

眼視、写真(CCD)、電波(II)で見えるもの---?established? list?

2012/Feb./5 流星物理セミナー
日本流星研究会小関正広

1. 流星数の光度分布

観測され得る流星数は流星の光度(等級)の指数関数となると考えられている。しかし、実際に観測される流星数は観測条件によって異なったものになる。眼視観測では、肉眼という制限から暗い流星は極端に見落としが増加する。Kresakova が膨大な眼視観測から得た「視認率」を示す(最微等級=6.5 の場合)。

流星の光度	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
視認率	1	0.98	0.95	0.87	0.73	0.57	0.48	0.42	0.343	0.232	0.064	0.008

NMS 同報に掲載された明大のふたご群観測(2011 年)を総合すると次の結果が得られる。

流星の光度	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	平均
ふたご群の流星数	11	36	113	240	314	131	43	3	0.56
散在流星数	1	8	23	47	78	97	37	5	1.22
最微等級平均	=4.25								

最微等級の違いだけ Kresakova の表をスライドさせて明大の眼視観測に適用すると次のグラフが得られる。

きれいに直線近似できることが分かる。つまり、ふたご群の流星も散在流星も光度(等級)の指数関数で表されることが確認できる。ここで、この直線の傾き(対数)を指数の冪に戻したものを光度比という。ある光度 m_0 における流星数を N_0 とするとき、光度 m の流星数は光度比 r を用いて次のように表される。

$$N = N_0 * (m - m_0)^r$$

このグラフからは、ふたご群の光度比が $r=2.66$ であり、散在流星が $r=3.71$ であると求められる。これからも分かるように、一般的に群流星の方が散在流星よりも光度比が小さい。以下では、光度比の大小をモデルによって考えてみることにする。

光度比に小数がつくと計算が大変になるので、 $r=2$ と $r=3$ の場合を比較してみよう。仮に-2 等級の流星数が群流星で 10 個、散在流星で 1 個であったとする(ペルセウス群の場合に近い)。

流星の光度	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
$r=2$					10	20							
$r=3$					1	3							

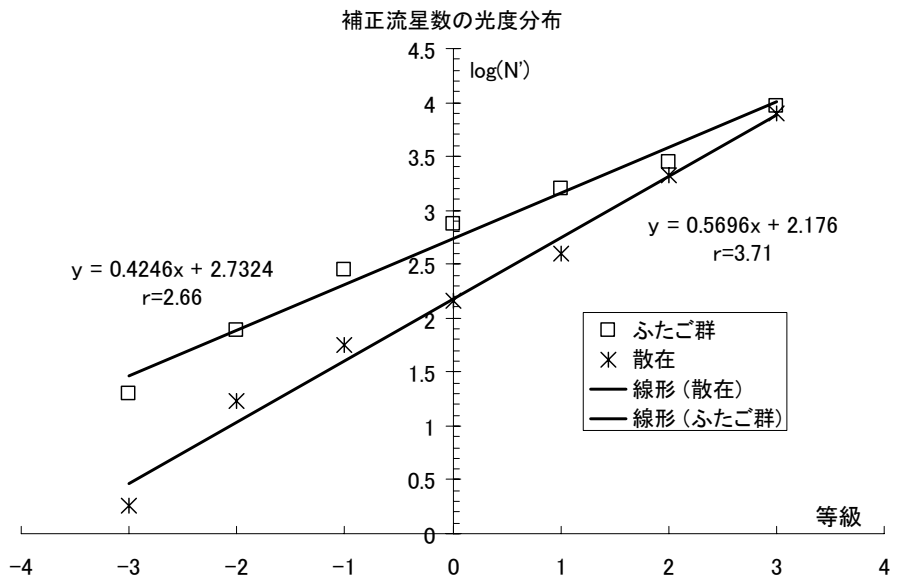
10 個と 1 個という大きな差があったとしても、光度が 4 等になると、流星数は逆転し、さらに暗い流星では、散在流星の方がはるかに多くなることが分かる。前述の視認率を当てはめて、実際に観測される流星数を最微等級 6.5 の空として推算すると次の表になる。合計流星数が $r=2$ に対して 260.6 個、 $r=3$ に対して 167.3 個であるから、ペルセウス群を理想的な晴夜に個人であれば、数時間、または数名の団体観測を総計したものと考えれば、およその状況が再現されていると言えるだろう。

流星の光度	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
$r=2$	0.6	1.2	2.4	4.4	7.3	11.4	19.2	33.6	54.9	74.2	41.0	10.2	0.2
$r=3$	0.0	0.0	0.1	0.3	0.7	1.7	4.3	11.3	27.8	56.4	46.7	17.5	0.5

2. 流星群の見え方

眼視観測によって、流星群の活動が認められるには、最低限、次の条件が必要であろう。

- (1)経路を記入する：1 時間に 1 個で 4 時間以上の観測。



(2)計数観測：散在流星に対して群流星の数が 1/10 以上ある。

同様に、軌道が求められる観測方法であっても、流星群の活動を認識するには条件がある。流星の光度分布を模式的に示して、条件を考えてみよう。以下では、実際により近いであろう値として、群流星 $r=2.5$ 、散在流星 $r=3.5$ （これは、小関 2011 でも確認されている）として、計算・表示する。

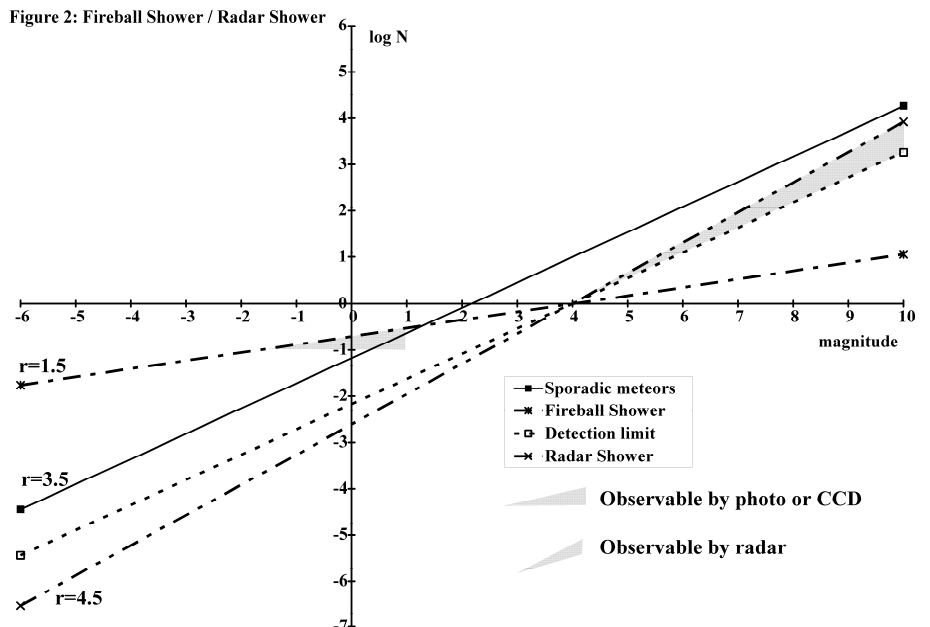
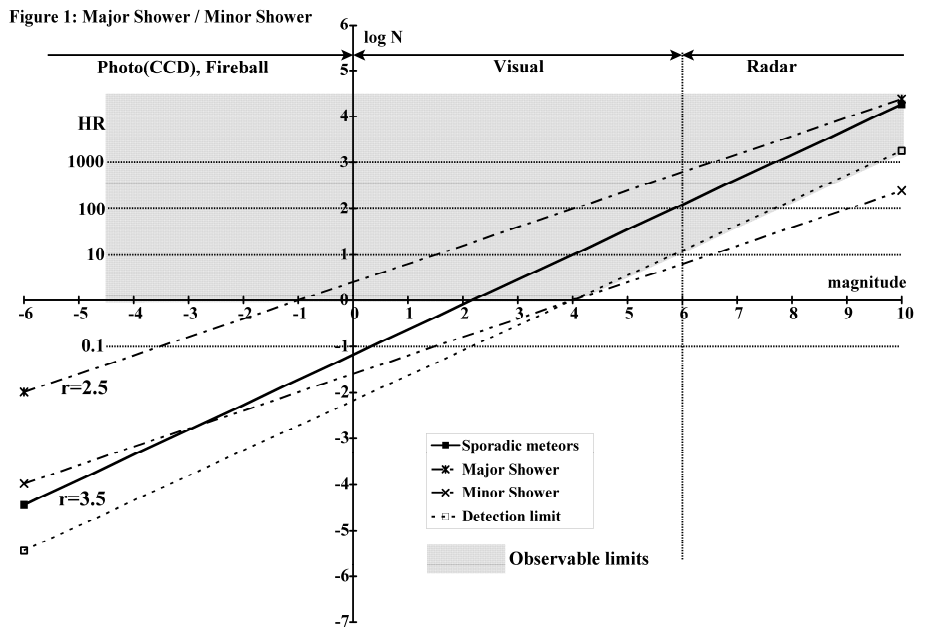
第 1 図は、大流星群と小流星群の見え方を比較するものである。縦軸は対数目盛なので、左側に真数を表示した。ここでは、簡単のために流星数 N が HR を意味するものと考えよう。横軸は流星の光度（等級）であり、大きく写真(CCD)、眼視、電波の領域に 3 分した。もちろん、相互の重なりはある。グラフ中で $r=3.5$ と示した線が散在流星数であり、その 1 目盛り下の平行線（点線）は散在流星数の 1/10 を示し、群流星の検出限界を意味する。 $r=3.5$ の線で上側の 1 点鎖線は大流星群、下側の 2 点鎖線は小流星群を表す。大流星群は-1 等級の 1 時間あたり流星数が 1 個、小流星群は 4 等級で 1 個と仮定した。図中の網掛け部分が一般的な観測可能領域となる。つまり、大流星群であれば、全ての観測方法で検出される。しかし、小流星群の直線は、この領域をかすめるだけであり、時によっては観測されるが、常に検出されるわけではないことになる。また、4 等級より明るい領域では、辛うじて検出限界の点線を上回り、1.5 等級程度までは $HR>0.1$ となるので、写真や CCD 観測では検出が可能となる場合もあり得る。

第 2 図は火球群と微光群（電波群）の見え方を比較するものである。 $r=1.5$ が火球群、 $r=4.5$ が微光群を模式的に示している。ともに 4 等級で $HR=1$ としている。光度比が実際にどれくらいなのか、また、本当に直線近似でできるのかという問題があるが、この図から、基本的な違いを理解することができる。写真や CCD では、軌道が得られるので、出現数が少なくとも群判定が可能であり、 $HR>0.1$ を検出限界と考えることができる。従って、撮影可能等級（ここでは 1 等級）よりも明るい範囲にわずかながら検出可能領域が存在する。また、微光群の場合には、4 等級より暗い領域で散在に対する判別可能条件である 1/10 を超える（破線より上）の領域が存在する。

流星群によって光度比の違い、全体的な流星数の違い（それぞれ、グラフ上の傾きと切片を意味する）の違いがあることは当然である。従って、観測手段によって、流星群の見え方は大きく違ってくる。さらに、電波流星の領域では他の観測手段に比べ、観測年による違いも大きいことが知られている。このような違いを無視した IAUMDC の<established list>は無用の混乱を招くものである。付録として、IAUMDC の<established list>にコメントをつけて示すが、従来から知られていた流星群の他は、かなり怪しいもの、不確定なものが含まれていることに十分留意する必要がある。

参考文献

小関正広、2011、明大天文部の眼視グループ観測から分かること (2011/Feb./6 流星物理セミナー)



付録:IAUMDC の?established? list

IAU	Code	流星群和名	λ_s	α	δ	$\lambda-\lambda_s$	β	Vg	Remarks
27	KSE	へび座 κ 流星群	15.7	230.6	17.8	206.8	35.0	45	Cook の working list に登場。1950 年代の写真以外に確実な観測はない。
144	APS	4 月うお座昼間流星群	30.3	7.6	3.3	338.0	0.0	28.9	昼間群。Kashcheyev(旧ソ連)と Nilsson の観測。
6	LYR	4 月こと座流星群	32.4	272	33.3	240.6	56.7	46.6	☆
137	PPU	とも座 π 流星群	33.6	110.4	-45.1	93.5	-65.9	15	1977, 1982 年に突発出現。26P/Grigg-Skjellerup の軌道変化により注目されている。
152	NOC	くじら座 ω 北昼間流星群	46.7	2.3	17.8	322.7	15.4	33	昼間群。Kashcheyev(旧ソ連)、Sekanina と Nilsson の観測。
153	OCE	くじら座 ω 南昼間流星群	46.7	22.5	-3.6	332.7	-12.1	36.6	昼間群。Lovell 以来知られている<歴史ある>流星群。
31	ETA	みずがめ座 η 流星群	46.9	336.9	-1.5	291.2	7.6	65.9	☆
145	ELY	こと座 η 流星群	49.1	292.5	39.7	257.4	60.3	45.3	C/1983 H1 (IRAS-Araki-Alcock)に関連するとされるが、写真観測のみ。
156	SMA	5 月おひつじ座南昼間流星群	55	33.7	9.2	339.6	-4.1	28.9	昼間群。Kashcheyev(旧ソ連)と Nilsson の観測。
61	TAH	ヘルクレス座 τ 流星群	72	228.5	39.8	136.2	54.7	15	73P/Schwassmann-Wachmann 3 に関連。ほぼ写真観測のみ。突発出現(1930 年?)
171	ARI	おひつじ座昼間流星群	76.7	40.2	23.8	328.4	7.8	35.7	昼間群。Lovell 以来知られている<歴史ある>流星群。
172	ZPE	ペルセウス座 ζ 昼間流星群	78.6	64.5	27.5	348.8	6.0	25.1	昼間群。Lovell 以来知られている<歴史ある>流星群。
165	SZC	6 月わし座南流星群	80	297.8	-33.9	213.4	-12.7	33.2	Kronk の表にある以外は、1 回の電波観測のみ。#164 の南群というだけ。
325	DLT	おうし座 λ 昼間流星群	85.5	56.7	11.5	331.6	-8.2	36.4	Brown(2007)の電波観測以外には知られていない。
164	NZC	6 月わし座北流星群	86	298.3	-7.1	212.9	13.5	36.3	McIntosh の表の他、電波観測で知られている。
63	COR	からす座流星群	94.9	192.6	-19.4	104.3	-12.9	9.1	1937 年に Hoffmeister が突発出現を観測。それ以降の確実な観測はない。
324	EPR	ペルセウス座 ε 流星群	95.5	58.2	37.9	328.7	17.3	44.8	Brown(2007)の電波観測以外には知られていない。
170	JBO	6 月うしかい座流星群	96.3	222.9	47.9	97.8	59.6	14.1	7P/Pons-Winnecke に関連。突発出現(1916 年等)以外は写真観測のみ。
173	BTA	おうし座 β 昼間流星群	96.7	84.9	23.5	348.6	0.1	29	昼間群。Lovell 以来知られている<歴史ある>流星群。
326	EPG	ペガスス座 ε 流星群	105.5	326.3	14.7	228.6	26.5	29.9	昼間群。Brown(2007)の電波観測以外には知られていない。
328	ALA	とかげ座 α 流星群	105.5	343	49.6	266.3	50.7	38.9	Brown(2007)の電波観測以外には知られていない。
187	PCA	カシオペア座 π 流星群	106	389.4	71.5	316.0	53.9	40.3	電波観測 (特に旧ソ連) のみ。Northern toroidal の一部と言うべき。
327	BEQ	こうま座流星群	106.5	321.5	8.7	220.4	22.6	31.6	Brown(2007)の電波観測以外には知られていない。
188	XRI	オリオン座 χ 昼間流星群	117.7	94.4	15	336.6	-8.4	44	昼間群。Kashcheyev(旧ソ連)と Nilsson の観測。
183	PAU	みなみのうお座流星群	123.7	347.9	-23.7	215.7	-17.0	44.1	McIntosh の南半球の流星群に登場。それらしい電波観測もあるが、不明確。
5	SDA	みずがめ座 δ 南流星群	125.6	342.1	-15.4	212.0	-7.2	40.5	☆
1	CAP	やぎ座 α 流星群	127	306.6	-8.2	179.9	10.7	22.2	☆
3	SIA	みずがめ座 ι 南流星群	131.7	339	-15.6	203.1	-6.3	34.8	Whipple が指摘したもので、それらしい電波観測もあるが、散在に埋もれている。
191	ERI	エリダヌス座 η 流星群	137.5	45	-12.9	260.8	-28.6	64	大塚の報告のみ。
7	PER	ペルセウス座流星群	140.2	48.3	58	283.1	38.4	59.4	☆
198	BHY	みずへび座 β 流星群	143.8	36.3	-74.5	168.3	-71.3	22.8	1985 年の突発出現のみ。
12	KCG	はくちょう座 κ 流星群	145.2	284	52.7	158.1	74.5	24	写真観測、眼視観測ともにあるが、定義自体が不明確。
33	NIA	みずがめ座 ι 北流星群	147.7	328	-4.7	180.8	7.8	27.6	Whipple が指摘したもので、それらしい電波観測もあるが、散在に埋もれている。

206	AUR	ぎょしゃ座流星群	158.7	89.8	38.7	291.1	15.3	65.7	1935年以降、突発出現を繰り返している。
208	SPE	9月ペルセウス座 ϵ 流星群	170	50.2	39.4	248.2	20.3	64.5	写真、CCDで近年注目されている。
212	KLE	しし座 κ 昼間流星群	181	162.7	15.7	337.1	7.7	43.6	昼間群。Kashcheyev(旧ソ連)と Nilsson の観測。
221	DSX	ろくぶんぎ座昼間流星群	188.4	154.5	-1.5	328.5	-11.3	31.2	昼間群。Nilsson の観測でふたご群との関係が指摘された。
233	OCC	10月やぎ座流星群	189.7	303	-10	113.3	9.7	10	Terentjeva の火球群。その後、眼視観測も少数ある。
281	OCT	10月きりん座流星群	193	166	79.1	280.0	62.0	46.6	突発出現らしき目撃証言のみ。
9	DRA	10月りゅう座流星群	195.1	264.1	57.6	55.1	80.6	20.4	☆
8	ORI	オリオン座流星群	208.6	95.4	15.9	246.6	-7.4	66.2	☆
22	LMI	こじし座流星群	209	159.5	36.7	297.6	25.9	61.9	Cook の working list に登場。写真観測の他 CCD 観測もある。
2	STA	おうし座南流星群	224	49.4	13	186.5	-5.0	28	☆
17	NTA	おうし座北流星群	224	58.6	21.6	197.0	1.3	28.3	☆
18	AND	アンドロメダ座流星群	232	24.2	32.5	162.6	20.8	17.2	歴史上の大出現。写真観測で痕跡らしきものが捉えられている。
13	LEO	しし座流星群	235.1	154.2	21.6	273.2	10.2	70.7	☆
246	AMO	いっかくじゅう座 α 流星群	239.3	117.1	0.8	239.7	-20.0	63	1935年の突発出現の他、1995年にも DMS で突発出現を捉えている。
250	NOO	11月オリオン座流星群	245	90.6	15.7	205.6	-7.7	43.7	1964年の突発出現以外には、確実な観測はない。
254	PHO	ほうおう座流星群	253	15.6	-44.7	98.3	-46.2	11.7	1956年に突発出現が観測されたが、以後の状況は不明確。
19	MON	12月いっかくじゅう座流星群	260.9	101.8	8.1	201.2	-14.8	42	写真観測と電波観測が中心。代表的な小流星群
4	GEM	ふたご座流星群	262.1	113.2	32.5	207.7	10.6	34.6	☆
16	HYD	うみへび座 σ 流星群	265.5	131.9	0.2	228.8	-17.0	58	写真観測では比較的よく捉えられている。
15	URS	こぐま座流星群	271	219.4	75.3	218.6	72.1	33	☆
20	COM	12月かみのけ座流星群	274	175.2	22.2	252.5	18.4	63.7	#32DLM, #90JCO を合わせてかみのけ群と呼ばれる。#32のみ CCD で確認できる。
320	OSE	へび座 ω 流星群	275.5	242.7	0.5	325.0	21.2	38.9	Brown(2007)の電波観測以外には知られていない。
330	SSE	へび座 σ 流星群	275.5	242.8	-0.1	325.3	20.6	42.67	Brown(2007)の電波観測以外には知られていない。
319	JLE	1月しし座流星群	282.5	148.3	23.9	219.8	10.4	52.7	Brown(2007)の電波観測以外には知られていない。
10	QUA	しぶんぎ座流星群	283.3	230	49.5	276.9	63.6	41.4	☆
331	AHY	うみへび座 α 流星群	285.5	127.6	-7.9	206.8	-26.0	43.6	Brown(2007)の電波観測以外には知られていない。
323	XCB	かんむり座 ξ 流星群	294.5	244.8	31.1	299.7	51.5	44.25	Brown(2007)の電波観測以外には知られていない。
322	LBO	うしかい座 λ 流星群	295.5	219.6	43.2	259.8	54.4	41.75	Brown(2007)の電波観測以外には知られていない。
321	TCB	かんむり座 ζ 流星群	296.5	232.3	35.8	279.2	52.4	38.66	Brown(2007)の電波観測以外には知られていない。
110	AAN	ポンプ座 α 流星群	313.1	140	-10	192.8	-24.3	42.6	McIntosh の表の他、電波観測もあるが同じものか不明確。
102	ACE	ケンタウルス座 α 流星群	319.4	210.9	-58.2	273.0	-42.2	59.3	1980(1974?)年に突発出現。電波観測に類似するものがある。

☆はよく知られている群で、コメントを省略した。コメント欄はイェニスケンスの大著”Meteor Showers and their Parent Comets”に掲載されている’working list’から省略、引用した項目がある。

なお、この’working list’は web 上で取得できる（大著を購入しなくてもよい）。<http://www.astro.sk/~ne/IAUMDC/STREAMLIST/meteoroidstreamworkinglist.pdf> (<http://meteor.asu.cas.cz/IAU/nomenclature.html> からたどることができる。これは、C22: Task Group on Meteor Shower Nomenclature であり、IAU Meteor Data Center からではたどれない。)。Brown(2007)の電波観測は、この’working list’には含まれていない。その後の追加である。流星群和名は上田が提案した試案をそのまま用いている。

Discovery of the February Eta Draconids (FED, IAU#427): the dust trail of a potentially hazardous long-period comet

Peter Jenniskens and Peter S. Gural (WGN 39:4 (2011) 93-97)

Abstract A previously unknown shower was detected on 2011 February 4, during routine low-light-level video triangulations with NASA's Cameras for Allsky Meteor Surveillance (CAMS) project in California between 02h20m and 14h20m UT. During that time interval, six meteors radiated from a compact geocentric radiant at R.A. = $239.92^\circ \pm 0.50^\circ$, Decl. = $62.49^\circ \pm 0.22^\circ$, with speed $V_g = 35.58 \pm 0.34$ km/s. The times of arrival for the meteors were 06h25m, 07h59m, 10h49m, 11h18m, 12h14m, and 13h33m UT, suggesting that the outburst peaked around 11h UT ($\lambda_\odot = 315.^\circ 1$) and had a duration of at least 7 hours. The shower was not detected on the days prior to or after February 4. The meteors were in a narrow magnitude range, with peak visual magnitude of +2.1, +1.9, +2.6, +2.1, +2.3 and +2.4, respectively, moving from 103.6 ± 1.4 to 95.7 ± 1.5 km altitude. The mean meteoroid orbital elements derived from the radiant and speed are: $q = (0.971 \pm 0.001)$ AU, $1/a = (-0.004 \pm 0.025)$ AU⁻¹, $i = 55.^\circ 20 \pm 0.^\circ 34$, $\omega = 194.^\circ 09 \pm 0.^\circ 35$, $\Omega = 315.^\circ 07 \pm 0.^\circ 10$ (one standard deviation). The orbital period of this shower is $P > 53$ y (three standard deviations), so that meteoroids are likely the dust trail of a potentially hazardous long-period comet, which remains to be discovered.

観測機材等

- Cameras for Allsky Meteor Surveillance (CAMS) network.
→ IAU の Working List の300以上の流星群 (未確立) を調査することを目的として設置・運営。
- 現在、3点観測。2月4日時点では2点観測。
- ワテックのWat-902H2 Ultimate + 12mm F1.2レンズ (写野 $20^\circ \times 30^\circ$) を各観測地点に20台ずつ設置。

2月りゅう座η群の発見 (Fig. 1, Table 1)

- 2011年2月4日、通常のビデオ観測により検出。80個の軌道の中に5個の集中を発見 (ゆるい基準で合計6個)。
- 対地速度も 35.6km/s 付近でほぼ一致。→ 順行軌道で、ほぼ放物線軌道 (長周期)。
- 等級幅も狭い。→ いくつかじゅうα群、ぎよしゃ群でも同様の現象を観測。
- 光度変化も似ている。爆発はない。→ 比較的硬い流星物質で、簡単にはボロボロとくずれない。
- 2月りゅう座η流星群 (February η Draconids) と命名。IAU番号 #427。コードは FED。
- 2月4日以前と以後には群流星の検出なし (2月1~10日は晴天)。
2007~2009年のSonotaCoデータベースにもなし。
- 他に11個、群の候補あり。10~13hUTに出現。ピークは11hUT頃。最初の2個は wing 活動では。(Fig. 3)
- 電波観測(Finland)でも10~12hにピークあり (対流圏伝播障害(?)やオーロラのため、不明確) (Fig. 3)

Table 1 Meteoroid physical parameters, trajectory, and orbital elements. mv is the visual magnitude, F the light curve parameter (position of peak relative to distance from begin to end point), H_b and H_e are beginning and end altitude, RA_g and Dec_g are the geocentric Right Ascension and declination, V_g is the geocentric speed. Orbital elements are in J2000.

Time	mv	F	H_b	H_e	RA_g	Dec_g	V_g
06:24:31	+2.3	0.68	105.1	94.6	239.43 ± 1.32	62.38 ± 0.60	35.67 ± 0.28
07:59:25	+2.1	0.59	105.1	96.3	240.47 ± 0.53	62.23 ± 0.48	35.16 ± 0.07
10:48:53	+2.6	0.62	102.7	97.0	239.40 ± 1.22	62.46 ± 0.85	35.90 ± 0.34
11:17:46	+1.9	0.67	103.9	97.1	239.98 ± 2.14	62.79 ± 1.58	35.30 ± 1.06
12:13:49	+2.1	0.40	103.1	95.7	240.33 ± 1.28	62.61 ± 1.39	35.87 ± 0.61
13:32:19	+2.4	0.67	101.4	93.4	239.80 ± 2.88	62.38 ± 3.01	35.62 ± 0.94

Time	Sol. long	q (AU)	$1/a$ (1/AU)	i ($^\circ$)	ω ($^\circ$)	Ω ($^\circ$)
06:24:31	$314.^\circ 929$	0.970 ± 0.002	-0.002 ± 0.030	55.39 ± 0.44	194.42 ± 1.05	314.923
07:59:25	$314.^\circ 995$	0.972 ± 0.001	$+0.032 \pm 0.020$	54.94 ± 0.29	193.73 ± 0.43	314.990
10:48:53	$315.^\circ 115$	0.970 ± 0.002	-0.022 ± 0.043	55.54 ± 0.64	194.41 ± 0.88	315.111
11:17:46	$315.^\circ 135$	0.971 ± 0.003	$+0.002 \pm 0.095$	54.74 ± 1.51	194.17 ± 1.39	315.132
12:13:49	$315.^\circ 175$	0.972 ± 0.002	-0.032 ± 0.072	55.37 ± 1.07	193.73 ± 0.84	315.175
13:32:19	$315.^\circ 229$	0.971 ± 0.004	$+0.037 \pm 0.136$	55.90 ± 2.11	194.09 ± 2.24	315.228

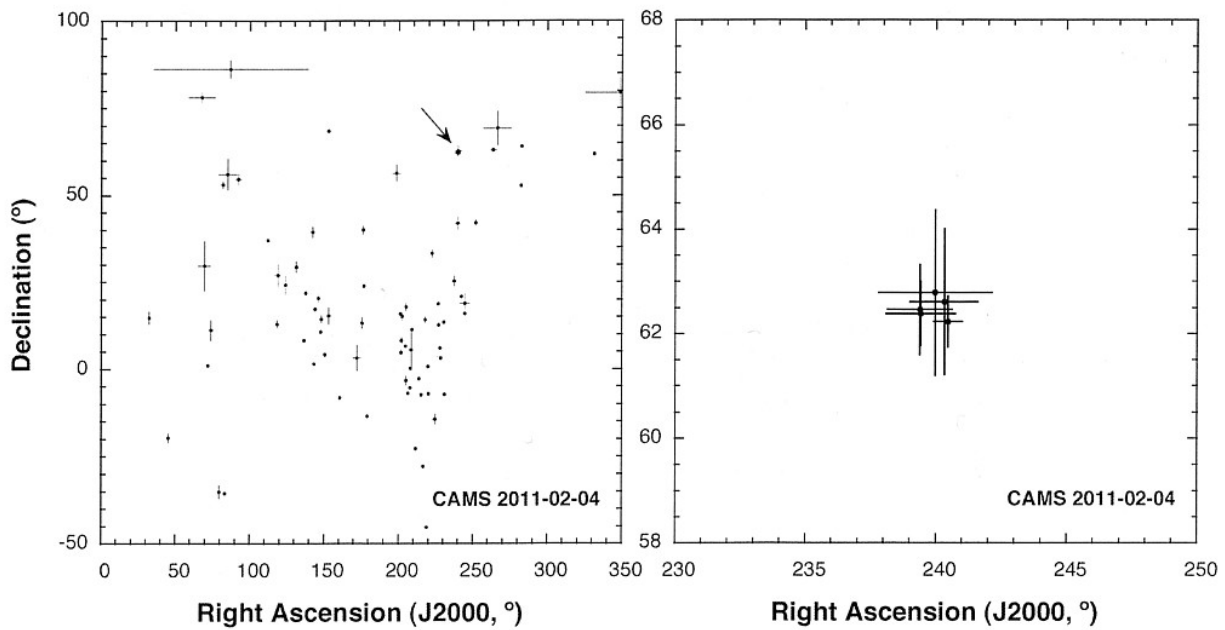


Figure 1 – Geocentric radiant positions of meteors observed in the CAMS network on 2011 February 4. Results for five meteors (marked by arrow) are shown enlarged in the right diagram.

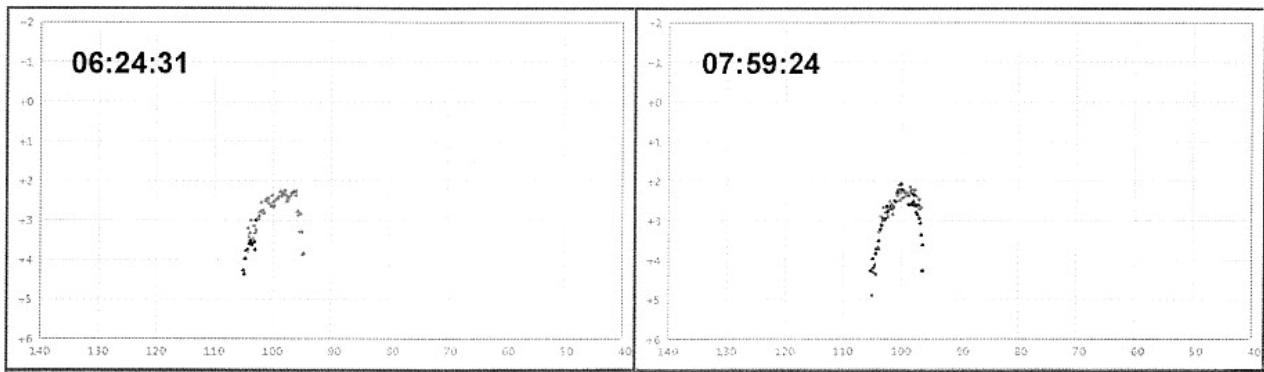


Fig. 2 (一部) Meteor light curves. 縦軸：等級、横軸：発光高度

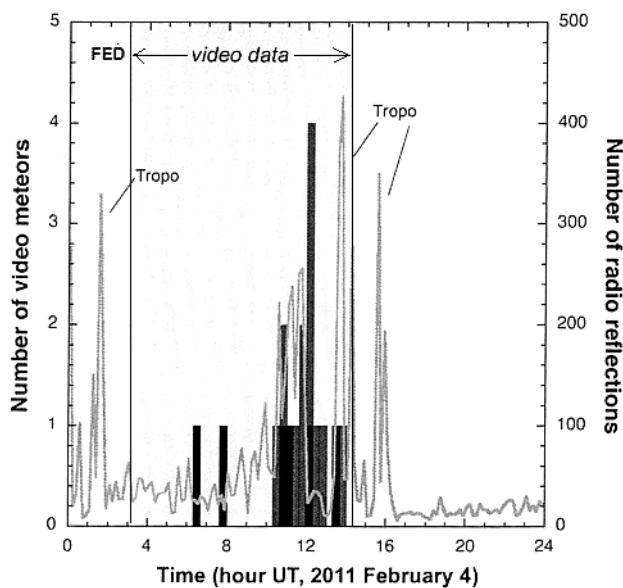


Figure 3 – Number of detected shower meteors as a function of time on 2011 February 4. The gray area is the timeframe for which video observations are available. Also shown is the count of radio reflections in observations by Ilkka Yrjölä of Kuusankoski, Finland (GlobalMSNet).

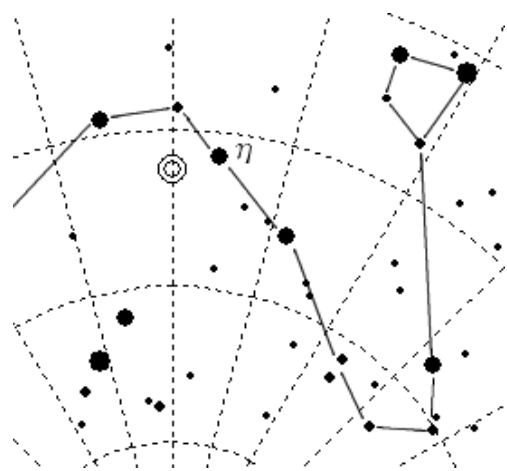


Fig. 4 輻射点位置 (内山制作)

長周期彗星の1公転トレイル

- ・地球軌道に十分近い軌道の長周期彗星は、1公転トレイルによる流星群活動が見られることがある。
- ・彗星が1公転前にダストを放出。→ ダストにより公転周期が少し異なる（放出速度・太陽光圧の違いのため）。→ トレイルを形成。
- ・惑星の引力でダストトレイルの軌道は変化。→ 地球軌道の内側・外側に行ったり来たりする（彗星軌道が地球軌道に近ければ）。→ 1時間程度の流星群活動が観測されることがある。最近の例では、1995年のいくつかのじゅうα群や2007年のぎょしゃ群。（この流星群は7時間。通常の長周期1公転トレイルでは0.7〜2時間。）
- ・このような群活動はめったにない（トレイルが細い、軌道が交差したときに地球がそこにいる必要がある）。→ 60年に1〜2回。→ 多くの流星群が発見されずに残っている。
- ・2公転すると、拡散。
- ・周期200〜1万年の彗星であれば、ダスト密度は十分で、流星群活動と認められる。
- ・新彗星でよくある周期10万年では、十分なダストを軌道に残せない。短周期彗星であれば、定常群として検出されやすい。→ この流星群の母天体の周期は、200〜1万年あたりがもっともらしい。

衝突危険性 (potentially hazardous long-period comet)

- ・Lyytinenの計算では、今後のトレイルの地球軌道交差は、2016年（地球通過1.98ヵ月後）と2023年（同2.1ヵ月前）。その次は2076年。ただし、いつも0.008AU以内。
- ・母彗星はダストトレイルの中にいる可能性大。
 - 理由1. 軌道傾斜角大きい→木星に近づかない→軌道安定。
 - 2. 非重力効果は周期を変えやすい。軌道の方向はあまり変えない。
 - 3. ダストの放出速度&太陽光圧はダストの周期を変える。他はあまり変化しない。
- ・ダストトレイルが地球にぶつかることがある → 母彗星が地球に衝突することもありえる。
- ・彗星が軌道のどこにいるかは不明。数百年前に知られずに通過したかもしれないし、現在接近中かもしれない。
- ・太陽光圧は、ダストの周期を伸ばす。→ 彗星はすでに通過しているという可能性が大きい。ただし、こと群は彗星の接近の前にも後にも観測された。

衝突の確率

- ・彗星軌道が地球軌道にぶつかるのは20×60年に2回。（トレイルは60年に2回通過。トレイルは地球より20倍太い→彗星軌道が地球に衝突する確率は、トレイルが衝突する確率の1/20）
- ・彗星軌道が地球軌道に2月4日にぶつかる可能性は15%。（1年でトレイルが動く平均距離は0.0026AU。それは地球が0.15日で公転する距離）（・・・ということが書いてあると思われるが、十分理解できていない）
- ・彗星が地球の大きさを通過するのは5分間（公転周期200〜10000年に1度）。
- ・1回の衝突に要する年数は、 $1/(2/20/60 \times 0.15 \times 5/60/24/365/200) \sim 850$ 億年に1回（周期200年の場合）。周期1万年の場合、4兆2000億年に1回。
- ・(Weissman,2006) のより正確な計算によると、長周期彗星の衝突可能性は、5億回の回帰に1回。
 - 周期200年で1000億年に1回、周期10000年で5兆年に1回。
- ・長周期彗星の地球衝突はまれな現象。しかし、彗星が十分たくさんあれば起きる。
- ・長周期彗星の衝突は、比較的高速な衝突となる。→ 10km以上のクレーターは3〜9%、100km以上のクレーターではもっと多くの比率が、長周期彗星によるものと見積もられる(Weissman,2006)。

対策 (?)

- ・「トレイルの軌道上で2月4日に地球軌道に達するところ」を探索すれば、2〜3年の警告期間を与えることができる。
- ・流星のビデオ観測(軌道チェック)を少なくとも60年間行えば、衝突可能性天体 (potentially hazardous comets) の存在を調べられる。

注意事項

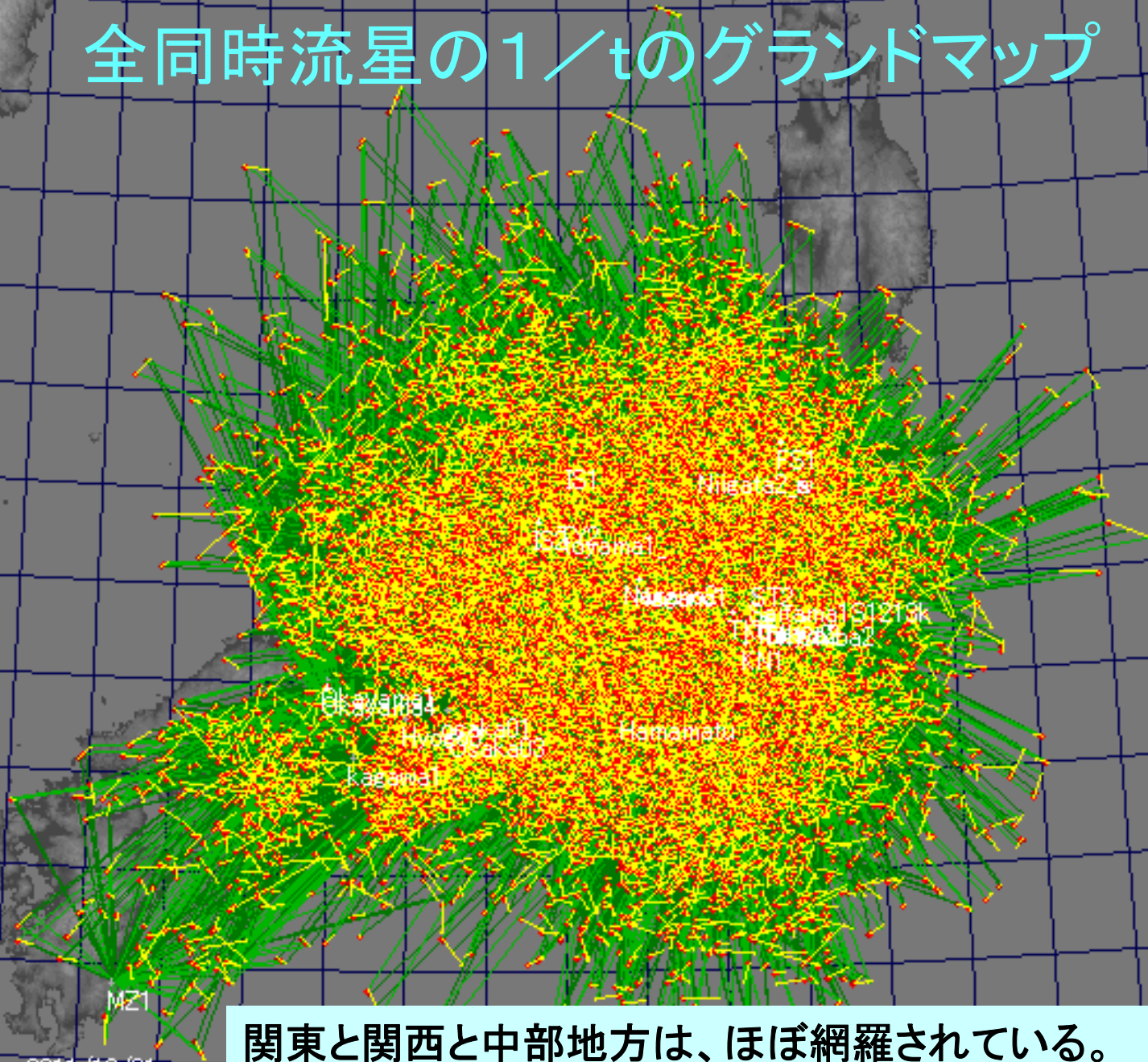
今回の論文紹介では、こちらの判断で論文記載の順番を変更し、見出しもつけなおしています。

UFOCaptureによる2011年の流星観測結果と考察

関口孝志 2012年2月5日MSS資料

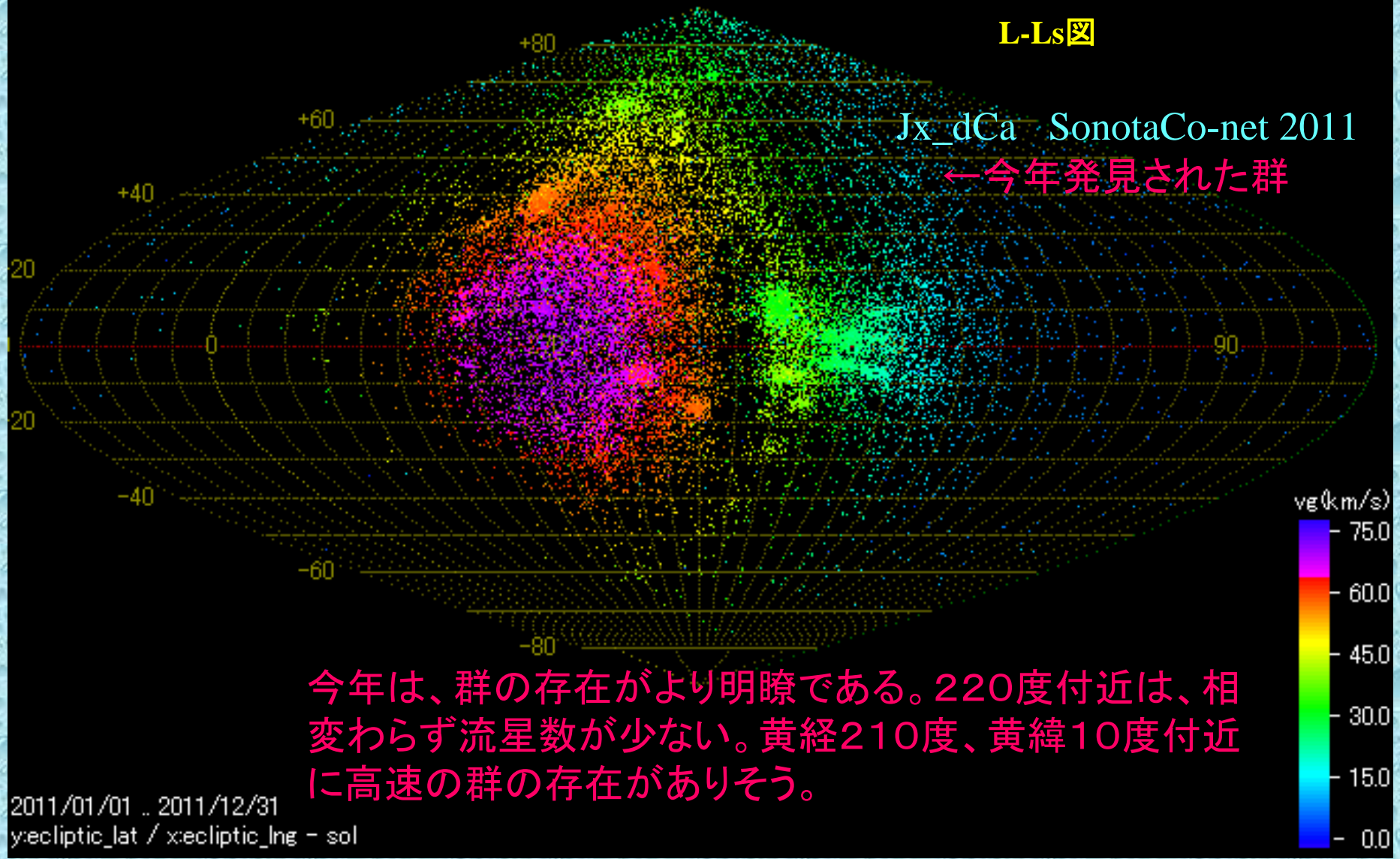
- 現在の私のシステムは、Watec Neptune 100 + CBCレンズF0.8の6mm(3台)と12mm(1台)の合計4台
- 私のこのシステムで得られた2011年分の全流星数は、**23503個**です。
- 解析ソフト UFO Capture V2: UFO AnalyzerV2
UFOorbitV2 (<http://sonotaco.com/>)
- SonotacoネットワークにアップされたUFOCaptureによるTV観測から2011年に得られた単点の流星は、全部で**159668個**です。その内、2点以上の同時流星で軌道計算できたのは、**27335個**。これらの内、私とINOUE氏の12mmでの2点同時流星は、全部で**2121個**です。これらの計算結果を基に分かったことをまとめてみました。
- また、2011年のこぐま群の突発を観測できましたので、TV観測と電波観測についても触れたいと思います。

全同時流星の1/tのグランドマップ



関東と関西と中部地方は、ほぼ網羅されている。

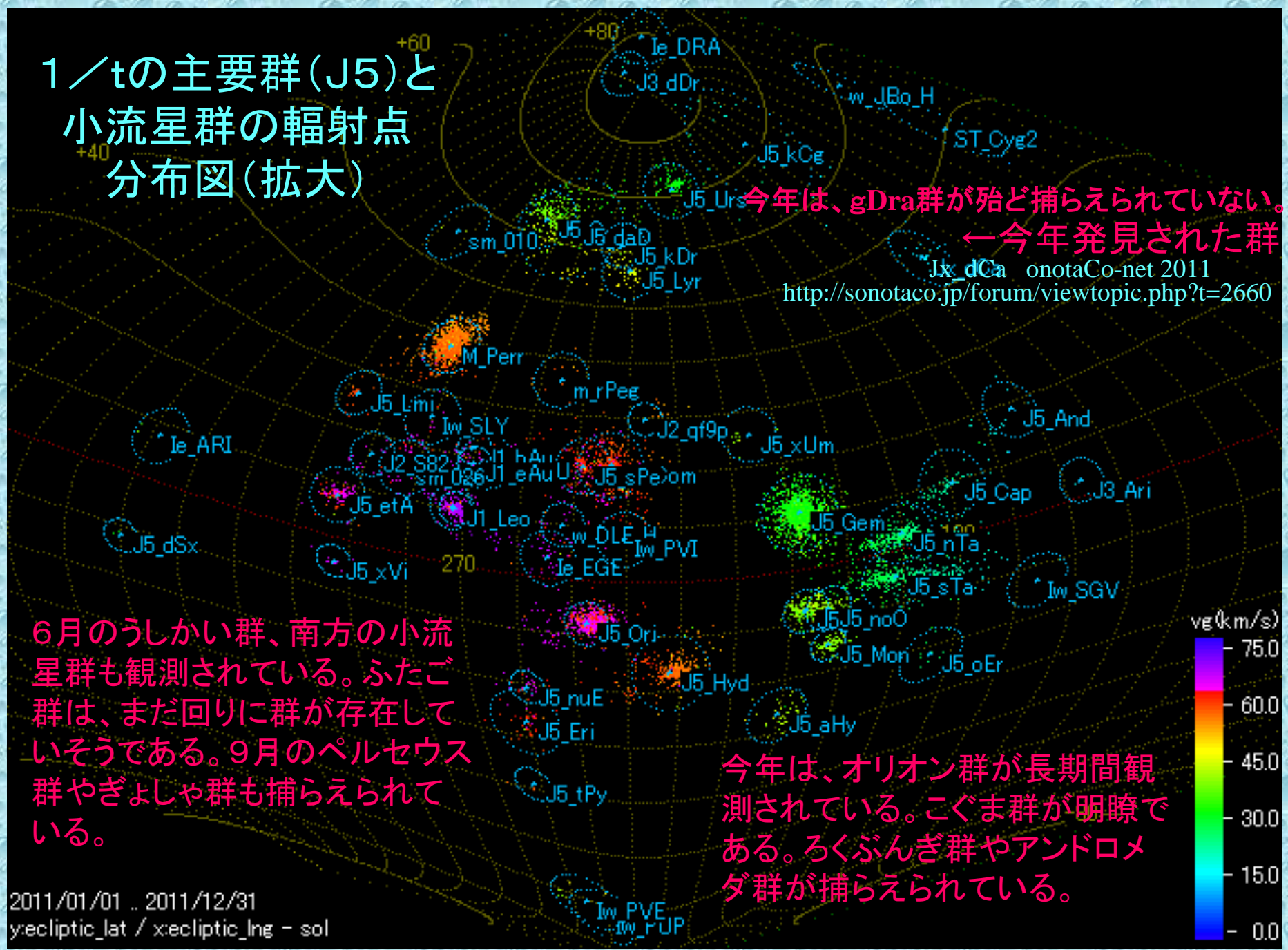
全同時流星の1/tの輻射点分布図



今年は、群の存在がより明瞭である。220度付近は、相変わらず流星数が少ない。黄経210度、黄緯10度付近に高速の群の存在がありそう。

2011/01/01 .. 2011/12/31
yecliptic_lat / xecliptic_lng - sol

1/tの主要群(J5)と 小流星群の輻射点 分布図(拡大)



今年は、gDra群が殆ど捕らえられていない。
←今年発見された群
Jlx_dCa onotaCo-net 2011
<http://sonotaco.jp/forum/viewtopic.php?t=2660>

6月のうしかい群、南方の小流星群も観測されている。ふたご群は、まだ回りに群が存在していそうである。9月のペルセウス群やぎよしゃ群も捕らえられている。

今年は、オリオン群が長期間観測されている。こぐま群が明瞭である。ろくぶんぎ群やアンドロメダ群が捕らえられている。

2011年のこぐま流星群

2011年12月22/23日

こぐま群活発(合成)

TV観測 6mm 天頂

4時8分51秒 -0等

この晩の私の単点観測でのこぐま群判定は、83個でした。

同時流星は、Sonotacoネットワークで、112個ありました。

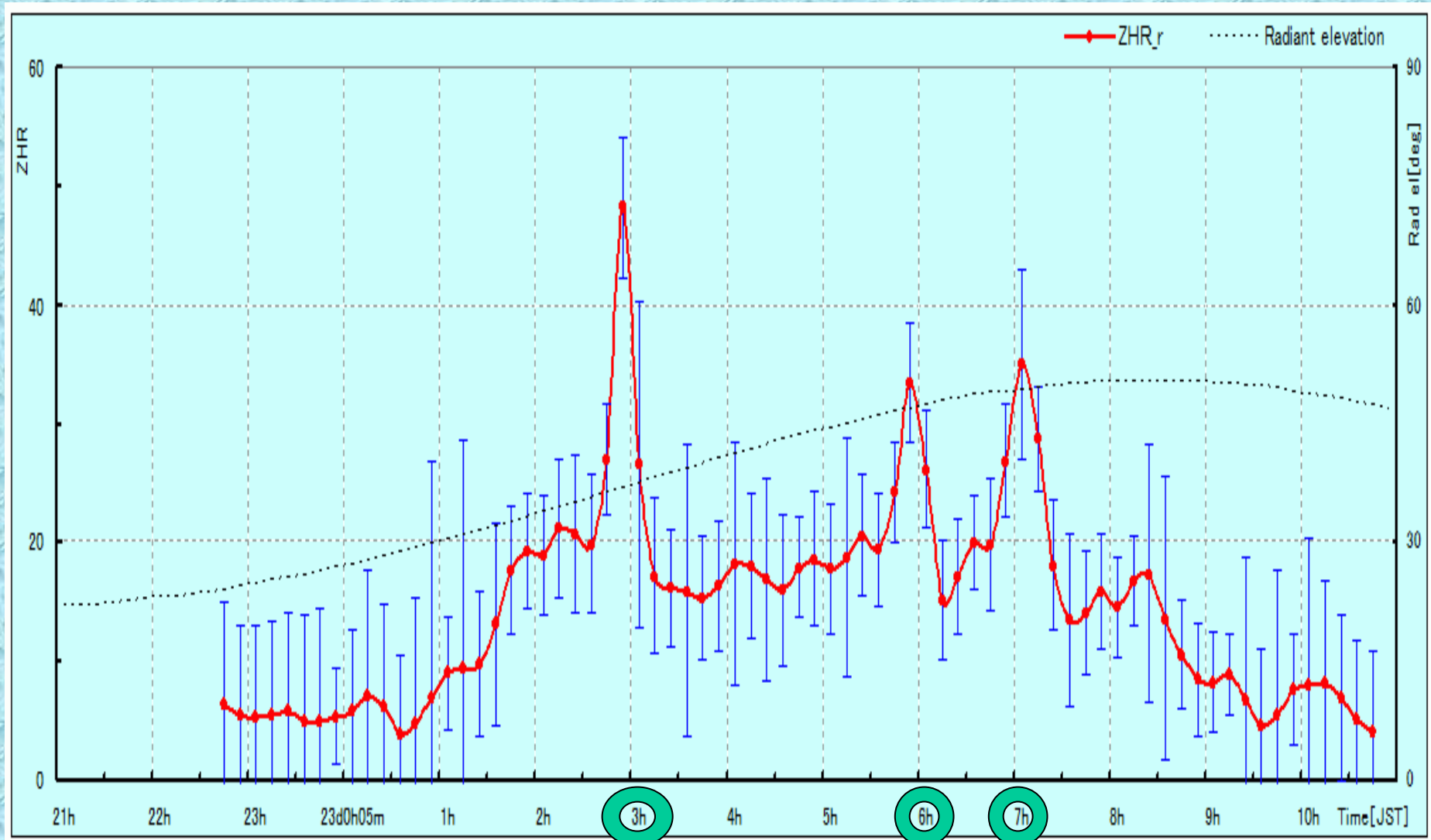
23時10分24秒 0等

0時17分20秒 0等

5時51分15秒 1等

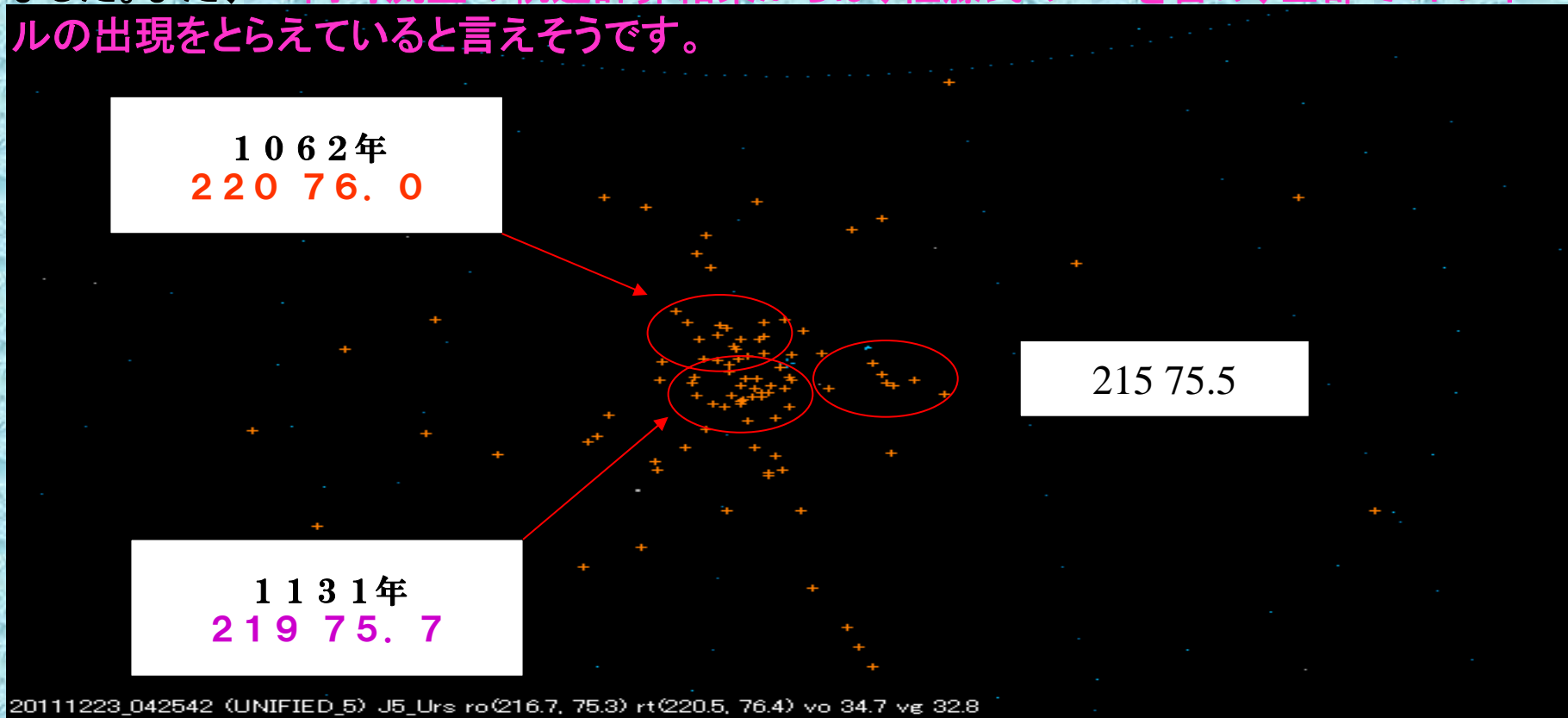
こぐま流星群の電波観測結果(杉本氏による)

極大付近の1時間毎の出現グラフです。明らかに2時50分前後と5時50分前後と7時前後に突発があったものと思われます。



こぐま流星群のダスト予想

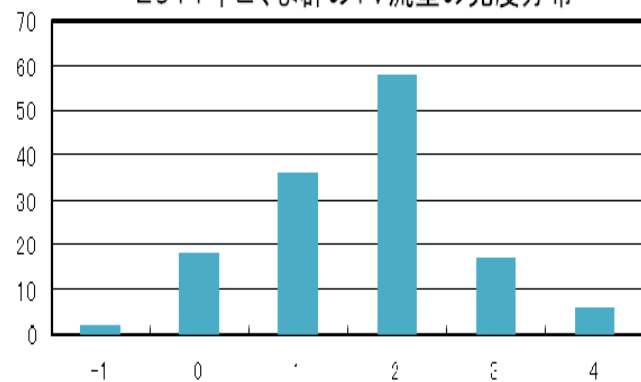
佐藤氏によるこぐま群のダストトレイルの計算結果が発表されました。それによる突発が杉本氏の電波観測速報10分ごとのグラフで確認できました。10分ほどのズレがありますが見事にとらえています。私のTV観測でも1時50分から高原状になり、5時41分から6時1分の20分間に11個の突発がありました。今回は、1分間に2個の出現が何回もありました。また、TV同時流星の軌道計算結果からは、佐藤氏の2つを含め、全部で3トレイルの出現をとらえていると言えそうです。



放出年	Date(UT)	Time	JST	LS(2000)	$\Delta r(\text{AU})$	放出速度(m/s)	fM	α	δ	V(km/s)
1062	2011/12/22.89	21:16	12/23 06:16	270.503	-0.0001	-19.43	___	219.58	+76.20	33.08
1131	2011/12/22.74	17:42	12/23 02:42	270.352	+0.0016	-13.76	0.039	219.00	+75.74	33.30

2011年のこぐま流星群

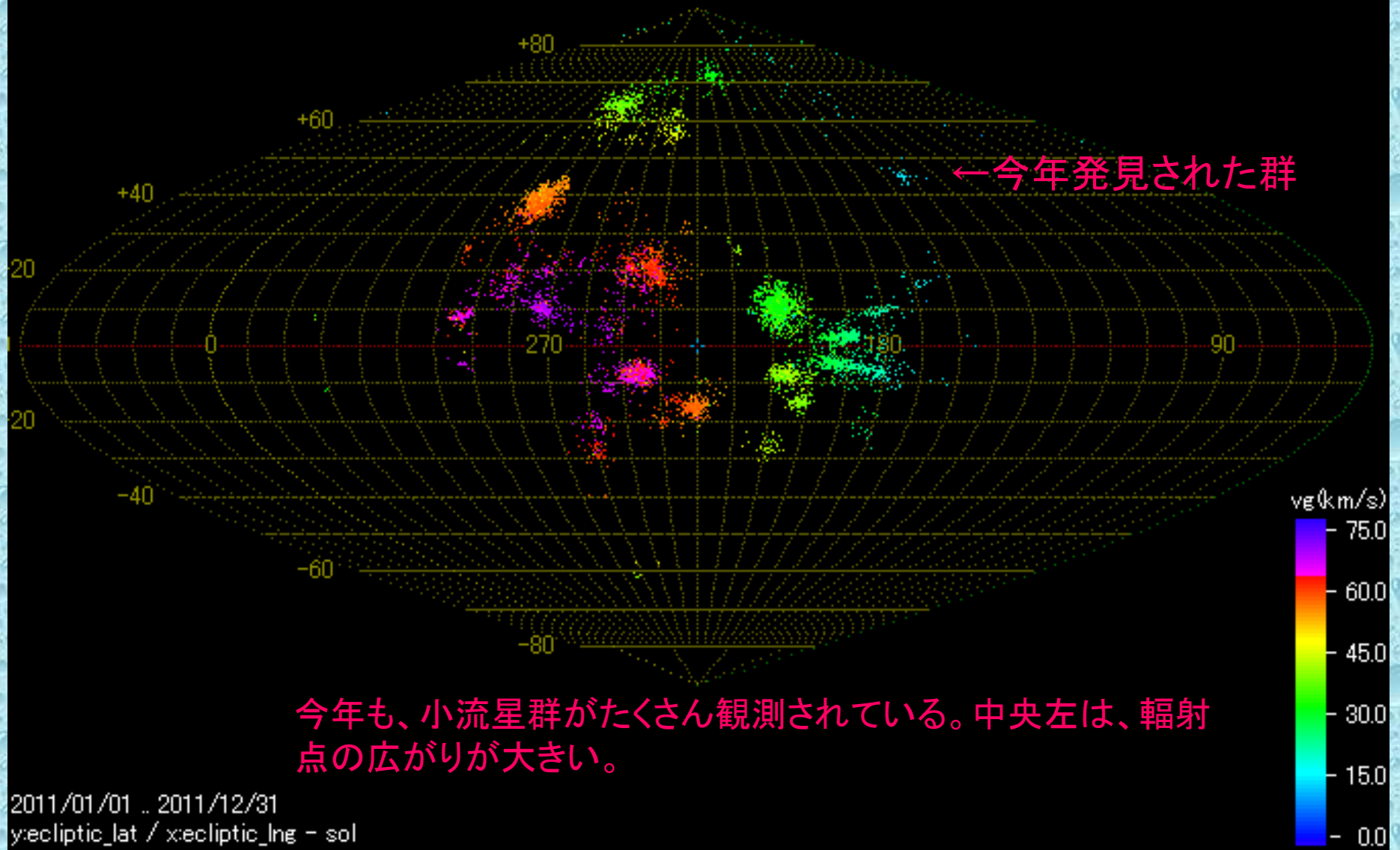
2011年こぐま群のTV流星の光度分布



光度分布は、0～2等級が多い。火球はなかった。形状は、短径路の流星が多かった。

20111223_042542 J5_Urs (216.7, 75.3) vo 34.7 evr 41.8 amag -2.2 (139.340, 34.298)H 106.5 --> (139.252, 34.044)H 82.6 (38.2km)

1/tの主要群(J5)と小流星群の輻射点分布図



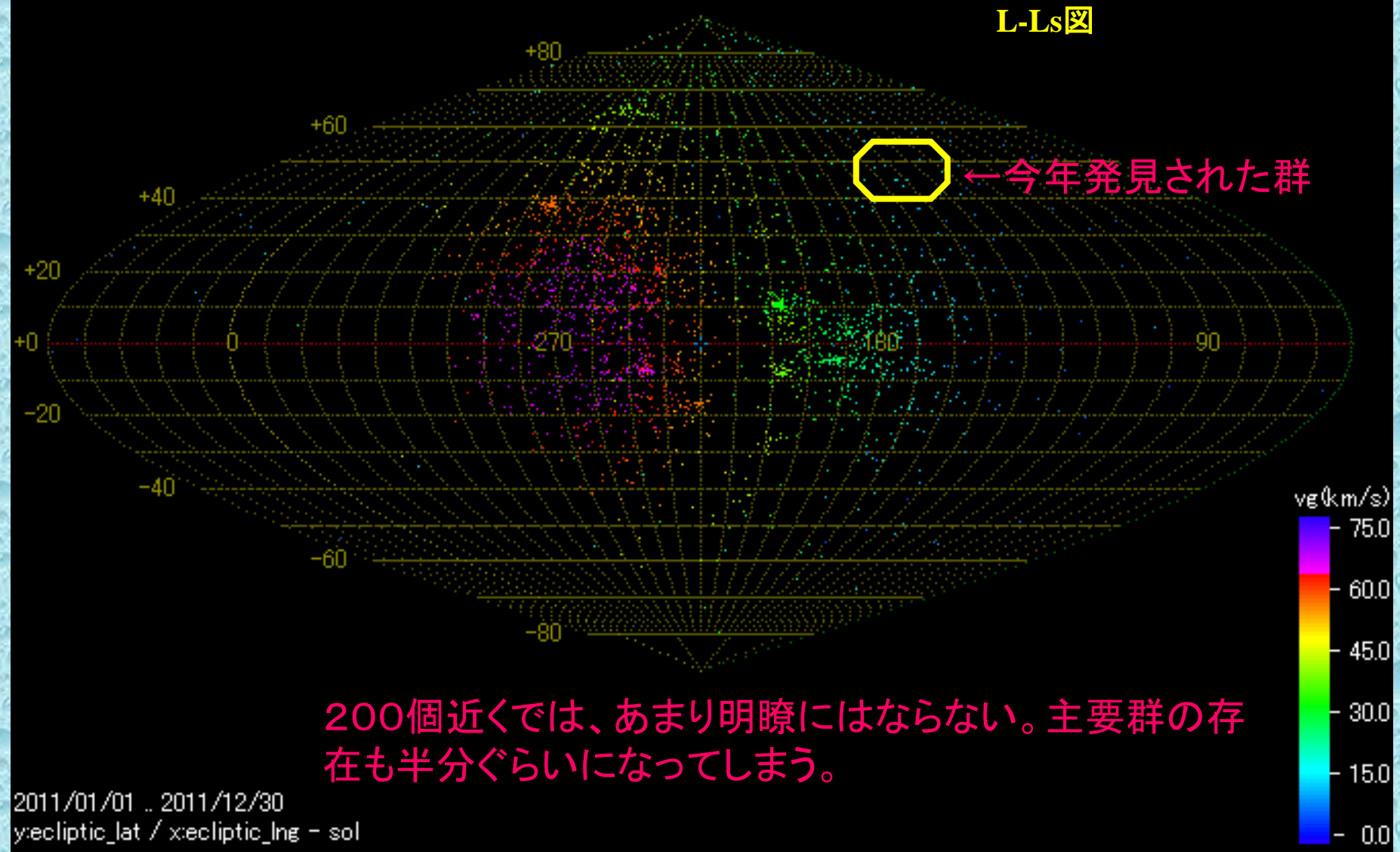
今年も、小流星群がたくさん観測されている。中央左は、輻射点の広がり大きい。

小流星群も省いた散在の1/tの輻射点分布図

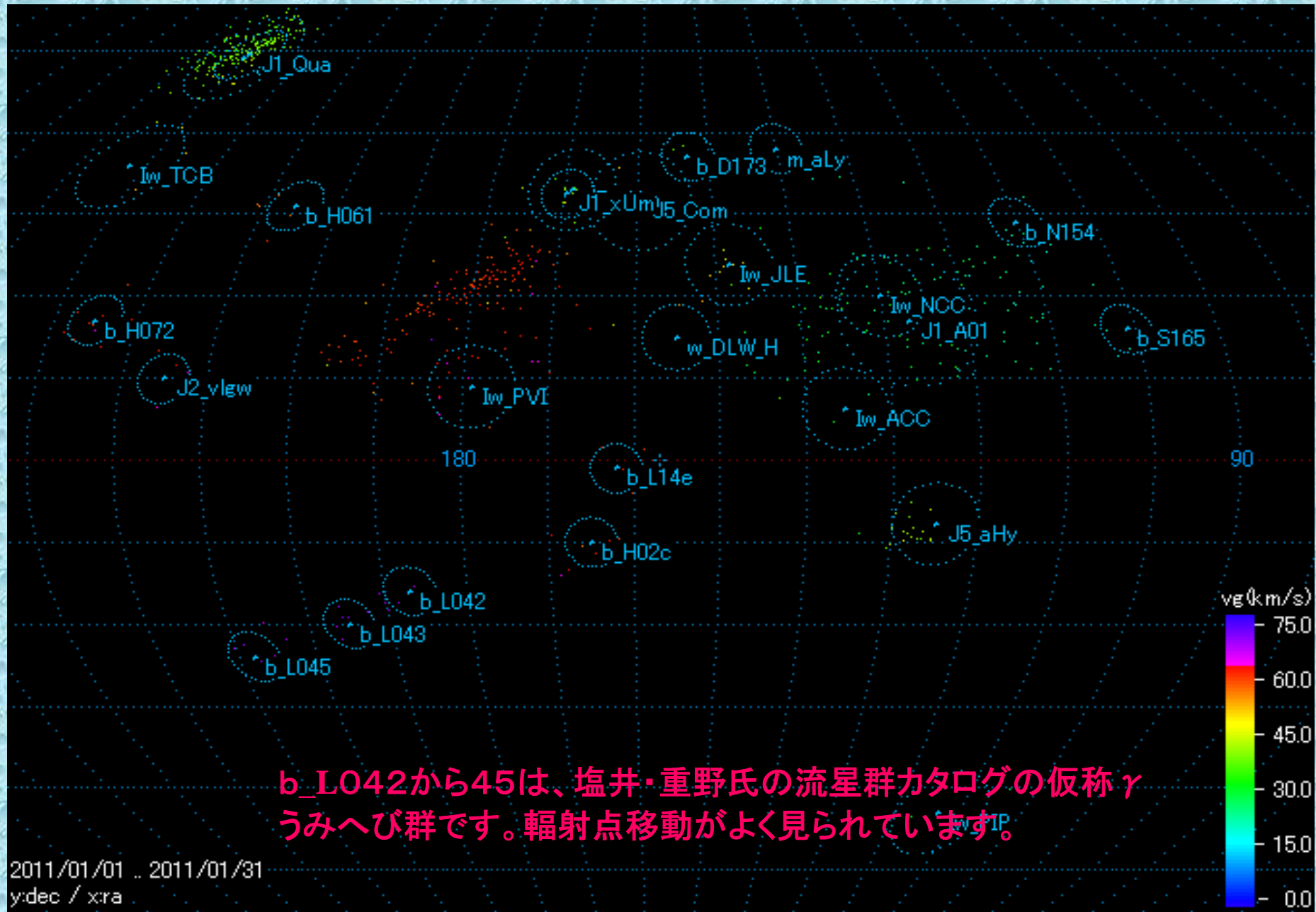


小流星群を省いても。ここには、群がありそう。1は、こじし群の後半か。2は、オリオン群の北群と同じようにみずがめ群にも北群があるのか。3は、おとめ群の活動期間が狭いために判定されていないのでは？。

12mmの全同時流星の1/tの輻射点分布図

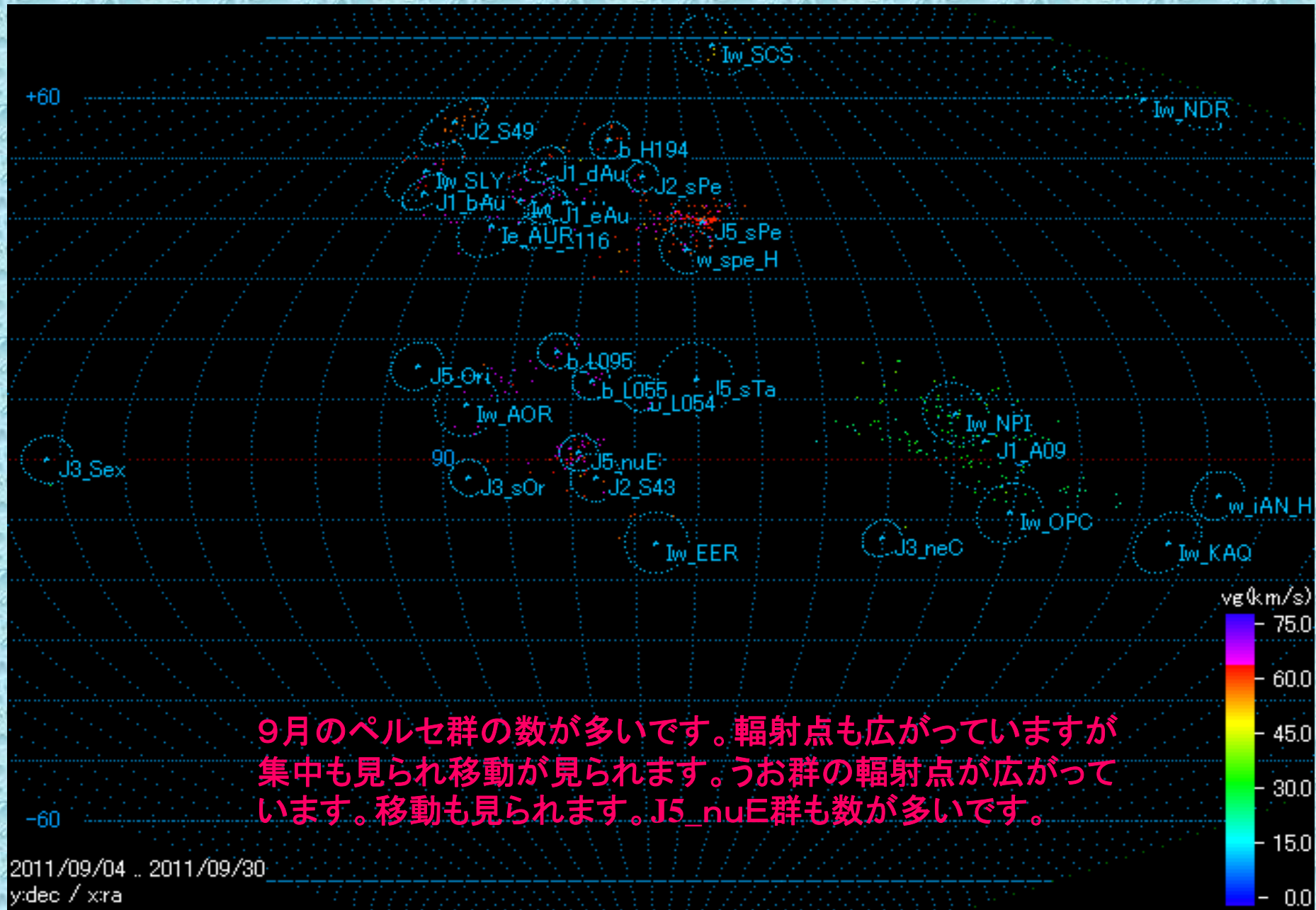


1/tの主要群(J5)と小流星群の輻射点分布図 1月

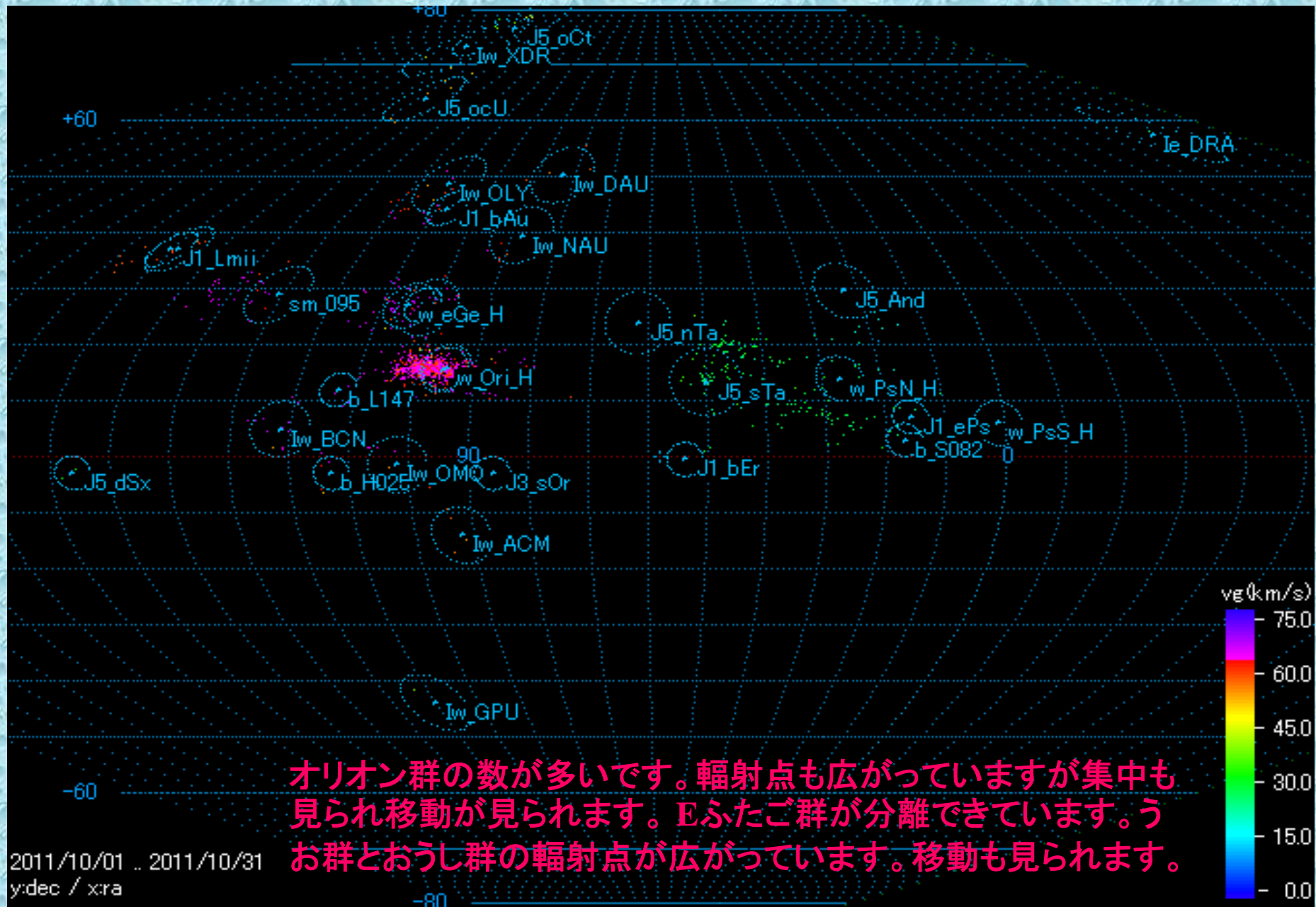


b_L042から45は、塩井・重野氏の流星群カタログの仮称γうみへび群です。輻射点移動がよく見られています。

1/tの主要群(J5)と小流星群の輻射点分布図 9月

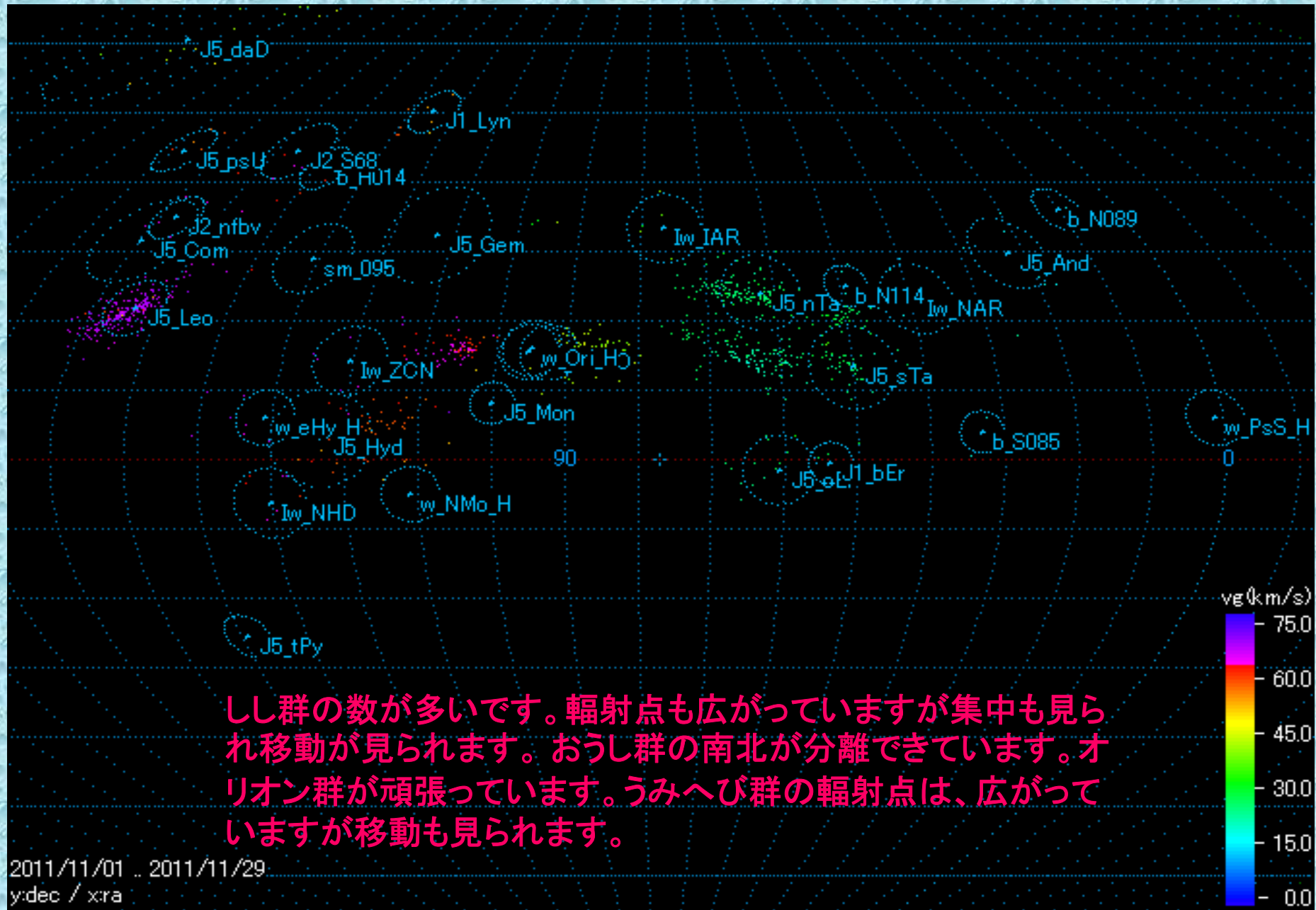


1/tの主要群(J5)と小流星群の輻射点分布図 10月

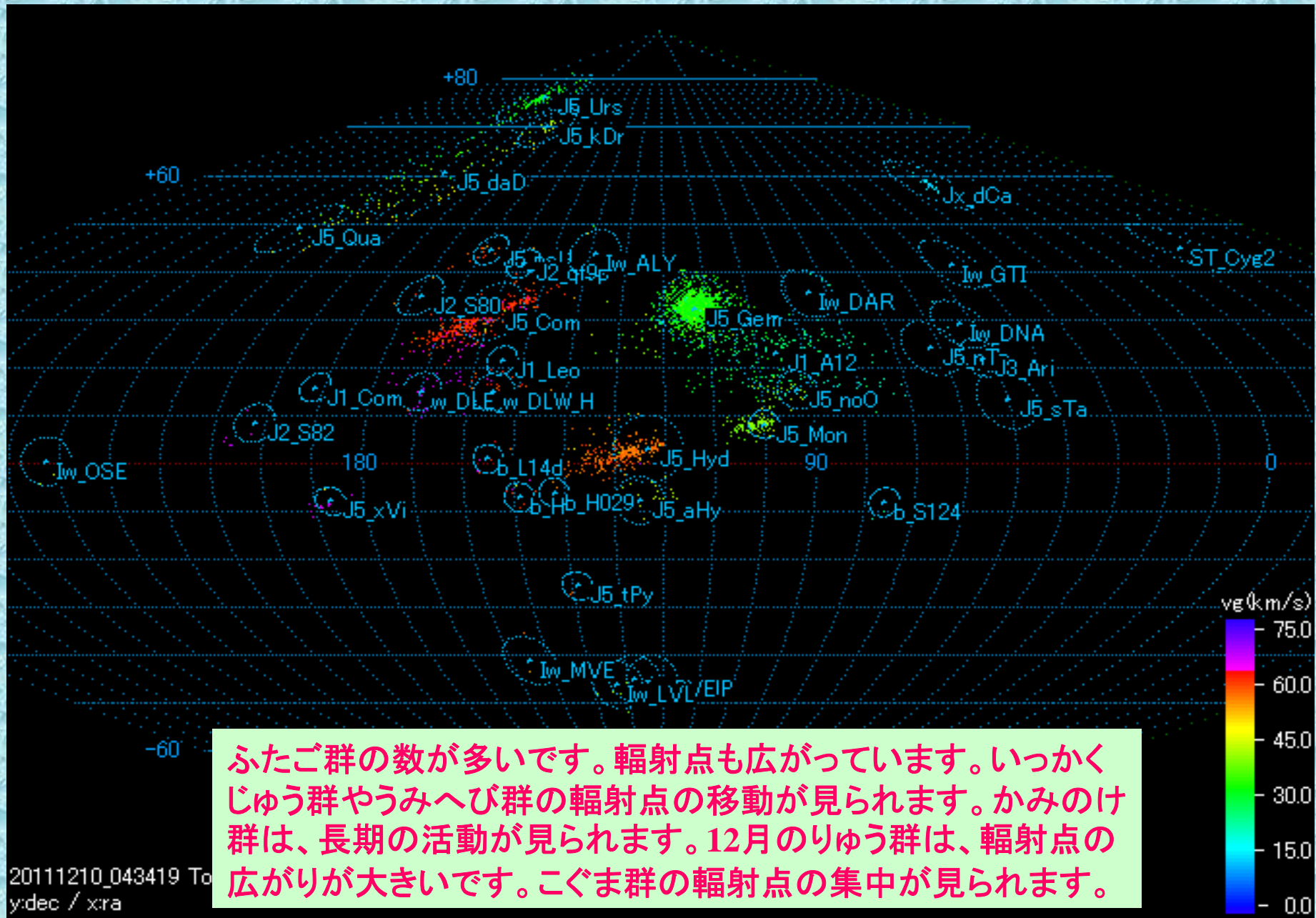


オリオン群の数が多いです。輻射点も広がっていますが集中も見られ移動が見られます。Eふたご群が分離できています。うお群とおうし群の輻射点広がっています。移動も見られます。

1/tの主要群(J5)と小流星群の輻射点分布図 11月



1/tの主要群(J5)と小流星群の輻射点分布図 12月



1. はじめに

流星群のプロファイルといえば、個々の流星の光度変化を思い浮かべることがあろうが、ここでは ZHR で表される出現推移のグラフという意味で使う。

ZHR は年毎に変化するものであり、特に明瞭な密集部をもつ流星群では、密集部の位置を推定して極大を予想することが行われている。しかし、ここでは、流星群の軌道と地球軌道の位置関係で流星出現はどのように変化するのかという基本的な問題のみを扱うこととする。基本的ではあるが、位置関係の考察から推定される流星群のプロファイルは実際に観測されるものとよく一致している。従って、本考察を利用することによって、様々な「流星群」のプロファイリングを行うことが可能と考えられる。

本稿では、プロファイルの推定方法を説明し、推定と実際の観測との間に開きが見られる「しし群」を例として、推定方法の問題点、有効な点について考察する。

2. 流星群の基本構造とプロファイルの推定方法

流星群の誕生から散在流星の中に埋没するまでの過程は次のようなものと考えられている。

- (1)母天体から放出された流星体が母天体周辺に密集して分布する。
- (2)流星体が母天体の軌道に沿って、ほぼ均一に分布する。
- (3)流星体が母天体の軌道面内で、母天体の軌道自体からは離れた場所にも分布を広げる。
- (4)母天体の軌道面から離れた場所にも広がる。
- (5)流星体の分布密度が散在流星の分布の中に埋没する：流星群の消滅。

いわゆる、「トレイル理論」は上の(1)、(2)の範囲を扱うものであり、局在する流星体分布を推定し、流星出現の「予報」を試みるものである。ここで考察するのは(3)と(4)の段階、つまり、平年における流星群の活動状況を流星群と地球軌道の位置関係から考察する。従って、流星体の分布を次のように仮定する。

- (a)流星体は中心部（観測された平均軌道）と近日点方向が一致する。
——平均軌道となす角が大きくなるほど流星体密度は減少する。
- (b)流星体の軌道半長径は中心部と一致する。
——流星体の軌道の形状と中心部のものとの違いが大きくなるほど流星体密度は減少する。

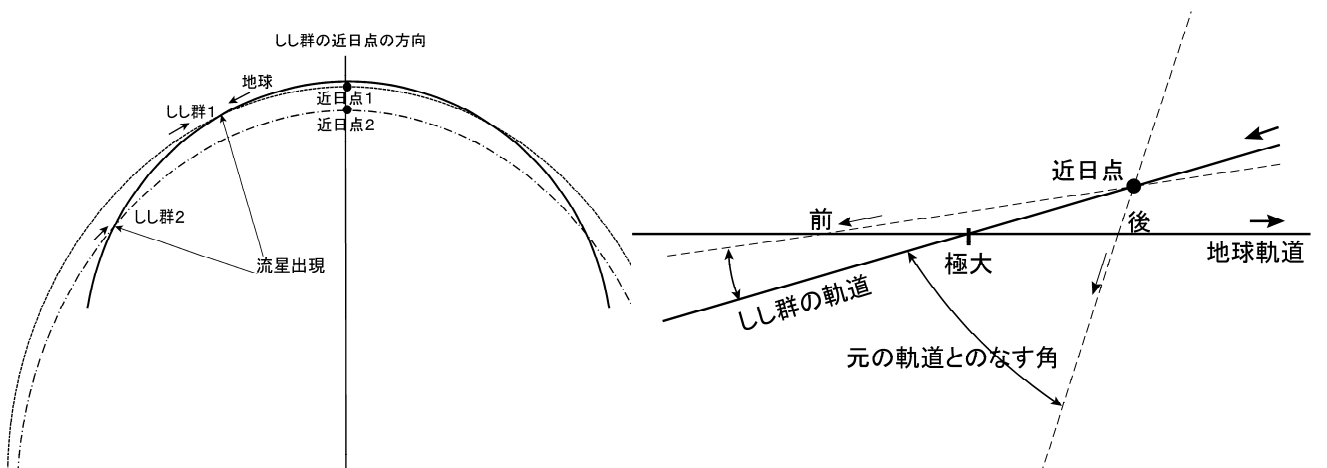
(a)と(b)を元に、平均軌道が地球軌道と交差する、すなわち、極大期から離れた場所における流星出現を次の方法で推定する。

- #1：近日点方向を固定して、平均軌道を回転させ、地球軌道と交差する軌道要素を求める。
- #2：平均軌道と#1 で求めた軌道の違いから、次式で出現数の変化を推定する。ここで、 N_0 は極大における出現数、 I は平均軌道と#1 で求めた軌道のなす角、 $e-e'$ は両者の離心率の差である。ここで $A\sim C$ は任意の数値であるが、経験的に（様々な流星群に適用した結果から） $A=10, B=30, C=1.2$ が一般的に妥当な数値である。

$$N = N_0 \exp\left\{-\left(A \sin|I| + B|e - e'|\right)^C\right\}$$

3. しし群への適用

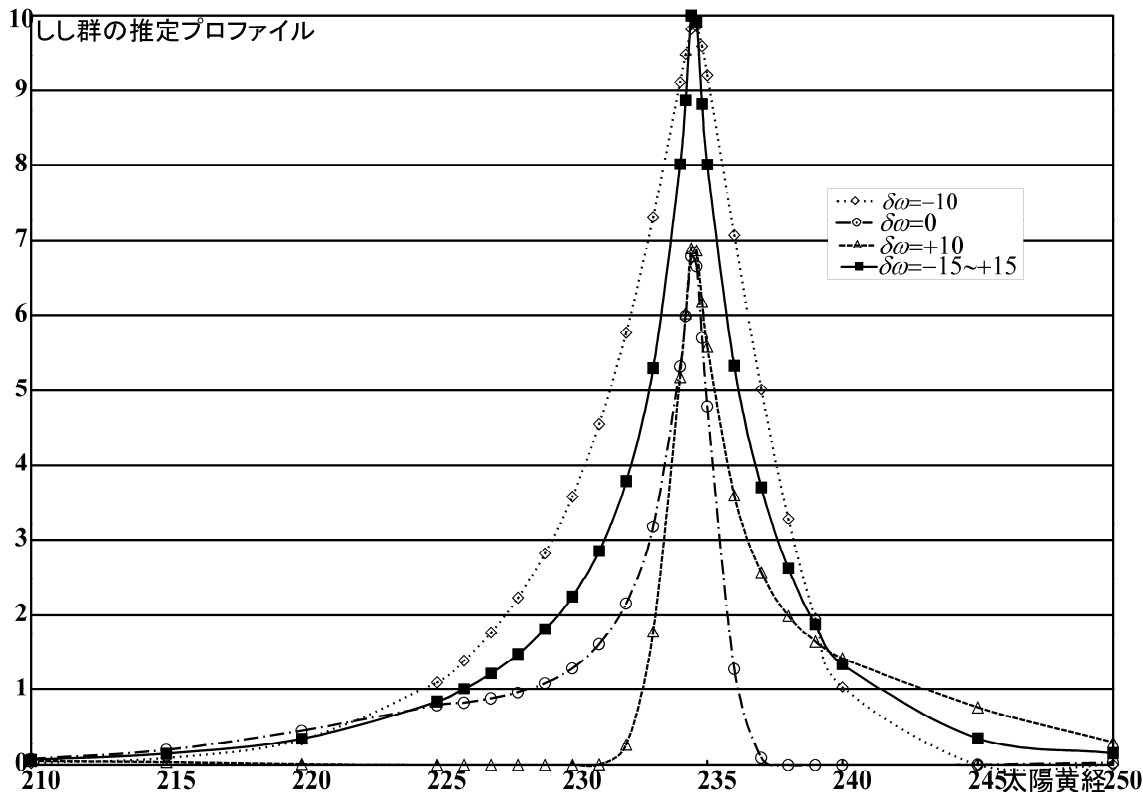
しし群について、(a)と(b)の仮定を具体的に当てはめて模式的に示す(第1図 a, b)。この2つの条件により、平均軌道から離れた場所で流星物質が地球軌道と遭遇するためには、近日点距離と軌道傾斜角が変化している



必要があることが分かる。次に示す軌道要素を2で示した式を単純に当てはめると、第2図の $\delta\omega=0$ のグラフが得られる。

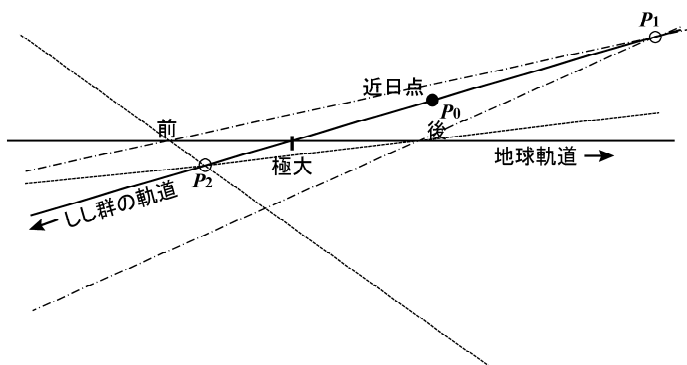
軌道要素：次の条件を満たす38個の写真流星の平均軌道

$$\begin{array}{llll}
 200 \leq \lambda_s < 265 & 260 \leq \lambda - \lambda_s < 285 & 0 \leq \beta < +20 & \\
 \lambda - \lambda_s = 271.3 & \beta = +10.2 & V_g = 70.2 & \\
 e = 0.891 & q = 0.974 & i = 162.2 & \omega = 175.3 \quad \Omega = 234.5
 \end{array}$$



極大においても流星数が10に達していないことと、極大後に出現数が急激に減少することが示される。これは、軌道要素は平均値であり、地球軌道と厳密には交差しなためである。また、急激に減少するのは、近日点の方向を固定することにより、地球軌道との交差には平均軌道から大きく傾斜した軌道を取らなければならないためである(第1図 b)。実は、しし群の軌道は些か極端な例であるのだが、流星群と地球軌道の交差条件によって、流星出現のプロファイルが決まるという意味での好例である。

ここで、平均軌道にたいして、近日点引数 ω を変化させたグラフを第2図で見てみよう。 $\delta\omega=-10$ は ω を10度減じた場合であり、 $\delta\omega=+10$ は ω を10度加えた場合である。この状況を模式的に示したものが第3図である。図中でP1は $\delta\omega=-10$ 、P2は $\delta\omega=+10$ の場合を示す。P1を近日点とすると、出現期間の両側で平均軌道との交差角変化は少ないのに対して、P2では極大前の交差角が大きくなりすぎていることが分かる。これを第2図と合わせて検討すると、流星群と地球軌道の交差条件によって、流星出現のプロファイルが決まっていることが明確になる。また、第2図には、 ω を $-15 \sim +15$ の範囲で変化させた出現数の累積変化(10に規格化してある)を $\delta\omega=-15 \sim +15$ として示した。

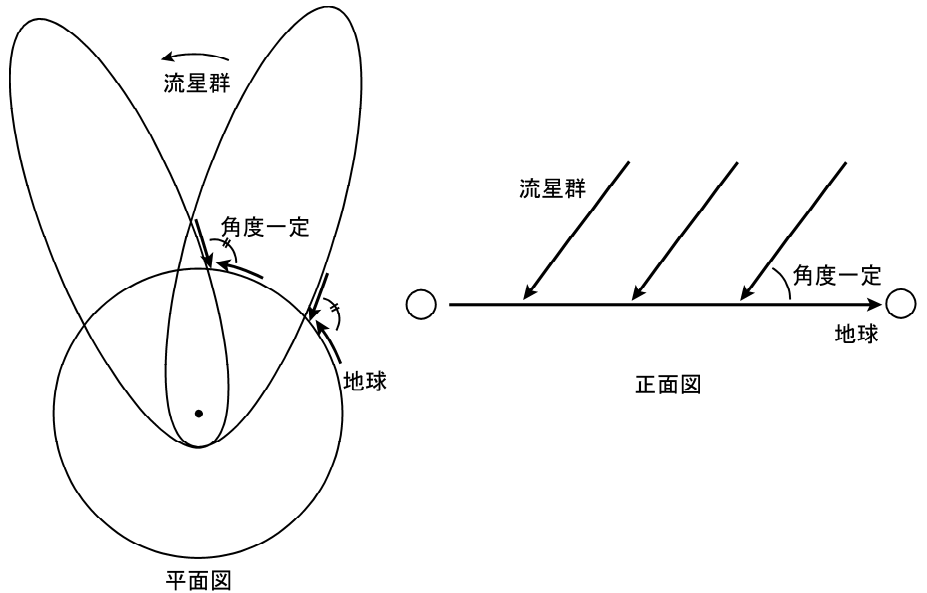


4. 検討

「近日点方向固定、軌道半長径一定」という仮定は、ほぼティスランの判定式と同じ考え方によるものであり、木星による長期間の摂動に対して妥当なものである。ここでは、触れないが、共通な起源を有すると推定されている「しぶんぎ群」と「みずがめδ群」もこの関係を満たすと見なせる。

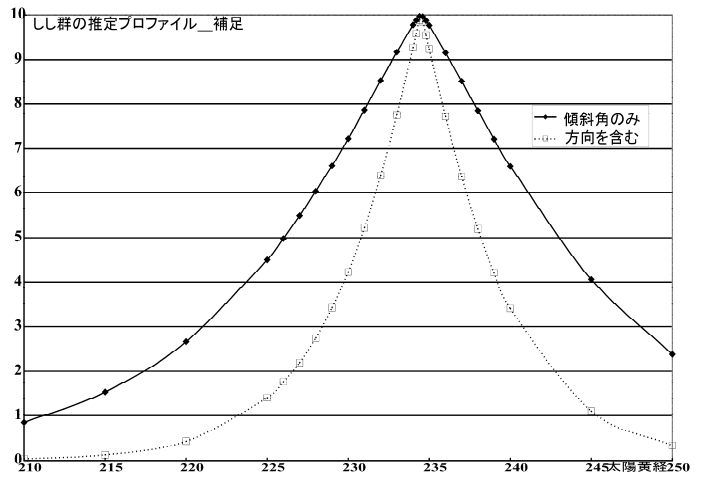
一方、流星群の輻射点移動については、「平行に飛来する流星体に対して地球が円周上を運動するために地球が1日に運動する1度分だけ輻射点は東方に移動する」と説明されることが多い。この関係を模式的に示したものが第4図である。これは、軌道面が太陽を中心に回転している。即ち、近日点も太陽を中心に回転し、

平均軌道面に対して傾斜することを意味する。これによってプロファイルを推定すると第5図になる。図中で「傾斜角のみ」は、回転させた流星群の軌道面と平均軌道のなす角だけに注目してプロファイルを推定したものである。長期間にわたって高い出現数が推定され、実際とはかなり異なったものになっている。「方向を含む」としたものは、軌道面どうしのなす角だけでなく、近日点方向の違いを3の場合と同様に含めたものである。条件が厳しくなる分だけ、この場合には推定される出現数が減少する。しかし、この場合にも実際よりはかなり流星数が多いと思われる。



これに対して、輻射点の東方移動で用いられる軌道モデルは移動の原理を説明するために簡略化されたもので、力学的な根拠はない。近日点方向を黄道の極を中心に回転させる力というのは想定し難い。従って、第5図の推定プロファイルが実際のものから外れることは当然と考えられる。

一方、第2図で $\delta\omega=0$ のグラフも実際のプロファイルからかなり外れている。先にも触れているが、もう少し詳しくこの原因について検討してみよう。第1図bに示されるように、しし群の近日点は地球軌道に極めて近く、地球軌道との交差点にも近い。このため、厳密に「近日点方向固定、軌道半長径一定」という仮定を当てはめると、極大後に地球軌道と交差しうる流星は元の軌道面との傾斜角があり得ないほどに大きくなければならなくなる。流星体の放出が平均軌道面内で行われて、近日点方向がわずかに変化する $\delta\omega=-15\sim+15$ だけで、十分にそのような問題が回避されることが第2図によって示される。 $\delta\omega=-15\sim+15$ の平均値として示したプロファイルは観測と十分に対応するものと考えられる。



しし群の軌道と地球軌道との遭遇条件はかなり特殊であり、このような場合を除けば、 $\delta\omega=0$ のグラフだけで多くの流星群のプロファイルを示すことができる。

ここまで無条件に流星のプロファイルという表現を用いてきたが、流星群の出現状況はZHR、即ち、眼視観測による流星出現数の消長で表すことが一般的であり、それに従っている。流星観測方法は写真、電波、そしてII、CCDと大きく進歩してきた。しかし、流星群の出現状況を表す最も一般的な方法が眼視観測であることは間違いない。

5. まとめ

(1)流星群内部の流星体分布に簡単な仮定を設定することにより、流星群のプロファイルを推定できる。

近日点方向を軌道面内で回転させてプロファイルを求めた方が良いのは、しし群のように近日点方向と軌道交点が地球軌道極めて接近している場合のみである。一般的には、「近日点方向固定、軌道半長径一定」という仮定だけで流星群のプロファイルを推定できる。エクセルの基本操作ができれば、「悪天候の日の天文趣味」に十分なりうる。

(2)流星群のプロファイル(ZHR)を求める、基本的な方法は眼視観測である。

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

内山茂男 (NMS)

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

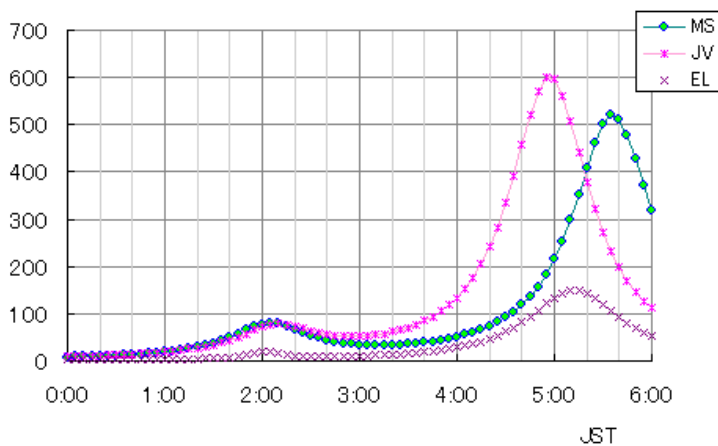


図 1. 予測 ZHR

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

図 2. 輻射点高度

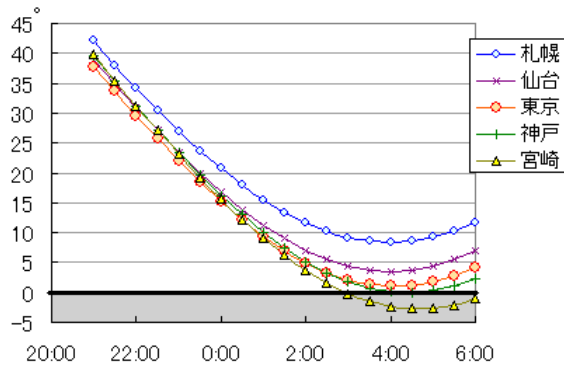


図 3. 輻射点高度 (天頂引力考慮)

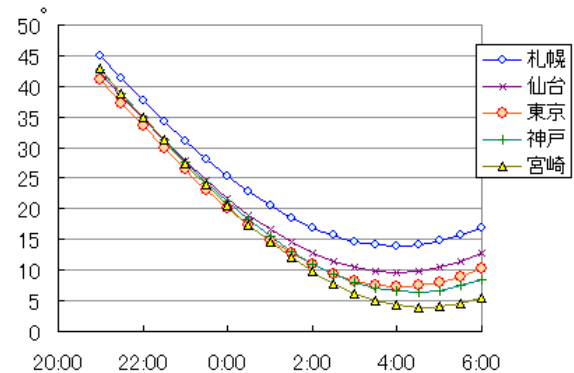
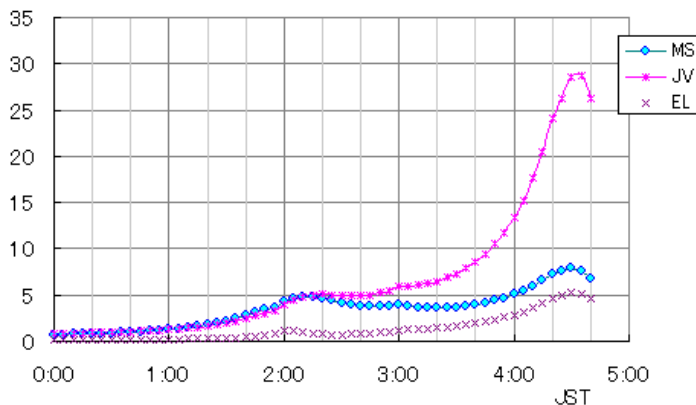


図 4. 予測 HR (関東)



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

まとめ

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

10 月りゅう座流星群(ジャコビニ群)の 2011 年の出現予報時刻と

実際の観測値の差に対する考察

佐藤 幹哉*

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

Mikiya Sato*

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

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

1. イントロダクション

1-1 10 月りゅう座流星群

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

1-2 ダスト・トレイル理論による予測

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

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

たことを報告している(Sato 2003)。

1-3 2011 年の出現予測

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

1-4 出現予測のばらつき

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

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

*川崎市青少年科学館 (かわさき宙と緑の科学館)

* Kawasaki Municipal Science Museum

表 1 各研究者による極大予測結果

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

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

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

2. 研究手法

2-1 シミュレーション計算

ダスト・トレイルの位置のシミュレーション計算は、最

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

2-2 軌道要素

使用した軌道要素を表2にまとめた。

3. 結果

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

表2 計算に使用した軌道要素

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

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

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

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

表 3 結果

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

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

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

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

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

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

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

4. 考察

4-1 1900 年放出ダスト・トレイルについて

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

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

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

4-2 1900 年以外の年に放出されたダスト・トレイル

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

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

表 4 2011 年に接近するダスト・トレイル

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

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

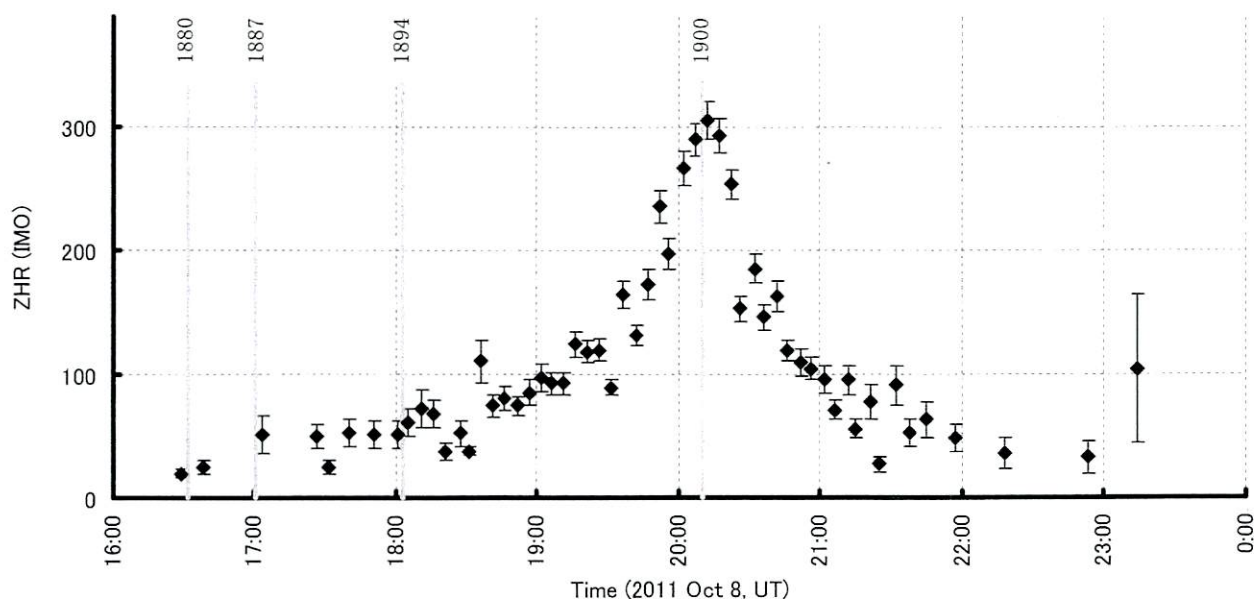


図1 実際の観測からの集計結果¹⁾と予報極大²⁾の比較

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

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

5. 結論

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

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

6. 参考文献

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

今日の 視天

星ナビ 2012年1月号

佐藤幹哉 (川崎市青少年科学館)

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

ジャコビニ流星群が突発出現

■2011年に期待された二つの極大

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

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

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

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

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

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

グラフには、本誌2011年10月号で紹介し

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

■極大の予報と実際のズレ

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

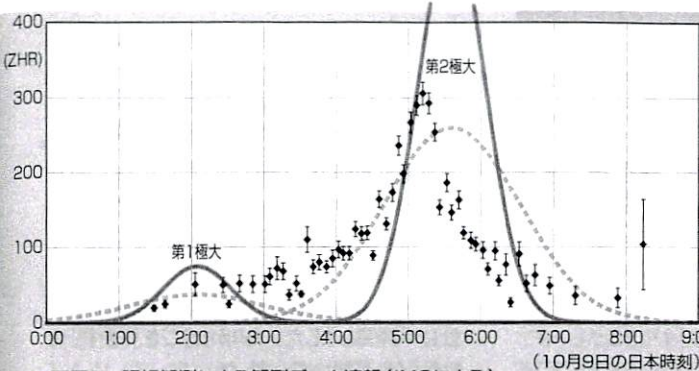
ちなみに筆者は、フランスの研究者であるヴォバイオン氏と母彗星の軌道要素を交換して計算したことがあるが、同じ軌道要素を使った場合には似た予測結果を示した。ということは、今回の観測結果に近い予測時刻を導いた軌道要素は「当時の彗星の軌道と良く合っている」と言える可能性がある。

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

ここでもう一度グラフに注目してみよう。流

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



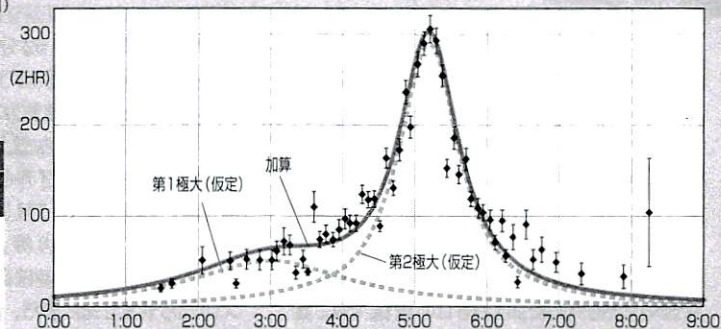
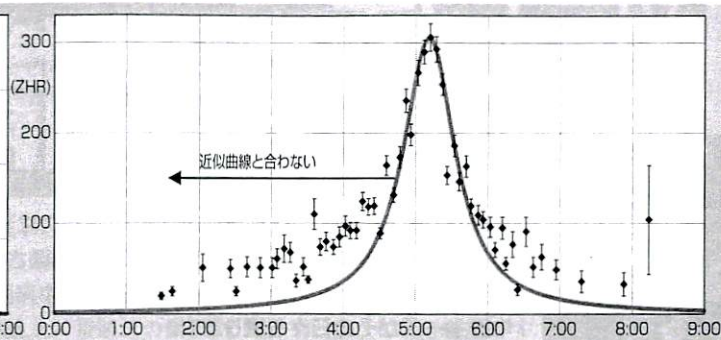


■図1 眼視観測による観測データ速報 (IMOによる)
実線は、筆者によるZHRの予測値。点線は、半値幅が2倍になった場合の予測値。

■表1 各研究者による予報

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

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



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

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

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

■国内でも出現が捉えられた!

極大時刻における条件が悪かったものの、

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

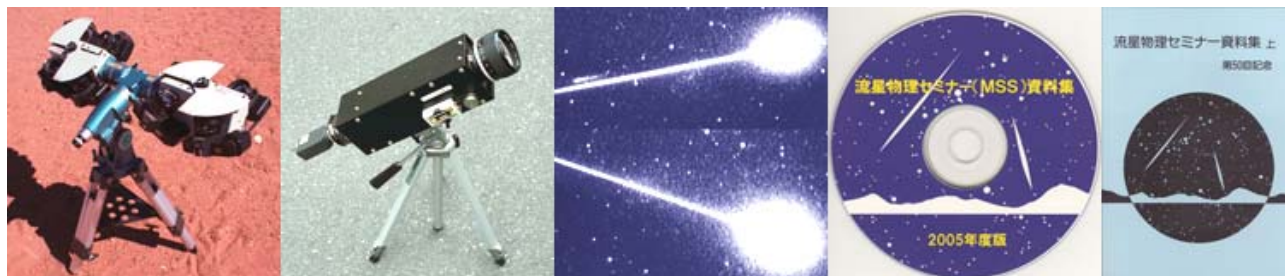
注6:内山茂男氏のウェブページより
<http://homepage2.nifty.com/s-uchiyama/meteor/shwr-act/10draact/dra-act.html>

MSS資料集ホームページ ～2011年度更新～

重野好彦

MSS資料集を2011年度版に更新しましたのでお知らせします。2010.07.01～2011.09.30間のユニークアクセス数は164PCでした。

 <http://meten.net/mss>



1. DVDで配付

全てのファイルはこのサイトから入手可能です。しかし合計すると860MB以上になるため、希望があればDVD-Rでお送りします。

1) 以下まで300円をお振り込みください。

a) 郵便振替口座 00200-7-95069 流星物理セミナー

b) 銀行振込 → ゆうちょ銀行 〇二九(029)支店 当座:95069 リユウセイブツリセミナー

2. 資料集

本資料集は2011年9月版です。

[2010年度資料.pdf](#)

[要約集.txt](#)

[MSS00-1-はじめに.txt](#)

[MSS00-2-ごあいさつ.txt](#)

[MSS00-3-インデックス.txt](#)

[MSS00-3-インデックス.xls](#)

[MSS00-A-50回記念誌上.pdf](#)

[MSS00-B-50回記念誌下.pdf](#)

[MSS01-隕石.pdf](#)

[MSS02-隕石落下シミュレーション.pdf](#)

[MSS03-遠征観測報告.pdf](#)

[MSS04-音.pdf](#)

[MSS05-解析法.pdf](#)

[MSS06-観測機器.pdf](#)

[MSS07-観測結果.pdf](#)

[MSS08-観測理論.pdf](#)

[MSS09-軌道計算研究発表.pdf](#)

[MSS10-軌道計算精度.pdf](#)

[MSS11-軌道計算論文.pdf](#)

[MSS12-軌道シミュレーション.pdf](#)

[2011年度資料.pdf](#) (最近4回の全資料)

[2009年度資料.pdf](#)

[MSS13-1-議事録.pdf](#)

[MSS13-2-議事録.txt](#)

[MSS14-空間密度.pdf](#)

[MSS15-構造.pdf](#)

[MSS16-痕.pdf](#)

[MSS17-シューメーカーレビー9.pdf](#)

[MSS18-出現予報.pdf](#)

[MSS19-スペクトル.pdf](#)

[MSS20-測光.pdf](#)

[MSS21-その他.pdf](#)

[MSS22-電波.pdf](#)

[MSS23-同時観測.pdf](#)

[MSS24-同時観測MSS-WG.pdf](#)

[MSS25-同時観測理論.pdf](#)

[MSS26-発光.pdf](#)

[MSS27-輻射点.pdf](#)

[MSS28-豆まき現象.pdf](#)

3. 流星物理セミナー・ワーキンググループ (MSS-WG) の紹介

[観測報告と流星用プログラム](#)

ユニークアクセス数

2009.01.18～2009.05.30 59PC

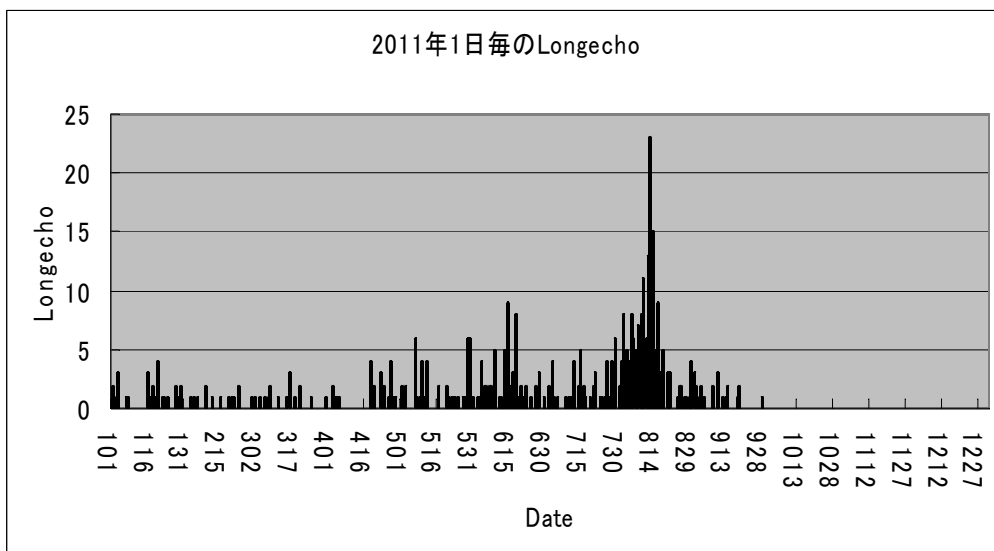
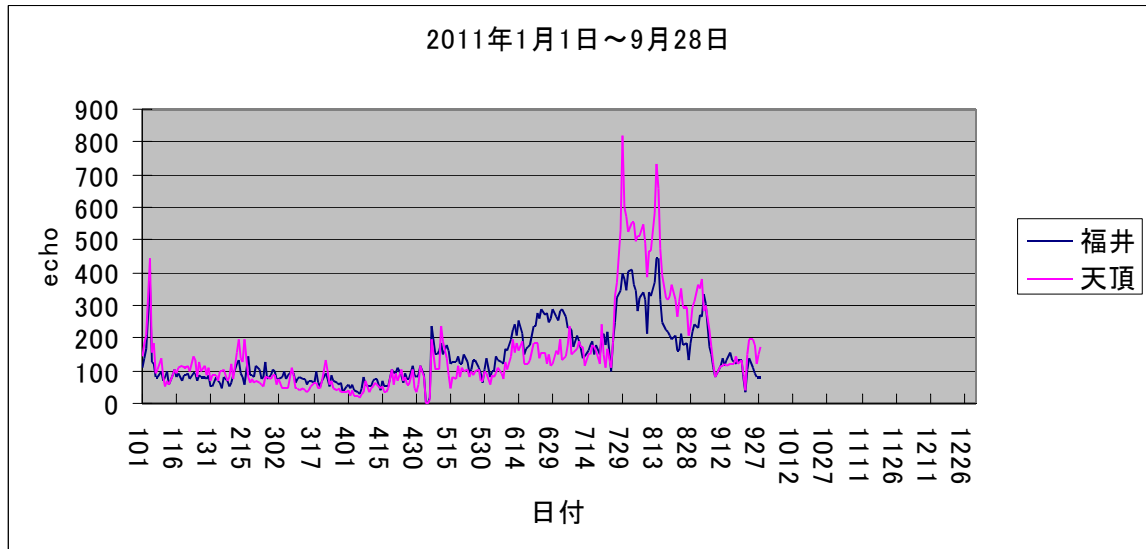
2009.05.30～2010.07.01 119PC

2010.07.01～2011.09.30 164PC

ファイル名	Page	MB	回	年.月.日	発表	参加	回	年.月.日	発表	参加
MSS00-1-はじめに.txt	6	0	1	1978.10.08	5	16	65	1993.01.17	-	37
MSS00-2-ごあいさつ.txt	4	0	2	1979.02.12	6	40	66	04.11	-	48
MSS00-3-インデックス.txt	-	-	3	04.15	4	20	67	07.04	-	26
MSS00-3-インデックス.xls	-	-	4	06.24	4	33	68	10.17	-	22
MSS00-A-50回記念誌上.pdf	174	33	5	09.09	3	34	69	1994.01.16	-	30
MSS00-B-50回記念誌下.pdf	187	34	6	11.11	6	35	70	04.10	-	25
MSS01-隕石.pdf	53	11	7	1980.01.20	6	18	71	06.26	-	42
MSS02-隕石落下シミュレーション.pdf	78	19	8	03.16	8	37	72	10.16	-	18
MSS03-遠征観測報告.pdf	225	58	9	05.18	7	30	73	1995.01.08	-	23
MSS04-音.pdf	19	6	10	07.13	7	35	74	04.23	-	15
MSS05-解析法.pdf	128	30	11	09.28	7	50	75	07.16	-	16
MSS06-観測機器.pdf	179	53	12	11.16	7	35	76	10.15	-	12
MSS07-観測結果.pdf	251	60	13	1981.01.18	3	?	77	1996.01.07	-	27
MSS08-観測理論.pdf	56	12	14	03.29	6	40	78	04.07	-	17
MSS09-軌道計算研究発表.pdf	187	41	15	05.17	8	63	79	07.07	-	19
MSS10-軌道計算精度.pdf	87	18	16	07.19	7	20	80	10.13	-	7
MSS11-軌道計算論文.pdf	120	35	17	09.06	8	32	81	1997.01.26	-	14
MSS12-軌道シミュレーション.pdf	130	26	18	11.01	7	36	82	04.12	-	12
MSS13-1-議事録.pdf	53	9	19	1982.01.15	6	37	83	07.13	-	31
MSS13-2-議事録.txt	-	0	20	03.21	4	26	84	10.05	-	27
MSS14-空間密度.pdf	116	36	21	05.16	4	45	85	1998.01.11	5	29
MSS15-構造.pdf	5	1	22	07.11	4	47	86	04.19	3	25
MSS16-痕.pdf	233	62	23	10.03	7	41	87	07.12	7	31
MSS17-シューメーカーレビー9.pdf	35	8	24	1983.01.07	8	50	88	10.18	5	25
MSS18-出現予報.pdf	56	17	25	03.08	6	36	89	1999.01.10	8	34
MSS19-スペクトル.pdf	91	18	26	05.08	4	44	90	04.18	3	18
MSS20-測光.pdf	19	7	27	07.03	6	45	91	07.11	5	21
MSS21-その他.pdf	265	66	28	10.02	2	41	92	10.17	7	25
MSS22-電波.pdf	183	35	29	12.18	7	45	93	2000.01.30	8	40
MSS23-同時観測.pdf	126	32	30	1984.03.11	2	32	94	07.09	5	21
MSS24-同時観測MSS-WG.pdf	164	48	31	05.13	1	30	95	10.15	8	21
MSS25-同時観測理論.pdf	46	14	32	07.22	4	30	96	2001.02.12	10	41
MSS26-発光.pdf	11	2	33	09.30	2	33	97	04.15	12	30
MSS27-輻射点.pdf	129	28	34	12.09	5	31	98	07.08	5	23
MSS28-豆まき現象.pdf	24	5	35	1985.03.17	2	20	99	10.14	9	27
MSS30-2009.pdf, 2010.pdf, 2011.pdf	-	50	36	06.02	4	40	100	2002.02.17	16	46
合計	3,440	860	37	09.01	2	28	101	07.07	8	24
			38	12.22	5	30	102	10.20	6	20
			39	1986.04.20	3	32	103	2003.01.19	10	18
			40	07.06	4	?	104	07.06	4	20
			41	10.05	4	29	105	10.19	4	11
			42	1987.01.11	6	24	106	2004.02.29	8	29
			43	04.19	3	20	107	07.04	6	28
			44	07.05	6	31	108	10.24	6	13
			45	10.04	5	18	109	2005.02.20	4	11
			46	1988.01.10	1	17	110	07.03	4	11
			47	04.17	7	21	111	10.16	9	22
			48	07.03	4	38	112	2006.02.05	10	22
			49	10.16	7	25	113	07.09	6	9
			50	1989.04.23	6	32	114	10.15	10	12
			51	07.16	-	51	115	2007.02.04	8	15
			52	10.29	-	?	116	07.01	8	30
			53	1990.01.14	-	?	117	10.21	4	12
			54	04.15	-	?	118	2008.02.17	8	14
			55	07.15	-	?	119	07.06	7	18
			56	10.07	-	?	120	10.05	9	14
			57	1991.01.15	-	?	121	2009.02.08	6	23
			58	04.14	-	38	122	07.05	6	17
			59	07.07	-	34	123	10.04	9	23
			60	10.06	-	36	124	2010.02.07	11	20
			61	1992.01.15	-	40	125	07.11	6	25
			62	04.12	-	41	126	10.10	8	27
			63	07.05	-	26	127	2011.02.06	6	21
			64	10.04	-	31	128	07.03	3	15

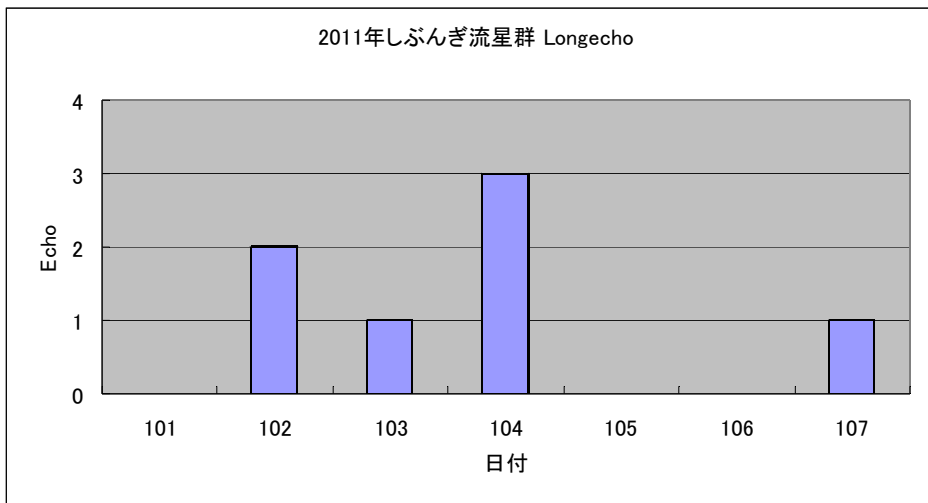
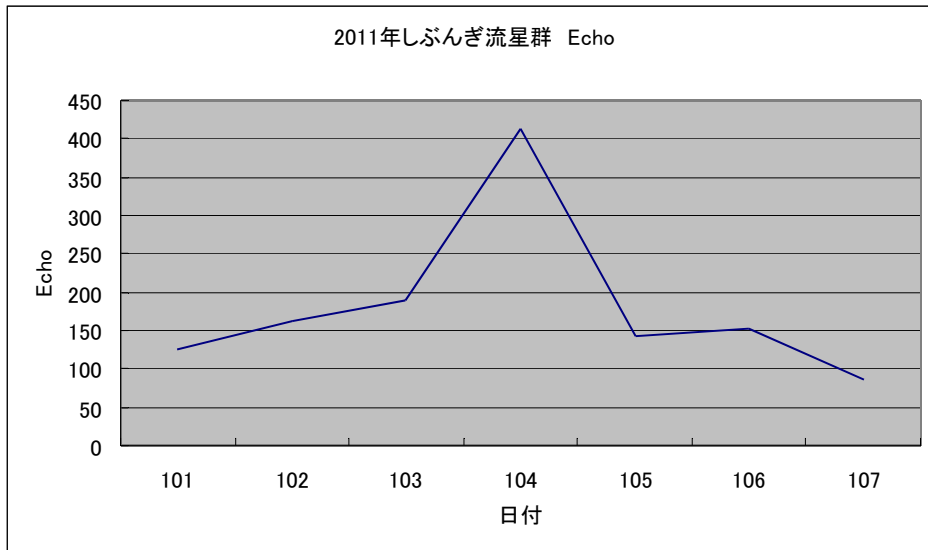
流星の電波観測 流星群とロングエコーの関係

MSS-129
2011.10.02
都立総合工科高校
流星の電波観測班
宇田川 雄貴
鈴木 淳史
千田 元気

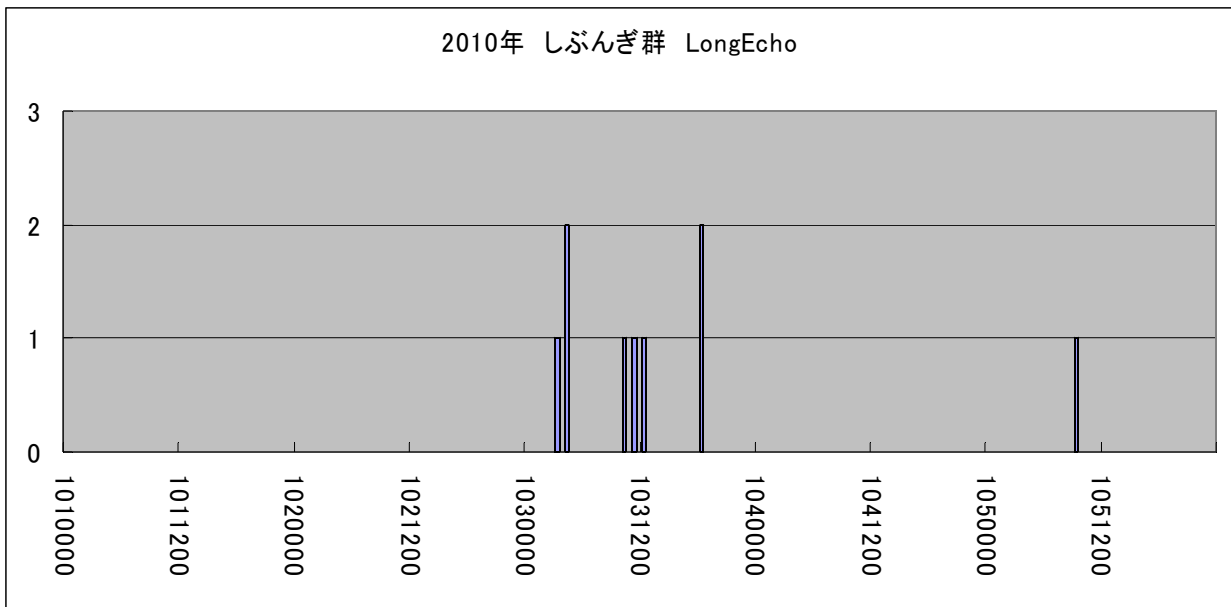
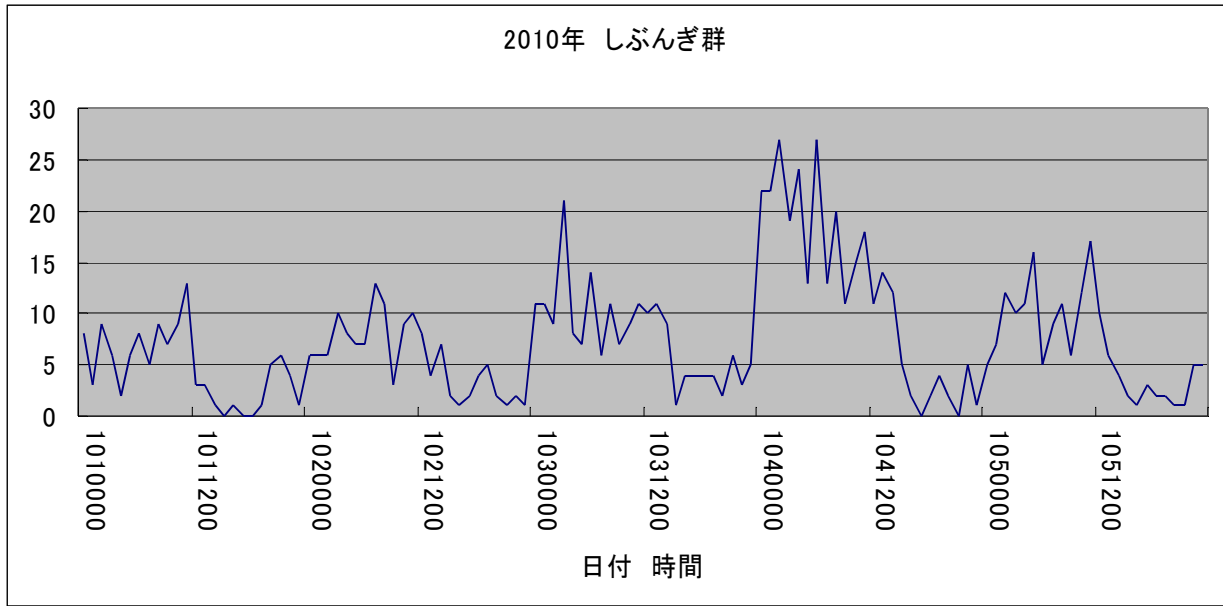


2011年の通常のエコーとロングエコーの推移です。特に8月14日までのロングエコーは非常に多いのですが、8月15日からは極端に減っています。

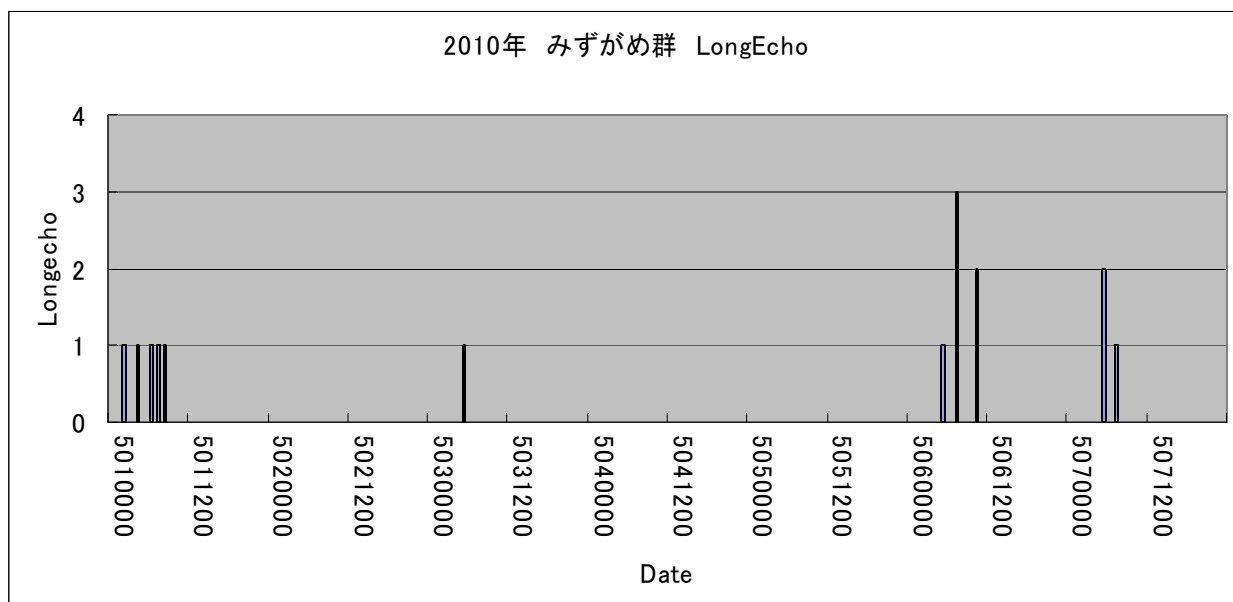
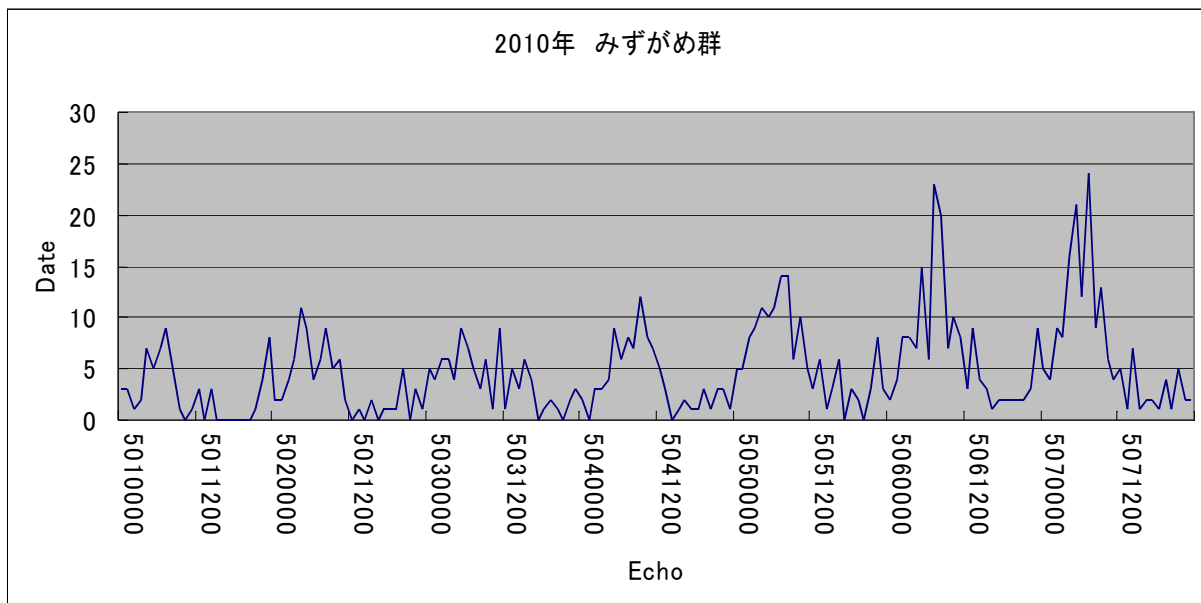
5月は福井高専で2日間程度、停波があったためにデータがありません。



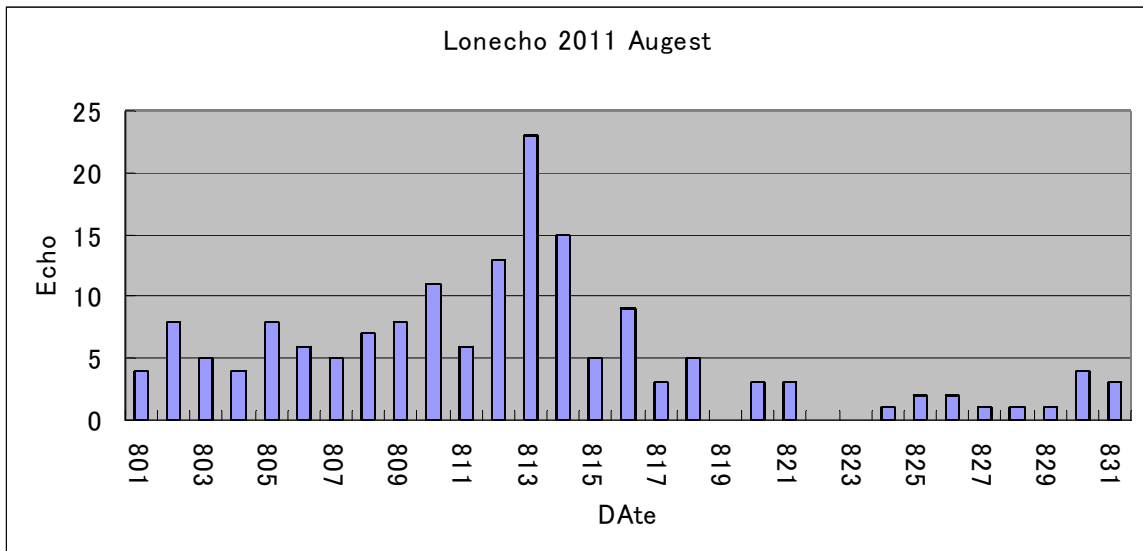
ロングエコーは少ないですが、極大日にかけて増えているのが分かります。



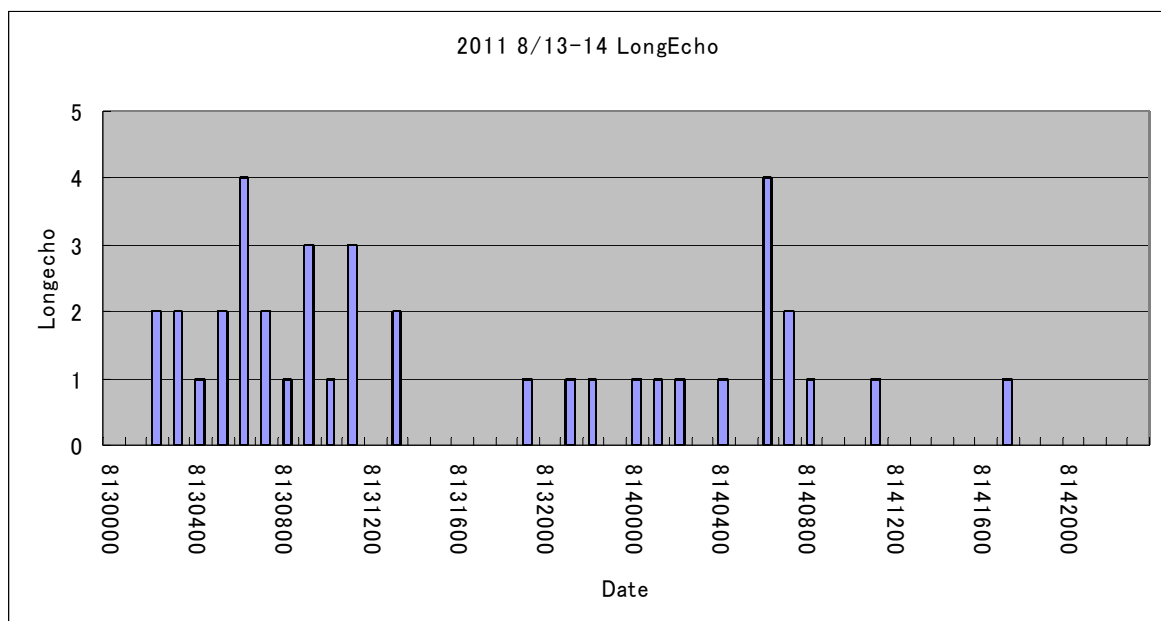
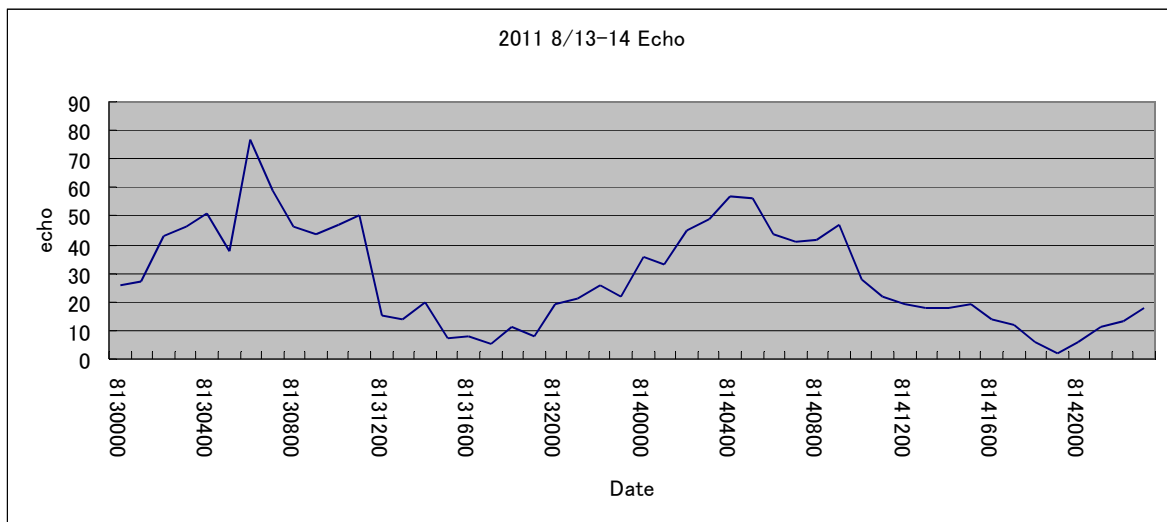
2010 年を時間ごとにグラフ化してみました。



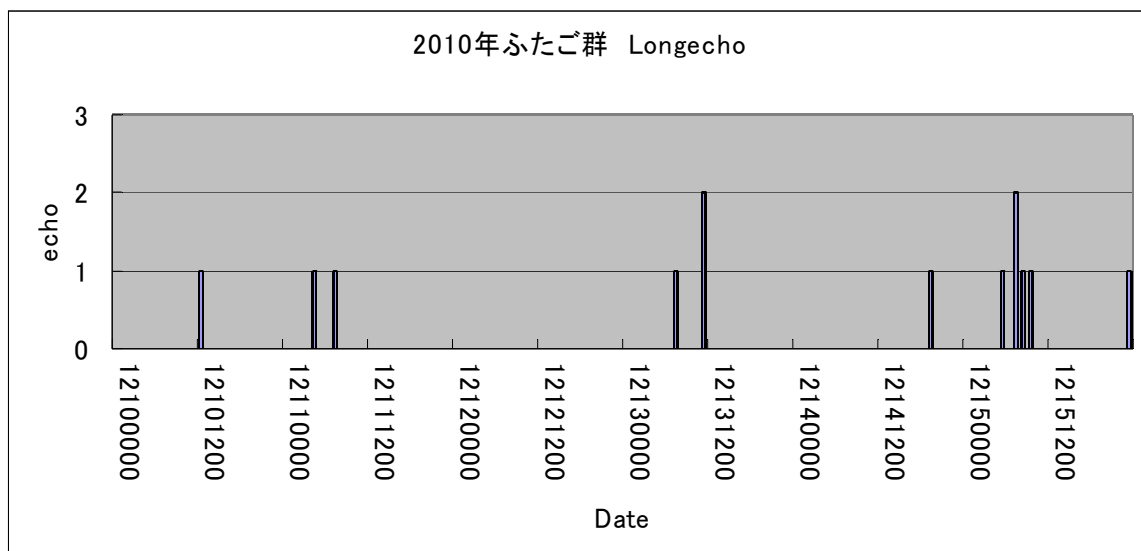
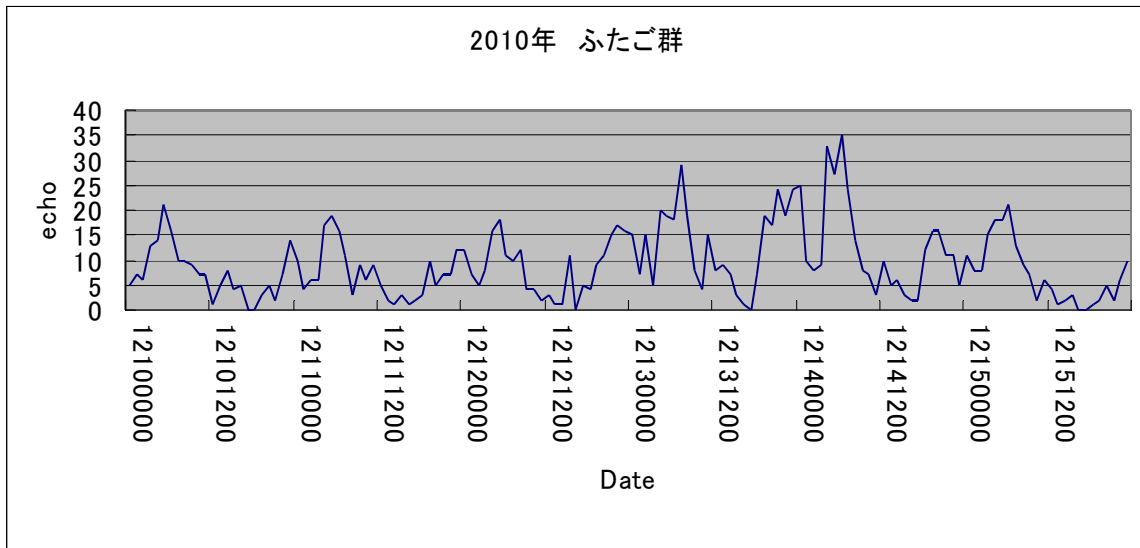
5月1日に前触れのようにロングエコーがあり、極大日付近はロングエコーが増えています。



極大にかけて徐々に増えて行っているのがよく分かります。
 8月13日から14日まで1時間毎のデータを対比しました。



この2日間は1時間あたりのロングエコーは普段とけた違いに多いのが分かります。



2010年のふたご群です。天頂効果があるためなのか1時間あたりのロングエコーは少ないのですが幅広く分布しています。

今回はグラフに目立つ群をピックアップしました。これからは他の流星群もこのように対比させていきたいと思います。

最後に

第3回坊ちゃん科学賞

6月昼間流星群とロングエコーの関係 で 優良賞を獲得しました。

Meteor shower catalog based on 3 770 triangulation analyses of double-station Image-Intensified video observations over Japan

Yoshihiko Shigeno¹ and Masa-yuki Yamamoto²

The D-criterion and D'-criterion were used to cross-check against the IAU meteor shower list, 3 770 simultaneous meteors that we observed between December 1992 and October 2009 by double-station observation with an image intensifier (II) and for which orbits were determined. As a result, we detected 22 known and 12 unknown meteor showers. There are 295 showers recorded on the IAU list (as of June 2009), but we were aware that only a few appear regularly each year. Since an II targets faint meteors with magnitudes as faint as 8, many of the unknown meteor showers we found were fast, faint meteor showers close to the apex. The number of meteor showers on the IAU list is so large that it is hard to grasp the full picture. Therefore, in this paper, we made it easier for the reader to understand by plotting the meteor showers on a star chart. It was important for this study to accurately show the radiant error. Hence, we introduced and investigated the concept of using error ellipses for radiants. We recorded the double-station video images and orbital data from the independent II observations used in the study in catalog form so the data can be used by other researchers.

Received 2011 July 30

1 Introduction

In December 1992, we began double-station video observation using an image intensifier (II). By October 2009, we had recorded 3 770 meteors and produced a number of observational reports (e.g., Shigeno et al., 1997; Shigeno & Shigeno, 2004).

In traditional reports, a number of references are used to cross-check against known meteor showers. Cook's list (1971) refers to observational results, such as those of McCrosky and Posen (1961), listing details such as the radiants and orbital elements of 58 meteor showers. This can be considered the classic type of list, which is from photographic observation. The volume by Kronk (1988) drew together an extremely large number of references to describe 119 showers, becoming a true compilation of meteor showers. Meanwhile, the IMO Handbook (Rendtel et al., 1995) presents 38 main showers, in addition to explaining observation methods.

Most recently, the IAU Meteor Data Center published a list of meteor showers (Jenniskens et al., 2009). Because there are as many as 295 showers, it is no easy task to check them against observational results. Therefore, we began by plotting the radiants obtained from the 3 770 double-station observations we made, together with the radiants from the IAU list, on a star chart. Then, we determined which meteor showers were known and which were unknown, following a number of lines of inquiry, which we shall introduce below.

2 Observational equipment

Figure 1 shows a photograph and block diagram of the equipment used in the observations. The IIs used were the Hamamatsu Photonics K.K. V3287P and the Delft High Tech Corporation XX1470. These are referred to

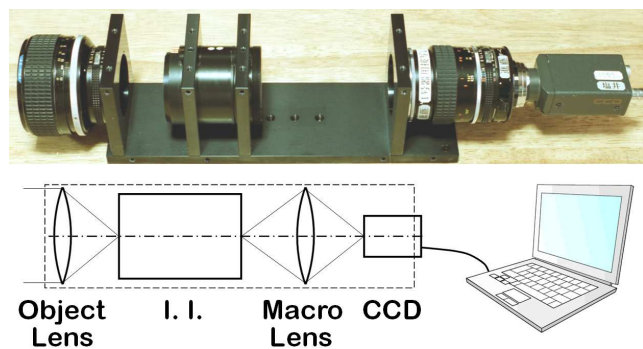


Figure 1 – Video equipment using II and block diagram.

as second-generation IIs and have amplification factors of approximately 50 000. The best observation acquisition method possible at the time in 1992 involved images taken with a 410 000 pixel CCD, recorded to Hi8 video tape. In 2005, we began recording to PC using the DV format.

The objective lens was a replaceable type. Our primary lens was a Canon 85 mm $f/1.2$, with a $12^\circ \times 9^\circ$ field of view, limiting stellar magnitude of approximately 9.5 and limiting meteor magnitude of approximately 8. The mean measurement error of position was approximately 70 arc seconds (standard deviation), and the mean error in calculation of radiants by triangulation was approximately 0.6° (standard deviation). Around 50 units of our observational equipment were produced and distributed to observers around Japan.

The main observation sites for the authors group were at Mount Akagi in Gunma Prefecture, Japan ($139^\circ 11' 33''$ E, $36^\circ 28' 42''$ N) and Chichibu District in Saitama Prefecture, Japan ($139^\circ 06' 10''$ E, $36^\circ 05' 56''$ N), arranged roughly North-South, with a baseline of 42.9 km. The field of view was narrow, so a star chart was drawn up, and the field of view set with a precision of approximately 0.5° in order that the maximum rate of concurrency could be achieved.

¹Meteor Science Seminar 5-6 Kizuki-Sumiyoshi, Kawasaki City, 211-0021, Japan. Email: cyg@nikon.co.jp

²Kochi University of Technology 185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami, Kochi, 782-8502, Japan.

Email: yamamoto.masa-yuki@kochi-tech.ac.jp

3 Method of detecting meteor showers

The IAU meteor shower list, which boasts as many as 295 showers, can be considered a compilation of all meteor observations to date. Therefore, using this as a basis, we examined our observation results and identified the known meteor showers. We then searched out the as-yet-unknown meteor showers from among any activities that we suspected might be meteor shower activity but that did not correspond to any known meteor showers.

3.1 Detection of showers by the D/D' Criteria

Our basic procedure was to follow the process outlined in 1-1) to 1-4) below to pick out the meteor showers from the overall data.

1-1) To detect meteors associated with the objective meteor showers (orbit elements), we first classified them using the D-criterion (Southworth & Hawkins, 1963) and the D'-criterion (Drummond, 1979). Because each of detection based on orbital elements can differ, we considered a shower identified if the detection was made with either the D-criterion or the D'-criterion. We then used a screening method to further narrow down the detected meteors. We will now explain the D-criterion and D'-criterion in simple terms.

- The D-criterion is a means of investigating the degree of similarity between two orbital elements that can be summarized in the form of equation (1). When it is applied to a large quantity of raw data, the result is taken to indicate an identified shower when the D value is 0.2 or lower, based on experience.

$$D^2 = (\Delta e)^2 + (\Delta q)^2 + (2 \sin(\Delta i))^2 + (2 \sin(\Delta \varpi))^2 \quad (1)$$

where Δe is the difference in eccentricity, Δq the difference in perihelion distance, Δi the angle between the orbital planes and $\Delta \varpi$ the difference between longitudes of perihelia.

- The D'-criterion is an improvement upon the D-criterion method and is expressed as equation (2).

$$D'^2 = (\Delta e)^2 + (\Delta q)^2 + \sin(\Delta i)^2 + \sin(\varphi)^2 \quad (2)$$

where φ is the actual angle between the perihelion points.

The points of improvements in the D'-criterion are as follows.

- Instead of the difference between longitudes of perihelia, it uses the actual angle between the perihelion points.
- The formulae used to calculate each of the four items in the equation has been devised to ensure that it takes a value between 0 and

1, thus making them have an equal effect on the determined value. In the D-criterion, on the other hand, the difference in eccentricity and the difference in perihelion distance took values between 0 and 1, while $2 \sin(\Delta i)$ and $2 \sin(\Delta \varpi)$ took values between 0 and 2. The effects on the determined value therefore differed depending on the item.

- It is common for the D'-criterion to be around $1/2$ of the D-criterion; based on experience, a D' value of 0.1 or lower has been adopted as a criteria for an identified shower.

1-2) In determining the mean of a meteor shower, we used only our video observation data.

1-3) In cases in which the observation stretched over multiple days and the number of meteors was large, the mean was determined using the observation data of the day that had the largest number of meteors.

1-4) In searching our entire observation data for meteors that appeared to have a connection, we referred to the observational data of McCrosky & Posen (1961) (hereinafter referred to as M&P data), from which we determined the number of meteors thought to be an identified shower. We learned the following from comparisons between the two sets.

- M&P data were from photographic observation made between 1952 and 1954. Therefore, finding the same shower in our video observation meant that the shower in question had been active for at least 50 years.
- The photographs in M&P data targeted bright meteors of magnitude 4 and brighter, while our video observation targeted faint meteors as faint as roughly magnitude 8. It is clear that both bright meteors and faint meteors are observable.

3.2 Method of identifying known meteor showers using the IAU list

The problem that we encountered when comparing data obtained via the process outlined in the previous section with the IAU list was that the IAU list did not deal with the orbital elements of meteor showers. Hence, we adopted the technique outlined in 2-1) to 2-4) below.

2-1) We determined the orbital elements from the solar longitude of the maximum shower date, radiant and velocity.

2-2) The orbital elements so determined were taken as parent data, and we searched the observation dataset using the D-criterion and D'-criterion for meteors that appeared to be related.

2-3) From the meteors found, we determined the day of observation, and the mean and standard deviation (σ) of the radiant. Taking 2σ as our criteria,

we discarded any which were 2σ or more from the mean. We then determined the mean radiant, velocity and orbital elements.

- 2-4) By following this process, we identified 22 known meteor showers. As shown in Table 1, these appear to correspond to meteor showers on the IAU list in the range 001 to 342.

3.3 Method of identifying unknown meteor showers

We will now discuss the technique we used to identify the unknown meteor showers that were detected from our data but that did not correspond to any of the 295 showers on the IAU list according to the comparison of data described in Section 3.2.

- 3-1) On the star chart, we plotted the radiants of the IAU list, our observations and the M&P data, month by month. The M&P data we received was a version which Hiroyuki Shioi had organized (Shioi, 1994, private communication) from the M&P paper (McCrosky & Posen, 1961).
- 3-2) We visually searched for clusters of unknown radiants that were not included in the radiants from the IAU list and determined their approximate right ascension and declination.
- 3-3) We picked out the individual meteors which had radiants close to the determined right ascension and declination and which had closely matching velocities. Then, we determined the mean radiant, velocity and orbital elements. 15 showers were detected using this method.
- 3-4) The orbital elements so determined were taken as parent data, and with the method outlined in 2-2) to 2-3) above for known meteor showers, the mean radiant, velocity and orbital elements were determined.
- 3-5) Even when the radiants were almost the same, small differences in velocity would lead to orbits that could differ dramatically. Consequently, 3 showers were excluded, leaving 12. For example, when the velocity differed by 3% in the case of a meteor with a radiant close to the apex, the eccentricity changed by 0.1, which was outside the range of the D'-criterion. In the case of video observation, there is a large error in velocity. Therefore, making judgments about meteor showers with high velocities requires caution. The results are shown in Table 2, using numbers assigned by IAU from 432 to 443.

4 Evaluation of radiants by error ellipses

When a meteor shower is identified, it is of the utmost importance to evaluate the error in the radiants. Hence, in this report, we used the error ellipses shown in Figure 2 (Shigeno et al., 2003) to determine the radiant errors.

4.1 Method of determining error ellipses

If the points of observation of the meteor path are taken as P_1, P_2, \dots, P_n , as shown in Figure 2, then their errors are as indicated by the ellipses. Here, $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ are the errors (standard deviation) which are orthogonal to the meteor path at each respective point of observation. In this case, the error which translates the meteor path parallel σ_u and the error which inclines the meteor path σ_t can be represented by

$$\sigma_u = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}}}, \sigma_t = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{\sigma_i^2}}} \quad (3)$$

where x_i is the distance (radians) measured along the meteor path from the mean position of all the measurement points on that meteor path to the i -th measurement point.

On the pole of the great circle along the meteor path, the error ellipse has size σ_u in the direction facing the mean measurement point and size σ_t in the orthogonal direction. When the same meteor is observed at two or more points, the pole of the great circle along each meteor path and its error ellipse can be determined. When the radiant is determined from multiple poles of great circles along the meteor path, then it is possible to determine the error ellipse of the radiant using the same method as above.

4.2 Extent and error of observed radiants

An example of the error ellipses of radiants obtained by observation is shown in Figure 3. The small error ellipses are gathered near the center, while the large error ellipses are spread out around the outside. It is clearly evident that the long axes of the error ellipses are oriented radially outward from the center, and that the radiants are shifted from the center due to the error.

5 Comparison of radiant distributions

5.1 Distribution and comparison of Radiant

In Figure 4, the month by month radiant distributions are shown. The \times 's of left figure indicate radiants we observed, the $+$'s indicate radiants from the M&P data, and the Double circles indicate the apexes. The solid-lined ellipses (radius 6°) represent the radiants of the IAU list. 65 of which are defined as the established meteor shower in the IAU list, are represented using bold lines.

The right figure represent meteor showers identified using our observations. The solid-lined ellipses (radius 6°) represent the radiants of known meteor showers. The dotted-lined ellipses (radius 7°) represent the radiants of unknown meteor showers detected in this study. The meteors used to determine averages are indicated by \times 's. (Due to the circumferential stretch produced by projecting a star chart onto a plane, which is propor-

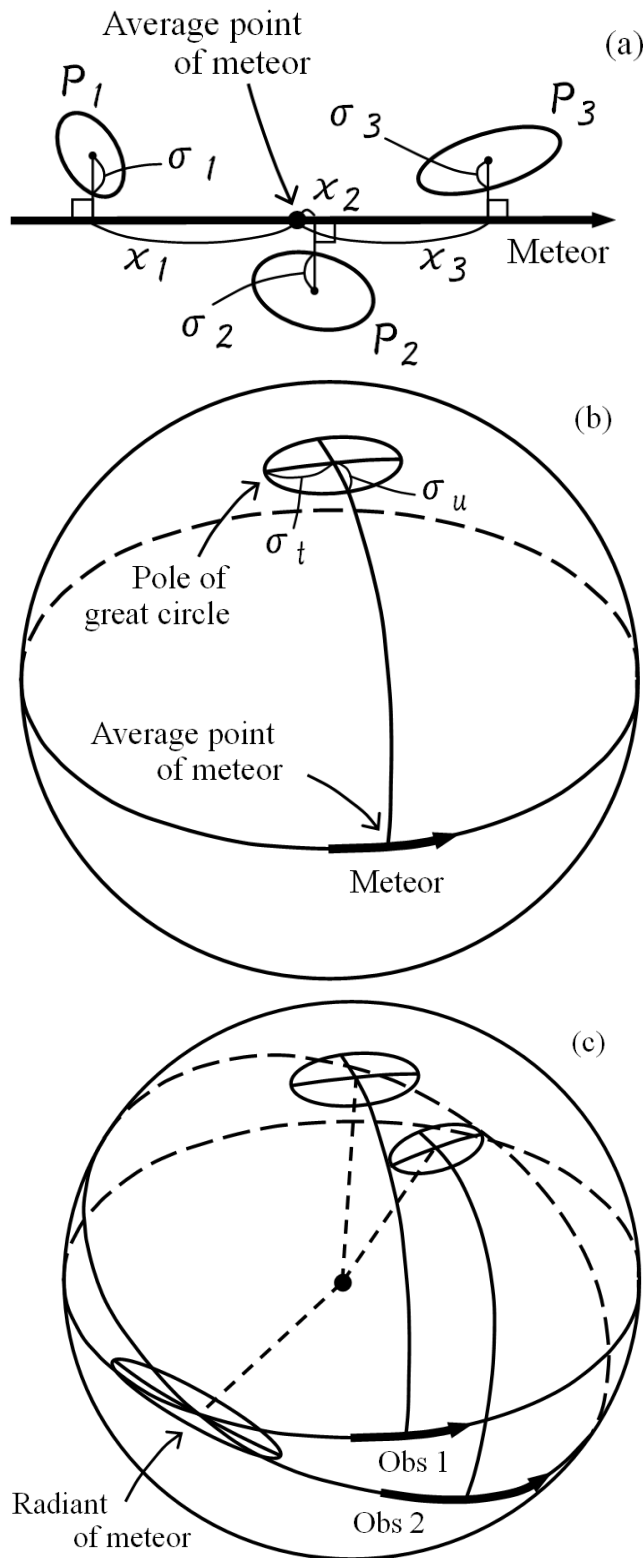


Figure 2 – (a) Meteor path and measurement points with errors shown by ellipse. (b) Meteor path and its pole of great circle. The error translating the meteor path parallel to itself is labeled σ_u and the error inclining the meteor path is labeled σ_t . (c) The radiant and error ellipse determined from the pole of the great circles along each of the meteor paths measured at two points.

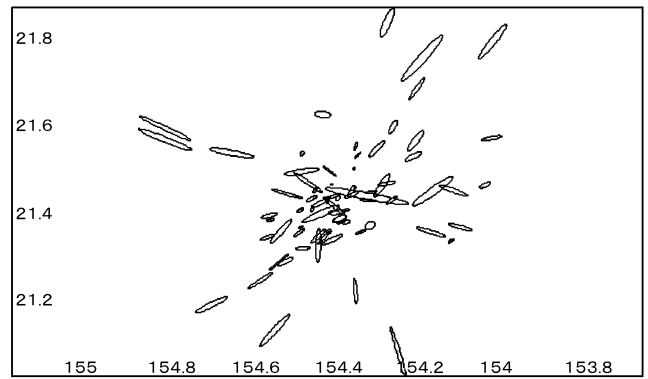


Figure 3 – Distribution of error ellipses of radiants obtained via double-station photographic observation on 2001 November 18. Size of ellipses reduced by $1/5$ for ease of viewing.

tional to the distance from the center, these appear as non-circular ellipses but represent circles with correct radii).

Circles of radius 6° were used to represent the IAU list meteor showers because for many such showers almost all the results of radiant calculations were distributed within a circle of 6° . For these known meteor showers, we have added the meteor shower code. Circles of radius 7° were used to indicate the radiants of unknown meteor showers because these had a slightly wider radiant distribution than the known meteor showers. For the previously unknown meteor showers, the IAU has assigned numbers from 432 to 443.

The sizes of the \times 's on the graph are proportional to the geocentric velocity (V_G): the faster the V_G , the larger the \times . The sizes of the $+$'s are similarly proportional to the V_G 's. The influence of the orbital motion of the earth is reflected by the high velocities of the meteors near the apex and by V_G decreasing with distance.

5.2 Error in the results of identification of known meteor showers in Table 1

For each meteor shower, the top row shows the mean value and the bottom shows the spread of data in terms of standard deviation. For example, in the case of radiants, the bottom number refers to the spread of radiants in terms of standard deviation. Each column RA_G , Dec_G and V_G showing mean measurements for the individual meteors is followed by an Ea column showing the analytical error incorporated into the measurement.

For example, in the case of Geminids (IAU #004: GEM), (right ascension, declination) of the radiant are $(111^\circ.7, 32^\circ.8)$, and the errors are $(0^\circ.2, 0^\circ.1)$. The spread of data, shown in the next row, are $(1^\circ.0, 0^\circ.5)$. In this case, the spread of radiant data is five times the measurement and analytical error in our observations and this clearly represents the spread of the radiants themselves. Such a trend can similarly be seen in major showers (e.g., Perseids, Quadrantids and Geminids).

With the major showers, the accuracy of observation is very high. This is because the imaging direction was decided after determining the radiant positions of the major showers, taking into account the arrangement of

the two observation points, to allow a range of imaging aligned orthogonal to the radiant. The radiant directions of the other showers were random, and thus the accuracy of determining the individual radiants was lower. The overall accuracy of determining the 3770 radiants (average error) was approximately 0.6° (standard deviation).

Even among the major showers, the Leonids (IAU #013: LEO) shows a different trend. The mean accuracy of the determination of radiants in terms of (right ascension, declination) is $(0.3, 0.1)$, and the spread of the data is $(0.3, 0.1)$. The fact that the error and the spread were the same suggests that the spread of the data was actually smaller than this but could not be detected due to the error. The Leonids was seen as a meteor storm in 2001, and its degree of concentration was high (Shigeno et al., 2003).

5.3 Detection results of the unknown meteor showers in Table 2

For the data in Table 2, the accuracy of observation is the same as described above of non-major showers. In this case, there are no problems in accuracy because the unknown meteor showers have fewer numbers of meteors and therefore we include longer observational periods and use wider radiants.

In all of the showers detected, the mean was determined from multiple-year, multiple-day observations. In actually determining the mean, we used a maximum range of ± 6 days for the observation day, and a maximum of $\pm 6^\circ$ for the radiant. Given the larger number of observational results used (in order to obtain the same quality of meteor data), we consider these ranges to be appropriate.

6 Discussion

1. As shown in the distribution of radiants (Figure 4), the radiants of the IAU list are distributed across the whole sky throughout the year. The radiants we observed, on the other hand, were confined to just one area. As shown above in the identification of known meteor showers, only 22 such showers were matched. This result agrees with the report of SonotaCo, which used the results from 2007 to 2008 to cross-check with the IAU list (SonotaCo, 2009). In SonotaCo's report, there are 25 known meteor showers and 13 unknown meteor showers, which is close to the results of this report. It seems, therefore, that there may be many sud-

den showers and showers that are uneven in their yearly arrival time on the IAU list.

2. The unknown meteor shower reported by SonotaCo as IAU #342: BPI (August Beta-Piscids) is already registered on the IAU list; we identified it as a known meteor shower. Of the 13 unknown meteor showers reported by SonotaCo, this was the only one corresponding to our observational results.
3. There are many fast meteors close to the apex in the northern hemisphere in winter (November to January). This is thought to be due to the following: a) Because the nights are long and the apex is in the northern hemisphere, the horizontal altitude nearby gets higher early in the morning, making them easier to observe. b) There were many fast but faint meteors among those near the apex, and the II targeted meteors as faint as magnitude 8.
4. There is a possibility that the activity of faint meteors was detected for other unknown meteor showers. Indeed, we have used the II to perceive faint Piscids in the past. In visual observation carried out concurrently, it was not possible to see these at all (Shigeno & Shioi, 2002).
5. Comparing to the M&P data, it is clear that our method of observation of showers with faint mean luminosity detects a greater number of meteors (Tables 1 and 2). There are cases in the M&P data in which showers were identified from only one meteor observation, which suggests the showers with even fainter distributions will be detected in the future. However, there was no good match to with any of the IAU data of radiants detected via radio meteor observation (which is thought to have perceived faint meteor showers).
6. This study was based on the current IAU meteor shower list of June 2009. However, the number of meteor showers that have been detected and registered continues to grow. For example, 12 new showers have been added by Molau & Rendtel (2009). Meanwhile, Koseki (2009) has presented the following problems regarding the break-down of meteor showers and the increase in number of small meteor showers. a) The activity of meteor showers changes yearly, and, with the exception of the large meteor showers, they are not necessarily observed every year. b) Photographic and

Figure 4 – (following pages) – The month by month radiant distributions are shown. The left figure indicate radiants we observed, the radiants from the M&P data, and the radiants from the IAU list. The right figure represent meteor showers identified using our observations. The known and unknown meteor showers are included.

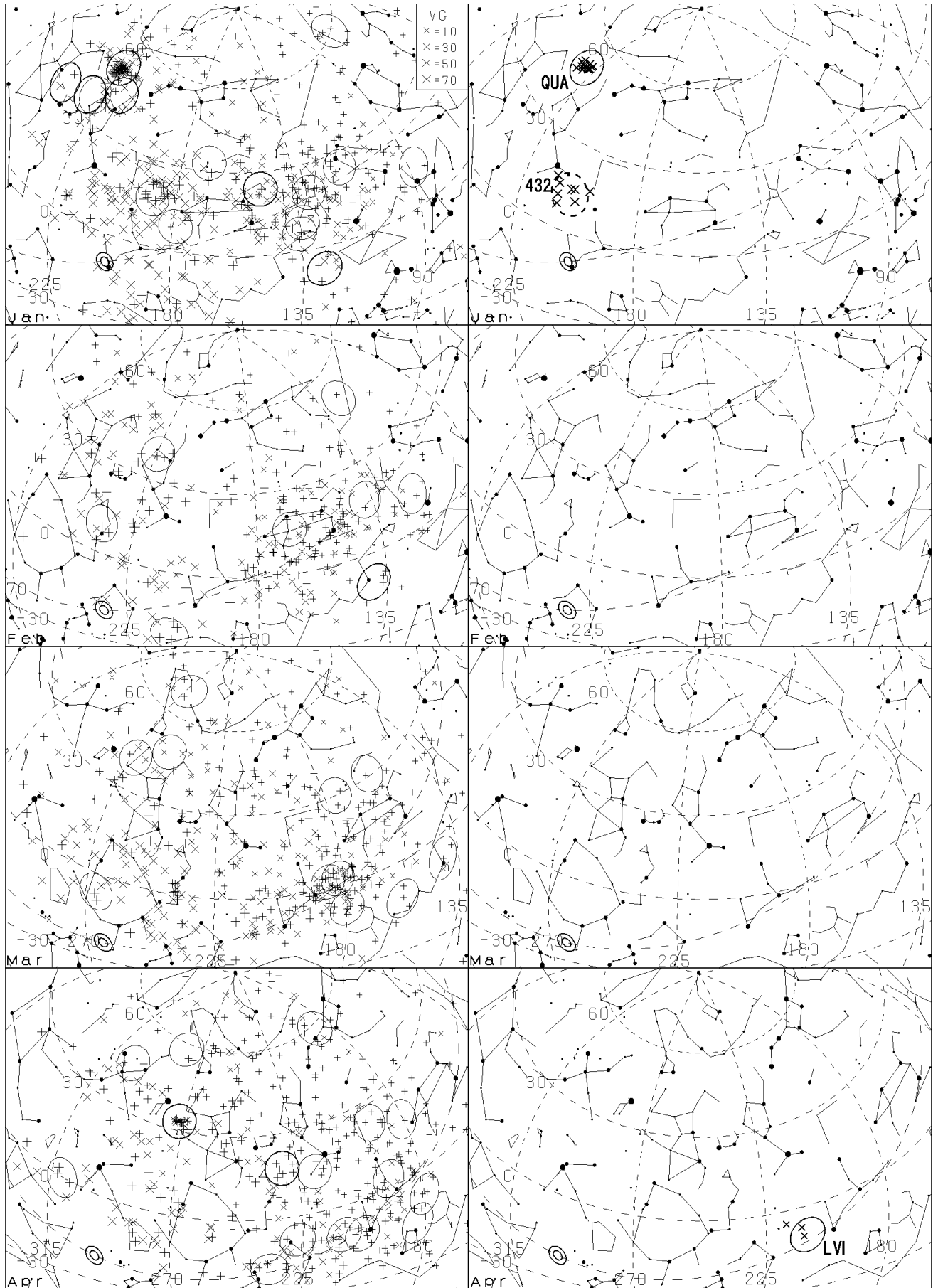
×: Radiants found in this study.

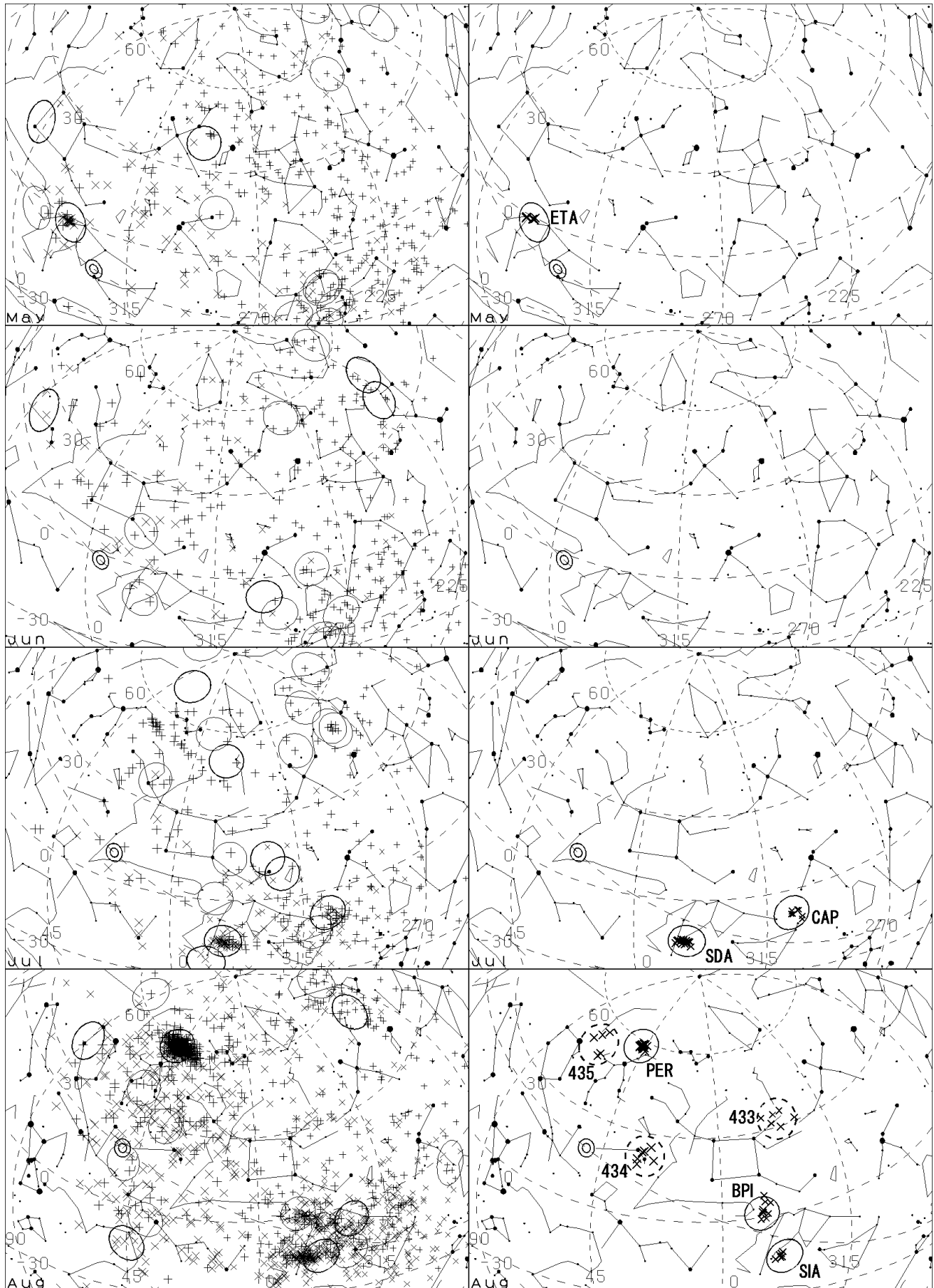
+: Radiants of M&P data.

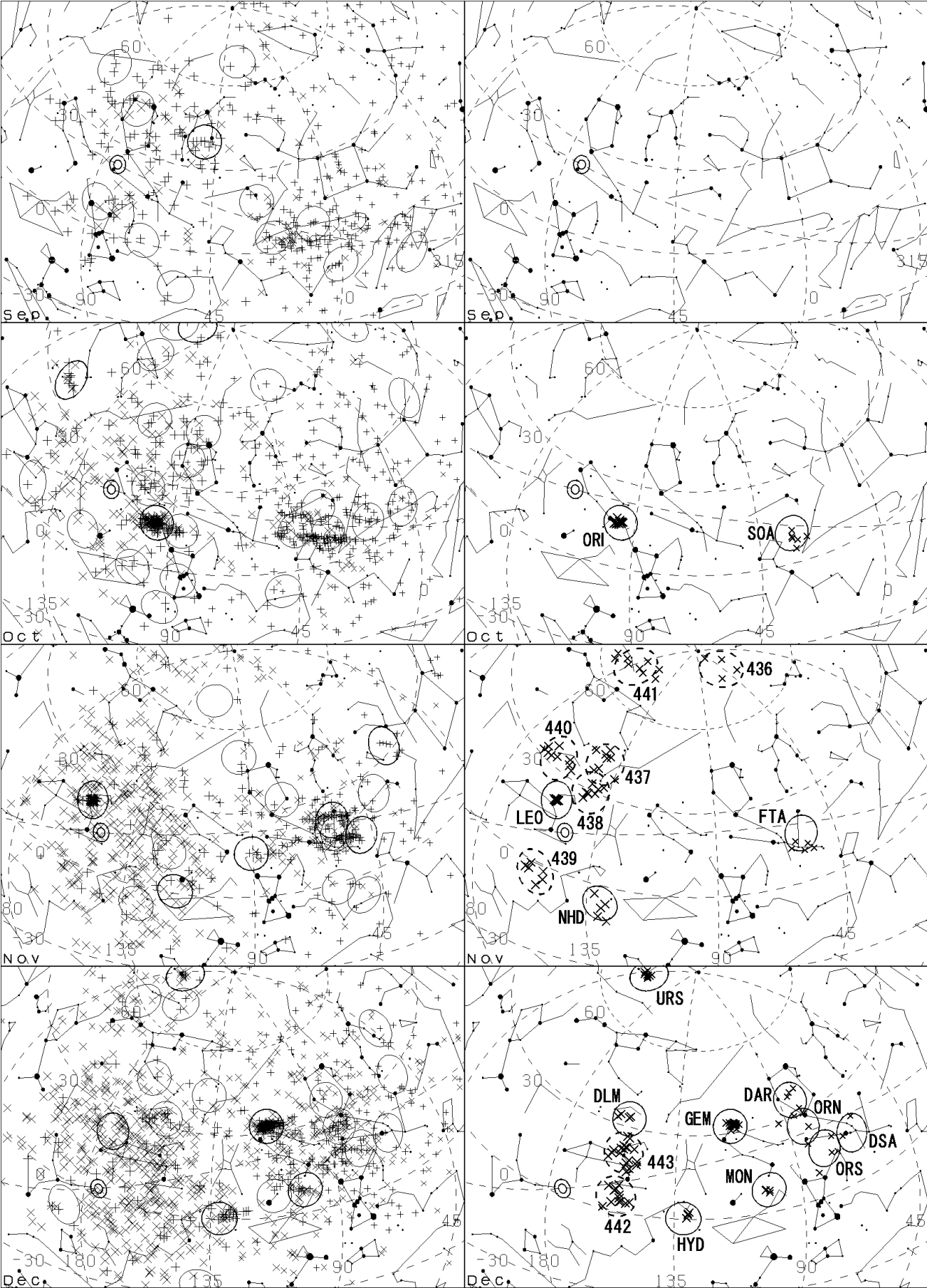
⊙: Apex (position on the 15th of each month).

— The solid-lined ellipses (radius 6°) represent the radiants of known meteor showers. The 295 showers on the current IAU list of June 2009, Established 65 meteor showers are bold-lined.

— The dotted-lined ellipses (radius 7°) represent the radiants of unknown meteor showers detected in this study. (Due to the circumferential stretch produced by projecting a star chart onto a plane, which is proportional to the distance from the center, these appear as non-circular ellipses but represent circles with correct radii).







radio observations do not always agree regarding faint meteors. c) In the classification of small meteor showers, there are a number of different schools of thought, which raises the possibility that observers may be overinterpreting their results. Caution is therefore required.

Consequently, Koseki (2009) has stated that fixed names for meteor showers should be reserved for only the larger meteor showers. The IAU list fulfills an important role in this kind of discussion, and we think that the results of comparison with our data do support this idea.

7 Conclusion

From 1992 through 2009, we carried out sustained double-station video observation using an II, taking care to ensure that observations were distributed evenly throughout the year. From a total of 3770 observed simultaneous meteors, high-accuracy radiant analysis was performed, from which we succeeded in creating a detailed radiant map for each of the regions in Japan (north latitude 35°) at which observation was possible. This dataset is useful for evaluating past radiant data, in particular the IAU list for radiants north of declination -45° . Through comparison with the 295 showers on the current IAU list of June 2009, we identified the 22 known meteor showers shown in Table 1 and newly reported a further 12 unknown ones in Table 2. Compared to the M&P data of about 50 years previous, the benefit of our II observation of meteors as faint as magnitude 8 was verified for showers with high (faint) mean magnitudes.

Appendix. Distribution of double-station video meteor footage

We converted all 160 Hi8 tapes used for double-station observation from 1995 to 2005 to DV files. This came to approximately 6 TB, which is not a very manageable size. Accordingly, we made files of only the meteors of magnitude 6 and brighter, discarding the others. In the files, observations are generally around 3 seconds per meteor, but meteors with persistent trains take up to 120 seconds. We ended up with a total of 579 meteors, including those recorded direct to DV format at the observation points after 2005, coming to 15.6 GB of data. This dataset can be recorded to DVD-R and distributed to individuals who desire it. For further details please refer to the following link: <http://meten.net/meteor>. The DV format can be played on almost any application for viewing video files, such as Media Player or Quick Time. The file size is large, but image quality is better than MPEG. Image size is 640×480 pixels, and the frame rate is 29.97 fps.

All meteors have been opened to the public and are accessible at <http://www.imo.net/files/data/msswg/>.

Acknowledgements

These observations were made with the cooperation of Masayuki Toda, Hiroyuki Shioi, Shinichiro Yanagi,

Yoshiaki Shinto and Shoichi Tanaka of the Meteor Science Seminar Working Group. Dr. Ko Nagasawa provided instruction on the theory of error ellipses.

References

- Cook A. F. (1971). "A working list of meteor streams". In *Evolutionary and physical properties of meteoroids*, pages 183–191. NASA SP-319.
- Drummond J. D. (1979). "On the meteor/comet orbital discriminant D". In *Proceedings of the Southwest Regional Conference for Astronomy and Astrophysics*, volume 5, pages 83–86.
- Jenniskens P., Jopek T. J., Rendtel J., Porubčan V., Spurný P., Baggaley J., Abe S., and Hawkes R. (2009). "On how to report new meteor showers". *WGN, Journal of the IMO*, **37:1**, 19–20.
- Koseki M. (2009). "Meteor Shower Records: A Reference Table of Observations from Previous Centuries". *WGN, Journal of the IMO*, **37:5**, 139–160.
- Kronk G. W. (1988). *Meteor showers*. Enslow Publ.
- McCrosky R. E. and Posen A. (1961). "Orbital Elements of Photographic Meteors". *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, **4**, 15–84.
- Molau S. and Rendtel J. (2009). "A Comprehensive List of Meteor Showers Obtained from 10 Years of Observations with the IMO Video Meteor Network". *WGN, Journal of the International Meteor Organization*, **37:4**, 98–121.
- Rendtel J., Arlt R., and McBeath A., editors (1995). *Handbook for Visual Meteor Observers*. International Meteor Organization, Potsdam. IMO Monograph no.2.
- Shigeno Y. and Shigeno T. (2004). "Radiant distributions of the Capricornid-Aquarid complex". *WGN, Journal of the IMO*, **32:3**, 77–80.
- Shigeno Y. and Shioi H. (2002). "Outburst of Faint Piscids in 2001". *WGN, Journal of the IMO*, **30:3**, 56–58.
- Shigeno Y., Shioi H., and Shigeno T. (2003). "Radiants and orbits of the 2001 Leonids". *The Institute of Space and Astronautical Science Report*, **SP No. 15**, 55–62.
- Shigeno Y., Toda M., and Shioi H. (1997). "Double-Station Observations of the Eta-Aquarids". *WGN, Journal of the IMO*, **25:5**, 217–221.
- SonotaCo (2009). "A meteor shower catalog based on video observations in 2007-2008". *WGN, Journal of the IMO*, **37:2**, 55–62.
- Southworth R. B. and Hawkins G. S. (1963). "Statistics of meteor streams". *Smithsonian Contributions to Astrophysics*, **7**, 261–285.

Table 1 – Results of identification of known meteor showers.

All measurements are with respect to Equinox J2000. Those with year indicated under DATE are cases in which the mean has been determined using observational data from the day with the greatest number of meteors. Those with no year indicated are cases in which an average date has been determined from the observation of multiple years and days. λ_{\odot} : solar longitude; RA_G and Dec_G : corrected radiant; V_G : geocentric velocity; a , e , q , ω and Ω , i : orbital elements; H_b and H_e : beginning and end height; $Amag$: absolute magnitude; clc : number of meteors used to determine mean; MSS : number of meteors thought to be of the same shower in our observation data; $M\&P$: number of meteors thought to be of the same shower in M&P data.

Regarding errors: For each meteor shower, the top row indicates the mean values and the bottom row represents the spread of data in terms of standard deviation (Note: these are not the measurement and analytical errors for the individual meteors). Each column RA_G , Dec_G and V_G showing mean measurements for the individual meteors is followed by an Ea column showing the analytical error incorporated into the measurement. IAU number, code and shower name for the known meteor showers identified are as follows:

IAU code	Shower Name	IAU code	Shower Name	IAU code	Shower Name	IAU code	Shower Name
001 CAP	alpha Capricornids	003 SIA	South. iota Aquariids	004 GEM	Geminids	005 SDA	South. delta Aquariids
007 PER	Perseids	008 ORI	Orionids	010 QUA	Quadrantids	013 LEO	Leonids
015 URS	Ursids	016 HYD	sigma Hydrids	019 MON	Dec. Monocerotids	028 SOA	South. Oct. delta Arietids
031 ETA	eta Aquariids	032 DLM	Dec. Leonis Minorids	049 LVI	lambda Virginids	245 NHD	Nov. Hydrids
256 ORN	North. chi Orionids	257 ORS	South. chi Orionids	258 DAR	Dec. alpha Aurigids	286 FTA	omega Taurids
288 DSA	South. Dec. delta Arietids	342 BPI	Aug. Beta Piscids				

IAU	DATE (UT)	λ_{\odot}	RA_G	Ea	Dec_G	Ea	V_G	Ea	a	e	q	ω	Ω	i	H_b	H_e	$Amag$	clc	MSS	$M\&P$
001 CAP	19980731.62 ± 0.02	128.23 ± 0.02	305.0 ± 1.6	0.3 —	-8.7 ± 1.3	0.8 —	20.8 ± 0.8	1.1 —	2.32 —	0.728 ± 0.022	0.632 ± 0.026	264.0 ± 3.2	128.2 ± 0.0	7.1 ± 0.9	98.4 ± 3.4	87.1 ± 2.6	5.0 ± 0.6	7	26	20
003 SIA	19980801.65 ± 0.04	129.21 ± 0.04	340.7 ± 1.0	0.2 —	-15.6 ± 0.8	0.5 —	38.2 ± 1.1	1.2 —	2.07 —	0.952 ± 0.009	0.100 ± 0.005	148.1 ± 0.9	309.2 ± 0.0	20.7 ± 2.7	101.0 ± 0.9	83.5 ± 2.6	3.9 ± 2.3	6	24	6
004 GEM	19991212.70 ± 0.06	260.22 ± 0.06	111.7 ± 1.0	0.2 —	+32.8 ± 0.5	0.1 —	33.4 ± 1.1	1.1 —	1.27 —	0.883 ± 0.012	0.149 ± 0.007	324.1 ± 0.9	260.2 ± 0.1	22.8 ± 1.3	101.6 ± 1.7	85.8 ± 3.2	4.7 ± 1.6	50	242	147
005 SDA	19980801.65 ± 0.03	129.22 ± 0.03	343.3 ± 1.4	0.5 —	-15.8 ± 0.6	0.7 —	38.6 ± 1.6	1.1 —	1.82 —	0.953 ± 0.012	0.085 ± 0.007	151.3 ± 1.6	309.2 ± 0.0	26.7 ± 2.4	99.8 ± 2.3	85.9 ± 4.2	3.5 ± 1.5	16	34	13
007 PER	19970812.66 ± 0.06	140.00 ± 0.06	47.3 ± 1.2	0.6 —	+58.1 ± 0.6	0.3 —	58.8 ± 1.0	1.0 —	10.9 —	0.913 ± 0.071	0.950 ± 0.009	150.5 ± 2.5	140.0 ± 0.0	112.6 ± 1.3	119.3 ± 7.3	99.0 ± 2.6	1.7 ± 1.9	20	142	330
008 ORI	19961021.76 ± 0.06	208.68 ± 0.06	95.9 ± 1.0	0.8 —	+15.8 ± 0.5	1.1 —	66.2 ± 1.4	2.0 —	8.47 —	0.932 ± 0.071	0.574 ± 0.028	83.1 ± 4.7	28.7 ± 0.1	164.1 ± 1.0	115.8 ± 1.5	99.0 ± 5.0	2.2 ± 0.9	16	37	46
010 QUA	19970103.67 ± 0.04	283.38 ± 0.04	230.1 ± 2.1	0.9 —	+49.7 ± 1.2	0.4 —	41.1 ± 0.9	0.9 —	2.95 —	0.668 ± 0.037	0.979 ± 0.004	172.0 ± 3.8	283.4 ± 0.1	71.5 ± 1.4	105.8 ± 2.9	96.3 —	2.4 ± 1.7	16	33	22
013 LEO	20011118.78 ± 0.03	236.48 ± 0.03	154.3 ± 0.3	0.3 —	+21.5 ± 0.1	0.1 —	70.6 ± 0.8	1.1 —	9.57 —	0.897 ± 0.061	0.986 ± 0.001	174.4 ± 1.2	236.5 ± 0.0	162.5 ± 0.2	125.8 ± 17.0	92.3 ± 4.3	0.9 ± 3.0	35	141	23
015 URS	20061222.75 ± 0.04	270.66 ± 0.04	219.2 ± 3.7	2.3 —	+75.1 ± 0.7	0.2 —	32.4 ± 1.2	1.0 —	4.19 —	0.776 ± 0.054	0.939 ± 0.006	206.3 ± 1.7	270.7 ± 0.0	52.3 ± 1.4	105.7 ± 2.1	97.1 ± 1.1	4.6 ± 0.6	10	10	3
016 HYD	1215.25 ± 0.83	262.85 ± 0.74	130.4 ± 0.4	0.3 —	+1.5 ± 0.8	0.4 —	57.7 ± 0.5	1.0 —	9.76 —	0.978 ± 0.007	0.217 ± 0.007	125.3 ± 0.9	82.9 ± 0.7	126.8 ± 1.5	116.4 —	94.7 ± 1.4	3.2 ± 1.3	4	6	5

Table 1 – Results of identification of known meteor showers — continued from previous page.

IAU	DATE (UT)	λ_{\odot}	RA _G	Ea	Dec _G	Ea	V _G	Ea	a	e	q	ω	Ω	i	H_b	H_e	Amag	clc	MSS	M&P
019 MON	1212.95 ± 0.59	260.51 ± 0.66	102.1 ± 0.9	0.2 —	+7.8 ± 0.5	0.4 —	40.1 ± 1.6	1.1 —	7.29 —	0.973 ± 0.020	0.199 ± 0.004	128.3 ± 0.9	80.3 ± 0.5	33.8 ± 1.7	103.2 ± 3.6	88.8 ± 4.9	5.1 ± 1.1	4	11	8
028 SOA	19931011.67 ± 0.03	198.44 ± 0.03	32.9 ± 1.4	1.4 —	+9.0 ± 1.6	4.9 —	27.0 ± 1.7	1.1 —	1.66 —	0.805 ± 0.041	0.323 ± 0.032	121.2 ± 3.7	18.4 ± 0.0	5.0 ± 1.7	103.6 ± 4.0	90.7 ± 3.4	3.6 ± 1.3	6	6	33
031 ETA	19950506.72 ± 0.02	45.79 ± 0.02	338.1 ± 1.4	0.6 —	−0.8 ± 0.5	0.3 —	66.0 ± 0.6	1.9 —	21.7 —	0.972 ± 0.026	0.599 ± 0.024	100.1 ± 2.8	45.8 ± 0.0	162.9 ± 1.2	114.4 —	99- —	1.9 ± 1.7	5	19	2
032 DLM	1214.08 ± 0.51	261.90 ± 0.59	158.0 ± 2.7	0.4 —	+33.0 ± 0.5	0.3 —	61.9 ± 1.3	1.8 —	4.80 —	0.878 ± 0.081	0.587 ± 0.027	262.3 ± 3.0	261.8 ± 0.5	133.3 ± 1.0	113.9 ± 1.3	100.0 ± 2.4	4.2 ± 0.3	4	7	5
049 LVI	20070414.68 ± 0.10	24.24 ± 0.10	215.7 ± 3.7	0.3 —	−6.8 ± 3.2	1.3 —	26.5 ± 4.7	0.9 —	1.50 —	0.723 ± 0.060	0.414 ± 0.026	293.7 ± 4.1	24.3 ± 0.1	7.0 ± 4.2	102.8 ± 3.5	93.4 ± 3.6	5.2 ± 0.3	3	3	6
245 NHD	1118.68 ± 0.35	235.91 ± 0.26	130.0 ± 1.9	0.5 —	−7.1 ± 3.5	1.0 —	64.5 ± 1.9	2.5 —	7.26 —	0.877 ± 0.113	0.895 ± 0.027	36.8 ± 6.2	55.8 ± 0.3	134.5 ± 5.8	113.1 ± 6.2	95.7 ± 5.3	3.8 ± 1.3	5	6	0
256 ORN	1212.25 ± 0.51	259.96 ± 0.25	86.5 ± 5.5	0.2 —	+29.3 ± 2.1	0.1 —	22.9 ± 1.4	1.1 —	1.76 —	0.723 ± 0.036	0.487 ± 0.064	282.0 ± 9.0	259.9 ± 0.2	4.9 ± 1.8	100.2 ± 2.1	90.5 ± 1.3	6.1 ± 0.8	5	19	23
257 ORS	20011211.65 ± 0.05	259.65 ± 0.05	80.8 ± 4.6	0.3 —	+14.1 ± 5.0	0.3 —	20.4 ± 3.0	1.0 —	1.97 —	0.706 ± 0.063	0.579 ± 0.090	89.5 ± 10.1	79.6 ± 0.0	6.2 ± 3.4	97.2 ± 5.4	87.6 ± 2.6	6.2 ± 0.2	4	29	14
258 DAR	1212.87 ± 1.39	260.65 ± 1.31	83.8 ± 2.0	0.4 —	+35.1 ± 4.0	0.2 —	19.9 ± 2.8	0.8 —	1.60 —	0.652 ± 0.071	0.559 ± 0.067	275.4 ± 6.2	260.7 ± 1.3	8.1 ± 2.6	95.3 ± 5.9	82.4 ± 9.3	6.5 ± 0.4	5	24	6
286 FTA	1123.06 ± 4.09	240.72 ± 4.22	58.7 ± 2.9	0.3 —	+11.7 ± 1.3	0.3 —	19.4 ± 1.4	0.8 —	1.86 —	0.661 ± 0.035	0.630 ± 0.056	84.6 ± 7.0	60.5 ± 4.3	5.2 ± 0.3	98.5 ± 6.0	86.6 ± 2.3	4.8 ± 1.9	5	10	6
288 DSA	1212.16 ± 0.91	260.19 ± 1.07	72.9 ± 4.4	0.5 —	+16.0 ± 3.1	0.3 —	16.0 ± 1.9	0.9 —	1.80 —	0.601 ± 0.055	0.719 ± 0.046	73.6 ± 6.6	80.0 ± 1.0	3.0 ± 2.4	92.0 ± 5.2	84.1 ± 4.0	6.0 ± 1.0	5	16	12
342 BPI	0811.90 ± 0.39	139.51 ± 0.35	345.0 ± 0.7	0.6 —	+4.5 ± 3.0	1.6 —	36.1 ± 3.0	1.2 —	1.38 —	0.907 ± 0.031	0.129 ± 0.016	326.7 ± 0.9	139.4 ± 0.2	24.8 ± 4.2	100.2 ± 3.4	84.2 ± 2.8	3.4 ± 1.4	9	16	11

Table 2 – Results of detecting unknown meteor showers.

Data items and details are the same as Table 1. The shower numbers assigned by IAU, CODE and ShowerName for the previously unknown meteor showers detected are defined here as follows:

IAU code	Shower Name	IAU code	Shower Name	IAU code	Shower Name	IAU code	Shower Name
432 NBO	nu Bootids	433 ETP	eta Pegasids	434 BAR	beta Arietids	435 MPR	mu Perseids
436 GCP	gamma Cepheids	437 NLY	Nov. Lyncids	438 MLE	mu Leonids	439 ASX	alpha Sextantids
440 NLM	Nov. Leonis Minorids	441 NLD	Nov. lambda Draconids	442 RLE	rho Leonids	443 DCL	Dec. Leonids

IAU	DATE (UT)	λ_{\odot}	RA _G	Ea	Dec _G	Ea	V _G	Ea	a	e	q	ω	Ω	i	H_b	H_e	Amag	clc	MSS	M&P
432 NBO	0119.74 ±4.39	299.18 ±4.29	206.0 ±4.1	0.8 —	+12.6 ±2.7	0.3 —	62.8 ±2.5	2.5 —	2.75 —	0.691 ±0.166	0.850 ±0.086	221.7 ±24.6	299.8 ±4.4	140.5 ±4.9	111.3 ±1.8	97.6 ±5.2	3.9 ±1.1	8	13	1
433 ETP	0808.16 ±2.82	135.40 ±2.93	334.6 ±5.2	0.4 —	+32.7 ±2.0	0.4 —	34.5 ±7.9	0.9 —	1.46 —	0.685 ±0.147	0.460 ±0.067	293.1 ±17.2	134.8 ±3.2	55.1 ±10.9	101.7 ±2.6	88.1 ±8.3	5.0 ±1.4	6	7	3
434 BAR	0808.16 ±2.20	135.38 ±2.34	28.8 ±2.6	0.4 —	+21.9 ±2.7	0.9 —	65.5 ±2.2	2.8 —	3.25 —	0.728 ±0.135	0.882 ±0.072	226.2 ±14.8	135.0 ±2.1	161.1 ±5.8	111.4 ±4.1	101.5 ±4.7	4.2 ±0.8	6	12	1
435 MPR	0812.10 ±0.56	139.64 ±0.54	70.4 ±4.6	0.9 —	+50.0 ±2.6	0.3 —	54.2 ±3.8	2.6 —	1.91 —	0.691 ±0.042	0.592 ±0.099	88.4 ±15.8	139.5 ±0.4	121.3 ±7.2	108.1 ±3.2	99.0 ±6.2	4.1 ±0.5	5	5	2
436 GCP	1117.32 ±1.36	234.99 ±1.31	47.6 ±15.4	10. —	+79.5 ±5.0	0.8 —	33.8 ±1.4	1.5 —	6.12 —	0.864 ±0.058	0.830 ±0.048	228.9 ±7.9	235.6 ±1.2	51.6 ±3.3	105.1 ±0.6	98.0 ±2.2	4.5 ±0.8	4	4	1
437 NLY	1120.35 ±3.68	237.92 ±3.81	141.8 ±5.6	0.8 —	+40.0 ±3.4	0.4 —	60.6 ±3.7	2.0 —	2.57 —	0.709 ±0.144	0.748 ±0.101	246.1 ±18.7	237.9 ±3.8	132.5 ±9.1	110.8 ±4.2	98.0 ±4.9	4.2 ±0.9	8	15	1
438 MLE	1118.09 ±0.60	235.70 ±0.74	142.4 ±2.5	0.5 —	+29.3 ±2.6	0.2 —	66.0 ±2.2	2.9 —	3.31 —	0.740 ±0.119	0.860 ±0.067	225.2 ±13.6	235.8 ±0.7	153.6 ±4.2	109.7 ±3.5	97.9 ±4.5	3.5 ±1.0	7	31	0
439 ASX	1119.71 ±3.60	237.37 ±3.60	154.6 ±3.1	0.5 —	−3.4 ±2.0	0.5 —	68.8 ±2.3	2.4 —	16.9 —	0.947 ±0.191	0.898 ±0.055	325.3 ±11.8	56.6 ±3.4	155.6 ±4.1	116.6 ±10.3	99.7 ±1.6	3.2 ±2.0	6	17	2
440 NLM	1120.28 ±3.25	237.99 ±3.29	162.2 ±6.4	1.6 —	+33.0 ±1.4	0.2 —	65.2 ±1.6	1.8 —	3.83 —	0.750 ±0.119	0.959 ±0.033	171.0 ±20.6	237.4 ±2.7	138.9 ±4.5	111.8 ±6.3	100.4 ±4.2	3.4 ±1.8	9	29	1
441 NLD	1118.52 ±0.64	236.07 ±0.75	177.3 ±12.1	7.2 —	+70.4 ±3.6	0.6 —	41.7 ±2.6	1.4 —	2.57 —	0.630 ±0.156	0.953 ±0.034	200.8 ±13.5	236.0 ±0.7	74.8 ±3.8	104.3 ±9.7	87.5 ±4.9	3.9 ±1.9	9	17	2
442 RLE	1214.31 ±1.04	262.18 ±1.02	155.6 ±2.1	0.5 —	+5.2 ±2.7	0.8 —	65.6 ±2.3	3.0 —	3.00 —	0.771 ±0.117	0.686 ±0.078	72.8 ±13.2	82.2 ±1.0	170.8 ±4.8	112.3 ±4.8	96.0 ±4.8	4.4 ±0.7	12	23	0
443 DCL	1214.42 ±3.20	262.19 ±3.21	155.3 ±3.0	0.4 —	+20.8 ±3.4	0.3 —	64.1 ±2.2	2.0 —	3.27 —	0.835 ±0.102	0.539 ±0.082	270.1 ±11.3	262.3 ±3.3	159.0 ±8.1	109.0 ±6.6	94.9 ±5.5	4.0 ±1.5	19	24	2