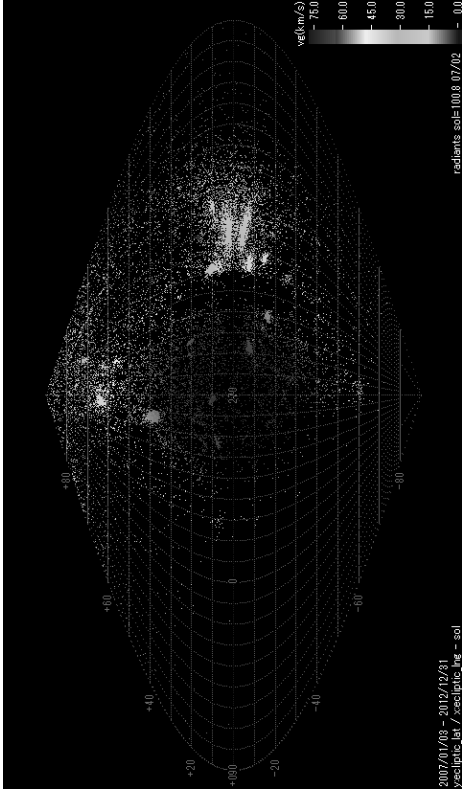
Q2: 47726



August/ 2013 SonotaCo

19

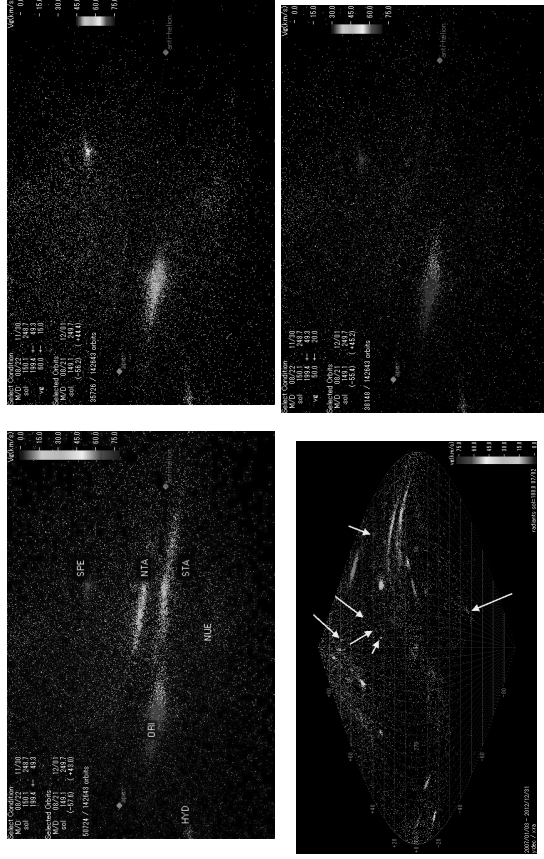
Q3: 19553 精度向上でさらに多くの流星群が分離可能！?



August/ 2013 SonotaCo

20

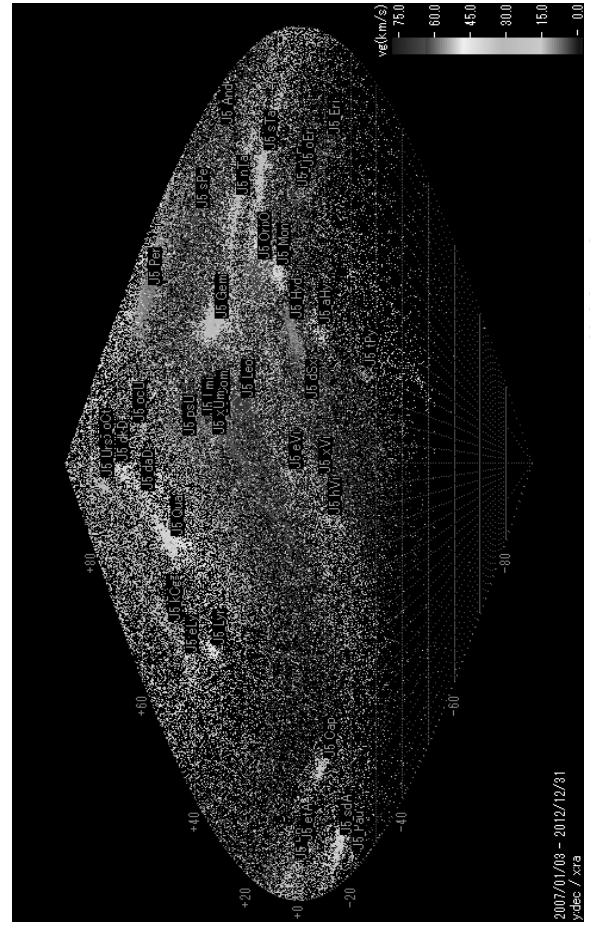
新流星群の例??



August/ 2013 SonotaCo

21

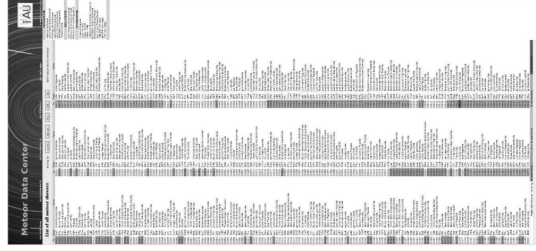
J5: 39 showers



August/ 2013 SonotaCo

23

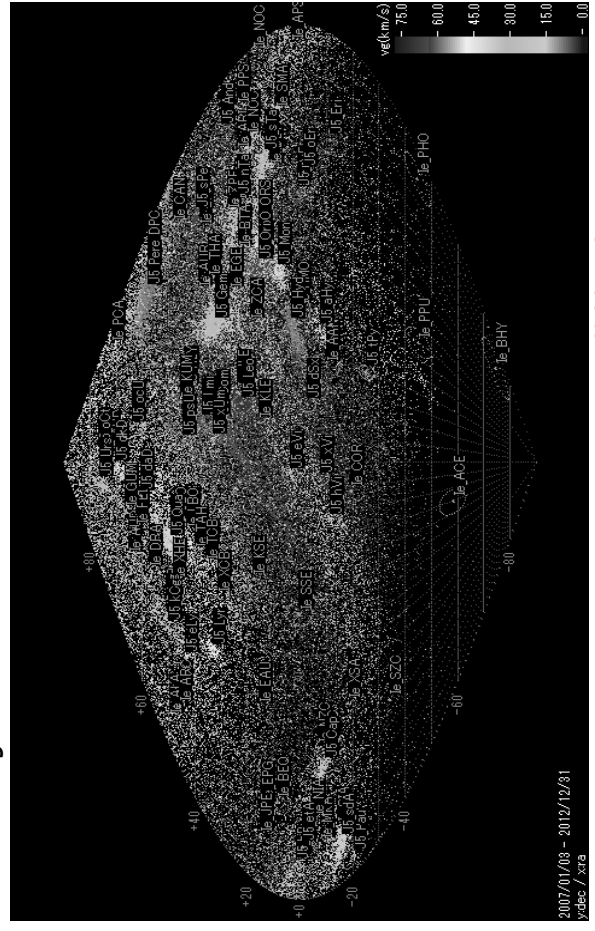
Meteor showers



August/ 2013 SonotaCo

22

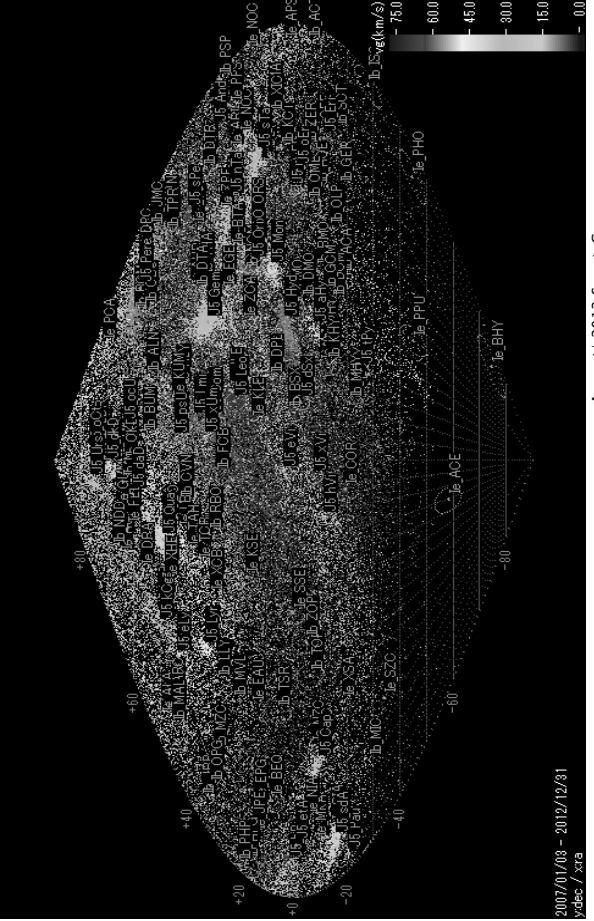
J5 + IAU Established : 99 showers



August/ 2013 SonotaCo

24

J5+Established+To be established: 171 showers



August/ 2013 SonotaCo

25

現状: アクティブな流星群がよく判らない -> 新流星群判定が困難



新流星群カタログへの期待

以下の2つに分類し、流星群同定と新群発見を容易にしたい

- ・近年の定常活動を過不足なく高精度で収録したカタログ
- ・過去の突発を記録したカタログ

SonotaCo Networkの観測をこのまま継続できたら、2017年からの10年分のデータを元に流星群カタログを再編したい

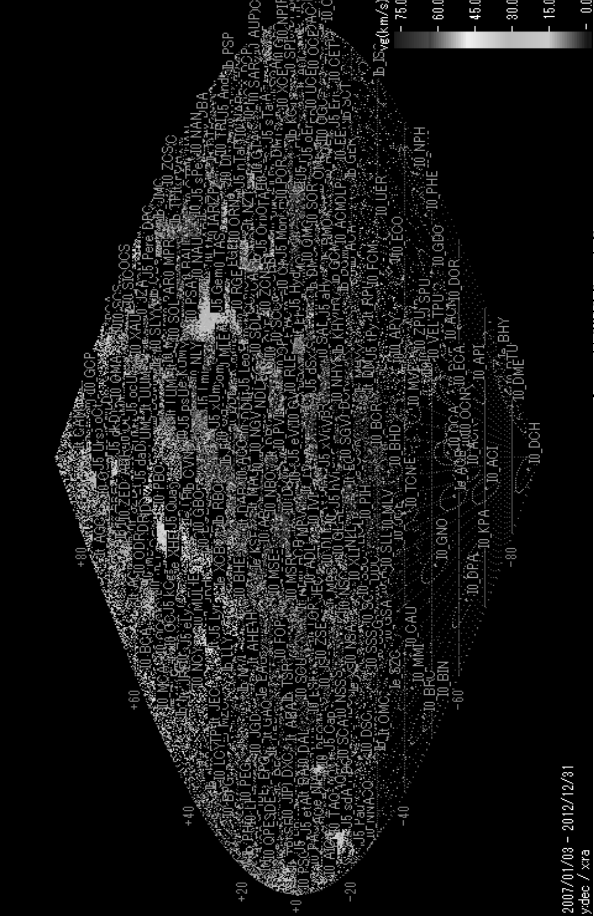
dVg を含めた標準的な流星群記述方法および群判定方法を確立したい

未知の親天体の可能性と探索要求をまとめた

August/ 2013 SonotaCo

27

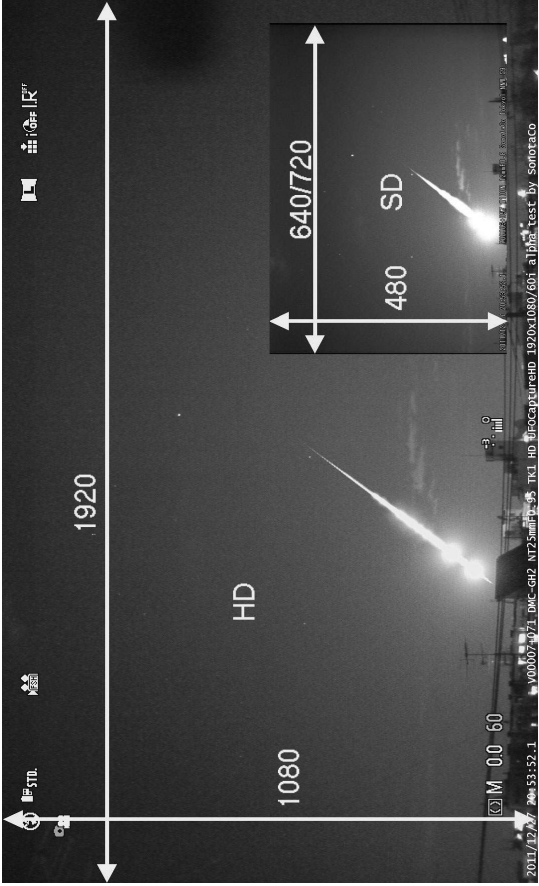
IAU MDC all : 477 showers



August/ 2013 SonotaCo

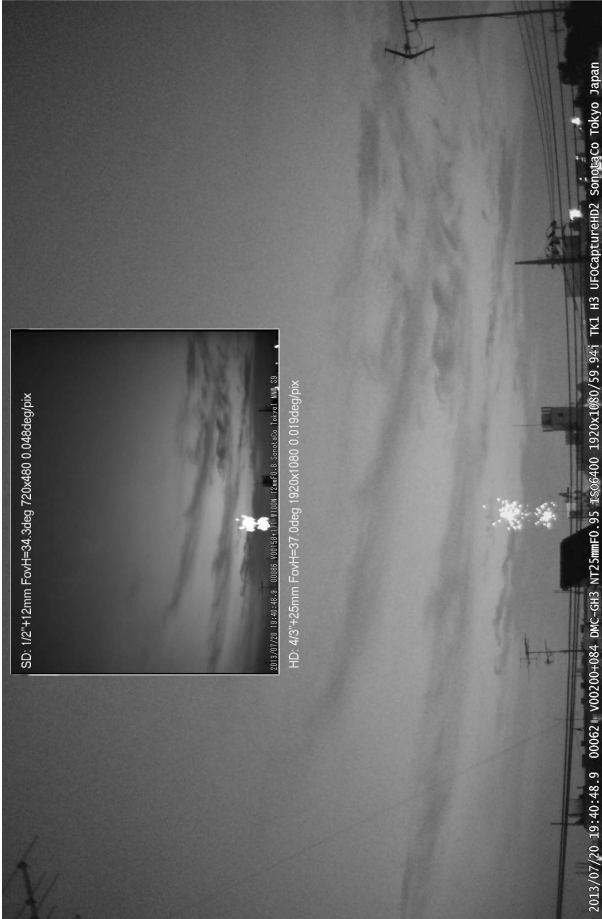
26

HD観測網への期待



August/ 2013 SonotaCo

28



August/ 2013 SonotaCo

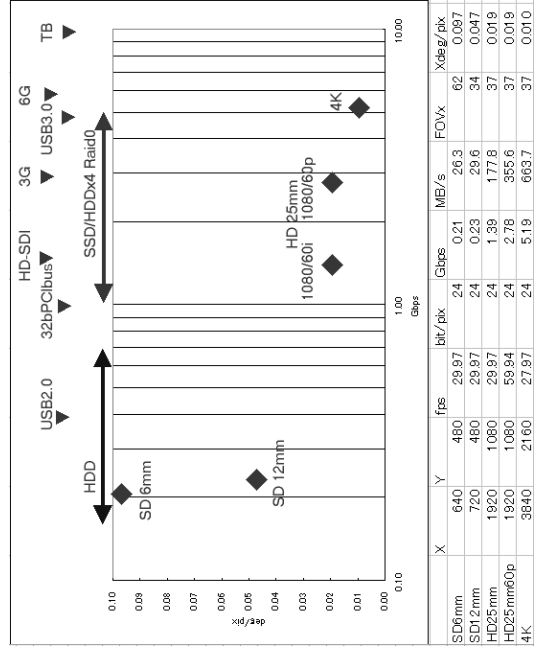
29



August/ 2013 SonotaCo

30

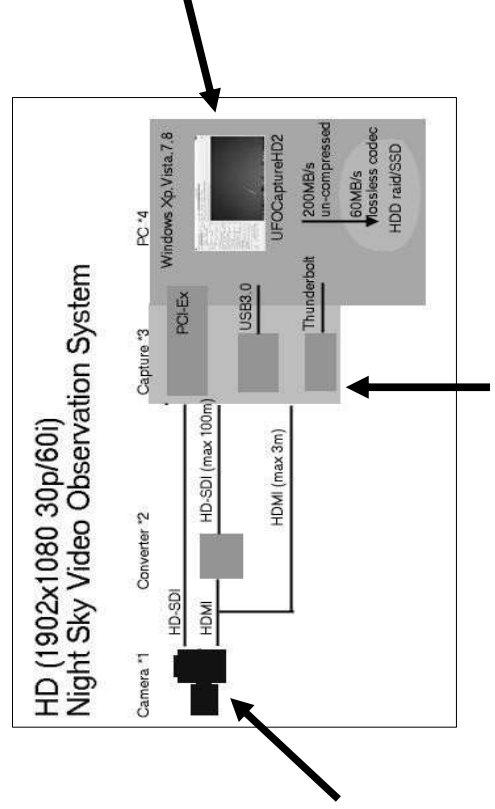
角度分解能と必要転送レート



August/ 2013 SonotaCo

31

HD観測の必要機材



August/ 2013 SonotaCo

32

HD video camera for night sky

(夜間観測(東京)に適した感度: EV 0 ~ -1, ex. ISO 6400~12800, F1.0, 1/60sec)

- 高感度 HD-SDI ビデオカメラ
 - Canon C100 + EF 50mmF1.2L
 - ISO 6400~20000 HD-SDI 1920x1080 59.94i
- HDMI連続出力可能な1眼カメラ
 - Panasonic DMC-GH2/GH3 + MFT 25mmF0.95
 - ISO 6400~25600 HDMI 1920x1080 60i/59.94i
 - Nikon D800/D800E + Ai AF 50mmF1.4
 - ISO 6400~25600 HDMI 1920x1080 59.94i

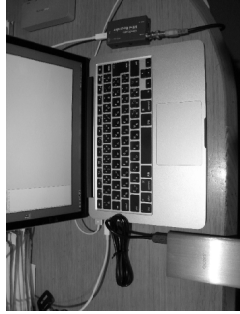


August/ 2013 SonotaCo

33

PC for UFOCaptureHD2

- 2-4 Core (4-8 thread) CPU > 2.0GHz
 - Windows Xp, 7, 8
 - PCI-Ex bus, USB3.0 or Thunder Bolt
- SSD or HDDx4 raid0 for uncompress 1920x1080/60i
 - 200MByte/sec
- HDDx1 for Huffyuv 1920x1080/60i
 - 50MByte/sec



August/ 2013 SonotaCo

35

HD video capture interface

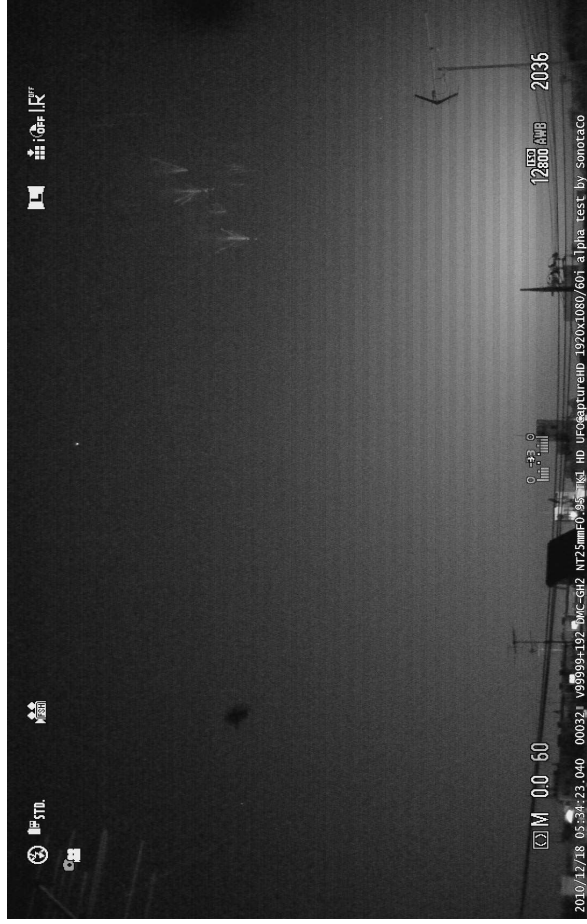
- HDMI -> HD-SDI
- HDMI -> USB3.0
- HD-SDI -> USB3.0
- HDMI&HDSDI -> Thunder Bolt
- MDMI&HD-SDI -> PCI-Ex



August/ 2013 SonotaCo

34

次世代に向けて 高精度カラー観測を!!



36

- ・ グローバルサーバー (Meteor Cloud)
 - 運営主体の確立
 - DBスキーマ決定
 - アクセスプロトコル決定
 - アクセスツール開発
 - ・ 観測結果アップロードツール
 - ・ ブラウジング クライアント アプリケーション
- ・ 南半球観測網
 - ゴールドコースト観測計画

August/ 2013 SonotaCo

37

謝辞

2003年のUFOCapture公開以来、長年に渡り、沢山の方にお世話になり、今日に至っています。

観測をし、観測結果を共有してくださった方
過去の知見を伝えてくださったり、ご意見、ご感想を頂いた方
発見の喜びを共有し、より多くの方に伝えていただいた方
各種のサポートして下さいました方

おれ申し上げます。ありがとうございました。

2013年8月 SonotaCo

August/ 2013 SonotaCo

39

まとめ

- ・ 日本の Network は 流星観測史上に残る成果を生みつつある
 - ・ $D' < 0.01$ レベルの判定が可能な30fpsの高精度光学観測
 - ・ ほぼ均一条件で6年以上の継続観測され、天候や月齢の影響が低減された網羅的データとなっている
 - ・ 100万件の単点観測データ、14万件の同時観測軌道は世界中で使用される多くの研究成果を生んでいる
 - ・ 滑らかな散在流星分布との比較による明確な群判定が可能になった
 - ・ 地球衝突天体の現実への理解を深めている
- ・ HDによる高精度カラービデオ観測はさらなる発見をもたらす
- ・ 2017年に新たな流星群カタログを作成したい

August/ 2013 SonotaCo

38

ビデオ観測による様々な流星の形状とスペクトル

前田幸治 (NMS)、海老塚昇 (名古屋大学/NMS)

概要

ビデオで捕らえられた様々な形状の流星を紹介する。流星本体以外は、大きく短痕と尾に分けられるが、それらを明確に区別することはできないようだ。短痕は、酸素の禁制線だけでなく、遅い流星の場合 Na が光っているものがあることが分かった。

○ 始めに

眼視観測に慣れてくると流星には、様々な形状があることが見えてくる。しかし、その形状と変化は一瞬のうちに消えるので、スケッチで表現したり、言葉で記録することが難しい。写真観測も空間分解能は高いが、同じ場所の発光を積算してしまうので、目で見えた流星とは全く異なる像が記録される。その点、ビデオ観測は分解能は低いが各瞬間を 1/30 秒の制約はあるが、記録できるので流星の形状の観測には向いている。

今回は、ビデオで記録された多くの流星の中から流星の尾や短痕の動画をお見せし、言葉では表現できない流星の形状を鑑賞して頂きたい。また、それらをこれまでの経験に習い分類してみた。何が光ってそのような形状なるのかを得られた範囲でスペクトルから考えた。なお、今回は、流星の爆発(急増光)は、光度変化と考えて取り扱っていない。

○ 観測

焦点距離が短いと流星の姿がはっきりしないので、主に 12mm、25mm レンズで撮影した流星を目視して分類した。高速の流星は、ビデオのシャッタースピードに相当する 1/30 秒でもぶれて形状がはっきりしないので、主に遅い流星のみを対象とした。

スペクトルは、通常の UFOCapture 観測システムで分光器をレンズの前に付けて観測した。グリズムは理研で作成されたもの。回折格子はエドモンド社製の透過型 50mm 角の製品。図 1 は大型のグリズムを入れるためのハウジング。



図1 グリズムを入れたカメラのハウジング

スペクトル観測装置	観測期間
12mm 600 本グリズム	2006 年 10 月-11 月
8mm 600 本グリズム	2006 年 11 月-2008 年 1 月
12mm 200 本グリズム	2007 年 7 月-2009 年 9 月
12mm 300 本回折格子	2007 年 7 月-2012 年 7 月
12mm 600 本 UV 回折格子	2012 年 8 月- 現在

○ 形状の分類

1. 普通の流星 (Common 型)

明るい点状または、円状の光が移動して行くもの。90%以上ほとんどはこのタイプである。

2. 速い流星の短痕 (Rapid 型)

高速の流星の流れた後に主にその発光点側から中央付近で1秒弱発光する現象。これまでもよく知られており、酸素の 577nm の禁制線の発光が原因である。しし群、オリオン群などで顕著。

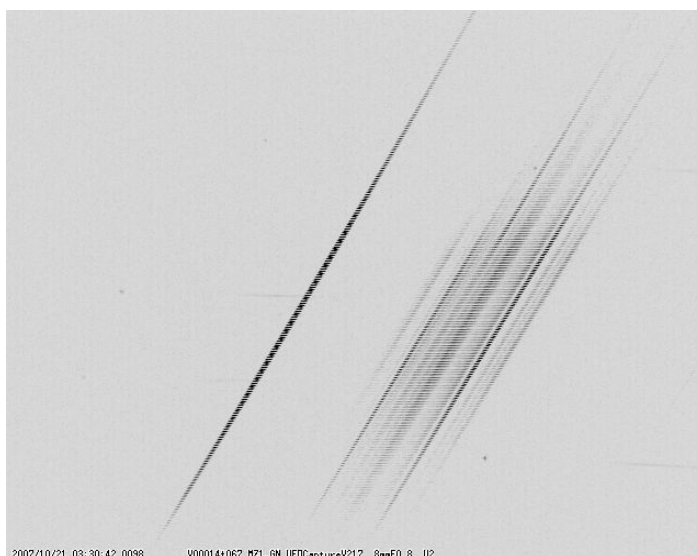


図 2 オリオン群流星のスペクトル (反転)

積算画像、グリズム

3. 尾 (Drop 型) 流星の明るい円状の部分の後に、短い場合は水滴形に、長い場合はたなびくように長く光る部分が生じる。たくさんの尾を見ていると、次の N 型との区別は明確にはできない。感覚的には止まっていれば痕、本体と共に動いていれば尾だが、そもそも尾の部分が動いているのかどうか見ただけではわからない。現象としては流星体が破碎しながらすすみ、小さなかけらは空気の抵抗が大きく本体より遅れて光っているものを見ていると思われる。従って、スペクトルは本体と同じになると考えられる。

4. 遅い流星の短痕 (Na 型) 遅い流星は酸素を励起できないので、577nm では発光できないと言われている。しかし、遅い流星でも消滅点側で短痕のような、長い尾のような形状のものが時々見られている。この発光は、図 3 の 1 フレームを切り出したスペクトルから分かるように Na が主な起源であることが分かった。図 4 は場所によるスペクトルの違いを示したものである。最下段の流星本体からのスペクトルでは、明るい Na の他に Mg の発光も見られているが、流星本体から離れた場所では Na のみ発光しており、これが痕として見えていると思われる。



図3 短痕が残った遅い流星のスペクトル

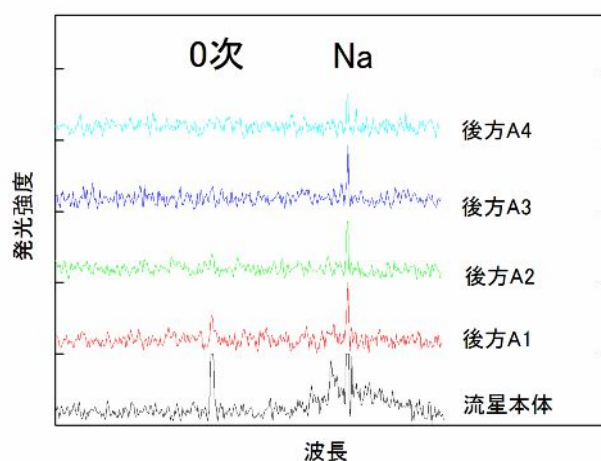


図4 遅い流星のスペクトルの場所による比較

5. 長い流星－崩れる流星－（Broken 型） 流星は通常明るい円状の部分だが、消滅点側で希に円の部分が伸び、幅の数倍の長さに渡り均一に光ることが見られる。尾だけの流星のようにも見える。しかし、通常フラグメンテーションが急激に起こると急増光するとされている。このような光度変化無しで形状だけが変わるのは何か別の壊れ方をしているのだろうか。D 型との違いは明るい円状の部分の有無だが、明確な区別は難しい。暗い部分でありスペクトルを取るのはとても難しい。

○感想

B 型の流星は N 型、D 型と明らかな区別は難しいが、数は少ないが色々な形状になり興味深い。今後、スペクトルなどで差が出るとさらにおもしろい。

2013 年 8 月 27 日 記

SonotaCo Network の自動 TV 流星観測によるアンドロメダ座流星群

司馬康生 (SonotaCo Network)

要旨

日本の自動TV流星観測網であるSonotaCo Networkの観測データから、2007-2012年の間のアンドロメダ座流星群 (AND) を抽出し、その性質を調べた。このとき、アンドロメダ座流星群の発光点高度が特徴的に高いことを利用し、群流星を識別した。その結果、定常群としては太陽黄径 $215^{\circ} \sim 245^{\circ}$ の期間に1950年代とほぼ同じ位置に輻射点、似た軌道要素を確認した。また、2011年にアメリカ大陸で観測された突発出現が同様に確認できた。

始めに

19世紀に華々しい流星嵐の活動を見せたアンドロメダ座流星群は、1772年に最初の観測記録がある3D/Bielaがその母彗星である。この彗星は1846年に核の分裂が観測され、その後の回帰である1852年を最後に観測が途絶え、消滅したとされる。一方、この彗星に起因するとされるアンドロメダ座流星群はその後、1872, 1885年に大出現が記録され (Denning 1885, Barnard 1886) た。その後の流星活動は、消滅した母彗星の後を追うように衰退した。一方、2度の歴史的な大出現以前の流星群活動は断片的な記録が多いが、1800年代初頭の輻射点位置はカシオペア座といわれるなど (Kronk 1988)、現在より高い赤緯にあったとされる。これはBiela彗星の軌道変化に伴うものとされ (Gerald et al 1959)、流星群の活動時期の前進と輻射点の南下が引き続いたとされる。

精度の高い流星の観測は、1950年代のHarvardの写真流星観測計画を待たねばならなかった (Gerald et al 1959)。

調査に使った観測データ

日本における自動TV観測ネットワーク、SonotaCo Network (SonotaCo 2009) の「c s v ハブ」に寄せられた観測データで、2007年から2012年までの6年間の10月5日から12月26日の期間のデータをダウンロードし、元データとした。これをUFOOrbit V.2を使用し軌道を求めた。このとき、交差角が 4° に満たないものを棄却した。調査期間に得られた軌道数は表1の「All Orbit」と示した。さらにここから、修正輻射点の位置と、対地心速度が次の範囲のものを、アンドロメダ座流星群の可能性のある軌道を含む母データとして抽出した。

$$0^{\circ} < \text{R.A.} < 40^{\circ} \quad 0^{\circ} < \text{Decl.} < +70^{\circ} \quad 13 < V_g < 21 \quad [\text{km/s}]$$

その数は、表1の「Andoromedids region」である。これらの範囲は、Gerald 1959で使われた抽出範囲と比べて、赤経で大きい側を 10° 狭く、赤緯で高い側を 10° 広く、速度で V_i と V_g の違いがあるが上下にやや広く取った。その選定理由は、得られた結果が、後述するアンドロメダ群の特徴である発光点の高い流星をいくつかの余裕を伴い含む範囲として設定した。

表1 軌道データ数

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total
All Orbit	8192	8818	10194	8820	9498	12908	58430
Andoromedids region	70	114	124	103	116	102	629

アンドロメダ座流星群の選別とその分類

現代のアンドロメダ座流星群の出現の可能性がある期間は長いと推定される反面、出現数は少なくなっている。同時に、アンドロメダ群の活動する時期、その輻射点付近では、多くの散在流星が出現する。さらに、アンドロメダ座流星群は、木星の摂動により、軌道が最も速やかに変化する流星群の一つであり、活動時期や輻射点の位置が長年の間にとりわけ大きく変化した流星群として知られる。従って、単に活動期間や輻射点位置だけで流星群を認識することが困難である。さらに、軌道の類似性を使って流星群の帰属を判断する判断手法 (Southworth & Hawkins 1963, Drumond 1981) は、一般には良い判断指標を提供するが、この群に対して適用するには疑いが含まれる。このような識別困難なアンドロメダ座流星群に対し、特殊な判断指標を使うことで、多くの散在流星とアンドロメダ流星群を分離する方法を採った。それは、Cook 1970 で示される発光高度の特徴を使う方法である。Cook 1970 によると、1950 ~ 1956 年のハーバードの写真流星観測計画の結果得られたアンドロメダ座流星群の発光点は、その高さに2つのピークを持つ。それぞれのピークは、Cepilecha 1968 の流星物質の分類で、C 1 および A タイプに該当し、それぞれ同数程度出現する反面、B タイプが欠けていると指摘している。A タイプは小惑星的な流星物質を示唆する発光点高度の低いもの、一方 C 1 タイプは彗星起源とされる発光点高度の高いものである。このうち、A タイプは、この時期の散在流星に多くが含まれるため、C 1 タイプの発光高度の高い流星を選び出すことで、アンドロメダ流星群の第一の選別指標とした。

すなわち、表 1 の Andromedids region の 629 の流星に対し、その速度と絶対光度を考慮し、平均の発光点高度より 5km 以上高いものを、アンドロメダ群の指標として扱った。図 1 にその選別境界を速度と絶対光度に対して示す。

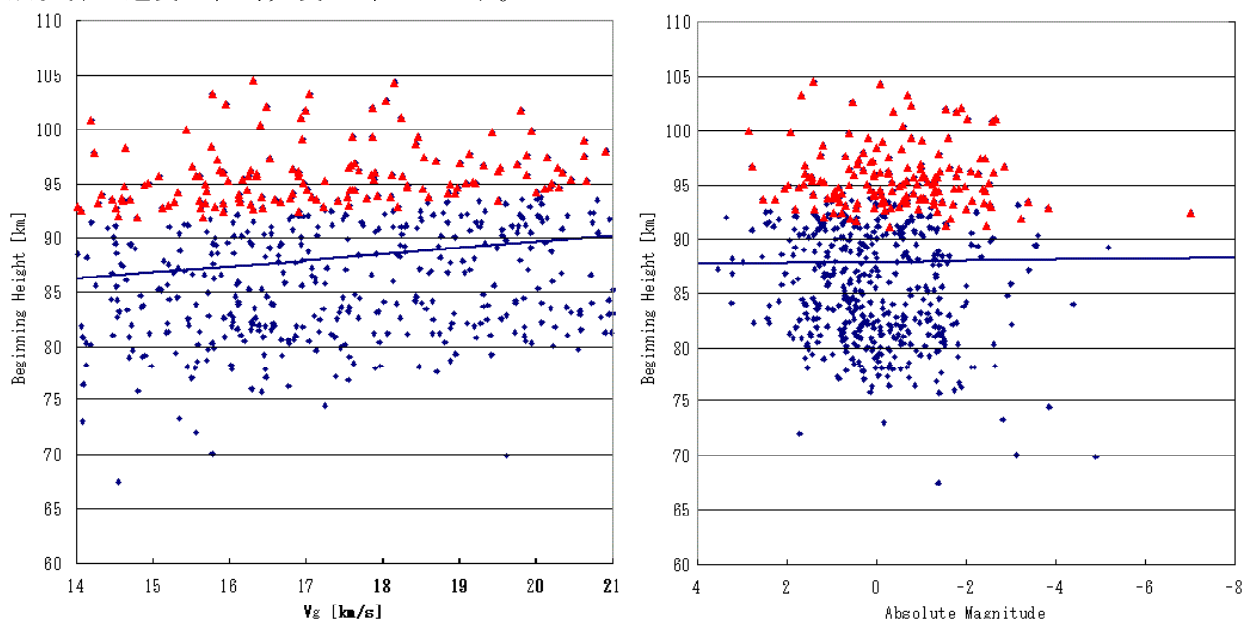


図 1 アンドロメダ群を選別するための発光点高度の高い成分

図中、▲で示したものが、該当する V_g 及び絶対光度を考慮した上で平均より 5km 以上高い発光点である。

アンドロメダ群の輻射点空域の修正輻射点を図 2 に示した。図 2 で発光点の高いものを▲、それ以外を小さな◆で示した。▲で示した輻射点がとりわけ特徴的な分布をしている。一方、小さな◆の輻射点のうち、▲の集中部分と重なる成分は、Cook 1970 で、"A"として分類されたものかもしれない。しかし、▲印と小さな◆は分布傾向は十部一致せず、ストリームにより違った組成の特徴を持っているという解釈も可能である。ところで、"Solar Longitude - R.A."の図で中心より左上側で斜めに繋がる成分、"Solar Longitude - Declination"で左下側に分布する小さな◆のやや濃い成分はおうし座流星群由来の散在流星が混入しているかもしれない。以下、▲の集中部分について大きく 2 つに分類し検討する。

(1) 定常群としてのアンドロメダ群

輻射点位置で R.A.=20 ° ,Decl.=+25 ° 付近から R.A.=25 ° ,Decl.=+40 ° 付近に向けて分布する成分は毎年出現が見られる。発光点の高い流星の輻射点を元に移動を算出すると次のようになる。

$$\begin{aligned} R.A. &= 0.222 (SL - 228.93) + 22.2 & [\text{deg}] \\ Decl. &= 0.747 (SL - 228.93) + 31.7 & [\text{deg}] \\ Vg &= -0.12 (SL - 228.93) + 17.3 & [\text{km/s}] \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、SL は太陽黄経である(Eq:2000.0)。なお、(1)式の算出には、

$$(R.A. - R.A._i)^2 + (Decl. - Decl._i)^2 + (Vg - Vg_i)^2 < 5 \quad (2)$$

を満たす輻射点を使って求めた。ここで、(R.A._i, Decl._i, Vg_i) は観測輻射点である。

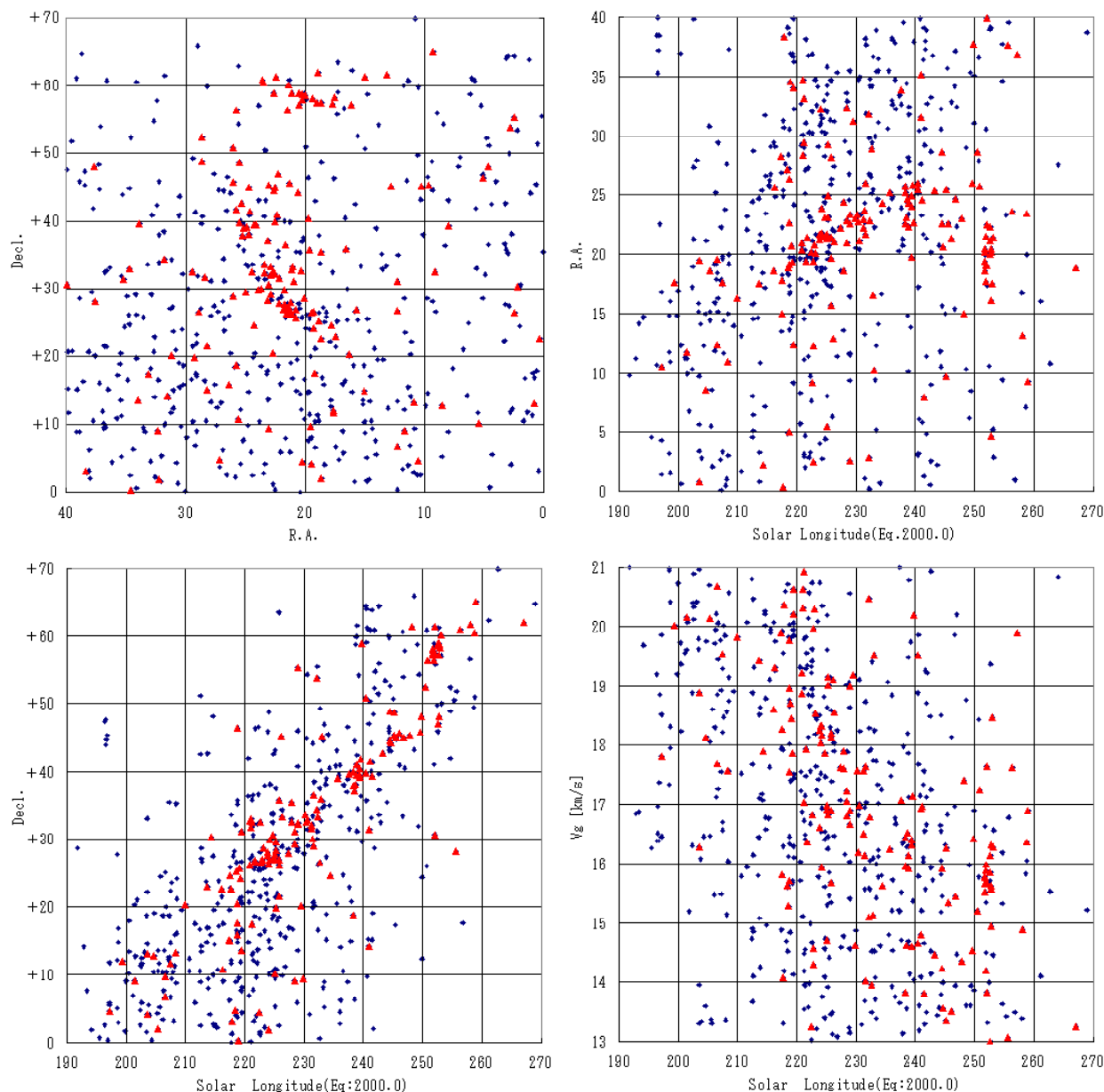


図2 アンドロメダ座流星群の輻射点空域の輻射点分布

▲印は、発光点高度が平均より 5km 以上高いもの

太陽黄経で1度ごとに集計した、定常群としてのアンドロメダ座流星群の記録された軌道数を図3に示す。使ったデータは(2)式を満たすものである。ここから、太陽黄経で 213 ° ~ 245 ° 程度の期間で活動が確認できるが、単純な活動曲線ではなく、235 ° 付近で活動が低下している。

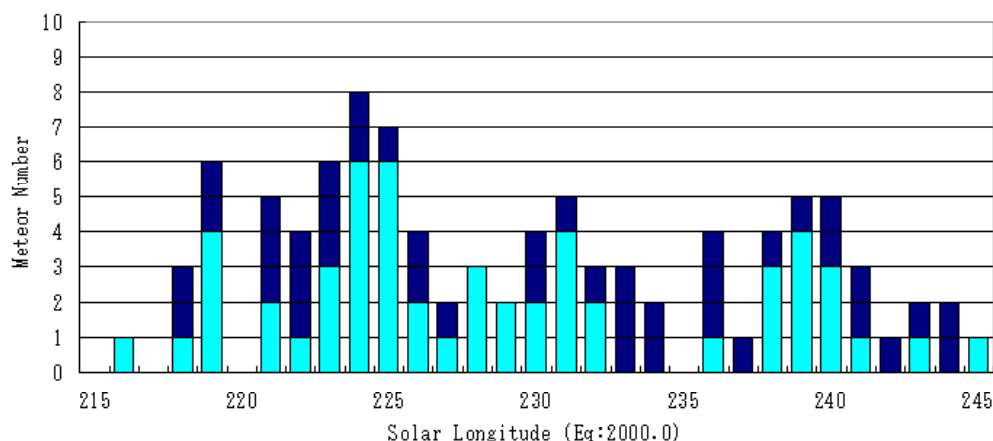


図3 アンドロメダ座流星群、定常成分の撮影流星数変化

下部淡色部は、発光点高度が平均より 5km 以上高いもの

(2) 2011 年の突発

図2の R.A.=20°、Decl.=+58° 付近の集中がこれに該当する。Wiegert et al 2013 によると、カナダのレーダー (CMOR) 観測から、太陽黄経 250° ~ 253° 程度の間、R.A.=18.2 ~ 20.2°、Decl.=54.1 ~ 57.5°、Vg=16.2 ~ 17.0[km/s] の範囲に突発出現を確認し、これをアンドロメダ座流星群として報告した。さらに、この中では、Personal Communication として、カリフォルニアにおいて、P.Jenniskens の運営する自動 TV 流星カメラシステム "CAMS" により、R.A.19.3°、Decl.=+58.0°、Vg=16.5[km/s] の突発を確認しており、これらは一致する流星群活動とも書かれた。一方、植原敏氏が、2011 年 12 月 10 日に「12/4-5 にカシオペア座に新群が出現」とのタイトルで、SonotaCo Network のフォーラムに突発出現を記載した。これが、日本における、アンドロメダ座流星群の突発の発見である。この輻射点領域は、図4に示すとおり、2011 年のみで活動し、他の年には全く出現が記録されていない。記録された 19 個の軌道の平均太陽黄経 (SL)、平均輻射点位置、平均 Vg は次の通りとなった。

SL=252.208 [deg]

R.A.=19.94 [deg]

Decl.=+58.16 [deg]

Vg=15.93 [km/s]

出現が記録されたのは、12 月 4/5/6 の 2 夜のみであり、輻射点

位置や Vg の移動は、活動期間が短いために求めることは困難である。赤経は、太陽黄経の増加に対して減少、赤緯は増加、速度は全く不明に見える。なお、得られた軌道のうち、3 個を除くと発光点高度が高いグループに属している。発光点が高くない 3 個も、発光点が視野外など、発光点が高いグループに属していた可能性は否定できない。19 個全ての UFOOrvit V2 による軌道要素等を表 2 に示す。個々の輻射点や軌道のばらつきがやや大きく見えるが、ぼろぼろと崩れるような飛跡を残すアンドロメダ群の特徴により、自動測定がやや難しかった可能性がある。

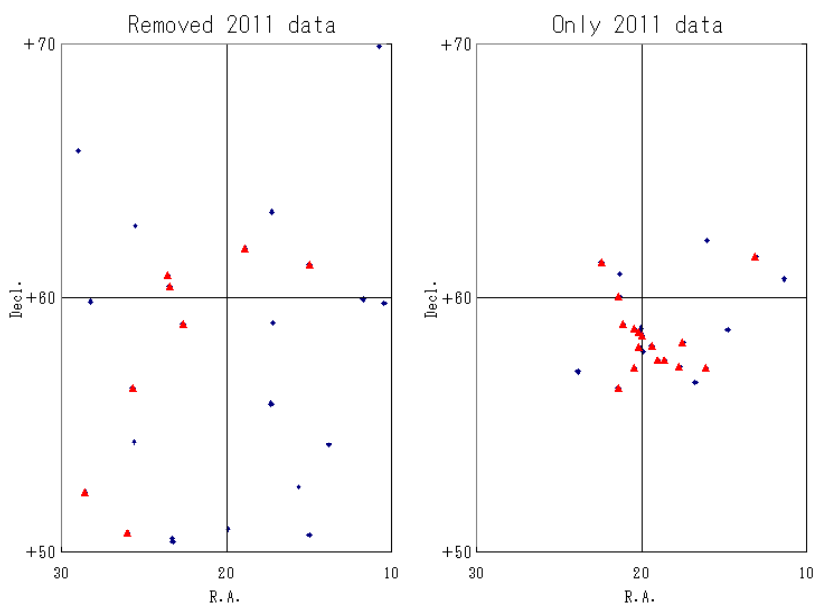


図4 2011 年突発空域

2007 年から 2012 年のデータの総計から、左は 2011 年のみを取り除いたもの、右は 2011 年のみを取り出したもの。印の形はこれまでと同じく発光点高度の違いを示す。

表2 2011 Andromedids Outburst

Sites	_localtime ymd_hms(ST)	_amag [mag]	_dur [sec]	_lng1 [deg]E	_lat1 [deg]N	_H1 [km]	_lng2 [deg]E	_lat2 [deg]N	_H2 [km]	_ra_t [deg]	_dc_t [deg]	_vg [km/s]	_a [AU]	_q [AU]	_e	_p [yr]	_peri [deg]	_node [deg]	_incl [deg]
2	20111204 172254	-0.76	0.25	137.70682	34.22977	91.748	137.68677	34.21042	87.819	23.84	57.08	15.75	2.57	0.886	0.655	4.13	221.8	251.659	17.1
2	20111204 185601	-1.66	0.60	140.51305	36.23446	91.967	140.49330	36.19912	81.249	18.61	57.53	15.66	2.72	0.900	0.669	4.49	218.4	251.724	17.4
2	20111204 194628	-0.01	0.75	138.46483	35.55238	98.524	138.45158	35.50825	84.905	20.48	57.21	15.76	2.72	0.895	0.671	4.49	219.4	251.760	17.3
3	20111204 200816	-0.71	1.00	136.28438	35.12232	96.604	136.27397	35.06443	79.610	20.18	58.04	15.52	2.56	0.897	0.649	4.09	219.5	251.775	17.3
2	20111204 203825	1.10	0.48	139.03182	36.70008	88.413	139.03600	36.67015	79.004	19.91	57.88	16.63	3.10	0.894	0.712	5.47	219.1	251.797	18.3
2	20111204 204148	1.68	0.70	138.99593	35.24062	103.287	139.00290	35.19750	90.719	19.37	58.09	15.78	2.69	0.898	0.666	4.41	219.0	251.799	17.6
2	20111204 224439	-2.82	0.87	134.19576	35.71917	73.304	134.24039	35.65753	58.340	20.06	58.76	15.34	2.44	0.898	0.633	3.82	219.6	251.885	17.4
3	20111204 231541	-1.30	0.78	136.77963	35.41916	95.327	136.83409	35.36050	82.561	19.03	57.51	15.98	2.87	0.899	0.687	4.86	218.4	251.907	17.6
2	20111204 231659	-2.58	1.49	137.71080	37.06342	100.938	137.81081	36.96627	78.567	17.71	57.25	14.20	2.27	0.908	0.600	3.43	217.8	251.908	16.0
2	20111204 234617	-2.09	0.95	135.08566	34.01336	96.319	135.15637	33.94001	81.452	21.44	56.41	15.87	2.82	0.893	0.684	4.75	219.7	251.929	17.0
4	20111205 021037	0.60	0.82	138.72244	35.18259	95.021	138.80637	35.08974	85.841	19.03	57.52	15.69	2.74	0.900	0.672	4.54	218.4	252.031	17.3
2	20111205 025815	0.42	0.68	139.84068	36.52319	96.992	139.91136	36.42755	88.987	22.42	61.39	17.64	3.05	0.884	0.710	5.32	221.3	252.064	20.4
3	20111205 180045	-0.68	0.32	137.32652	36.43743	93.961	137.30710	36.41561	88.493	19.99	58.52	16.13	2.85	0.898	0.685	4.81	218.6	252.700	18.0
3	20111205 182949	0.07	0.47	136.96945	34.82656	97.324	136.94621	34.79402	89.356	21.14	58.96	15.85	2.63	0.896	0.660	4.28	219.5	252.720	17.8
2	20111205 190203	-1.32	0.50	138.08385	35.80519	95.714	138.06690	35.77409	87.013	20.23	58.64	15.62	2.61	0.899	0.656	4.22	218.9	252.743	17.5
3	20111205 193540	-1.26	0.45	136.18623	35.96921	95.097	136.17563	35.94189	87.133	20.46	58.75	14.94	2.36	0.901	0.619	3.63	219.2	252.767	17.0
2	20111205 195954	1.46	0.38	138.85422	34.97089	95.695	138.85376	34.94854	88.893	16.12	57.19	15.57	2.92	0.910	0.689	4.99	215.8	252.784	17.2
2	20111205 223424	-0.77	0.80	137.27585	34.12254	99.431	137.32158	34.06278	86.502	17.52	58.23	18.46	5.40	0.898	0.834	12.54	216.5	252.893	20.0
2	20111206 030934	-0.26	0.32	137.88068	36.36339	96.319	137.91051	36.32375	93.120	21.39	60.04	16.28	2.72	0.894	0.671	4.49	219.6	253.087	18.6

考察

SonotaCo Network の 2007 年から 2012 年のアンドロメダ座流星群の中の"定常群"成分は、数は少ないながら、ほぼ毎年の出現が確認できた。これは、Cook 1970 の指摘にある、発光点高度の高い成分を特徴的に含んでいる。また、この軌道は、Gerald et al 1959 に記載されている 1950 年代のアンドロメダ座流星群の軌道と似ている。ただし、Gerald et al 1959 では、輻射点や軌道のばらつきは、ここで紹介したものよりかなり大きい。その理由は、データ処理で図解法など概略処理を行ったものが含まれているためかもしれない。19 世紀の大出現以来、アンドロメダ座流星群の輻射点と出現時期がそれぞれ、南へ、早い時期へとずれてきていると言われてきた (Gerald et al 1959)。しかし、この半世紀はほぼ一定の場所に止まっていることがわかった。

図 5 に、出現した流星の太陽黄径に対する軌道傾斜角を示した。定常群成分と 2011 年の突発成分とで軌道の形(a,q,e)は似ており、わずかに 2011 年突発の方が離心率(e)が小さい程度である。一方、顕著に違う軌道要素が軌道傾斜角と昇交点である。しかし、この図からは、これらの差異も定常成分と突発成分の間で連続して見える。

Wiegert et al 2013 では、Biela 彗星から放出されたストリームの軌道進化から 2011 年の突発が説明できないか検討している。しかし、十分満足できる説明には達していないように見える。ところで、2011 年突発の輻射点位置は、Professor Edmond Weiss が 1772 年に出現しただろう輻射点位置を 1860 年代に計算した結果とほぼ一致する。ただし、Weiss の計算による極大は、12 月 10 日であり (Kronk 1988)、太陽黄径で 9° 程度相違する。

謝辞

最初に、2011 年の突発の最初の発見者である植原敏氏に敬意を表したい。巨大で貴重なデータベースの管理運営を続けておられる SonotaCo 氏の背景の努力が全てのデータを下支えしている。さらに、ここで使ったデータは多くの観測者に日々の観測と解析処理などによっている。以下に、ここで使った基礎データを提供した筆者以外の観測者を書き、彼らの努力に感謝する。ada 氏, A r ! 氏, 室石英明氏, Yamakawa 氏, 三本松高等学校, INOUE 氏, 前田幸治氏, Masuzawa 氏, 上村氏, mars 氏, 植原敏氏, 上田昌良氏, 関口孝志氏, Nakai 氏, SonotaCo 氏, 齋藤直也氏, 中村哲也氏, koma 氏。最後に、十三塾の会合ではいくつかの助言を頂いたことに感謝する。

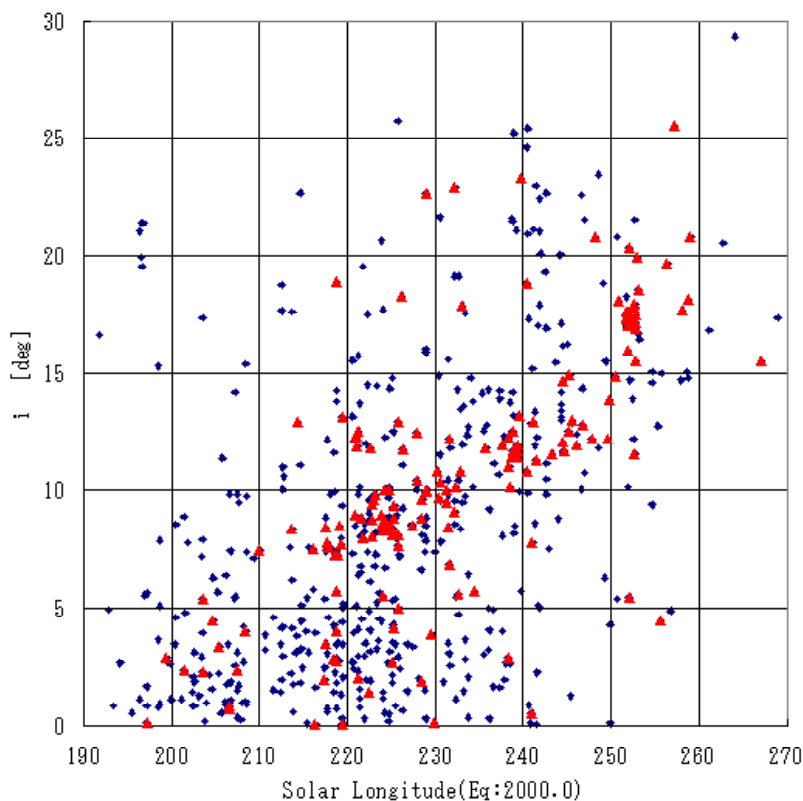


図5 アンドロメダ群の軌道傾斜角変化

求められた軌道要素の軌道傾斜角を、太陽黄経に対して図示した。

文献

- Barnard, E. E., 1886, Mar., Sidereal Messenger, vol. 5, p. 74-79
Cephecha, Z., 1968, Astrophys. Obs. Spec. Rep. No., 279., p. 54
Cook, A. F., 1970, SAO Special Report #324, p. 1-22
Drumond, J. D., 1981, Icarus, vol. 45, Mar. 1981, p. 545-553.
Denning, W. F., 1885, Nature, Vol. 33, No. 841, p. 127-128
Gerald, S., Hawkins, R., Southworth, B., Stienon, F., 1959, Jun., Astron. J., Vol. 64, No. 1270, p. 183-188
Jenniskens, P., Vaubaillon, J., 2007, Sep., Astron. J., Vol. 134, p. 1037-1045
Kronk, G. W., 1988, Enslow Publishers, "Meteor Showers" p. 211-220
SonotaCo Network, (2013), <http://sonotaco.jp/>
SonotaCo, 2009., WGN, Vol. 37, No. 2, p. 55-62
Southworth, R. B., Hawkins, G. S., 1963, Smithsonian Contributions to Astrophysics, Vol. 7, p. 261-285
Wiegert, P. A., Brown, P. G., Weryk, R. J., Wong, D. K., 2013, Mar., Astron. J., Vol. 140, No. 70, p. 1-11

1. はじめに

ペルセウス群や四分儀群の出現状況は年々変化し、写真と電波では見え方が異なる。これは、周知のことである。小流星群も出現状況が時代によって変化し、観測方法によって見え方も違って当然であるにもかかわらず、この理解が小流星群研究において不徹底であるきらいがある。さらに状況を複雑にしているのは、「流星群の定義」が観測方法、研究者によって異なることである。「流星群」という語の意味が自明であり、無意識に使えるのは大流星群の場合だけである。ここでは、これらの問題を具体的にいくつかの小流星群を例として検証したい。本稿は、先日行われた「流星物理セミナー」で発表した「流星群の定義」の続編にあたる。

2. 「流星群」の定義：歴史的また方法による変遷

「流星群」という言葉がどのような定義で使われているのか、実は曖昧である。観測方法によって、捉えられる流星現象にかなりの違いがあることを様々な機会に述べてきた。観測方法また集約方法によって、「流星群」と理解されている内容に違いがあることを認識した上で、小流星群に取り組む必要がある。「流星群は共通の起源をもつ流星体の集合」というだけでは、甚だ不十分で抽象的に過ぎる。

眼視観測では、観測日時、輻射点、速度等が流星群判定の基準になる。写真・電波・TV観測ではそれが、軌道要素に置き換えられることが多い。後者の方が高度な、より理論的な基準であるかのように思われがちであるが、流星観測またそれによる流星軌道の自由度は4つであり、これは両者に共通している。つまり、流星の出現時刻、輻射点の位置（赤経、赤緯）、速度が指定されれば軌道要素も決まる。どちらを判定基準に用いるかは、観測精度また研究者の判断による。

具体的には、眼視では観測データ、電波では両者の混在、写真では軌道要素を用いることが主流になっている。流星群の判定は観測の精度によって、直接の観測データと軌道要素が使い分けられているのである。しかし、観測データを軌道要素に変換する際には、要素空間での歪みを生じる。つまり、同じ観測方法でも誤差範囲がそれに比例した軌道要素の誤差範囲とはならない。単純に輻射点の位置、速度の違いを、軌道要素の同程度の違いと考えることはできない。逆もまた同様に成り立つ。

軌道要素か輻射点かという問題の他にもう一つ重要な問題がある。ペルセウス群について、今年の観測を今年と比較することに大きな問題はない。極大期では「輻射点の方向と速度」から<ほぼ>判定できる。また、判定の誤りは誤差の範囲に収まる。しかし、ペルセウス群であったとしても、初期及び末期出現にあつては、背景にある散在流星や他の小流星群との識別が困難になる。眼視観測だけでなく、観測方法の種類を問わず、散在との比、S/N比が大きな問題になる。S/N比が小さくなればなるほど、判定には細心の注意が求められる。S/N比が小さい条件では、眼視観測においても、計数観測ではなく経路記録の観測が必要となる。

このように観測方法、S/N比の大小により、流星群の判定方法は異なり、「同じ流星群の活動」と同定する合理的また普遍的な基準は存在しない。何より、流星群の活動は年々変化し、ある位置、ある時期だけ、しかも、ある特定の方法によってのみ観測されたという活動があつてもきわめて自然なのである。S/N比が小さい小流星群にあつては、そもそも、両者の観測が同じ「流星群」に関するものであるのか同定することが困難であり、多くの混乱、誤解を生じている。

本稿では、この問題を考察するにあたって<6>つの小流星群を取り上げるが、それらが本当に<6>つであるかについては今後の検討が必要である。また、末尾に示した参考文献の他、筆者が流星会議等で発表した以下の論文を多用している。煩雑になることを避けるため、本文中で参照については一々触れていない。

〔筆者による論文（本稿で使用する資料）についての概説〕

(1) 写真観測によって活動の認められる流星群：第23回流星会議(1982)

クラスター分析によって、DMN<0.15となる写真流星のグループを検出した。以下、MK-で表記する。

(2) クラスター分析による流星群の軌道研究：第22回流星会議(1981)

クラスター分析によって、発表された「流星群」を同定・分類した。以下、Ref.-Listで表記する。

(3) Hoffmeisterの観測の再検討：第19回流星会議(1978)

Hoffmeisterの眼視輻射点を(λ - λ_s , β)座標によって、分類した。

(4) 1923~69年の間に日本で観測された流星輻射点, 天界, 60(1979)

OAA-NMSで観測された眼視輻射点を(λ - λ_s , β)座標によって、分類した。

(5) Denningの流星輻射点目録の検討：アマ天(1979)

Denningの眼視輻射点目録中、観測期間の短いもののみを用い、(λ - λ_s , β)座標によって、分類した。

(6) AMSにより観測された輻射点：第21回流星会議(1980)

AMSで観測された眼視輻射点を(λ - λ_s , β)座標によって、分類した。

(7) Meteor Shower Records: A Reference Table of Observations from Previous Centuries, WGN, 37:5 (2009)

主として、(2)~(6)を基礎に、観測の時代・方法によって、見える流星群に違いがあることを確認した。

3. 「小流星群」の見え方

3-1. シュワスマンワハマン3群とウィンネッケ群

両群ともに、活動の変動が激しく、通常では散在流星に埋もれる程度の活動しか見られない。また、それほど日時的、位置的に離れていないところで、速度的にも区別のつかない流星群が活動していることになり、両者の判別も容易ではない。Terentjeva はシュワスマンワハマン3群としている流星の一部をウィンネッケ群に属すると判定している。

(1) シュワスマンワハマン3群

シュワスマンワハマン3群は、1930年に中村要氏によって突発出現が捉えられているが、その後再発出現と呼べるものは観測されていない。彗星の分裂が1995年に観測されており、その後の軌道変化と相まって、2022年5月31には大出現が予報されている。シュワスマンワハマン3群とみられる活動は写真観測でかなり多くとらえられ、(1)ではNo.49として検出されている(第1表参照)。なお、 $(\lambda-\lambda_s, \beta)$ は筆者が補ったものである(以下、同様)。

No.49の輻射点 $(\lambda-\lambda_s, \beta)=(130.4,)$ を中心とする太陽黄経42~113度の輻射点の分布を第1図に示す。様々な研究者によって「流星群」と報告されているもの(○)、写真流星(◇塗りつぶし)、SonotaCoネットによるビデオ流星(年別に+~□)である。ウィンネッケ群はクラスター分析によっては検出されていないので、1998年の出現時に捉えられたEN270698のみを太丸で示した。いずれの群も散在流星の分布に埋もれて、明瞭な輻射点集中は認められない。

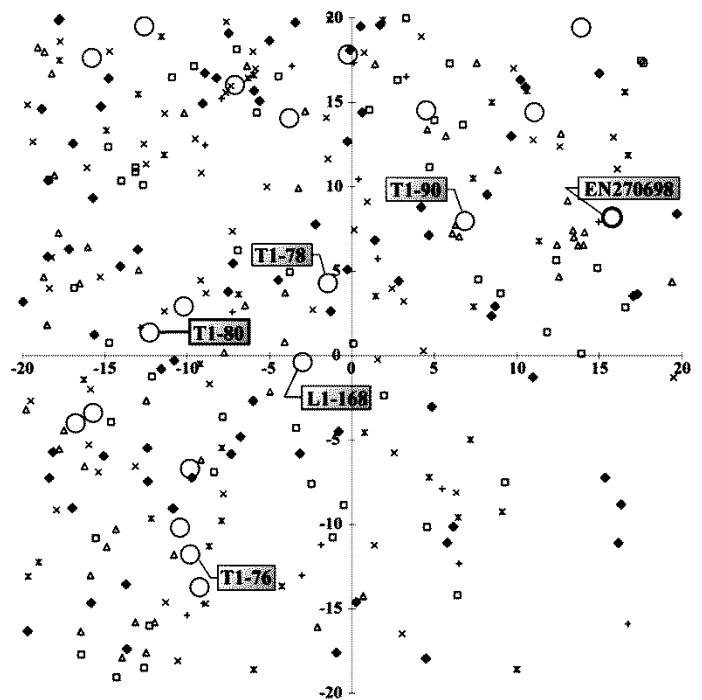
眼視観測においても、異なる観測者・グループによってほぼ同定が確実と思われる観測が存在している。また、LindbladのL1-168もIAU-61もほぼMK-49と一致するものである。第2表中でRef.-List-67に含まれているT1-90はTerentjevaによるもので、原著者自身はウィンネッケ群に関連すると見做している。母天体がいずれであるにせよ、写真観測からは、「流星群」の活動があったことは確実と考えられる。一方、電波観測では1960年代のハーバードの観測だけでなく、CMORにおいても検出されておらず、写真観測の行われた1950年代ま少数の比較的明るい流星が放射していたものとみられる。

なお、写真流星についてMK-49に対して $D_{MN}<0.3$ となる輻射点の分布(第2図)をみると、 $D_{MN}<0.1$ となるものでもかなり拡散している様子がわかる。

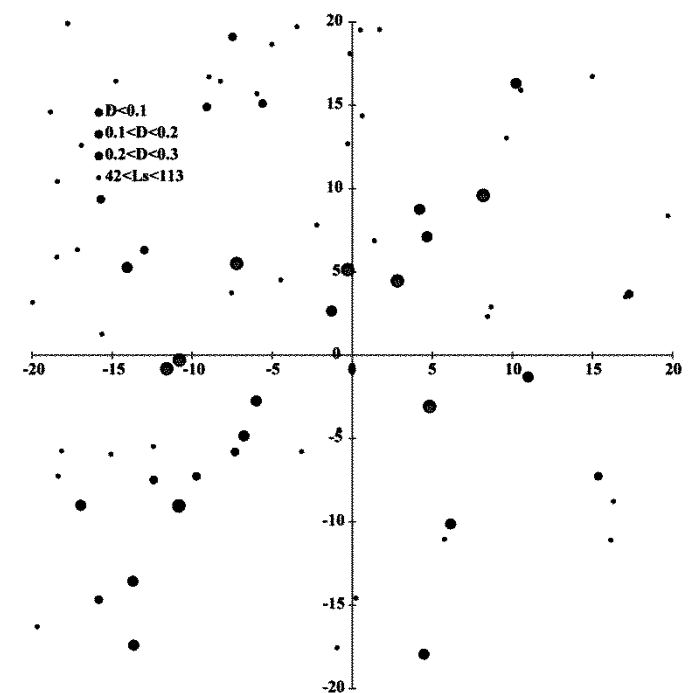
このように、「流星群」の活動を見るには、輻射点分布だけでなく、軌道要素の類似度を用いる方が適切な場合もある。「流星群」についてはいろいろな角度から考察する必要がある。

(2) ウィンネッケ群

ウィンネッケ群は1916年の出現が眼視観測で捉えられたが、その後の観測方法の進歩にもかかわらず検出されることなく、Lovellなどは「失われた流星群」として記述している。しかし、1998年、2004年に'outburst'(突発というよりは再発または再帰的'recurrent'の方が適切であろう)が観測された。このように、活動の状況は激しく変動する。



第1図：TAHとJBO



第2図：写真流星によるTAH

第1表：写真流星のクラスター分析で検出された「流星群」

No.	α	δ	$\lambda-\lambda_s$	β	Vg	e	q	i	ω	Ω	N
MK-49	228.7	40.7	130.4	55.2	14.8	0.625	0.979	19.0	201.3	75.9	18

第2表：様々な観測によって得られた MK-49 に相当する「流星群」

Reference	No.	λ_s	α	δ	$\lambda-\lambda_s$	β	Obs.
NMS	13	81	253	35	164	56	24
AMS	24	60	240	29	170	48	9
Hoffmeister	21	64	249	39	172	59	20
平均		68	247	34	169	54	
Ref.-List	67	74	230	39	136	55	T1-76,T1-78,T1-80,T1-90,L1-168
IAU	61	72.0	228.5	39.8	136.2	54.7	τ -Herculids

第3表：様々な観測によって得られた「ウィンネッケ群」

Reference	No.	λ_s	α	δ	$\lambda-\lambda_s$	β	Obs.
NMS	16	93	217	54	86	61	9
AMS	39	99	224	55	83	65	16
Hoffmeister	36	96	218	52	86	60	11
平均		96	220	54	85	62	
Ref.-List	87	95	246	69	59	81	T1-91,S2-44
IAU	170	96.3	222.9	47.9	97.8	59.6	June Bootids

第3表の Ref.-List-87 の T1-91 と S2-44 をウィンネッケ群と見做すのは無理があろうし、IAU の数値は先述の EN270698 だけによっている。平年においてウィンネッケ群の活動が捉えられることはまずないと言える。写真・電波のように組織的・計画的に行われる大規模な観測の網をすり抜けてしまっているのである。しかし、眼視観測では、過去の「歴史的」出現時を含めて、弱い出現が独立の観測で認められており、1998 年、2004 年のように再帰的な出現が観測され、活動は「確定」的と言える。さらに、輻射点分布図で EN270698 に近接して SonotaCo の 2010 年の観測がやや集中して興味深い、TAH は確定群、JBO は'working'である。

3-2. はくちょう群

小松崎恭三郎氏は自身の 1941-49 年の観測をまとめ、<星の友 No.4>に“白鳥座の流星”という一文を執筆されている。これはハーバードの写真観測で「はくちょう群」の存在が確認される以前ということできわめて貴重なものである。さらに、「はくちょう群」は4群（9月以降を除けば3群）からなるという指摘（第4表参照）は以下の考察と一致している点でも注目される。表中で'A'群の出現期間は5月10日ではなく、8月10日のミスプリントであろう。また、輻射点の赤経は 20h40m=310 度を意味し、氏の与えている輻射点と「はくちょう群」の差は大きい。しかし、当時使用されていた星図を考えればやむを得ないものであろう。

「はくちょう群」は小流星群の中では、よく知られているものの1つである。Jenniskens は 1993 年に DMS が多数の「はくちょう群」火球を撮影したことを報告しているが、また、他の年の流星とは軌道が微妙に異なることを指摘している。

SonotaCo も 2007 年に「はくちょう群」の特異的な活動を捉えている。「はくちょう群」の活動は年により大きく変動し、「再帰的」とも言える出現を繰り返しているのかもしれない。

IAU の軌道データも DMS のものを用いており、以下では IAU=DMS のものを用いることにする（第5表）。

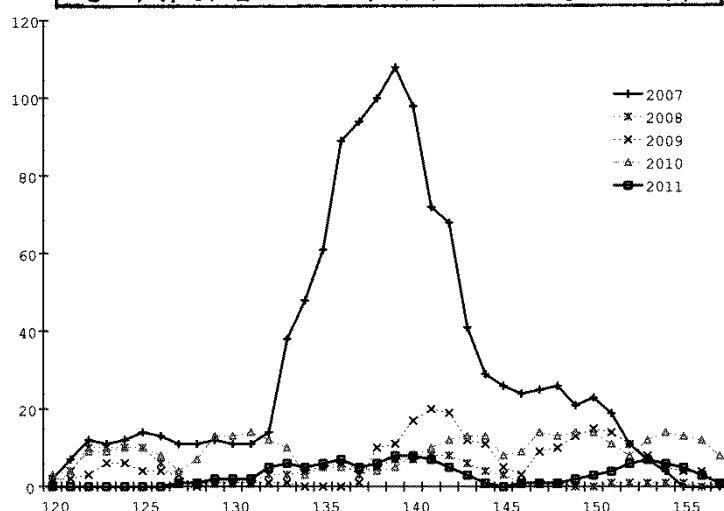
第5表：はくちょう群の要素

No.	α	δ	$\lambda-\lambda_s$	β	Vg	e	q	i	ω	Ω	λ_s	
IAU-12	284	52.7	158.1	74.5	24	0.808	0.984	35.9	201.4	139.4	145.2	KCG(kappa Cygnids)
MK-74	280.6	44.5	153.3	67.2	20.7	0.730	0.969	30.2	206.4	136.5	12	T1-115, L1-204
MK-83	290.5	55.7	175.2	75.2	25.0	0.757	0.979	38.8	202.4	147.9	6	κ -Cygnids

IAU の要素で KCG の Ω と λ_s に違いがみられ、Jenniskens はこれに触れていないが、ハーバードでの 1950 年代の観測は $\lambda_s=145$ 付近の活動である。(1)で検出されているのも、こちらの方であり、 $\lambda_s=139$ 付近の活動は見

第4表：小松崎氏によるはくちょう群

A	7月28日 → 5月10日	20	44	+24
B	8月13日 → 8月19日	19	28	51
C	8月14日 → 8月21日	20	48	+32
D	9月27日 → 10月3日	21	32	49



第3図：「はくちょう群」ビデオ流星数の変化

出されていない。小松崎氏の'C'群は $\lambda_s=145$ 付近の活動を捉えたものと推測される。周辺の流星活動だけでなく、'KCG'と称されるもの自体についても不明な点が多い。

5.1 と同様にこの軌道から $DMN<0.3$ となる流星数の変化(第3図)と輻射点の分布を $120<\lambda_s<160$ の範囲で示す(第4図)。グラフから 2007 年の突出ぶりが明白である。ハーバードの写真観測で κ -Cygnidsとされているものは1950年の観測が多く、DMSの1993年、SonotaCoの2007年の間には約7年の周期変動が隠れているのかもしれない。

輻射点分図の KCG、T1-116、LE-445 は原著で κ -Cygnidsとされているものであるが(第5表のNo.83は(1)によって検出されたもので、ほぼT1-116に相当する)、周辺にもいくつかの活動領域が存在する。

はくちょう群の中心に位置している T1-102 は $\lambda_s=126$ 付近で活動する別群である。これは、その後、SonotaCoの観測によって「確定群」IAU-178(GDR)とされた。小松崎氏の'A'群に相当する。

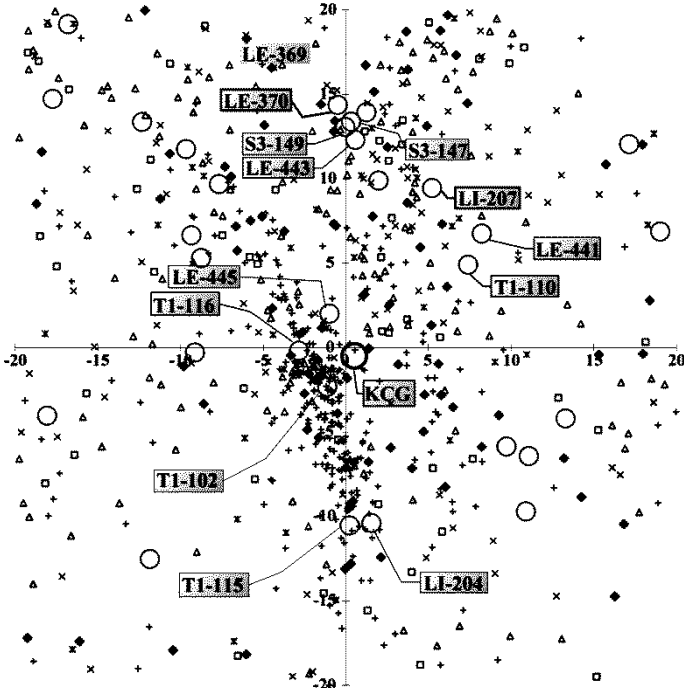
T1-115(ϵ -Lyrids)と L1-204(α -Lyrids)は、(1)でも検出されている(No.74)。これが小松崎氏の'B'群に相当する可能性が高い。輻射点分布図では、これに該当するビデオ流星を確実に見分けることは困難である。

活動の変動が大きいことが推測される。

また、T1-110 と L1-207 はそれぞれ原著で ζ -Draconidsとされている。L1-207 は Jenniskens 自身の著作では S3-147 と同定され、S3-147 に合わせて IAU-199(AUD)と呼称されていたが、2012 年の改訂で「確定群」に格上げされ、L1-207 は引用されていない。

なお、IAU で ζ -Draconids(ZDR=IAU73)としているものは、版によって著しく内容が異なり、IAU-199 とは全く別物である。当初は、呼称とは全くかけ離れた位置にある L1-167(θ -Herculids)と同定されていたが、現在では(α, δ)=(261.7, 67.8)という Rendtel 等のビデオ観測が引用されている。

図中でこの群の左上に見える「流星群」(○)の集中は電波観測によるもので、ここでは触れない。



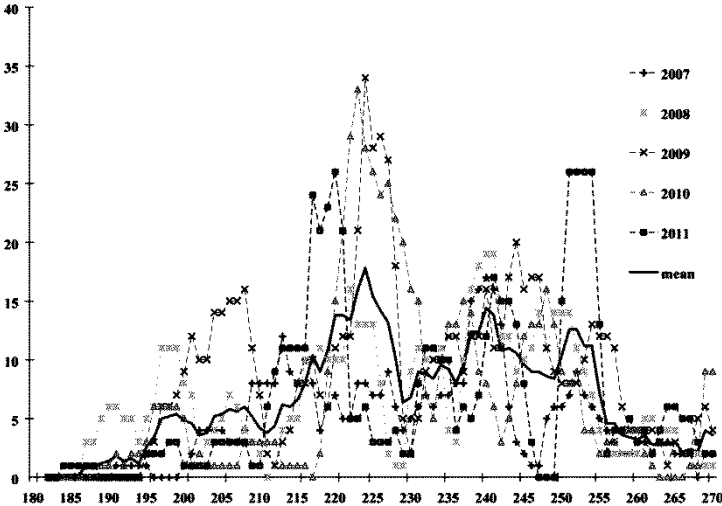
第4図:「はくちょう群」輻射点の分布

3-3. アンドロメダ群

歴史的には、アンドロメダ群の活動は顕著で明白である。しかし、現在、Bielids としての活動が認められるかは明らかではない。「アンドロメダ群」の活動領域には散在流星も含め、多様な流星活動が認められる。

どの流星活動を「アンドロメダ群」の活動するのかは、研究者によって異なっている。ここでは(1)によって、この活動領域に認められる「小流星群」(MK-127)を出発点とする(第6表参照)。

この平均軌道から $DMN<0.3$ となる SonotaCo ネットのビデオ流星数は第5図のように変化する。明らかに複数の活動が存在することが示される。この平均軌道が $\Omega=226.3$ であるから、 $\lambda_s=225$ 度付近が極大になることは当然であり、その他の $\lambda_s=240$ 度、 $\lambda_s=250$ 度付近の活動は、この MK-127 よりも活発であることも考えられる。



第5図:「アンドロメダ群」ビデオ流星数の変化

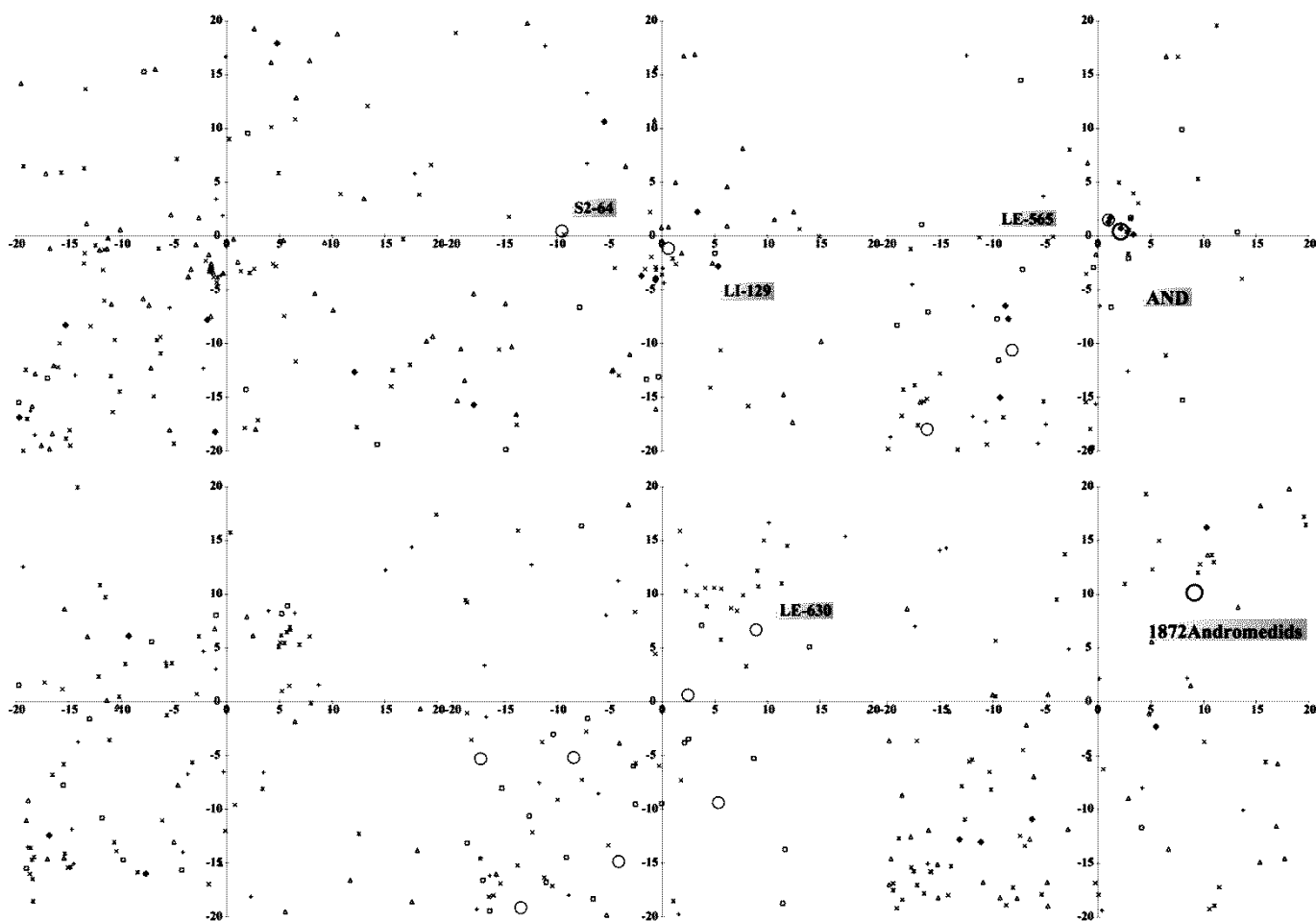
第6表:「アンドロメダ群」の要素

No.	α	δ	$\lambda-\lambda_s$	β	Vg	e	q	i	ω	Ω	N
MK-127	21	31	164.9	20.4	18.2	0.754	0.774	10.5	240.7	226.3	9
IAU-18	24.2	32.5	162.6	20.8	17.2	0.714	0.789	10	238.9	231	18

AND (Andromedids)

しかし、 $\lambda_s=220-225$ から、 λ_s が 5 度ずつ変化したときの平均輻射点付近の活動状況(第6図、左上→右上→左下→右下)を見ると、「アンドロメダ群」と推定される活動以外に特別な輻射点集中は認められない。むしろ、輻射点が図上で右上にかなりの速さで移動している様子が目を引く。

IAUで「アンドロメダ群」として掲げられているものよりも早い時期から、図上でやや左下の位置で活動を開始し、その後、IAUの位置に達し、さらに右上に移動しているように見える。 $\lambda_s=240-245$ （下中央）以降の活動は不鮮明だが、その延長上($\lambda_s=245-250$)には1872年の大出現の輻射点が位置している（右下図の○）。○のやや右上にビデオ観測の輻射点が見られ、さらにその上に写真輻射点が存在している。



第6図：「アンドロメダ群」の輻射点移動 れて南下（第6図では下方）したことが知られており、1872年以前のアンドロメダ群の輻射点は逆に赤緯（黄緯）の高い側に位置していた。現在観測されている「アンドロメダ群」はこの歴史的経緯を辿っていると見られる。観測流星数の変化もこの経緯に応じたものかもしれない。

3-4. IAU-372/IAU-388

なじみのない流星群であるので、まず、第7表にIAU(CMOR)による要素を示す。

第7表：CMORによる要素

No.	α	δ	$\lambda-\lambda_s$	β	Vg	e	q	i	ω	Ω	N
372	20.1	24.1	281.7	14.5	62.9	0.590	0.856	152.6	125.0	106.01395	PPS(phi Piscids)
388	63.2	24.7	205.8	3.5	42.1	0.984	0.081	12.3	328.5	220.01850	CTA(chi Taurids)

これらは、昨年「確定群」としてIAUに認定されたものであり、いずれもCMORの観測に基づいたものである。CMORの観測から「確定群」とされたものは、全部で17群あり、そのうち5群が昨年の分である。最新の電波観測で検出された「流星群」が今までどのように見えてきたのか、見えなかったのか、また、観測方法によってどのように見え方が違うのか検討する。ここで取り上げるIAU-372とIAU-388は昨年追加されたものの中で流星数の多い上位2群である。

(1)IAU-372(PPS)

この群は、眼視観測では検出されることはなかったが、1950年代以降の写真観測で3個の軌道が得られ、また、1960年代の電波観測でも明瞭に活動が認められている。さらには、SonotaCoの観測によっても十分な量の流星が記録されている（第7図）。しかし、SonotaCoの記録では、この群に属すると推定される流星数は、2007年には少数であり群活動とは認めがたかったものが、次第に増加し、2011年にはかなり活発な活動を示している。この群は活動が変動するだけでなく、「流星群」と見做せるだけの活動度ぎりぎりの領域にあると言える。

(2)IAU-388(CTA)

「流星群」の定義が問題になる「流星群」の一例である。活動が「おうし群」と隣接し、独立した別群の活動と見做すか否かは研究者によって異なることになろう。

眼視観測によって本群を分離することは極めて困難であり、この領域から放射する流星が存在することは覗いても別群と見做すことには困難がある。

(λ - λ_s , β)の平均値を中心とした流星、「流星群」の分布(第8図)からは、平均値よりやや北側にずれた場所に輻射点の集中らしきものがみられる。IAU の表には出現(観測)期間は記されていないが、原著論文によると $194 < \lambda_s < 228$ というかなり長い期間とされている。ここでは示していないが、 $\Delta\lambda_s=1$ ごとに輻射点分布を観察しても、 $\lambda_s=220$ 付近に顕著な輻射点集中が見られるわけではない。

ビデオ観測だけでなく、写真観測による輻射点も存在するように見えるが、写真観測からそれらを「流星群」としている研究者はいない。

一方、第8図と第8表で「流星群」として記したものがいずれも電波観測によるものであることは興味深い。しかし、IAU ではいずれの観測も参照せず、CMOR の観測のみを取り上げている。

第8表：IAU-388 近傍の「流星群」

No.	α	δ	Vg	λ_s	$\lambda-\lambda_s$	β
K1-147	42.7	20.2	43	198.7	207.6	3.7
LE-524	49.3	24.0	41.7	211.1	202.2	5.6
LE-528	56.5	22.9	43.9	211.3	208.1	2.9
LE-530	58.1	30.0	40.3	211.6	210.7	9.6
NI-61.10.7	59.7	21.3	35.2	215.0	207.0	0.8
S3-257	67.2	30.4	34.2	222.1	208.1	8.5

ハーバードの電波観測による輻射点分布でS3-257の位置を確認すると、「おうし群」に対して、これを独立した群とみることは判定基準の違いによるものと思われたい。状況はIAU-388も類似している。電波群として存在するか、活動の変動が大きいのか、更なる観測が必要である。

3-5. IAU-404

流星物理セミナーで取り上げた群を補足する(第10図)。これも、CMOR の観測であるが、過去の眼視、写真、電波で確実に同定できるものは存在しない。しかし、ビデオ観測で2010-11年に日本だけでなくヨーロッパでも記録されたことは注目される。新しい「流星群」の活動の始まり、または、大きな活動の変動(再帰的出现)を捉えたものかもしれない。

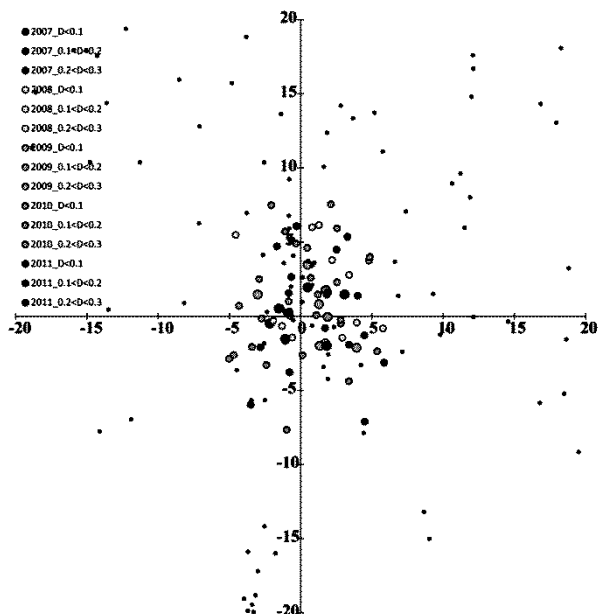
4. まとめ

[各小流星群についてのまとめ]

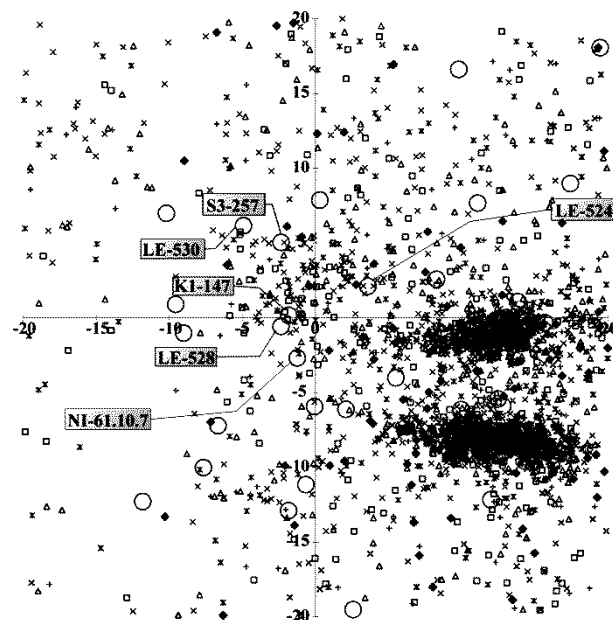
(1) シュワスマンワハマン3群とウィンネック群

シュワスマンワハマン3群に相当する

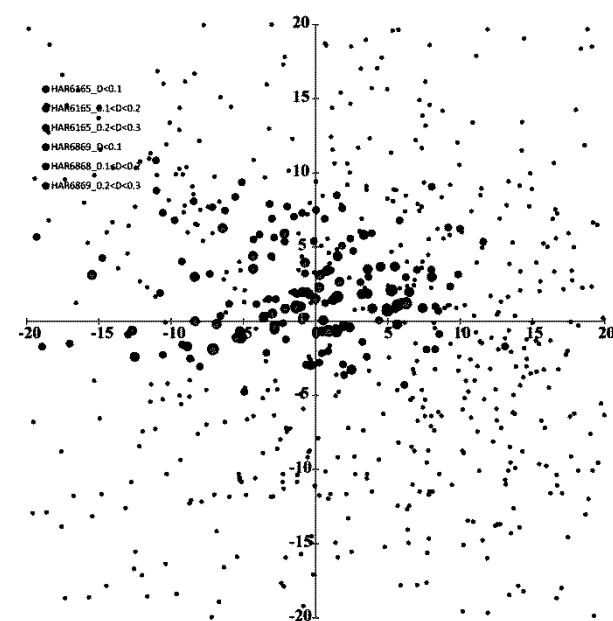
IAU-61(τ -Herculids)は「確定群」とされているが、現在、定常的に活動している流星群とは認められない。再帰的な出現時の活動と1950年代における写真観測で散在流星をわずかに上回る活動が認められているにすぎない。一方、ウィンネック群の定常的な活動は認められないものの再帰的な活動が確認されている。しかし、'working'の位置づけのま



第7図：IAU-372 ビデオ流星の輻射点分布



第8図：IAU-388 輻射点分布



第9図：IAU-388 電波流星の輻射点分布

までである。

(2)はくちょう群

Jenniskens の指摘と内容は異なるものの、単独の群というよりは「グループ」と考えられる。当初、「はくちょう群」とされていた 1950 年代の写真等の観測は $\lambda_s=145-150$ 付近を中心とした活動であり、現在捉えられているものは $\lambda_s=135-140$ を中心としたものである。また、活動レベルは年々大きく変化している。付近では、 $\lambda_s=126$ 付近の活動も認められる。

(3)アンドロメダ群

Biela 彗星を母天体とする「ピエラ群」の末裔か否かについては今後の議論が必要であるが、現在でも「アンドロメダ群」の活動は定常的に認められる。活動はかなり長期にわたり、 $\lambda_s=220-250$ の間続いているようである。さらに興味深いのは、活動の末期は「ピエラ群」が大流星雨出現した時期にあたり、ほぼ輻射点の位置も合致することである。

(4) IAU-372 と IAU-388

いずれも CMOR の電波観測で「確定群」とされたものである。IAU-372 は眼視観測こそ存在しないが、以前の写真、電波観測でも活動が認められている。さらに、現在のビデオ観測では明瞭な活動を確認できる。ビデオ観測では活発化しているとも見られ、今後の活動が注目される。

IAU-388 は流星数こそ多いものの、「流星群の定義」をどのようにするかによって、定常的な活動を認めるかの結論自体が変わってしまう例と言える。

[流星群の定義の問題について]

小流星群を考察する際には、次のような問題を意識する必要がある。

(a)「流星群の定義」は明確でなく、定義しただけ流星群の存在すら曖昧になる。

コンピュータ内のブラックボックスで自動的に群判定を行うには、予め「流星群」を定義しておく必要があるが、その定義を明確にすることは現時点で不可能である。個々の流星群について考察するときには、様々な「流星群の定義」があることを考慮して判断する必要がある。また、この際には、軌道の類似度よりも単純な輻射点分布(λ - λ_s , β)の方が有効である場合が少なからずある。

(b) S/N 比が小さい場合には、必然的に散在流星の混入があり、活動内容が不明確になる。

S/N 比が小さいということは、たとえ $D_{MN}=0$ 、輻射点と速度が群流星と一致していたとしても、それが群流星であるか、散在流星の混入であるかは確率的な問題として考える必要がある。従って、小流星群の諸要素には大流星群に比べてかなり大きな誤差範囲が存在する。このことが群への帰属判定、また、同一の流星群の活動として同定できるのかという問題を複雑にしている。

(c) 大流星群と同様に小流星群でも、再帰的な活動によってのみ活動が認められるものもある。

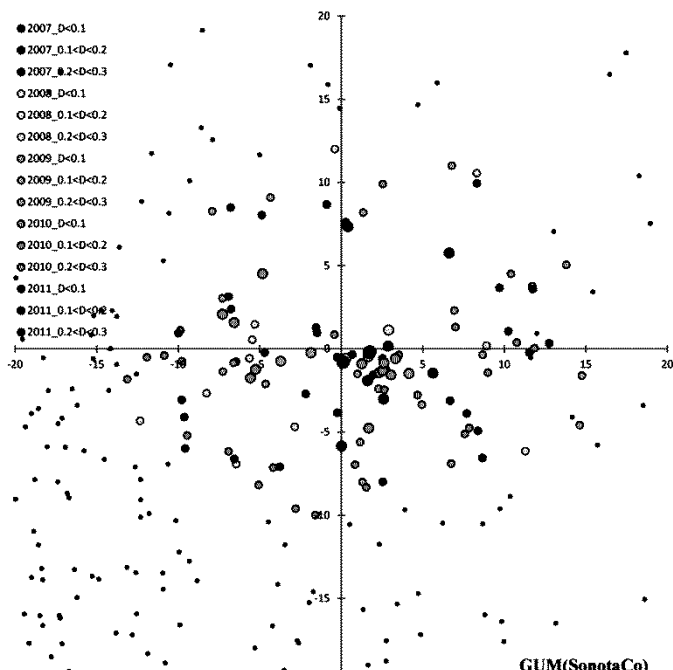
小流星群では毎年 S/N 比が検出限界を超えとは限らない。また、再帰的な活動のみとらえられるために「確定群」の範疇から外れているだけのものも相当数あると考えられる。

[補注]

IAU では 'established' また 'working' という格付けを行っているが、これに権威を持たせることは危険であり、科学的とは言えない。まずは、「流星群」をどのように定義するのか、条件によって仔細に検討する必要がある。現在、'established' と格付けされているものには、次の異なった範疇のものが混在している。

- 「大流星群」として、毎年、また、様々な観測方法によって活動が認められるもの。Quadrantids, Lyrids, η -Aquariids, (S) δ -Aquariids, Perseids, Orionids, Leonids, Geminids に限られる。
- ある期間に、ある領域で活動することは知られているが、それらの観測を確実に同定することができず、不確実な要素が多いもの。 τ -Herculids, κ -Cygnids 等。
- 過去に「突発出現」が観測されたり、<歴史的>に注目されているもの。再帰的出現が観測されているものもないものもある。ウィンネック群、ピエラ群、からす群等。
- ある観測者・観測方法で、ある年に出現が観測され、その観測が信頼できるもの。ただし、他の観測者・観測方法で毎年観測されているわけではない。IAU-372, 388, 404 等。

'working' とされているものの中にも、6 月のこと群のように突発出現して、その後の観測がなされているものもある。Cook は "Working list" の中で、「6 月のこと群のように」眼視観測で確かめられたものこそがリスト



第 10 図 : IAU-404 ビデオ流星の輻射点分布

に含まれるべきものとして例示している。ところが、IAU のリストでは輻射点の位置も、DMS の観測に基づいて赤緯を 20 度も大きくし、'established'ではなく、'working'に入れている。6 月のこと群は現在では、ほとんど観測されていないだけで、歴史的な記録は信頼できるものである。

参考文献

- Cook A.F. (1973), 'A Working List of Meteors', <Evolutionary and Physical Properties of Meteoroids; NASA SP-319> 183-191.
- Denning W.F. (1899). 'General Catalogue of the Radiant Points of Meteoric Showers and of Fireballs and Shooting Stars observed at more than one station'. *Memoirs of the Royal Astronomical Society*, **53**, 201-293.
- Hoffmeister C. (1948). <Meteorstr. me>, Johann Ambrosius Barth, Verlag, Leipzig.
- Jenniskens, P. (2006), <Meteor Showers and Their Parent Comets>, Cambridge University Press.
- Komaki K. (1964). 'General Catalogue of Radiants'
- Koseki M. (1986). 'Analysis of meteor data on a microcomputer system'. *Journal of the British Astronomical Association*, **95**, 232-240.
- Koseki M. (1971). 'The Results of the Observations in the period of 1950-1969: The Catalogue of Radiants', 12th Japanese Meteor Conference.
- Kronk, G.W. (1988), <Meteor Showers>, Enslow Publishers Inc.
- Lovell A.C.B. (1954). <Meteor Astronomy>, Oxford, Clarendon Press.
- Olivier C.P. (1925). <Meteors>, Williams & Wilkins Company.
- Southworth R.B. and Hawkins G.S. (1963). 'Statistics of Meteor Streams', *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, , 1966, " ", No.1, 62-132.

流星・流星群の軌道は以下によるが、写真流星については筆者独自の再計算結果で補っている。

IAU Meteor Data Center, (2013), <http://www.astro.amu.edu.pl/~jopek/MDC2007/>

SonotaCo, (2013), <http://sonotaco.jp/doc/SNM/>

電波流星も含めたデータ : http://sbn.psi.edu/pds/asteroid/EAR_A_VARGBDDET_5_METORB_V1_0/data/

CMOR についての主要な文献は pdf で取得できる。

CMOR1: http://meteor.uwo.ca/cmor_pub/cmor-survey-I.pdf

CMOR2: http://meteor.uwo.ca/research/radar/cmor_pub/cmor2.pdf

火球の爆発点の高さの統計

(2013年のTV観測による同時火球より)

上田昌良

撮影者: 上田昌良(大阪府)



まとめ

5個の火球とはやぶさ火球の一覧

番号	出現年月日	出現時刻(JST)	爆発時の 経緯度	初速 km/s	爆発点の 高さ(m)	観測点の 高さ(m)	爆発点の 高さ(km)	突入角(°)	実経路長 km	観測時間 sec	経路上の 速度 km/s	備考
1	2013/1/20	24:24	-10.0以上	20.0	103.0	28.8	37.3 *	4	14.3	7.3	39.0	0.087
2	2013/2/14	19:35	-10.5	15.6	101.8	22.2	32.6	44	9.3	7.2	39.0	0.107
3	2013/3/13	23:05	-6.6	54.6	137.7	70.3	87.4	62	67.6	1.3	39.0	0.047
4	2013/7/19	21:42	-6.1	64.9	146.1	76.1	81.6	60	80.6	1.3	49.1	0.021
5	2013/8/2	23:25	-5.3	24.8	103.7	76.2	80.7	63.5	36.5	1.6	49.1	0.036
HAYABUSA**	2010/6/13	05:15:40.7	-13.0	12.1	101.0	38.6	57.3	9	38.4	44.6		0.100

* 爆発点の高さはSonosCoによる

** Jbbs et al. 2011, PASJ, 63, 951 より

初速と爆発点の経路上の比率の関係

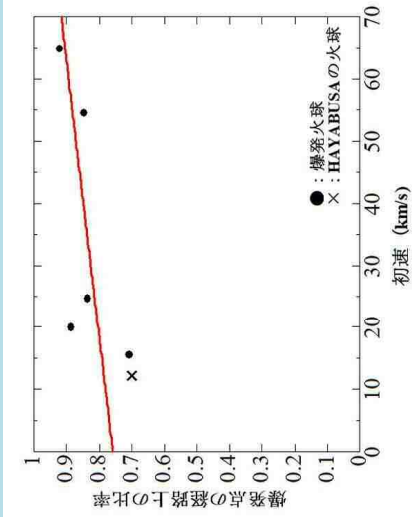
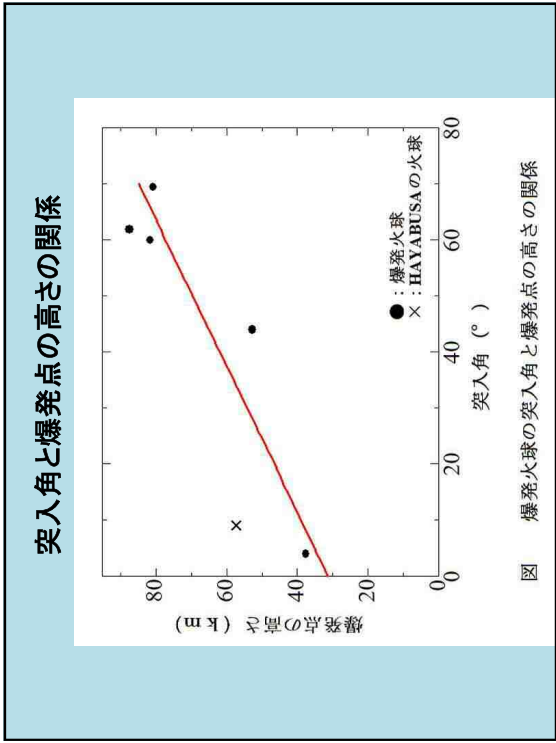
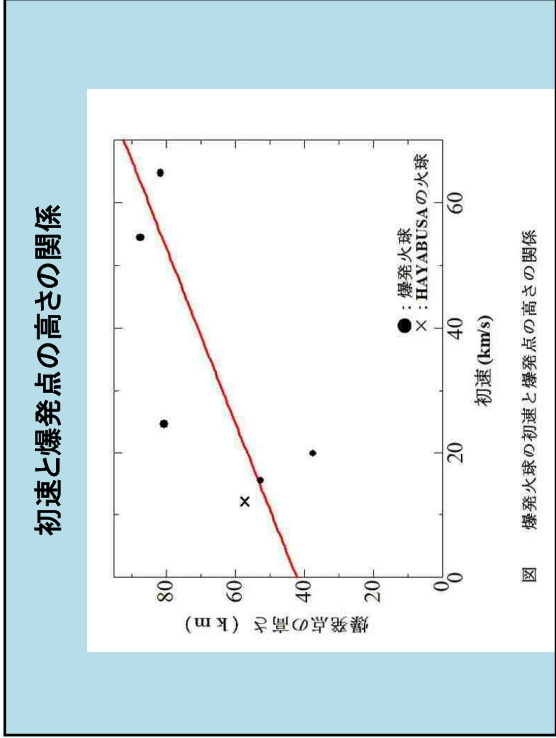


図 爆発火球の初速と爆発点の経路上の比率の関係



まとめ

- ・爆発点は発光点側で起こらず、消滅点側で起こっている。
- ・速度の速い火球は、高い所で爆発が起こり、低速の火球は低い所で起こっている。
- ・突入角の大きい火球は、高い所で起こり、浅くなると低い所で起こっている。
- ・HAYABUSA火球は、これらの天然火球と似ており、人工火球であるが、火球としての研究に有効なものがある。

彗星 209P/LINEAR から放出される流星 / 予報 長谷川一郎 2013年8月25日, 流星会議(大阪)

1. 彗星 209P(2004 CB = 2008 X2) / 発見

2004年2月 = Lincoln Laboratory Near Earth Asteroid Research Team = ヨット発見から彗星,
2008年12月4日 = アメリカ / G. Hug = ヨット再発見から 209P ト登録から, コニホス 軌道要素, 全テ
中野圭一氏 = ヨット計算からエド, 2000.0 座標 = ヨットエド, 次, 近日点通過, 2014年5月6.2日 ト予想からエド,
コ, 彗星, 地球ト木星 / 軌道, 向う 約5年 / 周期ト公転行, 木星 / 摂動ト受テ, 71, 軌道ハ 大テ
変化シイル(最近エド, 2011年7月 = 木星 = 接近シ).

	2004年	2009年	2014年, 予報
計算ニ用テ観測数	329個 2004 Feb 3 - Aug. 25	344個 2004 Feb 3 - 2008 Dec. 8	—
元期 Epoch, TT	2004 Mar. 16.0	2009 Mar. 30.0	2013 Apr. 18.0
近日点通過 T, TT	2004 Apr. 2.1634	2009 Apr. 15.97437	2014 May 6.2
近日点距離 q, AU	0.912181	0.9137062	0.967938
離心率 e	0.689385	0.6889778	0.673166
軌道半長径 a, AU	2.9366983	2.9377529	2.96156
公転周期 P, yrs	5.033	5.035	5.097
遠日点距離 Q, AU	4.961	4.962	4.955
木星 = 用テ Tisserand 定数	2.800	2.800	2.797
近日点引数 ω	149.6566	149.72948	152.3683
昇交点黄経 Ω	66.4871	66.44767	62.8587
軌道傾斜角 i	19.1470	19.14792	21.2772
近日点座標(黄経, 黄緯)	217.5, +9.5	217.6, +9.5	216.9, +9.7
木星, 近日点距離(r_0 , r_p)	3.804, 0.966 AU	3.811, 0.968	4.013, 1.014
出典	Catalog of Cometary Orbits 2008, p.48.	彗星 - 2008, Dec. 10.	天年録 2013; 誠文堂新光社, p.276.

彗星, 核半径 11, CCD光度 19.7 (2008 Dec. 4) から絶対光度 $H_{10} = 16.2$, 反射率 0.10 ト
仮定シテ, $r = 1.2 \text{ km}$ トエド.

2. 流星出現 / 予想

Esko Lyytinen (Finland) が「計算の予報」 Peter Jaques / Meteor showers and their
Parent Comets, 2006, Cambridge (以下 PJ 2006 ト略ス) / p.689 = 紹介からエド, $\gamma = 30$ ト, 1818年
7月 1979年 1回, 7スト放出 = 4行, 7回 / 予報カ計算からエド, 1903年 = 放出から流星, 出現極大
期ハ 2014年 5月24日 6^h59^m LT 7, 輻射点, 位置ハ $\alpha = 125^\circ$, $\delta = +78^\circ$, $V_g = 15.9 \text{ km/s}$ トエド.

3月 IMO, 2014年度 Meteor Shower Calendar (IMO INFO 2-13) / p.6 = 11 輻射点ハ
 $\alpha = 124^\circ$, $\delta = +79^\circ$ = 717 山猫座, 大熊座 ト 717 座, 境界近クハ 大熊座 ト 717 座, 近ク
トエド (2014 Calendar, p.6, line 5) が, コレハ 誤テ, 近クハ 717 座 恒星ハ 717. (取テエド) 717 座.
極大期, 予報 = 11 次, 3 種ハ 掲ゲテエド: 日付ハ 全テ 2014年 5月24日 7^h LT. (太陽黄経ハ 長谷川, 注記)

7^h03^m, 太陽黄経 $\odot = 62.85$, Lyytinen;
7 21, $\odot = 62.862$, Mikhail Maslov;
7 40, $\odot = 62.874$, Jérémie Vaubailon.

極大, ZHR, 予想ハ 100 ± 75 717 5月24日 0^h LT, 月夜ハ 24.7 717.

先二掲ケテ彗星、軌道要素ヲ予想サレハ輻射度、位置ナドヲ参考ノタニ示シテオケ、極大運動ニヨリテ
 カタチ大キク変化シタルコトガワカ。ナ、計算法ハ、流星体ト地球ノ日心距離ハ等シトイフ条件ノ
 下ニテ予想シタル(Hasegawa, PASJ 42, 175-186 (1990) 参照)。

	2004年	2009年	2014年
太陽近点①ト時刻(UT)	76.8, 6月8日	76.5, 6月8日	62.3, 5月23.72日
α	113.3	113.5	123.9
δ	+67.2	+67.4	+79.3
地心速度 V_g (Km/s)	16.7	16.7	16.2
軌道距離 Δ (AU)	0.063	0.062	0.004

流星体ノ軌道要素ハルゾレ ω, Ω, i' : 138.8, 76.8, 18.83 139.1, 76.5, 18.85 152.9, 62.3, 21.3.

コノ極ニ 2014年ノ予想値ハソレ以前ノ値ト比シテカタチ変化シタルコトガワカ。從テ
 彗星ガ放出サレタストロイルモカタチ拡散シタルト思ワレ、極大、予想位置ニモ誤差
 ガ生ジテハト思ワレ。コノ流星群ハニダ観測シタルコトハナイデ、フルダニ 2014年
 ノ出現ガ期待サレノデアル。

ナ、PJ 2006 / p. 352-353ニハ、コノ流星ノストロイルト地球トノ接近距離ナドニ
 於テ、予想ガイロトト誤サレタルノデ参考ニサレタイ。

流星ガ出現スル降英ヲ、彗星ハ流星、3日後ニ通シ書ケタル(PJ 2006, p. 352, 21行目)。各谷ノ計算
 デハ 3.8日後トナル。マタコレノ Lyytinenノ予想ハ P. Jenuiskesノ依頼ニヨリテ、デビル
 ライン(PJ 2006, p. 352, 21行目)。

