第55回 信州あづみの流星会議・集録

2014年7月20日～21日　　於　長野県安曇野市 ビレッジ安曇野

目　　次

ご挨拶　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　日本流星研究会会長　小関正広

講演要旨
　国立極地研究所　三澤啓司准教授
　「ドームふじ氷床コアからみつかった地球外物質の起源」

研究発表　発表要旨

研究発表　資料
1) 柳信一郎　　「オーストラリアでの“みずがめ座η流星群”の観測」
2) 渡辺美和、信清由美子(発表者)、戸田雅之、渡部潤一
　　「日本の近世流星スケッチカタログ作成と最古の流星スケッチの発見」
3) 小林美樹　　「流星の音について」
4) 藤原康徳、Johan Kero、Csilla Szasz、阿保真、中村卓司
　　「2012年10月りゅう座流星群のMUレーダーヘッドエコー観測」
5) 司馬康生　　「速度変化から推定する低速火球の破砕」
6) 小関正広　　「ふたご座流星群」
7) 戸田雅之　　「超高感度デジタルカメラによる流星痕観測数の考察　-ふたご座流星群の観測から-」
8) 長谷川一郎　「流星輻射点の予報計算法」
9) 佐藤幹哉　　「近年の流星群におけるダスト・トレイル予報とその出現の状況」
10) 伊代野淳，和田直己，戸田詠一（岡山理科大学理学部基礎理学科）
　　「TENGENスカイモニターによる流星・火球観測」
11) 下田　力　　「岡山天体物理観測所(OAO)スカイモニターによる火球リスト」
12) 下田力，川上浩　「火球パトロールの将来についての展望」

第55回流星会議信州あづみの報告　・・・・・・・・・・・・・・　実行委員会

流星会議年表

ご　挨　拶

日本流星研究会　会長
小関　正広

信州流星会議から８年が経過しました。IAU の「確定群」が大きな話題になった年であったと記憶します。その時にも感じましたが、北海道を除けば第３位の広い地域から運営にあたる人が集まることは大変なことです。まずは、そのようなご尽力に対して参加者を代表して感謝申し上げます。

例年、開催地にゆかりのある方にご講演をお願いしているわけですが、本年は、三澤啓司先生から「ドームふじ氷床コアからみつかった地球外物質の起源」という興味深いお話を伺えることになりました。南極で大量の隕石が日本の観測隊によって回収されたことはよく知られている通りですが、三澤先生は微量元素の分析がご専門で火星隕石の分析も手掛けていらっしゃるとお聞きしています。日本流星研究会には、火球・隕石に強く関心を寄せるメンバーも少なくありません。どのようなお話を伺えるのか、参会者とともに楽しみにしたいと思います。

また、今年の研究発表の題目の中に長谷川一郎先生の「流星輻射点の予報計算法」を見つけ、驚きと同時に期待が高まりました。先生が彗星軌道からの流星出現予報をいろいろな機会に発表されていたのは、半世紀ほど前からのことです。また、ご著書の中でも計算方法について解説されており、いずれも、本会会員にとって座右の資料になっています。今年の流星会議は先生から計算方法を直接に解説頂ける、逃すことのできない機会ともなりました。

他にも、会員諸氏からの楽しみな研究発表が目白押しです。流星の観測はビデオ、計算はトレイル理論で支配されているかのようですが、多様な発表題目に目を見張る思いがします。研究発表の時間は短く限られているので、休憩時間を惜しんで、質問や意見交換が行われることでしょう。

このように、講演、研究発表と内容的に充実した流星会議ではありますが、直接に顔を合わすことのできる年に一度の機会だということに大きな価値があるでしょう。天文回報、ＮＭＳ同報等でそれなりのコミュニケーションを図ることはできても、近接した地域の人同士ならいざ知らず、全国各地の流星観測・研究者が集うことは希少な機会です。おなじみの顔ぶれとともに、数年ぶりに出席を果たした人、勤務の都合で毎年のように参加できない人たちも少なくありません。この流星会議が本当に一期一会となる人もいるでしょう。短い時でありますが、準備にあたった方たちに感謝しつつ、大切に過ごすことにしましょう。

［追記］

台風の災害により、中央本線が不通となりました。局地的なもので、開催地また準備に携わっていらっしゃる方々に直接の禍は及ばなかったとお聞きします。しかし、関西方面からの参加者には大きな障害となりました。下田さんから交通情報の案内が繰り返し提供されています。なんとか、皆様が無事に出席できるよう願っています。なお、長谷川先生ご夫妻は交通事情によりご欠席とのお知らせを受けました。まことに残念ながら致し方ありません。来年は関東（千葉方面）での開催が予定されておりますので、お会いできることを楽しみにしたいと思います。

［講演］

国立極地研究所　三澤啓司准教授

「ドームふじ氷床コアからみつかった地球外物質の起源」

講師紹介

国立極地研究所　研究教育系地圏研究グループ　所属　専門：火星隕石、月隕石の同位体年代学

安曇野市出身

要旨

南極ドームふじ基地において 2005 年に採取された氷床コアから採取された珪酸塩鉱物からなる粒子層は、地球外物質であり、2007 年に「ドーム C 氷床コア」において見つかった二つの地球外物質層と起源がそれぞれ同じであることがわかった。つまり、43 万 4,000 年前と 48 万 1,000 年前に、地球外物質が広範囲にわたって東南極域に降り注いだことが明らかになった。

2,641 メートル層の粒子には、宇宙線照射によって生成される核種、^{26}Al および ^{36}Cl が認められないことから、2,641 メートル層の母天体は、地球に突入する前は大きなサイズであったと結論された。また、2,641 メートル層の粒子の酸素同位体組成が南極内陸部の氷の酸素同位体組成に近いことから、始原的な天体が南極氷床に衝突して氷クレーターが形成され、その際に溶融して広範囲に飛び散った粒子が 2,641 メートル層を形成したことがわかった。

直径 1-5 マイクロメートルの微粒子が 20-30 マイクロメートルの集合体を成している 2,691 メートル層は、始原的で脆い天体が秒速 30 キロメートルを超える高速で地球の大気圏に突入した結果、大気上層で溶融・凝集して形成されたものと結論された。

ご協力　大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立極地研究所
〒190-8518 東京都立川市緑町 10-3　　http://www.nipr.ac.jp/index.html

研究発表　発表要旨

1　「オーストラリアでの“みずがめ座η流星群”の観測」
柳　信一郎
みずがめ座η流星群の観測を目的とした海外遠征はこれで3回目になる。今年（2014年）はオーストラリア・ケアンズ近郊のアサートンという町で流星観測を行った。本発表では全天計数観測の結果をまとめると共に、1987 年, 1989 年の観測結果と比較する。

2　「日本の近世流星スケッチカタログ作成と最古の流星スケッチの発見」
〇渡辺美和、信清由美子(発表者)、戸田雅之、渡部潤一
著者らは近世の天文現象が記録された史料の収集作業を継続している。収集された記録から、日本の近世火球リストと日本の江戸時代の流星スケッチカタログを作成した。この 19 例の流星スケッチについて、適宜これまでも断片的に紹介してきたが、改めて全スケッチを紹介するとともに、現存する中で最古と見られるスケッチが発見できた事を紹介する。

3　「流星の音について」
小林美樹
明るい流星を目撃する時は必ずといって良いほど流星とほぼ同時か若干先に音が聞こえるため、それが明るい流星の特徴であると思い込んでいた。音が聞こえるという現象は普通ではない事を知り、更に、流星より先に音が聞こえるという発言は非常に驚かれた。雷では光速と音速の違いを利用して、雷雲が近いのか遠いのかを測っていたが、流星の音は音速で伝わる雷の音とは異なるものであろうと漠然と思っていた。私が聞いた流星の音を数例報告する。

4　「2012年10月りゅう座流星群のMUレーダーヘッドエコー観測」
〇藤原康徳、Johan Kero、Csilla Szasz、阿保真、中村卓司
2012年10月の10月りゅう座流星群（ジャコビニ流星群）のMUレーダーでのヘッドエコー観測の結果について紹介する。

5　「速度変化から推定する低速火球の破砕」
司馬康生
自動流星観測ネットワーク、SonotaCoネットワークによって撮影され、上田昌良氏によって軌道計算された隕石落下検討を行った低速火球について、その速度の指数関数近似について検討した。また、単純アプレーションモデルによるシミュレーションを当てはめた。これらの結果から推定できる落下中の破砕について議論する。

6　「ふたご座流星群」
小関正広
ふたご座流星群の研究を概観し、今後の観測・研究課題を探る。

７　「超高感度デジタルカメラによる流星痕観測数の考察　-ふたご座流星群の観測から-」

戸田雅之

2007 年に発売された超高感度デジタルカメラ、ニコン D3 を使った流星と流星痕観測を始めて今年で８年目になる。ISO25,600（観測条件で 6,400 や 12,800 も使用）とシャッタースピード１秒（2011 年から 0.77 秒に変更）の連続撮影で流星本体と流星痕を記録している。

昨年の流星会議ではふたご座流星群の流星痕有痕率が 12%(2010)→67%(2012)と大幅増加と報告した。2013 年の有痕率は 44%であった。本発表では超高感度デジタルカメラによる流星痕観測の高有痕率について考察を行う。

８　「流星輻射点の予報計算法」

長谷川一郎

流星の母天体の軌道を黄道面に投影して地球の軌道と交差する点で流星が出現するという条件を満足する様に母天体の軌道を改変する（回転ではない）方法は　１）近日点引数　または、２）近日点距離を変化させる方法である。1990 年に提案した。この方法によると、観測から得た流星出現時刻と軌道を用いて輻射点を予想することもできる。

９　「近年の流星群におけるダスト・トレイル予報とその出現の状況」

佐藤幹哉

昨年のみずがめ座η流星群や、今年のきりん座流星群、また本年末に期待されるほうおう座流星群など、ダスト・トレイルモデルによって予報された近年の流星群について、その出現の動向をご紹介する。

１０　「TENGEN スカイモニターによる流星・火球観測」

○伊代野淳，和田直己，戸田詠一（岡山理科大学理学部基礎理学科）

流星・火球検出を目的として現在岡山理科大学理学部基礎理学科で運転している天体現象モニター（TENGEN）の観測結果並びに今後の計画について紹介する。また、今後アップグレードとして考えている機能の追加についても紹介する。

１１　「岡山天体物理観測所(OAO)スカイモニターによる火球リスト」

下田　力

OAO のスカイモニターは天候確認用に web 上に画像を公開しているが、その画像に写りこんだ火球のリストを示す。

１２　「火球パトロールの将来についての展望」

○下田　力，川上　浩

日本における火球パトロールの今後について、機材と解析方法の展望を紹介する。

オーストラリアでの“みずがめ座η流星群”の観測

柳　信一郎

みずがめ座η流星群の観測を目的とした海外遠征はこれで３回目になる。今年(２０１４年)はオーストラリア･ケアンズ近郊のアサートンという町で流星観測を行った。本報告では全天計数観測の結果をまとめると共に、１９８７年,１９８９年の観測結果と比較した。

１.遠征の記録

今年(２０１４年)を含めた過去３回の海外遠征は次の通りである。

１９８７年４月３０日～５月１０日（このうち観測したのは３夜）

重野氏を隊長にして６名が遠征。メルボルン近郊のモアマ(Moama)とウォンブータ(Womboota)に分かれて４連カメラ２セットを用いて２地点同時観測を行った。

柳はラムカ観測(眼視観測)を行った。以下は柳の観測地のデータである。

2/3,4/5 Womboota　E144°34′09″ S35°54′13″ H=92m

5/6　　Moama　　E144°44′56″ S36°06′04″ H=97m

１９８９年４月２７日～５月７日（このうち観測したのは３夜）

重野氏を隊長にして７名が遠征。内陸部のマウント･アイサ(Mt.Isa)で４連カメラ２セットを用いて２地点同時観測を行った。

柳はラムカ観測(眼視観測)を行った。以下は柳の観測地のデータである。

2/3,4/5,5/6　Mt.Isa　E139°23′58″ S20°57′36″ H=400m

２０１４年５月３日～５月８日（このうち観測したのは２夜）

家族旅行という形で２名で遠征。ケアンズ近郊のアサートン(Atherton)で全天計数観測を行った。

4/5,5/6　Atherton　E145°28′43″ S17°14′10″ H=770m

２.観測結果

以下に２０１４年の観測結果を示す。

時刻は日本時間(ＪＳＴ)で表示する。現地時刻は日本時間+１時間(UT+10h)である。

観測方向は天頂で、記録はさぐり書きで行った。

DATE	JST	Time	aM	Spo	η Aqr	Lm	CL	Dir
May 2014								
04/05	03:00-03:30	30	19	5	14	5.5	0	Z
04/05	03:30-04:00	30	27	9	18	5.2	0	Z
04/05	04:00-04:30	30	15	8	7	4.5	0	Z
05/06	02:30-03:00	30	44	24	20	5.5	0	Z
05/06	03:00-03:30	30	31	14	17	5.0	0	Z
05/06	03:30-04:00	30	28	10	18	4.7	0	Z
05/06	04:00-04:30	30	51	16	35	4.5	0	Z

１日目と２日目で最微等級(Ｌｍ)がほぼ同じだったのに、散在流星の数が大きく異なってしまった。主たる原因は慣れない南天の星座だったので、群判定を間違えたためだと思う。

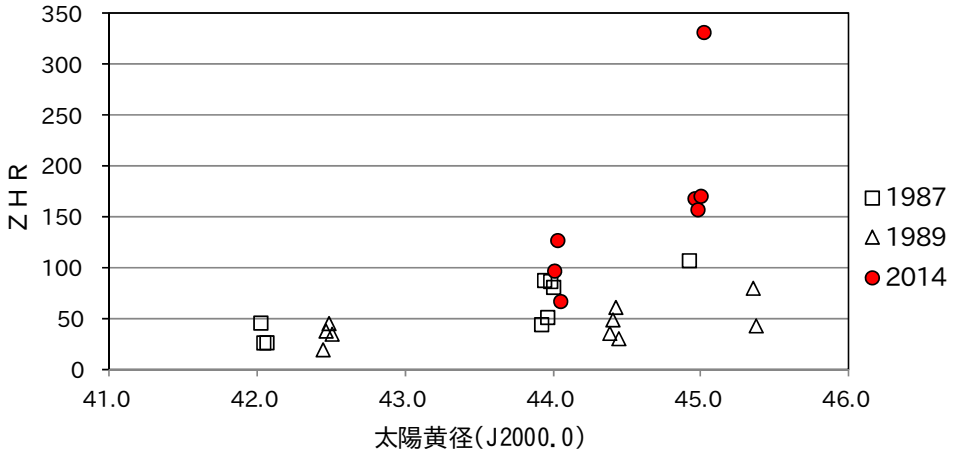
３.これまでの観測結果との比較

１９８７年,１９８９年,２０１４年の観測結果を比較する。

１９８７年,１９８９年は空の一部を区切って“ラムカ観測”を行ったが、本報告ではこの時に記録されたラムカ外の流星も含めて全天計数観測とした。

光度比は３年間の全流星から求め、 1.８７と仮定した。

図－１に太陽黄径とＺＨＲの関係を示す。

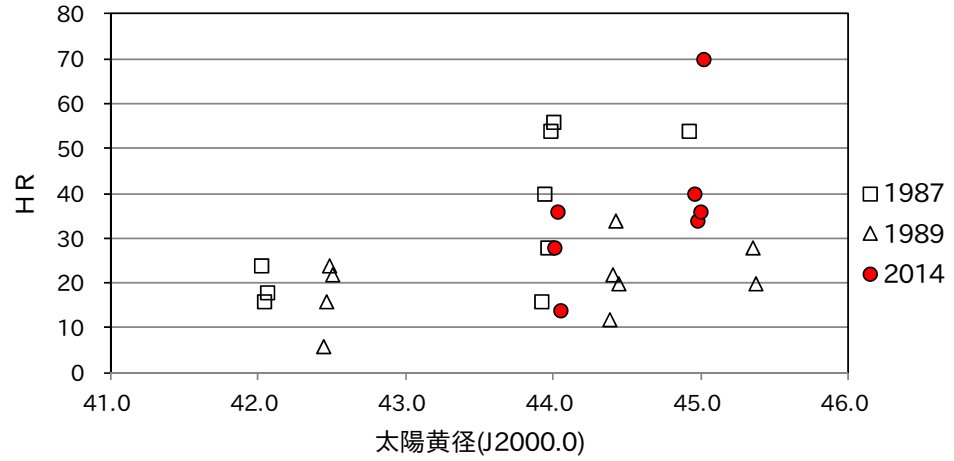


図－１　太陽黄径とＺＨＲの関係

図－１によれば今年(２０１４年)の活動は１９８７年よりやや活発だったと推定される。

しかしプロット状況から判断すると、輻射点の高度補正が充分であったとは思われない。

図－２では補正を行う前の流星数、すなわち観測された群流星の１時間あたりの個数(ＨＲ)で比較する。但し観測は３０分ごとに区切り、時間補正を行っている。(１９８７年５月５/６日だけは６０分の観測記録を用いた。)



図－２　太陽黄径とＨＲの関係

縦スケールが広がった分、バラつきが大きくなっている。実際に観測された群流星の個数では２０１４年の活動は平均的なものであったと判断できる。但し 2014 年 05/06 日の午前４時代はHR=７０に達しており、活発に出現した可能性もある。今後の活動に期待したい。

今年の遠征では“みずがめ座η流星群”が健在であることを確認できた。

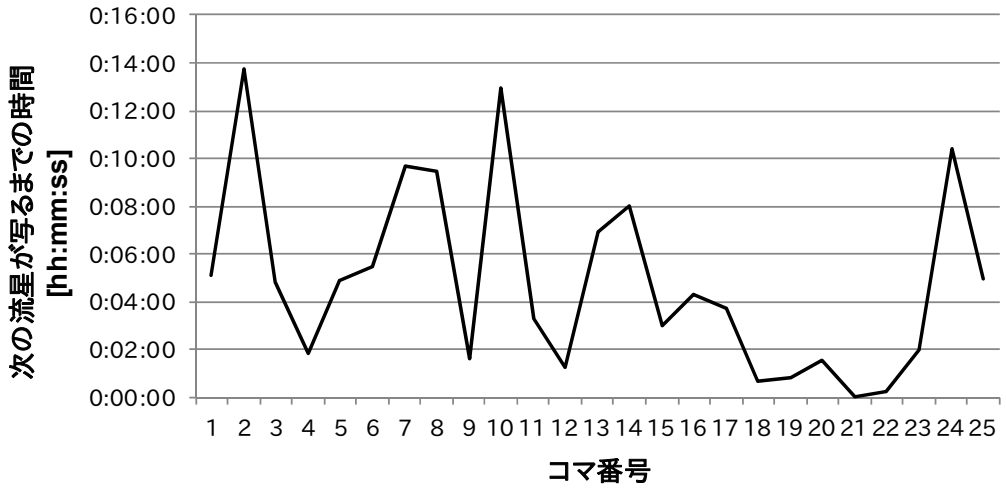
４.写真に写った流星

今回の遠征では眼視観測の傍らで流星写真も撮影した。(流星の写真観測ではありません。)

カメラ：Canon EOS 5D Mark Ⅱ
レンズ：Canon EF 24 mm F1.4 L Ⅱ
撮影条件：ISO 12800　5/5 F 1.6 5/6 F 1.4　JPEG　sRGB　4 秒露出　2 秒巻上げ
撮影方向：天頂　画面の向きは 5/5 日と 5/6 日で異なります

撮影結果
2014 年 04/05 日 02:40～04:45(JST)　群流星　１５
2014 年 05/06 日 02:30～04:45(JST)　群流星　２６

図－３に 05/06 日の群流星が写る時間間隔をグラフにした。横軸は写真を時系列に並べた時のコマ番号で、縦軸は次の流星が写るまでの時間間隔を示す。



図－３　流星が写る時間間隔

コマ番号が大きい方が明け方で、輻射点高度が高くなっている。図－３では明け方に向かうに従い間隔が短くなる(流星数が多くなる)傾向が認められる。コマ番号が最後の方は薄明の影響を大きく受けていると考える。

参考文献
同時流星写真観測オーストラリア遠征報告 WOMBOOTA－MOAMA 編(1987 年4月30日～5月10 日)
同時流星写真観測オーストラリア遠征報告 Mt.Isa 編(1989 年4月27日～5月7日)

表－１　これまでの観測記録

JST(UT+9h)		Dur (分)	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	計	最微星	雲量	太陽黄径 (J2000.0)	輻射点高度	光度比 γ	HR	Fa	CHR	Fb	ZHR
1987.05.02/03	03h30m-04h00m	30					3	4	4	1			12	6.5	0	42.02	31	1.87	24	1.00	24.0	1.93	46
	04h00m-04h30m	30			2	2	2	2					8	6.5	0	42.04	37	1.87	16	1.00	16.0	1.67	27
	04h30m-05h00m	30					1	2	4	2			9	6.5	0	42.06	42	1.87	18	1.00	18.0	1.49	27
1987.05.04/05	02h30m-03h00m	30					2	3	1	2			8	6.5	0	43.92	21	1.87	16	1.00	16.0	2.79	45
	03h00m-03h30m	30				2	3	5	8	2			20	6.5	0	43.94	27	1.87	40	1.00	40.0	2.20	88
	03h30m-04h00m	30			1	2	1	2	4	4			14	6.5	0	43.96	33	1.87	28	1.00	28.0	1.85	52
	04h00m-04h30m	30			1	5	6	4	8	3			27	6.5	0	43.98	38	1.87	54	1.00	54.0	1.61	87
	04h30m-05h00m	30	1			2	7	7	7	4			28	6.5	0	44.00	43	1.87	56	1.00	56.0	1.45	81
1987.05.05/06	03h00m-04h00m	60				4	12	9	14	11	4		54	6.5	0	44.92	30	1.87	54	1.00	54.0	1.99	108
1989.05.02/03	02h30m-03h00m	30			1				1		1		3	6.5	0	42.44	18	1.87	6	1.00	6.0	3.31	20
	03h00m-03h30m	30						1	1	3	3		8	6.5	0	42.46	25	1.87	16	1.00	16.0	2.40	38
	03h30m-04h00m	30		2		1	1	1	5	1	1		12	6.5	0	42.48	32	1.87	24	1.00	24.0	1.91	46
	04h00m-04h30m	30				2	2	2	3	2			11	6.5	0	42.50	39	1.87	22	1.00	22.0	1.60	35
1989.05.04/05	02h30m-03h00m	30					1		2	2	1		6	6.5	0	44.38	19	1.87	12	1.00	12.0	3.01	36
	03h00m-03h30m	30			1			3	4	2		1	11	6.5	0	44.40	26	1.87	22	1.00	22.0	2.24	49
	03h30m-04h00m	30			1	3	4	1	5	2	1		17	6.5	0	44.42	33	1.87	34	1.00	34.0	1.81	62
	04h00m-04h30m	30			1	1	2		6				10	6.5	0	44.44	40	1.87	20	1.00	20.0	1.54	31
1989.05.05/06	02h30m-03h00m	30			1	1	2	3	3	1	1	2	14	6.5	0	45.35	20	1.87	28	1.00	28.0	2.87	80
	03h00m-03h30m	30				1		2	2	5			10	6.5	0	45.37	27	1.87	20	1.00	20.0	2.17	43
2014.05.04/05	03h00m-03h30m	30		1	1				4	8			14	5.5	0	44.01	33	1.87	28	1.87	52.4	1.86	97
	03h30m-04h00m	30	1					2	6	8	1		18	5.2	0	44.03	40	1.87	36	2.26	81.2	1.57	128
	04h00m-04h30m	30							3	4			7	4.5	0	44.05	47	1.87	14	3.50	49.0	1.38	67
2014.05.05/06	02h30m-03h00m	30		1			1		4	8	6		20	5.5	0	44.96	26	1.87	40	1.87	74.8	2.26	169
	03h00m-03h30m	30				2		3	5	7			17	5.0	0	44.98	33	1.87	34	2.56	86.9	1.81	158
	03h30m-04h00m	30				1	1	2	1	13			18	4.7	0	45.00	40	1.87	36	3.09	111.1	1.54	171
	04h00m-04h30m	30	1	1			1	3	17	12			35	4.5	0	45.02	47	1.87	70	3.50	244.8	1.36	332

日本の近世流星スケッチカタログ作成と最古の流星スケッチの発見

The Catalogue of Sketched Meteors in Yedo Era (17-19c)
and
The Earliest Meteor Sketch in Japan

沼津市)渡辺美和*　甲府市)信清由美子*(プレゼンタ)
東京都)戸田雅之**　国立天文台)渡部潤一***

WATANABE Yoshikazu, NOBUKIYO Yumiko, TODA Masayuki & Dr. WATANABE Jun'ichi

*特定非営利活動法人東亜天文学会　**日本流星研究会　***国立天文台

流星会議2014　第55回　信州あづみの流星会議
2014年7月20日～21日
於　長野県安曇野市「ビレッジ安曇野」

1

本発表の構成

1. 近世の流星を含む天文現象が記録された史料の収集作業の紹介
2. その分析に基づく、スケッチの母集団である近世火球リストの作成
3. 近世火球リストなどで確認できた日本の江戸時代の流星スケッチカタログと現存する中で最古と見られる大流星スケッチの紹介

「現存する中で最古と見られる大流星スケッチ」については、筆者(信清)がその記録の存在を発見の後、筆者らによるレポート作成の過程で、筆者(渡辺)が、現地調査によって原本複製本の鮮明なスケッチを確認、今回の発表に至ったものである。

本発表に先立ち、筆者らは以下のような「近世日本の史料に基づく天文現象記録の紹介や分析を行っている。必要に応じて参照されたい。

信清由美子・渡辺美和、「188[illegible]に日本で目撃されたアン[illegible]座の流星[illegible]記録の発見」
鶴見学園女子大学[illegible]記念資料館学芸員課程紀要「にいくら」第15号、pp5-13、2010.3

渡辺美和、「江戸時代の星食観測記録-1,2」、
東亜天文学会「天界」vol.90、No1010-1011、pp311-314, pp354-357、2009.7,8

Toda et al., "Catalogue of Persistent Trains I : Meteor Trains during 1988-1997 and the Development of an Optimum Observation Technique" Publ. Natl. Astron. Obs. Japan Vol.7 pp[illegible]

信清由美子・[illegible]・渡辺美和、「日本の近世の流星[illegible]」、
東亜天文学会「天界」vol.84、No.933、pp71-85、2003.2

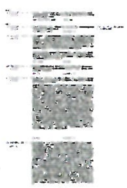
2

近世の天文現象記録の収集

筆者らは1990年頃から日本の近世(江戸時代)を中心に各地史料に残る天文記録の収集を行っている。

2007年に暫定版集約として「続近世日本天文史料」で公開(収集記録2,404例)
その後も協力者も含めて記録収集を継続(2007～2014年で新たに約800例を積増し)

続近世日本天文史料



続近世日本天文史料の内容例

これら収集記録の中にはスケッチ例も多く存在していた。
彗星72例　流星14+1例　星食7例　日月食5例　彩雲7例　幻日月7例　他　17例

3

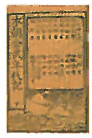
近世天文現象記録収集に当たり留意すべき事項

だが、これらの記録の取扱には、吟味が必要
記録者が実見したか否の十分な検討、読解が不可欠
刊本年代記などからの引用の可能性にも注意が必要

なお、本発表では和暦は漢数字で、換算西暦(グレゴリオ暦)は算用数字で示す。

なお、本発表で用いるYMJ番号は流星スケッチの暫定番号である。

和漢年代記
埼玉県立浦和図書館蔵



本朝公武年代記
埼玉県立浦和図書館蔵

刊本年代記比較例

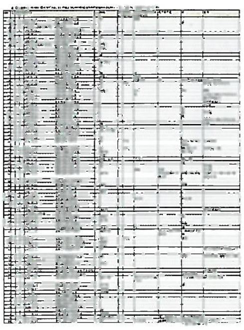
右に類する記録は刊本年代記から引用された可能性もある

	新撰増補懐宝年代記 (文化四年まで記載)	文安年代記萬徳大雑書 (文政十一年まで記載)
大[illegible]元年	ひかり物とぶ	記録なし
寛文六年	江戸に人の[illegible]のひかり物いづる	五月江戸に人のかたちの光りものとぶ
寛文九年	りうせい東へとびらいのごとくひびく	三月りうせい東ひびきらいのごとし
貞享二年	りうせいにしへとぶ	二月りうせいにしへとぶひびきらいのごとし

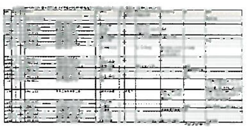
注:「新撰増補懐宝年代記」「文安年代記萬徳大雑書」とも千葉県立中央図書館所蔵の原本から抽出

4

収集された近世日本流星記録



筆者収集の近世流星記録の集約例。
ここでは全体の約半数を示した。



これらを集約した結果、近世(1600年以降の江戸時代)の火球と見られる[illegible]は237例、その内、火球であることが不確かなものと糎光りの可能性のあるものを除くと218例となった。

5

収集された近世日本火球記録

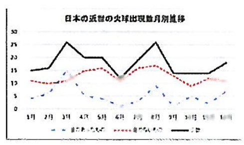
「続近世日本天文史料」及びその後筆者らにより収集された173の江戸時代史料から、のべ470例の流星に関する記録が抽出でき、それらを整理し、実質で218例の火球記録が得られた。

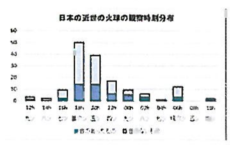
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
[illegible]	4	6	[illegible]	[illegible]	4	1	[illegible]	9	[illegible]	[illegible]	[illegible]	7
[illegible]	[illegible]	10	[illegible]	[illegible]	16	11	[illegible]	[illegible]	[illegible]	9	[illegible]	11
合計	15	16	20	20	20	12	19	[illegible]	14	14	[illegible]	18

[illegible]は出現日不明の4例をのぞき、214である。

時刻		24時	含まれる表記	音火球	他火球	合計
午	[illegible]	12	[illegible]	1	2	3
未	[illegible]	14			2	2
申	[illegible]	1[illegible]	[illegible] 暮れ前	2	[illegible]	[illegible]
酉	[illegible]	1[illegible]	[illegible] 日暮頃 [illegible]	14	36	[illegible]
戌	[illegible]	2[illegible]		14	25	[illegible]
亥	[illegible]	2[illegible]		6	11	[illegible]
子	[illegible]	0	[illegible]	5	[illegible]	[illegible]
丑	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
寅	[illegible]	[illegible]			1	1
卯	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	12
辰	[illegible]	[illegible]				0
巳	[illegible]	10		[illegible]	[illegible]	[illegible]
小計				[illegible]	101	[illegible]
[illegible]			[illegible]	[illegible]	19	[illegible]
[illegible]				[illegible]	[illegible]	42
合計				6[illegible]	154	218

•江戸時代の時刻は不定時法であり「24時」は目安
•火球[illegible]の太陽黄経別推移で[illegible]としたものが含まれているため、同表より多い。





6

収集された天文現象スケッチに関する留意事項

現在公開されているスケッチは必ずしもオリジナルを伝えるものではない。
スケッチがどれだけオリジナルに近いものかを検討し吟味していく必要がある。
たとえば、現在の市史史料などでは、図が当該部分にあることを示す意での、略図による写しも多い。また時代を通して、写本される機会もあり、その段階で「写される」ことも広く見受けられる。

1701年03月06日(元禄十四年正月廿七日)の流星例

山形県上山市「上山三家見聞日記」

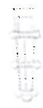
確認してみると

上山市史編さん委員会編集、上山市発行、「上山市史編集史料第17集」、S51.3、p83

上山市図書館蔵の影印複製本

1813年12月01日(文化十年十一月九日)の流星例

岐阜県瑞浪市 「田辺氏見聞録」



確認してみると

西村覚良解読解説、岐阜県郷土史料研究協議会発行、「加納藩士田辺氏見聞録」、S57.9、p112

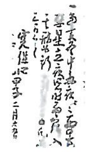
岐阜県立図書館所蔵の原本から複製

7

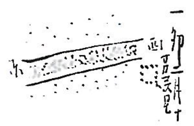
収集された天文現象のスケッチ　彗星

天文現象観察記録としてのスケッチは、彗星などについて、幕府天文方の観測例や地方史料に残されたものが「近世日本天文史料」でも数多く紹介されている。筆者収集や各地での発掘でも数多くの彗星のスケッチが再発見されている。

安政五年(1858) Donati 彗星
吉田屋源兵衛覚日記(福島県相馬市)
相馬市生涯学習課所蔵の原本を渡辺美和撮影



寛保三～四年(1743～4) Klinkenberg 彗星
渡辺家覚書(岐阜県瑞浪市)
瑞浪市史料集第5集(瑞浪市民図書館発行H19)の影印資料から引用



天保十四年(1843)Great March Comet
佐々木弥左衛門家永代記録(秋田県秋田市)
秋田県公文書館所蔵の影印本から引用

8

江戸時代刊行本での近世流星図

一方、これまで、流星図としては、座右に置かれた百科事典的な書物である「雑書」と呼ばれる刊行物にも登場している。これらが当時の流星に関する認識を流布していたとも見られる。北斎の流星は同方向に流れ、何らかの流星群の目撃によるものかもしれない。また、刊行本では木版という制約によるデフォルメもある。

「民用晴雨便覧」の「流星の図説」
江戸科学古典叢書27(原本は明和四年1767年)刊
中西敬房著の影印本、恒和出版発行、昭和54年、p378

天保新選永代大雑書にも同じような図が見られる。
又、方向や規模により名称が異なる様も描かれている。

「和漢三才図会」の「流星」
和漢三才図会　巻第三
原本は正徳三年1713年刊
寺島良安著、平凡社東洋文庫447、1985、p163

北斎の描いた流星
北斎の絵手本　五
岩崎美術社、S61

9

本発表以外で収集されている近世流星スケッチ

ここで紹介する筆者収集例以前にも、流星のスケッチは紹介されている。しかし、大崎正次編「近世日本天文史料」に掲載された2例や、地方で発掘された浜松市村井陽一氏発掘の例など、ごく少数例にとどまっていた。

浜松市　村井陽一氏発掘

YMJ168501

1685年3月26日
(貞享二年二月廿二日)
「久夢日記」
続日本近世随筆大成別巻
近世風俗見聞集6　吉川弘文館刊、昭和57年、p142

近世日本天文史料に掲載

YMJ182701

1827年7月1日
(文政十年六月八日)
「摂陽奇観」
大崎正次編「近世日本天文史料」
原書房刊、1994年、p612

同左

YMJ183101

1831年1月11日
(文政十三年十一月廿八日)
「摂陽奇観」
同左

「久夢日記」は、1808年頃に古書渉猟による編さんであり、図は筆写された物。

「摂陽奇観」は、文化文政～天保の記録で、明治年間に発見された原著者によるものと見られ、スケッチも当時のものと推定される。

10

収集された近世流星スケッチカタログから　その1

前述したような筆者収集記録に含まれる流星スケッチ14例について、筆写経歴などを最大限に確認しつつ、年代をさかのぼって紹介する。一部のスケッチ(図)については既に何らかの機会に紹介済である。

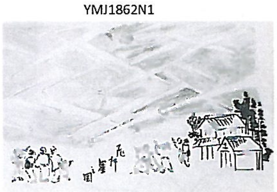
落穂拾遺(山梨県南部町)

現山梨県南部町の薬種商木内三朗(嘉永三年(1850年)生まれ)が大正十年頃に南部町の風俗習慣や、見聞などを回想して「是ニ記ス諸事年月日之詳ナラザルは其当時記録ニありしニアラズ」と断りつつまとめた「落穂拾遺」に掲載されていた「飛行星之図」。

流星が交錯しているのは、時間を積分して図として著したものと考えられる。

特定できないが、1862年Per・1867年leo群大出現の可能性もある。

YMJ1862N1



図は木内家所蔵の原本から筆者渡辺美和撮影

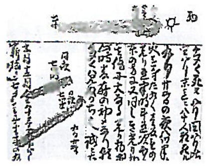
この図は南部町誌にも収録され、既に 信清由美子・信清悉司・渡辺美和、「日本の近世の流星雨の絵」、東亜天文学会「天界」vol84、No.933、2003.2、pp71-85 で紹介済。

11

収集された近世流星スケッチカタログから　その2

YMJ186201

1862年11月11日
(文久二年九月廿二日)



徳島県阿南市

「北谷繁蔵記録」

阿南市教育委員会所蔵影印複製本

11月の中旬、夜半後という点から、しし座流星群に関連した永続痕を記録したものと見られる。流星本体についての記述はなく、痕のみを「光り物」として記述している。色は「白」。三つの光物に関する記述の通り、3個の痕らしきものが図示されている。また、図の上の痕には、右が西、左が東と方向が記され、そばに彗星らしきものも描かれている。

注目すべきは、放射して描かれているように見られる点

なお、この図は既にToda et al., "Catalogue of Persistent Trains II : Meteor Train during 1988-1997 and the Development of an Optimum Observation Technique" Publ. Natl. Astron. Obs. Japan Vol.7 pp52-6(2004)等で紹介済。

12

収集された近世流星スケッチカタログから　その3

YMJ185101　1851年11月14日(嘉永四年十月廿一日)　三重県桑名市「豊秋雑筆」

町人角屋吉兵衛が、「19時頃、西から東に向かって、青いルリ色に光る大きな　流れ星が現れた。その跡はやはり青くルリ色に光っていた」と記録。

火球の流れた方向も不明だが、分裂した様を表しているのか。或いは、流星の痕を描いたものかもしれない。

なお、「豊秋雑筆」自体は「明治九年頃浄書したもの」で、図も現象当時に描かれた図を写したと思われる。

桑名町人風聞記録刊行会編、清文堂史料叢書第130巻桑名町人風聞記録Ⅰ、清文堂刊、2013.から引用

YMJ183601　1836年10月13日(天保七年九月四日)　岩手県気仙郡「角屋敷久助覚牒」

角屋敷久助の見聞記録で、火球本体の出現ではなく、その後現れた流星の永続痕のみを見たと思われる記録である。

特に注目すべきは、痕が変形して見えていることを示している点だ。

渡辺兼雄著「角屋敷久助覚牒」H6の掲載図から引用　図は既に前述のToda et al (2004)で紹介済である。

13

収集された近世流星スケッチカタログから　その4

YMJ182201　1822年11月2日文政五年十月十六日　静岡県浜松市「ふところ日記」

1788年05月16日(天明八年四月十一日)の大阪府枚方市の「見聞録」の図と似ている。簡潔な中に自分にだけ分かればよいとされるメモ的なものであろう。
それでは、ほかにメモ的でない誰にもわかるような図示があるのかということが別に疑問として生じる。

新居町教育委員会編集発行、新居町史資料篇9、S54.3から引用

YMJ181701　1817年07月14日(文化十四年六月晦日)　石川県金沢市「鶴村日記」

記録者の金子鶴村は儒者であり、記録文から次のような認識をしていると見られる。
・流星は早く流れるものである　・流星と光り物は異なるものだ
・この「光り物」はゆっくりと消滅した
この記録者の考え方は、江戸時代の史料に「流星」という表記が少ない理由も推察させている。

石川県図書館協会編集発行、新編郷土図書叢書第2回上中下巻、S51から引用

14

収集された近世流星スケッチカタログから　その5

YMJ181301　1813年12月01日(文化十年十一月九日)

「鶴村日記」と「田辺氏見聞録」に図が残されているほか、千葉県我孫子市の「吉野家日記」さらに「鶴村日記」の後日の収集情報などを含めて計6例に同じ火球に関すると思われる記録がある。

この火球スケッチ2例はいずれもその記録者が実見したものではなく、聞き取り調査により図として再現したもの。

金沢市「鶴村日記」

YMJ181302

興味深いのは両図とも分裂して流れた様子が同様に描かれていることだ。その分裂数も「鶴村日記」では本体を含め6つ、「田辺氏見聞録」では計7つほどと、ほぼ同じである。二つのスケッチは全く独立的に描かれているが、記録者の聞き取り能力と観察者の観察力が優れていることが察せられる。

「田辺氏見聞録」記録は、岐阜県立図書館所蔵の原本から複製(同図書館のご好意による)したものを見やすく加工した。

瑞浪市「田辺氏見聞録」

「鶴村日記」は石川県図書館協会編集発行、新編郷土図書叢書第2回上中下巻、S51から引用
金沢市「鶴村日記」図は既に、渡辺・長沢「流れ星の文化誌」成山堂書店、平成12.3、p44等で紹介済である。

15

収集された近世流星スケッチカタログから　その6

YMJ178801　YMJ178802　1788年05月16日(天明八年四月十一日)

左2例のスケッチのほか、東京都町田市「玉利軒日記」等8例に記録がある。ただし、「見聞録」自体が写本で伝わり、図も写し。「田辺氏見聞録」の記載は「光りが障子へ映ったのを見(て気づいた)」と記していて痕かもしれない。或いは聞きこんで得られたものか。

枚方市「見聞録」　瑞浪市「田辺氏見聞録」

「田辺氏見聞録」図は、岐阜県立図書館所蔵の原本から複製(同図書館ご好意による)より引用

「見聞録」は、枚方市史編纂委員会編纂、枚方市発行、「枚方市史9」、S49.6から引用

YMJ177701　1777年10月10日(安永六年九月十日)　和歌山県田辺市「万代記」

傘のようにあらわされている部分は、火球本体が爆発的な増光をして分裂した場面をとらえているのであろうか、印象がデフォルメされたのだろうか。柄の部分は尾を引いて見えたことの意なのであろうか。面白いのは、西欧でも似たような右のような図があることだ。

17■■ Mar. 50■流星
R.J.M. Olson et al, "Fire in the Sky" Cambridge University Press, 1998,p60

「万代記」は、田辺市文化財審議会・田辺市教委編集発行S■■ほかより引用

16

収集された近世流星スケッチカタログから　その7

YMJ177201　1772年04月21日(明和九年三月十九日)　名古屋市「金明録」

福島県伊達町「藤屋佐藤與惣左衛門家蚕養記」、青森県「本藩明実録本藩事実集」、福島県矢祭町「万覚帳」にも同日の火球記録が残る。
図は記録者による同時代記録と見られるが、特徴的な点は、なによりもその写実性であり、現代のイラストと紹介されても驚かない。なお、図には中間位置に「此所火のごとし」などの追記がある。図は以下の刊行本に掲載されたものである。

名古屋市蓬左文庫編、名古屋市教育委員会発行「名古屋叢書三編第14巻」S61.3から引用
図は既に東京近郊地区流星観測者会「しし座流星群オリエンテーション資料,1999などで紹介済である。

YMJ174601　1746年09月04日(延享三年七月十九日)　石川県金沢市「変異記」

「右ノ形ノ光物出南ヨリ北へ飛大さ扇のことく中赤し」と記載されている火球だが、「変異記」自体が寛延年間以降に成立した編纂ものであり、本記録は何らかの史料から写したものと推定される。下部に伸びた部分は尾のように見えたことを表しているのであろうか。図の上部の中に記載されているものは、「赤」という字に読める。

図は石川県立図書館所蔵の「変異記」に掲載されていて、原本から渡辺美和が撮影

17

収集された近世流星スケッチカタログから　その8

YMJ170101

1701年03月06日
(元禄十四年正月廿七日)

山形県上山市「上山三家見聞日記」

本記録の史料は、元禄七年までのものがいったん火事により焼失し、元禄八年に再生されたとある。本記録は元禄十四年のものであり、この図は書写されたものでなく、当事者が同時代に記録したと推察される。ただし、「元禄十一年以降については、取材と記録の間に時間がある」と解題にあり、或いは、ある時間をおいてから回顧して描かれたものとも考えられる。
原文のとおり、3つの物が並んで記載され、先頭のものが最も大きく、次第に小さく表されている。点線で表されているのが周囲に火花を散らしたような様と見られる。

「上山三家見聞日記」の上山市図書館蔵の複製本から同図書館ご好意により引用

18

収集された近世流星スケッチカタログから　その9

YMJ167001　1670年08月28日(寛文十年七月十三日)　山梨県市川三郷町「一宮浅間宮帳」

「七月十三日ノ夜二入テ闇見ノ境光物如日其形(図)如此、西山ヨリ東ノ方二行ク」と記載され、「如日」の部分のルビのように小字で「ヒカルコトヒルノ如」と追記されている。輪が下に行くに従って小さくなるように10個連なった図が示されている。進行方向が不明だが、或いは、一気に明るくなる様、若しくは爆発のように見える様をいくつかの大きさの○で連続的に示す意図があったか。

左図の「(寛文)十年戊戌」の干支は正しくは「庚戌」である筈で、この図が実見でなく編さんした写しである事を推察させる。或いは万治元年1658年の可能性もある。

流星現象か否か判然としないが、より古い図としては、近世日本天文史料に右図の「会津旧事雑考」の1640年に「赤雲」図がある。だが、この会津図は、掲載図からは流星に起因するものと、確認はできない。近世日本天文史料も流星とはしていない。

寛永十七年(1640.7.17)「会津旧事雑考」に掲載された「赤雲」
大崎正次編「近世日本天文史料」、原書房1994.2、p618

管見の限りではあるが、1670年の本スケッチは、図が現存するものとして、現時点で日本で最古の火球スケッチと見られる。

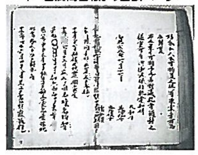
市川三郷町教育委員会所蔵の影印複製本から筆者渡辺美和撮影

19

最古の流星スケッチと一宮浅間宮帳

最古の流星スケッチが残されていた山梨県市川三郷町とは
このあたり

「一宮浅間宮帳」の当該ページ



市川三郷町教育委員会所蔵の影印複製本

旧高田村一宮浅間神社(延喜式名神大社か)
神主青嶋権頭■清(巻末ごく一部は別人)の著。
著者は1687年家督相続、1749年没
記録期間;天文十七(1589)年～寛延二(1749)年
著者見聞以前の記録は「(家伝の)覚書の帳古老の伝」によるものと記載あり

なお、市川大門町郷土資料集No6で2000.3に市川大門町教委から刊行されている。

(左記人名の■は「基」の甘という部分の下にワかんむり、更にその下に「至」と書く字である。

ただし、寛文十年の火球は著者の実見ではなく、先代の家伝を写したものと推定される。

20

山梨県市川三郷町の一宮浅間神社

市川三郷町の「一宮浅間宮」、現在の名称は一宮浅間神社(一之宮浅間神社とも)

入口の鳥居

楼門

市川三郷町の中心から車10分程の小高い丘の上にある。

拝殿

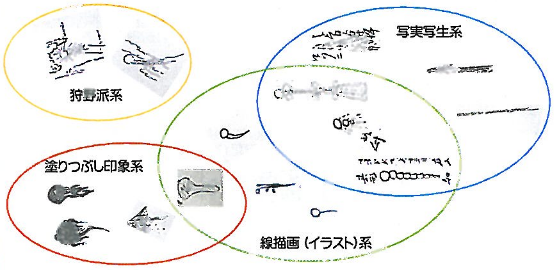
丁度、朱を塗り替えたばかりで鮮やかな色彩が充満

2013.11　渡辺美和撮影

21

近世流星(火球)スケッチの分類試案

火球の様子が描かれたスケッチを形状や特徴から分類すると以下のようになる。



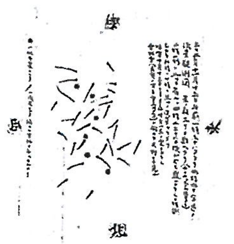
頭部は○の例が多く、大きさが明るさの変化を表し、数が分裂を表してているかに見える。

「近世庶民の描く絵画史」に行きつけず、スケッチ系譜論はこれ以上できなかった。

22

収集された流星スケッチカタログから　番外編(明治)

YMJ189901　明治32年(1899年)しし座流星群のプロット観測



現埼玉県越谷市の西田氏の観察
三十二年十一月十五日午前一時五十分より四時四十分迄ノ流星観測図
星の数三十ヲ数えヘタリ　云々

「●は北斗」とされ(ただし●の数は6)流星の経路を線で表している。線の起点が小さな丸で表現され、全体的にはこの図の右上から左下に向かって流星経路が表されている。

当時の東京天文台でも1899年11月14日からの平山・松崎の観察記録がある(*1)。また同天文台要請で松山市横地石太郎の11月14日記録がある(*2)。

(*1)朝日新聞　明治32(1899)年11月15日

(*2)日本アマチュア天文史、恒星社厚生閣刊1987, p97

平成6年度「第26回越谷市民文化祭」の越谷市郷土研究会展示部門
越谷市谷中町の西田重氏が同氏祖父の記録として出展されたもの。
この図は筆者(信清)により次のURLから発見された
http://bc3456de.sakura.ne.jp/191.pdf

プロット観測として、また、アマチュアによる流星経路観測としては、恐らくごく初期のものと推察される。

23

まとめ

- 「続近世日本天文史料」及びその後筆者らにより収集された江戸時代史料から、のべ470例の流星に関する記録が抽出でき、それらを整理し、実質で**218例の火球記録**が得られた。流星の記載のあった資料数は173である。
- この母集団から、**12例の火球スケッチ、2例の流星痕スケッチ、1例の流星雨スケッチ、計で15例**が確認できた。**のべ記録数470例に対して、3%**である。
- 15例及び他で発掘された3例を加えた中で、**最も古いスケッチとして山梨県市川三郷町の「一宮浅間宮帳」の1670年08月28日の火球**が確認できた。
- 1862年11月11日に徳島県阿南市の「北谷繁蔵記録」のスケッチからは、三つの痕が放射状に描かれている様子が見受けられた。
- 「近世」には含まれないが、明治32年(1899年)に、おそらく日本でごく初期の、アマチュアによる流星プロット観測図を、埼玉県越谷市で見いだした。
- 「天変録」の幕末の流星絵図など、まだ遺漏があった。各地でも発見されていない記録やスケッチは多いと思われる。更に充実を図りたく、ご教示願いたい。

おしまい　　ご清聴、深謝

24

流星の音について

日本流星研究会
第55回　信州あづみの流星会議

日時：平成２６年７月２０日～２１日
場所：ビレッジ安曇野

小　林　美　樹

はじめに
　流星の音を聞いた事があると言うと聞いた経験の無い人から必ず言われる事は「貴方は音速と光速の違いを知らないのか」です。
　雷を例にすれば、光った瞬間から音が聞こえるまでの時間の差を利用して、距離を測ることができ、実際この仕組みをよく利用していました。
　流星からの音は、音であって音ではない不思議な現象だとされており、今回は私が過去に実際聞いた流星の音について、その時の状況を振り返ります。

流星の音経験談　その１

日時等

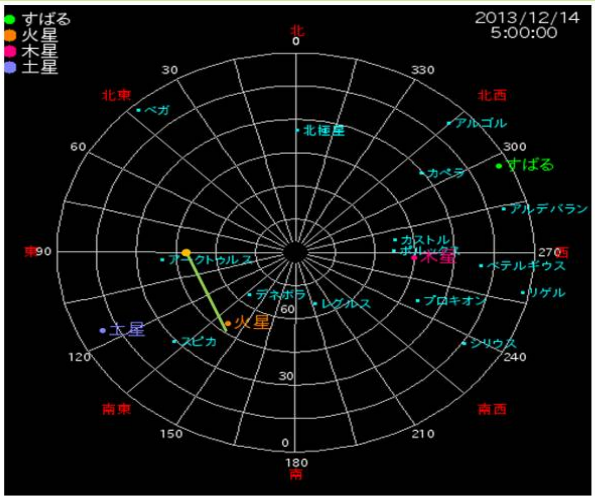
・2013年12月14日　05:26
・12月おとめ座χ流星群　火星の5度南東よりからアルクトゥルスの10度北西よりまで
・愛知県名古屋市昭和区

特徴

・東の空は明るくなってきていた
・５秒ほど音が聞こえなんだろうと空を見上げた
・音が完全に聞こえなくなってから流星を観た

　今回、発表のきっかけとなった流星(火球)
　カメラのフィルム消化をしていた時で時計を持っておらず、出現時間知りたさにNMS同報に書き込みをしました。

流星の経路図　小林プロット

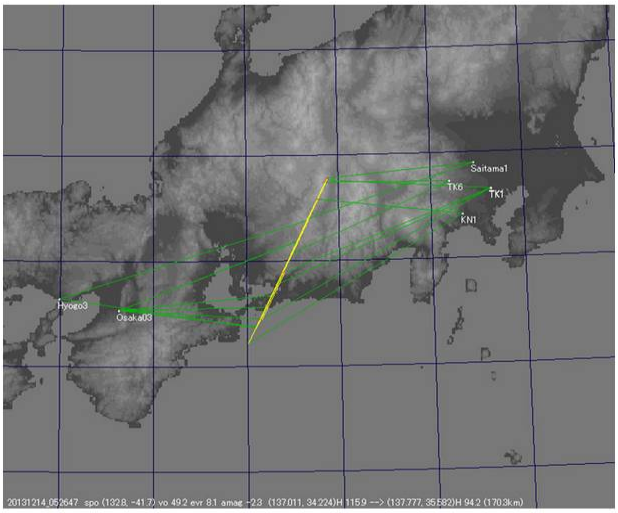


　出現時間を知りたかったのは、火球報告をしようと思ったためでした。
　PCソフトを持たず、手作業で経路プロットをしており、火星の正確な位置を調べて、星図にプロットするまでにかなり時間を要してしまい、結局報告はしませんでした。しかも、その後そのプロット図を紛失しました。間抜けな話です。
　結局、火球報告は時期を失してしまったので、報告せず、お騒がせしました。

上田昌良様　撮影　写真

同報に書き込みをしましたら、上田様からこの火球だろうということで、写真を提供していただきました。

下田 力　様　作成　経路図



同じく、同報で、下田様から、経路図を提供していただきました。観測者が６名おいででしたので、精度の低い私が、火球報告をするとかって混乱の元となった事と思いました。

志摩半島沖から長野県伊那市に向けて流れvo49.2km/sで170kmも飛んでいました
以上、下田様より

流星の音経験談　その２

日時等

・1994年8月15日　04:00過ぎ
・ペルセウス座流星群　東北東の空
・愛知県瀬戸市

特徴

・空は完全に明るくなっていたが、立て続けに３～４同じ位置に流れた
・流れるのと同時に「ヒューン」という音が３回聞こえた

本格的に流星を観ようと思って始めた第１回目の観測です。但し、我流なので最微等星とかは気にせずにただ、計数観測のみを行いました。
空の条件はM31がはっきりと肉眼で確認できました。なので、途中から望遠鏡を出して星雲観測をしていました。さすがに空が明るくなったので、望遠鏡を片付けている時の出来事です。
音は、同時とその時は思っていたが、今では先なのか、後なのか、同時なのかわからなくなってしまいました。
３回はbeginner’s luck？

流星の音経験談　その３

日時等

・1996年11月17日　05:00過ぎ
・しし座流星群　南南西
・岐阜県高鷲村（現郡上市高鷲町西洞）

特徴

・マッチを擦るときの様な「シュッ」という音に振り向くと－４等級の火球
・複数名が音を聞いている

一晩中観測をしていて、そろそろ観測をやめようかとしていた頃に出現。
グループで観測。

流星の音経験談　その４

日時等

・2001年11月19日　03:00以降
・しし座流星群　オリオン座方向に出現
・愛知県瀬戸市

特徴

・「ボワン」という音が聞こえるや否や自分の影が映し出される火球の出現
・驚いて後ろを振り返るが観えたのは痕のみ

私としては、自分の人生で一番流星を沢山観測した日。そして、日本中が流星で騒いだ日。1972年のジャコビニは10才で、まだ流星には目覚めていませんでした。今から思うと残念。

３時以降、計数観測から写真撮影に切り替えた。写真の撮影方向はおおぐま座たっだので、そちらを観ていた時でした。

流星の音とは

音なのか？ ➡ 音ではない

音でない理由は？ ➡ 音速より早い

その正体は？ ➡ 電磁波

なぜ聞こえるのか？

流星の音は「音」という言葉を使うが本当に「音」なのでしょうか。

心理現象と言われる理由

- 流星を目撃した人全てに聞こえる訳ではない
- 全ての流星から聞こえない
- 明るい流星、火球のために音がしているように思う
- 室内や曇天では聞こえない

上のイラストを見ると、何となく自宅や職場等の電話の着信音が頭をよぎると思います。

それと同じ原理で、明るく経路の長い流星はなんとなく音がしているように思う。実際、ある夏の日没前に遭遇した火球がそうでした。音がしていた様な気がしたのですが、冷静に考えると音はしてませんでした。

1985年のジャコビニ騒動の人工天体の落下と同じく人工天体の落下と思いますが、テレビ、新聞等で全然話題になりませんでした。この火球の事を知りたくて流星研究会に入会しました。

但し、音はしなかったと自分の中で納得してしまったため、日時等は忘却の彼方です。植木の水やりという日常生活の中での出来事でした。

電磁波を音として聞くには

受信機が必要

↓

アンテナとダイオード

↓

人体が代替できるのか

↓

身体的特徴

思い当たる身体的特徴

モジャモジャの髪

↓

髪の断面が楕円形

↓

直毛ではなく縮れ毛

奥歯に詰め物

↓

複数の歯科医で治療

↓

異なる金属を使用

↓

受信機となり得る

これらの他、お腹が出ている人、メガネを掛けている人などが聞こえやすいとされています。

歯の詰め物については、テレビドラマのトリックで使ったそうです。

私の場合、他に幻聴のようなものは聴かないので、幸いです。

不思議に思うこと

経験談３と４
　経験談３はグループ観測、経験談４は単独で観測
　経験談４の方が遥かに大きな音に聞こえた
　後日、経験談３で一緒に観測をした人達に音を聞いたかどうか確認した所、火球は観測したが音は聞こえなかったとの事であった

１　観測地点で異なるのだろうか？
２　受信機となる人がいないためだろうか？

　その当時、同時流星観測の知識に乏しかったので、私の聞き方が要領を得ない聞き方であった為か、流星そのものを特定する事に時間を要しました。
　現在ではSonotaCoNetworkや、スカイモニター等で検索ができ、大変便利です。

両者の観測地点

両者の観測地点です。

電磁波はどの段階で発生しているのだろうか

- 電波観測に使われる電波
  ＦＭラジオ：70～90MHz
  アマチュア無線：50MHz帯
- 発生のメカニズム
  流星が発光した時にできる電離柱によって反射された電波を受信
- 発生のタイミング
  流星発光以降、１つの流星に対して１つ

音として聞こえても発光後になる

　音が光よりも先に聞こえるという不思議な現象は、どの様にして起きているのでしょうか？
　流星の電磁波といえば、電波観測があり、それを再考しました。

電磁波の種類

Γ線・X線	ガンマー線
	エックス線
光	紫外線
	可視光線
	赤外線
電波	マイクロ波
	超短波
	短波
	中波
	長波
	超長波
	極超長波

電波観測

流星の音？

超長波VLF（very low frequency）周波数3～30kHz、
波長10～100kmの電波が流星からの音の正体？

分かり易くする為に電磁波の種類を図表化してみました。

電磁波発生のメカニズム

発光後に音が聞こえる場合

ケイ博士来日記念講演より
プリグラム隕石の模式図を参考に作成しました。
最大光輝の後プラズマが発生し、プラズマが地球磁場を変化させ、地球磁場が元の状態に戻る時に音が発生するというのがケイ博士の発生のメカニズムです。

音が先に聞こえる場合は

何時発生しているのだろうか？

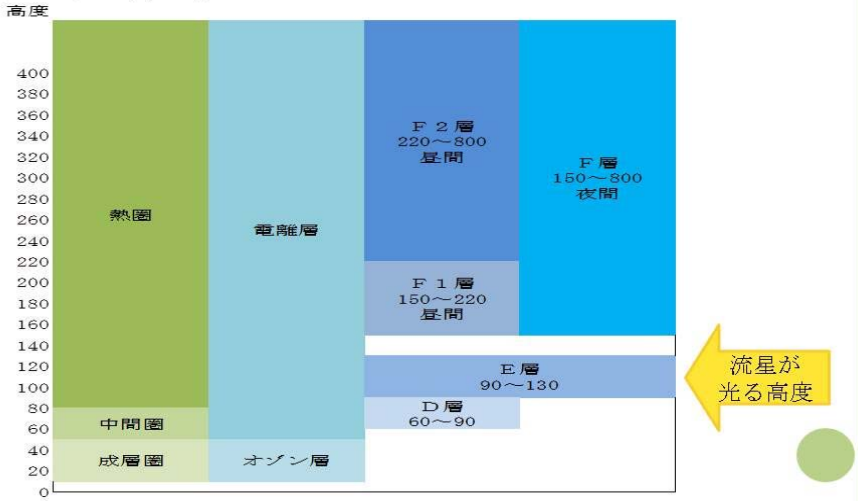
参考となる事例
第５３回「穂の国流星会議」（平成２４年）での基調講演
名古屋大学大学院　古本宗充教授
「はやぶさカプセル回収と流星（から）の音」

講演の中で再生されたビデオでは、
『コン（ポコン）　ポコ　ポコ　』
という音の後から、発光していた。

大気圏突入時の衝撃波？

はやぶさの場合、流星と比べると遥かに大きな物体ですので、単純に同じ現象とは言えないです。
なお、これ以降「衝撃波」という言葉を使用していますが、これは左記講演会で配付されたレジュメに「物体が大気圏に突入すると衝撃波が生ずる」という一文があったため、この言葉を使っております。
また、この音はレコーダーに収録されていたもので、現地で実際にこの音が耳に聞えた人はおいでではなかったらしいです。

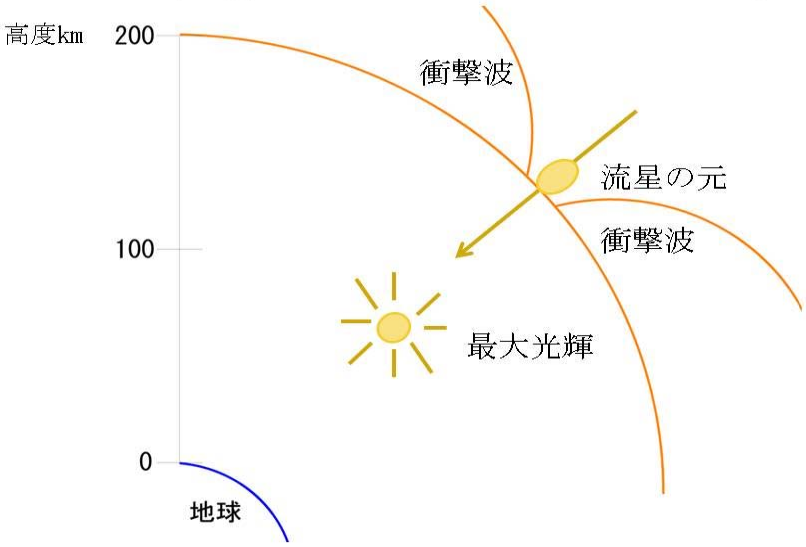
大気圏内



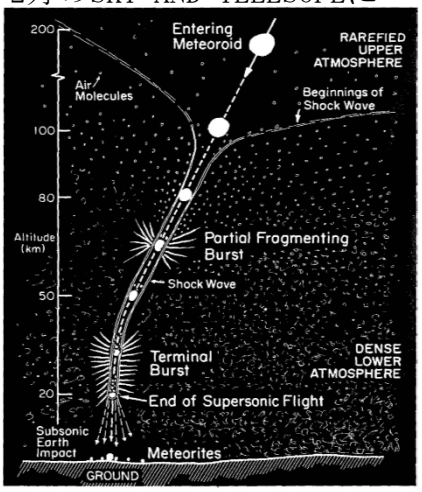
大気圏内と一口でいっても、大気圏内には色々な層があり、範囲も広範囲なので、簡単に図式化しました。

流星はＥ層で光るとされているので、光より先に音がする場合、Ｅ層より高い高度の場所で現象が起きている事と思われます。

大気圏突入のイメージ図



ここで、高度200kmと数字を入れていますが、根拠はないです。ただし、1975年2月のSKY AND TELESOPEに



上記のイメージ図があり、それを参考としました。この図は、前出のプリグラム隕石の模式図同様最大光輝の後に流星の元が細かくバラバラになる事を示しているものであり、高度200kmで衝撃波により音が発生するメカニズムを示しているものではないです。

空気抵抗その他を考慮するとF1層と言われる高度と思われます。今回は準備不足で他の論文等を検索しておりません。

高度何kmで衝撃波が発生？

- 前図では、高度200kmで衝撃波が起こることになるが実際にはどうであろうか？
- 流星の速度は概ね70km
- 高度200kmで起きた衝撃波が電磁波になるとすると理論上、音はほぼ同時から１～２秒早く聞こえることになる

今後の観測での留意事項

流星からの音が聞こえる体質を生かし

- 録音を行う
  人の声は極力抑えること
- 音が聞こえ始めてから発光するまでの時間を記録
- 流星のプロット、光度記録
- 写真観測、電波観測との照合

これからは、眼視観測と平行して耳聴観測も行いたいと思います。
この先、何回音を聞くことができるかはわかりませんが、いつか又必ず遭遇できると信じて観測したいと思います。
難しいのは功を焦り、「気がする」を「音が聞こえた」にしない事です。冷静に観測をしないといけないと自戒しております。

録音についての注意点

- 音を記録する媒体は音と同じ周波数を持つ流星起源の低周波の電磁波を音として記録する可能性有

- 音が録音されていたとしても、実際人の耳に聞こえるかどうかはわからない

必ず自分の耳で確認する必要がある

テレビ観測や写真撮影のように、レコーダーのみをおいて録音のみを単純に行えばいいと考えておりましたが、どうも、そのような単純なことではないようでした。
録音された音は、実際に人間の耳に可聴音として聞こえるものなのかは実際に聞いた人が「聞こえた」と言わない限り立証できないからです。
逆に自分に聞えた音であれば、その時間に録音されいる筈であり、録音されていなければ「空耳」を証明することとなると考えられます。

最後に

流星からの音に関しては、未だ謎だらけの分野です。
この先、１つでも多くの観測データを収集する事でこの謎を解く事が出来れば幸いに思います。

最後に
ご静聴ありがとうございました。
資料をご提供下さいました長谷川先生、丸山事務局長のご厚意に深く感謝致します。
同報で情報を提供下さいました皆様、ありがとうございました。

速度変化から推定する低速火球の破砕
Fireball Fragmentation Estimation by Deceleration

司馬康生

要旨

自動TV観測網で得られた低速で、低空まで達した火球の速度変化を詳細に調べた。その結果、いくつかの火球では破砕の兆候が速度変化から読み取ることができた。また、流星速度決定のためには指数関数近似より優れた速度近似法も必要かもしれない。なお、指数関数近似から決定される定数"ｋ"が経路仰角との相関があることがわかった。

１．基礎的なデータ

本研究では、SonotaCo Network による観測データのみを使った。SonotaCo Network では高感度 TV カメラによる映像を、自動検出ソフトウェア"UFOCapture"を使い検出、記録し、それを各観測者が解析ソフトウェア"UFOAnalyzer"を使い整約を行っている。さらに、これらのデータを、上田昌良氏が収集し軌道計算をされた。この数値をいただき、改めて計算処理を行った。

最初に、飛行距離に基づく流星速度の指数観測近似を使った。これは、流星の速度変化を次の式で近似する方法である。(Babadzhanov et al 1980)

$$v = v_\infty + c\ \exp(kt) \qquad (1)$$

ここで、ｃ,ｋは定数、ｔは発光点を０としたときの時間である。v_∞は大気突入前の推定速度である。なお、t=0 の時の速度は、v_0（突入初速）である。(1)式を時間積分した次の式、

$$L = \Delta l + v_\infty t + c\ \exp(kt) / k \qquad (2)$$

に基づき、仮定した定数を使って飛行距離Ｌを算出し、観測と比較した。このとき、２個の定数とv_∞は試行錯誤で観測値に近くなるよう決定した。ここでΔlは時間０での観測誤差である。

このように決定を行うときの観測と計算の比較（O-C）を表す図が、精度の高い V_∞を決定するために有用であることは（司馬、上田 2010）で紹介した。ここでは、火球の微妙な速度変化を読み取るために使った。

次に、隕石物質の大気内落下のモデル計算(長沢 1980)をコンピュータ上で行い、観測と比較した。モデルでは多くの仮定値を使う。初速は、指数関数近似による得られた値を使っている。とりわけ熱輸達係数(heat transfar coefficient)、超音速飛行下の抵抗係数(drag coefficient)、突入時の質量に着目し、観測値を再現できる組み合わせを探った。熱輸達係数と抵抗係数は、飛行中に定数では無く変数として振る舞っているはずの数値だが、計算の都合上定数としている。熱輸達係数は、隕石物質と大気との衝突エネルギーのうち、質量欠損に振り向けられる割合で、０から１の間の値を取る。質量欠損の理由は２つで、アブレーションによる蒸発と、破砕である。蒸発熱は成分物資が多少変わっても大差は生じない。従って、多数の例から求められる熱輸達係数の最低値が、アブレーションのみが起きているケースで、破砕がほとんど関与しない状態を示していると推定する。表１における最低値は 0.05 付近らしい(0.002 もあるが)ことから、その付近であれば破砕はほとんど無かったと思われ、それ以上の数値を採る例では質量欠損に破砕が関与していると推定する。ただ、この計算では推定困難な数値推定を含むため、定量的な評価は難しい。抵抗係数は、大気減速程度を決定する数値で、超音速下における球形物体では理論値 1.0 となる。この数値が大きくなると減速が効くため、アブレーションが抑えられ質量欠損が小さくなる。

この計算の結果の中から時間－地上高度の関係に着目し、観測と計算の比較図を作ることで、観測をうまく表現できているか検証しやすい。つまり、速度変化の一致、不一致がこの図に良く現れる。

２．個々の火球データ

調査対象は、突入速度が遅く消滅点が低い火球である。これらは、映像から破砕を読み取ったり、速度変化から破砕を推定することが比較的容易である。また、隕石落下を研究する上で、特に重要な関係になる。手元のデータから表１の１８例を選んだ。これらの各数値の多くは、本研究のために再計算した結果であり、これまでに公表した値と違う数値も含まれている。

それぞれの火球で２つずつの図を付けたが、それぞれの「計算」は上記の通り違う計算であることに注意を払って欲しい。

表１　評価に使った低速火球

表の項目は次のとおり。YMD_hms：年月日_時分秒、発光点,消滅点：記録された光跡の発光消滅点の高度、経路仰角：全経路の平均仰角、破砕映像：映像の中に破砕を認められるかどうか、v_∞, c ,k：流星速度を指数関数近似したときの各定数、熱輸達係数,Cd2,Mi,Mt：隕石落下シミュレーションを行ったときに採用した数値。それぞれ、熱輸達係数、超音速飛行下の抵抗係数、突入時の質量、結果としても落下質量（予報）

YMD_hms (JST)	発光点 [km]	消滅点 [km]	経路仰角	破砕映像	V_∞ [km/s]	c	k	熱輸達係数	Cd2	Mi [kg]	Mt [kg]
20080302_040502	91.16	25.79	55.8°	Yes	19.55	-0.029	1.40	0.15	1.0	0.62	0.01
20091106_202901	84.76	24.94	50.8°	Yes	13.26	-0.0175	0.93	0.05	1.0	2.4	1.45
20091204_190947	75.69	33.37	74.4°	Yes	16.80	-0.045	1.83	0.09	1.0	0.07	0.02
20100122_210837	75.77	29.85	70.6°	No	17.33	-0.097	1.40	0.13	1.0	0.25	non
20100124_040304	100.64	31.34	45.3°	Yes	22.91	-0.044	1.25	0.06	1.0	0.065	0.008
20100330_234117	82.79	29.94	35.0°	Yes	16.343	-0.089	0.748	0.09	1.0	0.25	0.06
20110226_002033	73.43	24.21	63.4°	No?	14.74	-0.07	1.13	0.09	1.0	0.8	0.26
20110726_013304	91.90	33.06	39.9°	Yes	16.448	-0.0705	0.721	0.03	1.3	0.4	0.10
20111204_203555	89.03	32.91	62.1°	No	14.8	-0.007	1.57	0.20	0.6	0.12	0.01
20120802_035156	71.5	36.59	11.1°	Yes	14.59	-0.065	0.358	0.45	1.0	3.8	0.02
20121226_215914	90.34	30.56	70.3°	Yes	20.63	-0.011	2.18	0.15	1.2	0.17	0.01
20130120_024204	106.00	28.81	30.7°	Yes	19.70	-0.0235	0.755	0.08	1.0	0.6	0.09
20130214_010435	101.77	32.19	43.6°	Yes	16.00	-0.003	1.21	0.3	1.0	0.6	0.01
20131011_214739	78.79	33.40	68.3°	?	14.15	-0.116	1.10	0.08	1.5	0.06	0.03
20131030_202238	85.11	43.32>	30.5°	No?	18.76	-0.002	1.5	0.24	1.1	1.45	0.01
20131213_183647	67.25	30.41	32.0°	No	14.84	-0.44	0.51	0.07	1.44	0.55	0.26
20140308_011427	77.52	30.18	81.7°	No	21.04	-0.094	2.03	0.35	3.3	2.2	0.13
20140318_200612	73.07	33.55	54.5°	No	13.987	-0.210	0.88	0.002	1.5	0.10	0.06

◆ 20080302_040502(牧丘火球)

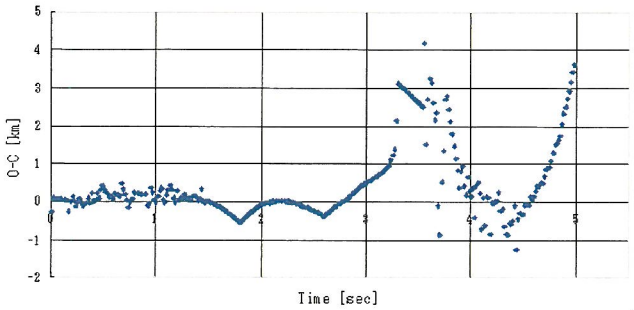


図1　20080302_040502 の発光点からの飛行距離の O-C

約 1.5 秒後から増光し、3.5 秒後に大きな爆発をした。爆発後、数個の破片が遅れて飛行しすぐ消えた。

飛行距離の O-C の図は、爆発前後を中心に大きな誤差が現れている。爆発前に、0.8 秒前後の周期で加速、減速が２，３度見られるが、破砕によるものだろうか、あるいは回転によるものだろうか。

時間－地上高度の関係でも爆発付近は誤差が読み取れる。しかしその後はシミュレーションで良く再現できている。この計算値の組み合わせでは、低空まで光っていたにもかかわらず、ほとんど燃えつき、隕石落下の期待は小さい。

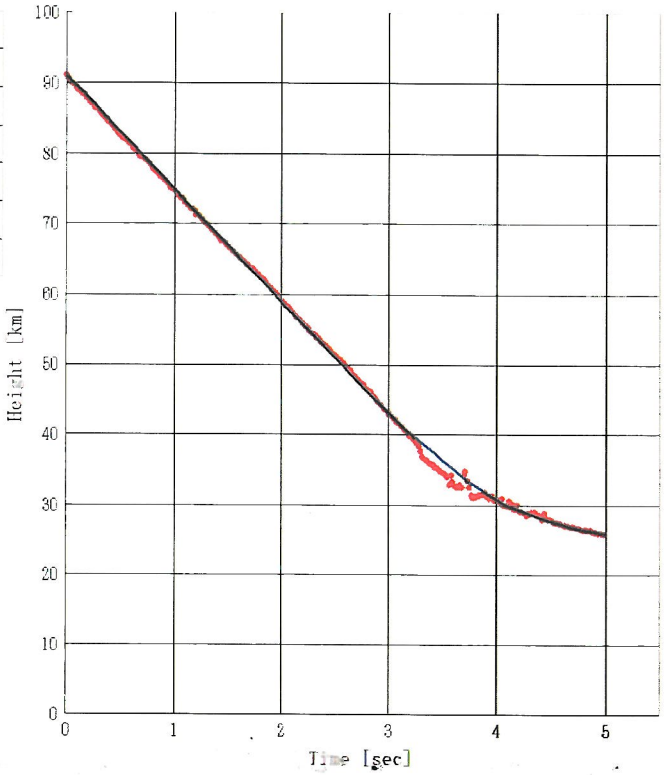


図2　20080302_040502 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

◆ 20091106_202901

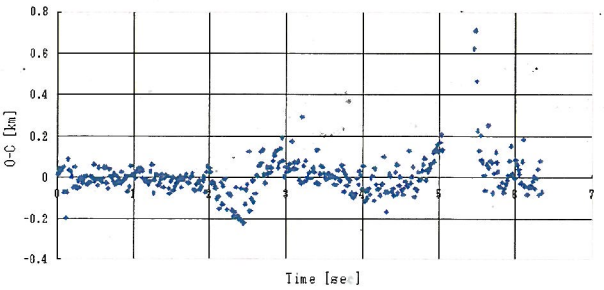


図3　20091106_202901 の発光点からの飛行距離の O-C

この火球は経路の後半で顕著な爆破が見られる。また、３秒付近で飛行距離の図が減少に向かっているが、光の塊を置いて行くような分裂があった位置である。経路末端では、発光形状が前後に伸びたような写りである。

時間－飛行距離の O-C における 5 秒過ぎの途切れ前後で別観測のデータが使われている。データの連続性が良くないのはこのためなのか、この位置が爆発点であるか判然としない。

時間－高度の図では爆発前後がうまく一致しない。

計算された落下質量は十分大きいが、能登沖の海中である。

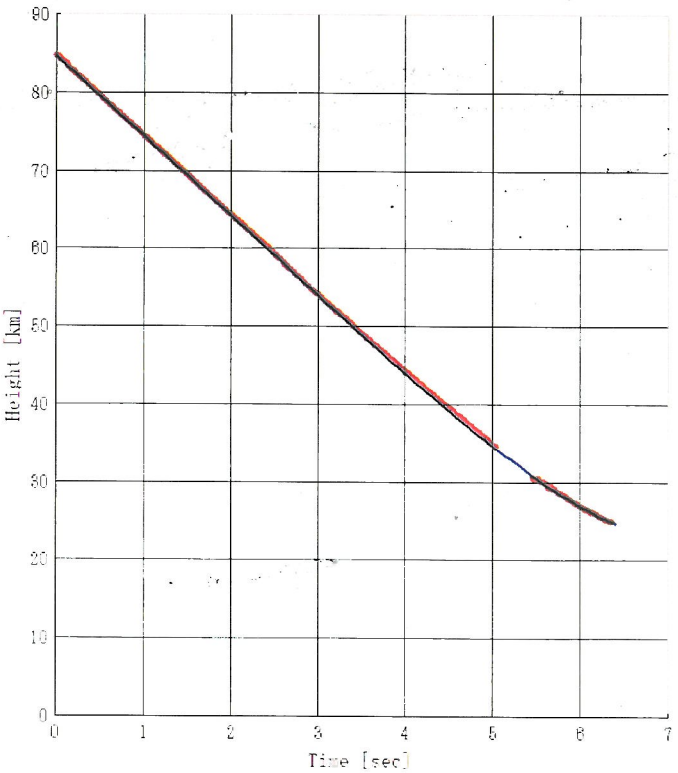


図4　20091106_202901 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

◆ 20091204_190947

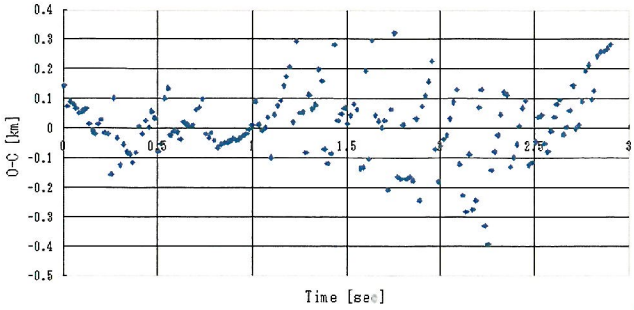


図5　20091204_190947 の発光点からの飛行距離の O-C

映像では平坦な光度変化だが、経路後半で小破片が一つ剥離している。ただし、飛行距離の O-C を表す図では、該当する位置を読み取ることができない。

この火球は 2.5 秒地点まで明確な速度変化は無い。2.5 秒を超えた経路末端で速度がなかなか落ちない。アブレーションで角の取れた隕石物質が穏やかにダークフライトに移行したのだろうか。

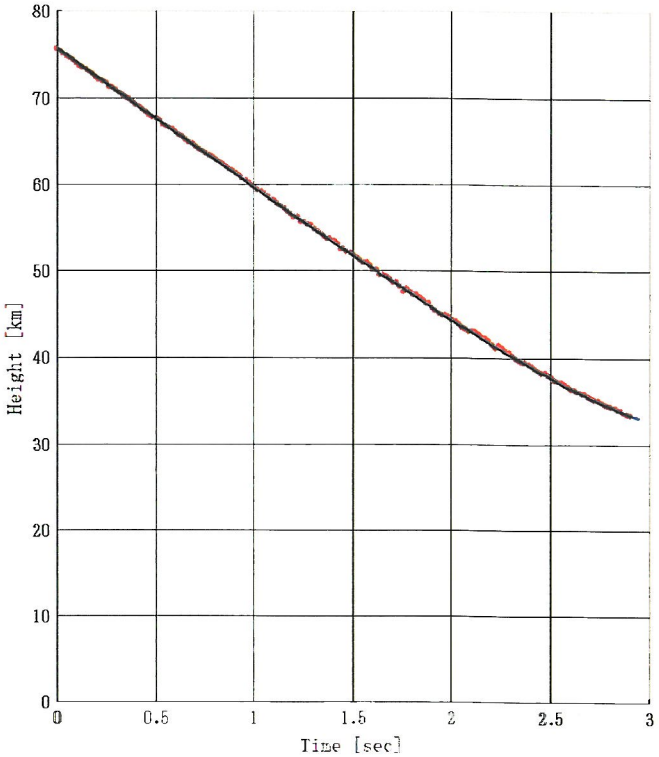


図6　20091204_190947 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

◆ 20100122_210837

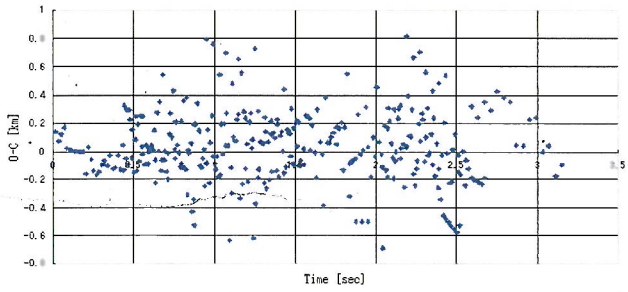


図7　20100122_210837 の発光点からの飛行距離の O-C

映像は火球から遠距離で撮られている。このため位置精度でやや劣る。また、映像から破砕を読み取ることができないが、近距離から撮影していたなら写っただろうか。

時間－飛行距離の O-C でも誤差に埋もれて傾向を読み取りづらい。

穏やかな光度変化の割に、やや大きい目の熱輸達係数を使い時間－高度の関係を近似できている。しかし経路の最後での急減速は計算とずれが見られる。経路最後で急速に隕石物質サイズが小さくなったのかもしれない。つまり末端まで破砕が続いたのでは無いか。

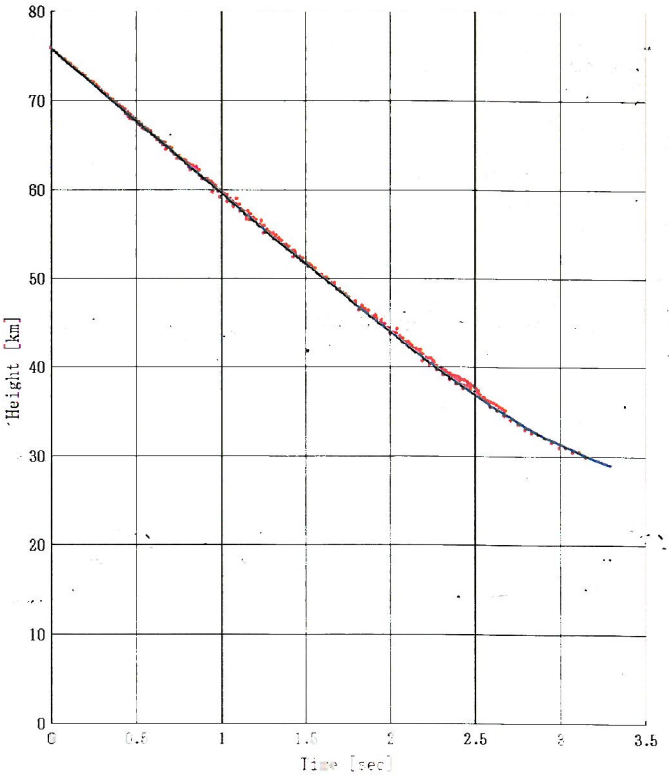


図8　20100122_210837 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

◆ 20100124_040304

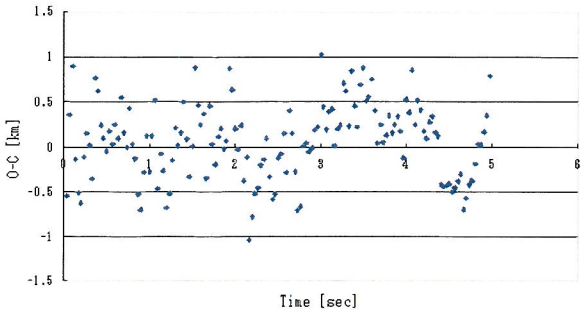


図９　20100124_040304 の発光点からの飛行距離の O-C

光度変化は、３秒付近でやや増光し、4.5 秒付近で急激に減光に向かう。時間－飛行距離のＯ－Ｃでは３．５秒後付近をピークに，速度の減少が見られる。これは破砕によるものだろう。時間－高度の図でも観測値は、４秒後を過ぎた付近で折れ曲がる。その後、計算値と比べて直線的な降下になるのは、時々見られる傾向だが、破砕で凹凸の激しい形状だった隕石物質がアブレーションによって角が取れ、空気抵抗が効きにくくなるという形状変化が起きるためと推定する。

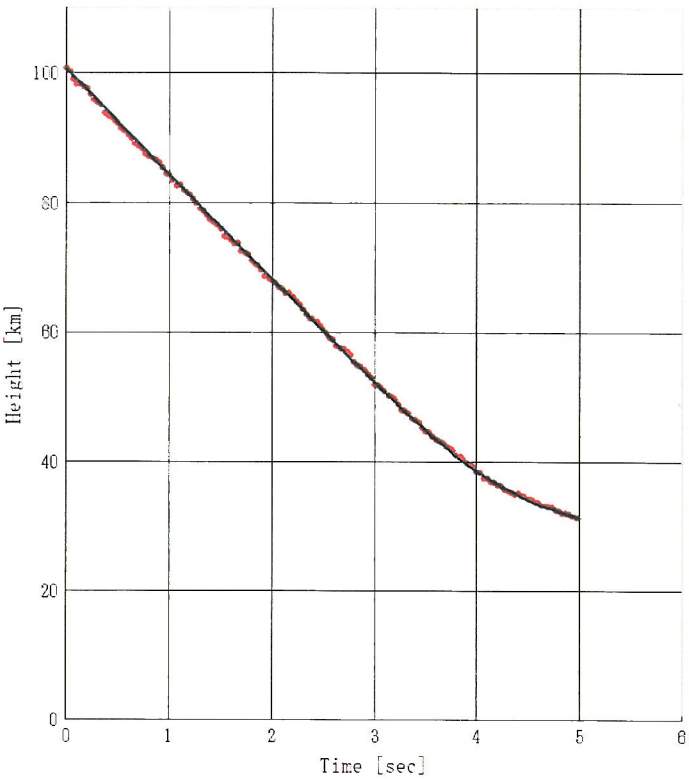


図１０　20100124_040304 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

◆ 20100330_234117(鈴鹿火球)

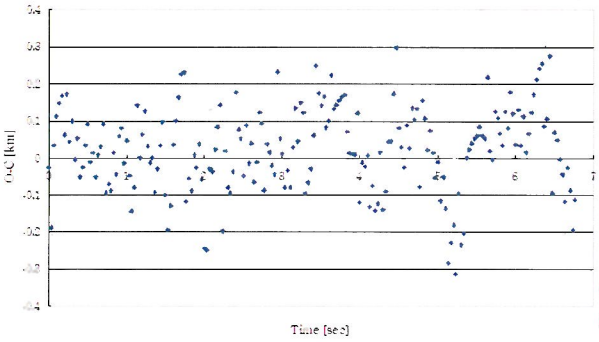


図１１ 20100330_234117 の発光点からの飛行距離の O-C

経路末端近くで、前後に伸びるような破砕が映像に記録されている。３映像の観測位置はややずれが有り、誤差が含まれているらしい。しかし、時間－飛行経路のＯ－Ｃの図で、4.8 秒付近の速度低下は、破砕によるものだろう。

時間－高度の関係図では、経路末端で観測がより減速が効いている。引き続き表面から小破片が落ちて行くような破砕が続いたのかもしれない。そうすると、落下質量は、計算よりやや小さく見積もらなければならない。

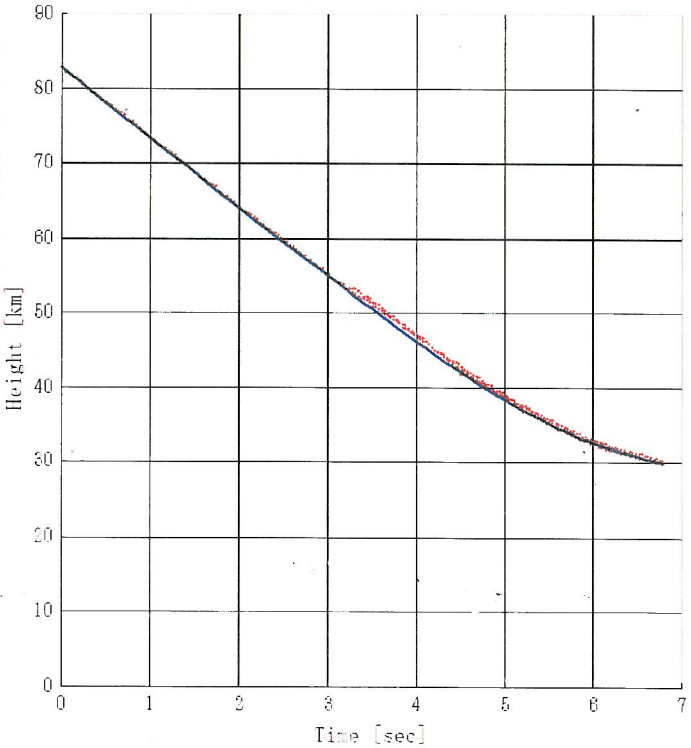


図１２ 20100330_234117 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

◆ 20110226_002033(福生火球)

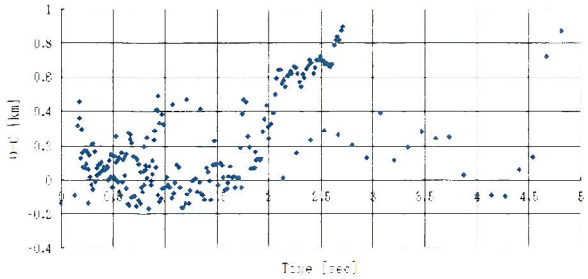


図１３ 20110226_002033 の発光点からの飛行距離の O-C

状態の良い映像がやや少ない。このため経路誤差もやや大きい。時間－飛行距離の図でも、誤差の影響が見える。

時間－高度の関係は、シミュレーションで良く再現できている。この図を見る限り、明確な分裂の証拠は見られない。しかし、表面からごく小さい破片が連続的に剥離したような分裂はあったのでは無いかと思う。

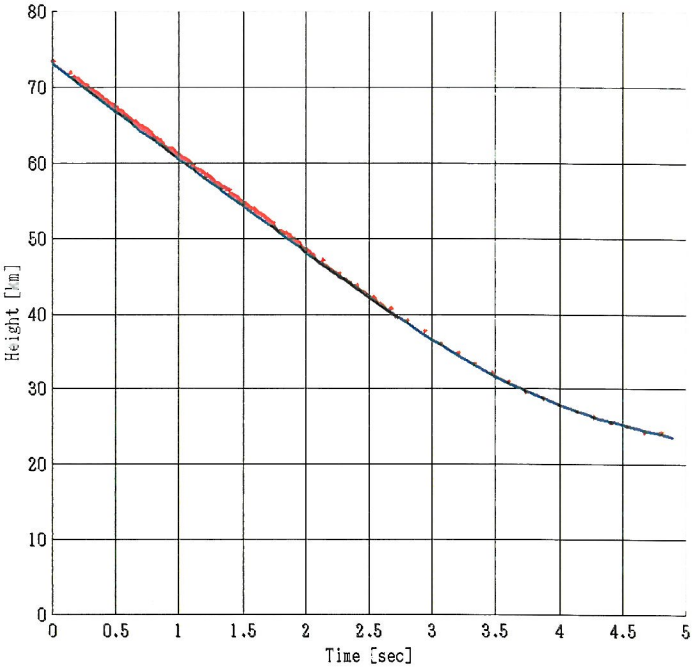


図１４ 20110226_002033 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

◆ 20110726_013304(土佐山田火球)

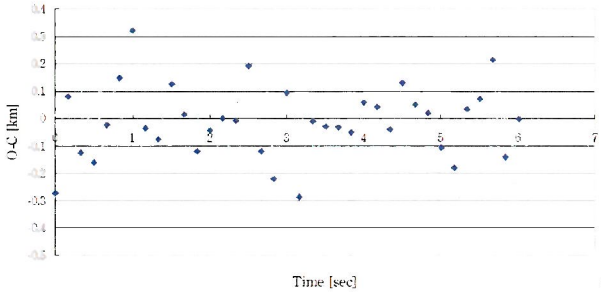


図１５ 20110726_013304 の発光点からの飛行距離の O-C

動画映像では，消滅点は捉えられていない。それでも経路の最後近くで、複数個の小破片が剥がれている。

この火球では、指数関数近似で得られた初速を使ったシミュレーションでは観測より早く高度を下げている。これは重力加速の影響が現れているためだろう。

２つの図からは、分裂を読み取ることが困難な、なめらかな飛行である。

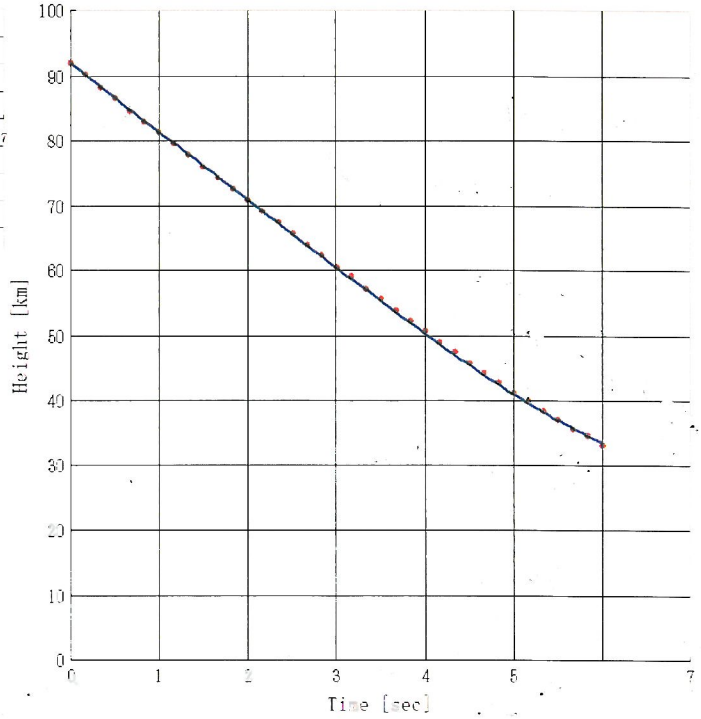


図１６ 20110726_013304 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

◆ 20111204_203555

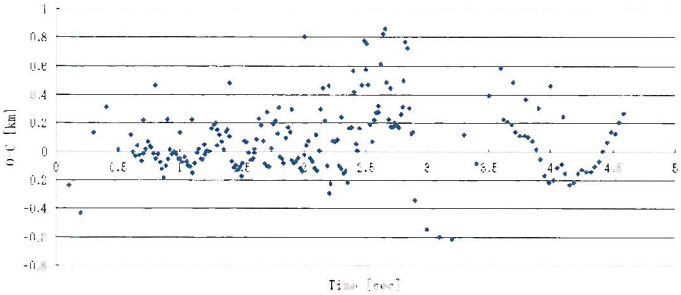


図１７ 20111204_203555 の発光点からの飛行距離の O-C

光跡は激しく爆発を繰り返す。飛行距離のＯ－Ｃを表す図では、爆発部分での測定が欠損している。爆発前後でのばらつきは、誤差によるものだろう。

熱輸達係数はやや大きな数値で時間－高度の関係を再現できる。ここから、比較的連続した破砕によって、急速に隕石物質が縮小したと推定する。

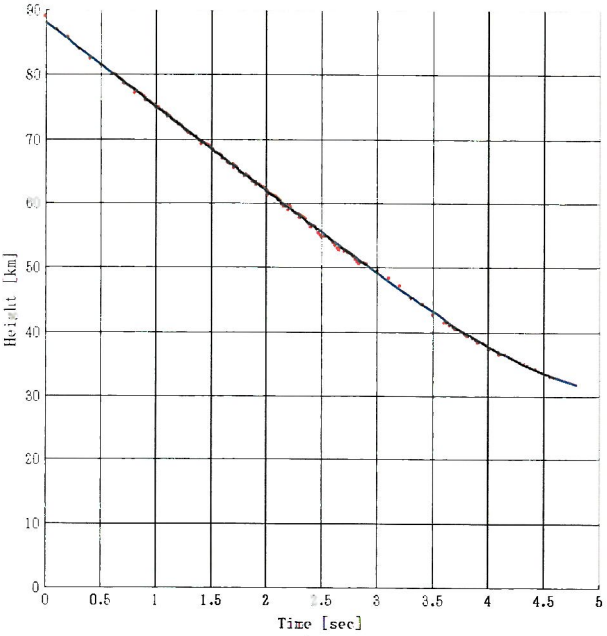


図１８ 20111204_203555 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

◆ 20120802_035156 (榛名山火球)

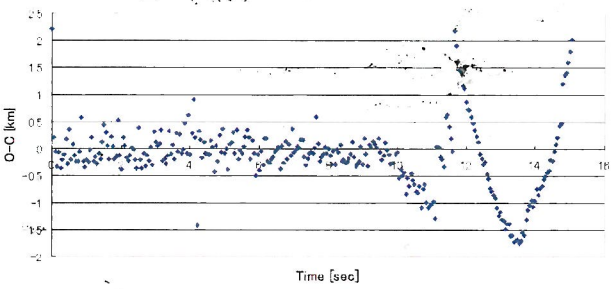


図１９ 20120802_035156 の発光点からの飛行距離の O-C

上田昌良氏によると、映像は 5 個に分裂とのこと。大変浅い角度で突入し，長時間飛行した。

飛行距離のＯ－Ｃは、経路後半で観測誤差が目立っている。10 秒頃、高度低下が穏やかになり、この地点が最初の分裂点だろう。11.5 秒頃、再び大分裂による速度低下が見られる。大きな熱輸達係数をあてはめることで、時間－高度の関係を良く再現できている。これは大きな分裂があったことと整合する。13 秒付近からは高度低下が安定し、アブレーションで角が取れた破片が飛行しているという描像が当てはまるのでは無いだろうか。

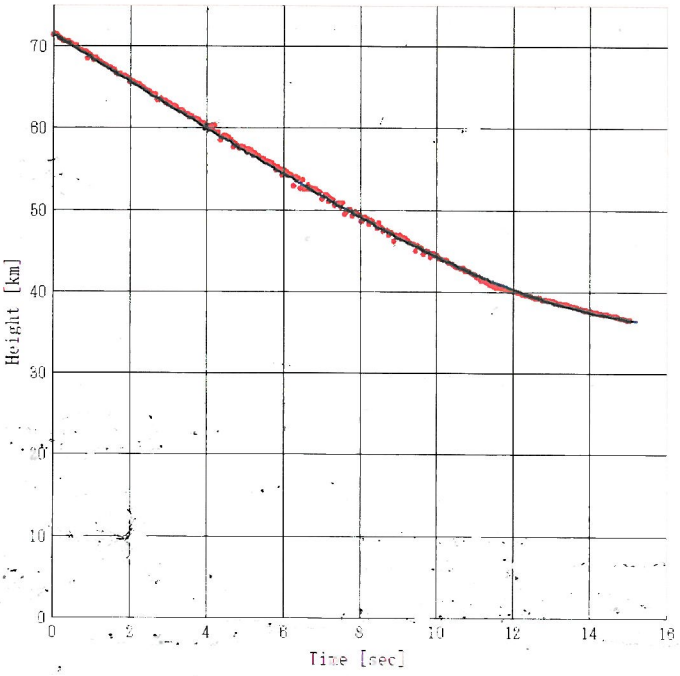


図２０ 20120802_035156 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

◆ 20121226_215914

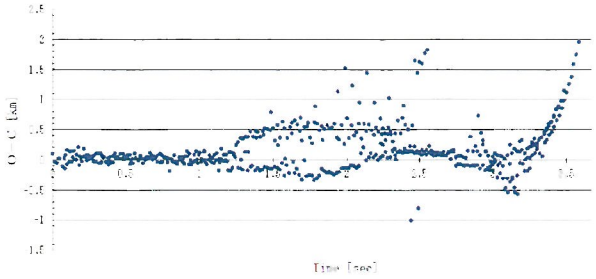


図２１ 20121226_215914 の発光点からの飛行距離の O-C

映像では、2.8 秒付近で小破片が１つ剥離。

飛行距離のＯ－Ｃは誤差がやや大きいことを示している。2.8 秒付近で下向きに曲がった後、経路末端で加速する側に跳ね上がっている。

時間－高度の関係では、分裂が起きた 2.8 秒付近でやや線が折れて，急減速している。それでも，全体的な傾向はやや大きな熱輸達係数で良く近似できている。この「やや大きな数値」から、小分裂が続いて起きていたことを推定する。

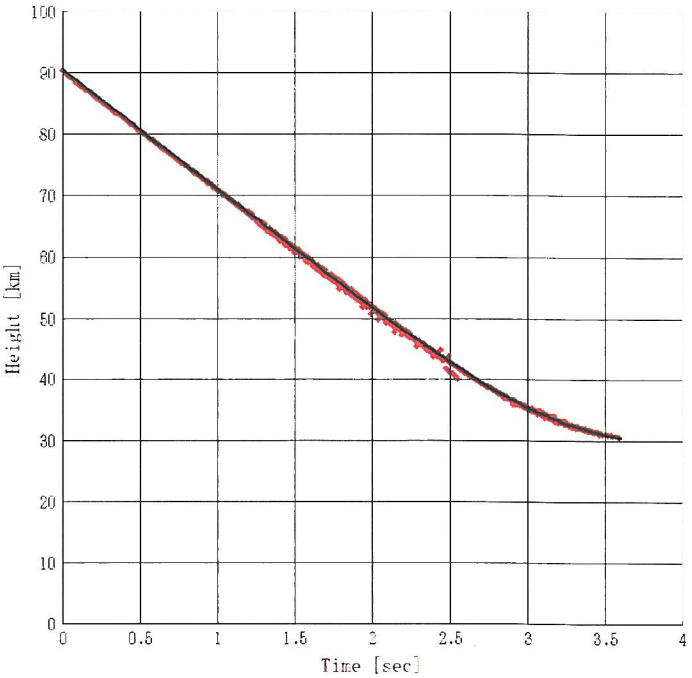


図２２ 20121226_215914 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

◆ 20130120_0243（鹿島灘火球）

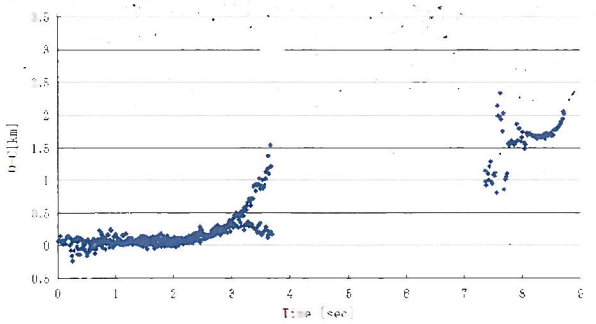


図２３ 20130120_0243 の発光点からの飛行距離の O-C

火球は３回程度爆発をしている。爆発後の経路後半で、火球は前後に多数の破片に分裂している。

動画は明るすぎる爆発で途中で測定不能になる。飛行距離を表す図は高度~67.2km までと、後半映像の時間間隔は指数関数近似が繋がるよう推定したが、間隔は怪しい。前半映像の末端で飛行距離のＯ－Ｃが急増するのは、爆発によって正確な測定ができなかったためだろう。観測の途切れがあることからこれらの図から分裂の様子を読み取ることは困難である。

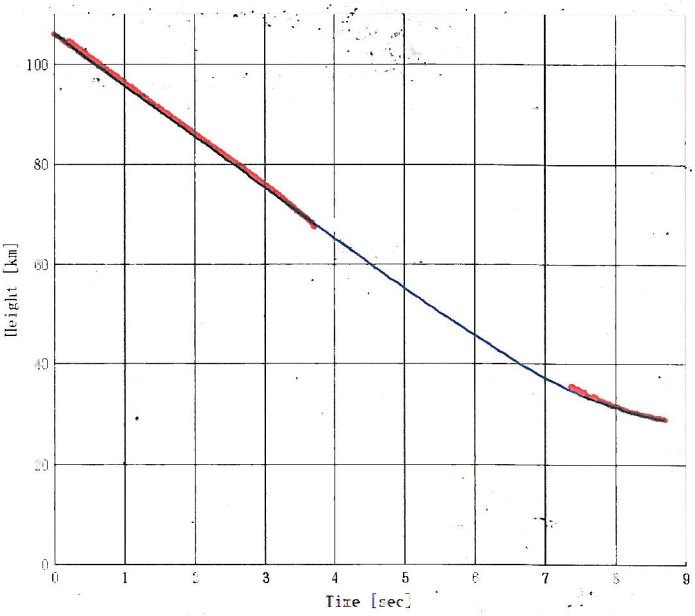


図２４ 20130120_0243 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

◆ 20130214_010435(市貝町火球)

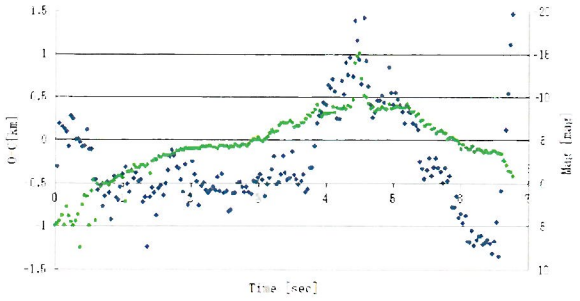


図２５ 20130214_010435 の発光点からの飛行距離の O-C（青）と光度変化(緑)

顕著な爆発が見られた火球である。5.25 秒付近が爆発点で速度が急減した。その後、前後に広がるように多数の破片に分裂したことが認められる。経路末端でグラフが折れ曲がるのは、分裂の影響で正確な位置が測定できなかったことも関与しているだろう。

時間－高度の関係を計算で再現するのは困難である。爆発や分裂による測定誤差がある事に加え、顕著な分裂に伴う測定誤差によってモデル計算は観測値と合致しない。

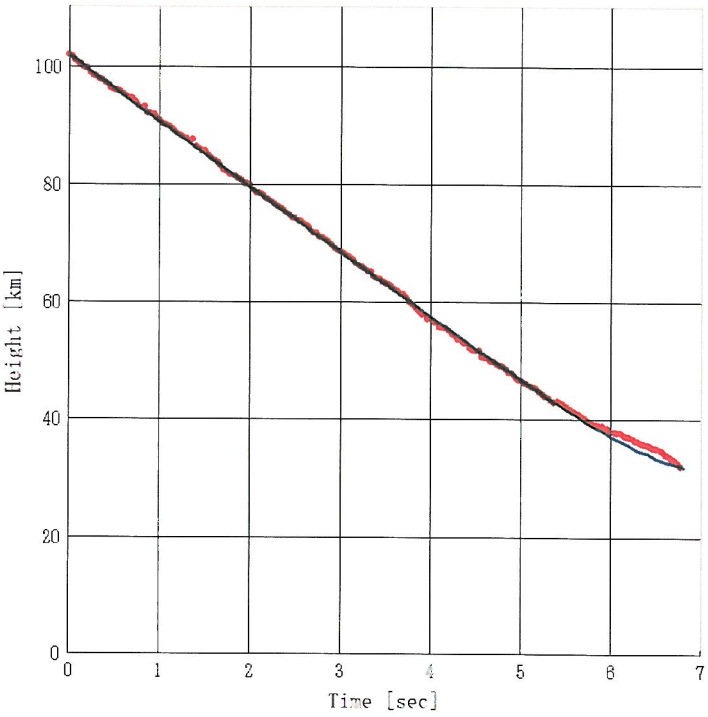


図２６ 20130214_010435 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

◆ 20131011_214739(天龍村火球)

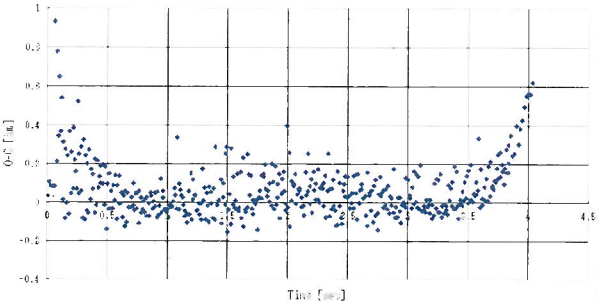


図２７ 20131011_214739 の発光点からの飛行距離の O-C

動画を確認できていないので映像上の分裂は不明である。

飛行距離のＯ－Ｃで発光点側が跳ね上がっているのは、経路初期値の観測誤差による。また経路末端では加速側に曲がっているが、これも誤差の可能性が高い。それ以外に急激な速度変化を示す特徴は無い。

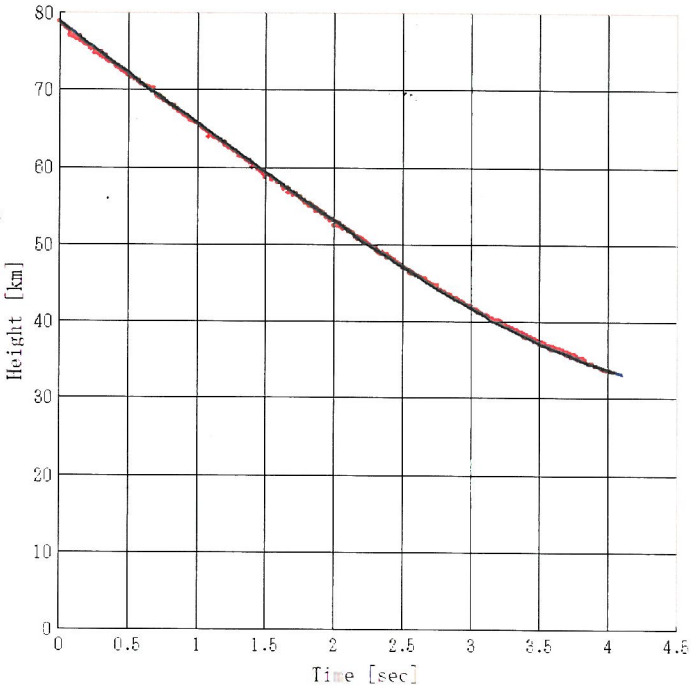


図２８ 20131011_214739 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

熱輸達係数は小さく、抵抗係数は大きくしなければ時間－高度の関係を再現しにくい。これはいくつかの低速火球で見られる、分裂のほとんど見られない火球の特徴である。指数関数近似による時間－高度の関係で、観測より計算がわずかに速く低下する傾向がこの例を含めいくつかの火球で見られる。これは、指数関数近似では重力加速の影響が考慮されていないための誤差と思われる。真の初速は，指数関数近似の解より少し速いと見るべきだ。

◆ 20131030_202238(会津美里火球)

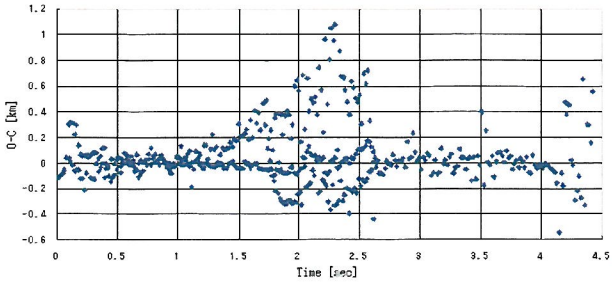


図２９ 20131030_202238 の発光点からの飛行距離の O-C

この火球の動画は経路途中までで、さらに観測精度も良くない。時間－高度の関係で観測が複数の線となっているのは、３点での観測結果の不一致である。経路末端が不明なため、外挿による精度不足で隕石落下予報の精度はあまりに低い。また、破砕についても推定困難である。観測末端での奇妙な挙動も誤差の可能性が高い。

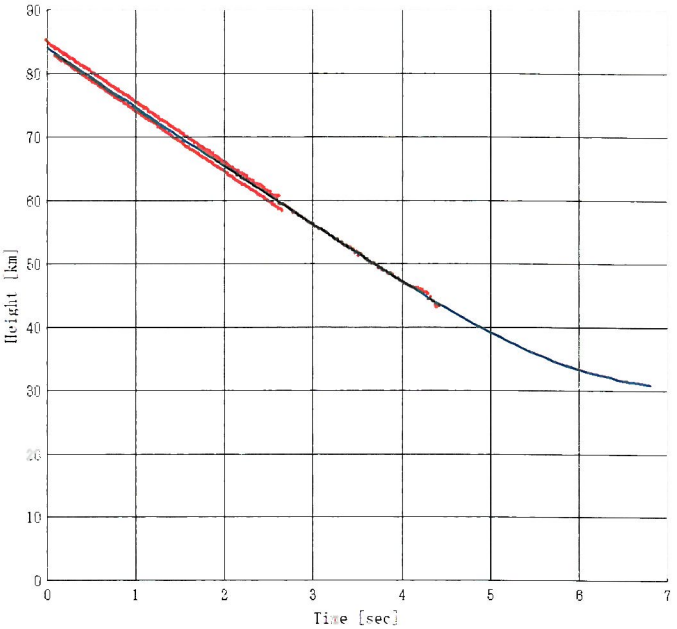


図３０ 20131030_202238 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

◆ 20131213_183647(甲斐南部火球)

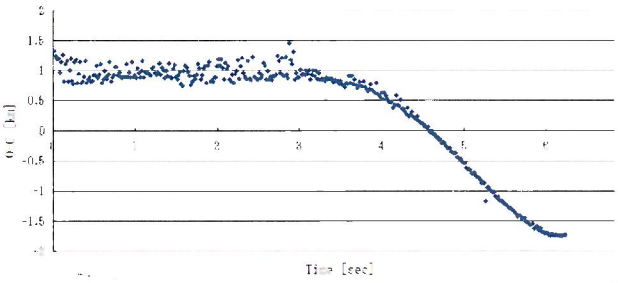


図３１ 20131213_183647 の発光点からの飛行距離の O-C

速度を指数関数でうまく近似できない。しかし、時間－高度の関係は、観測と計算が良く一致する。この計算ではやや大きな抵抗係数を使っている。能率良く大気減速が効き、経路後半でのアブレーションが抑えられたと思われる。光度変化も、経路後半は穏やかに減光している。

経路前半では、小破片が剥離するような分裂がいくらか生じていたかもしれないが、経路後半は穏やかな飛行で，小隕石が落下したと思われる。

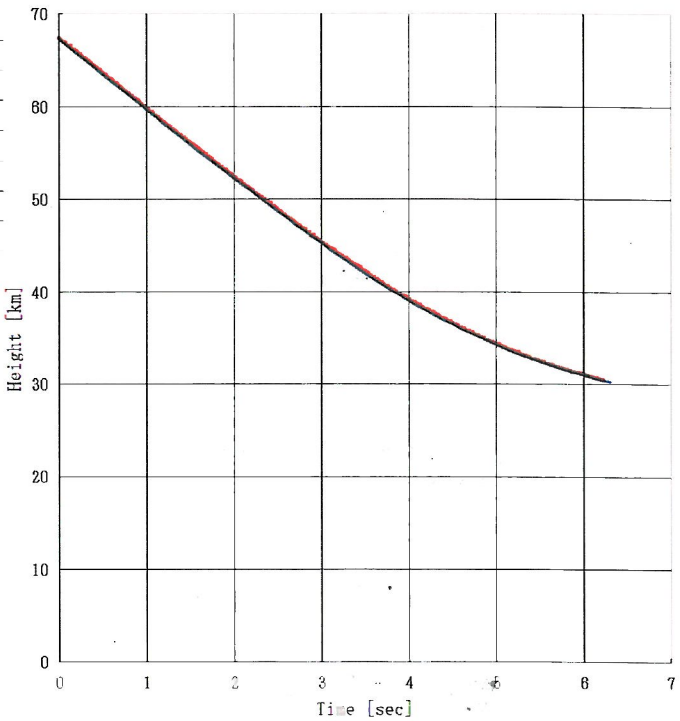


図３２ 20131213_183647 の時間と地上高度の関係
赤が観測、青が計算

◆ 20140308_011427

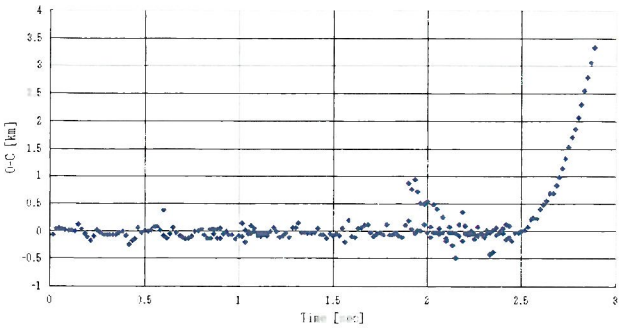


図３３ 20140308_011427 の発光点からの飛行距離の O-C

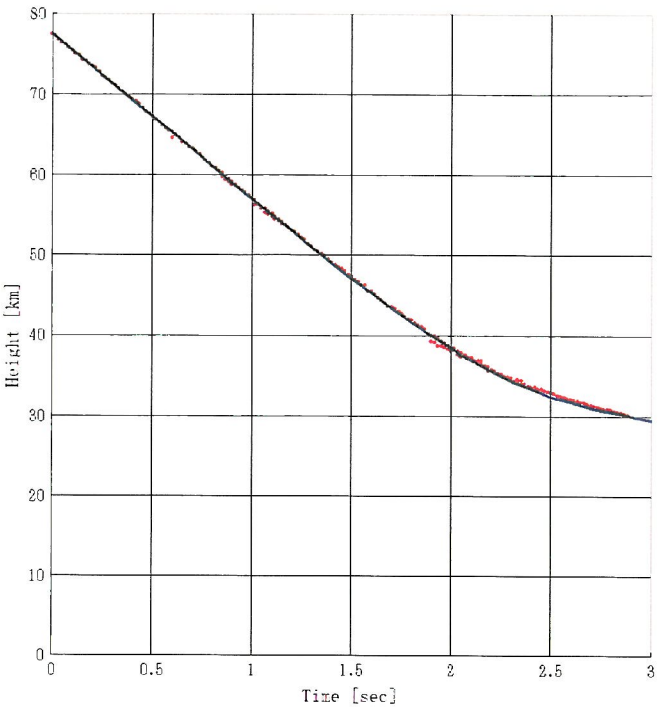


図３４ 20140308_011427 の時間と地上高度の関係 赤が観測、青が計算

光跡は分裂を認めないが、急増光が維持されたような光度変化である。

速度はうまく指数関数近似できず、2.5 秒後（高度 32km）付近で O-C の図上では加速したように見える。この見かけの加速は指数関数近似の理論的限界による不適合である。

時間－高度の図では、1.9 秒付近で変化の傾向が変わっている。この付近でやや多量の質量が放出された可能性もある。ただし、観測誤差の影響も排除できない。つまり、増光付近で精度良い位置測定が困難になった可能性もある。なお、シミュレーションでは抵抗係数が 1.0 ではうまく近似できず、かなり大きな値を採った。これは、経路末端で空気抵抗が急減したためと推定する。急減の原因はアブレーションによるのか、飛行姿勢の変化だろう。

◆ 20140318_200612

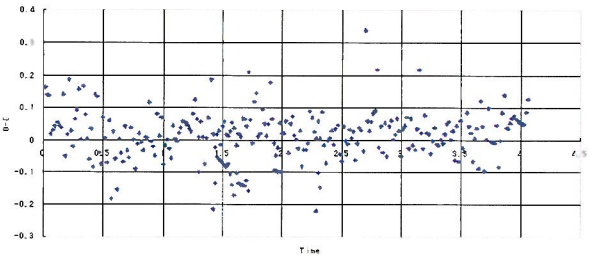


図３５ 20140318_200612 の発光点からの飛行距離の O-C

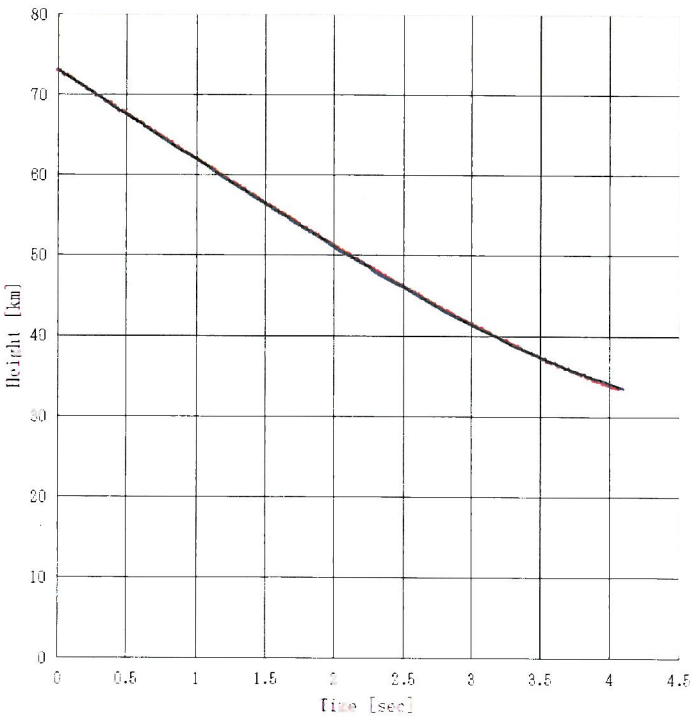


図３６ 20140318_200612 の時間と地上高度の関係 赤が観測、青が計算

飛行距離のＯ－Ｃは観測精度が良かったことを示唆すると共に、急激な速度変化は認められない。

観測された時間－高度の関係は、あまりにも小さい熱輸達係数を使っても再現できない。つまり、突入質量より落下質量が大きくなければならないという関係である。これを合理的に説明できるのは、経路末端近くで抵抗係数が減少したため、減速が効かなくなったというシナリオである。抵抗係数の減少はアブレーションによるか、隕石物質の飛行姿勢の変化のどちらかである。

総合的に見て、この火球に明確な破砕を認める証拠は無い。

３．議論

飛行距離のＯ－Ｃの図、時間－地上高度の図から、特徴的な速度変化を読み取って破砕の起きた時間や破砕の様子を推定できるケースはあるらしい。ただ、現状の小型高感度ＴＶカメラによる観測では観測誤差レベルと近く、破砕による速度変化を読み取ることができない場合も多い。また、破砕による増光があった場合、いっそう映像測定が困難で誤差が拡大する。この影響を排除することは更に困難である。しかし、ハイビジョン観測など観測の高精度化が普及するなら、相当多くの例で破砕による速度変化を読み取る解析が可能になるだろう。

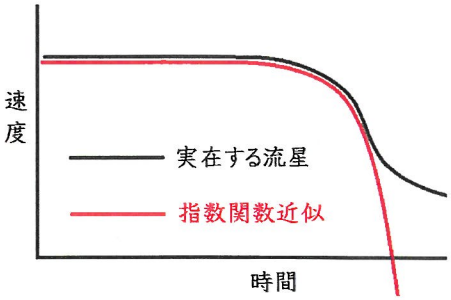


図３７　指数関数近似の問題

流星速度の指数関数近似は、高精度の流星速度決定のためによく使われる優秀な方法だが、次の２点で課題を残す。一つは特に低空まで達し、終端速度が遅い火球ではその末端での速度が再現できない（図３８）。もう一つは、重力による加速である。ここで計算したいくつかの例で、指数関数近似による初速を採用してシミュレーションしたところ、観測よりやや速く落下する傾向が見られる。その速度変化は重力加速による差である。ただし、この差はごく少なく、現在の小型 TV カメラの観測では検出限界に近い。しかし、今後解像度の高い観測が普及すると,それに対応した改良された近似式が必要になるだろう。

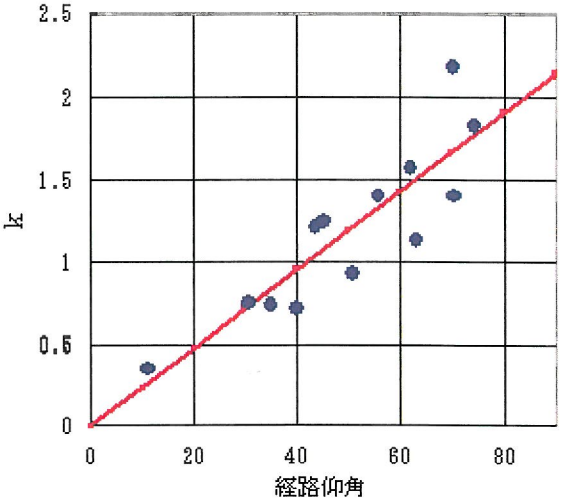


図３８　流星速度の指数関数近似定数 "k"と経路仰角の相関

ところで、流星速度の指数関数近似を行ったとき、流星経路の仰角と定数ｋの間に相関があることがわかった。図３８のような比例の関係である。比例定数は次の通りである。

k=0.021h　　（h ：deg）

なお、経路仰角と定数ｃには相関は全く見られない。

【謝辞】

この研究は、SonotaCo Network による観測データを基礎としている。日々観測を続け、解析の手間を取るネットワークメンバーの努力の結果を使わせていただいている。また、観測、解析ソフトの提供やネットワーク運営を続けておられる SonotaCo 氏の努力も背景にある。これら諸氏へ感謝する。また、上田昌良氏の軌道計算の結果が無ければ、詳細な速度検討ができなかった。特に上田氏には感謝する。

【文献】

Babadzhanov, P. B.; Obrubov, Iu. V. Komety, i Meteory, no. 27, 1980, p. 51-56. In Russian, "Computer-aided determination of meteor velocities and drags from photographic observations"

司馬康生、上田昌良、2010.7.31 富山流星会議 「新しい流星の速度決定法」

長沢工、星の手帳,1980 冬号 p.118-

ふたご座流星群

***2014/7/20*　あづみの流星会議**
日本流星研究会　小関正広

１．はじめに

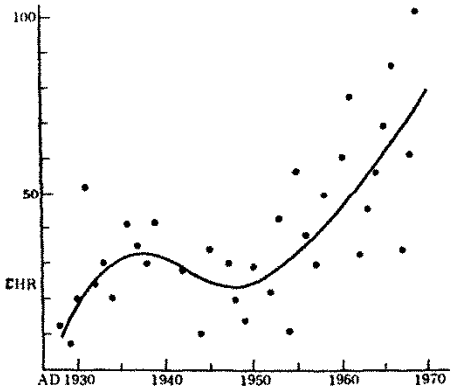
この流星会議で「ふたご群」をテーマに取り上げようということになったきっかけは、昨夏、長谷川先生が紹介された観測・研究である。

(1) 3200 Phaethon (1983 TB)の「尾」が 2009 年と 2012 年に観測された。

(2) Ryabova が 2014 年に放出された流星物質が地球軌道に接近すると推算した。

２．ふたご座流星群の観測史

1862 年に初めて観測されたとすることが一般的である。19 世紀では極大時において HR<20 程度であったようである。それ以前の記録についてはっきりしたことは分からないが、出現数が少なかったことは想定できる。右図は藪さんが日本の眼視観測からまとめられたものだが、出現数が増加している様子が明らかである。



写真観測の登場によって、ふたご群の軌道が特異なものであることが明らかとされた。さらに、電波観測によって、昼間ろくぶんぎ群がふたご群に関連する可能性が指摘されるようになった。

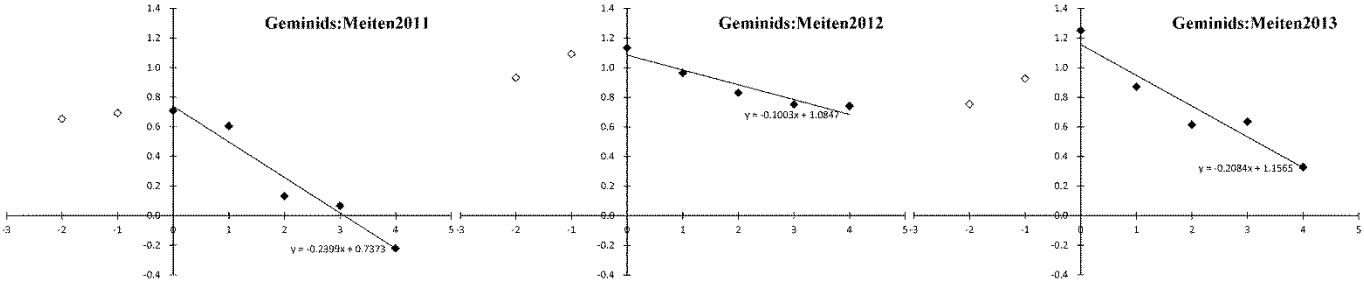
1983 年に IRAS 衛星によって発見された小惑星が Whipple によって、ふたご群の母天体と指摘され、Phaethon の名が与えられた。

現在、計算機・技術の発達によって、昼間ろくぶんぎ群は 2005 UD という別の母天体が想定されるようになったが、これらはいずれも 3200 Phaethon (1983 TB)から分離したものと推測されている。

３．ふたご座流星群の観測

トレイル理論によって、ふたご群の過去も未来も分かったとすれば、今さら何を観測するのかという疑問を持つ人もいるであろう。しかし、分かっていることはまだ一部に過ぎない。その一端を紹介することを本稿の目的としよう。

２月に行われたＭＳＳで明大天文部によるふたご群の眼視観測を取り上げた。その際に示したグラフが下図の右端である。３枚の図は、ふたご群／散在流星の比を対数で示したものである。散在流星数とふたご群の流星数がともに流星の光度によって指数関数的に変化するならば、このグラフは直線的なものとなるはずである。２月の観測指針でも説明したが、流星群の光度比を求める方法の一つでもある。



このグラフを用意した当初は、マイナス等級の部分（◇）は流星数が少ないための誤差（光度見積もり、群判定等）によるものと考えていた。しかし、ＮＭＳ同報に報告されている明大天文部の観測を過去にさかのぼって調べると、毎年、同じ傾向が見られることに気付いた。上図の左と中央のグラフである。

手元には使えるだけの数がある群流星と散在流星の光度分布を他に見つけられなかったので、眼視観測ではなく、SonotaCo ネットのビデオ観測を用いてチェックすることにした。群流星と散在流星の視認率（捕捉率）が等しければ、眼視観測でなくても、群流星／散在流星の比は光度の等比級数になるはずである。試みにペルセウス群／８月の散在流星の比を次ページに示す。なお、群判定は SonotaCo ネットによるものである。

「群流星と散在流星は光度の等比級数としてあらわされる」、「群流星と散在流星の補足率は等しい」という仮定が十分成り立っていることが分かる。グラフが上下するのは、年によって群流星または散在流星の絶対数が異なっているためである。また、グラフの両端で直線から外れる年があるのは、明るい流星は少数であり、暗い流星の捕捉率が低く、得られる流星数がこれまた少ないことによると考えられる。

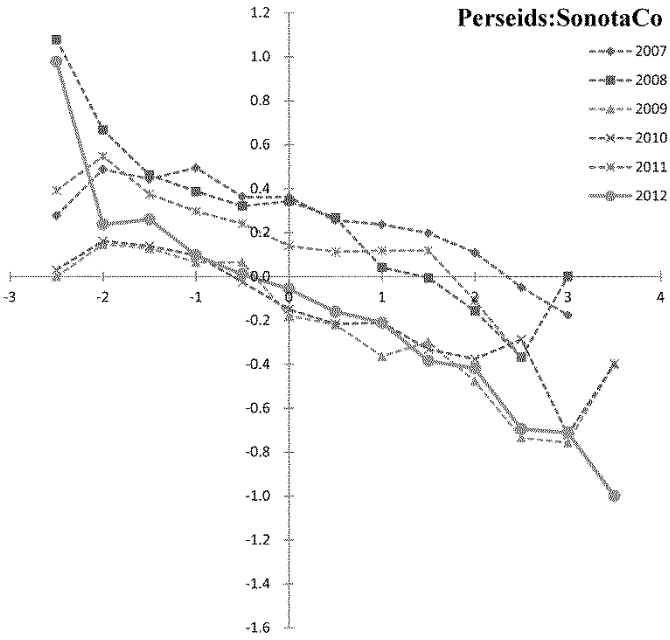
ここで、両端を除外せずに 2012 年のグラフについて近似直線を求めると、$-0.2517m-0.0325$ であり、散在流星の光度比を 3.5 と仮定すると、2012 年のペルセウス群の光度比は 1.96 と求められる。

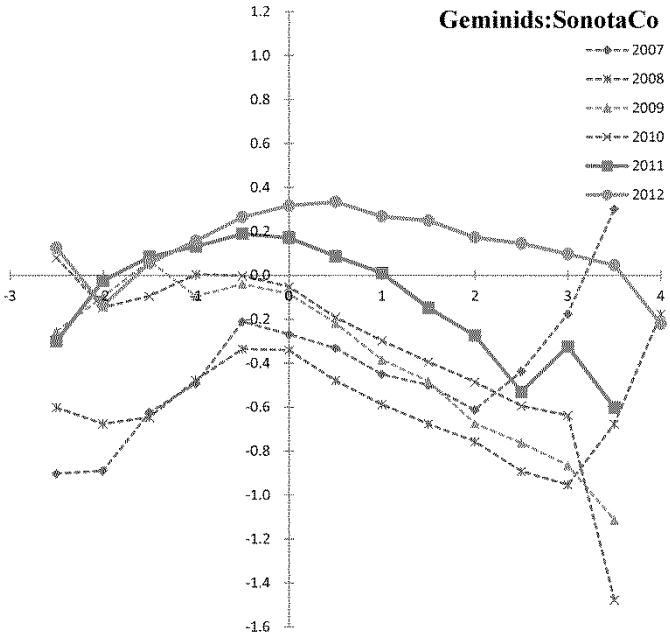
この手法がビデオ観測でも十分機能することを確認したうえで、ふたご群の流星について同様に SonotaCo ネットのデータを用いて調べてみると、非常に興味深いことが分かった。ふたご群の光度分布は明大天文部の観測同様、0 等よりも明るい部分で折れ曲がっていることが確認される。このグラフで左下がりになるということは、散在流星よりも光度比が大きいことを意味する。つまり、ふたご群の流星では明るい流星の割合が散

在よりも少ないということになる。2012 年の観測を極値となる 0.5 等で二分して光度比を求めると、m<0.5 で r=4.66、m>0.5 で r=2.59 となる。仮に 0 等の流星が 100 個見えたときにそれより明るい流星の数がどう変化するかを示すと次のようになる。

m	r=2.59	r=4.66	ペルセ	散在	r=2.17
0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
-1	38.6	21.5	51.0	28.6	46.1
-2	14.9	4.6	26.0	8.2	21.2
-3	5.8	1.0	13.3	2.3	9.8
-4	2.2	0.2	6.8	0.7	4.5

ペルセウス群については先ほどの r=1.96、散在については仮定に用いている r=3.5 をあてはめている。明大天文部の 2013 年の観測で m=0-4 の範囲で r=2.17 という値が得られているが、SonotaCo ネットの 2011 年の観測でも r=2.11 になる。明大の値をもとに計算した数字を最終列に示す。ペルセウス群と散在については実感にかなりあっていると思われる。ふたご群について r=2.59 という数値は過大であり、実感という漠然としたものではあるが、m<0 において r=4.66 という数値は適切なのではないだろうか。「ふたご群に明るい流星は少ない」というのは、ふたご群の光度分布が単一の指数関数ではなく、0 等付近を境に屈曲していることによるものだったといえる。





２月のＭＳＳで、「続きは流星会議で」と話したのは、光度分布の 0 等級での屈曲が実在するものらしいと気付き、確認して流星会議での発表につなげる意図であった。明大天文部の眼視観測を集約することがなければ、このことに注意を向けることはなかったろう。最近では、眼視観測が減少し、団体の観測報告は稀になっている。しかも、経験の浅い者が混在する報告は価値が一段低く見られがちである。しかし、このように重要な現象を見出すことのできる宝の山ということを忘れてはならない。はるか以前に観測経験ゼロの高校生たちのしぶんぎ群の観測をマル東で報告したことがある。そのときにも、「扱い方によっては、データ数の多い学生の団体観測は有用である」ことを述べた。2011 年のＭＳＳで報告しているが、明大天文部のペルセウス群の光度分布は SonotaCo ネットのもの同様に単一の指数関数を示唆していたことを補足する。

４．まとめ

ふたご座流星群の観測が今後も必要であることは、明大天文部の観測だけでなく、内山さん、戸田さんの研究からも明らかである。流星体の空間分布の違い・変化、また、流星体それ自体の物理的特性などを探求することにより、Phaethon 本体の性質についての問題（死んだ彗星なのか、特異な小惑星なのか）にも解決の糸口が与えられるであろう。

５．終わりに

Jenniskens は Jones と Hawkes の計算を基に、ふたご群は 2050 年頃に ZHR=190 というピークを迎えると推定している。しかし、以前には Plavec の計算によって 20 世紀にふたご群はピークを迎え、21 世紀には消滅すると言われていた。このように、現在の流星群の構造モデル（トレイル理論等）は流星物質の放出等にかなりの仮定が入っている。最近では、209P/LINEAR から「きりん群」が出現すると予報されたが、貧弱な出現に終わった。これも彗星からの流星物質放出が仮定よりはるかに少なかったことによる。

トレイル理論は観測事実に合わせるよう、仮定を修正しながら、よりよい予測になるよう変更を重ねていかねばならない宿命を持つ。流星物質の放出現場を観測できていないのだから当然である。今年のふたご群がどのような振る舞いをするのか、Ryabova の予想を確かめるのは観測しかない。半径~1μm の粒子が~3×10^5 kg. 放出されたと推定されているが、3200 Phaethon (1983 TB)の質量は~2×10^{14}kg、ふたご群を構成する流星物質は総量が 10^{12}~10^{13}kg と考えられている。2009 年と 2012 年に観測されたレベルの放出だけでふたご群が形成されたわけではない。ふたご群の観測結果によって、これらの<推測>の当否を確かめることができる。

超高感度デジタルカメラによる流星痕観測数の考察
ーふたご座流星群の観測からー

○戸田雅之(日本流星研究会 流星痕同時観測チーム)

概略:

・毎年12月14日頃に極大を迎えるふたご座流星群は、眼視観測で流星痕の有痕率が少ないことが知られている。しかし、超高感度デジタル一眼レフカメラでは多くの流星痕が観測されている。

・ニコンD3によるふたご座流星群の流星痕観測を紹介し、デジタルカメラ観測と眼視観測との流星痕数の違いを考察する。

	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)
ふたご座流星群 (2013):	35	49%	(47 / 96)

観測:

観測日時:2013 年12月14日03h23m52s(JST)から
14日05h39m59sまで.
観測地 :山梨県北杜市大泉町西出井
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 (0.77 秒).
インターバル:0.23秒.
色温度:5560K
撮影枚数:6,934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:

今回も取得した6,934画像を全て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。内訳は以下の通り。

全流星:117個.
ふたご座流星群の流星:96個.
ふたご座流星群の流星起源の流星痕:47個.
(短痕:38個、永続流星痕:9個)
散在流星:22個
散在流星起源の流星痕:15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。

流星と流星痕の出現数と流星の光度分布:

2010. Dec. 14/15

JST	UT	Gem.	Shwr	Train	Spo.	Train
15d	14d					
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	0	1	0	0	0
Spo	0	1	1	0	1	1	2	2	4	6	0	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	0	1	2	2	7	4	11	11	0	2	0

流星と流星痕の出現数と流星の光度分布:

2013. Dec. 13/14

JST	UT	Gem.	Shwr	Train	Spo.	Train
14d	13d					
3	18		14*	2*	2*	0*
4	19		45	20	10	8
5	20		36*	21*	10*	7*

	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
Gem	0	3	2	3	8	8	3	11	12	23	17	5	0
Tr	0	3	2	1	6	6	2	2	2	4	6	1	0
Spo	0	1	0	0	0	3	2	0	0	5	8	3	0
Tr	0	1	0	0	0	3	1	0	2	3	3	0	0

*印は正味60分の出現数ではない。

有痕率:

有痕率 ＝ (流星痕出現数 ／ 流星出現数)

Year	%	Train / Meteor	Method	author
1990	3.5	80 / 2318	NE	S. J. Evans and N. M. Bone(1993)
1991	1.8	21 / 1167	NE	S. J. Evans and N. M. Bone(1993)
1993	5.4	149 / 2763	NE	S. J. Evans and N. M. Bone(1996)
1996	4.0	101 / 2543	NE	S. J. Evans and N. M. Bone(2001)
1999	3.7	56 / 1510	NE	M. N. Bone(2005)
2000	3.6	101 / 2839	NE	N. Bone(2007)
2012	2.8	14 / 501	NE	Fuchu Astron. Soc. (2013)
2010	12	12 / 99	DC	2013流星会議
2012	67	110 / 173	DC	2013流星会議
2013	48	47 / 96	DC	本発表

デジタルカメラによる流星痕観測数が多い

有痕率 ＝ (流星痕出現数 ／ 流星出現数)

2010年 12% 12個 ／ 99個

2012年 67% 110個 ／ 173個

2013年 48% 47個 ／ 96個

なぜ観測数が多いのか？

・観測条件の違いは？

・眼視観測の有痕率と比較して、なぜデジタルカメラの有痕率が多いか？

・デジタルカメラの有痕率の変動が大きいのはなぜか？

観測条件の違い

変わらない

カメラ：ニコンD3
レンズ：28mm F1.4
絞り ：F1.4
ISO ：25,600

異なるもの

観測地：高知県香美市、長野県上松、山梨県北杜市
透明度：香美市3／5、上松5／5、北杜市4／5
シャッタースピード：1秒(2010)、0.77秒(2012～)
カラーバランス：晴天(2010)、5560K(2012～)

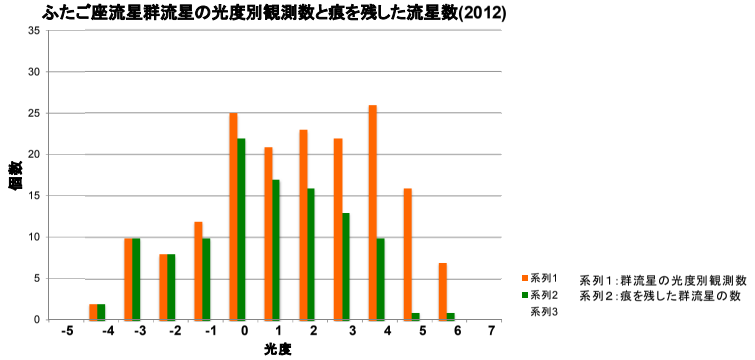
なぜデジタルカメラの有痕率が多いか？

高感度特性が大きく貢献。
・眼視観測では捉えにくい暗い流星に伴う暗い流星痕
・1秒以内に消失する流星痕（＝短痕）
・流星発光中に出現する流星の尾
…も撮影している。

デジタルカメラでは見逃しが発生しない。
大量の撮影済画像を1コマずつ確認が大変。。。

ふたご群流星の光度分布

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

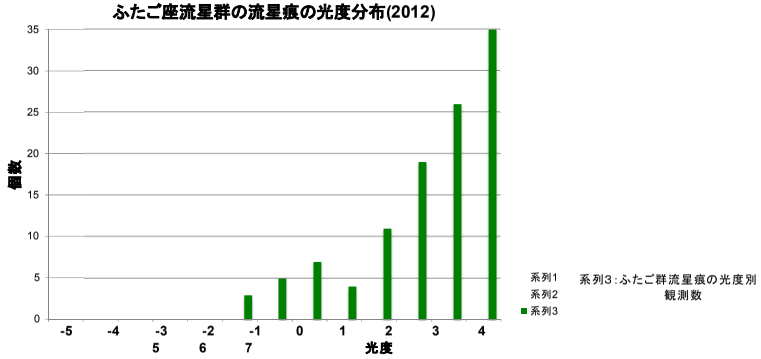


METRO/NMS　あずみの流星会議 2014. 7.20

ふたご群流星痕の光度分布

流星痕の光度:

流星出現後の次のコマで写った痕の最も明るい光度を用いた



METRO/NMS　あずみの流星会議 2014. 7.20

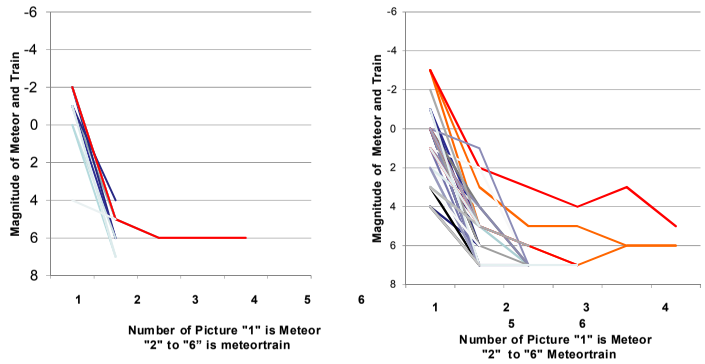
継続時間の長いふたご群流星痕(2010,2012)

年月日	母流星出現時刻(±0.5s)	母流星光度	コマ数	痕光度(最初の10駒)	出現星座	写真
					Gem	1
20101215	045838	-2mag	4コマ	5,6,6,6.		
					Per	
20121214	003837	0mag	4コマ	4,6,6,6.	Aur	
	011305	-4mag	9コマ	0,5,6,6,6,6,7,7,6.	Leo	
	021351	-4mag	25コマ	3,6,7,7,6,6,7,7,6,6…	Aur	
	021536	-2mag	4コマ	0,6,6,7.	Gem	
	021839	-2mag	5コマ	4,6,7,7,7.	Lyn	
	023331	-5mag	5コマ	6,7,6,7,6.	Lyn	
	023448	-3mag	4コマ	6,7,7,6.	Gem	
	025300	-3mag	11コマ	4,5,6,6,6,7,7,6,7,7…	Lyn	2
	030801	-4mag	55コマ	1,1,2,2,3,3,3,2,3,3…	Lyn	
	033354	-3mag	8コマ	5,6,7,7,7,7,6,7.	Lyn	
	035642	-3mag	8コマ	5,6,7,6,6,5,5,5.	Aur	3
	040443	-3mag*	45コマ	3,5,5,6,6,6,6,6,7,7…	Gem	4
	041924	-3mag	22コマ	2,3,4,3,5,5,3,4,4,4…		

METRO/NMS　あずみの流星会議 2014. 7.20

流星痕の光度と時間変化

2010. Dec. 14/15　　2012. Dec. 13/14



METRO/NMS　あずみの流星会議 2014. 7.20

継続時間の長いふたご群流星痕(2013)

年月日	母流星出現時刻(±0.5s)	母流星光度	コマ数	痕光度(最初の10駒)
20131214	043549	-1mag	5コマ	5,6,7,6,7.
	043923	-1mag	13コマ	5,6,6,7,7,7,7,7,7,7…
	045923	-3mag	4コマ	3,6,7,7.
	050331	0mag	4コマ	7,7,7,7.
	050432	-3mag	30コマ	3,4,4,4,4,4,4,4,4,4…
	051314	-1mag	4コマ	4,7,7,7.
	051830	-4mag	16コマ	7,6,7,7,7,6,6,6,7,6…
	053412	-4mag	8コマ	5,7,7,7,7,7,7,7

デジカメ観測の有痕率が大きいのは？

透明度？

→たとえば2010年高知県香美市(標高4m)と2012年長野県上松(標高1200m)とはバックグラウンドの濃さが異なる

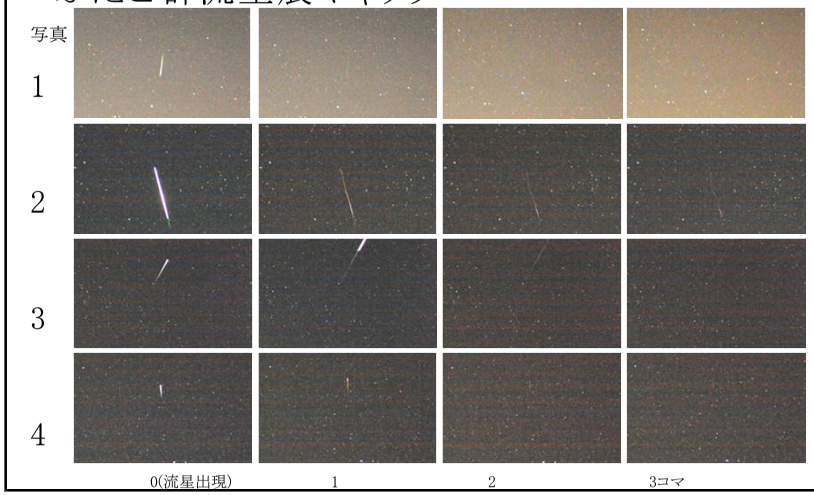
→透明度だけでこんなに有痕率が異なる？

→マイナス3等級・4等級の流星は2010年には観測れていない。

流星物質？

→流星物質の変化を反映・・・というのはあり得るか？

ふたご群流星痕ギャラリー



まとめ

・ふたご座流星群の有痕率が眼視観測と比べ、デジタルカメラ観測のそれは1桁多いのは、

(1)超高感度性能

(2)デジカメ観測では流星と流星痕の見落としが少ない

(3)眼視では捉えにくい暗い流星起源の暗い流星痕も観測

(4)流星発光中に出現している流星の尾もカウントしている？

(5)流星痕有痕率の変動の理由が不明

・今後もデジカメ観測に流星痕観測を継続する。

おしまい

流星輻射点ノ予報計算法　　あづみの流星会議（2014年9月20-21日）

長谷川 一郎

§1 ハジメニ

彗星ノ軌道要素カラ流星ノ輻射点ヲ予報シタモノニ Splender of the Heaven ニアル Denning ノモノヤ，M.Davidson（MNRAS, 80, 739 (1920)）ガアリ，計算法ハ，J.G. Porter ノ Comets and Meteor Streams (1952) ナドガアル，シカシ P/Halley ノ昇交点ノ日心距離（r_{Ω}）ハ 1.8 au デ地球軌道トハ交差シナイノデ Orionids ト P/Halley ノ関係ヲ疑ッテイテ，彼ノ表カラ除イテイタ．1950年代ニハマダコノ種ノ問題ノ理解ハ不充分デアッタ．

私ハ彗星ト地球ノ軌道間隔ガ 0.2 au ヨリ小サイ場合ニハ，流星出現ノ可能性ハアルト仮定シテ，全テノ彗星ニツイテ予想サレル流星輻射点ヲ計算シタ，コレデハ流星ハ交点デ彗星軌道ノ切線ニ平行シテ運動シテイルト仮定シタ．当時中学2年生デアッタ河野健三サン（後ニ明石天文科学館館長）ガ計算ヲ手伝ッテクレテ，Paris ノ天体物理学研究所ノ Roger Rigollet 氏ノ好意デ，同所ノ Documentation des Observateurs ニ掲載シテモラッタ（1958）．コレニハ個々ノ人々ニヨル予報ヲ付記シテ，General Index List ト題シ，後ニ小関正広サンガ複写シテ配布シテクレ，B.Lindblad サンガコノ List ヲ評価シテクレタコトモアッタ．

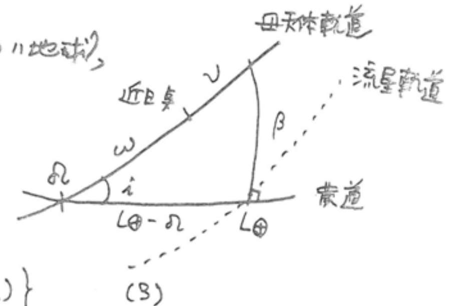
§2. 輻射点ノ予報

トコロデ P/Halley ト Orionids ノ場合ハ，コノ流星ハ，彗星ノ軌道ガ地球ノ軌道ト交差シテイル所デ出現シテイルノデアル．従ッテ彗星軌道上ノアル点ノ日心距離ガ地球ノ日心距離ト同ジニナリ（$r_E = r_{\oplus}$），シカモソノ点ガ黄道面ニアル（$\beta_E = 0°$）コトガ流星出現ノ条件トナル，デアルカラコノ条件ヲ満足スル様ニ母天体ノ軌道ヲ改変スル必要ガアリ，母天体ノ近日点距離（q）ト離心率（e）ハ変エナイデ，（1）近日点引数（ω）ヲ変エルカ，マタハ（2）q ヲ変エル方法ガ考エラレル（PASJ 42, 175-180, (1990)）．

日心距離（r）ハ真近点離角ヲ v トスルト　$r = a(1-e^2)/(1+e\cos v)$　(1)

デアルカラ，ハジメハ $r=1$ トシテ v ヲ求メル．次ニ（$\oplus$ ハ地球），

$$\left.\begin{aligned} \cos\beta\cos(L_{\oplus}-\Omega) &= \cos(\omega+v) \\ \cos\beta\sin(L_{\oplus}-\Omega) &= \sin(\omega+v)\cos i \\ \sin\beta &= \sin(\omega+v)\sin i \end{aligned}\right\} \quad (2)$$



ニヨッテ $L_{\oplus}$ ヲ求メ，コノ $L_{\oplus}$ ヲ用イテ

$$r = 0.99972/\{1+0.01672\cos(L_{\oplus}-102.°92)\} \quad (3)$$

ニヨッテ新シイ r ヲ求メル．コノ r ヲ用イテ，(1), (2) ト (3) ヲクリカエシ計算シテ更ニ新シイ r ヲ求メル，同ジ r ノ値ヲ得ルマデ，コノクリカエシヲ行ウ．102.°92 ハ（2000.0）分点ニヨル値デアル

流星ノ元ニ（′）ヲツケルコトニスル，

流星ノ

昇交点出現： $\omega' = -v$, $\Omega' = L_\oplus$

降交点出現： $\omega' = 180° - v$, $\Omega' = L_\oplus + 180°$ } (4)

マタ $\sin i' = \sin i \cos(L_\oplus - \Omega)$, (5)

ココデ i' ノ象限ニ注意スルコト。

次ニ輻射点ノ計算デアルガ長クナルノデココデハ省略スル。私ノ PASJ(1990) ノ p.183 ノ (A7) 以下ヲ参照サレタイ。ナオ (A8) ノ 2000.0 分点ニヨル $\dot{z}$ ハ $+0.433553\,\dot{y}$ デアル。(コノ係数ハ $\tan\varepsilon_{2000}$ デアル)。「天文計算入門」(2007) ノ p.232 §49 参照。

§3 計算例 (2000.0分点)

天体	q	e	ω	Ω	i	$L_\odot$	α	δ	V_G(km/s)
母天体 Comet Swift-Tuttle	0.96264	0.96043	152°.77	138°.68	113°.56	—	—	—	—
予報	0.96264	0.96043	153.9	139.2	113.56	139°.0	44°.9	+57°.5	59
Perseids ノ観測値	0.934	0.920	148	139	113	139	+46	+58	60
(3200) Phaethon	0.13945	0.89031	321.7	265.0	22.05	—	—	—	—
予報	0.13945	0.89031	325.3	261.6	22.05	261.6	113.5	+31.8	34
Geminids ノ観測値	0.140	0.902	324.2	260.2	23.2	260	111	+32	37
Comet Mellish (1917I)	0.19019	0.99312	121.3	85.0	32.7				
予報	0.19019	0.99312	128.3	82.1	32.7	262.1	103	+9	41
Monocerotids ノ観測値	0.191	0.989	128.8	80.9	35.1	261	102.5	+8	4
Comet 西川・高野・多胡 (1987c)	0.86958	0.99575	200.4	175.3	172.4				
予報	0.8094	0.99575	231.3	206.0	172.4	206.0	102.7	+27.2	
ε Geminids ノ観測値	0.78	0.95	235	206	173	206	102	+27	1

近年の流星群におけるダスト・トレイル予報とその出現の状況

佐藤 幹哉（かわさき宙と緑の科学館）

2012年から2014年にかけて、地球にダスト・トレイルが接近した、あるいは今後接近する興味深い流星群について、その予報の状況や実際の出現状況について報告する。

1. みずがめ座η流星群 2013年

ハレー彗星（1P/Halley）を母天体とする流星群は、オリオン座流星群（昇交点）とみずがめ座η流星群（降交点）が存在する。オリオン座流星群は2006～2010年に活発化したが、これらはダスト・トレイルの接近によってもたらされたことを著者らが解明している（Sato & Watanabe 2007 、Sekhar & Asher 2014）。そこで、同様の方法をみずがめ座η流星群にも適用し、ダスト・トレイルの分布状況を調査した。

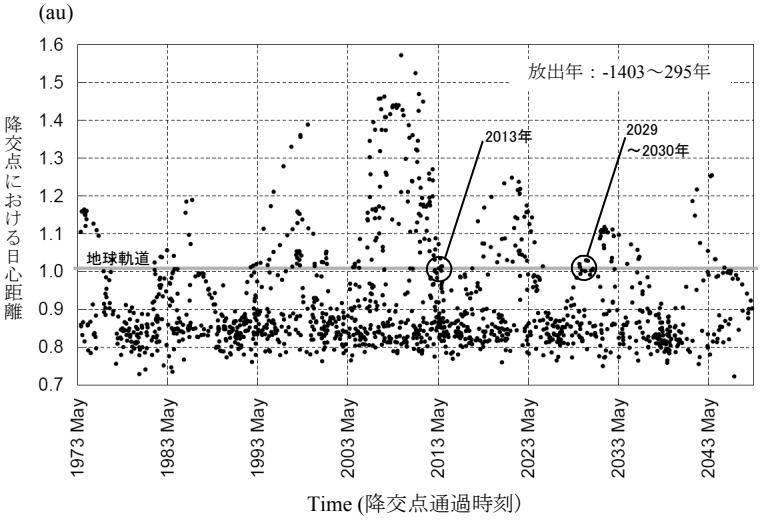


図1 ダストの分布状況

その結果、およそ3000年前に放出されたダストが形成するダスト・トレイルが、2013年に接近することが判明した。予想される極大時刻は、5月6日5時～22時（世界時、日本時では6日14時～7日7時）であったが、放出から3000年が経過しダストの分布はもう少し広がっている可能性があった。

実際に、眼視観測（図3）、および写真観測（図4）どちらにおいても、予想された極大時間帯の前後でみずがめ座η流星群の活発化が観測され、モデル計算が正しいことがうかがわれた。今後においては、2029年～2030年に活発化することが予想される。

表1 2013年のダスト・トレイルのデータ

放出年	極大予測時刻 Date (UT)	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

ΔR<0.005 au のダスト・トレイルを表示

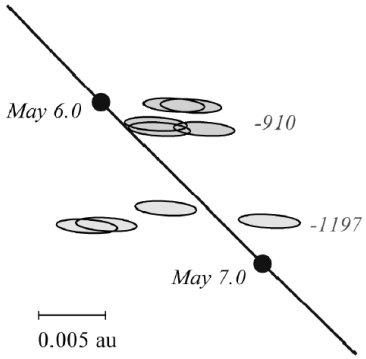
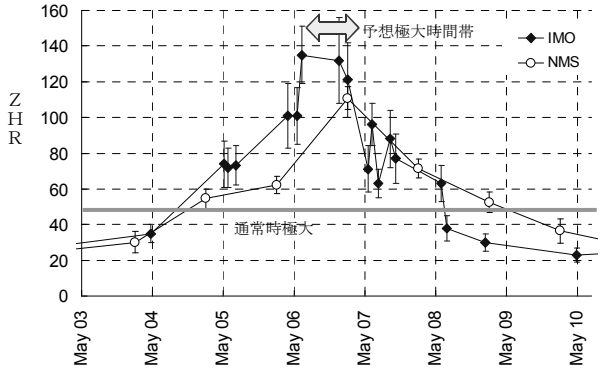
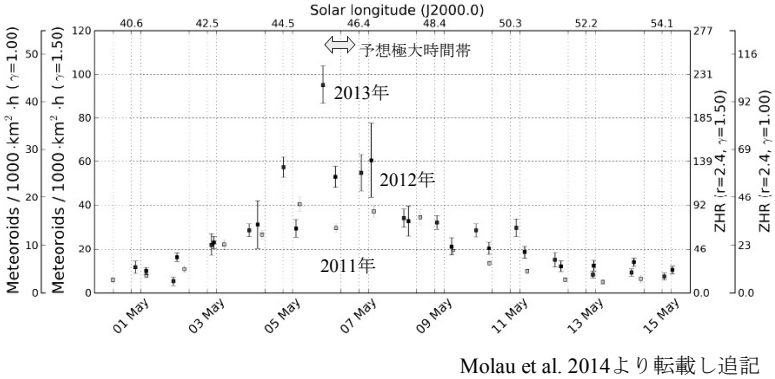


図2 ダスト・トレイルの分布



IMO : IMO 2013 (web), NMS : Uchiyama 2013 (web) より

図3 眼視観測の結果



Molau et al. 2014より転載し追記

図4 写真観測の結果

2. きりん座流星群 2014年

2004年に発見された新しい周期彗星・リニアー彗星(209P/LINEAR)を母天体とする流星群が予測された。先行研究により2014年にダスト・トレイルが接近することが判明し、全くの新しい流星群の出現が期待される状況であった。

計算結果を表2と図5にまとめた。19世紀初頭～20世紀初頭に放出され、形成されたダスト・トレイルがほぼすべて地球軌道に接近する。この状況から、5月24日6:30～8:00(世界時、日本時では15:30～17:00)を中心に、極大となることが予想された。

先行研究を含めた予報の状況を表3にまとめた。これによると、接近するダスト・トレイルや極大時刻に大差はないが、出現数では、マスロフ氏、ヴォバイヨン氏によってZHR数百規模が予想されていた。一方、著者は、今回のダスト・トレイルの分布が、1946年の10月りゅう座流星群(ジャコビニ群)の大出現の状況に類似していると考え、母天体からのダストの放出度合いの指標を彗星の標準等級で、ダスト・トレイルの濃度の指標をfM値で代表し、2014年のきりん群の出現状況を予測した(表4)。この結果、

表2 2014年のダスト・トレイルのデータ

トレイル放出年	期待される極大 日付 (UT)	時刻 (UT)	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)
1828	2014/05/24.28	06:36	62.832	+0.0010	+0.09	0.012	122.65	+79.19	16.18
…									
1858	2014/05/24.28	06:39	62.835	+0.00095	+0.16	0.022	122.65	+79.19	16.19
…									
1878	2014/05/24.28	06:47	62.840	+0.00080	+0.35	0.046	122.67	+79.18	16.19
…									
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

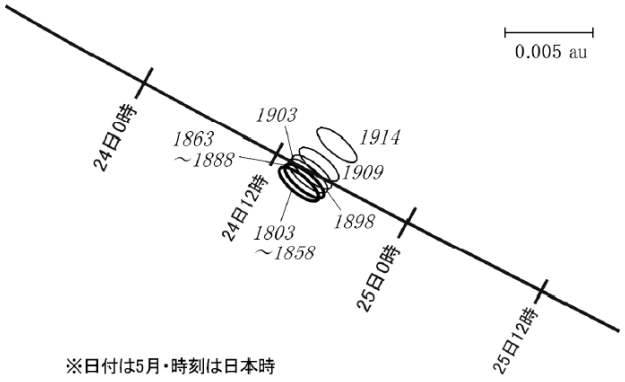


図5 ダスト・トレイルの分布

表3 各研究者による予報の概要

計算者	極大時刻(日本時)	ダスト・トレイル放出年	予想ZHR	出典
ライチネン	15時59分	1903	最も重要	1)
	16時15分	1909	最も重要	
	15時33分～16時49分	1818～1914		
マスロフ	16時18分	1898～1919	200～300	2)
	16時55分	1763～1783	50～150	
ヴォバイヨン	16時40分前後	1803～1924	100～400	3)
佐藤幹哉	15時36分～17時01分	1803～1914	15～30	

1) Jenniskens 2006, 2) Maslov 2014 (web), 3) IMCCE 2014 (web)

1946年のりゅう座群の出現に対して、ダストの放出として約230分の1、ダスト・トレイルの濃度として約3分の1であった。トータルでは約500～1000分の1が予想され、実際の出現数から推測すると、2014年のきりん座流星群の出現はZHRで10～30程度ではないかと予測された。

表4 1946年の10月りゅう座群との比較

	10月りゅう座群1946年	きりん群2014年	対りゅう座群
母天体からのダストの放出	21P/Giacobini-Zinner 標準等級: 10.5等	209P/LINEAR 標準等級: 16.4等	約230分の1
ダスト・トレイルの濃さ	fM値:(総計)約3.0	fM値:(総計) 約1.0	約3分の1
実際の出現数	ZHR:9,000～15,000	(予想ZHRとして) 10～30程度	約500～1000分の1

実際の観測結果を図6に示す。IMOによる眼視観測では、ZHR=20程度の極大が予報時間帯付近で観測された。また杉本氏集計のHROでは、これよりは若干多いZHR=40程度の極大が観測された。これらからきりん群の活動は、著者の予報に近い出現規模であったと考えられる。このことから、今回の流星の元になったダストを放出した過去においても、母天体は現在とほぼ同様の彗星活動をしていたことが推測された。

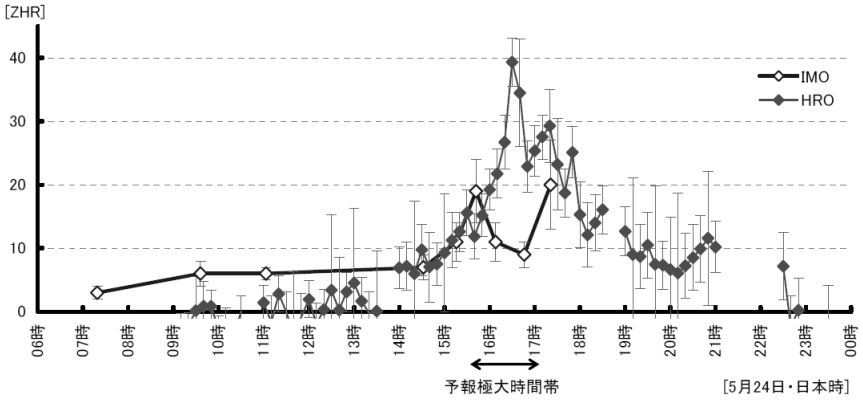


図6 観測の集計結果

IMO : IMO 2014 (web), HRO : Sugimoto 2014 (web) より

3. ほうおう座流星群 2014年

ほうおう座流星群は、1956年に大出現が観測されて見いだされた流星群である。日本初の南極観測隊を載せた南極観測船・宗谷の船上で見事な流星雨が観測された(Huruhata & Nakamura 1957)。母天体はブランペイン彗星(289P/Blanpain)であるが、1819年に発見された後、長期間観測されていなかった。2003年に小惑星2003 WY_{25} として再発見されて軌道が確定し、ダスト・トレイルの計算が可能になった。著者らは、1956年の大出現が、18世紀～19世紀初頭のダスト・トレイルによりもたらされたものであることを報告している(Watanabe, Sato, Kasuga 2005)。さらに、ダスト・トレイルモデルにより、2008年、2014年、2019年に出現の可能性を報告している(Sato & Watanabe 2010)。この中で最も条件の良い2014年の状況を解説する。

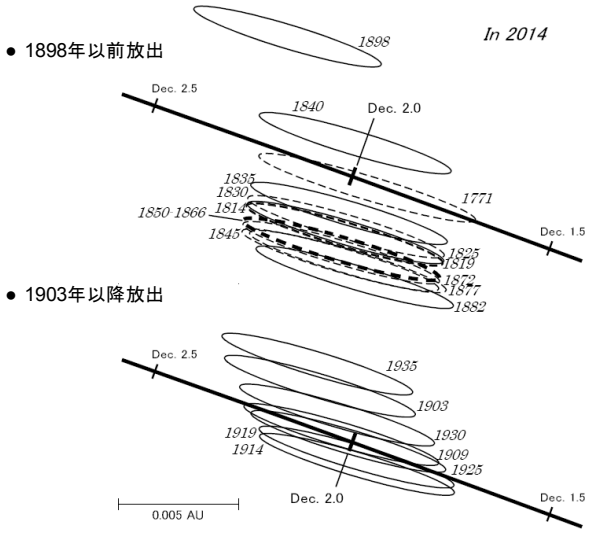


図7 ダスト・トレイルの分布 Sato & Watanabe 2010 より

表5 2014年のダスト・トレイルのデータ(最新計算版)

トレイル放出年	期待される極大 日付 (UT)	時刻 (UT)	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)
1914	2014/12/01.96	23:03	249.472	-0.00094	-1.24	0.016	7.89	-27.25	9.79
1919	2014/12/01.97	23:15	249.480	-0.00070	-1.98	0.026	7.91	-27.27	9.78
1925	2014/12/02.00	23:59	249.511	-0.00020	-2.33	0.030	7.94	-27.36	9.77
1909	2014/12/02.02	00:27	249.531	-0.000037	-1.74	0.022	7.98	-27.49	9.78
1930	2014/12/02.05	01:07	249.559	+0.00064	-2.94	0.036	7.99	-27.52	9.76

2014年には、1909年～1930年に母天体から放出されたダストが形成するダスト・トレイルが接近する(表5、図7)。極大は12月1日23時～2日1時(世界時、日本時では2日8時～10時)が期待される。ダスト・トレイルの状況は、1956年の大出現時に近い。ただし接近するダスト・トレイルのfM値の総計は、1956年の0.22に対して、2014年は0.13と、約半分である。1956年のHRが300と報告されており(Huruhata & Nakamura 1957)、ダストが放出されたときの母天体の活動度を考慮しなければ、HRレベルで150程度が期待されることになる。実際にどのくらい出現するかを観測することで、ダストを放出した20世紀初頭の母天体の活動度を推測できるだろう。

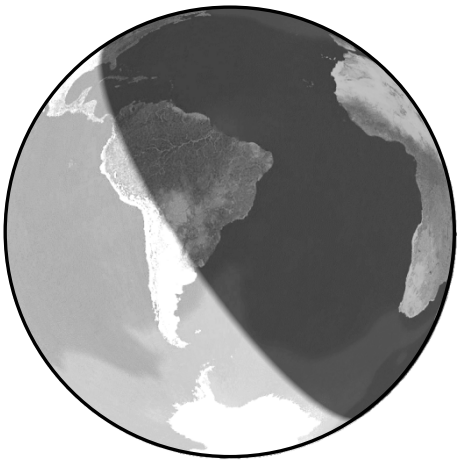


図8 極大時(23時UT)に放射点方向から見た地球

夜側(図の右側)で、中心に近い場所が放射点が高い。ただし、夜側でも境界線に近い場所は薄明中である。

なお母天体には、2004年3月に非常にかすかなコマの流れのようなものが観測されている(Jewitt 2006)。また母天体は、2013年7月に20等台の彗星状天体として検出され、その後17等級台に増光した。これらから、短周期彗星・289Pとして正式に登録されることに至った。つまり、現在も彗星活動は継続しており、20世紀初頭もなんらかの彗星活動はあったと考えられる。小規模活動の可能性は高いながらも2014年の流星群の活動は確実であろう。図8のように極大時の観測に適しているのは、南米の東部や大西洋の中～南部である。治安なども考慮して、著者らはカナリア諸島での観測を計画している。なお、軌道傾斜角が小さいこと(約7度)、1956年の活発な流星活動が数時間に及んだことを考慮すると、出現の開始から終了までは、ある程度長時間にわたる可能性がある。したがって、国内でも群活動を検出できる可能がある。放射点は、ちょうこくしつ座の北部(くじら座 β 星＝デネブカイトスの南側)にある。国内でも夜半前までは地平線の上に位置し、観測が可能である。

4. こぐま座流星群 2014年

母天体は周期約14年のタットル彗星(8P/Tuttle)である。これまでに1945年、1981年、1986年、2000年などに活発化した。2014年は、1945年、1986年、2000年と約14年周期で地球と接近しているダスト・トレイル群と遭遇する。詳細な計算は完了していないが、概略値では、12月22日20時～23日1時台(世界時、日本時では23日5時～10時台)にダスト・トレイルと接近し、活発化することが期待される。

5. 10月りゅう座流星群(ジャコビニ群) 2012年

ジャコビニ・ツィナー彗星(21P/Giacobini-Zinner)を母天体とする10月りゅう座流星群は、1933年、1946年、1985年、1998年に大出現が観測されてきた。また2011年には、ダスト・トレイルモデルによるこの群に対しての初めての予報が出され、実際に活発な出現が観測された。2012年は、2011年と比べると条件が悪く、筆者は軽微な活動にとどまるであろうと予測していた。ところが、レーダー観測を初め、中規模の出現が観測された(Fujiwara 2014他)ため、データを見返すことにした。

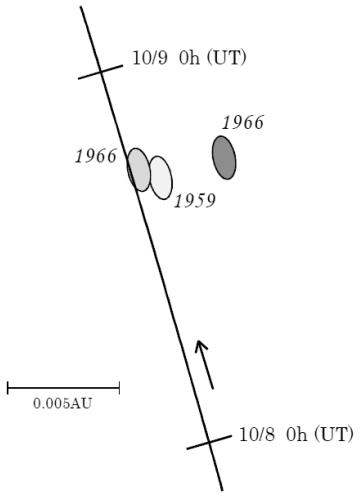


図9 ダスト・トレイルの分布

最も接近するのは、接近距離 0.0004 au の1966年トレイルである。シミュレーションでは、折り返し部分で2本分の濃さとなり、fM値の合計は約0.05である。この流星群は、1999年に中規模な出現(ZHR=50程度)をしているが、2012年と似たようなダスト・トレイルの状況下にあった(Sato 2004, Sato 2008)。このときに接近した1959年と1966年のダスト・トレイルのfM値は0.20と0.26であり、これと比較すると2012年は概略としておよそ10分の1程度にとどまると考えられた。ところが実際には、1999年同様の中規模な出現が観測されたようである。これには、fM値が0.24とダストの濃度の高い、0.0042au 離れた別の1966年トレイル(図9で一番右側に図示)が関与している可能性が考えられる。1959年と1966年の母天体の近日点距離は、0.93 ～ 0.94au であり通常時(約1.0au)よりも太陽に6～7%近い。このため、ダストが活発に放出されたり、また活発に放出された期間が長かったりすることで、2012年に接近したダストの分布が広くなり、(fM値の大きい)1966年トレイルが出現に関与したのかもしれない。このほかにも、日本などで観測された1985年の大出現をダスト・トレイルモデルで完全には説明できない(モデルの結果以上に活発であった)など、この群には予測や検証が難しい面がまだ残っている。研究上の課題であり、今後さらに詳細に検討していきたい。

表6 2012年のダスト・トレイルのデータ

トレイル放出年	期待される極大 日付 (UT)	時刻 (UT)	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)
1959	2012/10/08.69	16:40	195.624	+0.0012	+38.70	0.0033	262.79	+55.84	20.99
1966	2012/10/08.70	16:48	195.630	+0.0042	+43.07	0.24	262.37	+55.76	20.91
1966	2012/10/08.73	17:28	195.658	+0.00041	+51.34	0.027	262.51	+55.60	20.96
1966	2012/10/08.73	17:28	195.658	+0.00040	+51.35	0.022	262.52	+55.61	20.96

表7 1999年のダスト・トレイルのデータ

トレイル放出年	期待される極大 日付 (UT)	時刻 (UT)	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)
1959	1999/10/09.45	10:51	195.714	-0.0026	+59.98	0.20	262.83	+55.48	21.01
1966	1999/10/09.50	12:00	195.761	-0.0014	+69.42	0.26	262.50	+55.26	20.94

Sato 2008 より抜粋

参考文献

Fujiwara 2014, 本会議にて発表.

Huruhata & Nakamura 1957, Tokyo Astron. Bull., 2nd Ser., No.99.

IMCCE 2014 (web), http://www.imcce.fr/langues/en/ephemerides/phenomenes/meteor/DATABASE/209_LINEAR/2014/index.php

IMO 2013 (web), http://www.imo.net/live/eta-aquariids2013/

IMO 2014 (web), http://www.imo.net/live/cameleopardalids2014/

Jenniskens 2006, Meteor Showers and their Parent Comets, p.352 & p.689.

Jewitt 2006, The Astronomical Journal, Vol.131, Issue 4, pp.2327-2331.

Maslov 2014 (web), http://feraj.narod.ru/Radiants/Predictions/1901-2100eng/209p-ids1901-2100predeng.html

Molau et al. 2014, WGN, Journal of the International Meteor Organization, Vol.41, No.4, p.133-138.

Sato & Watanabe 2007, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.59, No.4, pp.L21-L24.

Sato & Watanabe 2010, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.62, No.3, pp.509--513.

Sato 2003, WGN, Journal of the International Meteor Organization, Vol.31, No.2, p.59-63.

Sato 2008, 天文回報, Vol.795, p.795-2.

Sekhar & Asher 2014, Meteoritics & Planetary Science, Vol.49, Issue 1, pp.52-62.

Sugimoto 2014 (web), http://www5f.biglobe.ne.jp/~hro/Flash/2014/CAM/index.htm

Uchiyama 2013 (Web), http://homepage2.nifty.com/s-uchiyama/meteor/shwr-act/05etaact/eta-act.html

Watanabe, Sato, Kasuga 2005, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.57, No.5, pp.L45-L49.

TENGENスカイモニターによる流星・火球観測

Tele ENerGetic and Emissive Nature Monitor
天体現象モニター
天頂（天元）モニター

伊代野淳, 和田 直己（M2), 戸田詠一（B4)

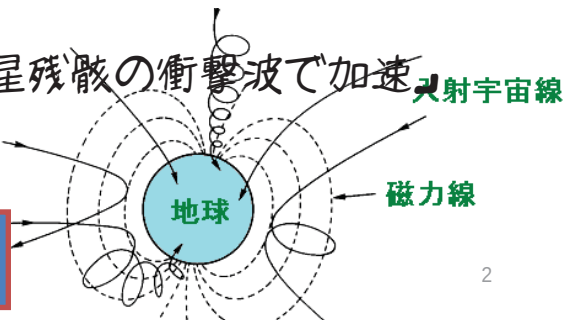
岡山理科大学理学部基礎理学科

Department of Fundamental Science,
Okayama University of Science
iyono@das.ous.ac.jp

第55回信州あずみの流星会議(流星会議2014)
2014年7月20-21日 於 ビレッジ安曇野研修棟

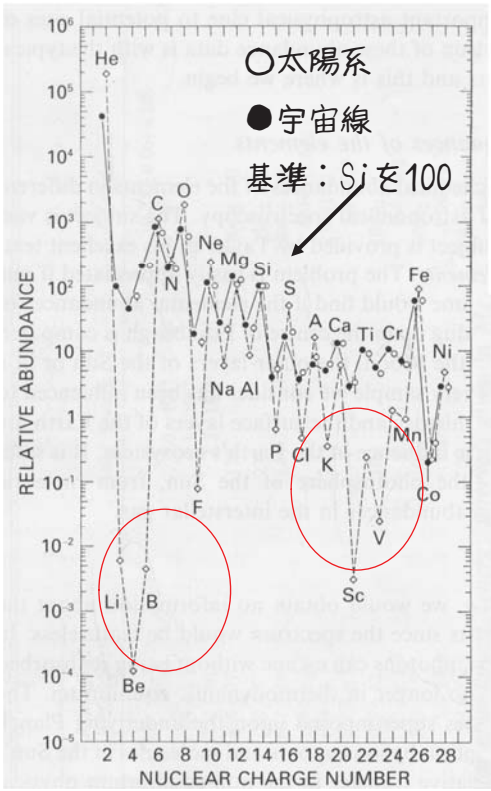
宇宙から飛来する素粒子（宇宙線）は何処で生まれたのか？

- 宇宙線とは
  - 「宇宙を高速（光の速さの90%以上）で飛び交う高エネルギーの素粒子・原子核」
  - 1912年にオーストリアの物理学者 Victor Hess によって発見
  - 組成は、水素原子核（９４％）、ヘリウム原子核（５．５％）、原子核（0.5%）、その他（電子、ニュートリノなど）
  - 起源と加速
    「恒星が起源、超新星残骸の衝撃波で加速」



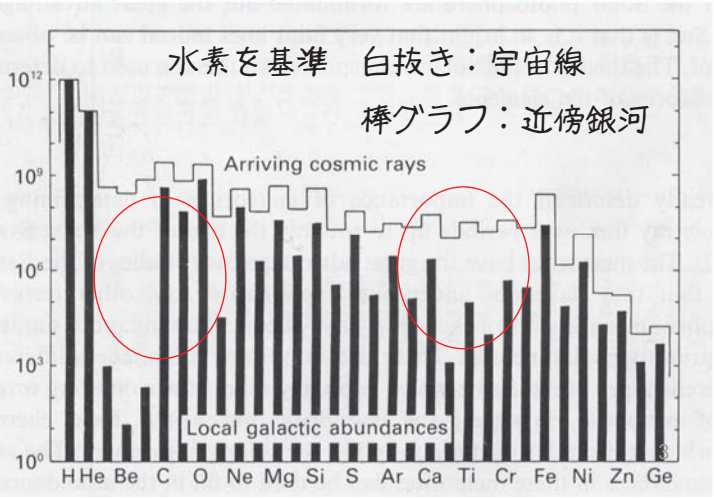
地磁気は、宇宙線から地球を守っている

太陽系と宇宙線の元素組成を比較

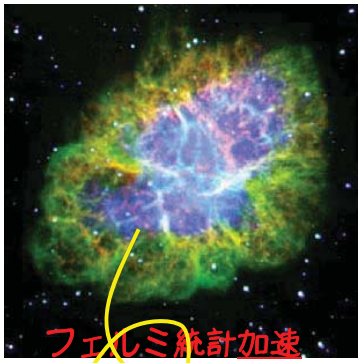


- 全体的に似ている
- Li,Be,Bは宇宙線が多い
- SからCrは宇宙線が多い

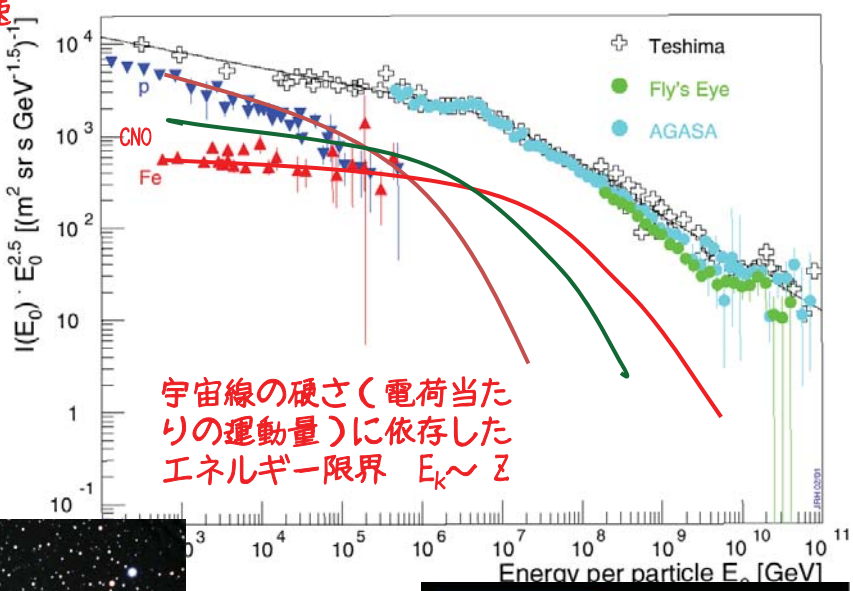
－不一致部分は二次核



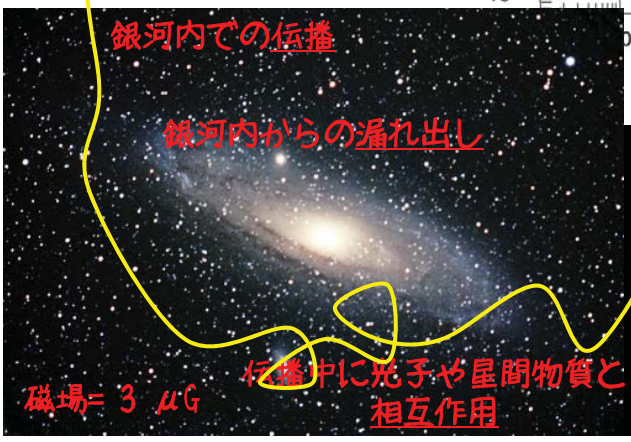
超新星残骸による宇宙線の加速

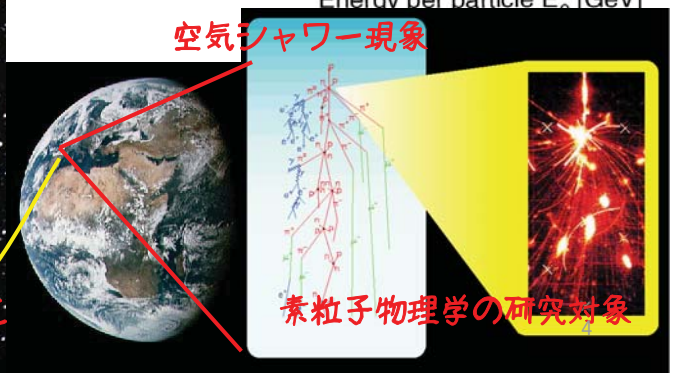


フェルミ統計加速
超新星の作る衝撃波
$E_{max} \sim Z \ 10^{15}$ eV

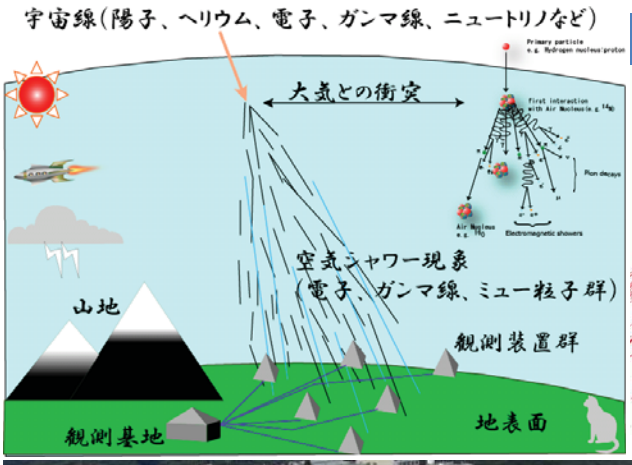


宇宙線の硬さ（電荷当たりの運動量）に依存したエネルギー限界　$E_k \sim Z$

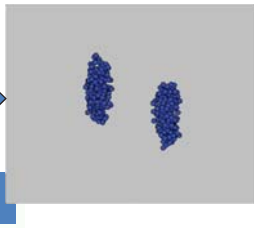




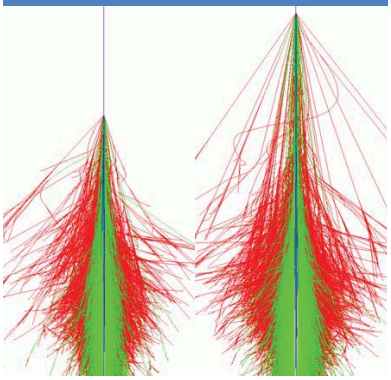
宇宙線の観測

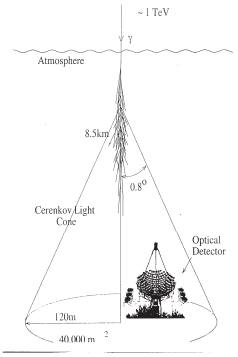


原子核・原子核相互作用



10^{14}eVの陽子と鉄原子核



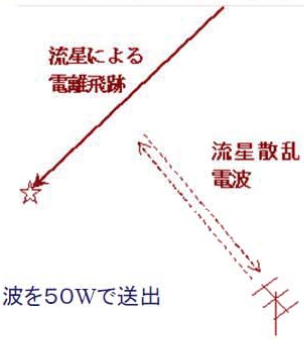


岡山理科大学
宇宙線観測装置
LAAS project

流星電波観測の宇宙線空気シャワー観測への応用(可能性)

流星電離柱(飛跡)の生成

- 高度100km付近，突入速度:10km/s～70km/s
- 流星物質(0.1g～10g)と大気分子の衝突によってプラズマ生成→発光→眼視観測
- プラズマ中の自由電子が電波散乱(超短波)
- 流星飛跡:幅10cm～数十m，長さ10～15km
- 線電子密度によって2種類の散乱状態
  - アンダーデンス 10^{14}個m^{-1}以下
  - オーバーデンス10^{14}個m^{-1}以上
- 電波:超短波50MHzのHAM(研究用)を使う.
  - 福井県鯖江市工専の前川氏がビーコン波を50Wで送出
- 研究グループ
  - HRO project:アマチュア無線の人たち(天文学会のジュニアセッション)
  - 京大MUレーダー施設:大気物理の研究に流星のエコーを使う
  - 流星バースト通信:エコーを使って見通し距離外への通信を行う
- 近郊では:(ネットでHROで検索)→多地点で同時観測
  - 西はりま天文台，神戸三田，玉野市，広島，京都産業大学天文部，岡山県立朝日高校物理部，みさと天文台など



参考文献

- CQ出版:流星電波観測ガイドブック
  中村卓司監修
- Astroparticlephycsis 2001
  P.Gorham ,"On the possibility of radar echo detection of UHECR and ν induced EAS"
- RADHEP2000, T.Vinogradova 他
  Proposed experiment to detect AS with the Jicamarca radar system

HRO観測機器

- アンテナ50MHz用
- 受信機(HAM用または専用受信機アイテック電子研究所)
- PC(サウンド録音をA/D変換機に使用)
- ソフト:HROFFT

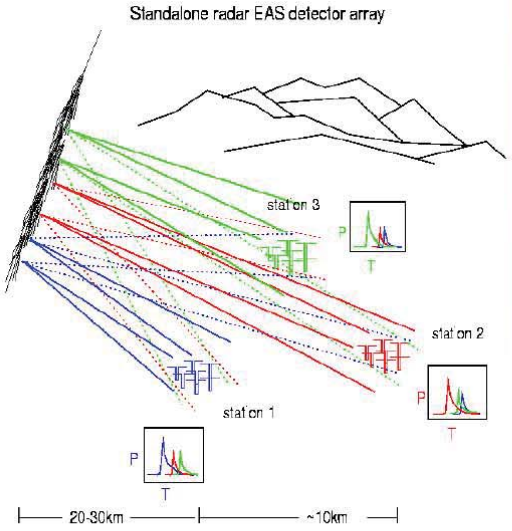
レーダ式宇宙線空気シャワー観測装置の概念図

P.Gorhamの論文での提案

宇宙線観測で測定すべき物理量
- 最大発達地点(Xm,Ym,Zm)
- 入射角度(天頂角度，方位角度)
- 入射エネルギー Eo
- エネルギー損失量 dE/dx

例えば，三箇所のレーダ観測設備(電波の送受信が可能):
- 各ステーションでの反射の強さ
- その他のステーションからの反射の強さ
- なるべくたくさんのアンテナで観測して，SNを良くする.
- ステーションの間は10km程度
- アンテナは10メートル範囲に設置
- 予想される頻度s:
  - ~20 km @ 10^{19} eV, 10 per day
  - ~60 km @ 10^{20} eV, 2 per day
- 経費:ステーションあたり2000万円

議論点:
- 配置の最適化
- 直接波の除去
- 巨大な設置空間の確保



The photodisintegration of cosmic ray nuclei by Solar photons
⇒ proposed by Gerasimova, Zatsepin in 51's,60's
as an alternative way to determine UHECR mass composition.

Suwa (Aoyama)(95)
Median-Tanco Watson(99),Epele et al., (99),
Fujiwara (04),Lafebre et al.,(08)

- Processes
  - Cosmic ray heavy nuclei above 10^{17}eV and solar photons(~1eV)
    - at the rest frame of nuclei, photon energy be Lorentz-boosted to1MeV
  - Fragment nuclei(Z/A=0.5),proton(Z/A=1),neutron(Z/A=0)
    - traveling towards the Earth and deflected by the interplanetary magnetic field
    - resulting deflections depend on their rigidities
  - At the Earth
    - Multiple and simultaneous EASs observed in the very large area

- Experimental tasks
  - **large SΩT, time synchronization(μs with GPS), angular resolution**
  - Low threshold energy for detectors because of fragment originated EASs
  - **Energy resolution required to estimate the energies of primary particles**

広角カメラ連続画像を用いた流星・火球速報システムの開発

Development of notification system for bright meteor signals by using wide angle and time series images

PEM29-P20

伊代野淳 (Atsushi Iyono), 和田 直己（Naoki Wada)

岡山理科大学理学部基礎理学科

Department of Fundamental Science,
Okayama University of Science
iyono@das.ous.ac.jp

JpGU Meeting 2013, Makuhari, Japan, 19–24 May, 2013

- 背景
  - 「超高エネルギー宇宙線が大気中で引き起こす空気シャワーに伴って生成される電離柱が電波を反射する」: 理論解析P.Gorham 1998
    Gorhamらは，流星電波観測（MRO,FRO,HRO）と類推から導いた.
  - 可視画像で捉えた流星電離柱形状と前方散乱電波 ⇒ 同時観測
  - 電離柱の電波反射⇒超高エネルギー宇宙線観測のツールとしたい.
  - 流星・火球の先行研究 ⇒ 現在も活発に行われているなかで，後発.
- 目的
  - CCDカメラで昼夜の空をアーカイブ化
    ⇒理科教材，その2（日周運動，惑星の視運動），明るい突発現象
  - 流星・火球が多数記録：到来方向解析，trail解析（等級）
    ⇒画像からの自動認識・・・解析速報(数分後）システム
- システム
  - CCD: WATEC社 WAT-120N+
  - Exposure rate: 128FREAME(~3sec) or 256FRAME(~6sec)
  - GAIN : 手動変更(8dB（LO）～38dB（HI））
  - レンズ: PENTAX TS2V114E
  - 画像サーバ: PANASONIC BB-HCS301（640x480pixels)
  - 除湿装置: 日本ブロアーDRY SAMOL DR-06/ソーワ SF-193A
  - ハウジング: 日東工業 CR2555
  - ドーム: 監視カメラアクリルドーム(Φ100)
  - 設置地点: 北緯34.7度/東経133.93度
  - 運転モード
    - 19:00-5:00 night mode 128frames 積分(約3秒露出）
    - 9:00-18:00 day mode 1/60s
    - 3秒毎に画像サーバからPCへFTP転送(28800枚/day）
  - WEB公開
    - 19:00-0:00と0:00-5:00動画
      2011/11から昨晩までの夜空データ
    - 連続画像（MotionJPEG)

Fig.1 Apparatus of the Sky Monitor system (TENGEN)

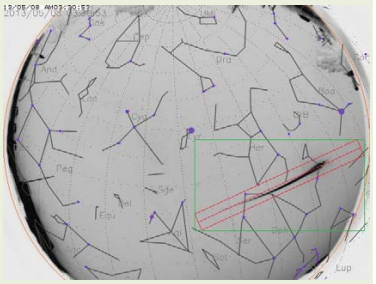
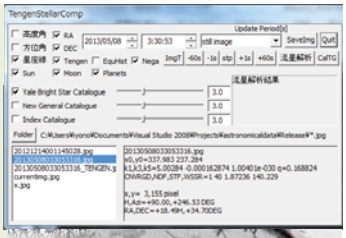


Fig.2 Typical example of trail analysis

Fig.3 Web公開

現状報告

- 流星・火球trail解析ソフトウェア整
  - TENGENの画像と恒星位置データー間の多項式近似から
    $(x,y)\rightarrow(\xi,\eta)\rightarrow(\alpha,\delta)$ or (θ,Φ)
  - 流星・火球領域の検出・解析
  - 近傍天体の等級値から等級値を求める
    →画像全体の明るさ勾配補正がまだできていない.
- 運転監視
  - システム運転状態のモニター
    画像サーバツール
  - PC側ftpdの運転状態モニター
    ⇒フォルダー監視ツール
    (異常時に管理者にメール)
- TENGENシステム→ 3秒毎の画像(grayscale)の解析アルゴリズム
  - 解析対象画像前後20枚(±30秒)⇒各ピクセルの輝度変動
    バックグラウンド(星も)と流星・雲などの変動成分を分離
  - 変動画像成分に対してBlob処理.
    面積, 形状でフィルターをかけラベリング
    ⇒雲の除去, 流星・火球を検出
  - 飛跡形状測定, 明るさ(等級)決定
- 現状
  - 流星・火球痕の検出概ね可能
  - 雲が完全には取り除けない⇒現時点で手動
  - 人工光によるノイズの除去が不十分



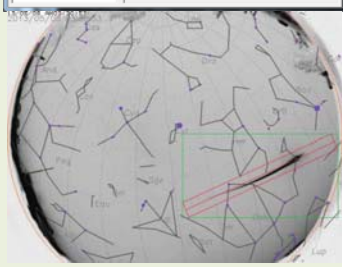


Fig.4 Trail analysis system

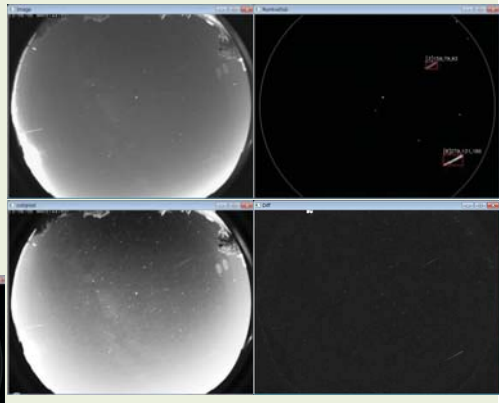


Fig.5 Meteor trail recognition system

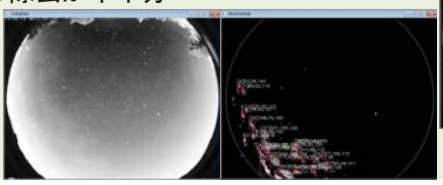


Fig.6 Misidentifying case of cloud motions.

多点広角カメラ連続画像を用いた流星・火球速報システムの最適化

Optimization of notification system for bright meteor signals by using wide angle and time series images at multiple sites

PEM36-P10

伊代野淳 (Iyono Atsushi), 和田 直己(Wada Naoki),
(石川真(Ishikawa Makoto),苔縄徹(Kokenawa Toru))

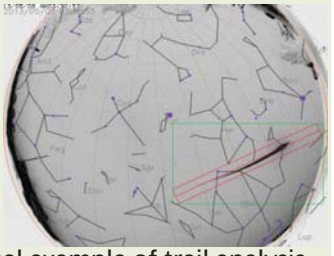
岡山理科大学理学部基礎理学科

Department of Fundamental Science,
Okayama University of Science
iyono@das.ous.ac.jp

JpGU Meeting 2014, Pacifico Yokohama, Japan, April 28– May 2, 2014

- 背景
  - 「超高エネルギー宇宙線が大気中で引き起こす空気シャワーに伴って生成される電離柱が電波を反射する」: 理論解析P.Gorham 1998
    Gorhamらは，流星電波観測（MRO,FRO,HRO）と類推から導いた.
  - 可視画像で捉えた流星電離柱形状と前方散乱電波 ⇒ 同時観測
  - 電離柱の電波反射⇒超高エネルギー宇宙線観測のツールとしたい.
  - 流星・火球の先行研究 ⇒ 現在も活発に行われている.
- 目的
  - CCDカメラで昼夜の空をアーカイブ化⇒理科教材（惑星の視運動）
  - 流星・火球到来方向解析，飛跡解析→軌道解析・起源
    ⇒画像の自動認識・・・解析速報(数分後）システム
- システム
  - CCD : WATEC社 WAT-120N+／Exposure rate: 128FREAME(~3sec)
  - GAIN :手動変更(8dB（LO）～38dB（HI））／レンズ : PENTAX TS2V114E
  - 画像サーバ : PANASONIC BB-HCS301（640x480pixels)
  - 除湿装置 : 日本ブロアーDRY SAMOL DR-06/ソーワSF-193A／
  - ハウジング : 日東工業 CR2555／ドーム : 監視カメラアクリルドーム(Φ100)
  - 設置地点 : 北緯34.7度/東経133.93度
  - 運転モード : 19:00-5:00 night mode 128frames 積分(約3秒露出）
  - 解析結果とアーカイブの公開 : 19:00-0:00と0:00-5:00動画
- **問題点 : 自動認識自動速報化→雲の誤判定の回避が必須**
- **導入・開発したシステム**
  - **赤外画像 : FLIR i7(29x29deg.140x140pix. 7.5-13μm)⇒チノー製に変更**
  - **赤外線センサー:Oak Tree Thermography 60x16.4deg. 16x4pix)**
  - **低周波センサー : Tokyo Devices IW9LFQ(<20Hz)**
  - **USB CMOS camera :ASI 120MC(ZWOptics)**
    - **多地点ように赤外線センサーと同期データ収集可能**

Apparatus of the Sky Monitor system (TENGEN)



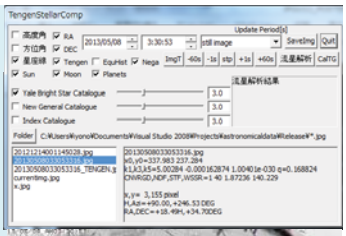
Typical example of trail analysis

FLIR i7カメラ

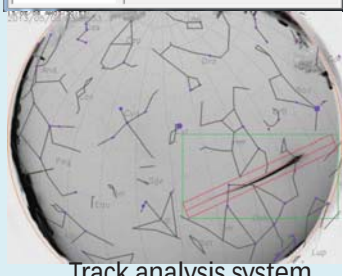
低周波センサー

USB camera+ IR sensor

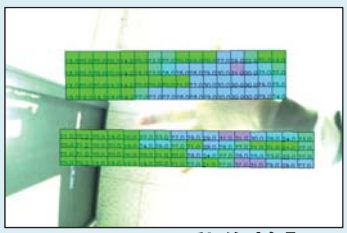
現状報告



- 流星・火球飛跡解析ソフトウェア
  - TENGENの画像→天球座標(*x,y*)→(ξ,η)→(α,δ) or (θ,Φ)
  - 流星・火球領域の自動検出・解析，等級値決定→画像の明るさ勾配補正.
- 運転監視
  - システム運転状態のモニター : 画像サーバツール
  - PC側ftpdの運転状態モニター : フォルダー監視ツール
- TENGENシステム→ 3秒毎の画像（grayscale)の解析アルゴリズム
  - 解析対象画像前後20枚(±30秒）⇒各ピクセルの輝度変動
    バックグラウンド（星も）と流星・雲などの変動成分を分離
  - **変動画像成分に対してBlob処理．面積，形状でフィルター，ラベリング**
    ⇒雲の除去，流星・火球を検出→赤外線画像，センサーの利用.
  - **曇天時への対応を目指した低周波センサーによる火球検出への取り組み**
- 現状
  - **FLIR i7の赤外線画像ライブストリーミングから航空機（エンジン）の追跡などが可能**
  - **多点化のための新たなカメラシステムのソフトウェア開発**
  - **赤外線センサーと画像との同時観測が可能**



Track analysis system



FLIR i7による航空機の追跡 : FLIRのストリーミング機能によって得られた画像に対して，閾値処理をすることで抽出可能.

- **システムの動作検証**
  - **現状，新しいシステムは，人工物を対象として開発を進めてきた.**
  - **2014年5月のみずがめ座流星群に対して，システムの性能評価を行いたい.**
  - **低周波センサーについては，実際の火球などで観測データがないので，今回収集・評価**

第55回流星会議 2014.7.23

岡山天体物理観測所(OAO)スカイモニターによる火球リスト

日本火球ネットワーク　　下田　力

1.　はじめに

岡山天体物理観測所(OAO)のスカイモニターは、天候を確認するために運用されているが、web上には全天画像が1分間隔で自動的に更新されており、火球をモニタリングすることも可能と考えられた。そこで1分間隔の画像を自動的にダウンロードして保存し、火球が撮影あるいは目撃された場合には画像を確認することでチェックを行った。ここでは、2011年末から2014年6月までに確認された画像のリストを示す。

2.　撮影機材、確認方法

OAOスカイモニターの撮影機材は以下の通り。

NIKON D90　　SIGMA 4.5mmF2.8 FISHEYE　　E133° 35′ 40″　N 34 ° 34′ 35″　h=365m

撮影は1分間隔で15秒露出。ISO3200

画像のダウンロードは、川上浩氏作成の自動ダウンロードソフトにより、2014年5月までは600×600picの画像を、2014年6月からは2400×2400picの画像をダウンロードしている。なお、ダウンロードに当たって国立天文台渡部潤一氏に連絡を取り、岡山天体物理観測所に画像の取得、利用の承諾をいただいた。明るい火球が撮影されていた場合には、OAO担当者とも連絡を取り合って、OAOのHPに掲載していただいている。

火球の出現は、一般情報、SonotaCoネット、岡山理科大学TENGENモニターの結果をもとにしており、スカイモニター画像の確認を行っている。

3.　確認結果

画像確認の結果、2011年1個、2012年19個、2013年27個、2014年10個(7月現在)、計57個の火球(流星)が確認された。撮影された火球リストを表-1に示す。条件が良ければ-2等の流星も撮影できている。画像は現在のところ2012年1月以降の分をすべて保存してある。

4.　今後の課題

現在のところ火球のリストアップにとどまっているが、撮影された画像を計測することによって火球経路の推定を行う必要がある。OAOスカイモニターは1分間隔で15秒露出を繰り返していることから、残りの45秒については画像がなく、4分の3の時間帯がモニターできずにいる。今後は火球専用のモニターの設置も視野に検討を進めたい。なお、OAOスカイモニターと広島大学東広島天文台の空モニターは、2014年3月から全画像webで閲覧可能になっている。http://ozskymon.nao.ac.jp/skymonitor/

謝辞

今回のモニタリングを行うに当たり、岡山天体物理観測所と国立天文台の渡部潤一氏には快く了解をいただき、OAOの戸田博之氏には画像のチェックやHPへの掲載などを協力いただきました。川上浩氏には専用ダウンロードソフトの開発をしていただきました。この場を借りて深く感謝いたします。

表-1　OAO スカイモニター火球(流星)リスト

No.	yyyy	mm	dd	出現時刻 (JST)	光度	出現星座	同時観測	速度 (km/s)	備考
OA1101	2011	12	26	2951	-8	Cmi-Pup	JN掲示板		
OA1201	2012	1	3	223825	-4	Ori	So		
OA1202	2012	1	4	282748	-3	Gem	TE		
OA1203	2012	1	5	213841	-3	Hya	So		
OA1204	2012	1	11	274445	-4	Her	So		
OA1205	2012	1	17	230340	-2	Ori	So		
OA1206	2012	1	30	224207	-2	Sex	So		
OA1207	2012	2	7	3003	-4	Sgr	JN掲示板		
OA1208	2012	2	27	242236	-4	Her	So		
OA1209	2012	5	10	231819	-8	Boo-Uma	So		
OA1210	2012	8	3	2248	-5	UMa	JN掲示板		
OA1211	2012	8	20	211050	-3	Peg	TE		
OA1212	2012	9	11	245120	-4	Tau	TE		
OA1213	2012	9	25	251321	-3	Cam	TE		
OA1214	2012	10	14	234133	-3	Aqr	So		
OA1215	2012	10	14	255737	-3	Tau-Cet	So		
OA1216	2012	10	25	285914	-2	Pup	So		
OA1217	2012	11	6	193857	-4	Psc	So		sTau
OA1218	2012	11	14	203414	-3	Per	So,TE		
OA1219	2012	12	7	293051	-4	UMa	So		Hyd
OA1301	2013	1	5	265145	-6	UMa	So,TE		Qua
OA1302	2013	1	10	2006	-4	Aqr	JN掲示板		
OA1303	2013	1	11	193830	-5	UMa	So		低速
OA1304	2013	3	10	245614	-4	Hya	TE		
OA1305	2013	3	12	203126	-5	Leo-Tau	TE		低速
OA1306	2013	4	10	215105	-4	Dra	TE		
OA1307	2013	4	13	220912	-7	Cep	So		低速
OA1308	2013	4	22	2112	-6	Tau	JN掲示板		低速
OA1309	2013	5	5	2804	-5	Aqr	TE		η Aqr
OA1310	2013	5	7	2730	-8	Oph	TE		η Aqr 痕のみ
OA1311	2013	5	7	2806	-4	Cas	TE		η Aqr
OA1312	2013	5	13	232932	-5	Leo	So,TE		
OA1313	2013	5	15	2242	-4	Dra	TE		
OA1314	2013	6	4	250609	-4	Oph	TE		
OA1315	2013	8	12	231036	-4	Oph	So,TE		Per
OA1316	2013	8	12	244845	-4	Cep	TE		Per
OA1317	2013	8	12	244845	-4	Cep	So		Per
OA1318	2013	9	4	260753	-4	Cyg	TE		
OA1319	2013	9	8	265041	-3	Cas	TE		
OA1320	2013	9	9	283147	-4	Cet	So,TE	vo51.9	spo
OA1321	2013	9	27	242646	-3	Peg	So,TE		
OA1322	2013	11	15	292156	-4	UMa	TE		
OA1323	2013	11	26	193858	-8	Ari-And	So,TE		
OA1324	2013	11	30	244026	-3	UMa	TE		
OA1325	2013	12	12	253512	-4	CMi	TE		Gem
OA1326	2013	12	13	275903	-4	Cnc	TE		
OA1327	2013	12	15	300259	-5	Leo	So		
OA1401	2014	1	2	191937	-7	Uma-Cam	So,TE		
OA1402	2014	1	2	224038	-5	Aur-Per	So,TE		
OA1403	2014	3	5	235036	-5	UMA-UMi	TE		
OA1404	2014	3	27	2539	-6	Cnc	JN掲示板		
OA1405	2014	4	4	222616	-5	Lib	So	vo13.9	spo
OA1406	2014	4	22	270515	-4	Cep	So	vo48.2	Lyr
OA1407	2014	4	22	273618	-4	Her	So		Lyr
OA1408	2014	5	1	234036	-4	Crv	So,TE	vo33.8	XLI
OA1409	2014	5	1	2442	-3	Ser	TE		
OA1410	2014	5	5	2522	-7	Leo	JN掲示板		

※同時観測　So:SonotaCo ネット　TE:TENGEN モニター

N
E
OAO/NAOJ 2011/12/25 29:51:17 JST
0A1101

N
E
OAO/NAOJ 2012/05/10 23:18:13 JST
0A1209

N
E
OAO/NAOJ 2013/01/05 26:51:37 JST
0A1301

N
E
OAO/NAOJ 2013/11/25 19:38:51 JST
0A1323

N
E
OAO/NAOJ 2014/01/02 19:19:27 JST
0A1401

N
E
OAO/NAOJ 2014/05/05 25:22:12 JST
0A1410

第 55 回流星会議信州あづみの報告

去る 7 月 20〜21 日、長野県安曇野市ビレッジ安曇野を会場に第 55 回流星会議が 42 名（うち講演会のみ参加が 5 名）の出席で行われた。関西方面からは交通事情で到着が遅れる方も見えたが、申し込み全員の方に無事お越しいただけた。

開会行事では実行委員あいさつに続き小関会長からご挨拶をいただいた。顔と顔を突き合わせることができる流星会議の役割をお話しいただいた。

１日目の研究発表は、幅広い参加者の流星や流星観測に対する理解のため、バラエティーに富んだアプローチと、ふたご群に関する総合討論へ向けた内容とした。

講演は、安曇野市出身である国立極地研究所の三澤啓司准教授による「ドームふじ氷床コアからみつかった地球外物質の起源」が行われた。お話は、宇宙から地球に降り注ぐ塵等のさまざまな探査採取状況から入った。ドームふじなどの氷床上での南極氷河の掘削コア（φ100㎜）はまず目視で内容物の様子が検査され、一般にはテフラ（火山灰）が多く挟まれる。その中から複数地点のコアに共通して珪酸塩鉱物の粒子が含まれる層が２層見つかり、同位体組成、構造等から、深度 2,641 メートルのもの（43 万 4000 年前）は隕石のような天体が南極氷床に衝突して氷クレーターを形成し、その際に溶融したものが広範囲に飛び散ったもの（南極大陸地表を構成するものは含まれない）、深度 2,691 メートルのもの（48 万 1000 年前）は彗星のような天体が大気上層で爆発し溶融・凝集して形成されたものと見られるという。また、採取量から推定すれば、その天体の大きさは直径 100 メートルを超えると推定される。氷床は圧密や地熱で解けるため 80 万年程度までしかさかのぼれないが、その間にこの地域で２回のこのようなイベントがあったことになり、天体衝突の頻度、衝突時の振る舞い、そして及ぼす影響がどのようであるかをお話しいただいた。

夕食後は、少し口が滑らかになったことを期待して、話題高まるふたご群のバックグラウンドの理解と今後の観測対応に向けた討論の時間を１時間ほど持った。関連する研究発表に対する質問から初めて、ペルセ群との対比や母天体とされるファエトンとの関連などについて、情報交換がされた。まず、母天体ファエトンと流星物質の関係が話題となった。小惑星なのか、彗星なのか、その中間なのか、流星物質の放出の仕方はどのようなメカニズムなのかよくわからない。太陽に非常に接近するため非重力効果の設定も難しくも、したがって、ダストトレイル理論もあてはめられるかわからない。ダストトレイル理論の一般的な設定では 2000 年、3000 年でも地球軌道に届かないため、非常に低速で放出されたものかたいへん古い放出であることになってしまう。また、ファエトンとろくぶんぎ群の母天体とされる 2005UD との関係、12 月オリオンの母天体とされる 1947ＸＣという小惑星など、このような天体と流星群活動との関係の解明の必要性に話が及んだ。

ふたご群が近年明るい流星が多くなっていると指摘されていることに関しては、観測数を増やして散在との比較を含めて確認していく必要性が求められた。また、極大前後で全く様相を変える（極大後が明るい）ことから、極大を挟んで観測できる今年（2014）から来年の観測の重要性が挙げられた。また、有痕率の変化についてはその物理現象の把握とともに解明していく必要性が挙げられた。

注目を集めつつあるふたご群だが、若い人たちを観測に連れて行く様な環境整備やその後のフォローも必要で、また、得られた情報や成果は積極的に発表していくよう要請があった。

21 時からは幹事会と第６分科会がふすま２枚隔てて並行して開催となった。深夜、雨は上がっ

たが、残念ながら星は見られなかった。

日流研総会に続けて実施された二日目の研究発表は、流星群の軌道や突発出現、モニター観測等の内容を集中させた。本年はやぎ群の検出、きりん群の突発があり、さらにほうおう群の出現が期待されることから、研究発表につづけて突発群について発表への質問を含めて総合討論を行った。ます、「やぎα群」の検出について下田氏より経緯報告があった。sonotaCo ネットの効用も大きく、また、sonotaCo さんによりスピーディーな情報発信につながったということである。また、突発群や火球出現の情報にインターネット上の書き込み（ツイッター）がたいへん役に立っているということであった。

ほうおう群についてはダストトレイルの予測から大西洋付近での好条件が予測されるが、すそ野の広がりから日本で全く引っかからないこともないということである。

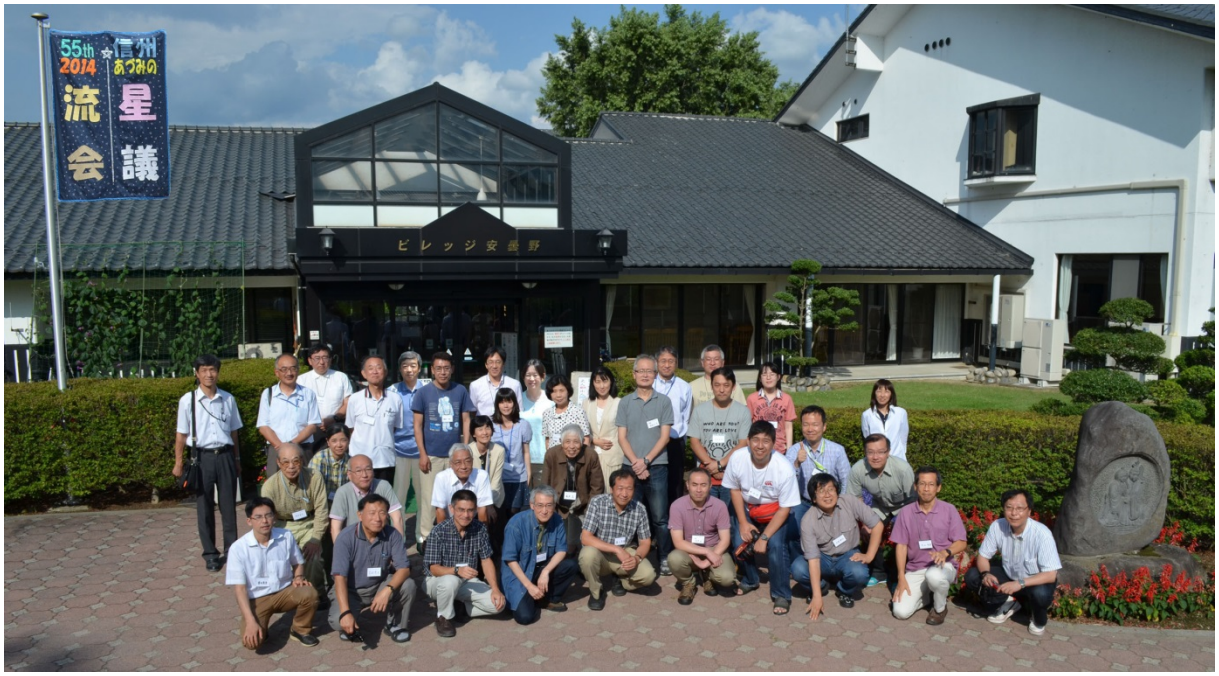
2010 年代も彗星軌道やダストトレイルから期待される出現がいくつかあり、本年確認されたきりん群も含めて、いずれも早めの情報発信と観測による検証が結びついて科学としての評価が高まるとされた。前日の総合討論とも明確な方向付けはできなかったが、複数の発表に関連付けた質疑や話し合いができた。

閉会行事では吉田副会長に講評をいただいたほか、次期開催地を関東地区として、柳地区担当幹事からご挨拶をいただいた。

少しタイトな日程でフリーの時間が十分取れず、語り足りない思いをされた方もおられたかと思う。スタッフも少なく運営に追い回され、何もおもてなしできなかったと申し訳なく思う。20 日は曇のち雨、21 日は曇のち晴（梅雨明け宣言は翌 22 日）。最高気温 30℃、最低気温 19℃と比較的過ごしやすかったのでは。第六も比較的早上がり、むしろ朝の散歩もちらほらと。朝型に変わりつつある参加者たちだった。

参加いただいた皆様に厚く感謝申し上げ、次の会議での再会をお約束したい。

実行委員長　丸山卓哉



流星会議年表

回	開催日	都道府県	会場	参加者	名称・その他
	1955/3/27	滋賀	山本天文台	11	流星観測者会議
	1955/8/4	京都	花山天文台	26	流星観測者会議
	1956/4/7	大阪	大阪石崎氏邸	13	第3回流星委員会
	1956/9/16	大阪	大阪市電気科学館	28	人工衛星及び流星に関する第1回協議会
	1957/6/16	大阪	大阪市電気科学館	20	第4回流星委員会
	1958/8/31	大阪	大阪市電気科学館	19	流星塵研究懇談会
	1961/10/2	滋賀	山本天文台	20	流星及び流星塵シンポジウム
1	1962/8/4-5	山口	山口市議会会議室	約40	西日本流星及び流星塵観測者会議
2	1962/11/3-4	愛知	岡崎市国治天文台	約30	流星観測者会議
3	1963/9/21-22	滋賀	山本天文台	45	流星観測者会議
4	1964/5/31	神奈川	川崎市生田農協	約100	東日本流星・隕石・流星塵観測者会議
5	1964/8/5-6	和歌山	金屋町役場	32	流星観測者会議
6	1965/9/25-28	滋賀	山本天文台	25	流星観測者会議
7	1966/8/7-8	滋賀	山本天文台	30	流星観測者会議
8	1967/8/6-7	滋賀	山本天文台他	45	流星観測者会議
9	1968/8/17-18	滋賀	山本天文台他	69	流星観測者会議
10	1969/8/3-4	滋賀	山本天文台他	69	流星観測者会議
11	1970/8/8-9	和歌山	金屋町役場	70	流星観測者会議
12	1971/7/24-25	静岡	沼津市月光天文台	46	流星観測者会議
13	1972/8/5-6	宮城	仙台市天文台	約110	流星観測者会議
14	1973/8/4-5	熊本	国立阿蘇青年の家	約60	流星観測者会議
15	1974/8/3-4	茨城	茨城市茜平少年の家	約80	流星観測者会議
16	1975/8/16-17	滋賀	滋賀県青年の城	約120	流星会議
17	1976/8/7-8	長野	松本青年の家	約100	流星会議
18	1977/8/6-7	鳥取	鳥取砂丘子供の国	約100	流星会議（初めての日本海側での開催）
19	1978/8/26-27	埼玉	奥秩父三峰神社宿坊	約100	流星会議
20	1979/8/18-19	和歌山	金屋中学校体育館	約110	流星会議
21	1980/8/29-31	静岡	御殿場青少年館	約110	流星会議（初めての2泊、ビデオ流星初見）
22	1981/8/21-23	栃木	栃木県青年会館	約120	流星会議
23	1982/8/28-29	京都	京都簡易保険会館	134	流星会議（NMSのシンボルマーク、第1回小槻記念賞）
24	1983/8/19-21	愛知	新城観光ホテル万楽	約150	流星会議（IHW活動開始、長谷川会長就任）
25	1984/8/24-26	東京	八王子大学セミナーハウス	約170	流星会議（ハレー彗星）
26	1985/8/2-4	長野	諏訪温泉郷山王閣	約170	信州流星会議（2月村上前会長死去、ジャコビニ群突発）
27	1986/8/22-24	静岡	修善寺サイクルスポーツセンター	約180	流星会議（研究収録発行）
28	1987/8/7-9	石川	石川県青年会館	約130	百万石流星会議（向井苑生博士の講演）
29	1988/8/20-21	京都	京都いろは旅館	約120	うしわかまる流星会議
30	1989/8/19-20	広島	広島県青少年センター	約150	流星会議（韓国よりDr.Nha招待）
31	1990/8/24-28	愛知	ホリデーイン豊橋	約120	流星会議（スロバキアのハジューク夫妻の講演）
32	1991/8/2-4	宮城	仙台市茂庭荘	109	流星会議（NHKの県内ニュースで放映）
33	1992/8/21-23	群馬	榛名湖ゆうすげ荘	約120	流星会議（91年のPer群突発）
34	1993/8/6-8	高知	室戸少年自然の家	101	くろしお流星会議（野村敏郎氏のツングースカ）
35	1994/8/20-21	大阪	大阪サニーストーンホテル	約100	なには流星会議
36	1995/8/25-27	東京	国立オリンピック記念青少年センター	122	大江戸流星会議（画像処理メーカーのデモ）
37	1998/8/23-25	富山	大沢野パレス	約100	きときと流星会議（串田氏の講演）
38	1997/8/26-28	北海道	手稲ランド研修センター	約80	北の国から流星会議
39	1998/8/7-9	愛知	サンシティ豊川	約80	豊川流星会議（パラレルプログラム）
40	1999/7/30-8/1	滋賀	ダイニック・アストロパーク天究館	101	びわこ流星会議（高校生の参加）
41	2000/8/26-28	栃木	鬼怒川温泉あさやホテル	86	鬼怒川流星会議（これまでの100年、これからの100年）
42	2001/8/25-26	長野	信州草湯温泉冠着荘	約70	信州流星会議
43	2002/8/3-5	岩手	奥中山高原センターハウス	約70	一戸流星会議
44	2003/8/23-25	徳島	那賀川町科学センター他	63	徳島流星会議
45	2004/8/27-29	富山	ニチユーシーサイドクラブ	59	氷見流星会議
46	2005/8/19-21	静岡	浜名湖	51	浜名湖流星会議
47	2006/8/25-27	兵庫	西はりま天文台	43	西はりま流星会議
48	2007/8/3-5	静岡	富士教育研修所	約40	富士山流星会議
49	2008/8/2-3	長野	西条温泉とくら	32	2008信州流星会議　IAUリストの検討
50	2009/8/21-23	栃木	鬼怒川温泉あさやホテル		鬼怒川流星会議（温故知新）
51	2010/7/31-8/1	富山	富山市　かんぽの宿富山	32	富山流星会議
52	2011/7/30316	宮城	大崎市　玉造荘	28	がんばろう東北！（東日本大震災）
53	2012/8/25-26	愛知	豊川市　豊川市民プラザ	33	穂の国流星会議
54	2013/8/24-25	大阪	大阪市　ホテルコスモススクエア	36	大阪ベイサイド流星会議 シンポUFO Cap.10年
55	2014/7/20-21	長野	安曇野市　ビレッジ安曇野	42	信州あづみの流星会議