

Canon aps-c 安価標準ズームの進化

重野好彦

Canonはaps-c安価標準ズームを表1の様に4種類発売してきた。レンズ単体で購入すると2万5千円程するが、ボディキットで購入すると1万円程度である。それぞれ図1～3にMTF特性図を示す。第1世代と第1.5世代の光学性能は同じであり図1になる。徐々に性能が向上している様子が分かるが、実際にはどのように写り方が向上しているのか、遠くに置いた人形の写真(重野, カメラレンズ性能評価法の研究, MSS-145)を紹介する。

表1. aps-c 安価標準ズームの歴史

第1世代)	EF-S 18-55mm F3.5-5.6 IS	200g	φ69x70	9群11枚	→図1
第1.5世代)	EF-S 18-55mm F3.5-5.6 IS II	200g	φ69x70	9群11枚	→図1
第2世代)	EF-S 18-55mm F3.5-5.6 IS STM	205g	φ69x75	11群13枚	→図2
第3世代)	EF-S 18-55mm F4-5.6 IS STM	215g	φ67x62	10群12枚	→図3

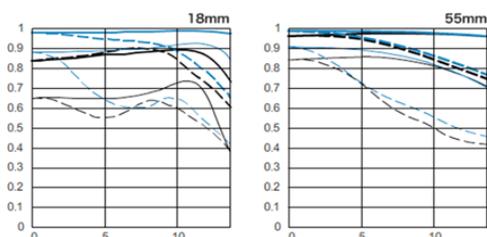


図1. 第1世代

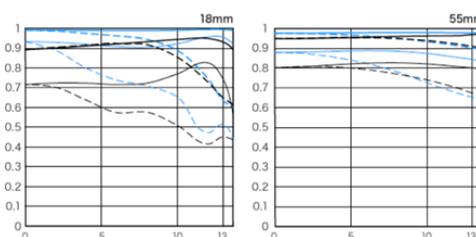


図2. 第2世代

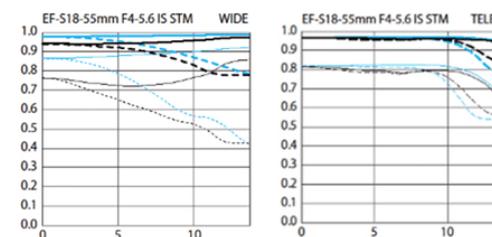


図3. 第3世代



図4. 第1世代



図5. 第2世代



図6. 第3世代

図4～6は、被写体(人形)を視野中心から周辺に2/3の位置に設置した写真。全て18mm/F4。第1世代は色収差があり、ぼやけている。初めて購入したデジタル一眼用レンズがこれだったため、非常にがっかりしたことを覚えている。第2世代以降、色収差はほとんど無くなり、画像もクリアになった。



図7. 第2世代



図8. 第3世代

図7～8は、被写体(人形)を視野左下端に設置した写真。どちらも18mm/F5.6。第2世代はややぼやけているが、第3世代はかなりクリアになった。

キャノンはHPで第3世代のレンズをコンパクト化したと述べているが、高画質化したとは述べていない。キットレンズはまだ第2世代である。良いことばかり書いたが、実はこのレンズは歪曲収差が大きい。

詳しくは <http://msswg.net/lens> を参照下さい。

定年から始める流星観測

2018年2月4日 流星物理セミナー：平塚市博物館 天体観察会 永井和男

• 天体観察会

- 平塚市博物館の年間会員制のサークル
- 平塚市以外の方も参加出来ます(東京、千葉、山梨、神奈川)
- 活動は
 - 天体観望会などの博物館のボランティア
 - 月例会(連絡事項、今月の天文現象、天文ニュース、コース別(観望・写真・研究))
 - 分科会(太陽、流星、アストロバイオロジー勉強会)
 - 合宿など

集合写真前列は若めの人が並んでいますが、全般に年齢層が高く、定年過ぎの方も多いです。

観測経験者は私だけだと思います。

大雑把に言って天体写真を撮る人は半数程度、残りは観望やプラネファンの人たちです。

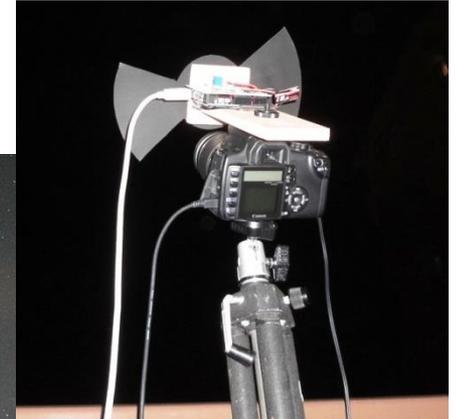
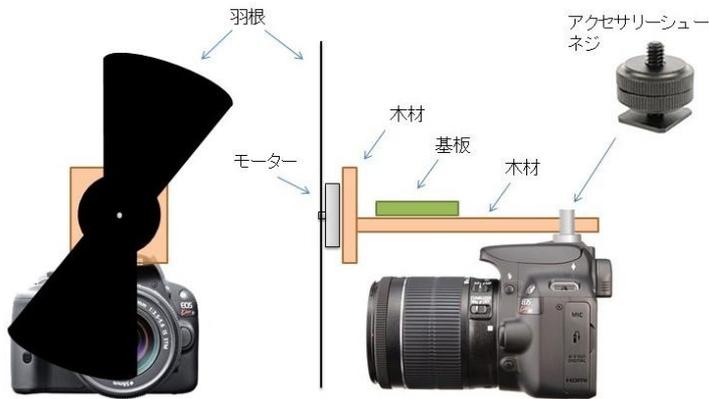
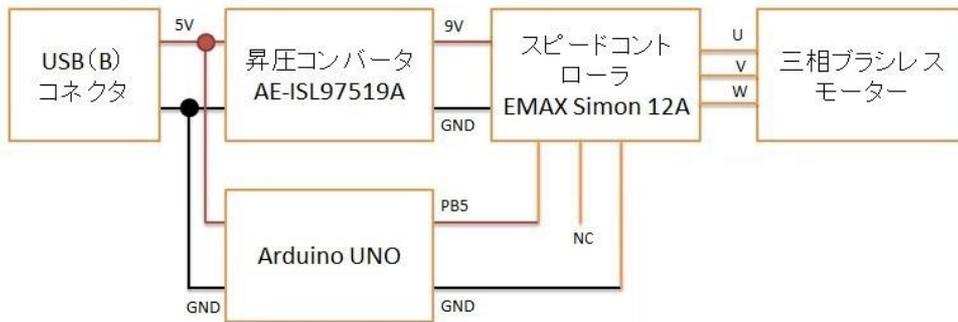


流星分科会



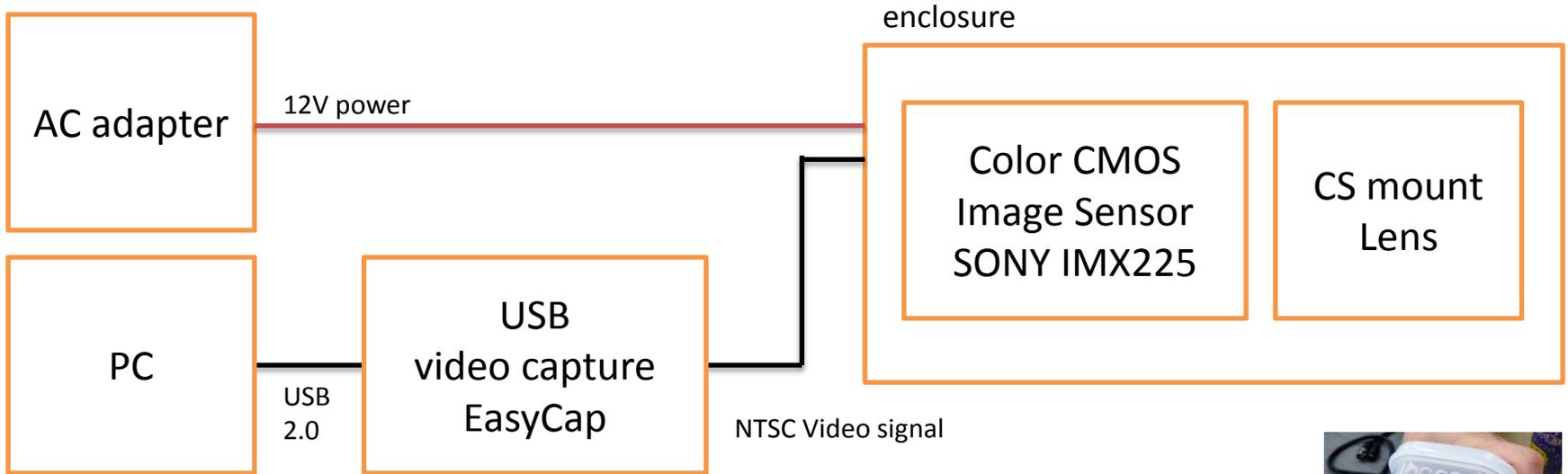
- 2014年のしぶんぎ座流星群を切っ掛けに分科会が発足しました
- 構成委員の多くが定年過ぎで天体写真の経験者が多いです
- 先生は平塚市博物館 藤井大地先生
- 観測に関するものを中心行っています
 - 観測概要
 - 流星の赤経・赤緯測定、ステレオネット使い方
 - プラネタリウムで擬似流星の係数観測
 - 観測してZHRを求める
 - 回転シャッター「流星号」計画
 - デジタル一眼レフ保有者が多く、これを利用した観測装置を作成
 - 高感度ビデオカメラ「流星号2」計画
 - 流星号の目視による画像解析が追いつかず動体検出が必要になった
- 観測装置の作成が活動の中心
 - 現在は完成し、TV観測とその解析に移行

流星号計画



- 左上/左下はブロック図と構造図です
 - USB給電で駆動し、ハードディスクの三相モーターをスピコンでドライブします
 - Arduinoで定周期パルスを出力し羽根を1分間に1200回転させています

流星号2計画 結線図



IMX225 color sensor and Lens Spec.

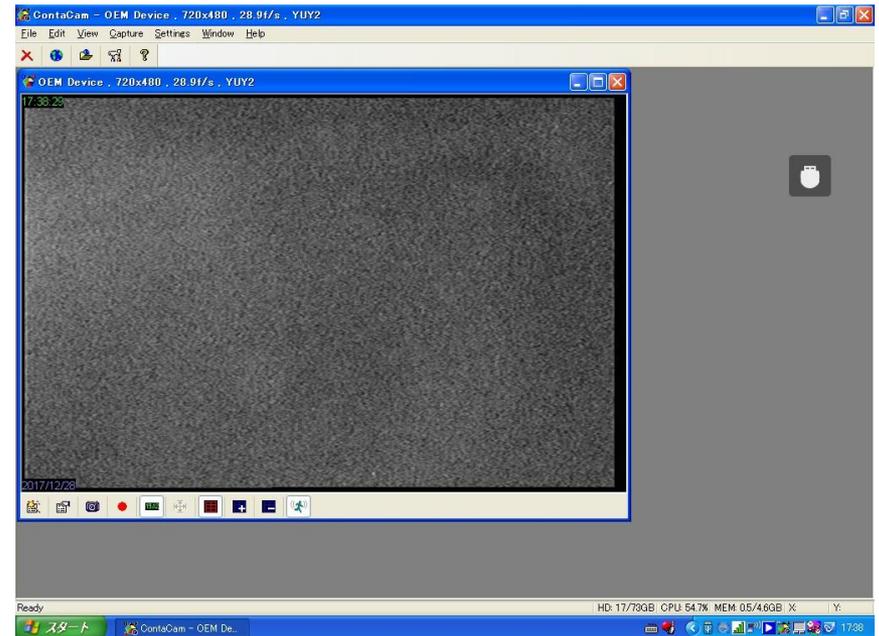
Image size : 16.1mm diagonal
Number of pixel : 4112(H) x 2176(V)
Pixel size : 3.45 μ m(H) x 3.45 μ m(V)
Sens : 1146mV @ 3200K 706 cd/m² 1/30s

Lens : f=8mm F1.2

流星号2 設置例と動作画面



- 15台が完成し(2017年末の時点で)6台が観測中です(6名中4名が定年過ぎ)
 - 材料費は1台5000円でした
- 各自が様々な所に設置し監視カメラソフト(CONTACAM)を使って夜空で動くものを監視し録画しています
 - 右がCONTACAMの画面です
- 解析はUA2を使っています
 - 今まで天体写真しか撮っていなかった人たちが各自でUA2を扱って解析を行っています



監視ソフト

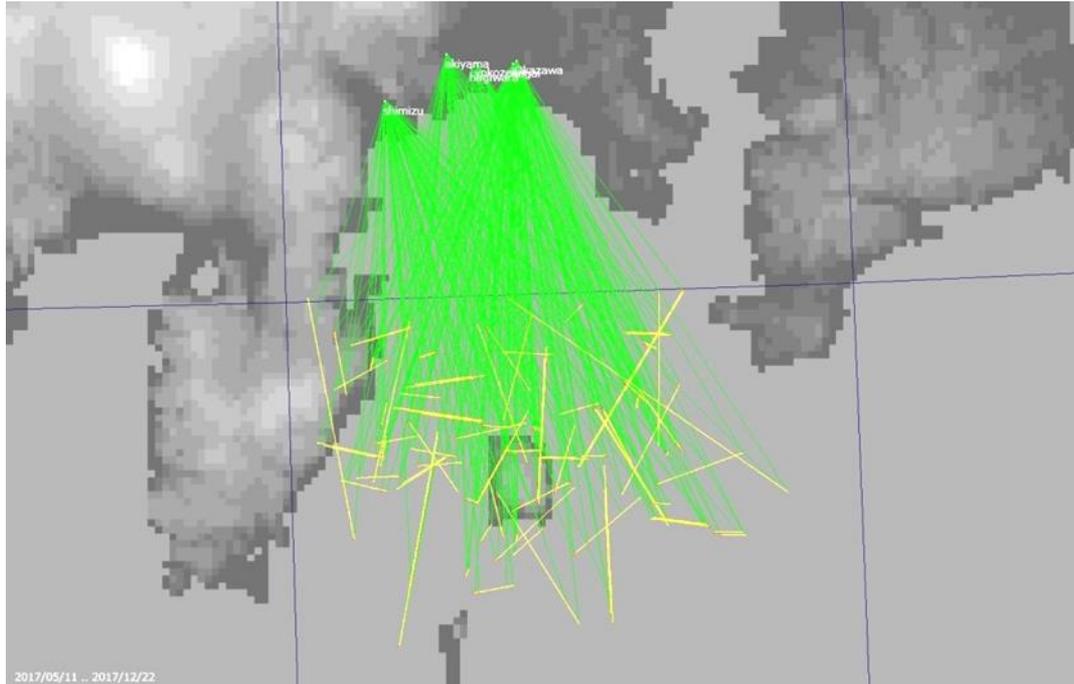


A screenshot of the Contaware.com website. The header includes the logo, a search bar, and a navigation menu with links for Home, ContaCam, FreeVimager, Download, Donate, Screenshots / Demos, Manual & FAQs, and Support. The main content area is titled "Video Surveillance and Graphics Software" and contains introductory text about the software portal, a "Donate" button, and a list of features for ContaCam 7.5.0, including RTSP support, HD network camera support, and various recording and detection capabilities. There is also a "Read more..." link at the bottom.

A screenshot of the "OEM Device" software interface, specifically the "Movement Detection" tab. The interface is divided into several sections: "Detection" (set to OFF), "Detection Parameters" (with "Store" values of 2 for both before and after detection), "Detection Sensitivity" (a slider set to 57), "Detection Zones Size" (set to Small), "Detection Limits" (with "Drop detections shorter than" set to 0 sec and "Split detection files longer than" set to 240 frames), and "Detection Scheduling" (set to "Detection always enabled (scheduler is off)" with a dropdown menu, and a time range from 20:41:32 to 20:41:32). At the bottom, there are checkboxes for days of the week, all of which are checked.

- ContacamはFreeの監視カメラソフトです。動体があると録画します。
- 設定は多いのですが Movement Detection タブ が最も重要です
 - Detection Limits を 0sec にすると僅かな動きも録画します
 - Detection Zones Size は Small にしないと流星を検出しません
 - Detection Sensitivity を 観測地の空の明るさなどに合わせて観測しながら微調整します
- 動くものはすべて録画します、雲・雷・飛行機・人工衛星・虫・鳥・流星 etc

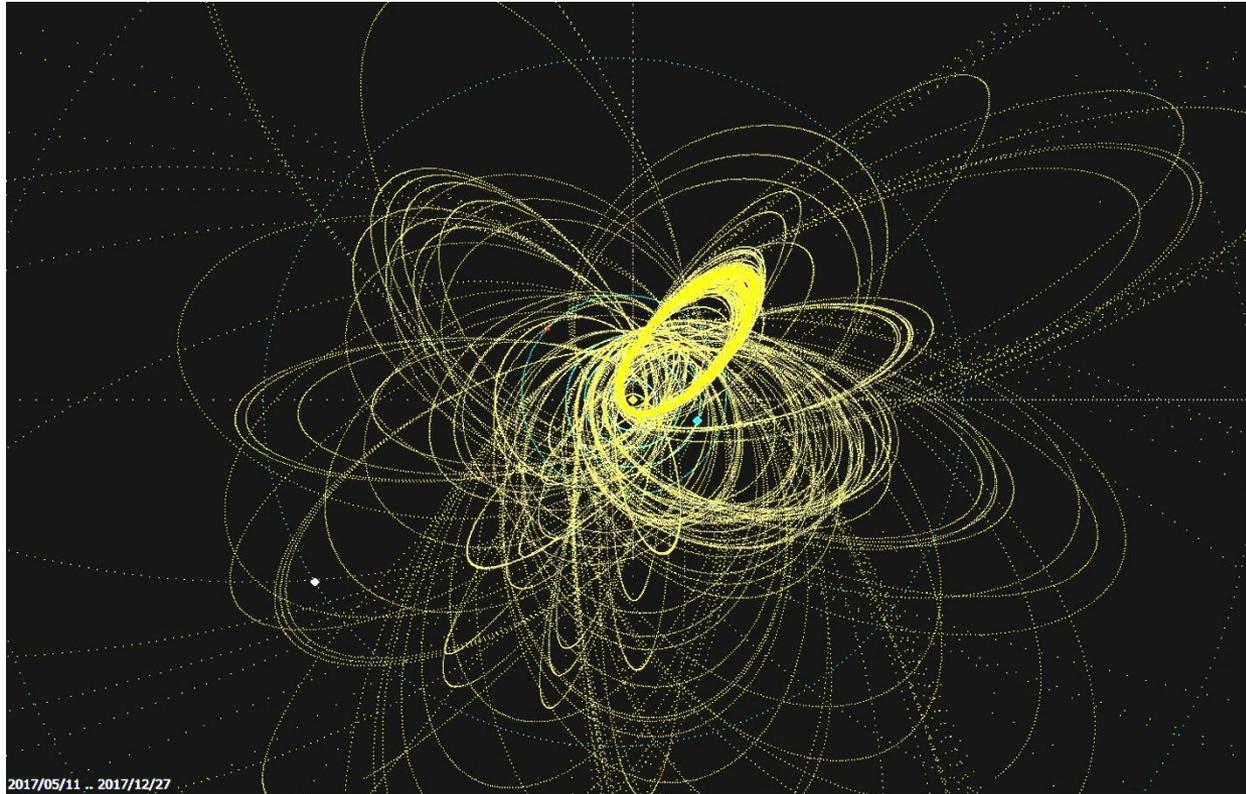
観測ネットワーク



流星号2の作成の様子

- 近距離になってしまいましたが観測ネットワークが出来ています
 - 小田原(1)、平塚(3)、茅ヶ崎(2)
 - 南のベランダに設置される事から、大島上空100kmにカメラを向けています
 - カメラの画角は33x22度と狭いものですが、3等まで観測出来ています

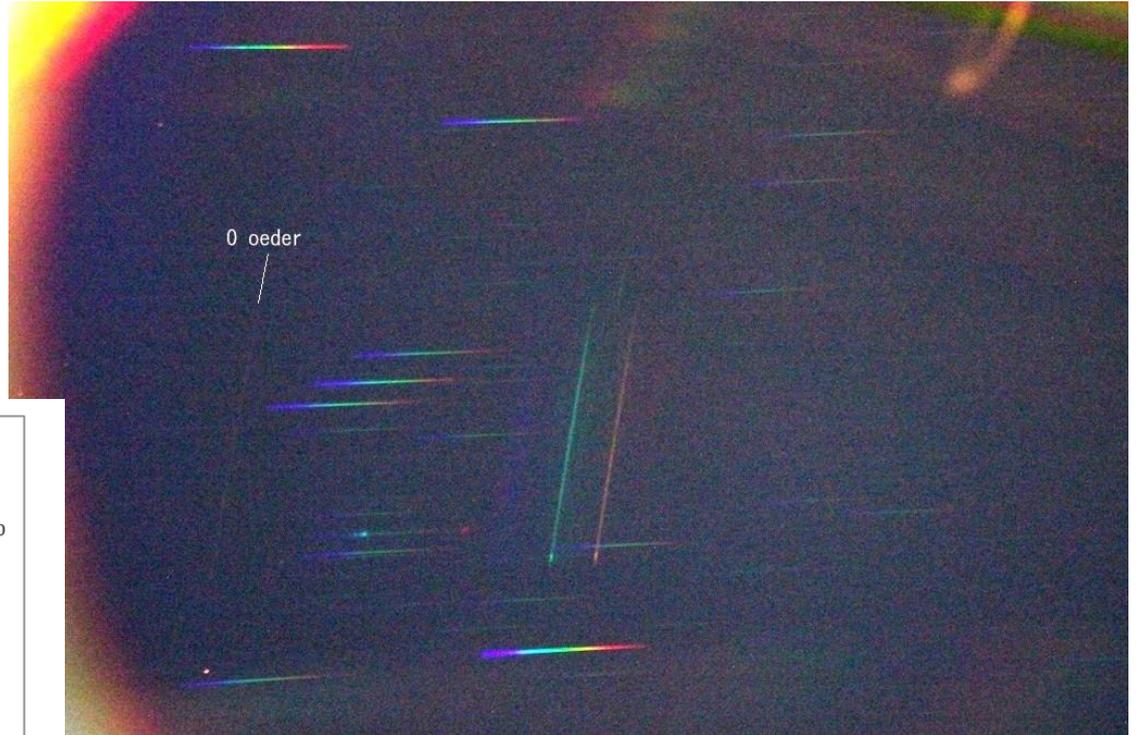
観測・解析結果



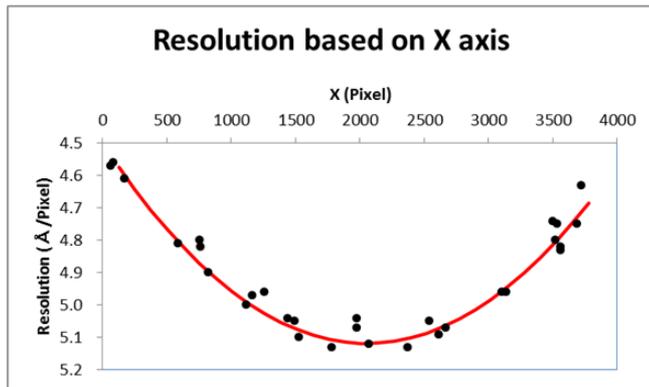
_ID	_count	_scount	_s%
akiyama_	326	40	12.3
hagiwara_	204	10	4.9
nagai_	394	51	12.9
Okazawa_01	269	38	14.1
shimizu_	410	56	13.7
yokozeki_	187	13	7

- 2017年5月から小田原と茅ヶ崎の2箇所で観測を開始し、2017年10月から6箇所になりました
- SPOが多かったのですが12月のふたご群を多数検出出来、上図で目立った軌道はふたご群のものです

分光観測 を始めました



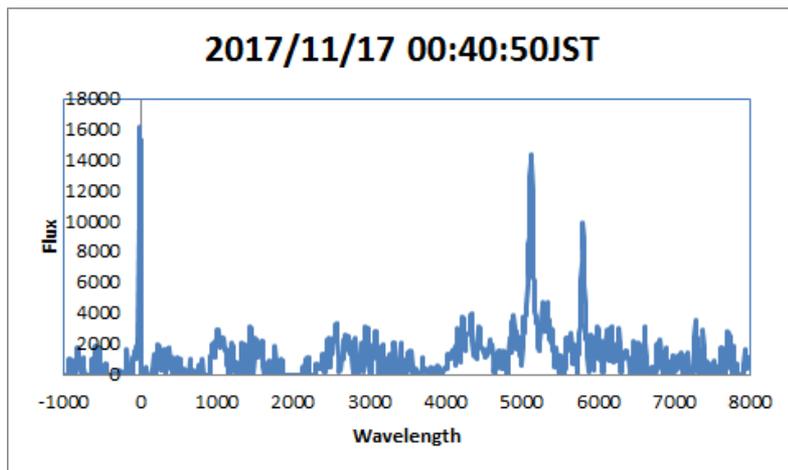
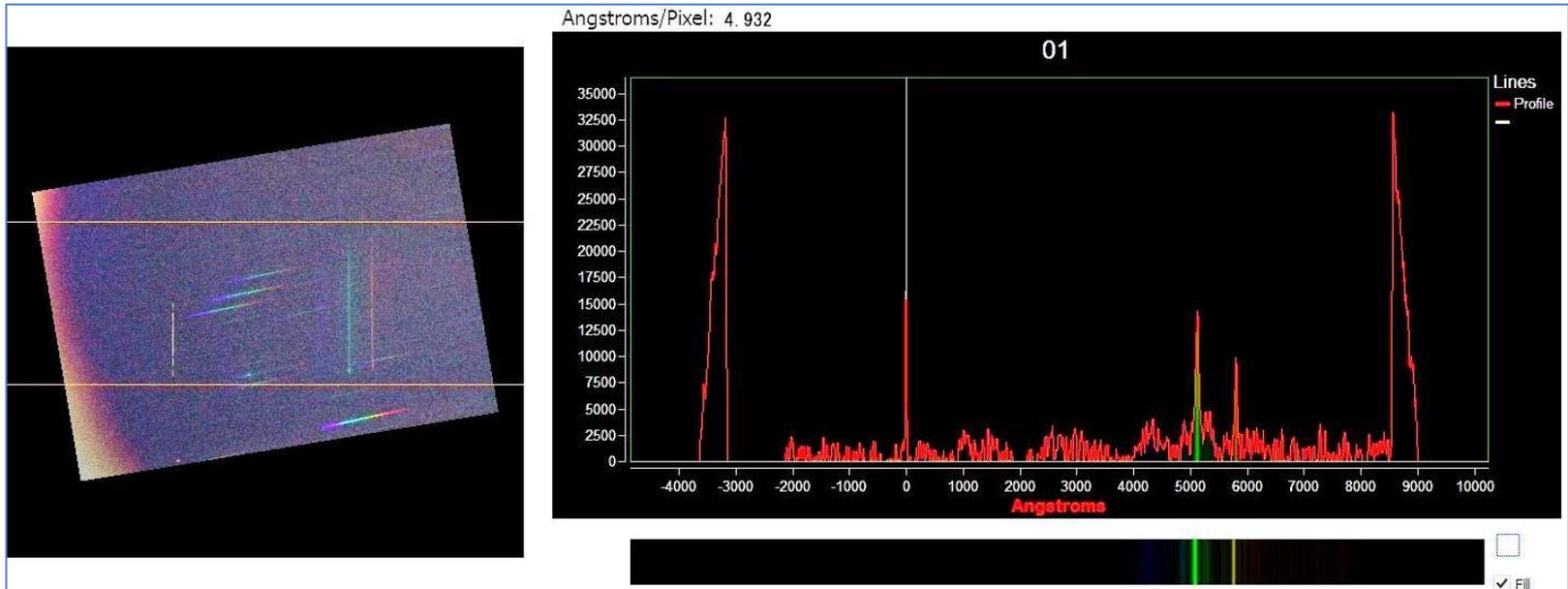
2017年11月17日 00:40JST に出現した流星の分光写真(トリミング)



$$\text{Resolution} = -0.000000146 \times X^2 + 0.0006 \times X + 4.5015 \text{ (Å / pixel)}$$

- ブレード回折格子(300gr)を用いた対物式分光器です
- CANON EOS Kiss X4, f=28mm ISO6400 3秒露出でインターバル4秒の固定撮影です
- TV観測と同方向に向けてCONATCAMで動体検出された時刻の画像だけをチェックしています
- 画像のX軸によって分散の量が異なり、0次のXピクセル値から波長分解能を決めています

分光観測 検出例



- 解析にはRSpec(Real-time Spectroscopy)を用いています
- 輝線の波長を測定しました
 - $5119 \pm 70 \text{ \AA}$ (Mg: 518nm)
 - $5800 \pm 80 \text{ \AA}$ (Na: 589nm)
 - 誤差は波長分解能は1%程度、ピクセル値の測定は最大で4ピクセル程度(4x分解能)、この合計を誤差の目安にしています
 - 同時流星でしたので軌道が求まり、散在流星でした

11/17 00:40JSTに出現した流星の スペクトル解析

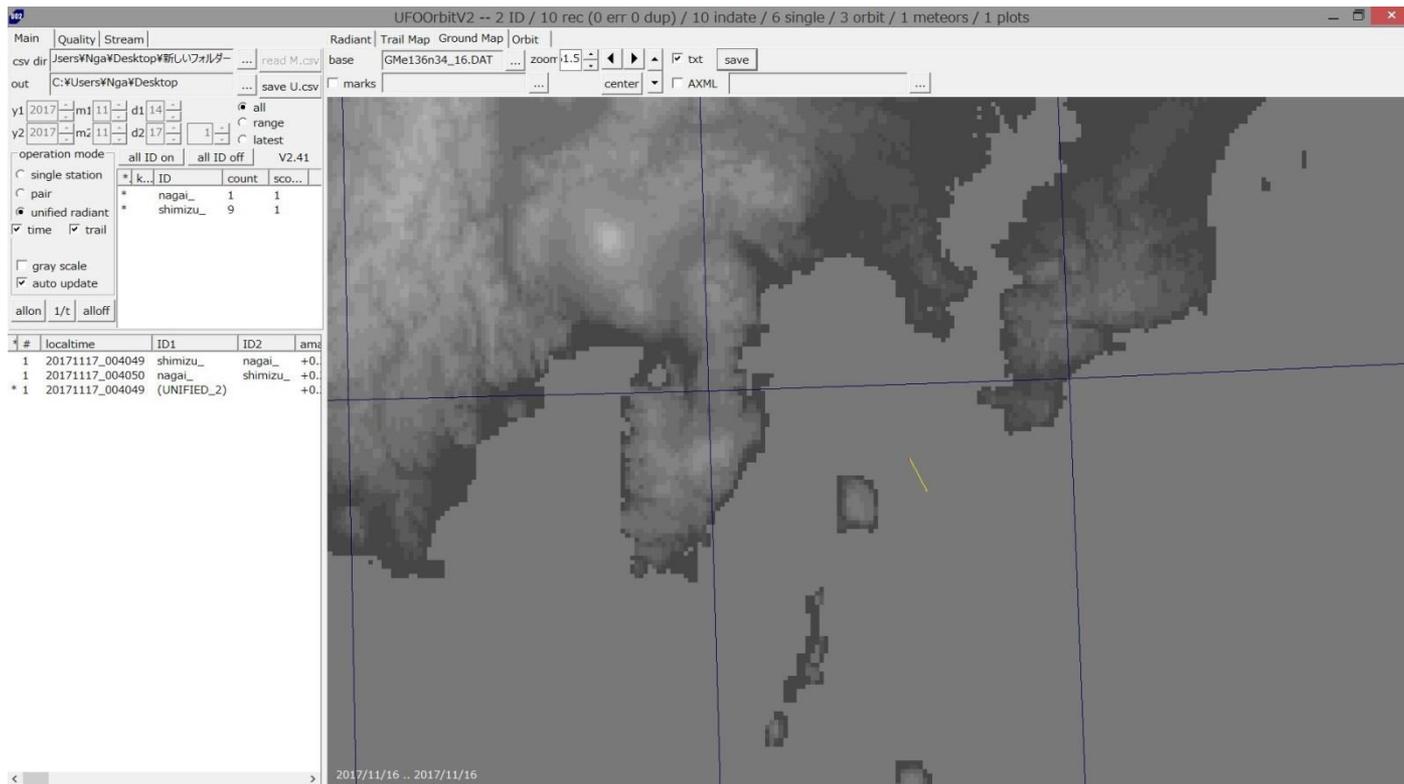
平塚市博物館
天体観察会 流星分科会
永井和男

TV観測



- 流星はオリオン座の西を北から南に流れました
- 時刻は2017年11月17日00時40分50秒です

流星軌道



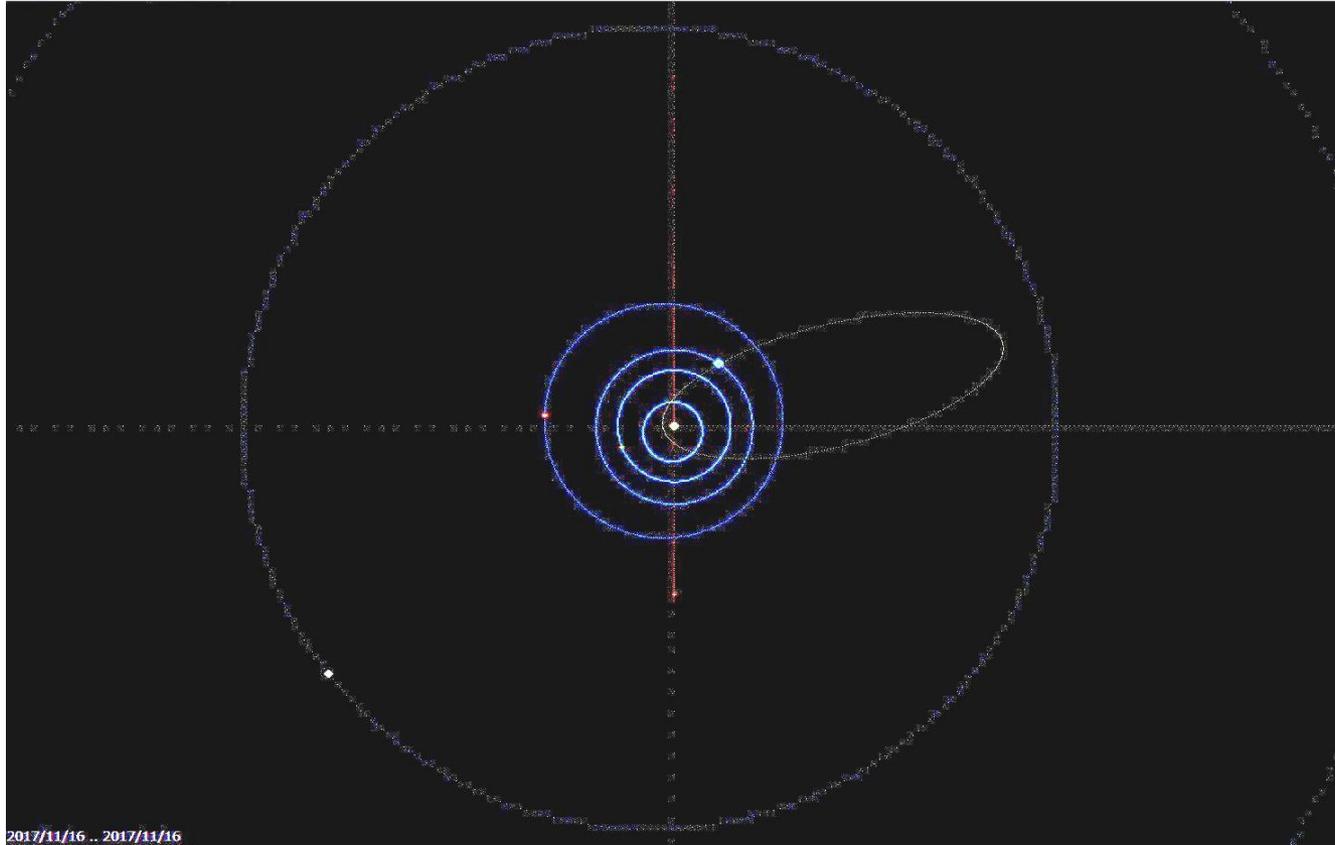
- 平塚市博物館の天体観察会では流星分科会によって大島上空100kmを監視しています
- この流星は茅ヶ崎と小田原の同時流星でした

流星軌道



- 解析の結果、流星はほぼ鉛直に地球に衝突していました

流星軌道



_a	_q	_e	_p	_peri	_node	_incl	_stream
2.239003	0.144222	0.935587	3.351636	140.095108	54.282215	0.315326	_spo

- この様な軌道の散在流星でした

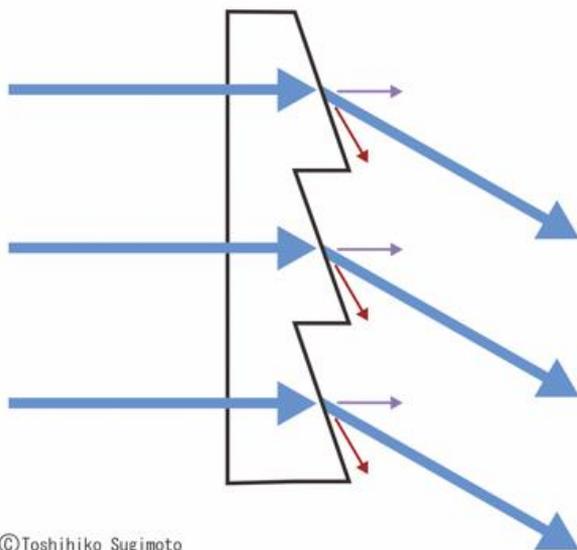
分光器



- ブレード回折格子(300gr)を用いた対物式分光器です
- CANON EOS Kiss X4, $f=28\text{mm}$ ISO6400 3秒露出でインターバル4秒の固定撮影です
- TV観測と同方向に向けて動体検出された時刻の画像をチェックする

ブレード回折格子

図3 ブレード回折格子



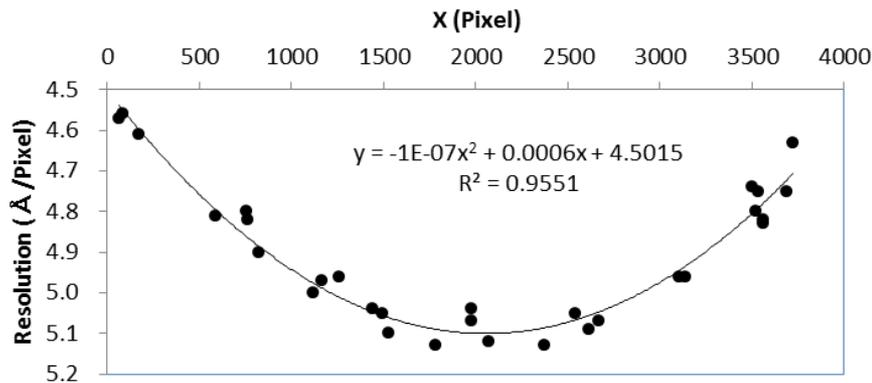
©Toshihiko Sugimoto

- ブレード回折格子は、特殊な回折格子です。エシェレット格子とも呼ばれます。
- 任意の回折次数において最大回折効率を得られるように最適化されています。
- 要するに最大屈折を望む回折次数に集中され、他の次数は最小となっています。
- 今回の回折格子は1次が最大となる物を使っています。

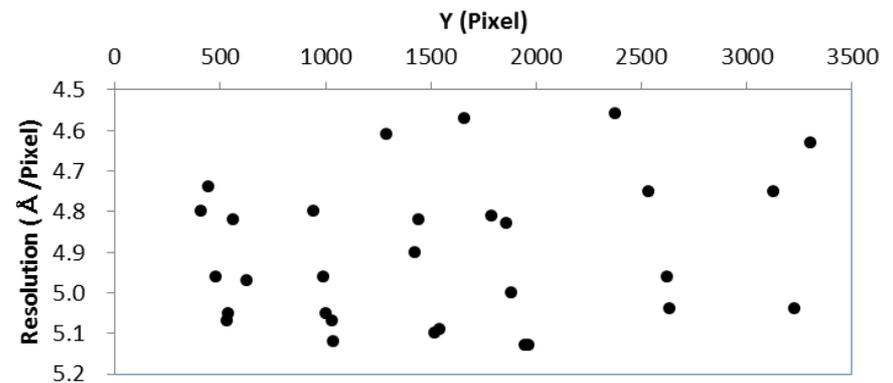
- 回折格子の溝の角度を斜めにする事で、ほとんどの光の成分を一つの方向に回折させることができる。
- すべての波長の光を100%曲げるのは難しく、一部は他の次数で曲がってしまう。

軸別の波長分解能

Resolution based on X axis



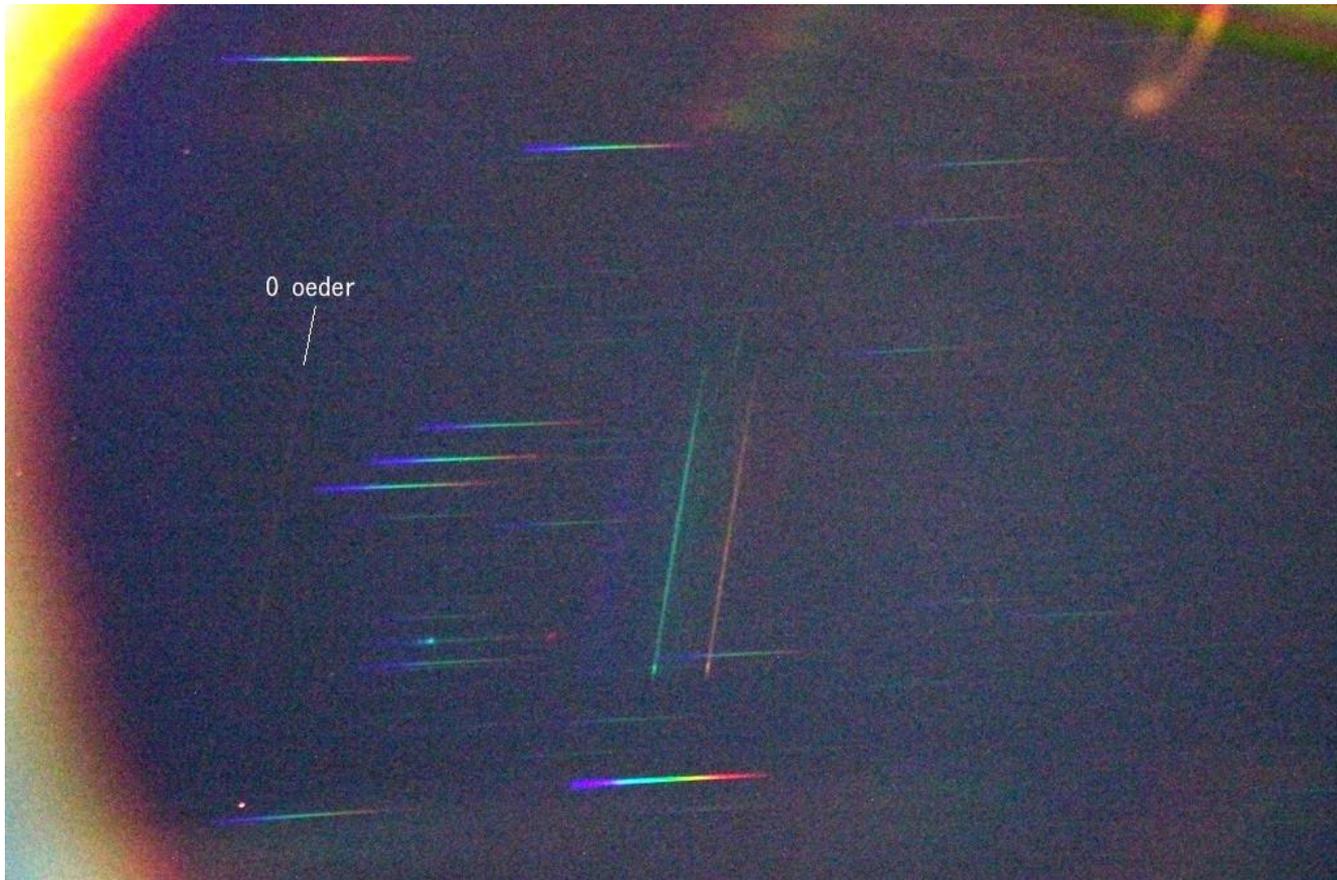
Resolution based on Y axis



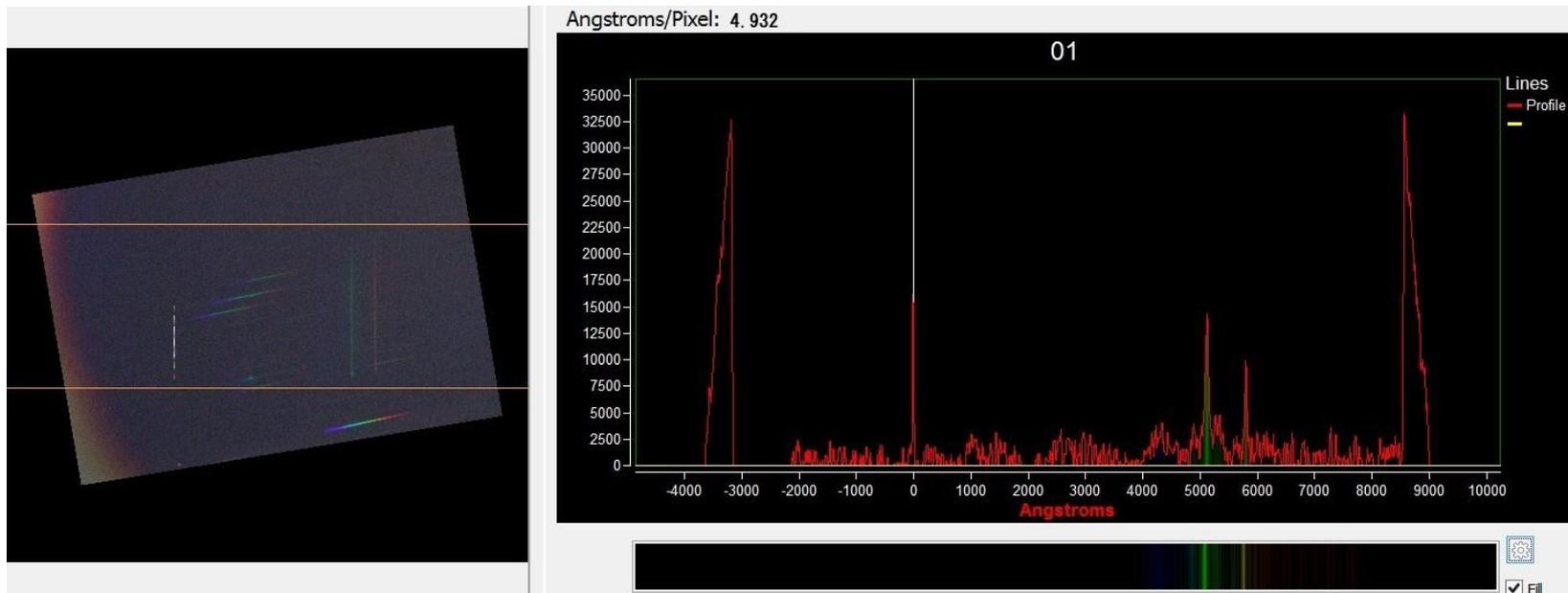
- X軸を関数とした波長分解能は二次関数にフィットできた
 - この二次関数からのズレ量の標準偏差を測定誤差と定義出来る
 - 図中の二次関数はエクセルの近似式を用いたもの
- Y軸方向は波長分解能に相関が無かった

2017/11/17 00:40JST に出現した流星

- トリミングしてあります

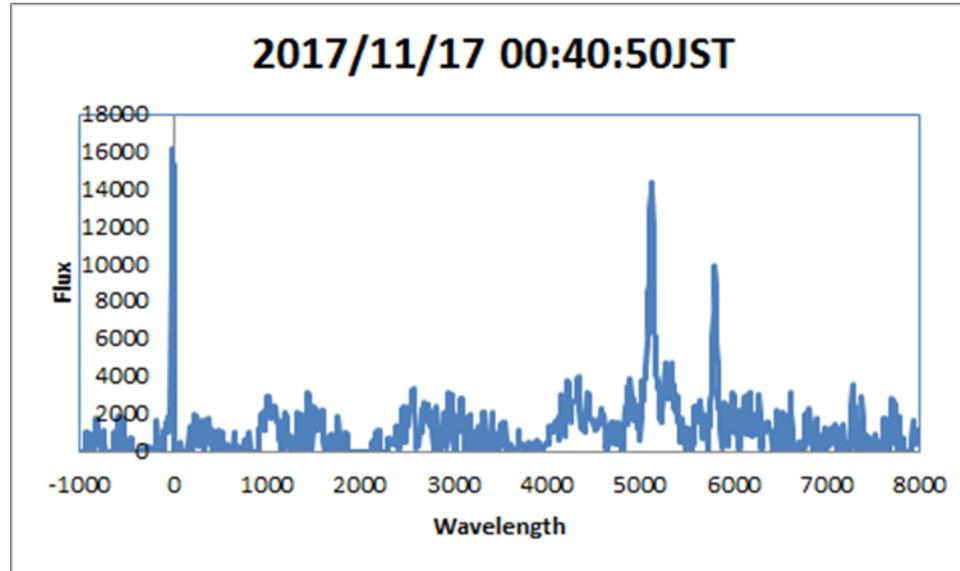


波長測定



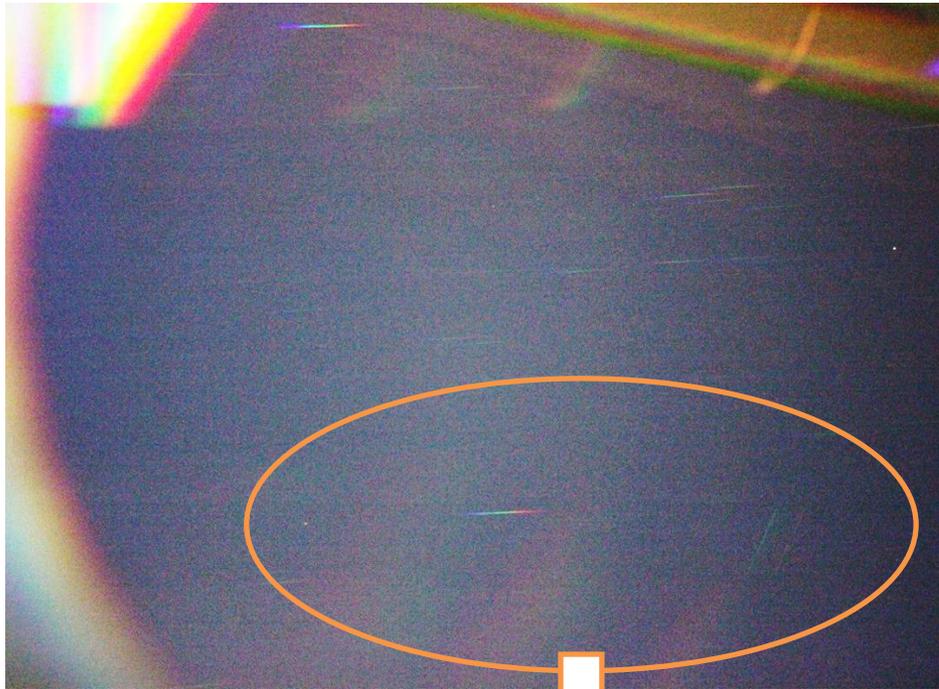
- 4.932 \AA/Pix として二つの輝線の波長を測定した
 - $5119 \pm 70 \text{ \AA}$ (Mg: 518nm)
 - $5800 \pm 80 \text{ \AA}$ (Na: 589nm)
- 誤差は波長分解能は1%程度、測定は最大で4ピクセル程度(4x分解能)、この合計を誤差とします

おわり

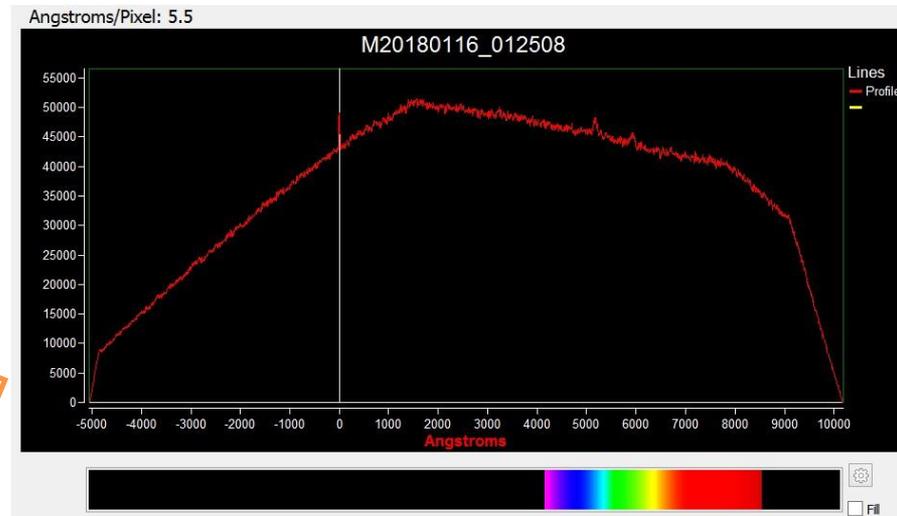
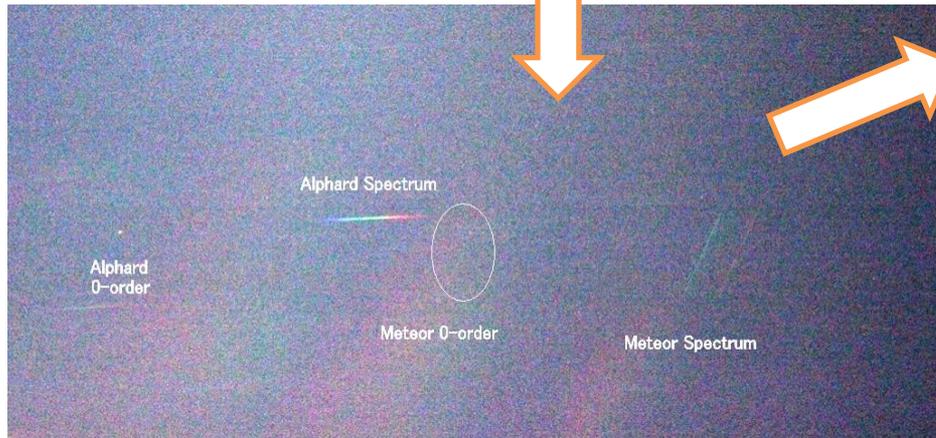


- まだまだ始めたばかりです勉強不足ですが観測は続けます
- DSLRでは感度不足なので検出数が少ないのも課題です

M20180116_012508

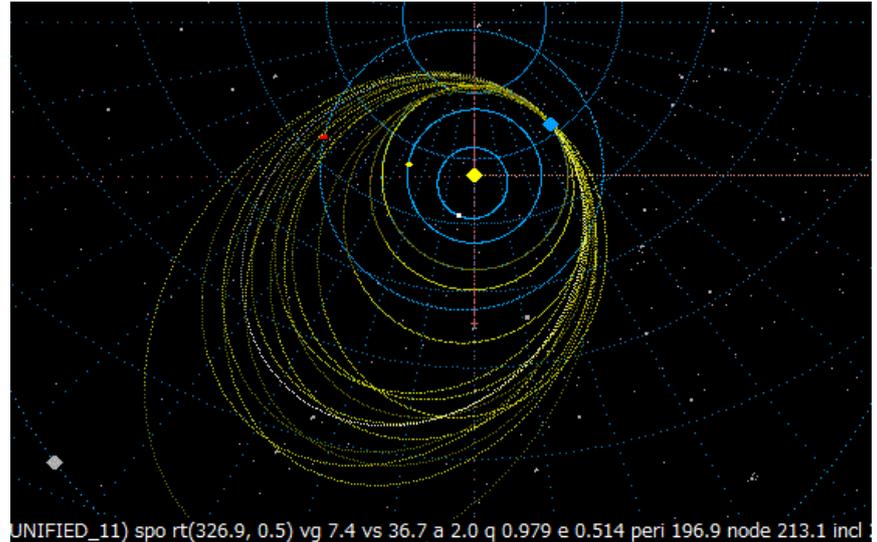
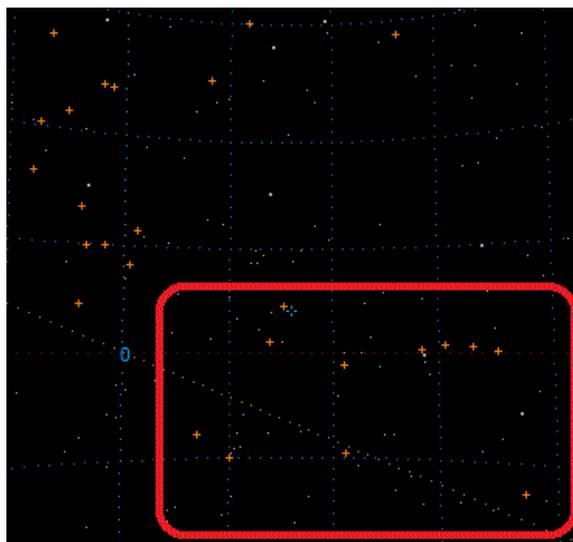
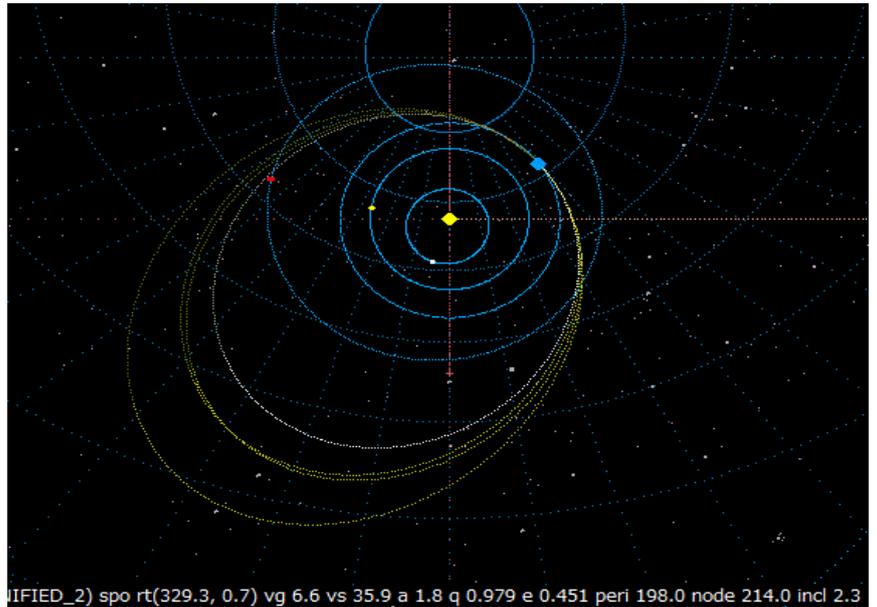
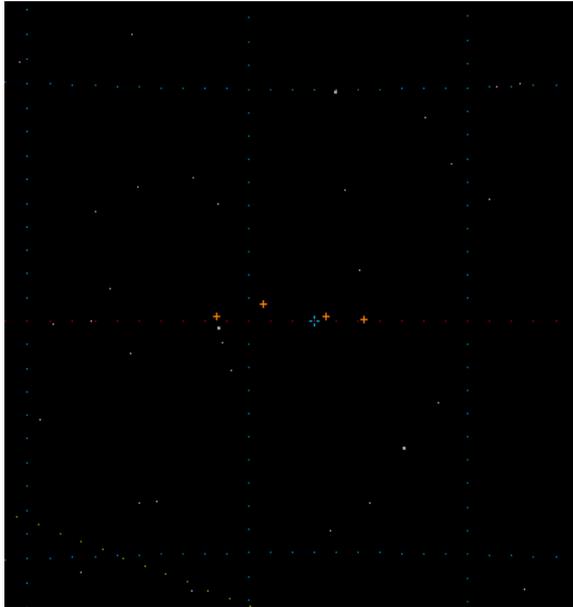


2018年1月16日 1時25分8秒に出現した流星のSpectrumが写りました。
アルファルドの西側に写っています。



二つの輝線の波長は(分解能を $5.5 \text{ \AA}/\text{Pix}$ とすると) 5170 \AA (Mg)と 5925 \AA (Na)となりました。前回と同じでしたのでMgとNaが多いようです。

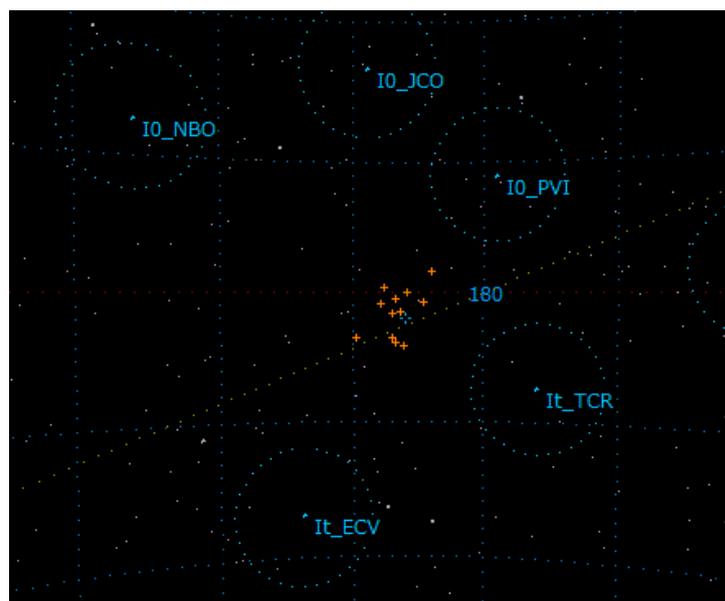
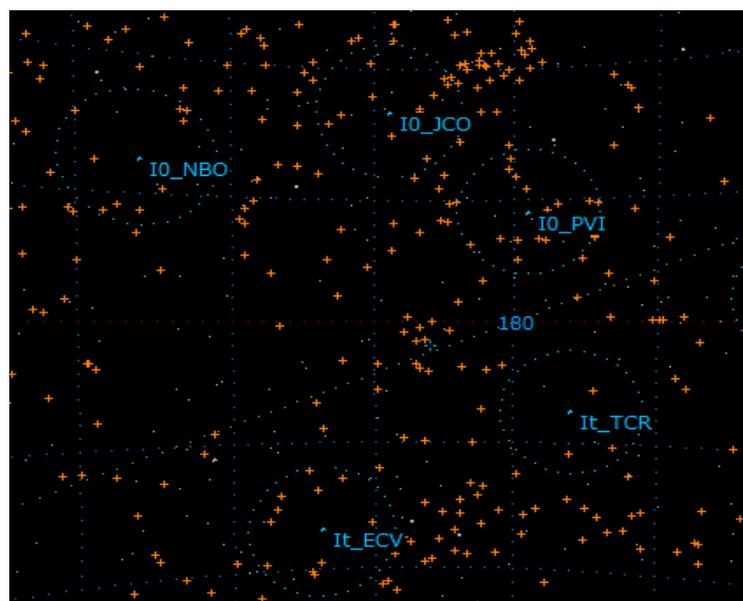
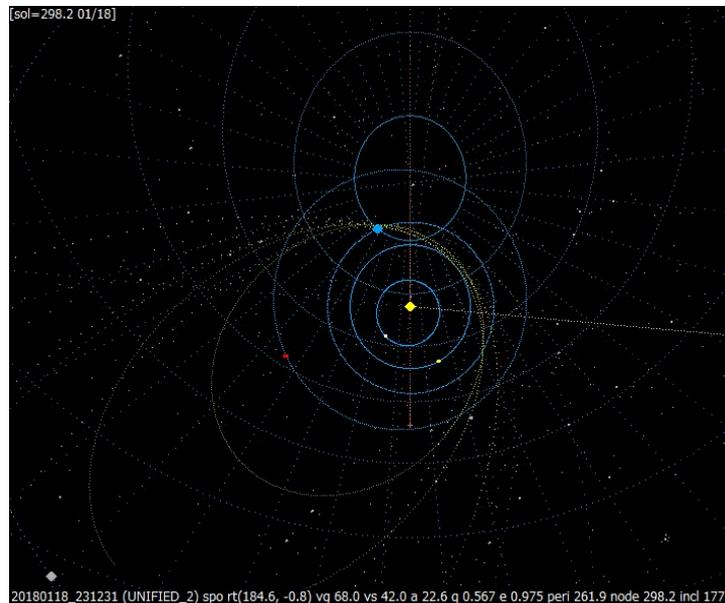
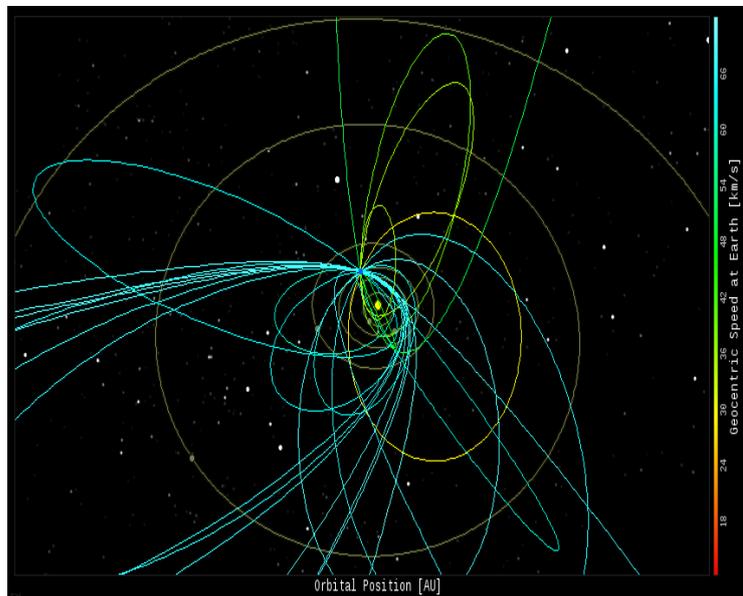
司馬氏によると10月26から27日にかけて、太陽黄径で213.29°から213.97°の範囲で4個の流星が集中した輻射点を示しているとのことです。 α 330°、 δ +2°付近、 $V_g=9\text{km/s}$ 程度であった。別の下田氏が非常にもろい感じの低速流星がありましたとのことでした。この流星は、永続痕もカラーで長く撮影されていました。こちらにも似た軌道は、結構あったので報告する。



2010UB関連流星群の同時軌道リスト

localtime	sol	amag	ra_o	dc_o	ra_t	dc_t	vo	vg	a	q	e	p	peri	node	incl	st	Qo	dur	H1	H2
20141024_184519	210.70	-1.5	329.40	10.20	329.90	4.10	13.40	8.90	2.40	0.97	0.60		201.10	210.70	3.60	N			94.00	73.80
20161025_021257	211.50	1.5	351.10	16.10	331.70	2.50	13.20	7.70	2.00	0.97	0.51		201.30	211.50	2.80	N			79.60	72.30
20171025_215451	212.06	-1.6	344.01	11.90	322.66	-12.47	10.01			0.98				212.06		N	5.77	2.04	58.13	40.37
20171026_210904	213.03	-0.7	338.25	8.45	331.51	0.21	13.32	7.47	1.97	0.97	0.51	2.77	199.74	213.02	2.28	N	4.21	0.94	86.86	76.27
20171026_212158	213.04	0.9	349.15	11.47	344.71	4.50	13.42	7.56	1.75	0.95	0.45	2.31	209.74	213.03	2.17	N	1.85	0.6	75.69	68.41
20171026_235147	213.14	-2.4	341.75	11.03	326.86	0.45	13.11	7.41	2.02	0.98	0.51	2.86	196.89	213.14	2.62	N	12.33	2.55	96.14	76.41
20171027_001318	213.16	0.6	340.18	10.88	324.72	0.07	13.49	8.12	2.30	0.98	0.57	3.50	195.48	213.15	2.88	N	11.91	1.72	91.65	80.83
20171027_150111 UTC	213.55		339.12	8.40	337.13	3.08		8.35	2.12		0.55		203.66	213.55	2.67	N				
20171027_195407	213.97	-0.9	333.05	9.82	329.33	0.71	12.94	6.61	1.78	0.98	0.45	2.38	197.98	213.97	2.27	N	4.5	0.91	88.92	78.56
20171029_211251	216.03	0.9	360.89	19.05	359.42	8.27	11.43	2.31	1.10	0.96	0.12	1.16	222.04	216.01	0.57	N	0.57	0.12	72.96	71.65
20171031_230944	218.11	0.9	349.02	7.02	338.86	-1.31	13.78	8.47	2.31	0.97	0.58	3.52	200.51	218.10	1.60	N	1.46	0.17	77.32	75.71
20171101_011819	218.20	2.3	375.07	20.86	358.75	11.38	12.45	6.06	1.38	0.94	0.32	1.62	218.79	218.19	1.97	N	1.28	0.3	79.92	77.28
20171101_201325	218.98	1.2	348.10	8.47	346.14	0.95	13.73	8.00	1.98	0.96	0.52	2.80	205.15	218.98	1.40	N	6.88	1.2	84.96	70.42
20171101_222722	219.08	0.5	367.88	14.88	363.37	9.88	14.43	9.28	1.77	0.91	0.48	2.35	221.62	219.08	2.05	N	3.87	0.63	74.36	66.12
北群の平均	214.61	0.13	347.64	12.04	338.93	2.31	12.98	7.40	1.91	0.96	0.47	2.53	205.69	214.61	2.22		4.97	1.02	81.58	71.39
母天体 2010UB									2.14	0.99	0.52		199.50	215.10	3.40					
SonotaCoNet									1.90	0.98	0.50		196.30	213.10	2.60					
20171023_235606	210.15	-0.6	358.82	-1.32	349.88	-10.06	14.36	9.38	2.18	0.94	0.57	3.21	31.51	30.17	1.35	S	2.21	0.58	76.00	70.43
20171026_022014	212.25	1.9	368.96	4.22	353.01	-7.84	13.62	8.37	1.86	0.94	0.49	2.53	32.79	32.26	1.04	S	1.87	0.37	78.05	76.12
20171026_194646	212.97	2.7	339.75	-1.73	338.73	-9.66	14.83	9.72	2.92	0.97	0.67	5.00	21.96	33.06	0.17	S	1.21	0.63	86.29	78.92
20171101_225720	219.10	0.5	350.99	-10.46	338.12	-24.12	13.39	7.78	2.20	0.98	0.55	3.26	14.04	39.10	2.89	S	9.24	0.79	85.06	79.62
南群の平均	213.62	1.12	354.63	-2.32	344.93	-12.92	14.05	8.81	2.29	0.96	0.57	3.50	25.07	33.65	1.36		3.63	0.59	81.35	76.27

下田氏によると1月19日に大塚勝仁氏から、spaceweatherの火球軌道のページで流星群活動の可能性について連絡があったとのこと。確かに軌道に集中が認められることから、この日 NASA all-sky cameras で撮影された21個の火球について、放射点をプロットし、 $\alpha 185$ 、 $\delta 0$ 付近に顕著な集中が見られた。該当する火球は8個、平均値は $\alpha 185.2$ 、 $\delta +0.4$ 、 $V_0=68.2\text{km/s}$ であった。対応しそうな既知の流星群としては、PVI (January pi Virginids) がある。ただし、大塚氏は「これだけの高速で輻射点位置が10度近くもずれるとなると、おとめ座 π 群との関連の可能性は低いと言う。なお、SonotaCo ネットでは18日前後天候不順でこの群と同一の同時流星は1個のみでした。似た軌道は、結構あったので報告する。



1	localtime	sol	amag	ra_t	dc_t	vg	a	q	e	p	peri	node	incl	Qo	dur	H1	H2
2	_20180111_045022	290.3	2.0	184.0	1.6	70.3	68.9	0.75	0.99	572.5	238.91	290.28	174.12	0.64	0.13	104.53	96.66
3	_20180111_052246	290.3	-1.1	189.8	-3.6	71.3	15.8	0.90	0.94	63.0	215.00	290.31	178.94	2.17	0.29	112.86	96.41
4	_20180111_234124	291.1	-0.1	187.9	-0.9	71.4	-121.1	0.83	1.01	0.0	225.77	291.08	175.75	18.19	0.75	121.60	111.96
5	_20180112_051209	291.3	-1.3	186.4	-1.5	70.1	11.7	0.79	0.93	39.8	233.03	291.31	177.94	3.86	0.22	109.22	96.86
6	_20180113_011232	292.2	-0.7	187.0	-1.6	71.4	-29.6	0.80	1.03	0.0	230.57	292.16	177.54	8.20	0.25	112.55	104.17
7	_20180113_020258	292.2	-3.4	185.8	0.0	70.2	30.5	0.75	0.98	168.7	238.17	292.20	175.63	21.67	1.10	132.20	84.36
8	_20180113_021941	292.2	-1.5	186.7	-0.5	74.7	-2.6	0.82	1.31	0.0	225.54	292.21	176.06	0.99	0.18	109.63	99.83
9	_20180113_035031	292.3	-4.3	187.6	0.4	71.9	-9.7	0.80	1.08	0.0	229.67	292.27	173.85	4.04	0.33	110.97	92.13
10	_20180118_231231	298.2	-0.1	184.6	-0.8	68.0	22.6	0.57	0.97	107.5	261.88	298.19	177.68	2.72	0.22	100.11	96.41
11																	
12	北群平均	292.2	-1.2	186.6	-0.8	71.0	-1.5	0.78	1.03	105.7	233.2	292.2	176.4	6.9	0.4	112.6	97.6
13																	
14	_20180111_044621	290.3	-0.9	186.7	-3.9	65.2	1.8	0.77	0.57	2.4	66.04	110.27	178.23	1.80	0.12	97.83	91.67
15	_20180114_050923	293.3	-1.5	186.1	-4.2	66.8	2.8	0.72	0.75	4.8	68.08	113.35	177.21	1.20	0.10	104.90	99.71
16	_20180115_023343	294.3	0.0	187.0	-3.6	69.0	6.3	0.75	0.88	15.9	60.99	114.25	179.02	3.80	0.19	112.08	103.02
17																	
18	南群平均	292.6	-0.8	186.6	-3.9	67.0	3.7	0.7	0.7	7.7	65.0	112.6	178.2	2.3	0.1	104.9	98.1

放射点位置の数値計算 1

長沢 工

2017年7月2日

1 流星経路が平面上に得られている場合

ここでは、平面上に流星経路が得られ、それぞれの流星が直線で表わされている場合を考える。適当な直交座標系 (x, y) において、ある流星の発光点 P の座標が (x_p, y_p) 、消滅点 Q の座標が (x_q, y_q) であるとき、流星直線の傾きを m 、 y 軸上の切片を n とすると、 m, n は、

$$\begin{aligned} m &= \frac{y_q - y_p}{x_q - x_p}, \\ n &= \frac{x_q y_p - x_p y_q}{x_q - x_p}, \end{aligned} \quad (1)$$

で計算され、流星直線の方程式は、

$$y = mx + n, \quad (2)$$

で表わされる。また、この流星の経路長 γ は、

$$\gamma = \sqrt{(x_q - x_p)^2 + (y_q - y_p)^2}, \quad (3)$$

で計算できる。

いま流星経路が k 個あり、それらの方程式が、

$$y = m_i x + n_i, (i = 1, 2, \dots, k) \quad (4)$$

で与えられているとき、もっとも確からしい放射点の位置はどのように計算すればよいか。

単純に考えるなら、最小二乗法を使い、それぞれの直線からの距離の二乗和が最小になる点を求めればよい。任意の点 (x_0, y_0) と直線 (4) との距離 r_i の二乗は、

$$\begin{aligned} r_i^2 &= \frac{(m_i x_0 - y_0 + n_i)^2}{m_i^2 + 1} \\ &= \frac{m_i^2 x_0^2 - 2m_i x_0 y_0 + y_0^2 + 2m_i n_i x_0 - 2n_i y_0 + n_i^2}{m_i^2 + 1}, \end{aligned} \quad (5)$$

である。したがって k 個のこの和 R は、

$$\begin{aligned} R &= \sum_{i=1}^k \frac{(m_i x_0 - y_0 + n_i)^2}{m_i^2 + 1} \\ &= x_0^2 \sum \frac{m_i^2}{m_i^2 + 1} - 2x_0 y_0 \sum \frac{m_i}{m_i^2 + 1} + y_0^2 \sum \frac{1}{m_i^2 + 1} \\ &\quad + 2x_0 \sum \frac{m_i n_i}{m_i^2 + 1} - 2y_0 \sum \frac{n_i}{m_i^2 + 1} + \sum \frac{n_i^2}{m_i^2 + 1}, \end{aligned} \quad (6)$$

である。わかりやすいように、

$$\begin{aligned} a &= \sum \frac{m_i^2}{m_i^2 + 1}, & d &= \sum \frac{m_i n_i}{m_i^2 + 1}, \\ b &= \sum \frac{m_i}{m_i^2 + 1}, & e &= \sum \frac{n_i}{m_i^2 + 1}, \\ c &= \sum \frac{1}{m_i^2 + 1}, & f &= \sum \frac{n_i^2}{m_i^2 + 1}, \end{aligned} \quad (7)$$

と書くことにすると、

$$R = ax_0^2 - 2bx_0 y_0 + cy_0^2 + 2dx_0 - 2ey_0 + f, \quad (8)$$

である。この R が最小値をとる必要条件是、

$$\frac{\partial R}{\partial x_0} = 0, \quad \frac{\partial R}{\partial y_0} = 0, \quad (9)$$

である。この計算を実行すると、

$$ax_0 - by_0 + d = 0, \quad -bx_0 + cy_0 - e = 0, \quad (10)$$

の関係が得られる。これは簡単に解くことができ、

$$x_0 = \frac{dc - be}{b^2 - ac}, \quad y_0 = \frac{bd - ae}{b^2 - ac}, \quad (11)$$

が得られる。 f の計算は不要である。こうして、それぞれの流星直線からの距離の二乗和が最小になる点 (x_0, y_0) が決定できる。

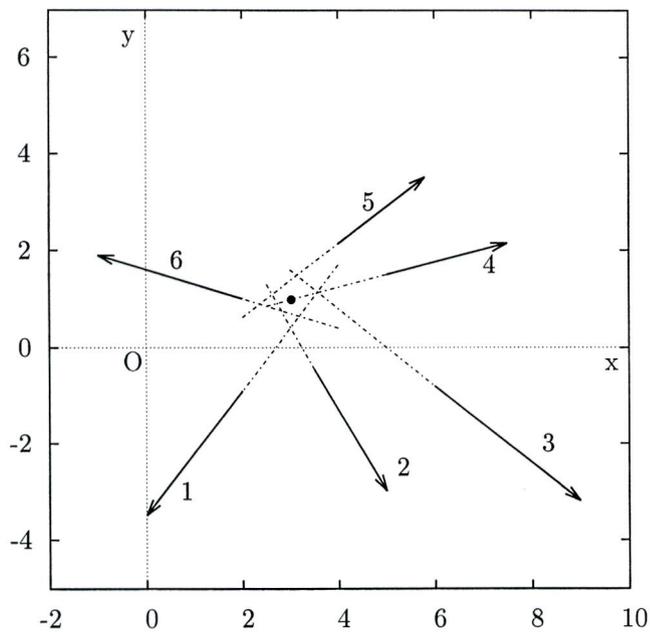


図 1: 流星を模した直線群

ここで述べたのは、それぞれの流星経路の重みをすべて等しいとした場合の計算である。経路長の長い流星の方が放射点を決めるのに貢献度が高いとか、放射点に近い方が影響が大きいなどと考える人もあるかもしれない。その考えに対しては、それに応じた重みを与えて上記の計算を行えばよい。

計算例

ここでは、図 1 に示した 6 個の流星の放射点を計算してみよう。これらは実際の流星の位置を測ったものではなく、単なるモデルであり、それぞれの流星には番号が振ってある。測定位置からの計算手順は表 1 に示してある。

表 1 放射点の計算手順

	1	2	3	4	5	6	合計
x_p	2.00	3.60	6.00	5.00	4.00	2.00	
y_p	-0.90	-0.62	-0.80	1.50	2.14	1.00	
x_q	0.00	5.00	8.75	7.50	6.00	-1.00	
y_q	-3.50	-3.00	-3.00	2.15	3.66	1.90	
m	1.30	-1.70	-0.80	0.26	0.76	-0.30	-0.48
n	-3.50	5.50	4.00	0.20	-0.90	1.60	6.90
m^2	1.6900	2.8900	0.6400	0.0676	0.5776	0.0900	5.9552
mn	-4.550	-9.350	-3.200	0.052	-0.648	-0.480	-18.212
n^2	12.25	30.25	16.00	0.04	0.81	2.56	61.91
$\frac{m^2}{m^2+1}$	0.6283	0.7429	0.3902	0.0633	0.3661	0.0826	$a = 2.2734$
$\frac{m}{m^2+1}$	0.4833	-0.4370	-0.4878	0.2435	0.4817	-0.2752	$b = -0.085$
$\frac{1}{m^2+1}$	0.3717	0.2571	0.6098	0.9367	0.6339	0.9174	$c = 3.7266$
$\frac{mn}{m^2+1}$	-0.6915	-2.4036	-1.9512	0.0487	-0.4336	-0.4474	$d = -6.8715$
$\frac{n}{m^2+1}$	-1.3011	1.4139	2.4390	0.1873	-0.5705	1.4679	$e = 3.6365$

a, b, c, d, e がわかったから、(11) 式を使って、ただちに、

$$\begin{aligned} x_0 &= 3.026, \\ y_0 &= 0.983, \end{aligned} \tag{12}$$

を計算できる。この点はすでに図 1 に示してある。

2 直線と点の置き換え

これから述べることは、通常の思考方法と大きく異なっているので、ちょっと解りにくいかもしれない。それは直線と点とを置き換える方法である。

ある平面上に直線があったとする。その直線を決めるには、二つの数値が必要である。たとえば、その直線が、

$$y = mx + n,$$

であったとすれば、 m, n の二つの数値がこの直線を決定する。このとき、この直線を点 (m, n) に置き換えるのである。

直線を点に置き換えると同時に、点 (a, b) は直線、

$$y = ax + b,$$

に置き換える。すると、どんなことが起こるか。

二つの直線をそれぞれ点に置き換えたとする。すると、初めに二つの直線の交点だった点が、こんどは置き換わった二つの点を結ぶ直線になる。たとえば、

$$y = x + 1, \quad y = -x + 3,$$

の二つの直線を考える。すぐわかるように、この交点は $(1, 2)$ である。ここで置き換えをすると、

$$y = x + 1, \quad \text{は点 } (1, 1) \text{ になる。}$$

$$y = -x + 3, \quad \text{は点 } (-1, 3) \text{ になる。}$$

この二つの点を結ぶ直線は $y = -x + 2$ である。つまり、 $(1, 2)$ の交点がこの直線に置き換わったと考えることができる。このとき、 x の係数の符号の正負が代わるから、注意が必要である。

この考えを進めよう。仮に三本の直線が一点に交わっていたとしたら、それらの直線を点に置き換えると、交点はその三点を通る直線に置き換わる。群流星の経路のように、ほぼ一点に交わる何本もの直線を点に置き換えたなら、それらの点はほぼ一直線上に並ぶ。その直線は、放射点を置き換えた直線に相当する。

何本もの流星直線がたくさん交点を作っているところで、ただ一点の放射点を決めるよりも、おおむね直線上に並んでいるたくさんの方に接近して

通る一本の直線を決める方がずっと決めやすい。その直線を元の点に戻せば、それが放射点になる。こうした方法で放射点を決めることもできる。

このときは、それぞれの点から直線に下ろした垂線の長さの二乗和が最小になる直線を求めればよい。見通しが良さそうな方法だけれど。計算がそう簡単になるわけではない。ここでは、単に計算の手順だけを示しておく。求める直線の方程式を

$$y = ax + b, \quad (13)$$

とする。ただし、この a, b は、1 節で扱った a, b とはまったく無関係のものである。そしてまず、

$$\begin{aligned} u &= k \sum m_i n_i - \sum m_i \sum n_i, \\ v &= k(\sum m_i^2 - \sum n_i^2) - (\sum m_i)^2 + (\sum n_i)^2, \end{aligned} \quad (14)$$

で u, v を計算する。 k は流星の数である。このとき放射点 (x_0, y_0) は、

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{v \pm \sqrt{v^2 + u^2}}{2u}, \\ y_0 &= \frac{1}{k}(\sum n_i + x_0 \sum m_i), \end{aligned} \quad (15)$$

で計算できる。複号があるので x_0 に二つの値が出るが、正しいのは一方だけである。垂線の長さの二乗和を直接に計算しても、図を描いても、どちらが正しいかは容易に判別できる。なお、こうして求めた放射点位置は前の節で計算した放射点位置と近いものにはなるが、厳密に同じにはならない。

計算例

$\sum m_i, \sum n_i, \sum m_i^2, \sum m_i n_i, \sum n_i^2$ は、すでに表 1 に計算してある。 $k = 6$ であり、

$$\begin{aligned} \sum m_i &= -0.48, & \sum m_i^2 &= 5.9552, \\ \sum n_i &= 6.90, & \sum n_i^2 &= 61.91, \\ \sum m_i n_i &= -18.212, \end{aligned}$$

である。これらを使って (14) 式から、

$$\begin{aligned} u &= 105.96, \\ v &= -288.3492, \end{aligned} \quad (16)$$

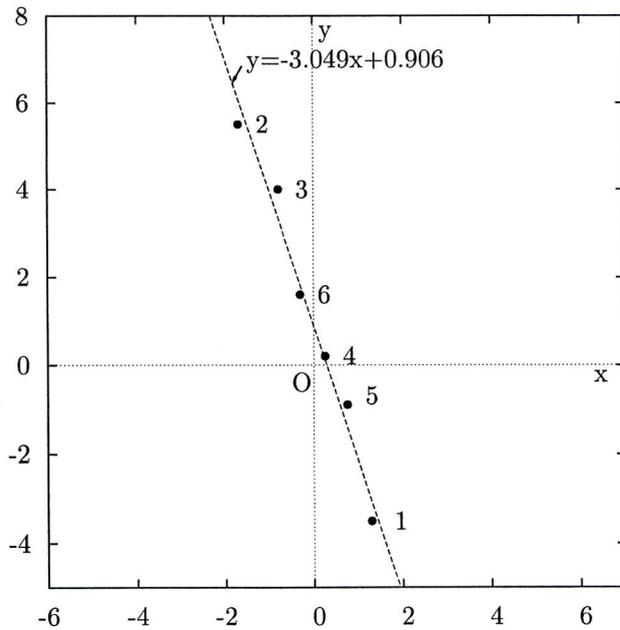


図 2: 流星を表わす点群に接近する直線

が計算できる。そして (15) 式により、

$$(1) \quad a = -3.049, \quad b = 0.906,$$

$$(2) \quad a = 0.328, \quad b = 1.176,$$

の二組の解が計算できる。垂線の長さの二乗和は、(1) に対しては 0.125、(2) に対しては 59.767 となるので、(1) が真の解であることは明らかである。その状況は図 2 からもうすぐにわかる。したがって放射点の位置は、

$$\begin{aligned} x_0 &= 3.049, \\ y_0 &= 0.906, \end{aligned} \tag{17}$$

になる

放射点位置の数値計算 2

長沢 工

2017年10月1日

1 測定座標から天球座標への換算

前回に述べたのは、流星経路が平面上に得られている場合であった。しかし、現実には流星は天球上に出現する。放射点の位置は測定した (x, y) ではなく、赤経、赤緯で表わしたい。それにはどうすればよいか。

天文学では、天球上の点は一般に赤経、赤緯 (α, δ) で示されることが多い。しかし、さまざまな計算をするのには、赤経、赤緯よりも、方向余弦 (l, m, n) を使う方が便利なが多い。方向余弦 (l, m, n) と赤経、赤緯 (α, δ) との関係は、

$$\begin{aligned} l &= \cos \delta \cos \alpha, \\ m &= \cos \delta \sin \alpha, \\ n &= \sin \delta, \end{aligned} \tag{1}$$

であり、また、

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{m}{l}, (l > 0 \text{ で } \alpha \text{ は第 1 または第 4 象限}), \\ \sin \delta &= n, \end{aligned} \tag{2}$$

であるから、容易に換算できる。赤経、赤緯は二量であるが、方向余弦は三量である。それは、

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1, \tag{3}$$

の関係が常に成り立っているからである。ここでは、方向余弦による計算を示すことにする。

まず、写真などで流星経路などが得られているとき、その測定点 (x, y) と、天球座標の (l, m, n) との関係を決める必要がある。これにはすでに確立した手順があり、たとえば、アストラルシリーズの「流星 II(恒星社厚生閣, 1984)」に、大西洋氏の記述がある。ただし、この本は現在は簡単には手に入らないかもしれないので、ごく簡単にその手順を述べておく。多少煩雑な関係ではあるが、プログラムを作ってパソコンで計算すれば、簡単に処理できる。

流星経路が写真撮影されたものであるとし、そこには恒星像も同時に写っているものとする。そのとき、流星像の位置を測定すると同時に何個かの恒星の位置も測っておく。なるべく光軸に近いところにひとつ(中心星)、そのほかにいくつかの比較星を選んで測定する。比較星は3個以上必要である。ここでは中心星の位置を (x_0, y_0) とし、比較星の位置を $(x_i, y_i) (i = 1, 2, \dots, k)$ とする。また、中心星の赤経、赤緯を (A, D) 、方向余弦を (L, M, N) とし、 k 個の比較星の方向余弦をそれぞれ $(l_i, m_i, n_i) (i = 1, 2, \dots, k)$ とする。

ここで、比較星 $(i = 1, 2, \dots, k)$ に対し、つぎの式で (ξ_i, η_i) を計算する。

$$\begin{pmatrix} 1 \\ \xi_i \\ \eta_i \end{pmatrix} = \frac{1}{Ll_i + Mm_i + Nn_i} \begin{pmatrix} \cos D & 0 & \sin D \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin D & 0 & \cos D \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos A & \sin A & 0 \\ -\sin A & \cos A & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l_i \\ m_i \\ n_i \end{pmatrix} \quad (4)$$

この (ξ_i, η_i) を、比較星 I の標準座標という。

つぎに、カメラの焦点距離を s として、比較星に対し

$$\begin{aligned} X_i &= \frac{x_i - x_0}{s}, \\ Y_i &= \frac{y_i - y_0}{s}, \end{aligned} \quad (5)$$

を計算する。この (X_i, Y_i) を比較星の測定座標という。 s にそれほど高精度は必要ないが、一度決めたら、その値を使い続けなければならない。標準座標は天球座標に関する量であり、測定座標は (x, y) の測定値に関する量

である。この両者を関連付けることで、測定座標を標準座標に換算することができる。それには、以下の手順が必要になる。

それぞれの比較星に対する測定座標と標準座標を求めたら、まず、つぎの11個の数値を計算する。

$$\begin{aligned}
 h_{11} &= \sum_{i=1}^k X_i^2 = X_1^2 + X_2^2 + \cdots + X_k^2, \\
 h_{12} &= h_{21} = \sum_{i=1}^k X_i Y_i = X_1 Y_1 + X_2 Y_2 + \cdots + X_k Y_k, \\
 h_{22} &= \sum_{i=1}^k Y_i^2 = Y_1^2 + Y_2^2 + \cdots + Y_k^2, \\
 h_{13} &= h_{31} = \sum_{i=1}^k X_i = X_1 + X_2 + \cdots + X_k, \\
 h_{23} &= h_{32} = \sum_{i=1}^k Y_i = Y_1 + Y_2 + \cdots + Y_k, \\
 h_{14} &= \sum_{i=1}^k \xi_i X_i = \xi_1 X_1 + \xi_2 X_2 + \cdots + \xi_k X_k, \\
 h_{24} &= \sum_{i=1}^k \xi_i Y_i = \xi_1 Y_1 + \xi_2 Y_2 + \cdots + \xi_k Y_k, \\
 h_{34} &= \sum_{i=1}^k \xi_i = \xi_1 + \xi_2 + \cdots + \xi_k, \\
 h_{15} &= \sum_{i=1}^k \eta_i X_i = \eta_1 X_1 + \eta_2 X_2 + \cdots + \eta_k X_k, \\
 h_{25} &= \sum_{i=1}^k \eta_i Y_i = \eta_1 Y_1 + \eta_2 Y_2 + \cdots + \eta_k Y_k, \\
 h_{35} &= \sum_{i=1}^{\eta} k = \eta_1 + \eta_2 + \cdots + \eta_k,
 \end{aligned} \tag{6}$$

これらの値を使って、 a, b, c, d, e, f を未知数とする、つぎの二組の三元連立

方程式を作る、それらは、

$$\begin{aligned} h_{11}a + h_{12}b + h_{13}c &= h_{14}, \\ h_{21}a + h_{22}b + h_{23}c &= h_{24}, \\ h_{31}a + h_{32}b + kc &= h_{34}, \end{aligned} \quad (7)$$

および、

$$\begin{aligned} h_{11}d + h_{12}e + h_{13}f &= h_{15}, \\ h_{21}d + h_{22}e + h_{23}f &= h_{25}, \\ h_{31}d + h_{32}e + kf &= h_{35}, \end{aligned} \quad (8)$$

である。この二組の方程式を解くことで、 a, b, c, d, e, f の六つの数値が得られる。これらから、標準座標と測定座標との間に、一般的に、

$$\begin{aligned} \xi &= aX + bY + c, \\ \eta &= dX + eY + f, \end{aligned} \quad (9)$$

の関係が成立する。つまり、この式で測定座標を標準座標に換算できる。そして、

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} l_i \\ m_i \\ n_i \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \cos A & -\sin A & 0 \\ \sin A & \cos A & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ &\times \begin{pmatrix} \cos D & 0 & -\sin D \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin D & 0 & \cos D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1/\sqrt{\xi_i^2 + \eta_i^2 + 1} \\ \xi_i/\sqrt{\xi_i^2 + \eta_i^2 + 1} \\ \eta_i/\sqrt{\xi_i^2 + \eta_i^2 + 1} \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (10)$$

の関係が成立している。(4) 式で測定点 (x, y) に対する標準座標 (ξ, η) が計算できるから、(10) 式で、その測定点の天球座標 (l, m, n) を計算できる。

計算例

ここでは、「ふたご座」と「おうし座」にまたがる7個の星から、 (x, y) 座標と天球座標との関係を求めてみる。中心星を δ Gem ($A = 110^\circ.0304, D = 21^\circ.9822$) にとり、残る6個の比較星の中心星に対する測定位置 $(x_i - x_0, y_i -$

y_0) から計算をする。測定の単位は cm であり、焦点距離は $s = 20\text{cm}$ としている。このとき、それぞれの比較星に対する計算の途中経過は、表 1 のようになる。都合上、表を二つに分けて示しているのでもっと見にくいがお許しを請う。

表 1 整約の途中経過

	β Gem	θ Gem	γ Gem	μ Gem
α_i	116°.32875	103°.19708	99°.42792	95°.74000
δ_i	28°.02611	33°.96111	16°.39917	22°.51361
l_i	-0.39151	-0.18936	-0.15714	-0.09239
m_i	0.79116	0.80751	0.94636	0.91916
n_i	0.46987	0.55863	0.28233	0.38290
ξ_i	0.09787	-0.10415	-0.18010	-0.23424
η_i	0.10842	0.21563	-0.09301	0.02052
$x_i - x_0$	-0.05	3.90	1.34	3.37
$y_i - y_0$	2.60	1.72	-3.41	-2.45
X_i	-0.0025	0.195	0.0670	0.1685
Y_i	0.1300	0.086	-0.1705	-0.1255
X_i^2	0.000006	0.038025	0.004489	0.028392
$X_i Y_i$	-0.000325	0.016770	-0.011424	-0.020641
Y_i^2	0.016900	0.007396	0.029070	0.015006
$X_i \xi_i$	-0.000245	-0.019783	-0.012067	-0.039469
$Y_i \xi_i$	0.012723	-0.008725	0.030707	0.028694
$X_i \eta_i$	-0.000271	0.042048	-0.006232	0.003458
$Y_i \eta_i$	0.014095	0.018544	0.015858	-0.002514

ここから、(7),(8) の方程式は、

$$\begin{aligned}
 0.344874a - 0.160164b + 1.160c &= -0.405451, \\
 -0.160164a + 0.155388b - 0.485c &= 0.247526, \\
 1.160a - 0.485b + 6c &= -1.32618,
 \end{aligned} \tag{11}$$

および、

$$\begin{aligned}
 0.344874d - 0.160164e + 1.160f &= 0.118641, \\
 -0.160164d + 0.155388e - 0.485f &= 0.012851, \\
 1.160d - 0.485e + 6f &= 0.44634,
 \end{aligned} \tag{12}$$

となる。

	表 1 (つづき)		合計
	ζ Aur	β Aur	
α_i	84°.41083	81°.57292	
δ_i	21°.14250	28°.60750	
l_i	0.09084	0.12866	
m_i	0.92825	0.86844	
n_i	0.36069	0.47881	
ξ_i	-0.44082	-0.46744	-1.32618
η_i	0.02141	0.17329	0.44634
$x_i - x_0$	6.22	8.42	
$y_i - y_0$	-4.95	-3.21	
X_i	0.3110	0.4210	1.160
Y_i	-0.2475	-0.1605	-0.485
X_i^2	0.096721	0.117241	0.344874
$X_i Y_i$	-0.076973	-0.067571	-0.160164
Y_i^2	0.061256	0.025460	0.155388
$X_i \xi_i$	-0.137095	-0.196792	-0.405451
$Y_i \xi_i$	0.109103	0.075024	0.247526
$X_i \eta_i$	0.006683	0.072955	0.118641
$Y_i \eta_i$	-0.005319	-0.027813	0.012851

上記の方程式を解いて、

$$\begin{aligned}
 a &= -0.833049, & d &= 0.729613, \\
 b &= 0.731721, & e &= 0.838107, \\
 c &= -0.000826, & f &= 0.001078,
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

が得られる。つまり、 (ξ, η) と (X, Y) の間には、

$$\begin{aligned}
 \xi &= -0.833049X + 0.731721Y - 0.000826, \\
 \eta &= 0.729613X + 0.838107Y + 0.001078,
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

の関係が成り立っている。これにより測定座標 (X, Y) から計算された標準座標 (ξ, η) は、さらに (10) 式によって天球座標 (l, m, n) に換算できる。

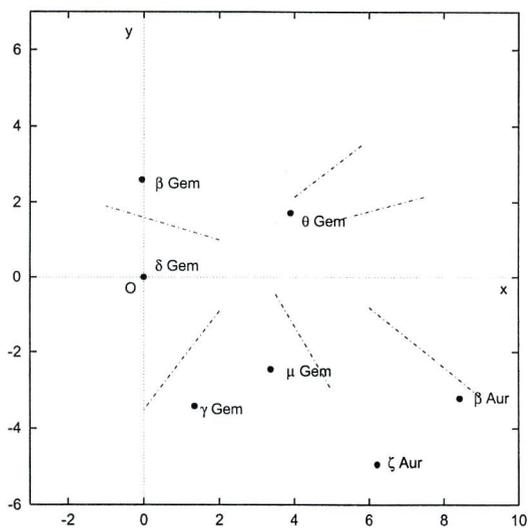


図 1: 流星に対する比較星の位置

いま、前回計算したモデル流星の位置が、測定したこれらの中心星、比較星の位置と重なっていることにする。これは図 1 のような関係になる。この

とき、最初に計算した放射点の位置 ($x=3.026, y=0.983$) を、天球座標に換算してみよう。

焦点距離 $s = 20\text{cm}$ であるから、まず測定座標 (X, Y) は、

$$\begin{aligned} X &= x/20 = 0.15130, \\ Y &= y/20 = 0.04915, \end{aligned} \quad (15)$$

である。したがって (14) 式により、

$$\begin{aligned} \xi &= -0.833049X + 0.731721Y - 0.000826 = -0.090902, \\ \eta &= 0.729613X + 0.838107Y + 0.001078 = 0.152661, \end{aligned} \quad (16)$$

である。ここから、

$$\begin{aligned} 1/\sqrt{(\xi^2 + \eta^2 + 1)} &= 0.984580, \\ \xi/\sqrt{(\xi^2 + \eta^2 + 1)} &= -0.089500, \\ \eta/\sqrt{(\xi^2 + \eta^2 + 1)} &= 0.150307, \end{aligned} \quad (17)$$

となる。中心星の位置は ($A = 110^\circ.0304, D = 21^\circ.9822$) であるから、(10) 式によって、

$$\begin{aligned} l &= -0.209362, \\ m &= 0.835570, \\ n &= 0.507927, \end{aligned} \quad (18)$$

が計算できる。これで天球座標が得られた。もしこれを赤経、赤緯にするなら、(2) 式によって、

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \frac{m}{l} = \frac{0.835570}{-0.209362} = -3.99103, \\ \sin \delta &= 0.507927, \end{aligned} \quad (19)$$

であり、放射点の位置として、

$$\begin{aligned} \alpha &= 104^\circ.067, \\ \delta &= 30^\circ.526, \end{aligned} \quad (20)$$

が求められる。

2 天球座標から放射点を定める

ここでは、天球座標から放射点を定める手順を考える。流星は、一般に天球上の大円に沿って出現すると考えられる。発光点 P の方向余弦が (l_p, m_p, n_p) 、消滅点 Q の方向余弦が (l_q, m_q, n_q) であるとき、この流星の経路長 γ は、

$$\begin{aligned}\sin \gamma &= \sqrt{(m_p n_q - n_q m_p)^2 + (n_p l_q - l_p n_q)^2 + (l_p m_q - m_p l_q)^2}, \\ \cos \gamma &= l_p l_q + m_p m_q + n_p n_q,\end{aligned}\quad (21)$$

で表わされる。

球面上の**大円**に対しては、その**極**が存在する。極とは、大円上のどの点からも中心角が 90° である点のことである。たとえば、地球を球と考えたとき、赤道大円に対する極は北極と南極になる。大円に対する極はいつも二つ存在する。

流星経路大円 PQ に対する極の方向余弦 (l, m, n) は、

$$\begin{aligned}l &= \pm \frac{1}{\sin \gamma} (m_p n_q - n_p m_q), \\ m &= \pm \frac{1}{\sin \gamma} (n_p l_q - l_p n_q), \\ n &= \pm \frac{1}{\sin \gamma} (l_p m_q - m_p l_q), \text{ (複号同順)}\end{aligned}\quad (22)$$

で計算できる。

いくつかの流星経路を表わす大円があるとき、放射点としては、それらの大円に対する天球上の距離 θ の二乗和が最小になる点を求めればよい。この場合の距離は、天球中心から見た中心角 θ のことである。現実の計算では、 θ の二乗和ではなく、 $\sin \theta$ の二乗和を考えるほうが計算しやすい。

ここで、以前のように、大円と点を置き換えることを考える。このときは、経路を表わす大円をその極に置き換えればよい。とにかく、いくつかの流星経路大円をそれぞれその極に置き換えてみる。流星の経路大円がほぼ一点に交わるのならば、それらの極はおおむねひとつの大円上に並ぶ。そのとき、それらの極からの距離 θ に対し、 $\sin \theta$ の二乗和が最小になる大円を決める。そうすれば、その大円の極のひとつが放射点になる。

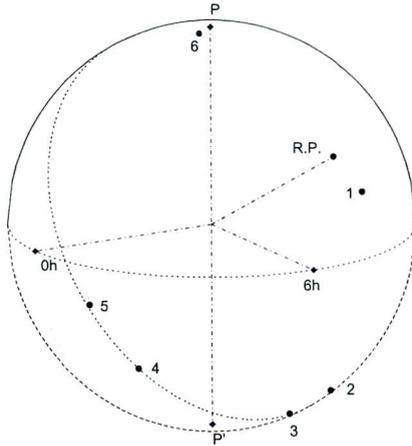


図 2: 流星経路の極とそれを通る大円

何かだまされた感じがするかもしれないが、この関係はうまく成立する。その大略の状況は図 2 に示したようになる。そして、考え方は違って、経路大円から直接放射点を求める場合と、経路大円の極に接近して通る大円から放射点を求める場合でも、計算式はまったく同じになる。でも、残念ながら、その関係式から直接に放射点の位置を計算するのはちょっと困難である。ここでは、近似位置から逐次近似でより精度の高い位置を計算する方法の概略手順を示しておく。

それぞれの流星経路を表わす k 個の大円の極位置を $(l_i, m_i, n_i) i = 1, 2, \dots, k$

とする。そこからつぎの値を計算する。

$$\begin{aligned}
s_{11} &= \sum_{i=1}^k l_i^2 = l_1^2 + l_2^2 + \cdots + l_k^2, \\
s_{22} &= \sum_{i=1}^k m_i^2 = m_1^2 + m_2^2 + \cdots + m_k^2, \\
s_{33} &= \sum_{i=1}^k n_i^2 = n_1^2 + n_2^2 + \cdots + n_k^2, \\
s_{12} &= \sum_{i=1}^k l_i m_i = l_1 m_1 + l_2 m_2 + \cdots + l_k m_k, \\
s_{23} &= \sum_{i=1}^k m_i n_i = m_1 n_1 + m_2 n_2 + \cdots + m_k n_k, \\
s_{31} &= \sum_{i=1}^k n_i l_i = n_1 l_1 + n_2 l_2 + \cdots + n_k l_k,
\end{aligned} \tag{23}$$

このとき、 $\sin^2 \theta$ の和を最小にする放射点の方向余弦 (l_0, m_0, n_0) は、

$$\begin{aligned}
f(l_0, m_0) &= (s_{11} - s_{33})l_0 + s_{12}m_0 - s_{23}\frac{l_0 m_0}{n_0} + s_{31}\left(n_0 - \frac{l_0^2}{n_0}\right) = 0, \\
g(l_0, m_0) &= s_{12}l_0 + (s_{22} - s_{33})m_0 + s_{23}\left(n_0 - \frac{m_0^2}{n_0}\right) - s_{31}\frac{l_0 m_0}{n_0} = 0,
\end{aligned} \tag{24}$$

の関係を満たす。 f, g を l_0, m_0 だけの関数としているのは、

$$l_0^2 + m_0^2 + n_0^2 = 1, \tag{25}$$

の関係があるからである。(24) 式を l_0, m_0 について解けばいいのであるが、これを直接に解くのは難しい。そこで、近似値を出発点として逐次近似で解くことにする。

l_0, m_0 の近似値を l', m' とする。そのとき n' を、

$$(n')^2 = 1 - (l')^2 - (m')^2, \tag{26}$$

から計算しておく。そして、

$$\begin{aligned} f(l', m') &= f_0, \\ g(l', m') &= g_0, \end{aligned} \quad (27)$$

とする。

ここで、 l', m' に $\Delta l, \Delta m$ を加えて、 $l' + \Delta l, m' + \Delta m$ をより真の解に近付けることを考える。それにはまず、

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial l_0} &= f_l, & \frac{\partial f}{\partial m_0} &= f_m, \\ \frac{\partial g}{\partial l_0} &= g_l, & \frac{\partial g}{\partial m_0} &= g_m, \end{aligned} \quad (28)$$

を計算する。 f_l, f_m, g_l, g_m は、偏微分を行なったそれぞれの式の l_0, m_0, n_0 に l', m', n' を代入した数値を表わすものとする。すると、

$$\begin{aligned} f_l \Delta l + f_m \Delta m + f_0 &= 0, \\ g_l \Delta l + g_m \Delta m + g_0 &= 0, \end{aligned} \quad (29)$$

の連立方程式から、

$$\begin{aligned} \Delta l &= \frac{g_0 f_m - f_0 g_m}{f_l g_m - f_m g_l}, \\ \Delta m &= \frac{f_0 g_l - g_0 f_l}{f_l g_m - f_m g_l}, \end{aligned} \quad (30)$$

で $\Delta l, \Delta m$ を計算できる。ただし、

$$\begin{aligned} f_l &= s_{11} - s_{33} - s_{23} \frac{m_0(1 - m_0^2)}{n_0^3} - s_{31} \frac{l_0(3n_0^2 + l_0^2)}{n_0^3}, \\ f_m &= s_{12} - s_{23} \frac{l_0(1 - l_0^2)}{n_0^3} - s_{31} \frac{m_0(1 - m_0^2)}{n_0^3}, \\ g_l &= f_m, \\ g_m &= s_{22} - s_{33} - s_{23} \frac{m_0(3n_0^2 + m_0^2)}{n_0^3} - s_{31} \frac{l_0(1 - l_0^2)}{n_0^3}, \end{aligned} \quad (31)$$

である。

こうして得られたより高精度の近似値を新たな近似値と考え直し、同様の手順を繰り返せば、解はしだいに真の値に近づく。そして、どのような精度に対しても必要な解を求めることができる。

計算例

この計算には、各流星の発光点、消滅点の方向余弦、経路大円の極などの計算が必要である。でも、ここではそれらを省略し、まず表 2 に、それぞれの経路大円の極位置に基づく計算を示す。

表 2 経路大円の極の方向余弦に関する計算

i	1	2	3	4	5	6
l_i	-0.976785	-0.463714	-0.142278	0.702072	0.907408	-0.243689
m_i	-0.213667	0.356359	0.510045	0.490160	0.370082	-0.534712
n_i	-0.015403	-0.811158	-0.848299	-0.516564	-0.199121	0.809129
l_i^2	0.954109	0.215031	0.020243	0.492905	0.823389	0.059384
m_i^2	0.045654	0.126992	0.260146	0.240257	0.136961	0.285927
n_i^2	0.000237	0.657977	0.719611	0.266838	0.039649	0.654690
$l_i m_i$	0.208707	-0.165249	-0.072568	0.344128	0.335815	0.130306
$m_i n_i$	0.03291	-0.289063	-0.432671	-0.253199	-0.073691	-0.432658
$n_i l_i$	0.015045	0.376145	0.120694	-0.362665	-0.180684	-0.197176

この表 2 から、

$$\begin{aligned}
 s_{11} &= 2.565061, & s_{12} &= 0.781138, \\
 s_{22} &= 1.095935, & s_{23} &= -1.477991, \\
 s_{33} &= 2.339003, & s_{31} &= -0.228640,
 \end{aligned}
 \tag{32}$$

が計算できる。つぎに、放射点の近似位置 (l', m', n') として、流星 1 と 4 の経路の交点をとることにする。これは、

$$\begin{aligned}
 l' &= -0.189406, \\
 m' &= 0.827809, \\
 n' &= 0.528070,
 \end{aligned}
 \tag{33}$$

である。これを基にした逐次近似は表 3 のようになる。

表 3 放射点位置の逐次近似

	1	2	3	4
l'	-0.189406	-0.210422	-0.209337	-0.209332
m'	0.827809	0.836244	0.835583	0.835579
n'	0.528070	0.506378	0.507917	0.507925
f_0	0.059773	-0.003726	-0.000018	0.000000
g_0	-0.107379	0.009345	0.000048	0.000000
f_l	2.584468	2.786877	2.771844	2.771769
f_m	-0.647174	-1.065209	-1.036598	-1.036457
g_m	11.117762	12.381689	12.282616	12.282108
Δl	-0.021016	0.001084	0.000005	0.000000
Δm	0.008435	-0.000661	-0.000004	0.000000

4回の繰り返しで計算は収束し、そこから放射点の位置は、

$$\begin{aligned}
 l &= -0.209332, \\
 m &= 0.835579, \\
 n &= 0.507925,
 \end{aligned}
 \tag{34}$$

となる。これを赤経、赤緯に直せば、

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 104^\circ.065, \\
 \delta &= 30^\circ.526,
 \end{aligned}
 \tag{35}$$

になる。

太陽系外からの流星

海老塚 昇 (理化学研究所)、
重野 好彦 (流星物理セミナー)



第148回流星物理セミナー

2018年2月4日

Earth Distance: 0.531 AU
Sun Distance : 0.926 AU

Jupiter

Apr. 22, 1996

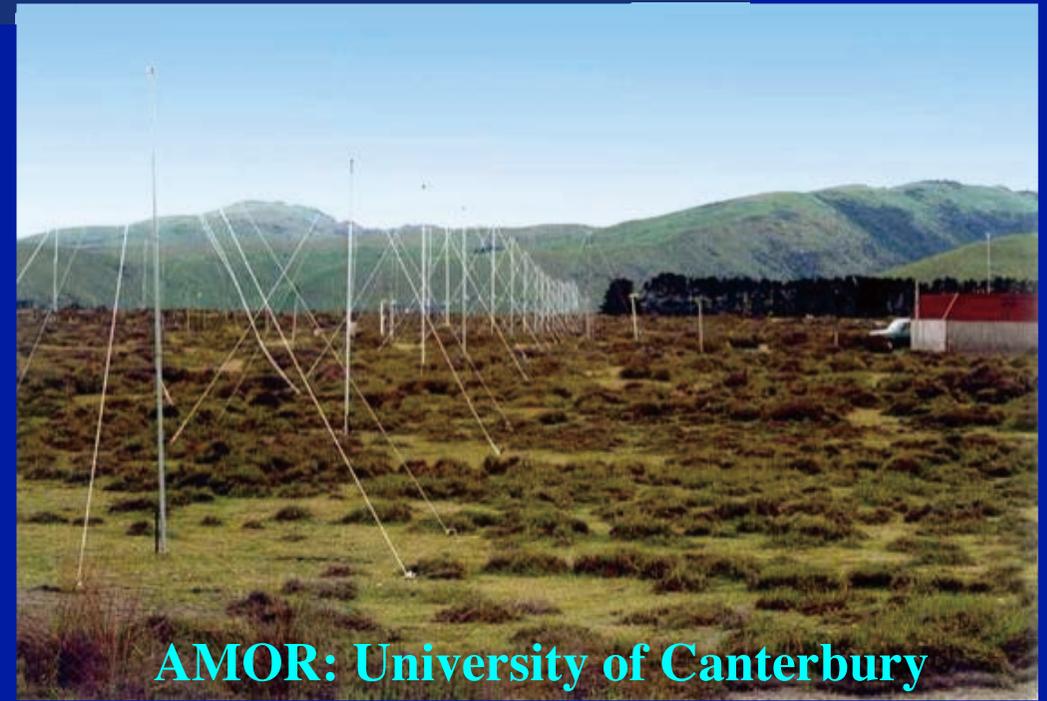
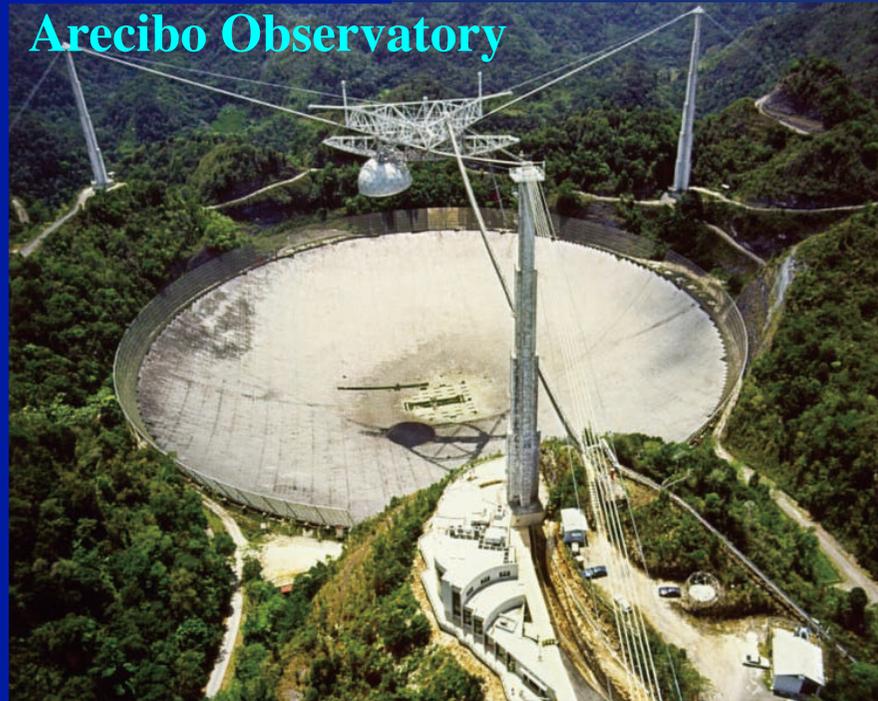
太陽系における星間物質の検出



探査機等のParticle counterによって $10^{-19} \sim 10^{-11} \text{kg}$
(直径: $0.005 \sim 2 \mu\text{m} @ 1 \text{g/cm}^3$) の粒子を検出。

木星近傍では半数以上が星間ダストと思われる。

流星レーダ観測



- $10^{-14} \sim 10^{-9} \text{kg}$ (直径: $0.2 \sim 10 \mu\text{m} @ 1 \text{g/cm}^3$) : 4.8% (143/3000) が $e > 1.0$ (Arecibo, プエルトリコ, 口径300m, 430MHz)。
- $5 \times 10^{-9} \sim 10^{-6} \text{kg}$ (直径: $10 \sim 100 \mu\text{m} @ 1 \text{g/cm}^3$) : 3.2% (7,911/250,000) が $e > 1.0$ (MARS: ウクライナ, 31.1MHz)。
- $> 10^{-10} \text{kg}$ (直径: $> 5 \mu\text{m} @ 1 \text{g/cm}^3$) : 0.46% (1,600/350,000) が地心速度 $> 100 \text{ km/s}$ ($e > 2.5$, AMOR, ニュージーランド)。

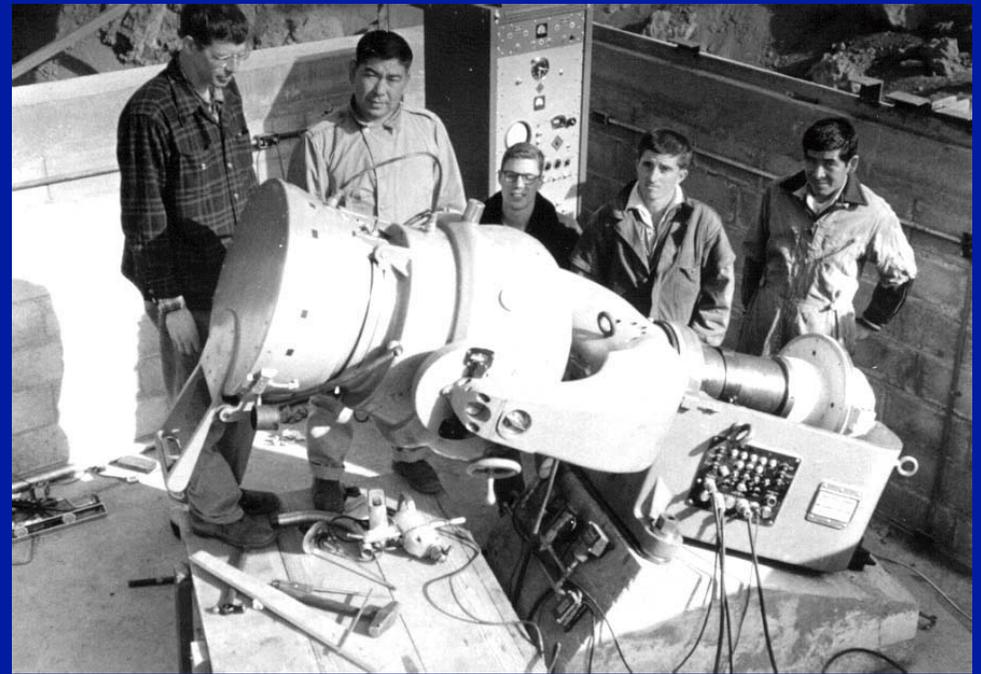
光学観測

$10^{-4} \sim 10^{-1}$ kg (-3 ~ -10等): 1.3% (59/4,581) と $10^{-9} \sim 10^{-4}$ (9.5 ~ -3等) kg: 1~2% (2/160) が $e > 1.45$ (日心速度 > 46.6 km/s、IAU/MDC銀塩写真、カナダのビデオ観測)。



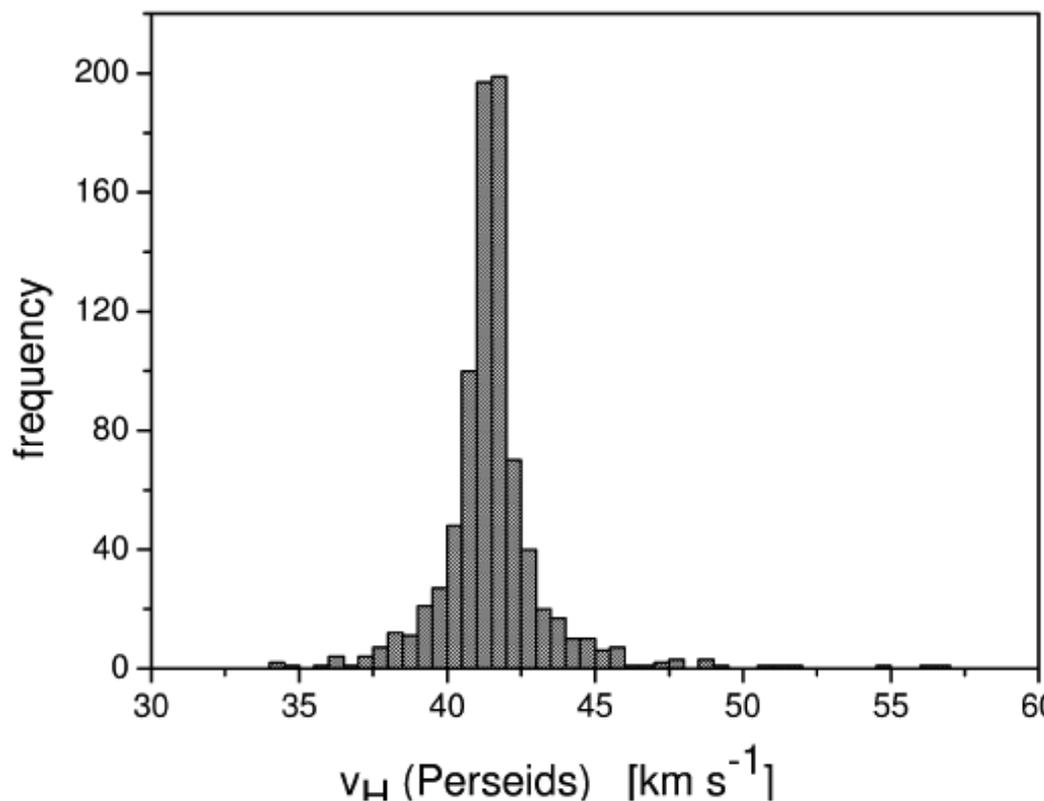
四連写真儀

<http://www.ne.jp/asahi/meteor/star/index.html>

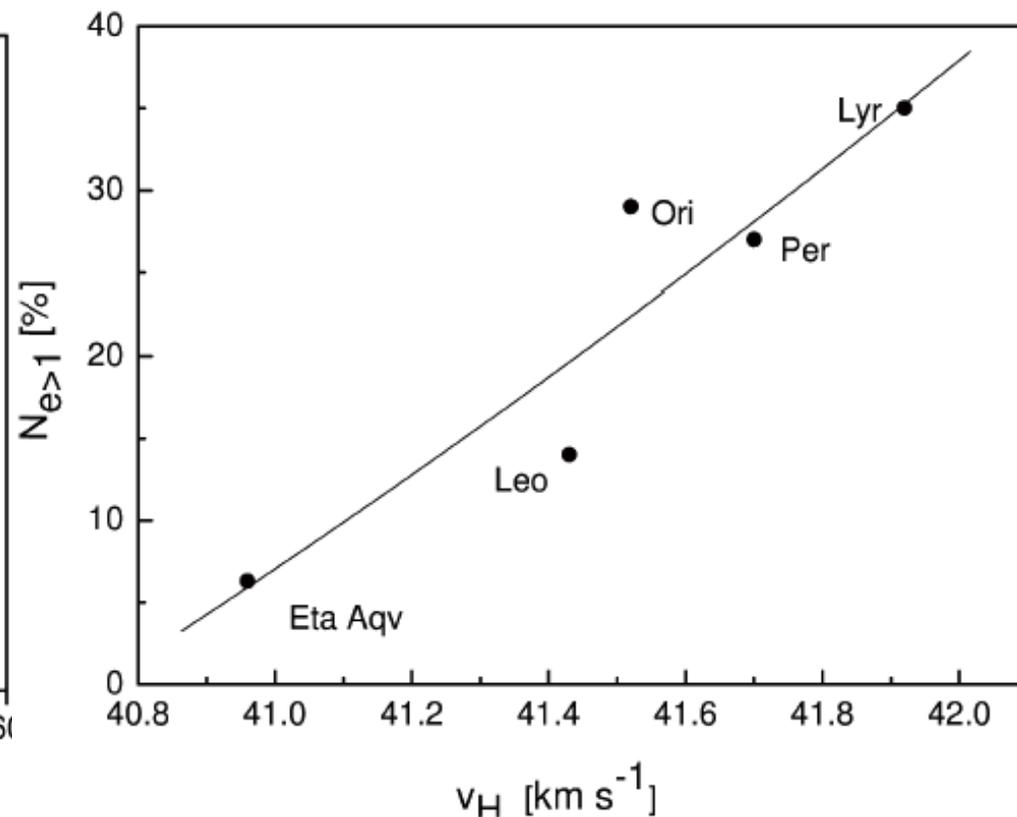


SAOのSuper Schmidt camera (1950年代)

写真観測の精度



ペルセウス座流星群 ($v_H = 41.7 \text{ km/s}$) の日心速度分布。244/835 (27%) が $v_H > 42.1 \text{ km/s}$ 、5/835 (0.6%) が $v_H > 46.6 \text{ km/s}$ 。標準偏差: 1.3 km/s

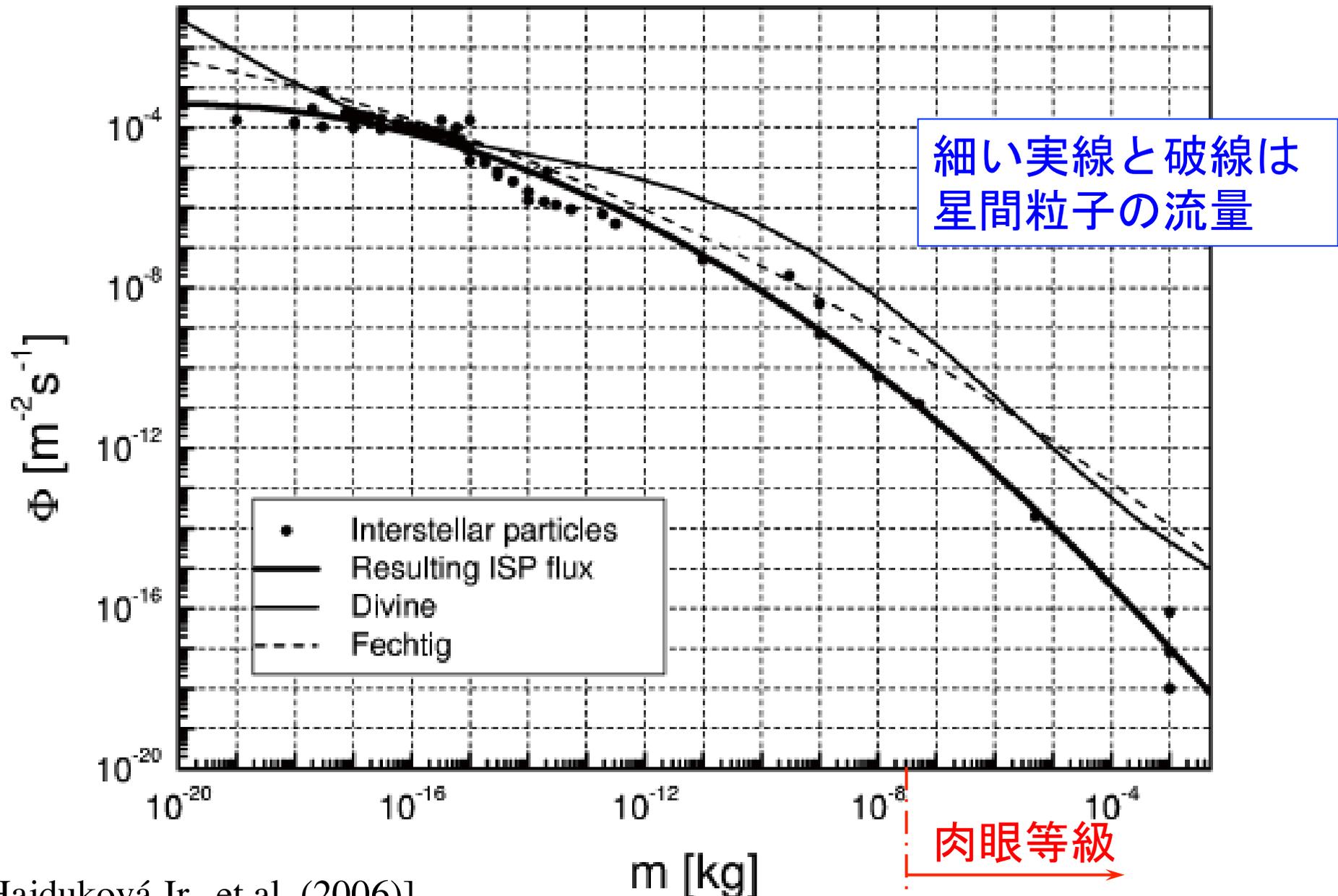


高速流星群の日心速度と $e > 1$ の割合。

IAU/MDCの銀塩写真カタログ

M. Hajduková Jr., et.al. (2006)

1 AUにおける星間粒子の流量



[M. Hajduková Jr., et.al. (2006)]

SonotaCo Net 流星の地心速度

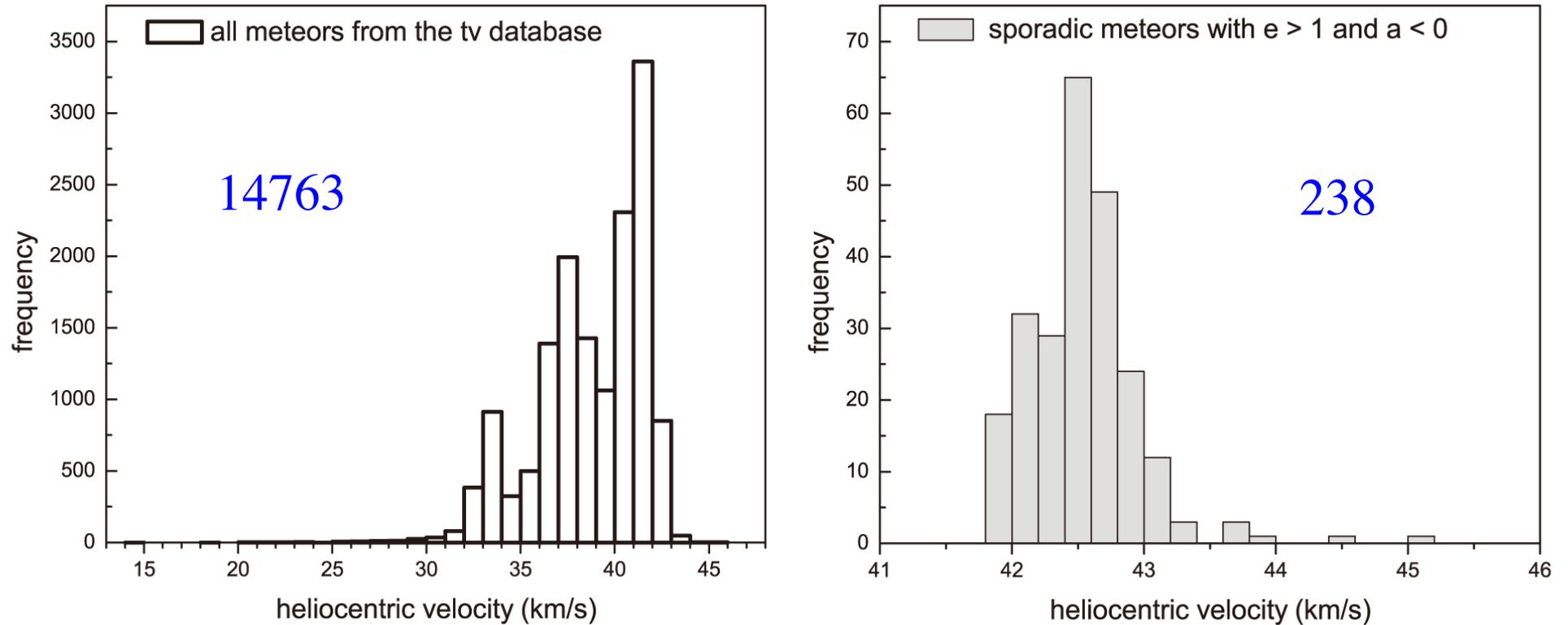


Fig. 1. Distribution of heliocentric velocities of all 14763 tv meteors from the SonotaCo tv meteor data set (left) and that of 238 sporadic hyperbolic meteors (right) shows a scattered Gaussian distribution, which in the vicinity of the parabolic limit of the velocity results in the designation of a “hyperbolic orbit”.

SonotaCo Netの $e > 1$ 流星の分布

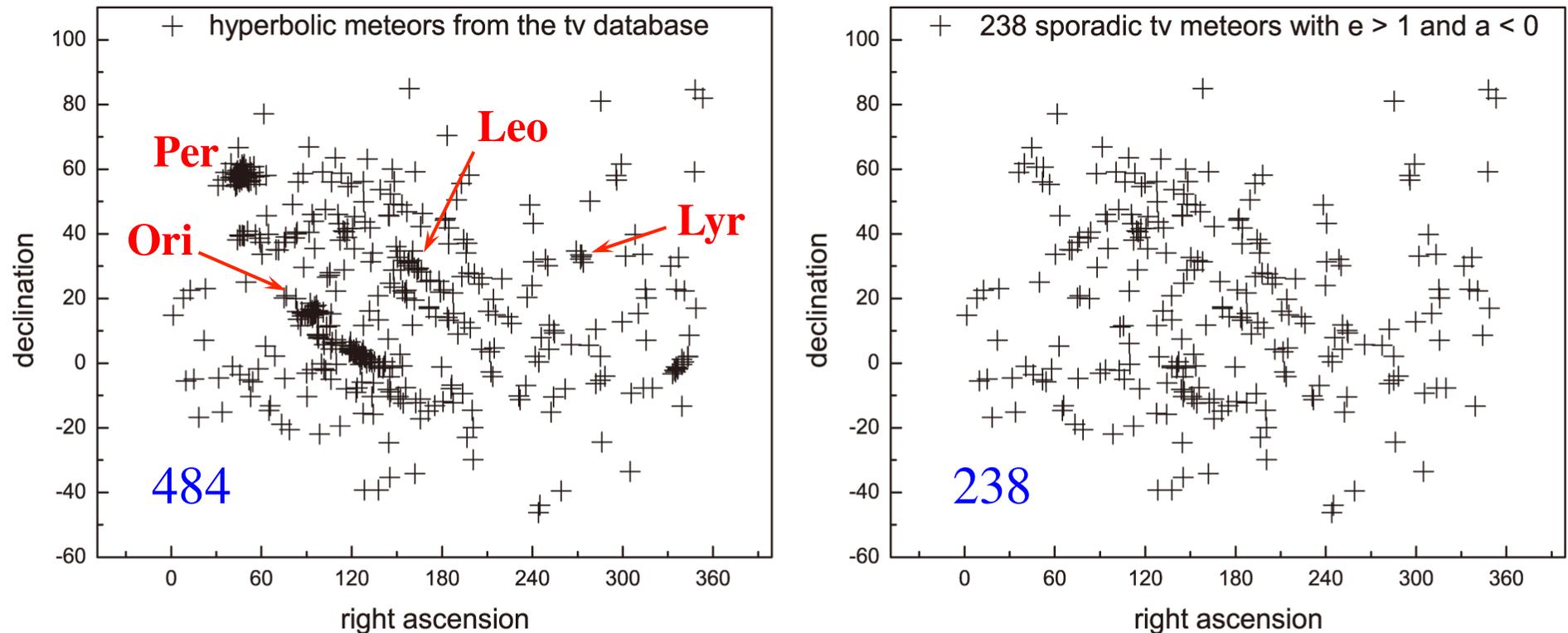


Fig. 2. Positions of radiants of all 484 hyperbolic meteors with $e > 1$ and $a < 0$ from the SonotaCo tv meteor data set (left). Among them, about 50% belong to meteor showers. The best seen are Perseids, Orionids, Lyrids and Leonids. Possible interstellar meteors may be found in a subset of 238 sporadic hyperbolic meteors (right).

SonotaCo Net群流星の地心速度、 離心率分布

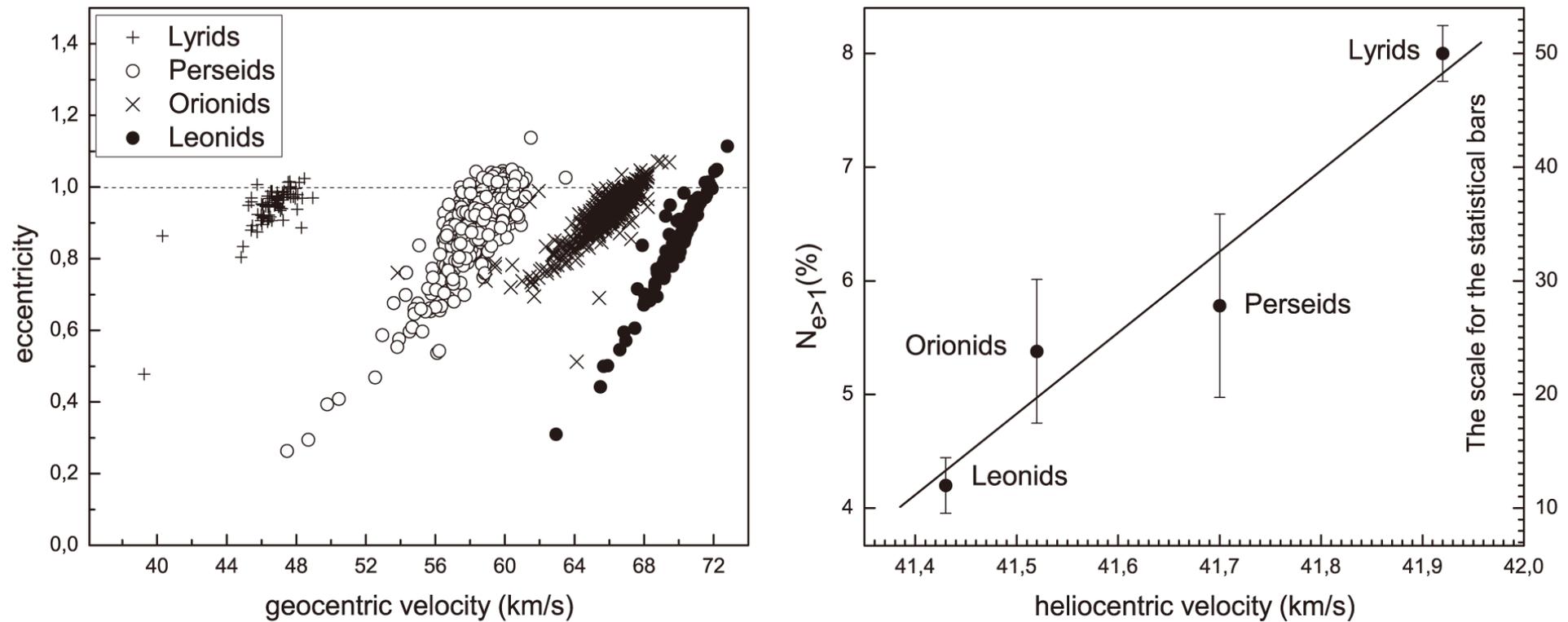


Fig. 3. (Left) Distribution of the eccentricities and geocentric velocities of 4 selected meteor showers from the SonotaCo tv meteor data set. (Right) A clear dependence of the contribution of hyperbolic meteors on the mean heliocentric velocity of particular meteor shower. For each meteor shower, the statistical bars (right scale) described by standard deviation (the values are 2.45 for Leonids and Lyrids, 8.06 for Perseids and 6.03 for Orionids) in the Poisson distribution are also shown.

SonotaCo Netの系外流星候補

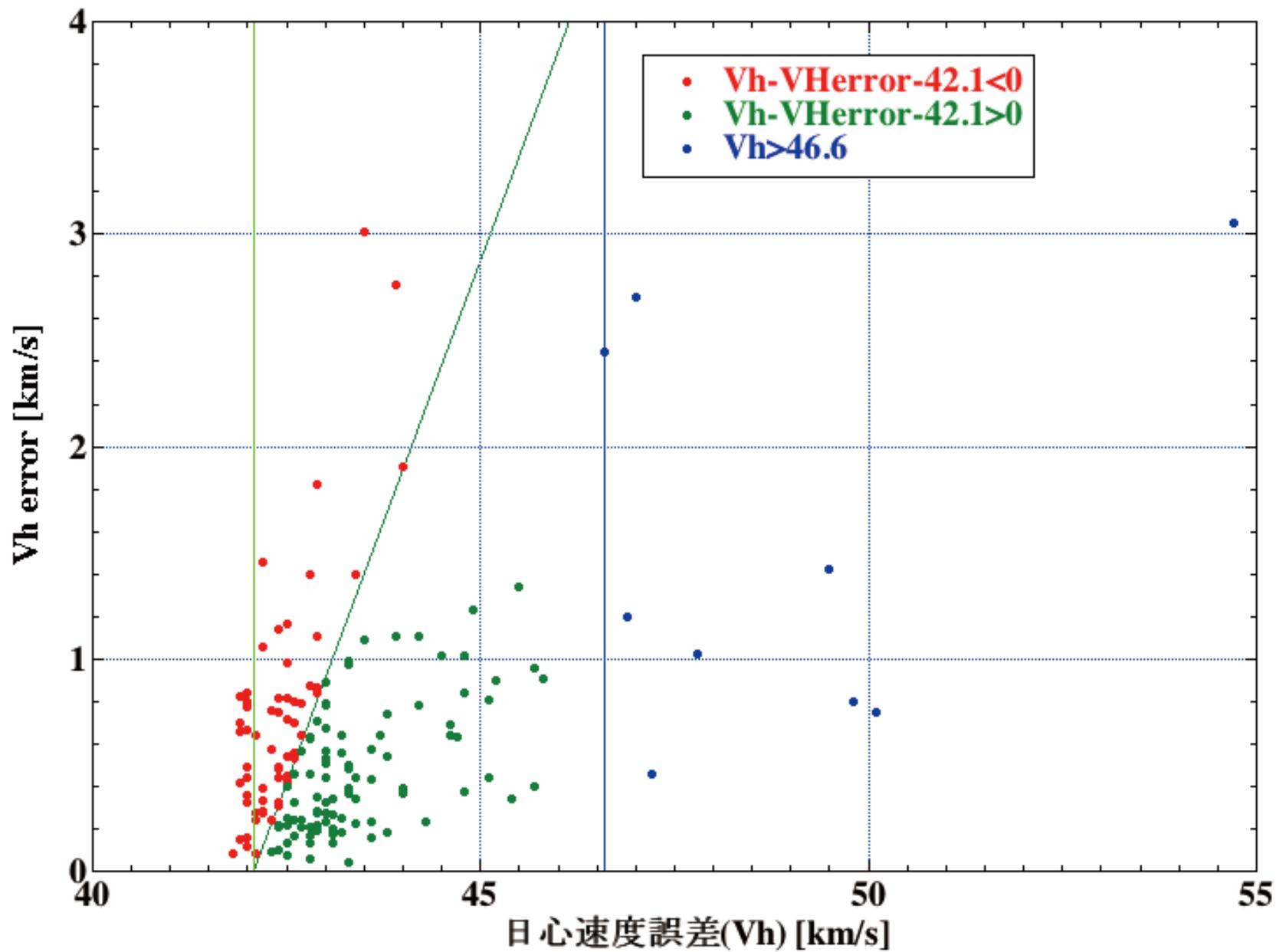
Table 3. Orbital and geophysical parameters of sporadic meteors with the highest hyperbolic excesses from the catalogue.*

No	Δv_H	a	q	e	i	ω	Ω	v_G	v_H	H_B	H_E	α	δ	Date
1	2.906616	-3.1719	0.9873	1.3113	153.2990	17.5802	314.3032	72.2055	45.0466	116.4608	97.5654	40.8063	-1.0117	20090807
2	2.413593	-4.4687	0.4238	1.0948	172.4046	84.4393	216.3326	67.7870	44.5536	112.1436	97.1492	160.2762	11.7301	20091030
3	1.749275	-7.1290	0.3644	1.0511	92.1684	76.7512	306.9017	53.7345	43.8893	109.0628	93.5124	265.7705	5.73063	20090127
4	1.655059	-7.0150	0.9869	1.1408	138.8532	353.4157	158.5104	69.2782	43.7951	114.5988	107.8883	244.0461	-46.2328	20080228
5	1.637756	-7.2995	0.6479	1.0888	118.2225	250.1847	236.2207	61.6854	43.7778	110.5130	100.1769	128.0265	49.9482	20091118
6	1.517986	-7.5975	0.6115	1.0805	127.6048	74.8215	42.2466	63.4425	43.6580	110.0928	86.8926	102.7711	-2.2121	20091105
7	1.172435	-12.1111	0.6239	1.0515	113.4426	73.3922	83.0851	60.0501	43.3124	107.1496	96.2900	134.3140	-15.7582	20081215
8	1.116752	-12.4761	0.3427	1.0275	110.6198	286.6849	251.5134	57.4556	43.2568	107.9839	76.3223	128.7595	43.7464	20091204
9	1.065891	-10.9042	0.2650	1.0243	44.7305	116.6991	33.8677	42.3749	43.2059	106.4742	78.1823	57.8889	-1.7378	20071028
10	1.022281	-10.9347	0.9894	1.0905	138.6304	188.9884	206.7840	68.4448	43.1623	111.5236	98.0221	121.7677	45.3705	20071021
11	1.015846	-14.9901	0.8166	1.0545	144.9689	228.0297	266.3948	68.6731	43.1559	119.4170	90.5691	169.7854	25.2608	20071219
12	1.000133	-13.3490	0.5948	1.0446	104.7752	257.2814	234.9293	57.0778	43.1401	111.5325	92.6466	119.7808	55.6560	20071118
13	0.988334	-15.6856	0.0622	1.0040	29.4713	150.4318	117.5185	47.1615	43.1283	92.0160	75.6131	144.2607	7.4429	20090118
14	0.945392	-14.0671	0.8241	1.0586	105.1398	47.5380	51.4911	57.9997	43.0854	106.6146	100.3348	112.2150	-19.4376	20081114
15	0.924201	-17.6992	0.2590	1.0146	126.9657	117.5512	99.5250	59.7285	43.0642	106.0061	87.4463	145.3108	-4.1827	20080101
16	0.915649	-15.1945	0.4282	1.0282	109.4251	96.7721	57.3985	57.4667	43.0557	107.5014	92.1034	106.1021	-5.0183	20091120
17	0.910201	-17.1081	0.5668	1.0331	131.6527	80.5221	77.2677	63.7310	43.0502	109.0144	93.8300	134.4448	-6.1496	20071210
18	0.910102	-13.1827	0.7303	1.0554	93.1585	241.0439	215.3270	53.4044	43.0501	109.8385	91.2329	91.5430	66.8080	20091029
19	0.902751	-11.1621	0.4186	1.0375	150.2971	278.1843	16.0001	64.7418	43.0428	121.8153	73.6785	254.0254	-10.4049	20090406

* The symbols denote: Δv_H —the hyperbolic excess in heliocentric velocity, a —semimajor axis, q —perihelion distance, e —eccentricity, i —inclination, ω —argument of perihelion, Ω —ascending node, v_G and v_H velocities (geocentric and heliocentric), H_B and H_E beginning and end height in the atmosphere, α and δ —equatorial coordinates right ascension and declination of the radiant of a meteoroid, Date—year, month, day of observation.

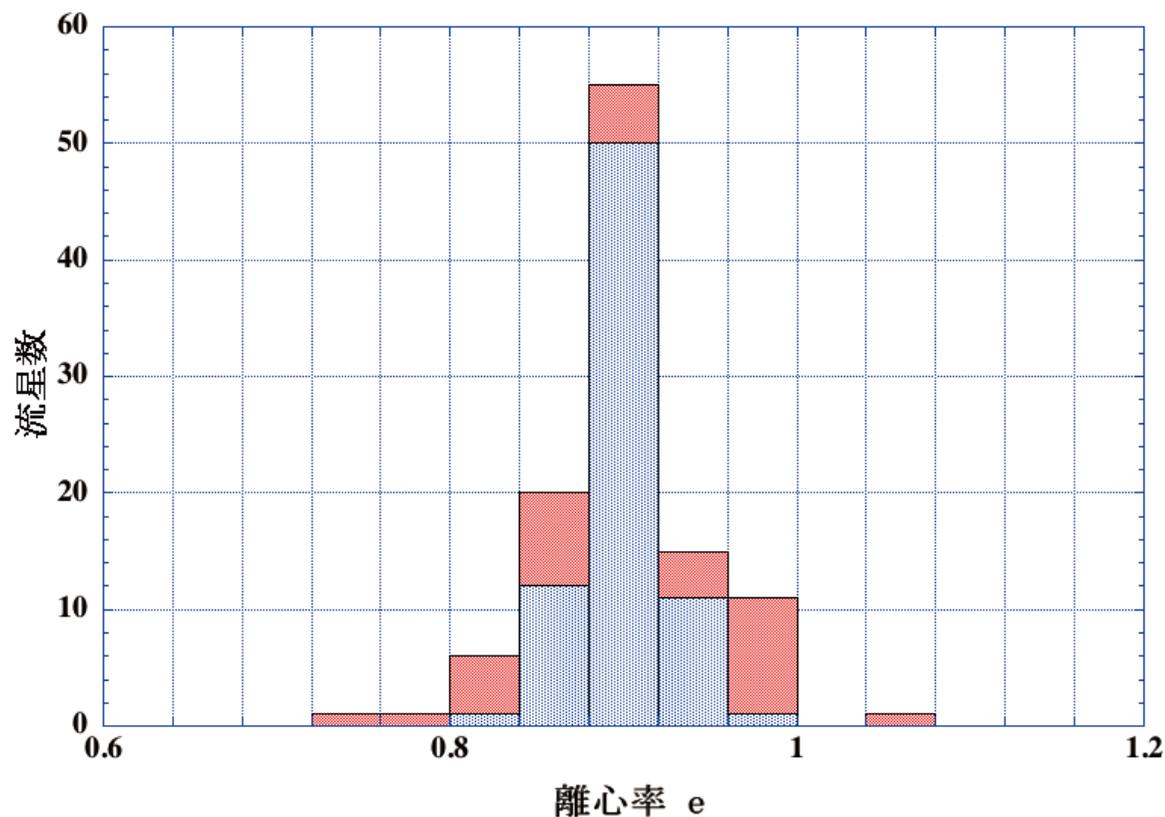
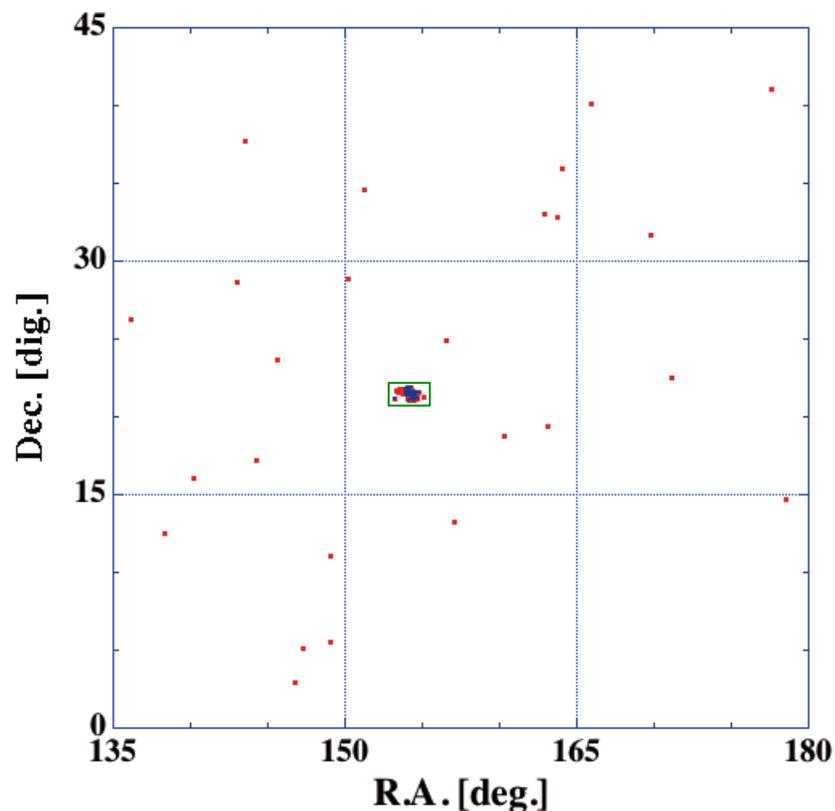
重野さん等の流星ステレオ観測 および軌道データ

- 1983年2月~1992年5月までは銀塩写真。
- 1992年12月~2009年10月は主にII-TVカメラ。
(2001年しし座流星群は銀塩写真も稼働。)
- 3886個の流星軌道データ。



日心速度と速度誤差

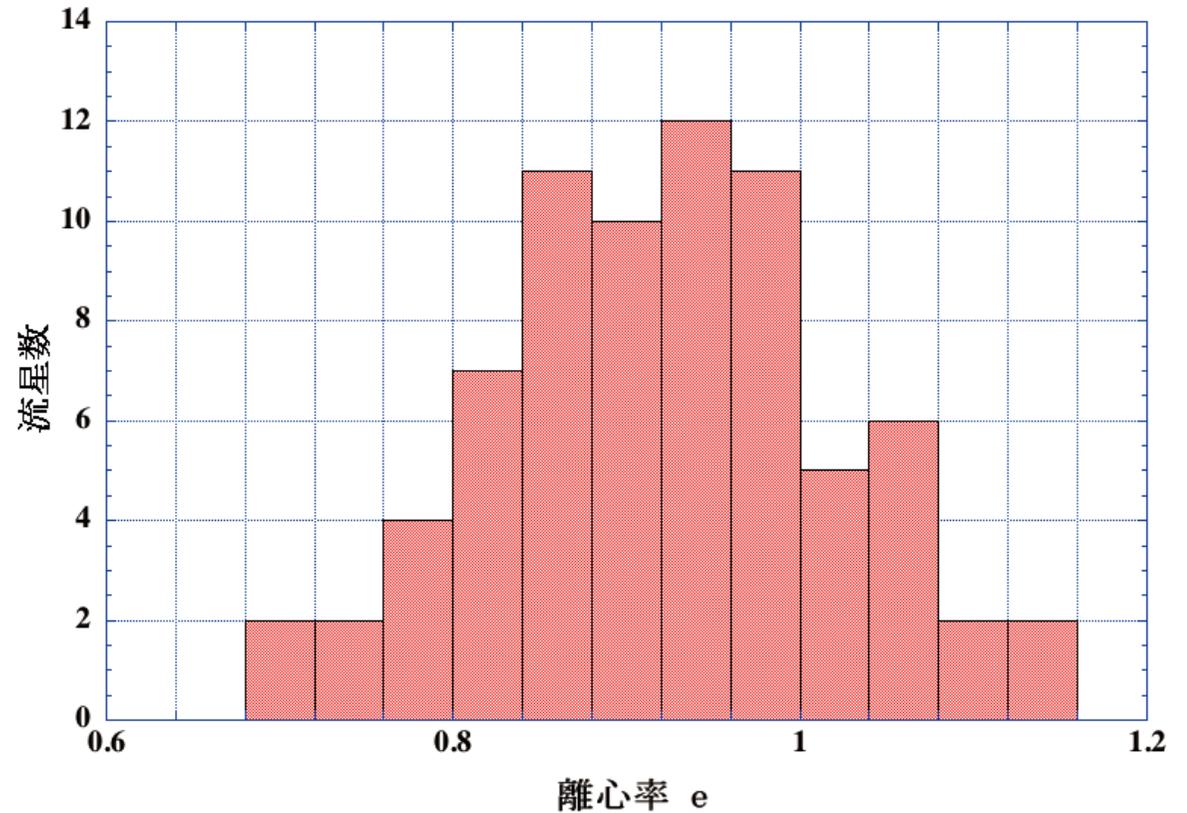
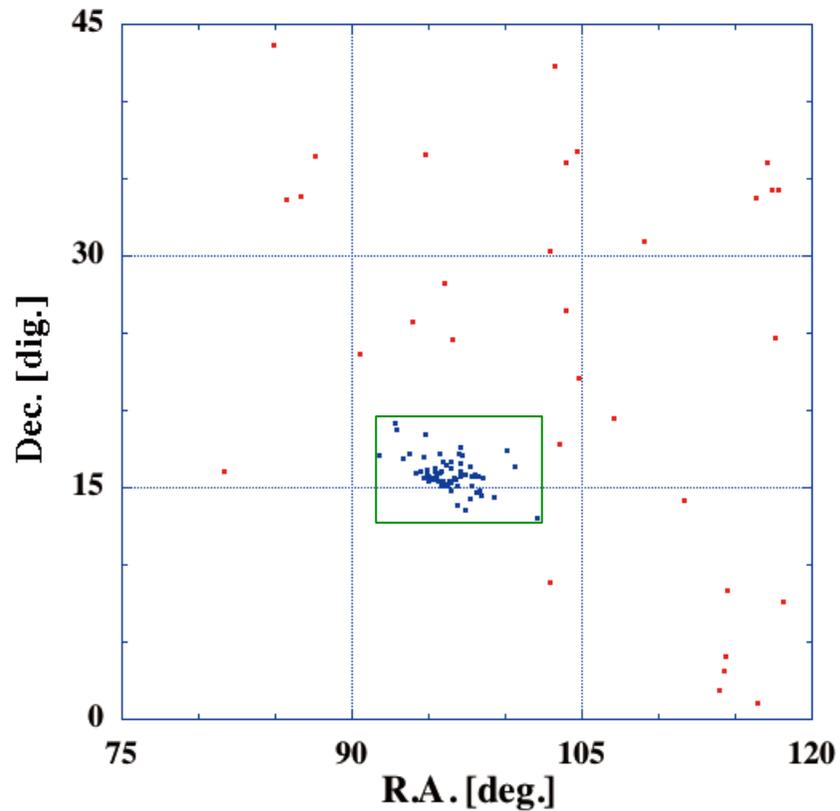
しし座流星群の離心率分布



2001. 11. 18の輻射点、
R.A: 2°× Dec.: 1°の範囲。

	合計	写真	II-TV
流星数	110	75	35
平均	0.901	0.900	0.904
標準偏差	0.046	0.023	0.074

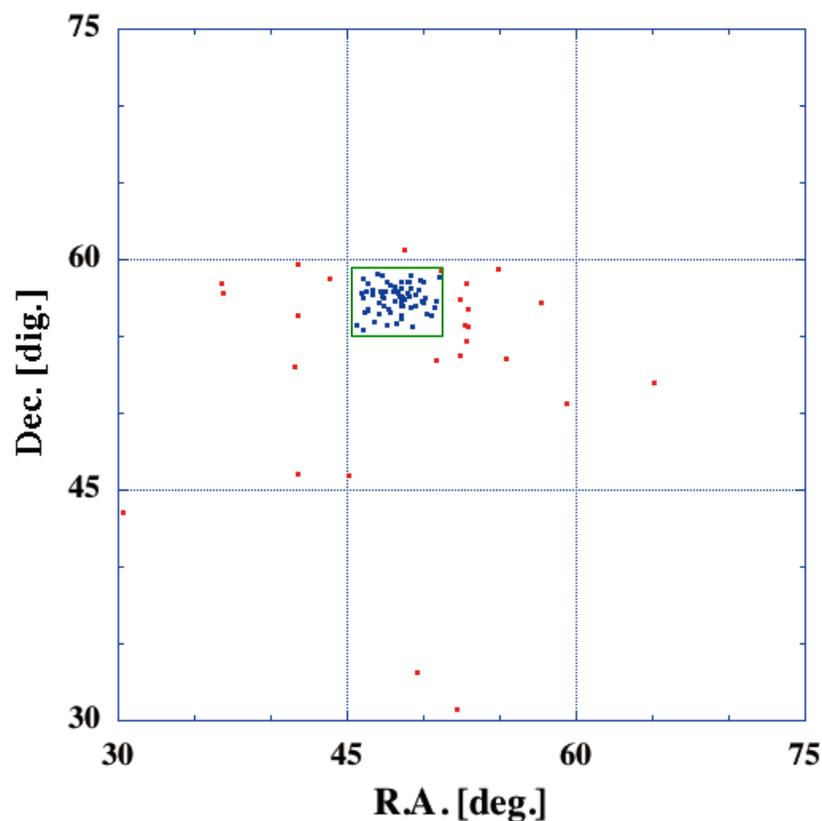
オリオン座流星群の離心率分布



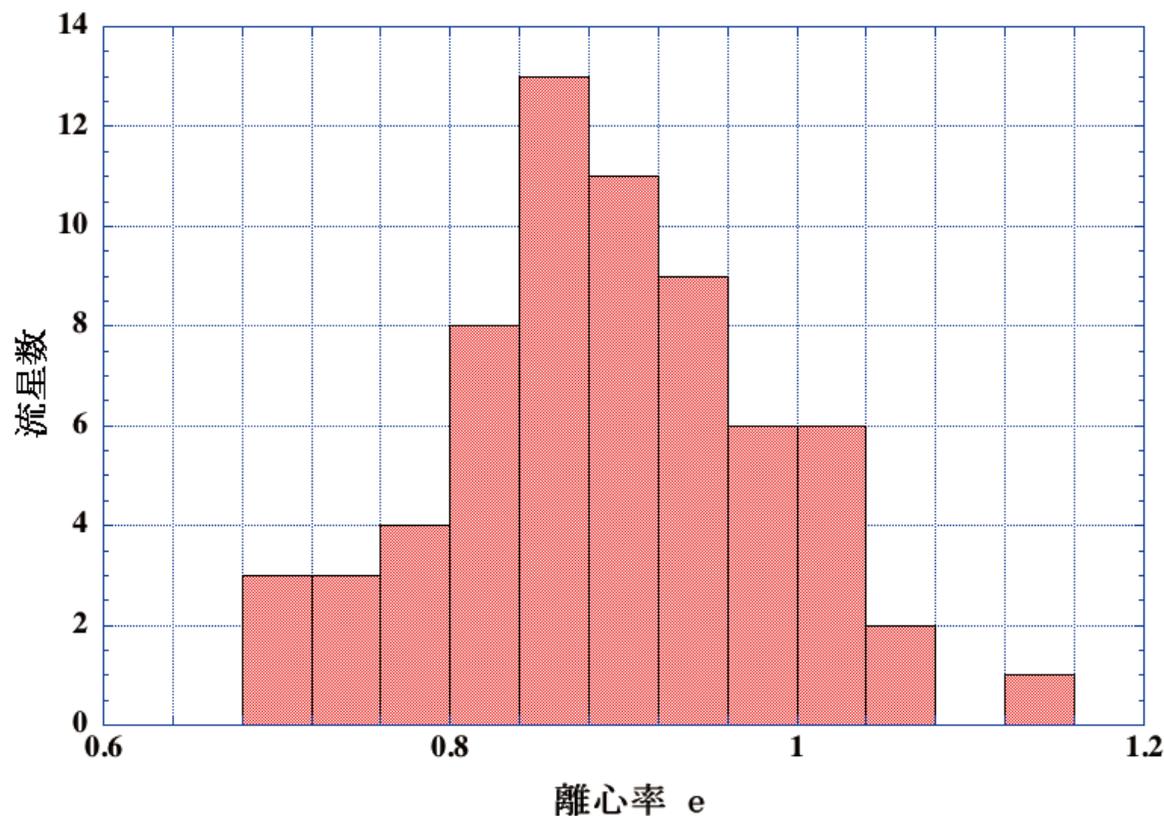
**Ori群の輻射点。R.A:
10.3°× Dec.: 6.2°の範囲。**

**流星数 : 74
平均 : 0.923
標準偏差 : 0.100**

ペルセウス座流星群の離心率分布

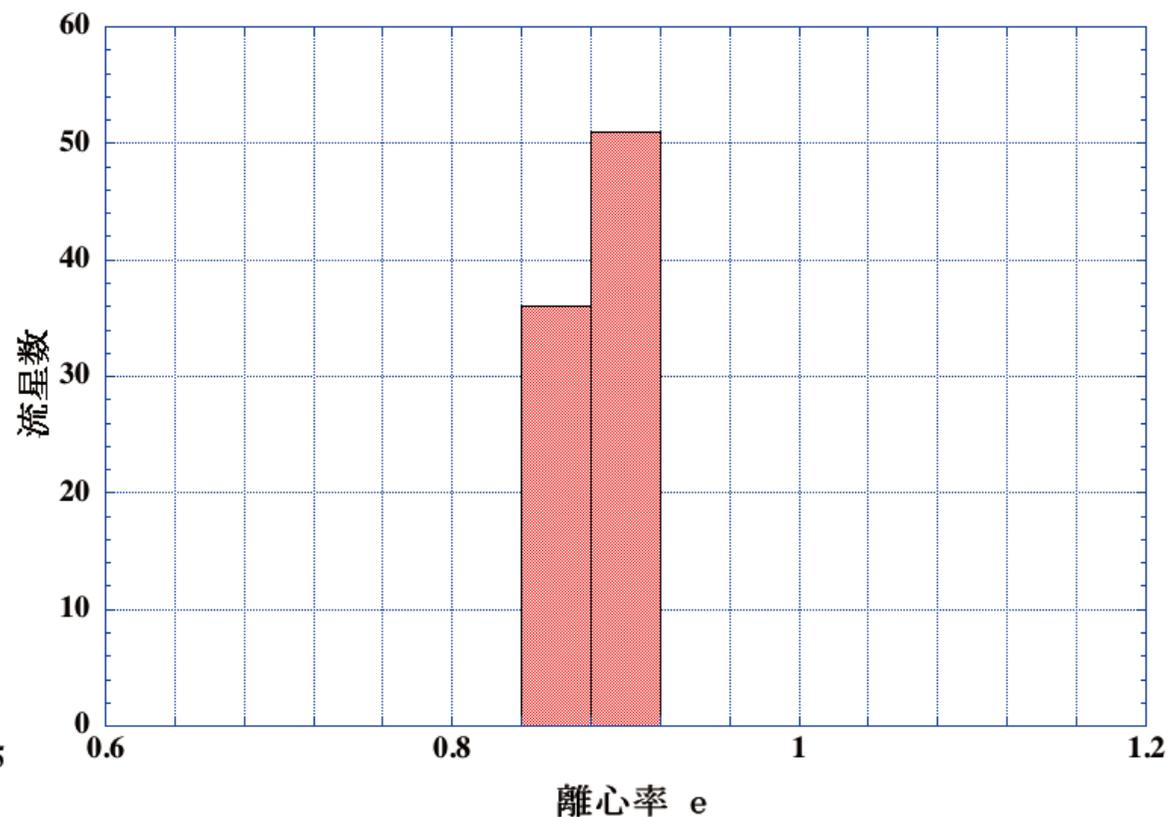
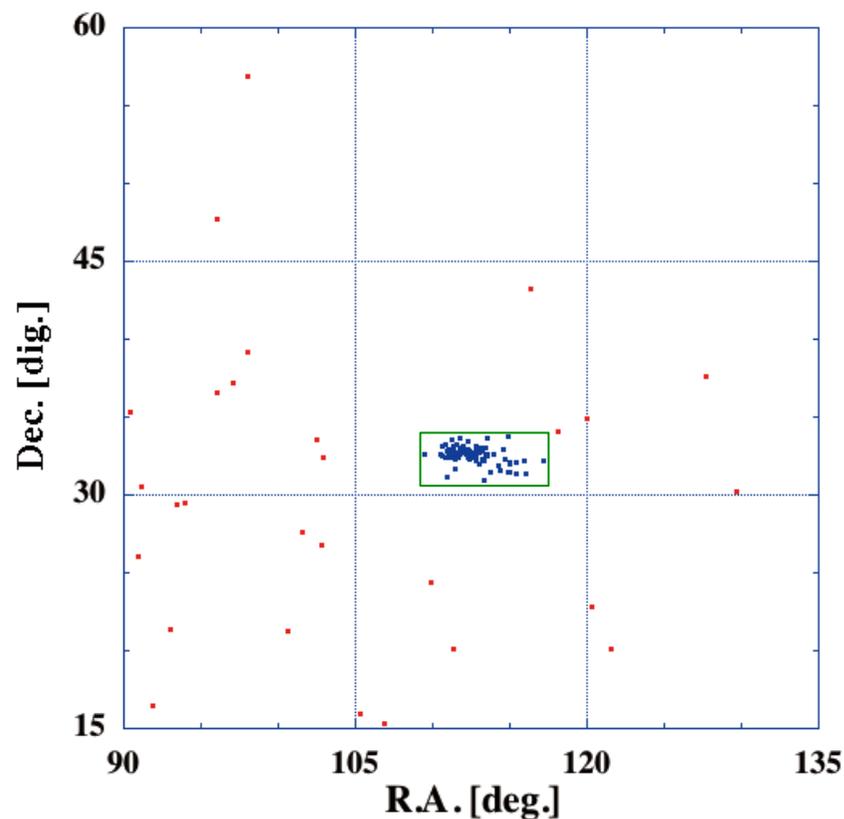


2004. 8. 12の輻射点。R.A.:
4.4°× Dec.: 3.7°の範囲。



流星数 : 66
平均 : 0.889
標準偏差 : 0.094

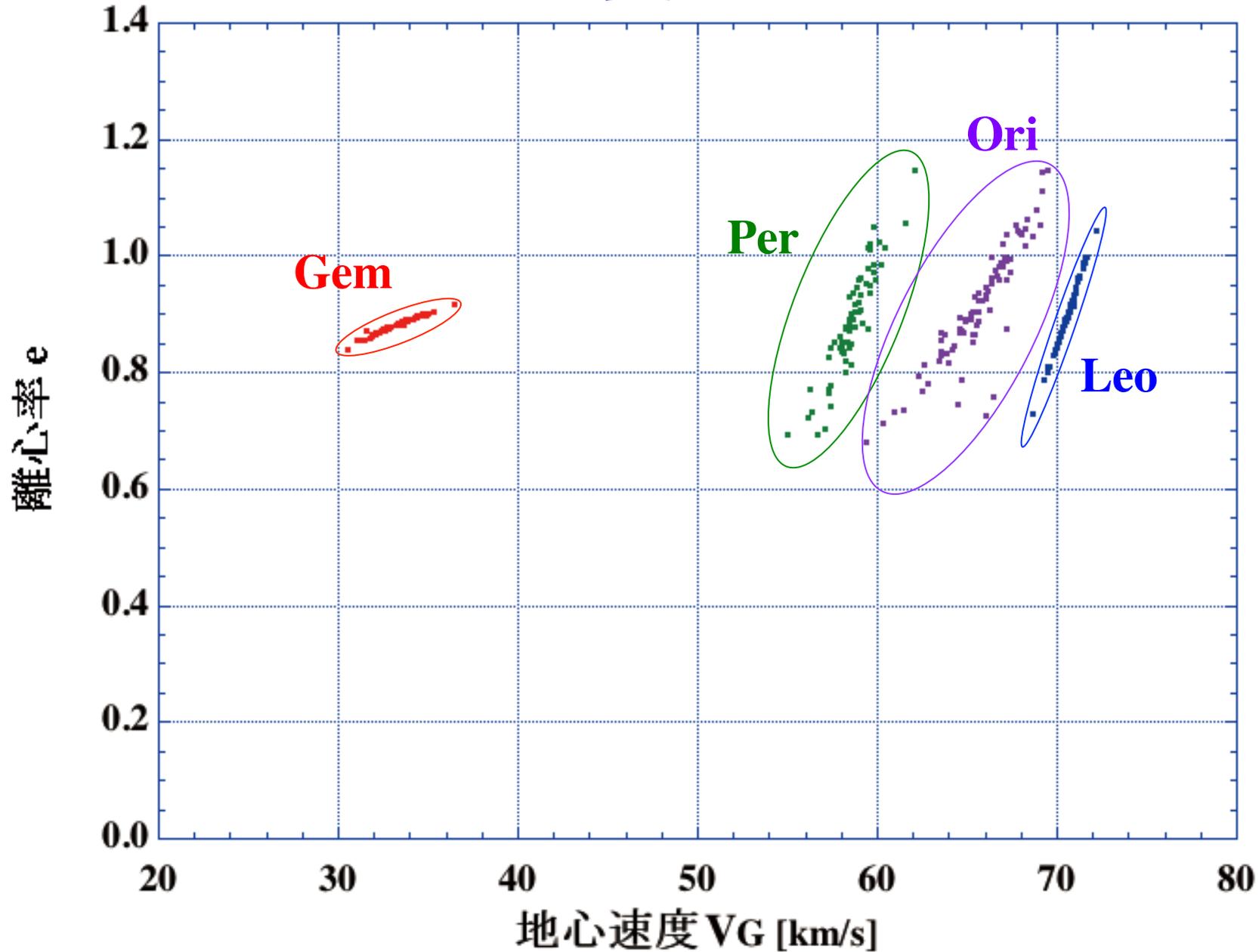
ふたご座流星群の離心率分布

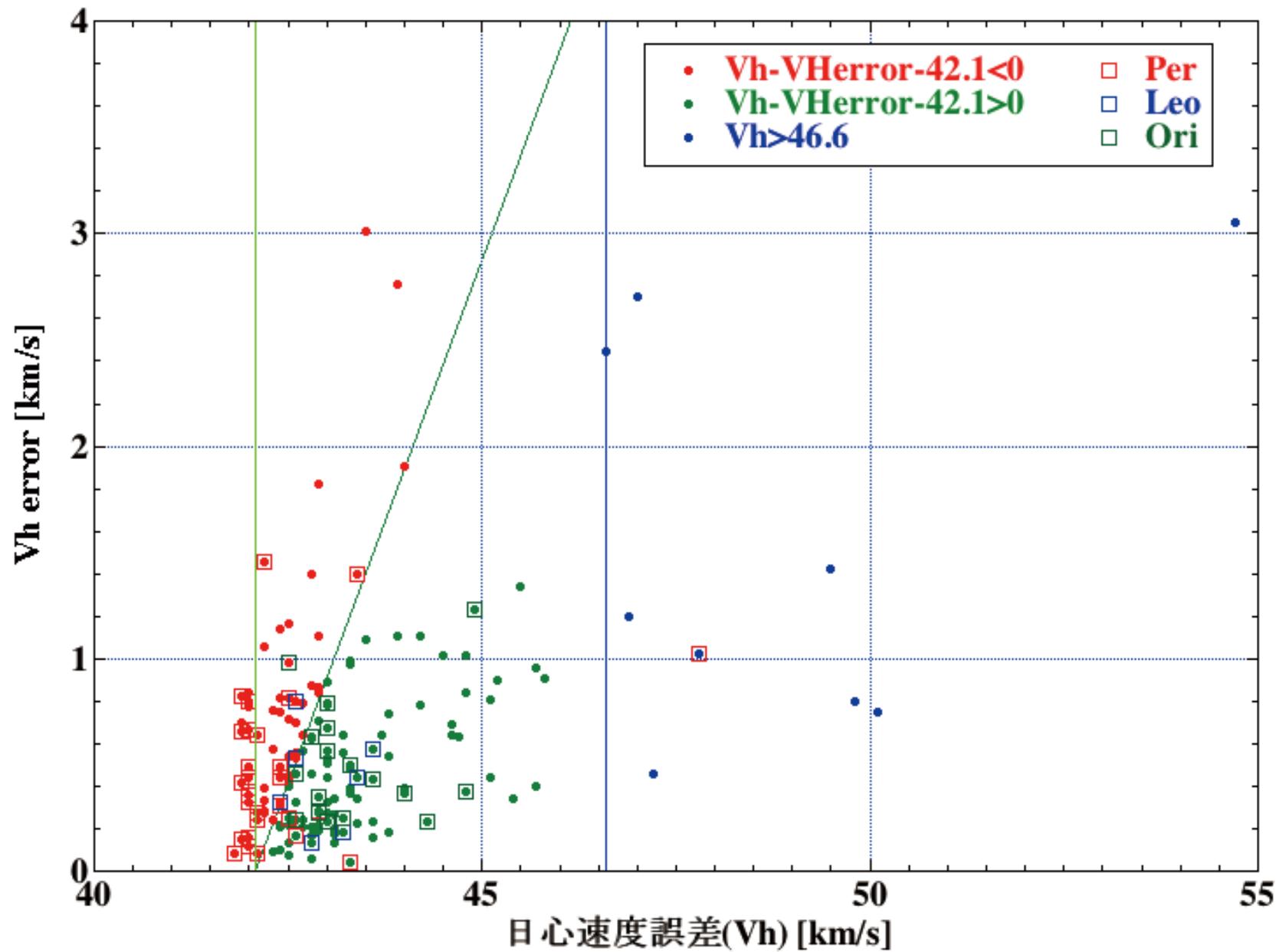


1999. 12. 12-16の輻射点。
R.A: $7.7^\circ \times$ Dec.: 2.9° の範囲。

流星数 : 87
平均 : 0.882
標準偏差 : 0.012

地心速度と離心率





日心速度と速度誤差、群流星

系外流星候補

No.	V_H	$V_H \text{ err}$	e	q	ω	Ω	i	L abs	精度、備考
1	54.7	3.05	1.054	0.040	330.5	346.0	22.6	3.9	△
2	50.1	0.75	1.860	1.012	181.7	146.4	177.8	3.4	◎、軌道が黄道面
3	49.8	0.80	1.783	0.954	24.8	314.0	132.6	0.3	◎
4	49.5	1.42	1.217	0.292	286.6	346.0	44.4	4.6	○
5	47.8	1.02	1.588	0.986	162.9	140.1	116.4	3.5	○、Per群
6	47.2	0.46	1.442	0.846	222.9	30.8	148.9	3.4	◎
7	47.0	2.71	1.471	0.982	11.7	31.5	123.1	3.7	△
8	46.9	1.20	1.382	0.822	225.5	211.5	118.7	3.4	○
9	46.6	2.45	1.233	0.561	77.1	97.0	140.6	4.2	△

系外流星候補2の軌道

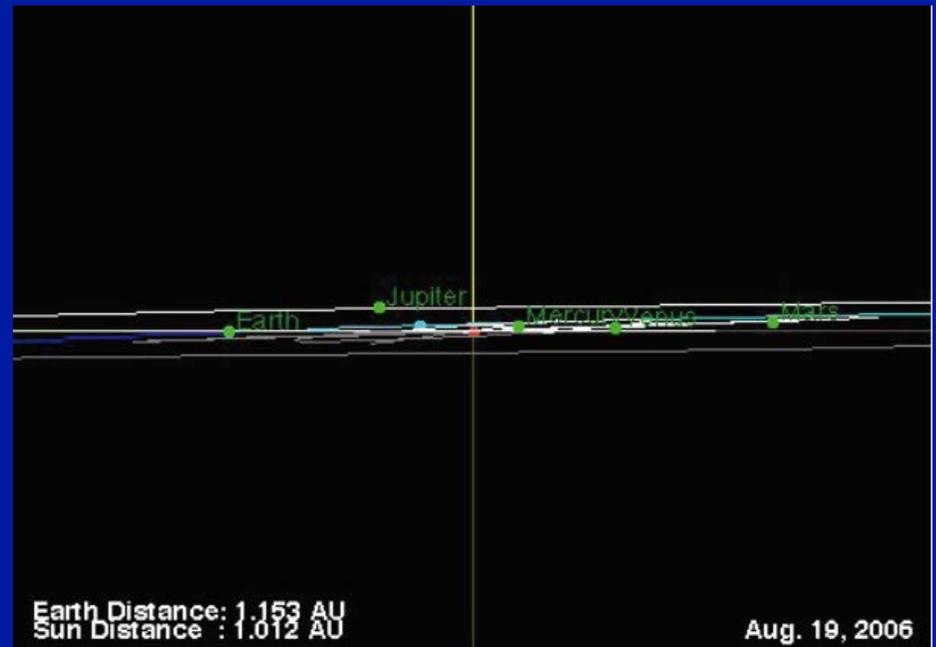
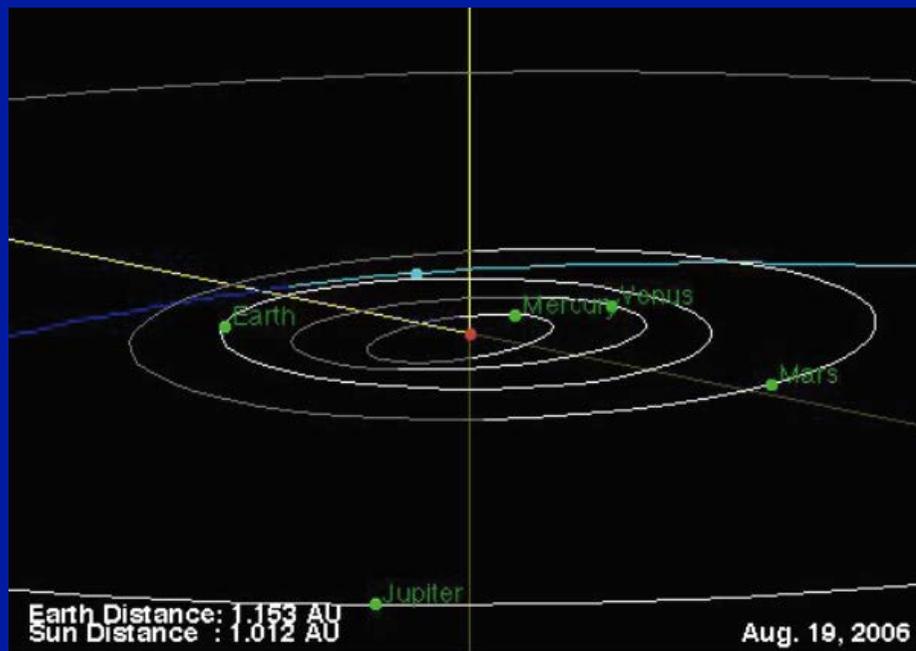
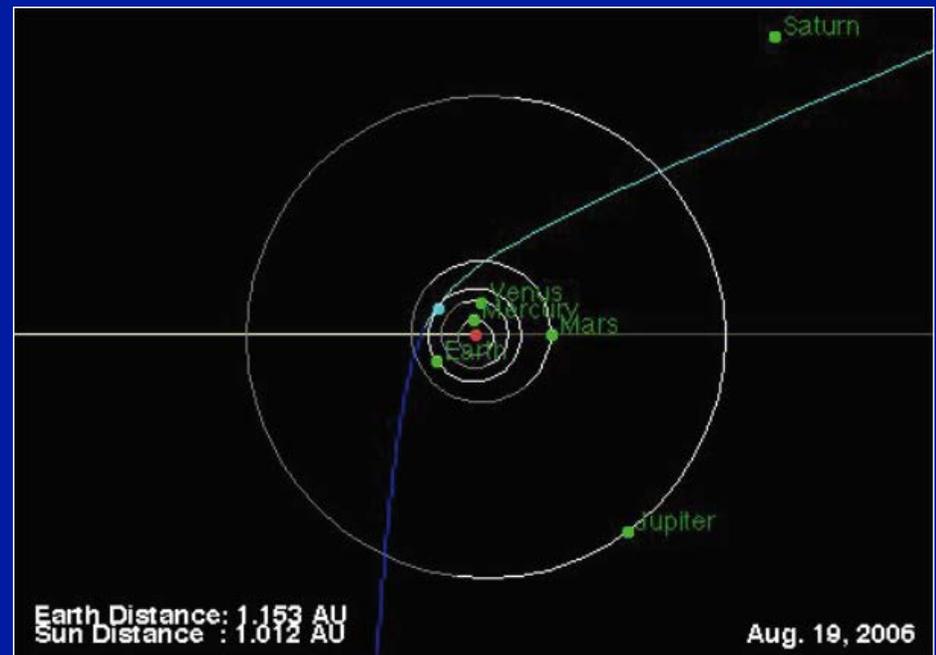
q: 1.012 e: 1.909

Ω : 146.4 ω : 181.6

i: 177.9

到来方向: しし座

土星に約5 au接近



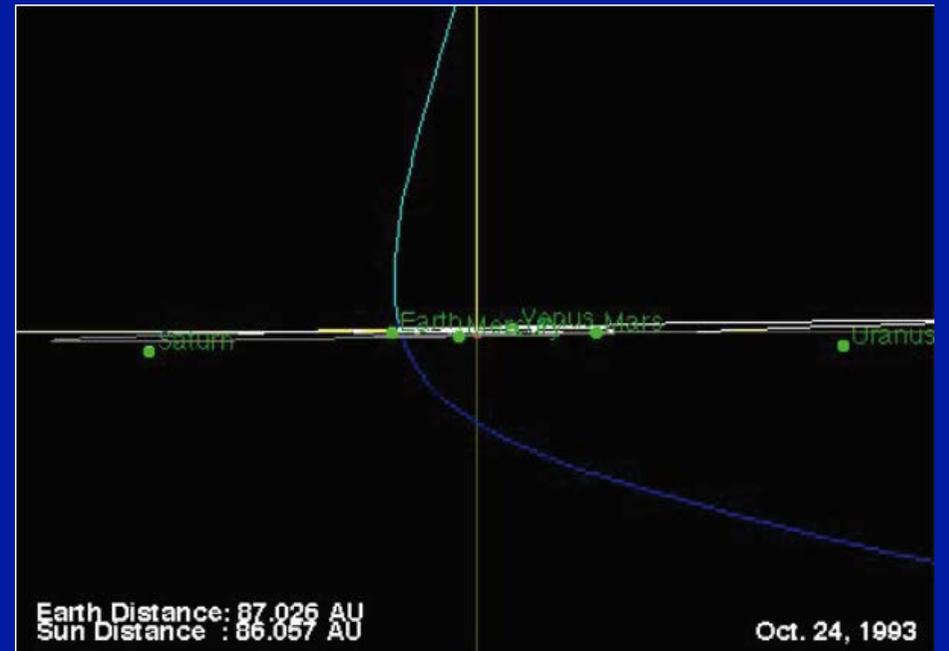
系外流星候補8の軌道

q: 0.822 e: 1.382

Ω : 211.5 ω : 225.5

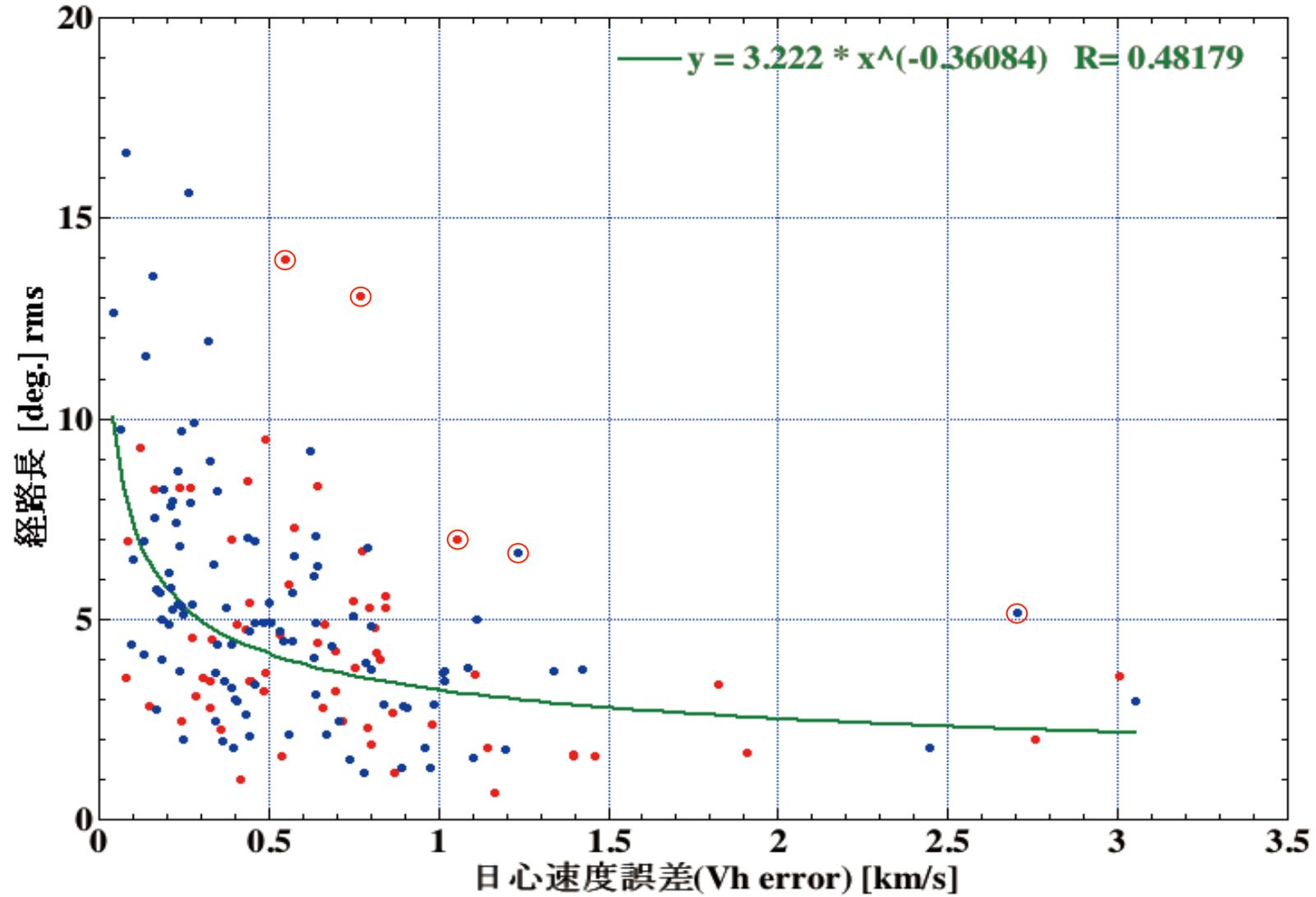
i: 118.7

到来方向: りょうけん座

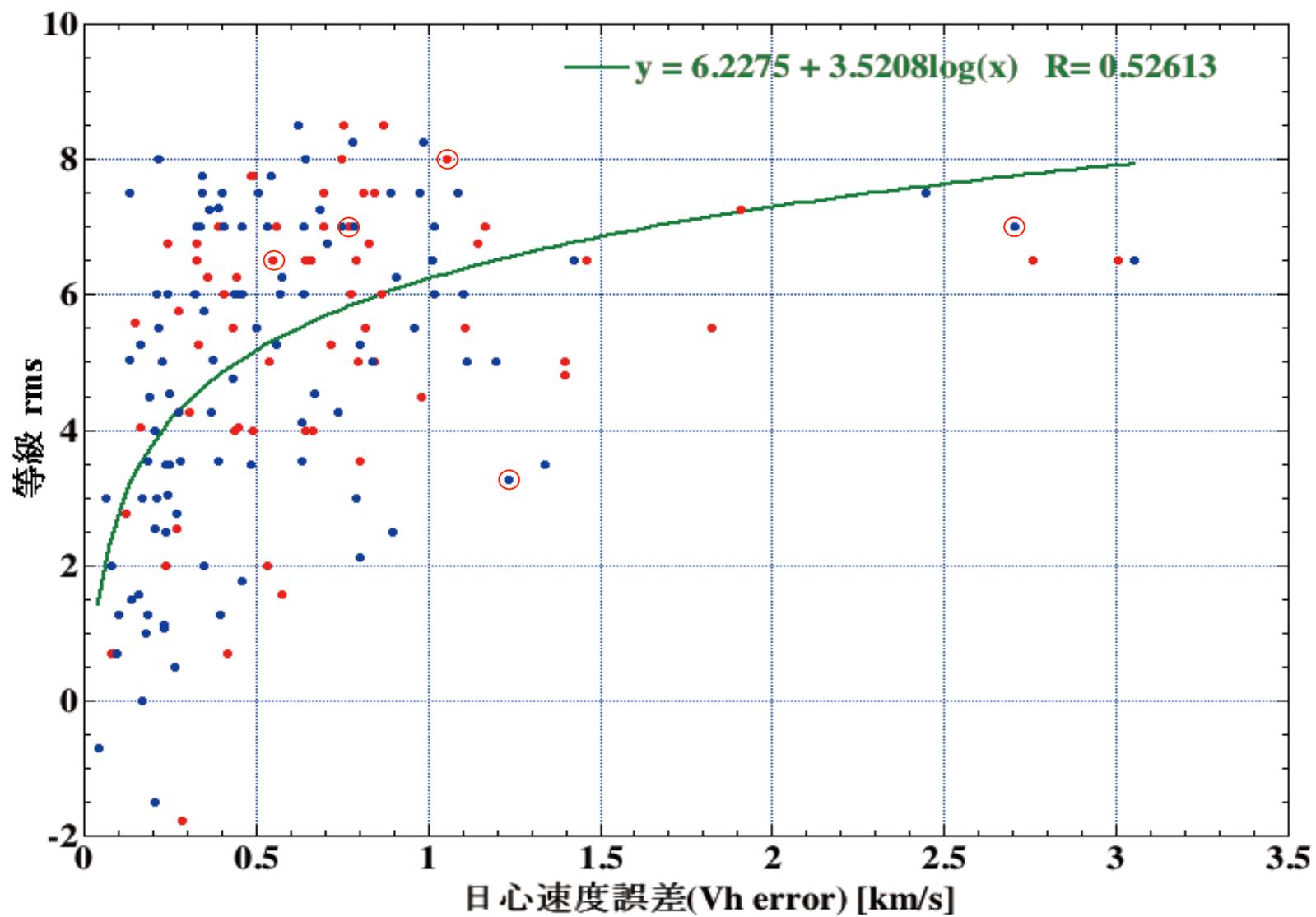


まとめ

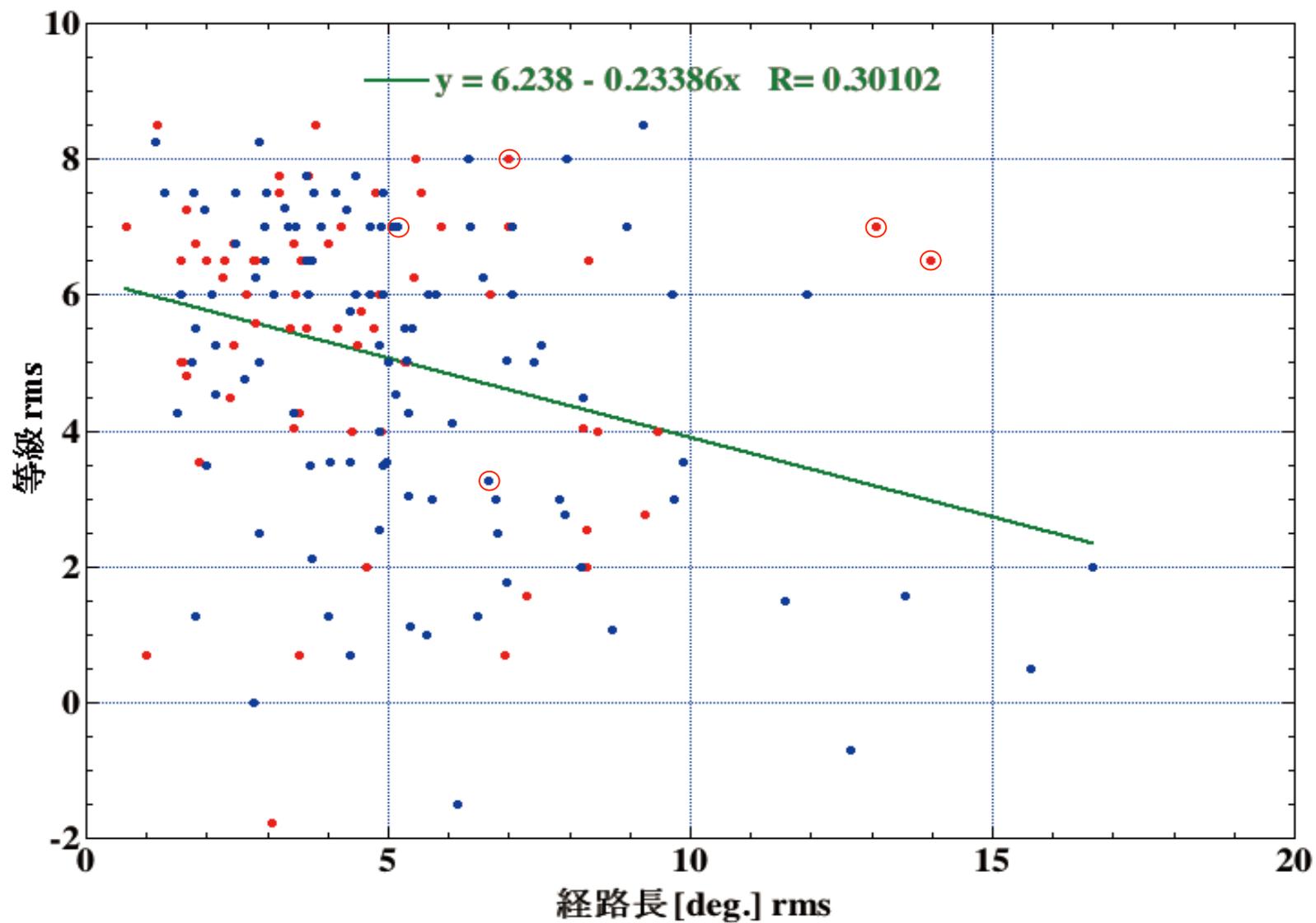
- 重野さんらの3886の流星軌道データを解析。
- 日心速度誤差は経路長と観測等級に相関。
- ふたご群の離心率の標準偏差: $\sigma = 0.012$ 。
- 168/3886 (4.3%) が $e > 1.0$ 。
- $e > 1.0$ に Per, Ori, Leo 群の流星が多数混入。
- 9/3886 が系外流星候補 $V_H > 46.6$ [km/s]。
- 系外候補9流星のうち、
 - 1流星は Per 群。
 - 系外は8流星 (0.21%) ? ただし、3流星は精度が低い、1流星は黄道面逆行。



日心速度誤差と経路長



日心速度誤差と等級



経路長と等級

MSS資料集ホームページ ～2017年度更新～

重野好彦

MSS資料集を2017年度版に更新しましたのでお知らせします。



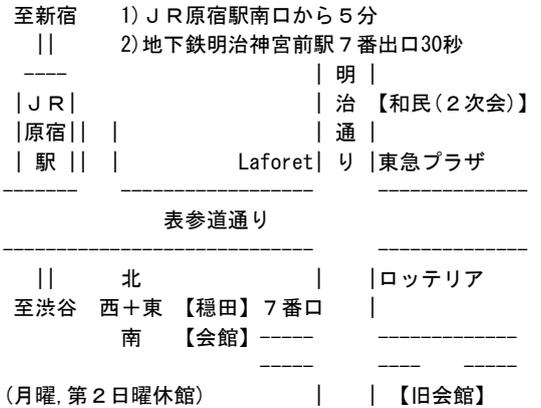
日時 2017年7月2日(日) 13時～17時

場所 渋谷区 神宮前 穂田(おんでん)区民会館 会議室3号(2階)
内容 放射点位置の数値計算1(長沢工)
CAM5とSonotaCoネットで得られたデータ(小関正広)
MSS資料集ホームページ～2017年度更新～(重野好彦)
Canon aps-c 安価標準ズームの進化(重野好彦)
募集中!

費用 300円
幹事 重野好彦/寺田充

流星物理セミナーは 2月/7月/10月の第1日曜日に開催しています。

【渋谷区 神宮前 穂田(おんでん)区民会館 案内図】



1. 資料集

本資料集は2017年6月版です。

[2009年度資料.pdf](#)

- [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](#)

[2014年度資料.pdf](#)

- [MSS13-1-議事録\(第1~28回\).pdf](#)
- [MSS13-2-議事録\(第85回以降\).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](#)

[MSS-all.zip](#) 上記全ファイルを1ファイルに圧縮しました。(約900MB)

2. 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

カメラレンズ性能研究室

ユニークアクセス数	PC	PC/年換算
2009.01.18~2009.05.30	59	163
2009.05.30~2010.07.01	119	109
2010.07.01~2011.09.30	164	131
2011.09.30~2012.06.28	88	118
2012.06.28~2013.03.27	174	234
2013.04.14~2013.06.30	85	403 (サーバ変更)
2013.06.30~2014.04.27	176	214
2014.04.27~2014.07.05	86	455 (ドメイン変更)
2014.07.05~2015.06.28	928	947
2015.06.28~2016.06.28	480	480
2016.06.28~2017.06.25	503	507

OB会誌講読アクセス数

号	編集日	公開後3ヶ月
83	(2013.01.22)	125
84	(2013.07.24)	192
85	(2013.10.27)	242
86	(2014.01.20)	117
87	(2014.08.09)	184
88	(2014.10.23)	480
89	(2015.01.26)	325
90	(2015.07.16)	308
91	(2015.10.28)	146
92	(2016.03.15)	179
93	(2016.08.08)	141
94	(2017.01.09)	125

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	74	04.23	-	15
MSS00-2-ごあいさつ.txt	4	0	2	1979.02.12	6	40	75	07.16	-	16
MSS00-3-インデックス.txt	-	-	3	04.15	4	20	76	10.15	-	12
MSS00-3-インデックス.xls	-	-	4	06.24	4	33	77	1996.01.07	-	27
MSS00-A-50回記念誌上.pdf	174	33	5	09.09	3	34	78	04.07	-	17
MSS00-B-50回記念誌下.pdf	187	34	6	11.11	6	35	79	07.07	-	19
MSS01-隕石.pdf	61	12	7	1980.01.20	6	18	80	10.13	-	7
MSS02-隕石落下シミュレーション.pdf	78	19	8	03.16	8	37	81	1997.01.26	-	14
MSS03-遠征観測報告.pdf	225	58	9	05.18	7	30	82	04.12	-	12
MSS04-音.pdf	48	7	10	07.13	7	35	83	07.13	-	31
MSS05-解析法.pdf	134	31	11	09.28	7	50	84	10.05	-	27
MSS06-観測機器.pdf	198	58	12	11.16	7	35	85	1998.01.11	5	29
MSS07-観測結果.pdf	310	70	13	1981.01.18	3	?	86	04.19	3	25
MSS08-観測理論.pdf	67	13	14	03.29	6	40	87	07.12	7	31
MSS09-軌道計算研究発表.pdf	187	41	15	05.17	8	63	88	10.18	5	25
MSS10-軌道計算精度.pdf	91	19	16	07.19	7	20	89	1999.01.10	8	34
MSS11-軌道計算論文.pdf	120	35	17	09.06	8	32	90	04.18	3	18
MSS12-軌道シミュレーション.pdf	133	26	18	11.01	7	36	91	07.11	5	21
MSS13-1-議事録.pdf	53	9	19	1982.01.15	6	37	92	10.17	7	25
MSS13-2-議事録.txt	-	0	20	03.21	4	26	93	2000.01.30	8	40
MSS14-空間密度.pdf	116	36	21	05.16	4	45	94	07.09	5	21
MSS15-構造.pdf	5	1	22	07.11	4	47	95	10.15	8	21
MSS16-痕.pdf	279	72	23	10.03	7	41	96	2001.02.12	10	41
MSS17-シューメーカーレビー9.pdf	35	8	24	1983.01.07	8	50	97	04.15	12	30
MSS18-出現予報.pdf	79	26	25	03.08	6	36	98	07.08	5	23
MSS19-スペクトル.pdf	91	18	26	05.08	4	44	99	10.14	9	27
MSS20-測光.pdf	19	7	27	07.03	6	45	100	2002.02.17	16	46
MSS21-その他.pdf	281	68	28	10.02	2	41	101	07.07	8	24
MSS22-電波.pdf	217	39	29	12.18	7	45	102	10.20	6	20
MSS23-同時観測.pdf	129	32	30	1984.03.11	2	32	103	2003.01.19	10	18
MSS24-同時観測MSS-WG.pdf	165	44	31	05.13	1	30	104	07.06	4	20
MSS25-同時観測理論.pdf	46	14	32	07.22	4	30	105	10.19	4	11
MSS26-発光.pdf	11	2	33	09.30	2	33	106	2004.02.29	8	29
MSS27-輻射点.pdf	218	38	34	12.09	5	31	107	07.04	6	28
MSS28-豆まき現象.pdf	24	5	35	1985.03.17	2	20	108	10.24	6	13
MSS30-2009~2017.pdf	-	101	36	06.02	4	40	109	2005.02.20	4	11
合計	3,791	967MB	37	09.01	2	28	110	07.03	4	11
[MSS-001回から145回までを集計]			38	12.22	5	30	111	10.16	9	22
			39	1986.04.20	3	32	112	2006.02.05	10	22
			40	07.06	4	?	113	07.09	6	9
			41	10.05	4	29	114	10.15	10	12
			42	1987.01.11	6	24	115	2007.02.04	8	15
			43	04.19	3	20	116	07.01	8	30
			44	07.05	6	31	117	10.21	4	12
			45	10.04	5	18	118	2008.02.17	8	14
			46	1988.01.10	1	17	119	07.06	7	18
			47	04.17	7	21	120	10.05	9	14
			48	07.03	4	38	121	2009.02.08	6	23
			49	10.16	7	25	122	07.05	6	17
			50	1989.04.23	6	32	123	10.04	9	23
			51	07.16	-	51	124	2010.02.07	11	20
			52	10.29	-	?	125	07.11	6	25
			53	1990.01.14	-	?	126	10.10	8	27
			54	04.15	-	?	127	2011.02.06	6	21
			55	07.15	-	?	128	07.03	3	15
			56	10.07	-	?	129	10.02	4	20
			57	1991.01.15	-	?	130	2012.02.05	5	17
			58	04.14	-	38	131	07.01	4	18
			59	07.07	-	34	132	10.07	6	25
			60	10.06	-	36	133	2013.02.03	3	12
			61	1992.01.15	-	40	134	07.07	5	17
			62	04.12	-	41	135	10.06	8	20
			63	07.05	-	26	136	2014.02.02	8	25
			64	10.04	-	31	137	07.06	5	24
			65	1993.01.17	-	37	138	10.05	4	13
			66	04.11	-	48	139	2015.02.01	5	23
			67	07.04	-	26	140	07.05	5	21
			68	10.17	-	22	141	10.04	4	14
			69	1994.01.16	-	30	142	2016.02.07	5	18
			70	04.10	-	25	143	07.03	6	31
			71	06.26	-	42	144	10.02	3	16
			72	10.16	-	18	145	2017.02.05	2	26
			73	1995.01.08	-	23				

2017. 10. 1

アメリカ・オレゴン州・ミッチェルにおける皆既日食観測報告および カナダ・カナナスキスの星空

明治大学天文部OB 佐藤 忠

2017年8月21日アメリカで皆既日食が見られた。その皆既日食を観測するためアメリカに遠征した。また、参加した観測ツアーで、日食観測後カナダのバンフ国立公園に観光で行った。その際カナナスキスに滞在し、夜間、星空の観察と撮影を行った。

皆既日食とカナナスキスでの星空の状況を報告します。

1. アメリカ皆既日食

(1) 観測の目的

今回の日食では、デジタル一眼レフカメラで外部コロナを撮影することを主目的とした。その際、露出時間が不明確であったので、段階的に露出時間を変え撮影した。また、肉眼でコロナ(等)を視認することも目的とした。

(2) 観測地

アメリカ合衆国 オレゴン州 ミッチェル (ミッチェル・スクール)

緯度：北緯 44° 33' 51" 経度：西経 120° 08' 48" 標高：892m

(3) 観測(撮影)機材

カメラ：N i k o n D750

レンズ：AF-S NIKKOR 300mm f/4 PF ED VR + AF-S TELECONVERTER TC-14 E III

(4) 観測(撮影)方法

カメラの絞り値をF6.3、ISO感度を800に固定し、シャッター速度を1/250sから1/6sまで変え、秒6コマで連写した(マニュアルモード)。ピント合わせはオートフォーカス(モード)で行った。カメラは三脚に固定した。

(5) 観測結果

①外部コロナの撮影

外部コロナはシャッター速度1/160sから1/6sで撮影可能であった。主観的には、1/40sが最適と思われる。1/10sより長い露出時間(シャッター速度)では背景の明るさにコロナが埋もれてしまっていた。

②コロナ(等)の観測

撮影に集中してしまっただけで、一瞬コロナを視認しただけであった(太陽左斜め下方向のコロナのストリーマーを視認した)。また第3接触の直前、カメラのファインダーを通して、右斜め上方に多数のプロミネンスを視認した(明るいピンク色)。

2. カナナスキスの星空

8月23日夜半から24日深夜にかけて観察・撮影を行った。夜空は暗く、素晴らしい星空であった。撮影は24-120mm(f4)ズームレンズを使用し24mmに合わせた(絞り：開放)。固定撮影で夏の大三角、カシオペア、わし座を撮影した(露出30s)。流星の出現を期待したが見られなかった。23日夜半に人工衛星が4個見られた。

以上

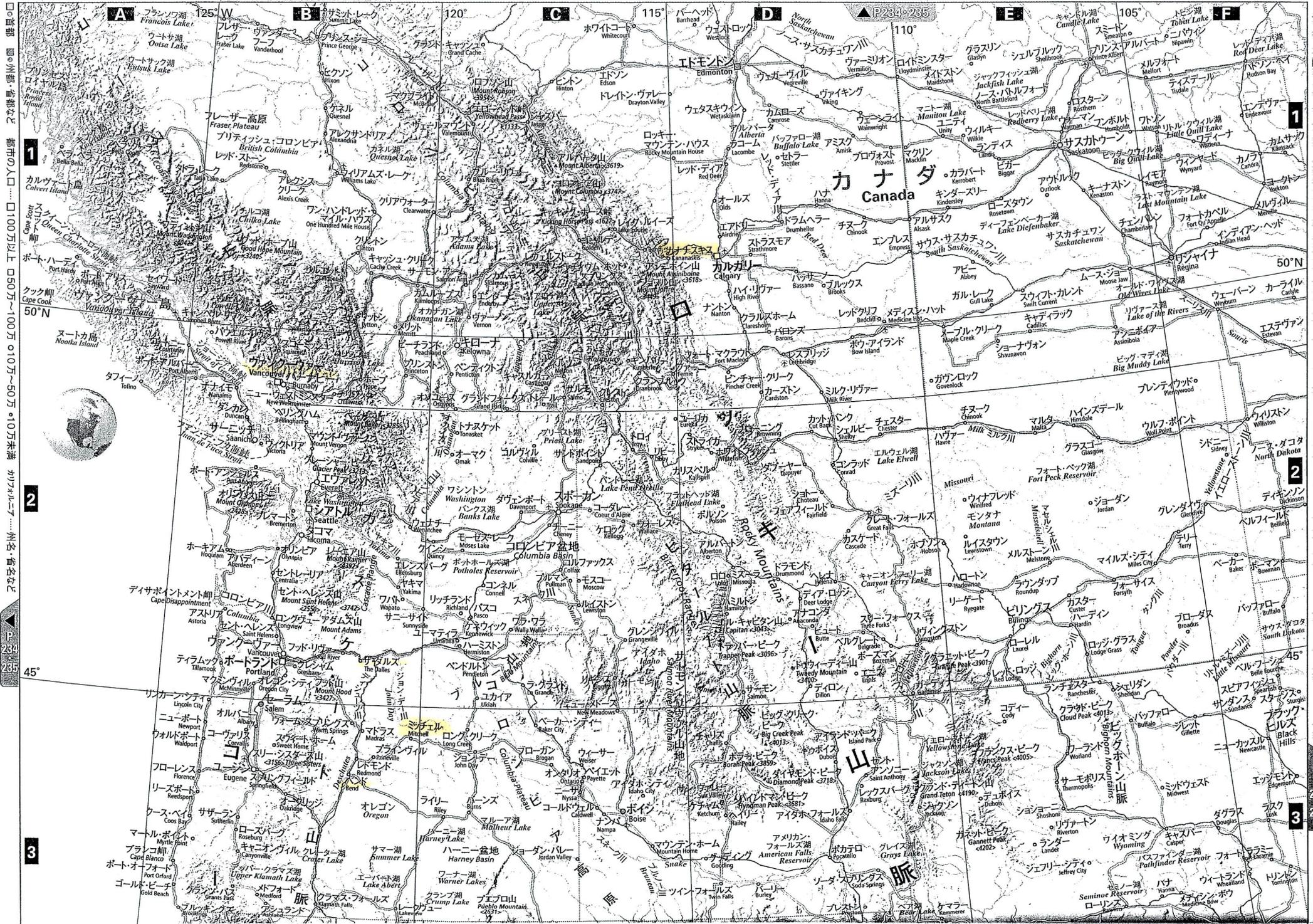
日 程 表 (Hコース/エア-カナダ航空・西海岸 & カナダ7日間)

／	年月日	場 所	時 間	摘 要	食事
1	2017年 8/19 (土)	成田 バンクーバー	発 17:00 着 09:45 発 13:10 着 14:05	成田空港集合。 空路、バンクーバーへ。(AC004) 空路、シアトルへ。(AC8095)	機内 —
		シアトル バンド		着後、貸切バスでバンドへ移動。 【バンド泊】	自由
2	8/20 (日)	バンド シスターズ		午前：貸切バスで観測地の下見を行います。 午後：カウボーイの町「シスターズ」へ移動し、 屋食を兼ねて楽しいお買い物をどうぞ！	朝食 自由
		バンド		夕刻：自然派スーパーで夕食や嗜好品お土産など各自でお買い求めください。 【バンド泊】	自由
3	8/21 (月)	バンド 観測地		早朝：皆既日食観測ポイントへ移動します。 午前：皆既日食観測	朝食
		ダルズ Dark of The Sky Park		午後：貸切バスでダルズへ移動します。 無料STOP 「Dark of The Sky Park」で天体観測をし、天の川など素晴らしい夜空をお楽しみ下さい。 【ダルズ泊】	昼食 夕食
4	8/22 (火)	ダルズ		午前：貸切バスでポートランドへ移動し、ダウンタウンの賑やかな通りで自由行動。	朝食
		ポートランド カルガリー バンフ国立公園	発 13:55 着 16:46	空路、カルガリーへ (AC8316) 着後、ホテルへ移動。 【バンフ国立公園泊】	自由 自由
5	8/23 (水)	バンフ国立公園		終日：貸切バスで「バンフ国立公園」(レイク・ルイーズ湖)の絶景を楽しみ、絶対の外せないアトラクション雪上車に乗ってコロンビア大氷原へ向かいます。1日たっぷりのツアー。 【バンフ国立公園泊】	朝食 昼食 自由
6	8/24 (木)	バンフ国立公園		午前：貸切バスで空港へ移動。	朝食
		カルガリー	発 13:30	空路、成田へ。(AC009) 【機内泊】	機内
7	8/25 (金)	成田	着 14:35	○成田空港着午後2時35分。	機内

★利用航空会社 AC-エア-カナダ航空

★上記日程は2017年2月2日作成したもので、航空機の変更、道路、天候等の事情等で変わる事もありますので予めご了承下さい。

★昼：含まれる昼食事は弁当の時もあります。



○首都 州都・省都など 都市の人口... □100万以上 □50万~100万 ○10万未満 カラフルカラー... 州名・省名など

2017年アメリカ日食報告

重野好彦

1. 1981年7月31日シベリア日食以来、36年21日ぶり、2回目の皆既日食に出かけてきました。まずはシベリア日食から紹介します。当時はソ連時代ですから自由旅行はできません。日本からは日ソ旅行社のツアー1つだけで150名程が参加しました。世界中からの旅行者は500名程でしたが、全員が同じ場所で観望しました。

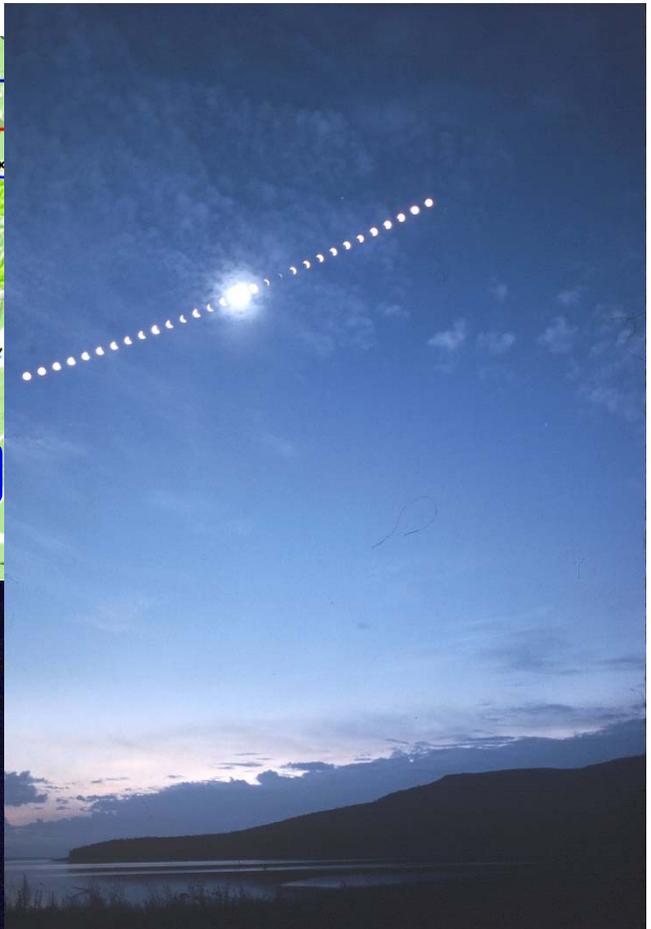


図1. コロナのディテール
CanonFTb 200mmF4×2倍テレプラス 絞り開放
富士フィルム100 1s, 1/2, 1/4, 1/8, , 1/30, 1/60
古いフィルム→スキャン→画像処理→
ステライメージ7 ローテーションラグディエント処理

図2. 連続撮影(フィルム1コマに多重露出)
CanonAE1 24mmF2.8 コダクローム25
部分食: ND400×2枚重ね(ND16万) 1/15s F8 (推定)
皆既食: フィルター無し 2s F2.8開放
雲のため露出がばらばらになった

2. 2017年8月21日の日食は米国を西から東に横断するもので、どこで観察しても良かったのですが、晴れやすい乾燥地帯とのことでオレゴン州マドラスにしました。

当日、皆既中心帯に沿って東西に延びる雲があり、ほとんど動かなかったので、南に数十km逃げました。





左：図3. コロナのディテール
Canon6D 400mmF5.6×1.4倍エクステンダー 絞り開放
ISO:100 4s~1/250(1.67段きざみで7コマ)
ステライメージ7 ローテーションアルグラディエント処理

下：図4. 連続撮影 部分食：ND10万 1/125 F8
Canon5DIV 16mmF4 ISO:100 皆既食：フィルター無し 4s F8
Photoshop 比較明合成
全て快晴。偶然にもシベリア日食と同じような風景。



マドラスには全米から数千台の車が集まり、用意した大農場もご覧のように難民キャンプ状態でした。そして日食の後、大渋滞を引き起こし、我々も14時間巻き込まれました。右：山火事も渋滞の原因に。

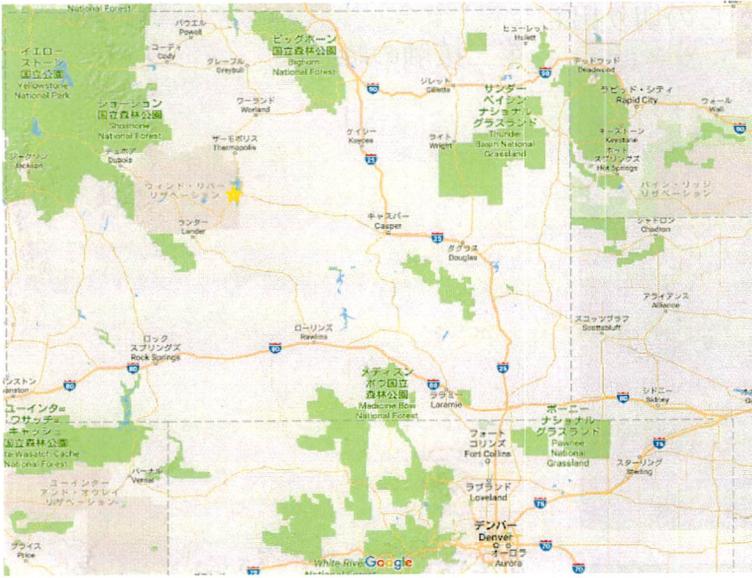
3. 安く行く日食個人旅行

日食ツアーは短い旅行なのに高額です。しかし5日前に行って5日後に帰ることで安くできます。

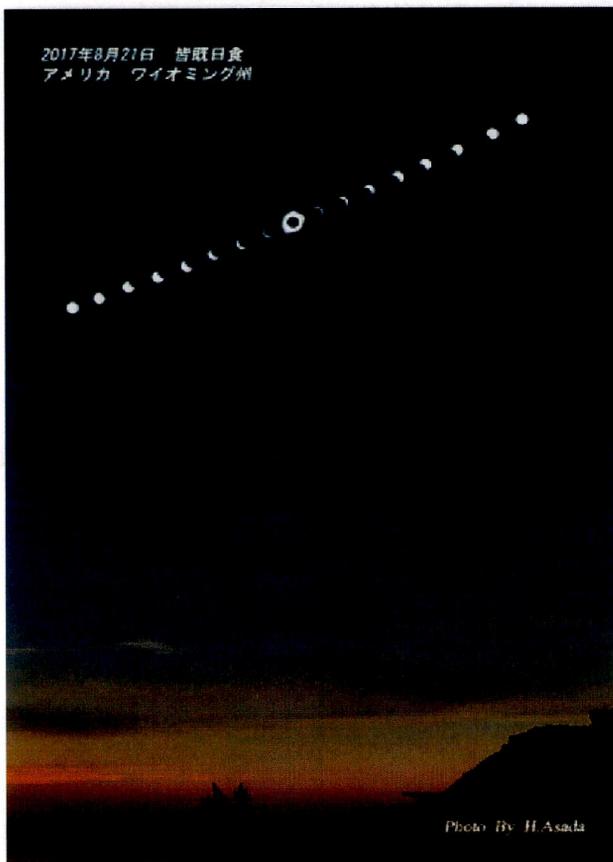
- 1) 観測地を決めたら1年半前から予約を始めましょう。ホテル予約サイトがいくつかありますが、どれも1年前からのため間に合いません。googleまたはgoogleマップでホテルを探し、ホテルのサイトで1年半前に予約できる場所を見つけます。通常料金で予約可能です。
- 2) 航空券は1年前に受付開始になるので、帰りの便の1年前に往復券を購入します。主な旅行代理店がネット販売を受け付けており、もちろん通常料金で購入可能です。

アメリカ横断皆既日食 IN BOYSEN WY

小林美樹



中心線近く、そして雲を避けるために、キャスパーにホテルを3泊分抑えてあるにもかかわらず、移動して、キャンプ(テント・寝袋)しました。



今回のツアー講師浅田英夫さん撮影

今回、初めて金星以外、恒星であるシリウスを皆既中に肉眼でみました。残念だったのは、この二つ以外は見つけることが出来ませんでした。

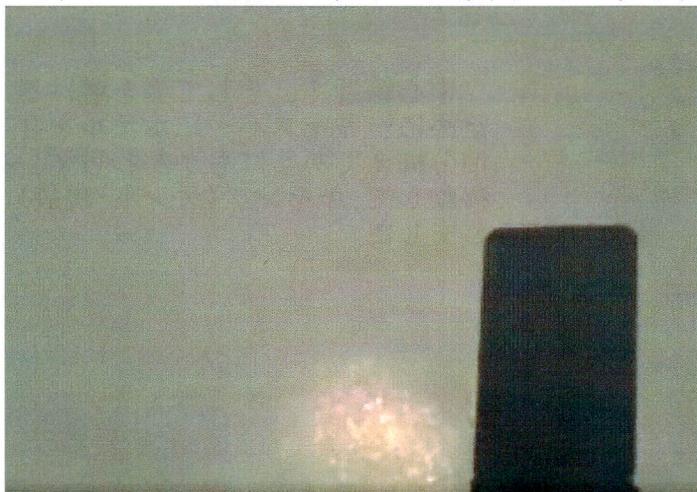


当日の等級データ

水星	3.2	
金星	-4.0	観えました
火星	1.8	
木星	-1.8	
シリウス	-1.46	観えました
リゲル	0.12	
ベテルギウス	0.50	
カペラ	0.08	
プロキオン	0.38	
レグルス	1.35	
アルクトゥルス	-0.04	
スピカ	0.98	

●観望位置 西経 108° 11' 33" 北緯 43° 15' 42"

シャドーバンド用にセットした動画からの切り出し

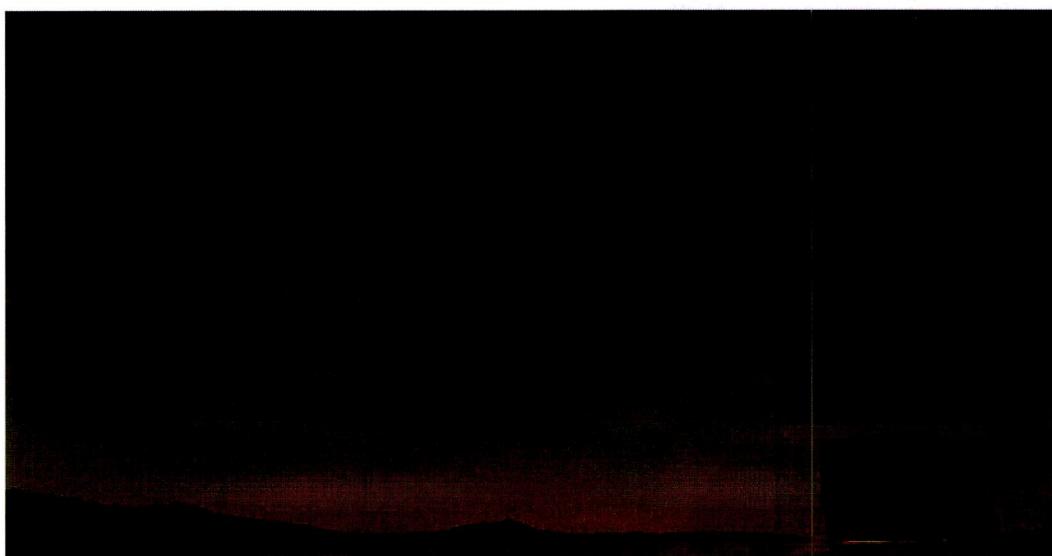


第二接触の時



第三接触の時

本影錐用にセットした動画から切り出し



西側は小高い山というか丘があり、赤く染まったのをみたのは第三接触あたりからです。



USA・ワイオミング州ジャクソンホール

皆既日食観測&2つの国立公園ツアー8日間 最終日程表

日次	日付 (曜日)	都市	現地 時間	交通機関	スケジュール	宿泊	食事
1	8/18 (金)	*羽田空港 集合 羽田 発 ---日付変更線--- ロサンゼルス 着 ロサンゼルス 発 ソルトレイクシティ着	13:55 16:25 10:55 15:45 18:29	✈ AA26 ✈ AA3010	◇ご出発の2時間30分前に羽田空港・国際線ターミナルにご集合ください ◇午後：アメリカン航空機にてロザンゼルスへ ◇着後、航空機を乗り継ぎソルトレイクシティへ ◇ガイドと共に市内のホテルへ		× × ×
2	8/19 (土)	ソルトレイクシティ発 ジャクソンホール 着	朝		◇朝：専用バンにて出発。ジャクソンホールへ ◇着後、ピクニックランチをはさんでエリア散策 ◇キャンプの買い出しや日食の下見なども ◇今日はキャンプグラウンドにてキャンプ		× 昼食 夕食
3	8/20 (日)	ジャクソンホール グラウンド ・ティートン国立公園			*朝、希望者はラフティングが可能です (無料) ◇グラウンドティートン国立公園の観光に出発。ムースなどの野生動物との出会いに期待して、トレイルを歩いたり大自然を満喫ください ◇キャンプグラウンドにてキャンプ		朝食 昼食 夕食
4	8/21 (月)	☆ 皆既日食 ☆ ジャクソンホール 発 イエローストーン 着	午後 夕刻	 	◇朝食後、日食観測場所まで移動/観測準備 ◇皆既日食観測 (食最大11:36/継続2分20秒/高度50.4°) ◇片づけの後、専用車でイエローストーンへ。 ◇今日はホテル泊		朝食 × ×
5	8/22 (火)	イエローストーン 国立公園 イエローストーン 発 ジャクソン周辺 着	午後 夕刻		◇午前：イエローストーン国立公園を訪ねます。 ◇午後：専用車でジャクソン方面に戻り、カウボーイ時代の雰囲気のある牧場へ。ウエルカム・ディナー ◇今日はファーム・ステイ		× × 夕食
6	8/23 (水)	ジャクソン周辺 発 ソルトレイクシティ着	午後 午後		◇午前：フリータイム *希望者はオプションで乗馬体験も可能です (有料) ◇午後：専用車でソルトレイクシティへ		× × ×
7	8/24 (木)	ソルトレイクシティ発 ダラス 着 ダラス 発	08:00 11:38 13:00	✈ AA2628 ✈ AA61	◇早朝：専用車で空港へ ◇朝：航空機でダラス・フォートワース空港へ ◇国際線に乗り継ぎ、一路、帰国の途へ		× × ×
8	8/25 (金)	---日付変更線--- 成田 着	16:30		◇午後：成田空港到着		×
					宿泊：なし		

*天候や交通機関のやむをえない事情、現地事情による日程の変更はあらかじめご了承ください

CAMS と SonotaCo ネットで得られたデータ

2017/7/2 流星物理セミナー
日本流星研究会 小関正広

1. はじめに

CAMS とは Cameras for All sky Meteor Surveillance の略であり、Jenniskens の主導の下、表 1 に示すような統一された機材によって運用されている。カメラ 1 台の写野は 22.5×29.9 度であり、SonotaCo ネットで一般的に使われているものに比べてかなり狭い。詳細については“CAMS Cameras for All sky Meteor Surveillance: Manual for the CAMS BeNeLux network. Edition July 2015”, Paul Roggemans (how_to_start_with_cams.pdf)を参照されたい。

Table 1: Required equipment and prices in Euro (according to recent purchases)

Watec 902H Ultimate	360
Pentax 12mm f/1.2	118
C-CS Mount adapter	2
Ez-Cap Framegrabber	35
CCTV video cable	20
BNC-cinch adapter	2
Adapter 12V (be sure to buy one of good quality)	13
Total costs in Euro	550
If not available yet a PC with recent multi core processor	600
If the cameras are installed outdoors, security camera housing	50

<http://cams.seti.org/>に掲載された 2017 年 5 月 1 日の記事に、「2016 年のデータ処理が終了した。CAMS 全体では 106,000 個の軌道を得ている。内訳は、California: 38,331; BeNeLux: 25,132; New Zealand: 16,118; LOCAMS(Arizona): 12,267; UAE: 10,118; Florida: 3,137; Mid-Atlantic: 942」と記されている。

CAMS で得られたデータのうち、論文発表が行われた 2010 年 10 月 21 日から 2013 年 3 月 29 日の期間のデータは公表されている。110,259 まで番号が振られているが、実際に存在するデータは 109,548 個である。データの使用に際しては、引用元として次の論文が指定されている。

P. Jenniskens, Q. Nénon, J. Albers, P. S. Gural, B. Haberman, D. Holman, R. Morales, B. J. Grigsby, D. Samuels, C. Johannink, 2015. The established meteor showers as observed by CAMS. Icarus (in press)
<http://dx.doi.org/10.1016/j.icarus.2015.09.013>

今回は CAMS のデータ期間に合わせて 2010-13 年の SonotaCo ネットのデータを使用して両者の比較を行う。

第 2 表：データ中で群流星の占める割合。上位 20 位までを IAU の略号によって示す。補注参照。

rank	SonotaCo		CAMS	
1	11.34	GEM	5.02	GEM
2	6.17	PER	4.40	PER
3	2.98	ORI	2.87	ORI
4	1.82	COM	1.40	SDA
5	1.60	STA	0.95	ETA
6	1.59	HYD	0.85	STA
7	1.29	LEO	0.64	CAP
8	1.26	NTA	0.62	QUA
9	1.12	ETA	0.56	HYD
10	0.73	SDA	0.47	NTA
11	0.70	QUA	0.47	COM
12	0.64	DAD	0.41	NZC
13	0.52	NOO	0.38	PPS
14	0.48	SPE	0.36	NOO
15	0.47	MON	0.34	AOA
16	0.36	CAP	0.29	NUE
17	0.30	BPI	0.28	XAR
18	0.26	LYR	0.26	NDA
19	0.25	_S26	0.25	LYR
20	0.24	ERI	0.25	MON

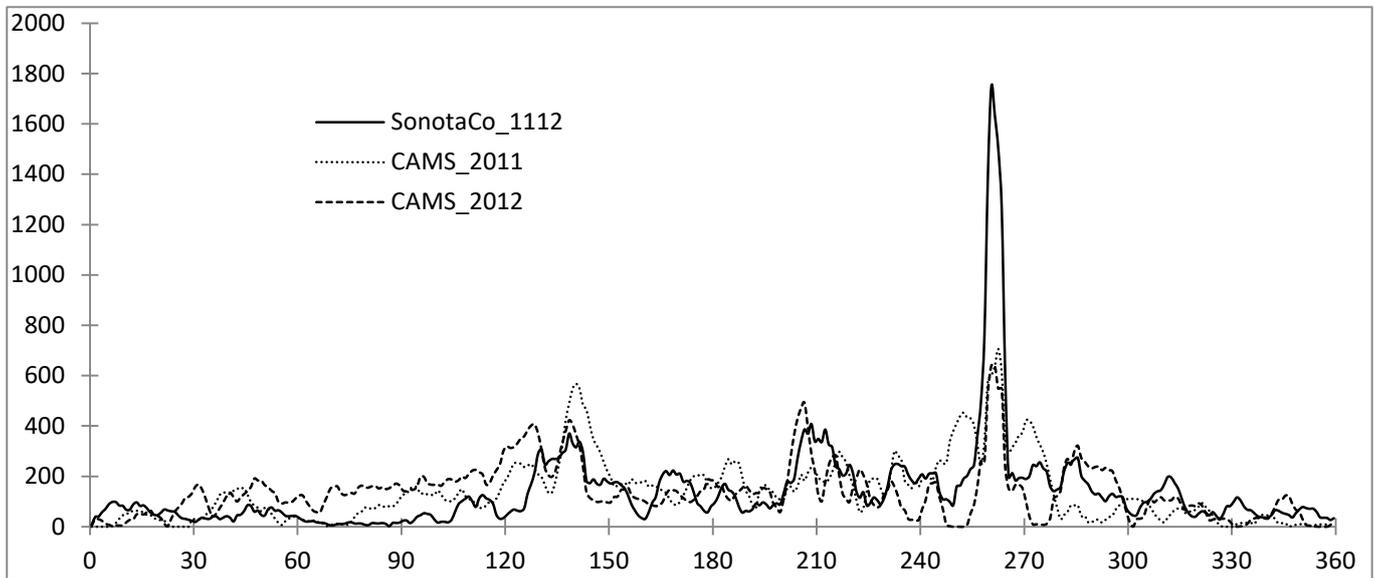
CAMS が 2 年半、SonotaCo ネットが 4 年間であるが、両者の軌道数がほぼ等しくなる。

CAMS のデータで注意が必要なのは日付の列を別のブックにコピーしようとする、勝手に日付が変更されてしまうことである。作成したエクセルは日付の開始を 1904 年 1 月 1 日としている (マックのエクセル仕様) ため、windows 版のエクセルで使用するには 1462 日を加える操作が必要になる。

2. ビデオ観測における主要流星群

一般に三大流星群と言え、しぶんぎ群、ペルセウス群、ふたご群を指している。しかし、ビデオ観測の結果によると、ふたご群、ペルセウス群は同じだが、第 3 位にはオリオン群が入ってくる(第 2 表参照)。NMS 同報に投稿されたメールを確認すると 2010 年は活発 (2006 年ほどではない)、2011-12 年は平年並み、2013 年は地味という表現なので、本稿で扱っている期間に突発があったわけではない。第 1 図に年間を通じた太陽黄経 1 度ごとの軌道数(総数を 10,000 個に規格化)を 5 度間隔の移動平均で示しているが、やはり、これら 3 群のピークが明確である。しぶんぎ群の活動が短時間だから総流星数が少ないというだけの問題ではなく、眼視観測とビデオ観測で捕捉率に違いがあると考えた方がよい。

また、 η -みずがめ群(ETA)が両者ともに上位に入っている点は目を引く。全流星数の 1% という割合はかなり



第1図：太陽黄経1度あたりの捕捉数(5度の移動平均)。全流星数を10,000個として規格化して比較。

の高率であり、日本やカリフォルニアの緯度を考えると従来の眼視観測よりも捕捉率が高いようである。

第3表はIAUMDCで古典的な流星群であるNo.1-31に対する捕捉率を示したものである。捕捉率が'0'となっているものは、「流星群」として扱われていないことを意味する。また、'others'とはIAUMDCNo.32以降の群、または、SonotaCo ネットで設定されているこの他の群の割合を示している。ここでも眼視観測で名の知れた流星群捕捉率がビデオ観測特有の流星群よりも低い場合がしばしばみられる。こと群IAU6 (LYR)を例にとると、これよりも捕捉率が大きい群にIAU16(HYD)、IAU19(MON)、IAU20(COM)がある。

第3表：IAUMDCNo.1-31の流星群についての捕捉率

IAUNo.	SonotaCo	CAMS		
1	0.36	0.64	CAP	alpha Capricornids
2	1.60	0.85	STA	Sorthern Taurids
3	0	0	SIA	Southern iota Aquariids
4	11.34	5.02	GEM	Geminids
5	0.73	1.40	SDA	Southern delta Aquariids
6	0.26	0.25	LYR	April Lyrids
7	6.17	4.40	PER	Perseids
8	2.98	2.87	ORI	Orionids
9	0.00	0.03	DRA	October Draconids
10	0.70	0.62	QUA	Quadrantids
11	0.06	0.00	EVI	eta Virginids
12	0.14	0.03	KCG	kappa Cygnids
13	1.29	0.20	LEO	Leonids
14	0	0	XOR	chi Orionid Complex
15	0.21	0.07	URS	Ursids
16	1.59	0.56	HYD	sigma Hydrusids
17	1.26	0.47	NTA	Northern Taurids
18	0.05	0.03	AND	Andromedids
19	0.47	0.25	MON	December Monocerotids
20	1.82	0.47	COM	Comae Berenicids
21	0.01	0.01	AVB	alpha Virginids
22	0.08	0.06	LMI	Leonis Minorids
23	0.15	0.03	EGE	epsilon Geminids
24	0.00	0	PEG	mu Pegasus
25	0	0.05	NOA	Northern October delta Arietids
26	0.00	0.26	NDA	Northern delta Aquariids
27	0.01	0.02	KSE	kappa Serpentids
28	0	0.15	SOA	Southern October delta Arietids
29	0	0	DLE	delta Leonid Complex
30	0	0	PSC	Piscid Complex
31	1.12	0.95	ETA	eta Aquariids
	6.82	8.59	others	
	60.76	71.71	sporadics	

CAMS と SonotaCo ネットを比べると、SonotaCo ネットではふたご群の割合が群を抜いているのに対して、CAMS はそれほどでもない。また、みずがめδ南群(SDA)はふたご群とは逆にCAMSの捕捉率がSonotaCoネットの倍近い。その他、おうし南・北群(STA, NTA)についてはSonotaCoネットがCAMSのほぼ倍である等々の違いがみられる。

これらには次のような原因があると考えられる。

- (1)機材の違い
- (2)天候等の観測条件
- (3)流星群の定義・群判定の方法の違い

これらの問題については次項で考察することにして、こと群より捕捉率が高く、両者に共通する流星群をビデオ観測における主要流星群として以下に掲げる。

やぎ群(CAP)、おうし南群(STA)、ふたご群(GEM)、みずがめδ南群(SDA)、こと群(LYR)、ペルセウス群(PER)、オリオン群(ORI)、しぶんぎ群(QUA)、うみへび群(HYD)、おうし北群(NTA)、12月いっかくじゅう群(MON)、かみのけ群(COM)、ηみずがめ群(ETA)、11月オリオン群(NOO)。

補欠としてCAMSではこと群を下回る、しし群(LEO)、を挙げておく。

3. CAMS と SonotaCo ネットの違い

(1) 機材

「1. はじめに」で述べたように、両者が使用している機材には、かなりの違いがある。当然、大きなレンズを使用している CAMS の方が暗い流星まで捉えられるはずであり、焦点距離の長いレンズだから観測精度も上がることが予想される。

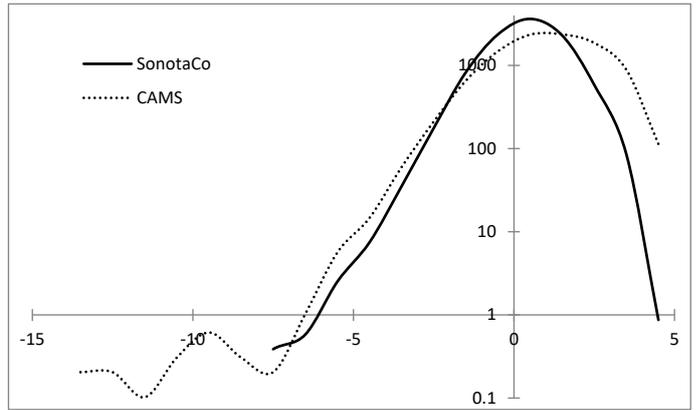
まずは、CAMS と SonotaCo ネットで捉えられている流星の光度分布を比べると、確かに CAMS の流星数のピークが暗い流星の側にずれ、また、SonotaCo ネットよりも暗い流星を捉えていることがわかる。しかし、その差は1等級程度で小さいものと言える。

ここで注目されるのは、CAMS において-10等を越える大火球が記録されていることである。また、よく見ると光度分布の傾きも CAMS の方が SonotaCo ネットのものに比べて緩やかである。測光方法の違いといった原因も考えられる。

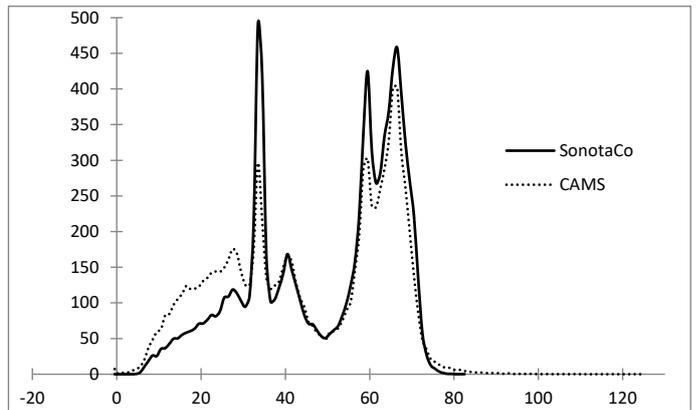
また、観測された流星の速度分布を第3図に示すが、30km/s以下の低速の流星を CAMS は SonotaCo ネットよりも多く捉えている。これは SonotaCo ネットで一般的に使われている短焦点のレンズでは緩速で短経路の流星を検出しにくいためだろうと推測される。

第4図は撮影された流星を地心速度の順番に並べて1,000個ごとに光度の移動平均を求めたものである。SonotaCo ネットでは速度による変化は小さいが、CAMS では地心速度が小さいほど暗い流星を捉えていることが明らかである。地心速度20km/s程度では平均光度で1.0等級の差があり、それ以下になると1.5等級に達している。地心速度が70km/s程度では両者にほとんど差が見られなくなる。短焦点のレンズでは暗くて見かけの角速度が小さい流星は見逃されがちになるのに対して、焦点距離が長くなると逆に角速度の大きい流星は捉えにくくなると考えられる。

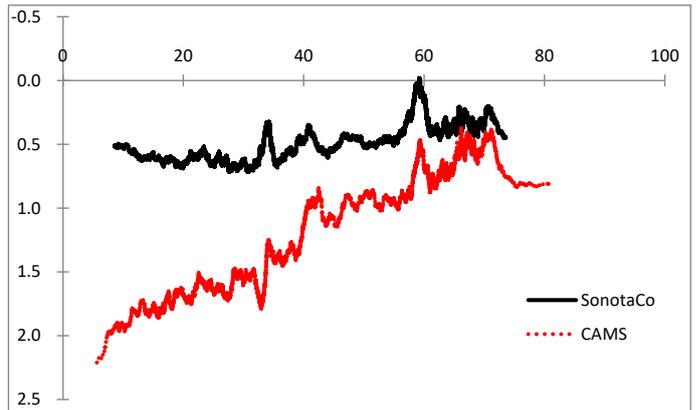
第5図はふたご群(Vg=34)、ペルセウス群(Vg=60)について出現点、消滅点と光度との関係を示したものである。SonotaCo ネットで出現点と消滅点の直線がクロスしているが、SonotaCo ネットのシステムで3等級程度の流星が実質的な観測限界であることを示している。両群ともに SonotaCo ネットの方が消滅点を低いところまで捉えていることは興味深い。流星の検出方法の違いが表れているのかもしれない。ふたご群では発光点も SonotaCo ネットの方が高くから



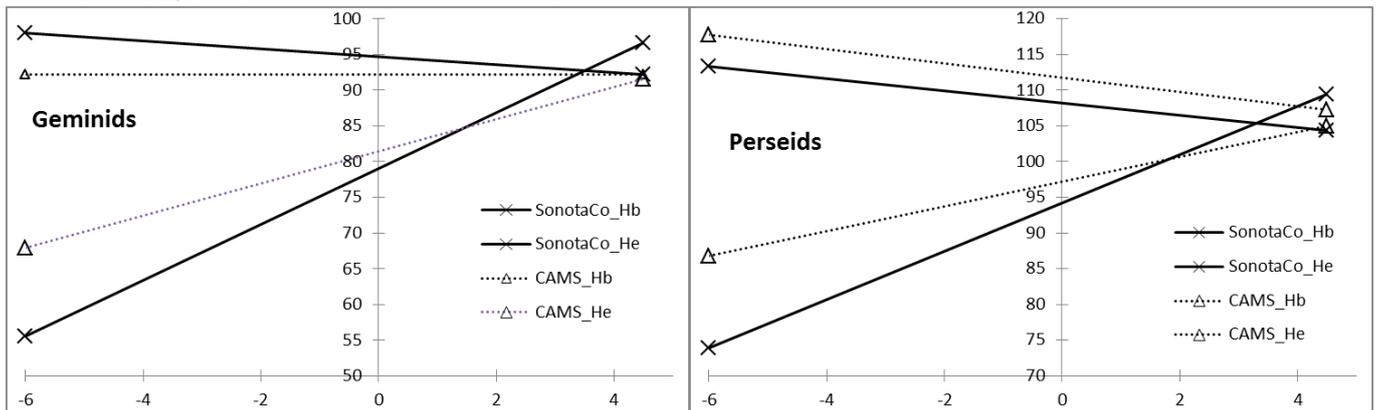
第2図：光度分布。流星数を10,000個に規格化。



第3図：速度分布。流星数を10,000個に規格化。



第4図：地心速度による撮影光度の変化。1,000個の移動平均。



第5図；出現点、消滅点と流星光度との関係（最小二乗法による直線解）。ふたご群(a)、ペルセウス群(b)

捉えているが、第4図で見たように、基本的には CAMS の方が平均で 0.9 等級暗い流星まで捉えているのだから、常識的には CAMS の方が発光点を高くから捉えていてもよいはずである。このことから、両者の流星検出の方法の差異が伺われる。

(2)天候等の観測条件

第1図で、太陽黄経 70~120 度のあたりは SonotaCo ネットよりも CAMS の方が多くの流星を捉えている。これは梅雨の影響が大きい。第2表でふたご群、ペルセウス群の比率が SonotaCo ネットよりも CAMS の方が低くなっているのは、CAMS の観測が行われている 2011-12 年のうち 2011 年は両群ともに満月に近い悪条件であったことが原因と考えられる。SonotaCo ネットは 2011-13 年の観測を使用しているために月齢の条件が緩和されている。

(3)流星群の定義・群判定の方法の違い

SonotaCo ネットでは”ALL_SHOWER_NAMES”というファイルによって流星群が定義づけられている。第4表に示すように、活動期間を示す太陽黄経の範囲、赤経・赤緯で表された輻射点、地心速度が基本である。最下欄に示した、おうし南群(STA)は太陽黄経で 178 度(sol1)から 275 度(sol2)までの非常に長い活動期間を想定している。

第4表：SonotaCo ネットで使用されている流星群の定義表”ALL_SHOWER_NAMES”の一部を示す。

_code	_name	_sol1	_sol2	_solp	_ra	_dec	_dra	_ddec	_vg	_R	_dv	IAU#	IAUcode
_J5_Cap	Alpha Ca	114.2554	138.378	126.1396	305.7054	-9.42002	0.498843	0.260231	22.35723	6	3	#1	CAP
_J5_Cor	Dec. Cor	243.981	311.1886	265.6826	159.7097	31.57298	0.794832	-0.32215	62.9684	6	4	#20	COM
_J5_etA	Eta Aqua	34.74393	68.66069	46.28019	338.3489	-0.76604	0.621568	0.290403	65.36826	5	5	#31	ETA
_J5_Leo	Leonids	220.9246	247.1227	235.4331	153.9164	21.85383	0.559125	-0.39007	69.96555	4	7	#13	LEO
_J5_Lyr	April Lyri	24.26708	41.59422	32.53246	272.5742	33.17207	0.817925	-0.29445	46.66568	5	5	#6	LYR
_J5_Ori	Orionids	178.8869	234.0035	207.9266	95.45098	15.52253	0.609658	0.013442	66.21321	4	8	#8	ORI
_J5_Per	Perseids	119.0332	160.4565	139.2121	47.18002	57.70816	1.165757	0.189175	58.7264	5	20	#7	PER
_J5_Qua	Quadrant	276.4105	291.086	283.1022	229.9551	48.96732	0.148969	0.166294	39.96465	5	6	#10	QUA
_J5_sdA	South. De	118.0303	145.4059	129.7355	341.88	-16.1768	0.619841	0.263918	39.41088	4	4	#5	SDA
_J5_sTa	South. Te	177.9942	275.2837	219.7113	50.07141	13.36862	0.726863	0.161376	27.22767	6	5	#2	STA

これに対して CAMS では Jopek の D_H という軌道要素を元にして判定方法行われている。 D_H は以下に示すように、 D_{SH} の近日点距離の項を変形したもので、これと第6図に示すような軌道要素の分布密度を併用して、流星群の広がりや個別に判断している。さらには、赤経・赤緯による輻射点分布も併用して、おうし群などの ANT 領域の流星群をかなり細かく分割している。ここには主観の入る余地がかなりある。

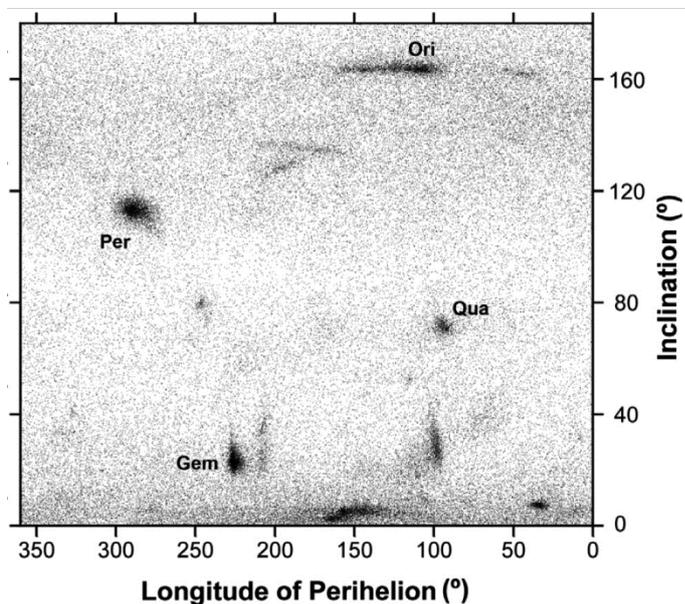
$$\begin{aligned}
 [D_{SH}]^2 &= (e_2 - e_1)^2 + (q_2 - q_1)^2 \\
 &+ \left(2 \sin \frac{I_{21}}{2}\right)^2 + \left(\frac{e_2 + e_1}{2}\right)^2 \left(2 \sin \frac{\Pi_{21}}{2}\right)^2 \\
 [D_H]^2 &= (e_2 - e_1)^2 + \left(\frac{q_2 - q_1}{q_2 + q_1}\right)^2 + \left(2 \sin \frac{I_{21}}{2}\right)^2 \\
 &+ \left(\frac{e_2 + e_1}{2}\right)^2 \left(2 \sin \frac{\Pi_{21}}{2}\right)^2.
 \end{aligned}$$

具体的にどのような仕様なのかは示されていないが、”CAMS StreamFinder”というソフトを用いている。これによって、流星群の出現レベルが散在流星以下になる裾野部分や極端なデータを除外し、散在流星による見せかけの集合を流星群と誤認することが避けられるとしている。

4. CAMS と sonotaCo ネットのデータにみるふたご群とペルセウス群の違い

前章でみたように観測機材、条件、群判定の方法等に違いがある CAMS と SonotaCo ネットのデータで、流星群の見え方にどのような違いがあるのか、具体的にふたご群とペルセウス群を取り上げて比べてみることにする。

第5表にふたご群とペルセウス群の諸要素についての統計量を示す。SonotaCo ネットは前章で述べたように”ALL_Shower_Names”で定義された範囲に入っているが、CAMS には異常値が存在する。例えば、 λ - λ_s と β (太陽を中心とした黄道座標) をみると、



第6図：CAMS の軌道要素 (軌道傾斜と近日点黄経)

Min (最小値) がそれぞれ 174.3 と -39.2、最大値がそれぞれ 305.6 と 61.0 である。Mean (平均値)、Median (中

第5表 a：ふたご群の諸要素についての統計。各統計量の1行目は CAMS、2行目は SonotaCo ネット。

	$\lambda-\lambda_s$	β	Sol long	H beg	H end	Max Mv (nVg)	e	q	i	ω	Ω	1/a	
Min	174.3	-39.2	243.2	85.3	54.1	-6.1	6.8	0.128	0.059	4.0	0.7	81.5	-1.792
	195.8	1.0	236.0	50.8	40.5	-5.5	18.6	0.604	0.038	2.4	301.2	236.0	-0.221
Max	305.6	61.0	269.8	117.6	114.4	5.0	65.9	1.148	0.829	148.0	338.8	269.7	1.602
	217.6	17.2	289.2	189.0	173.0	3.9	48.5	1.036	0.346	55.9	340.3	289.2	1.290
Mean	208.1	10.5	261.1	97.0	85.0	1.6	34.1	0.891	0.144	23.3	324.0	261.0	0.749
	208.1	10.4	261.4	94.5	80.9	0.5	34.0	0.890	0.145	23.0	324.2	261.4	0.754
SD	2.40	1.56	2.21	2.51	4.41	1.38	1.99	0.026	0.020	4.02	8.13	4.89	0.119
	1.37	1.35	3.07	4.52	7.09	1.00	1.85	0.023	0.019	3.49	2.53	3.07	0.105
Median	208.1	10.5	261.7	97.0	85.5	1.7	33.8	0.889	0.145	22.9	324.3	261.7	0.766
	208.1	10.5	261.8	94.5	82.2	0.5	33.9	0.890	0.145	22.9	324.3	261.8	0.763

第5表 b：ペルセウス群の諸要素についての統計。各統計量の1行目は CAMS、2行目は SonotaCo ネット。

	$\lambda-\lambda_s$	β	Sol long	H beg	H end	Max Mv (nVg)	e	q	i	ω	Ω	1/a	
Min	275.9	29.5	116.0	89.4	65.8	-6.5	53.4	0.609	0.819	97.9	126.8	116.0	-3.265
	274.0	30.6	109.8	57.1	45.7	-7.3	34.6	0.187	0.360	82.1	18.0	109.8	-0.909
Max	292.2	47.3	157.2	142.7	115.8	4.7	84.8	4.070	1.002	128.9	167.9	157.2	0.411
	292.5	43.3	170.2	160.8	133.1	3.6	69.8	1.817	1.003	128.1	171.8	170.2	1.407
Mean	283.4	38.6	137.9	111.5	97.6	0.3	59.5	0.993	0.947	113.1	150.3	137.9	0.009
	283.1	38.4	138.2	108.3	93.5	-0.2	59.0	0.948	0.947	113.0	149.9	138.2	0.058
SD	1.85	1.77	5.54	4.04	4.79	1.52	2.40	0.218	0.020	2.98	4.99	5.54	0.226
	1.83	1.53	5.73	4.15	6.07	1.12	1.98	0.123	0.031	2.89	8.22	5.73	0.143
Median	283.3	38.5	139.3	110.9	98.0	0.4	59.1	0.951	0.949	113.1	150.4	139.3	0.052
	283.0	38.5	139.3	108.2	94.4	-0.2	59.2	0.956	0.951	113.1	150.8	139.3	0.047

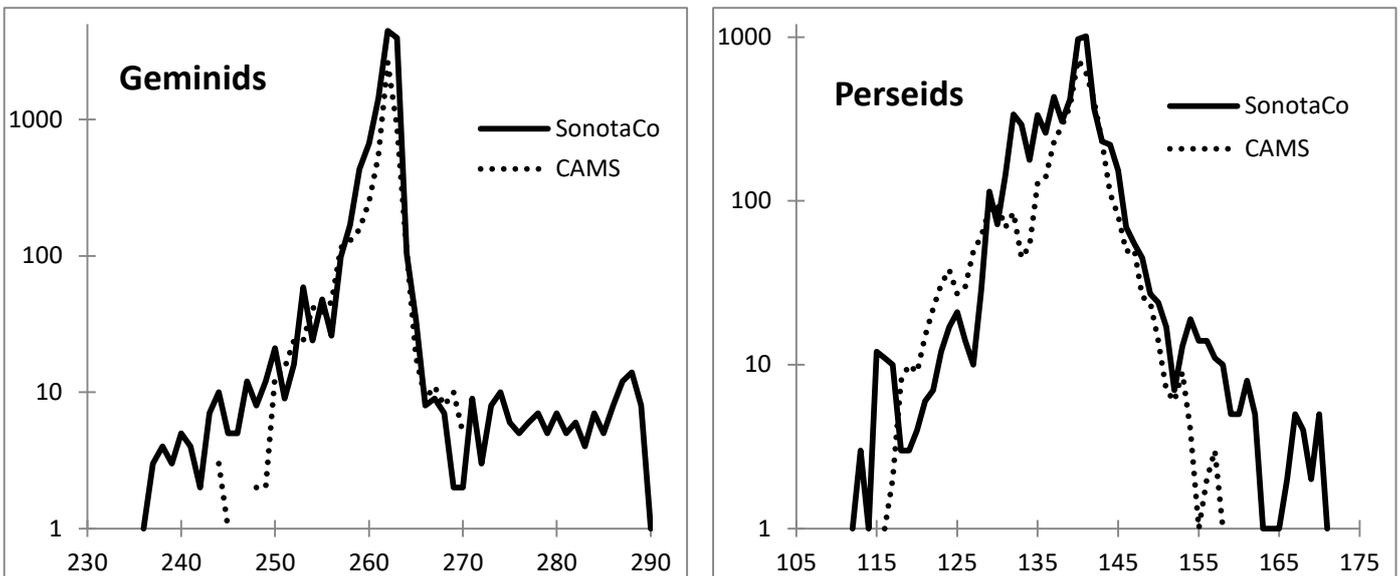
中央値)と比べてみると、その異常さがわかる。公表されている軌道を入力する際に手作業でしたために起きたミスなのか、ソフト上の欠陥なのか理由は不明である。

しかし、SD (標準偏差)を比べると、ふたご群についてもペルセウス群についても、両者がほぼ同一であることがわかる。これは両群のデータ数が多く (CAMS、SonotaCo ネットの順にふたご群 5,064 個、11,804 個、ペルセウス群 8,161 個、9,437 個)、異常値が埋もれたためであり、また、両者の観測精度がほぼ同一であることを示していると考えられる。

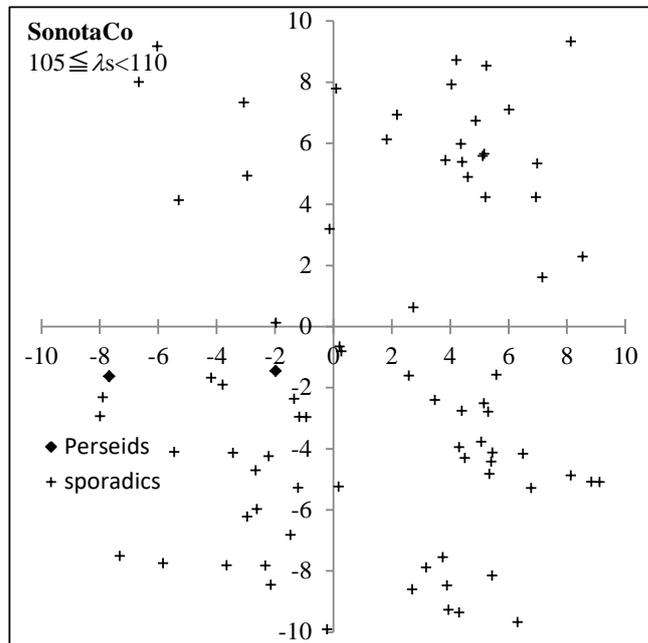
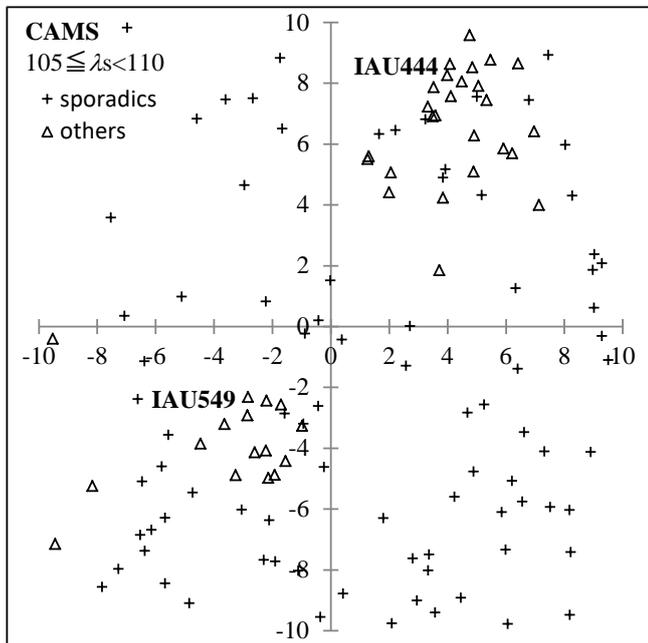
前章 (第5図) で述べたように、発光点・消滅点において CAMS と SonotaCo ネットには違いが見られ、第5表でも Hbeg (発光点)、Hend (消滅点) の SD は CAMS よりも SonotaCo ネットの方が大きくなっている。輻射点、地心速度、さらには軌道要素に影響を及ぼさないのだから、基本的に観測経路の延長上で SonotaCo ネットは CAMS よりも、より高い (より低い) 部分まで捉え (検出) しているのかもしれない。

最後にここで CAMS と SonotaCo ネットにおける流星群の定義の違いがどのように現れるか、出現期間と周囲の小流星群の扱いを見ることにする。第7図のグラフで示されるように、極大前後の流星数の推移は CAMS と SonotaCo ネットでほぼ一致しているが、CAMS では散在流星に埋もれる期間を除外しているのに対して SonotaCo ネットでは定義される期間に規定された出現開始・終了の時期となっている。

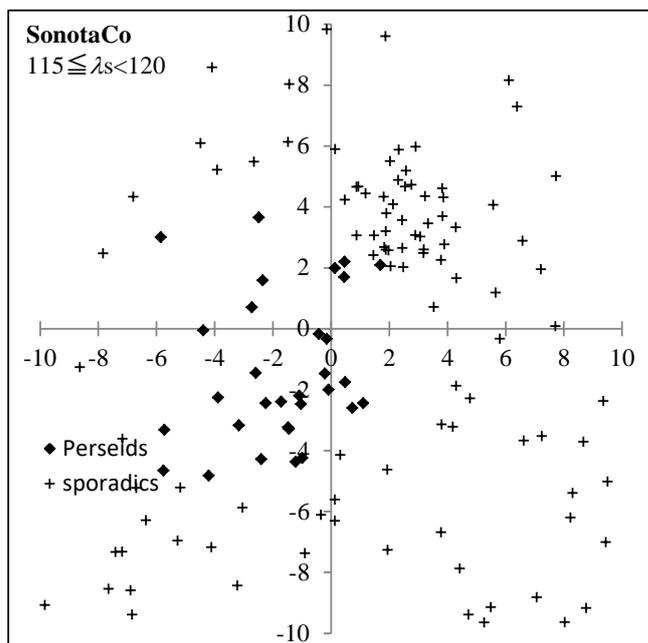
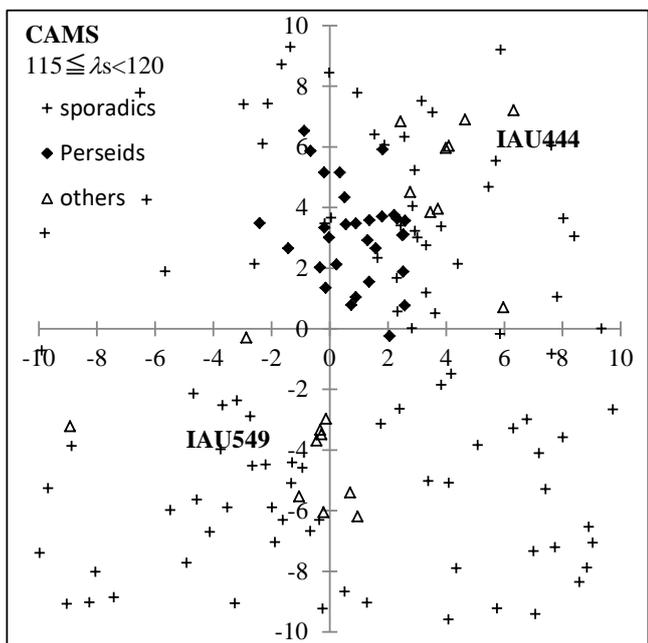
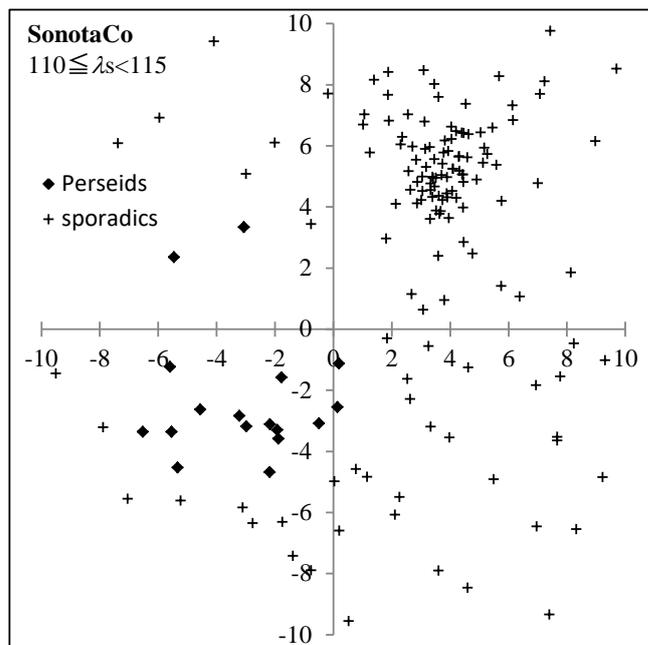
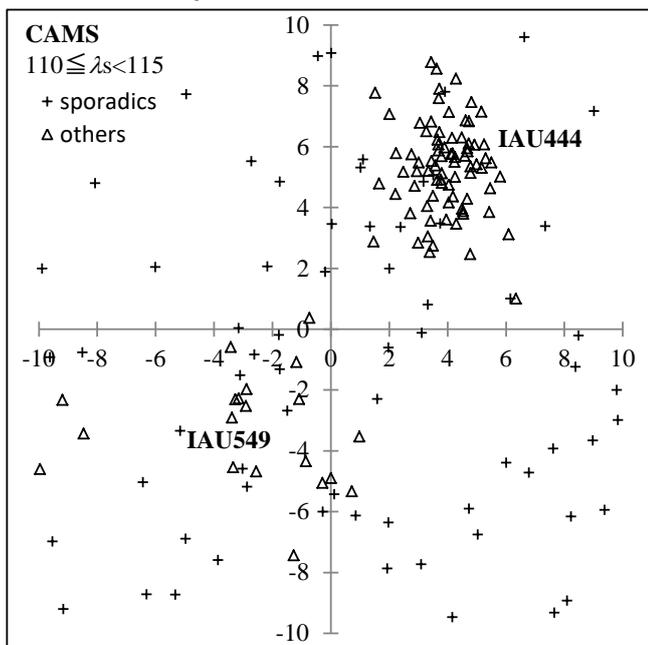
第8図にペルセウス群の輻射点分布を示すが、CAMS では散在流星または別群とされる期間、位置の流星が SonotaCo ネットではペルセウス群と判定されていることがわかる。分布図の右下方向は Apex (地球の軌道運動の進行方向) にあたり、CAMS の $\lambda_s \geq 160$ の分布図に見られるように、右下方向に向けて輻射点が増加する判定の難しい領域であることに注意が必要である。

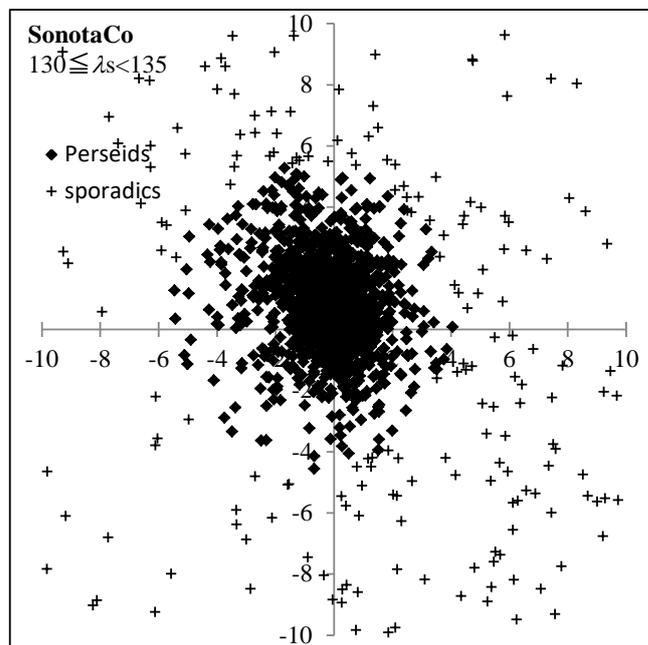
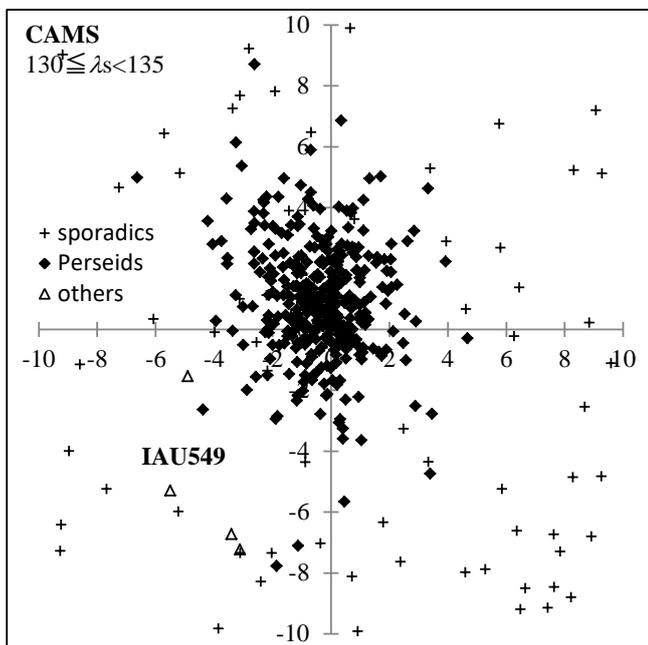
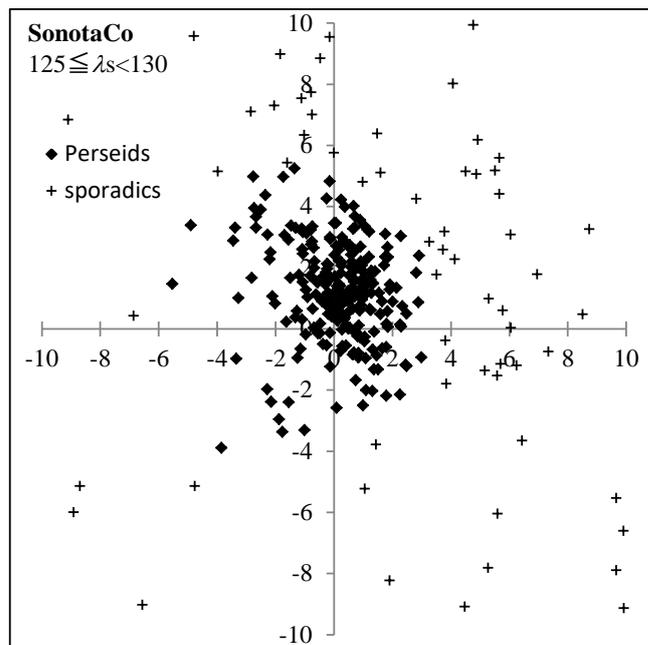
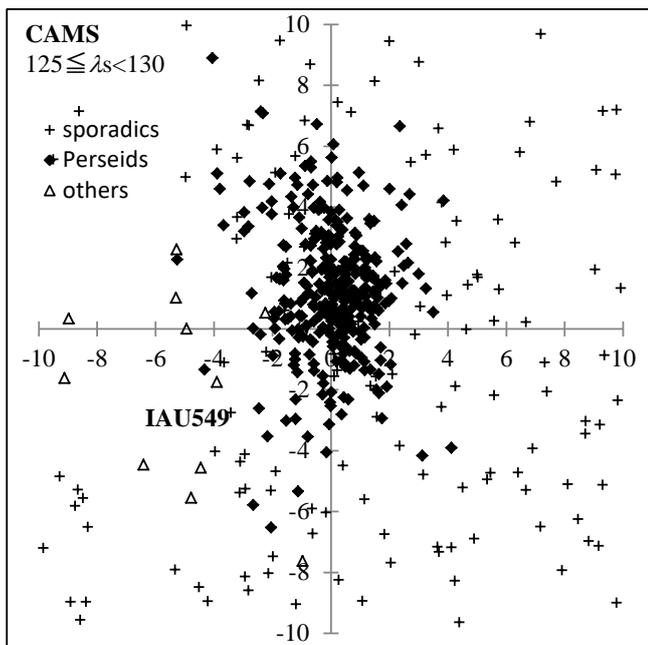
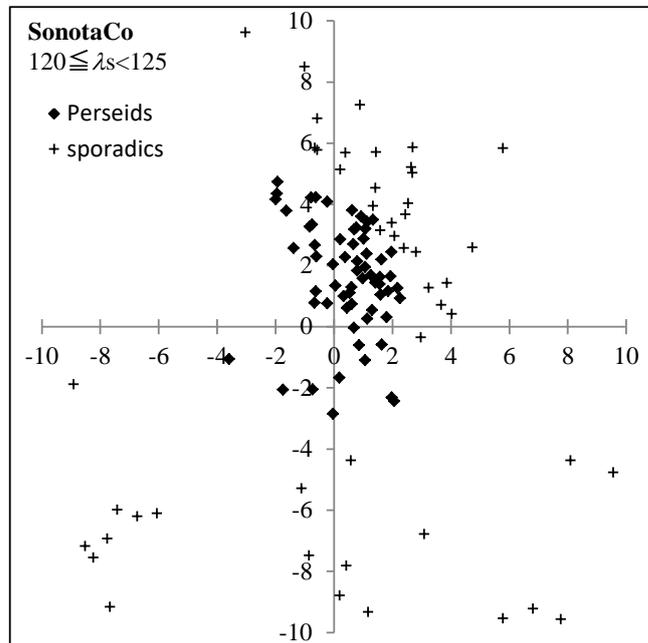
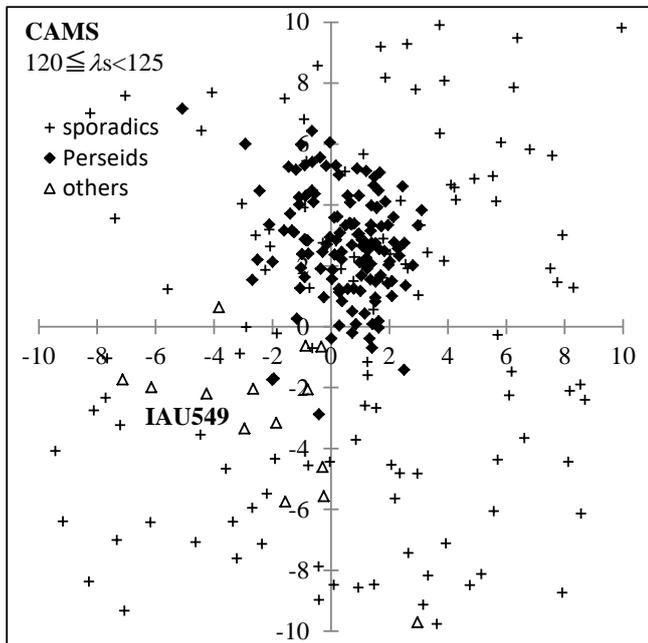


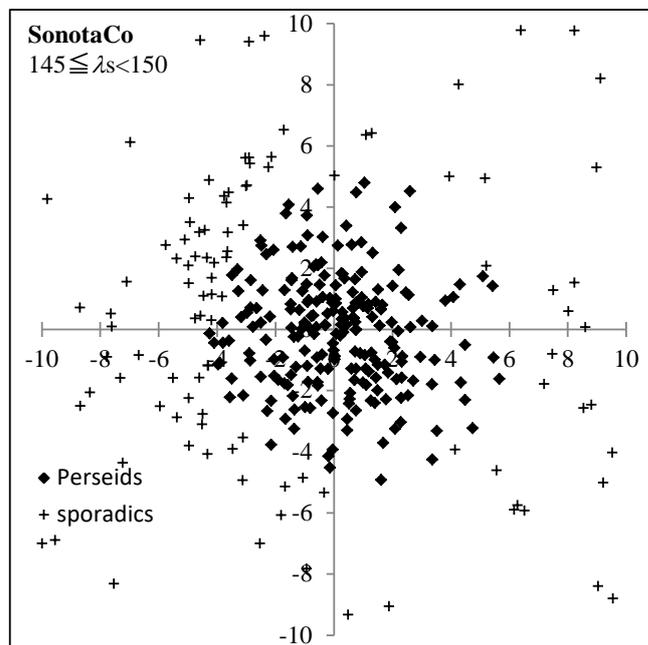
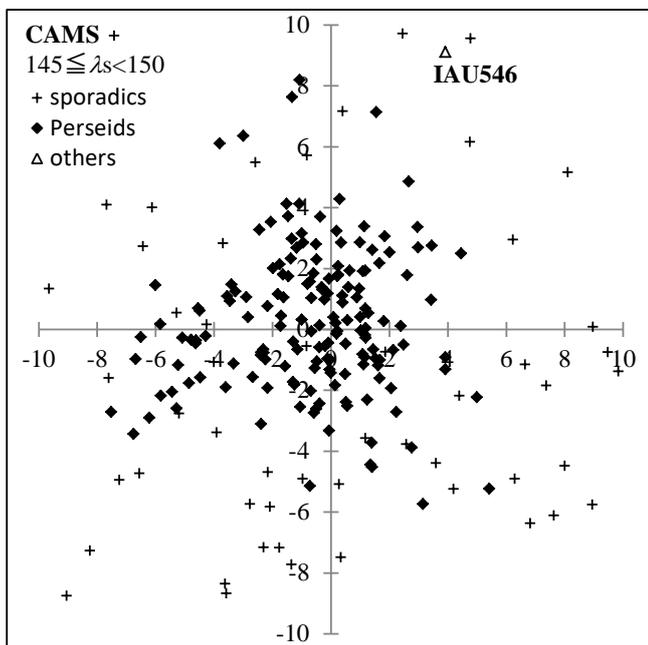
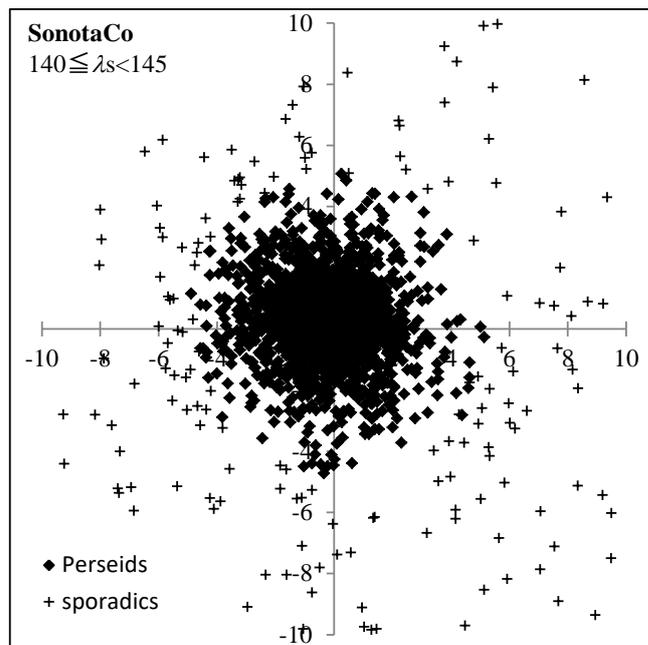
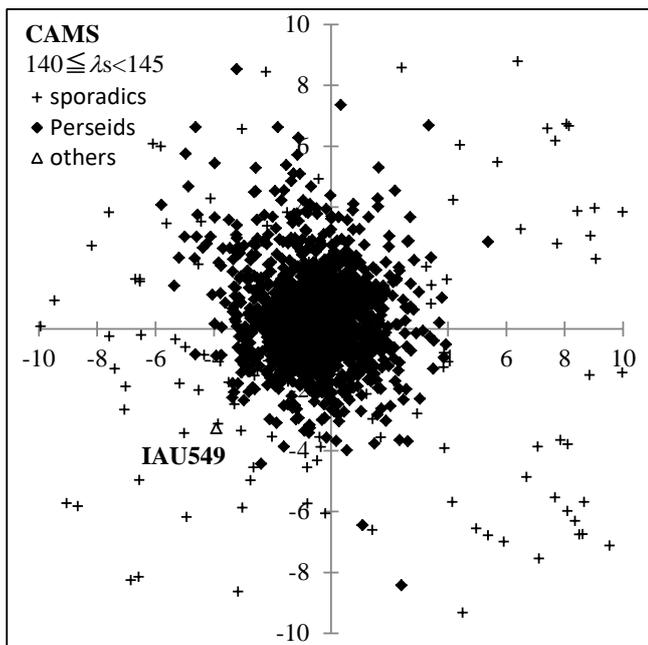
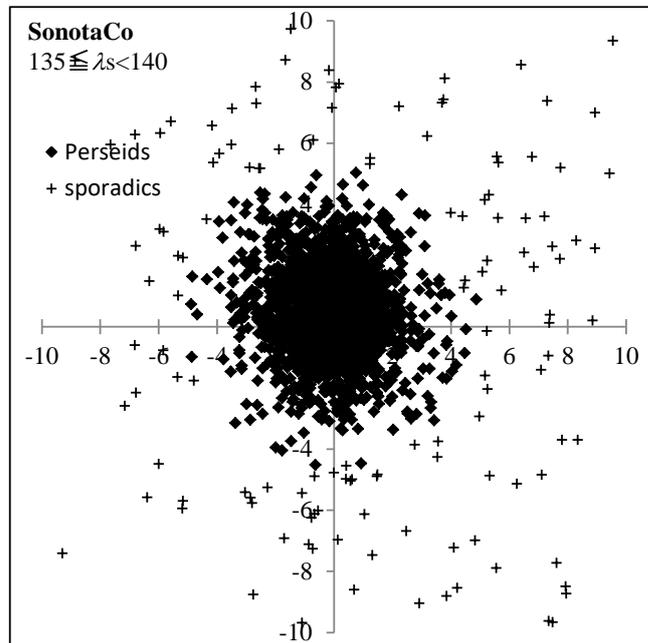
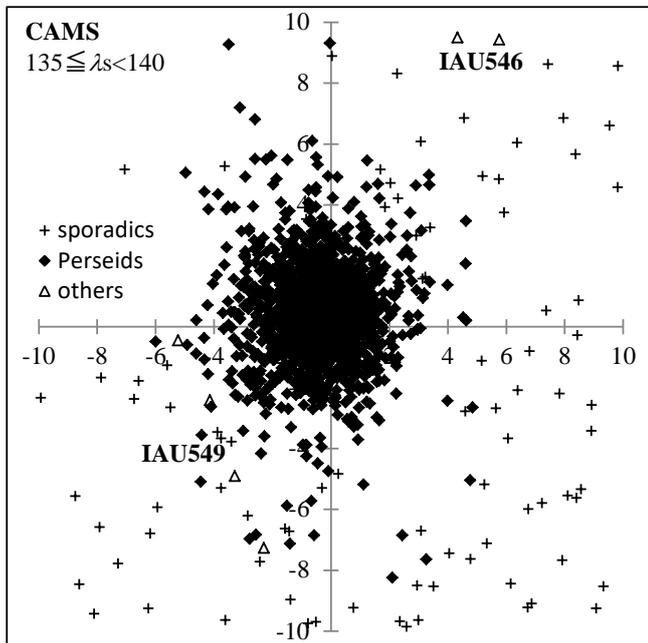
第7図：資料自体が群流星と判定した観測流星数の出現分布。縦軸は対数による。

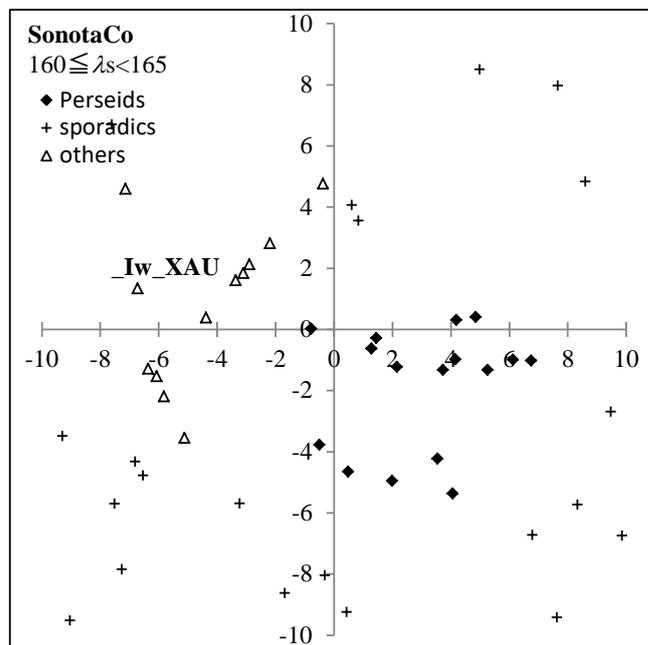
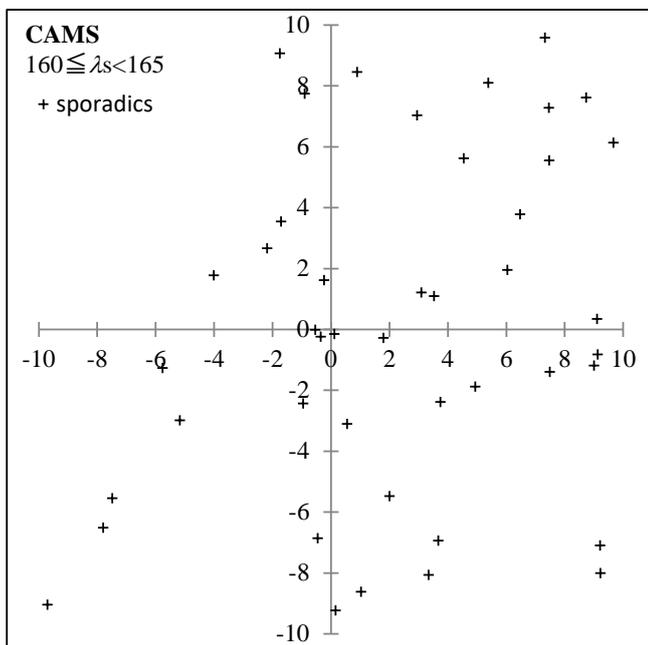
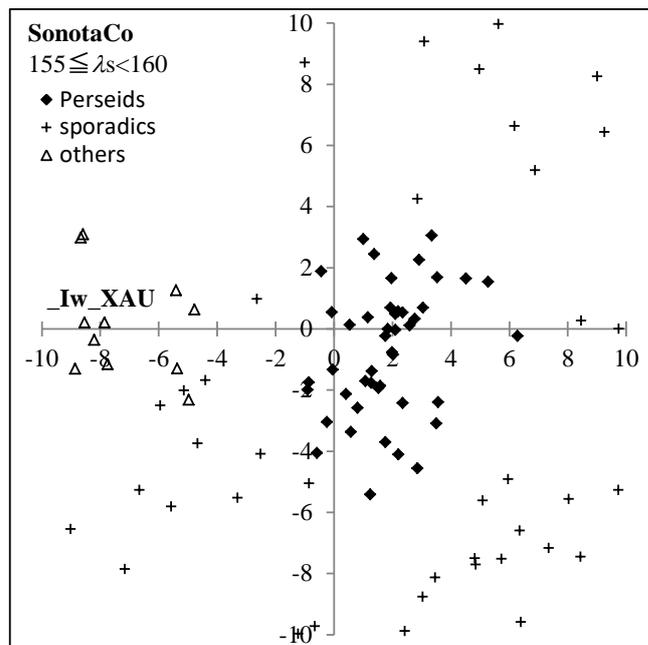
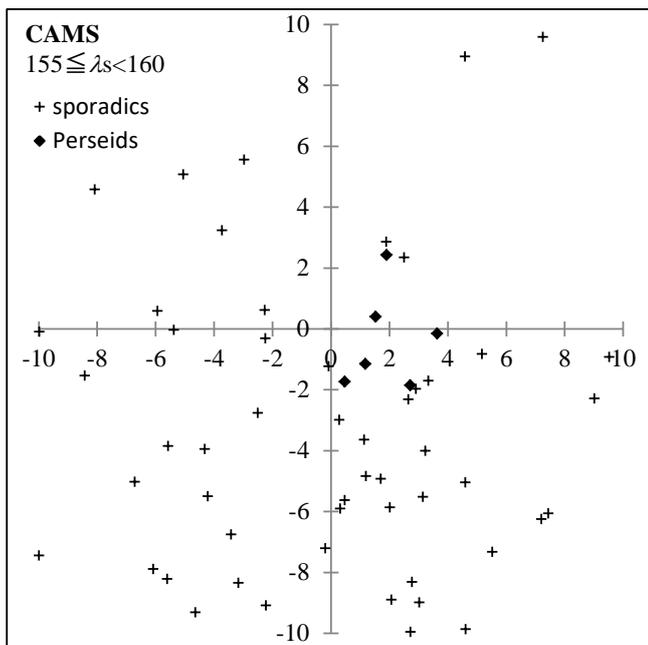
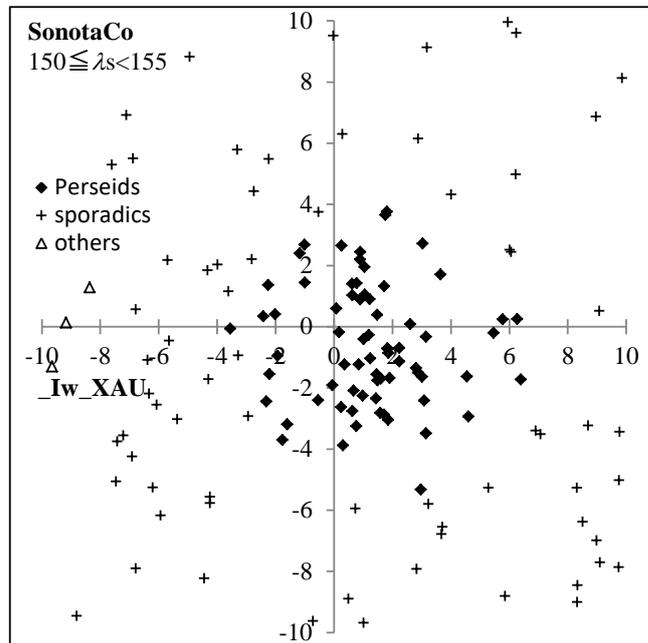
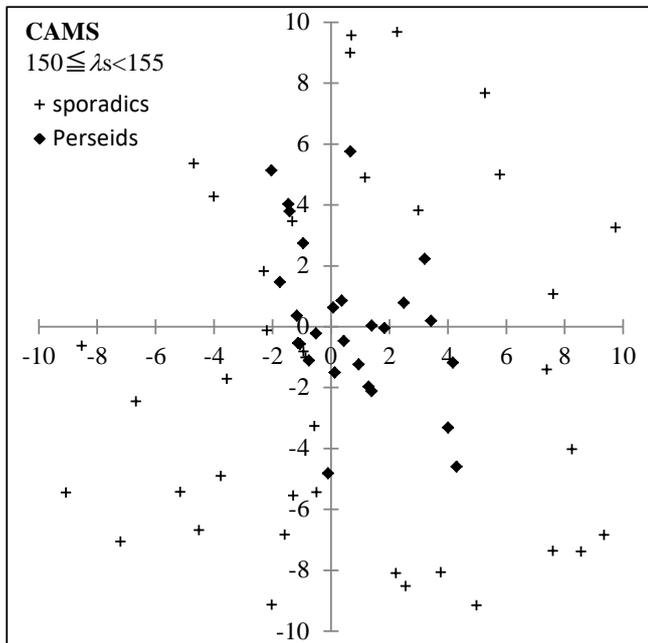


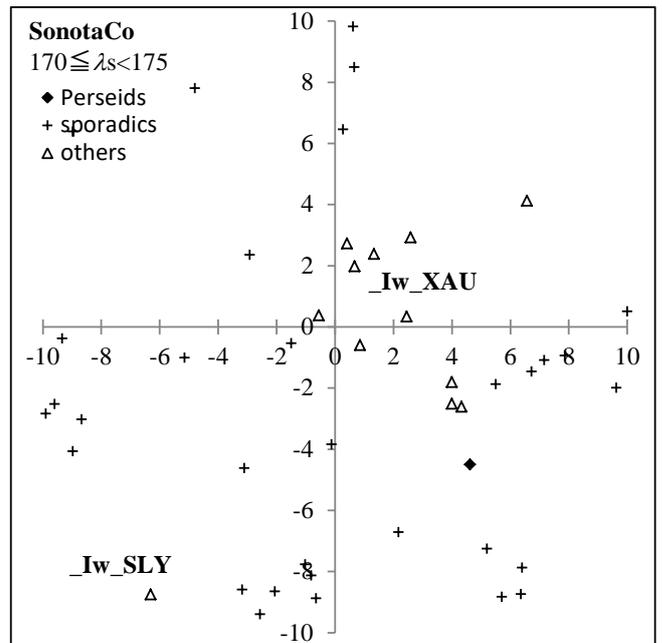
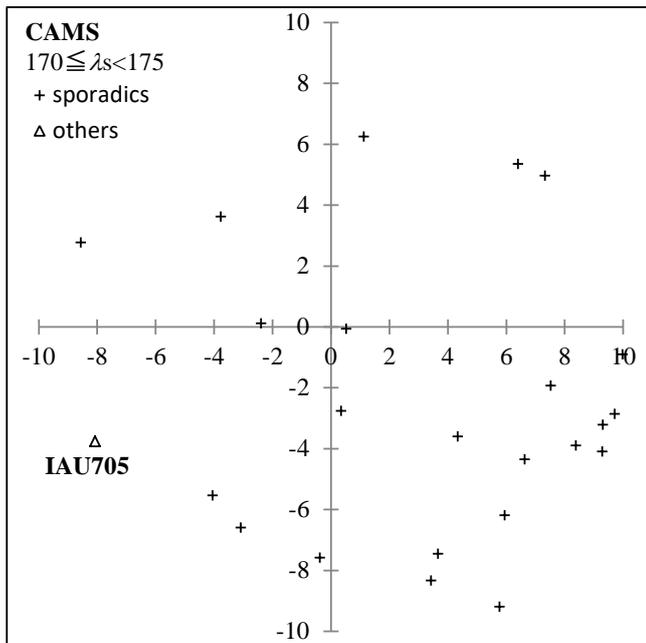
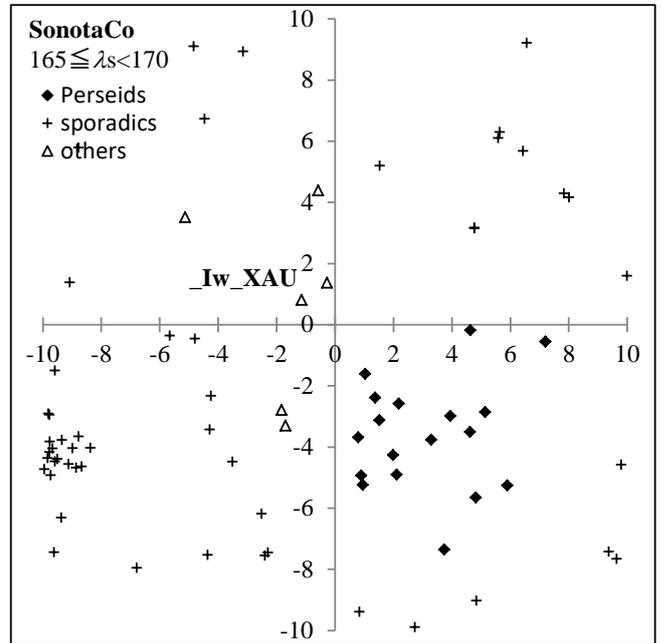
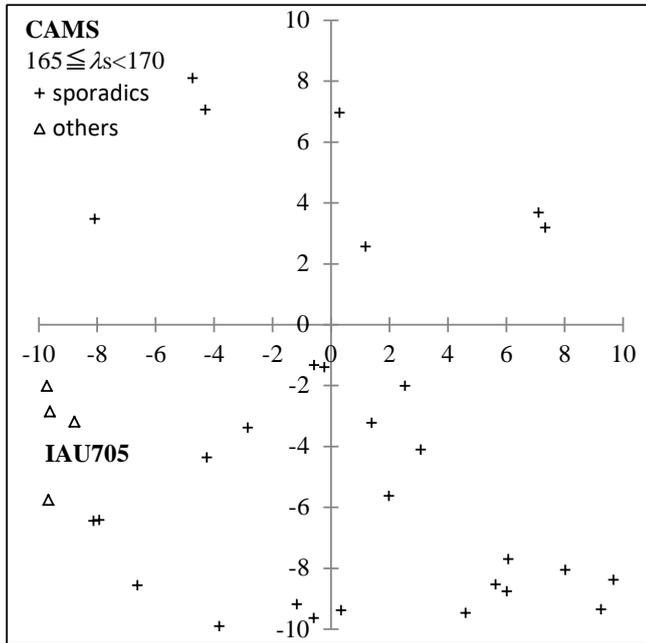
第 8 図 : $(\lambda - \lambda_s, \beta) = (283, 38)$ を中心とする、観測された全流星の輻射点分布図。補注参照。











5. まとめ

CAMSはSonotaCo ネットよりも長焦点のレンズを使用しており、得られるデータはより高精度と推測されるが、今回のデータ比較で精度に関して大きな差異は認められなかった。しかし、SonotaCo ネットで低速の流星数がCAMSに比べて少ないことには、レンズの焦点距離の違いが影響しているとみられる。また、消滅点高度に差がみられるのは、流星像を自動検出するソフトの違いによるものと考えられる。

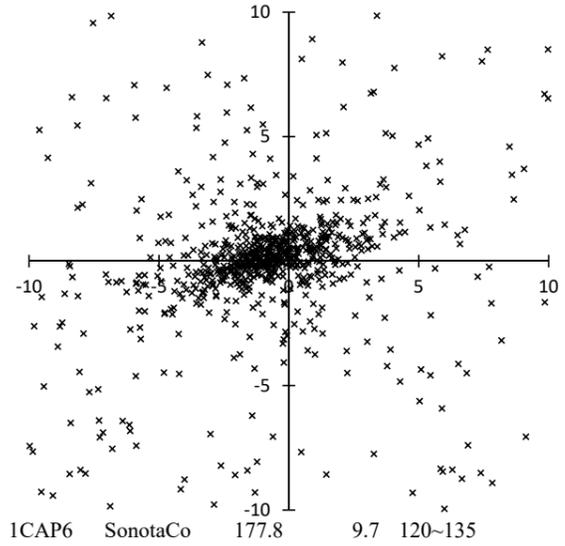
CAMSとSonotaCo ネットで大きな違いがみられるのは、流星群の定義法である。前者は軌道要素、後者は輻射点を基本にしており、この違いによって、流星群の出現期間、平均要素に違いを生じている。特にSonotaCo ネットの群判定においては、出現期間がかなり長く設定されていることに注意が必要である。また、小流星群になると、どのように流星群を定義するかによって、存在の有無自体も相違してくることに留意しなければならない。

補注1：第2表における_S26は以下のデータに基づいている。

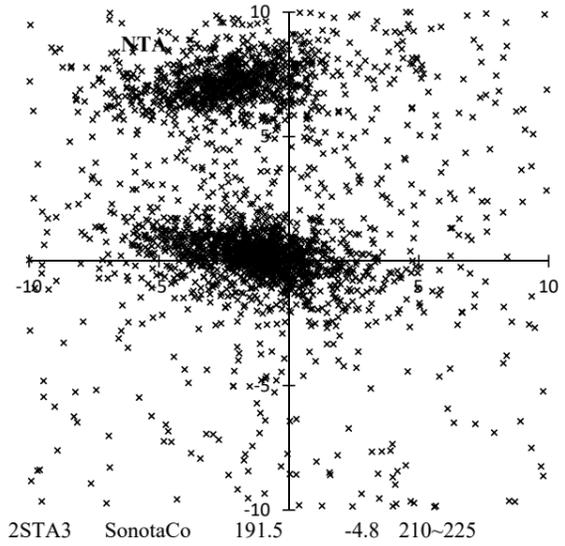
Sirko Molau, 2008, "A New Analysis of the IMO Video Meteor Database", Proceeding of the International Meteor Conference, 76-90.

ID	Period	Maximum	α	δ	$\lambda-\lambda_s$	β	Vel.	Name
_sm_026	87-127	101	15.3	23.5	282	23	70	N.Apex

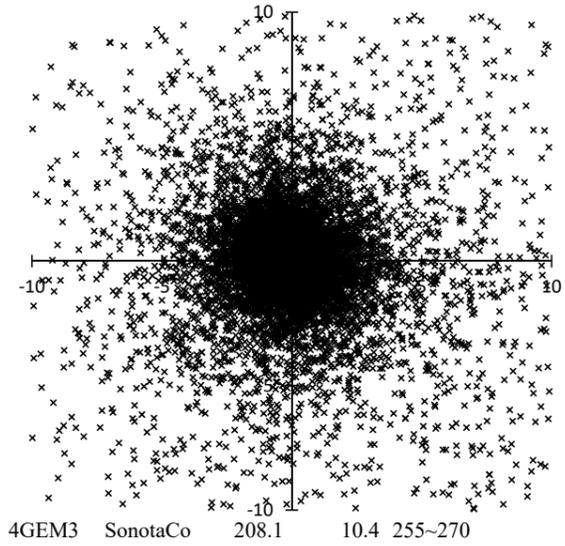
補注2：輻射点分布図内においてSonotaCo ネットで使用されている_Iw_XXXはIAUMDCのworking listの流星群でXXXにあたる略号はIAUMDCのものである。



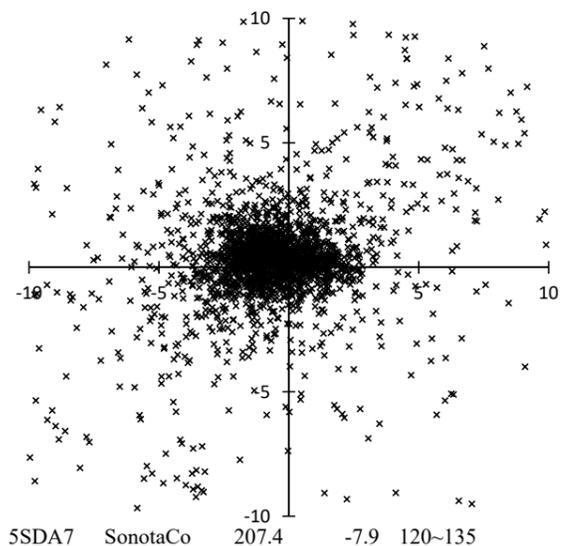
1CAP6 SonotaCo 177.8 9.7 120~135



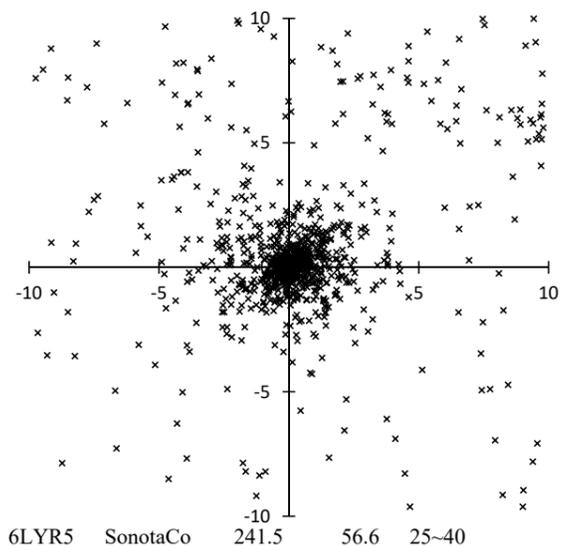
2STA3 SonotaCo 191.5 -4.8 210~225



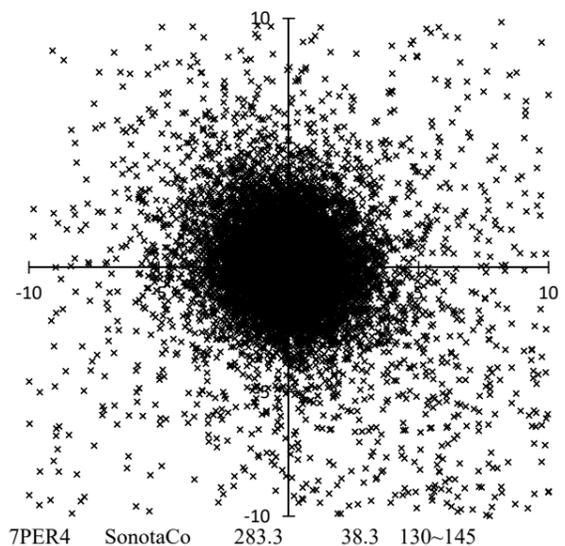
4GEM3 SonotaCo 208.1 10.4 255~270



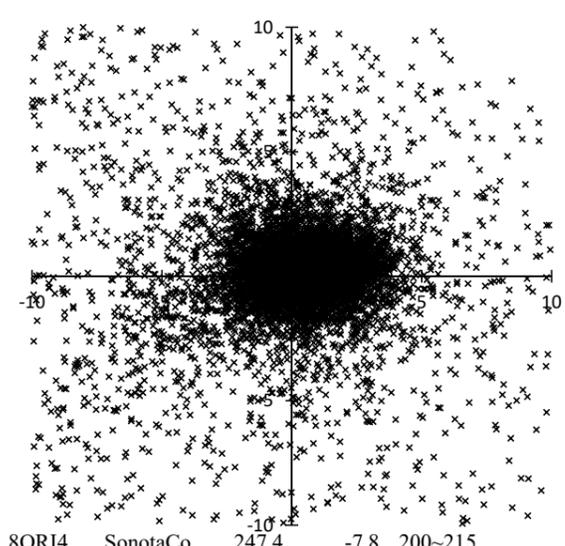
5SDA7 SonotaCo 207.4 -7.9 120~135



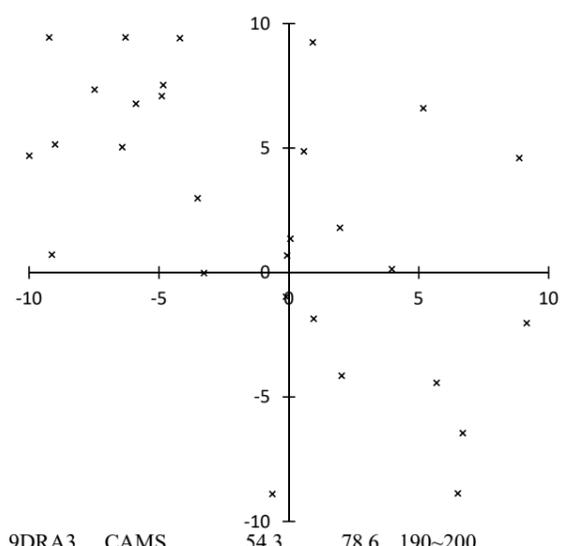
6LYR5 SonotaCo 241.5 56.6 25~40



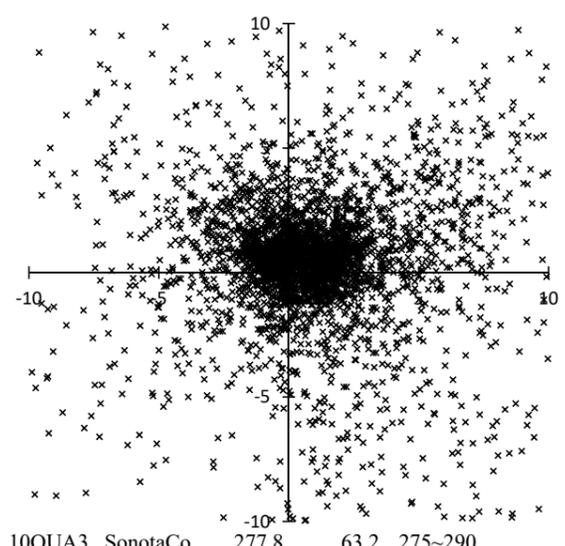
7PER4 SonotaCo 283.3 38.3 130~145



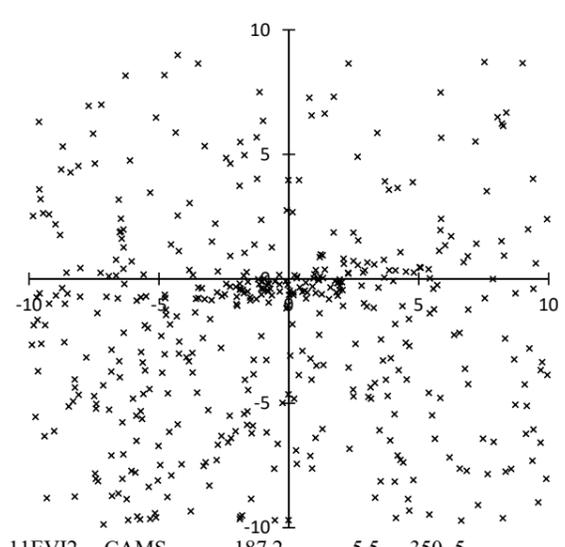
8ORI4 SonotaCo 247.4 -7.8 200~215



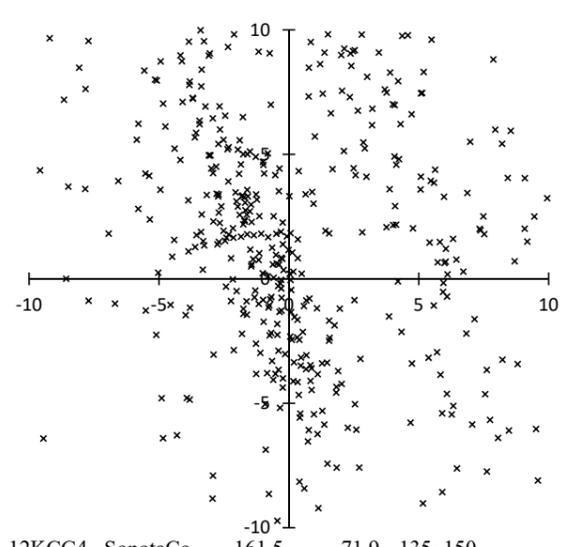
9DRA3 CAMS 54.3 78.6 190~200



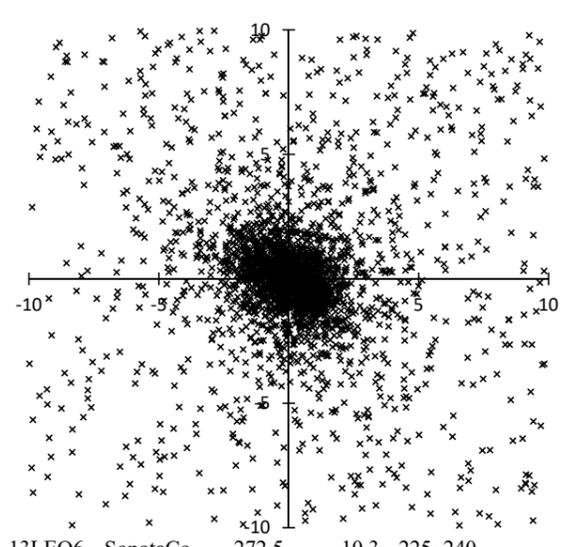
10QUA3 SonotaCo 277.8 63.2 275~290



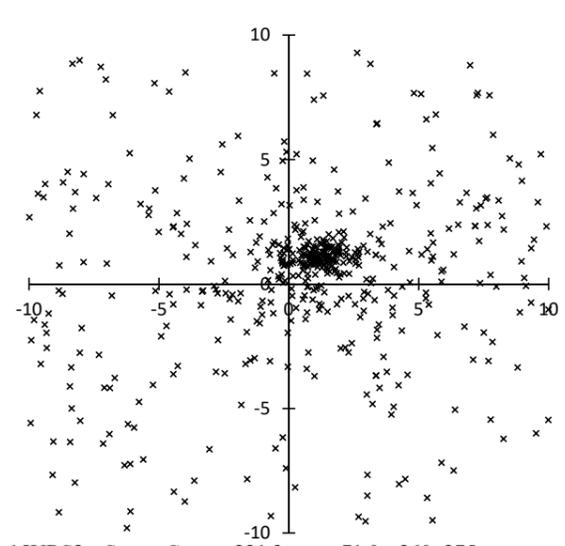
11EVI2 CAMS 187.2 5.5 350~5



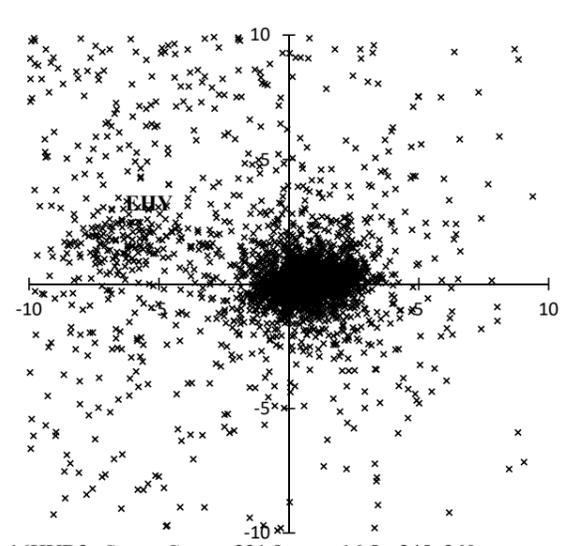
12KCG4 SonotaCo 161.5 71.9 135~150



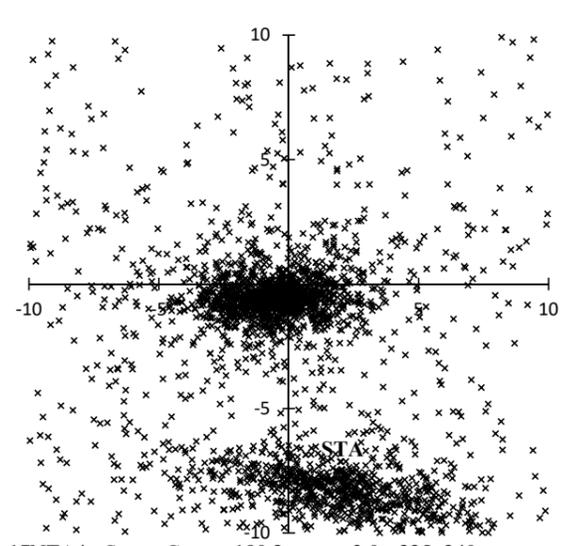
13LEO6 SonotaCo 272.5 10.3 225~240



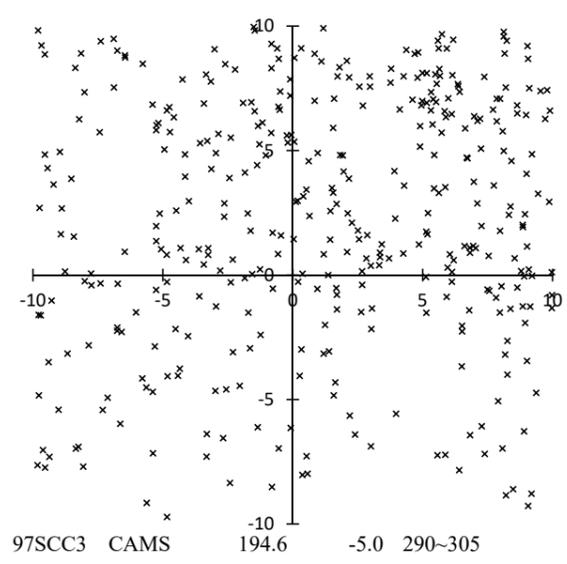
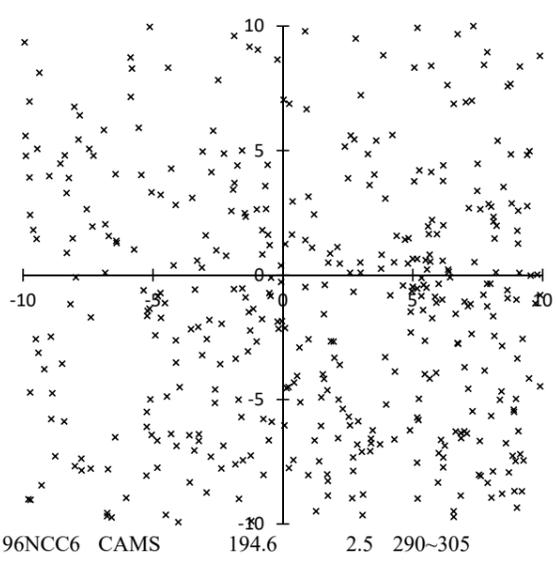
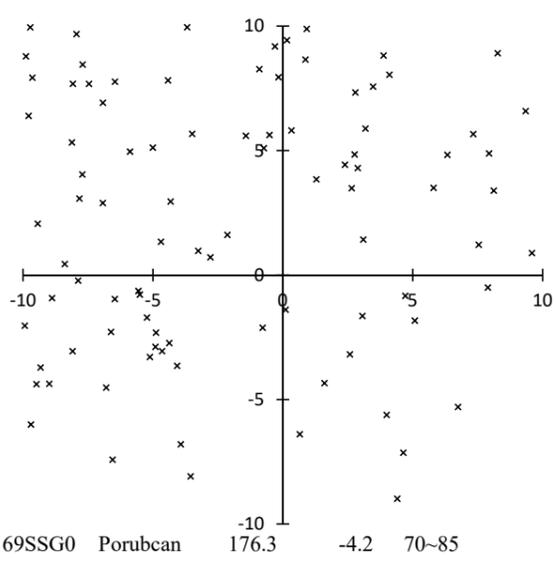
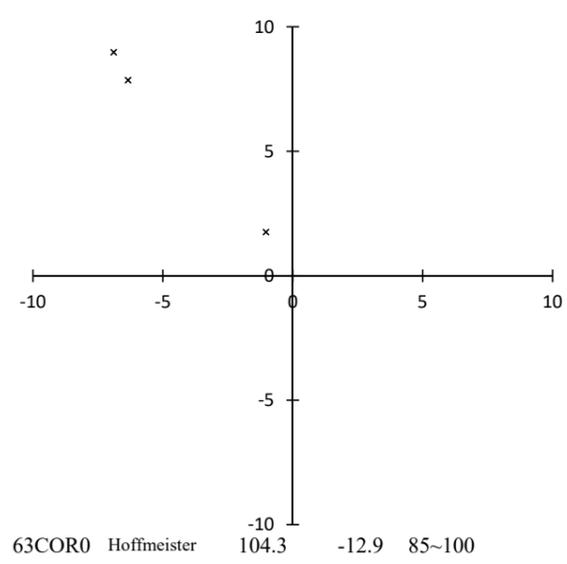
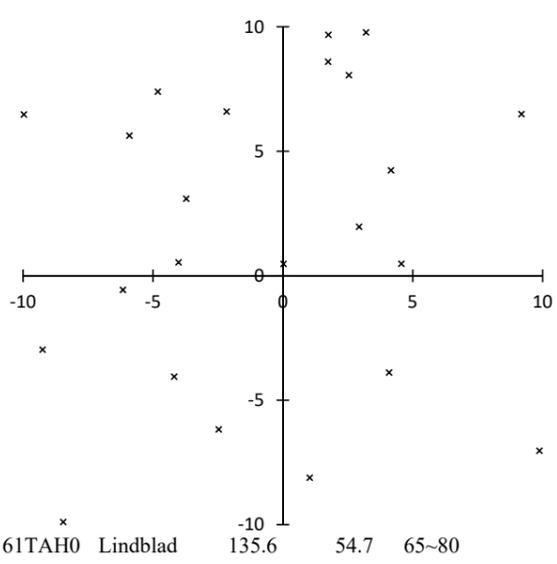
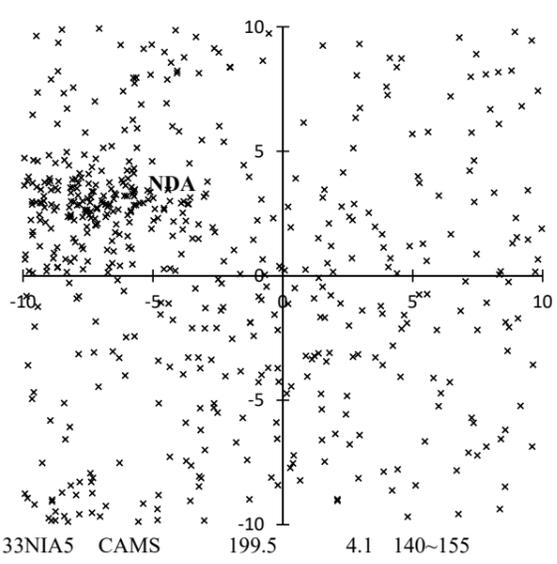
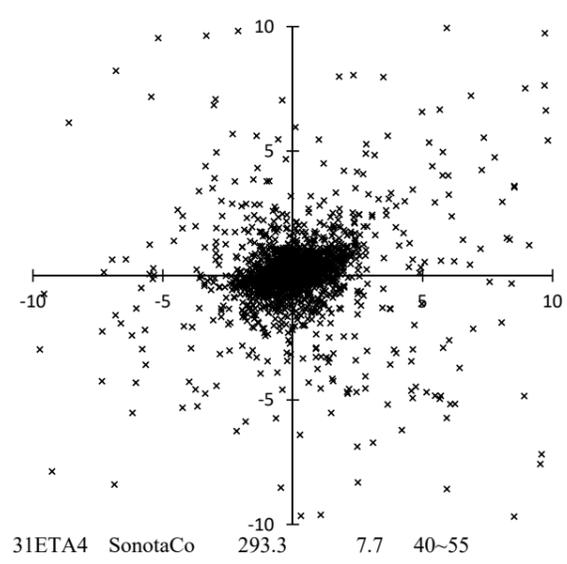
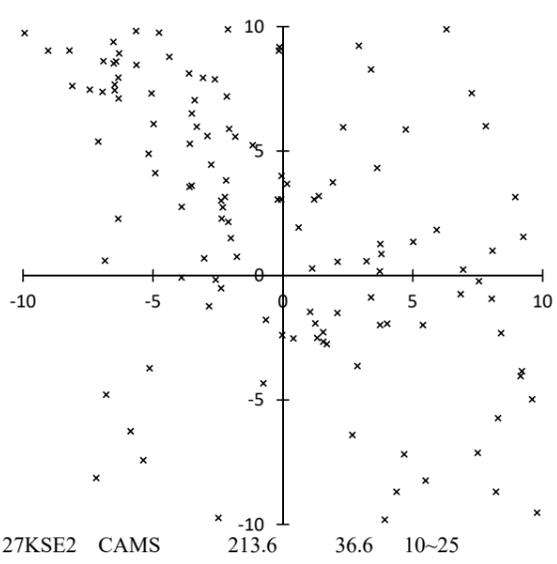
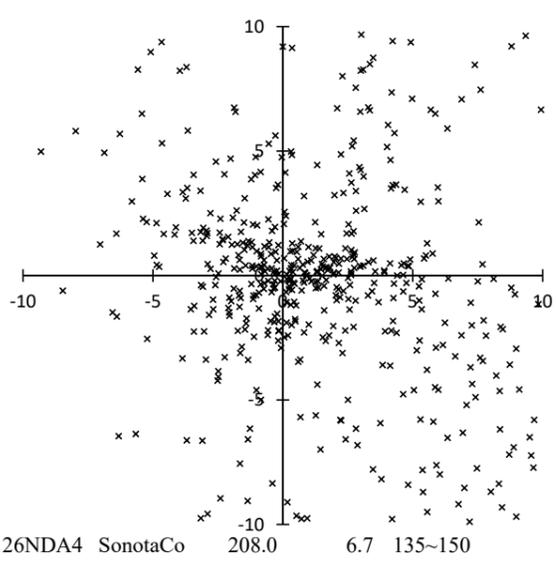
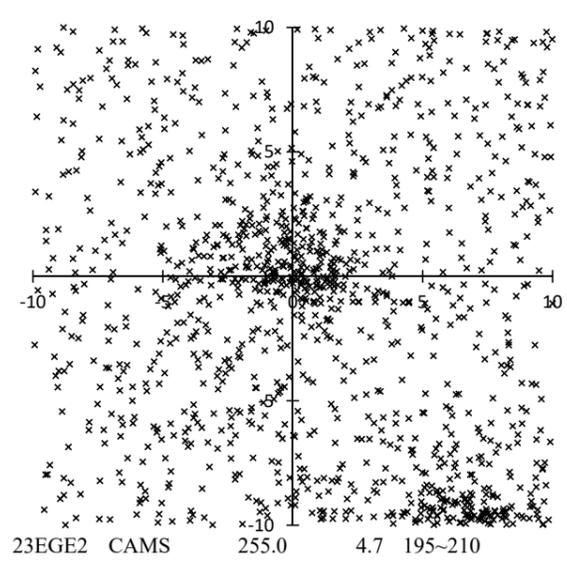
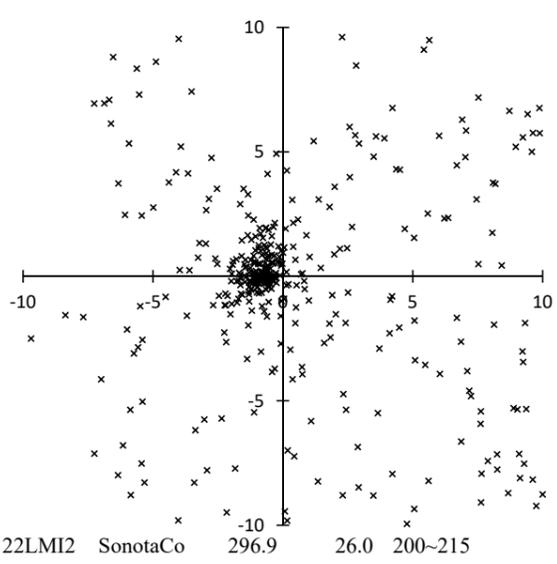
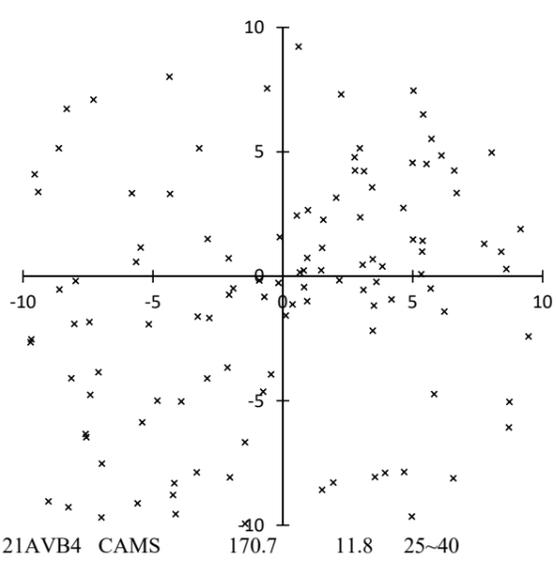
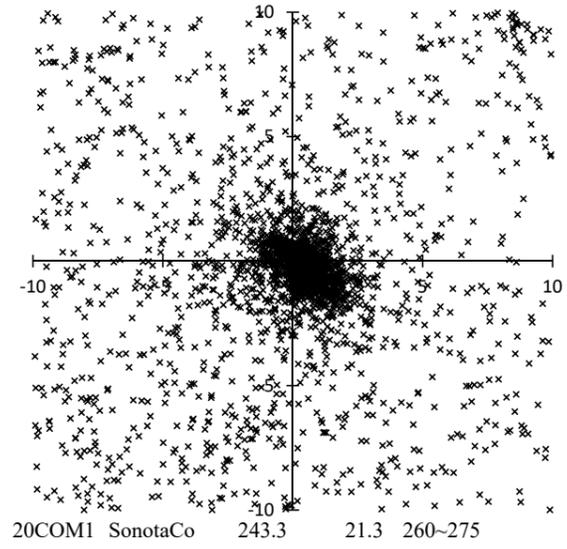
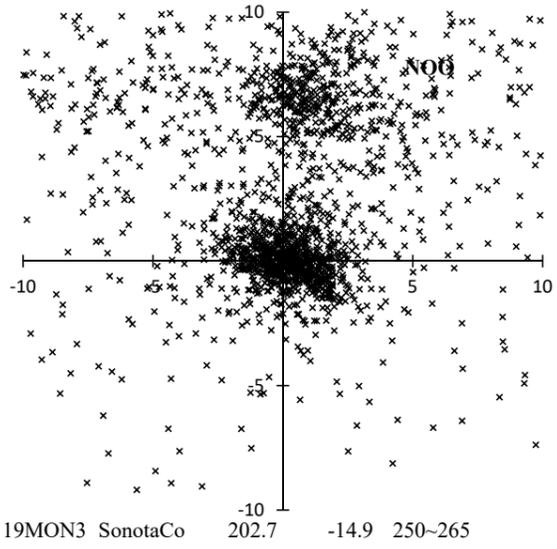
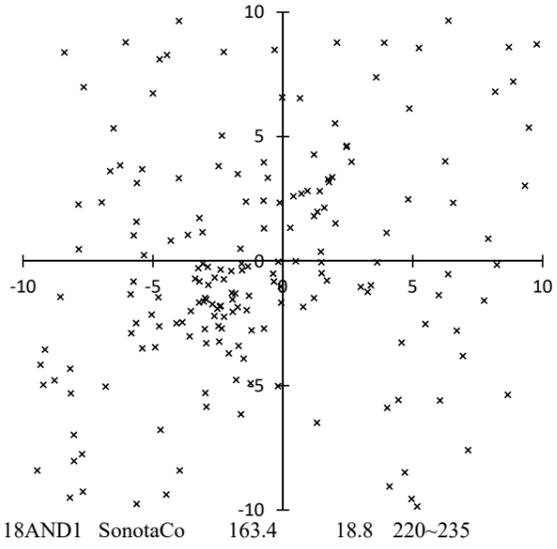
15URS2 SonotaCo 221.3 71.0 260~275

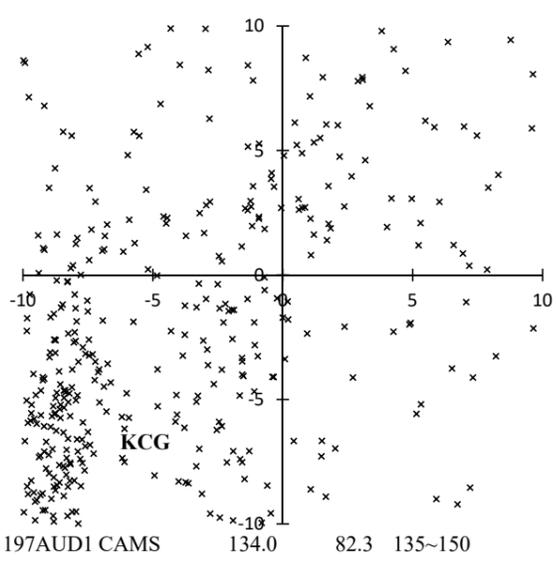
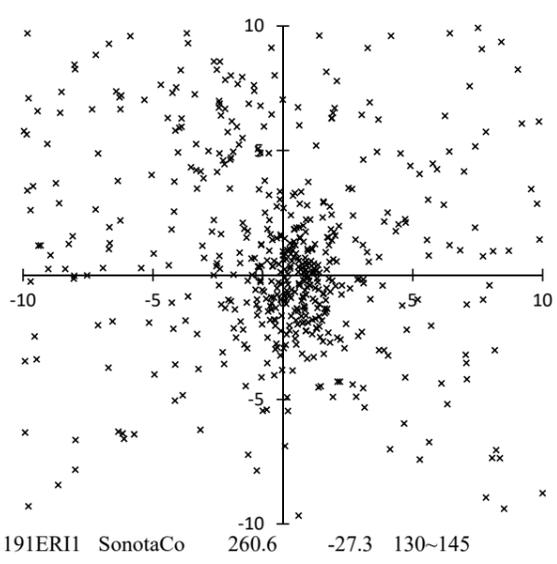
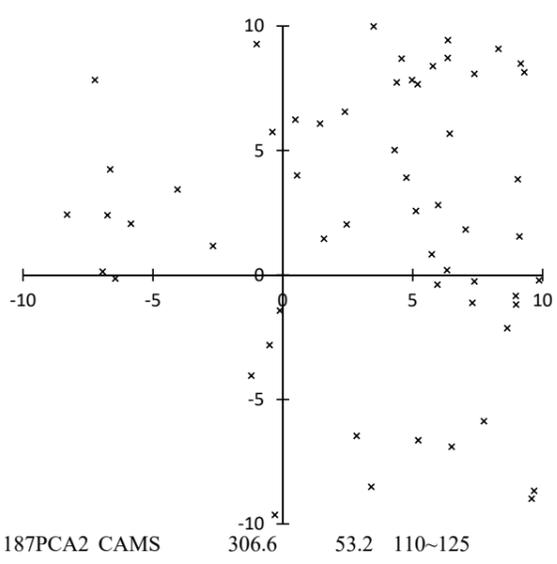
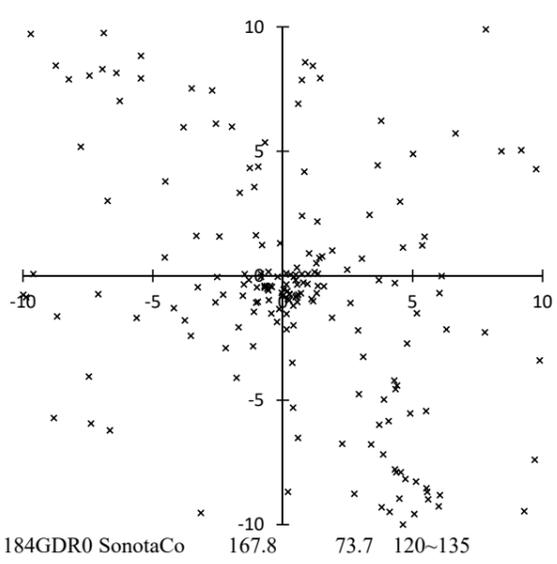
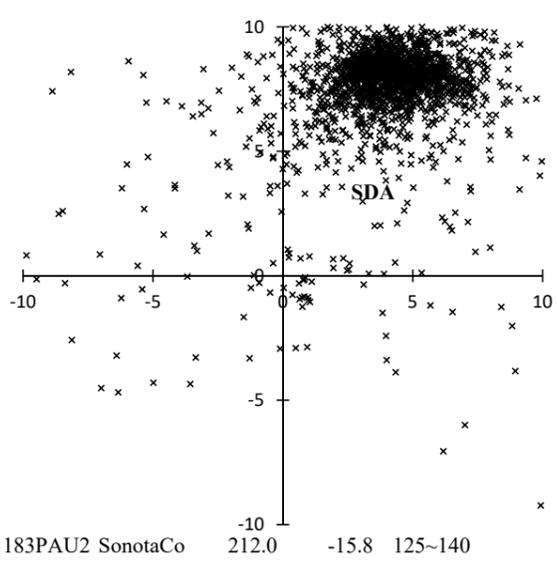
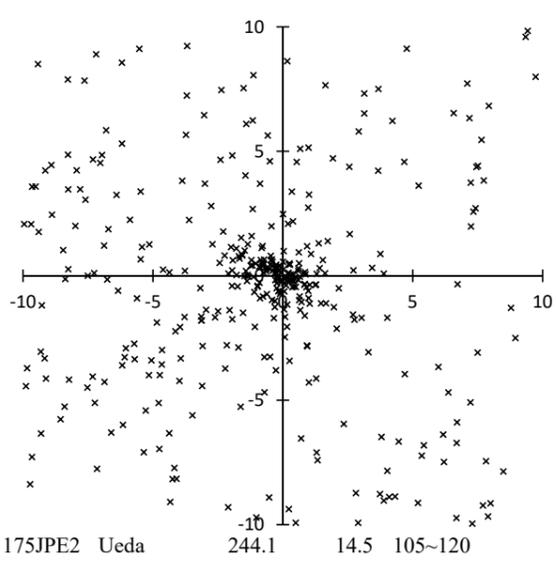
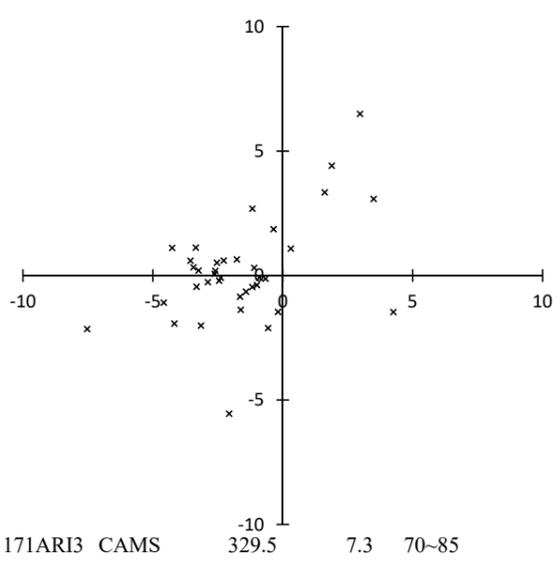
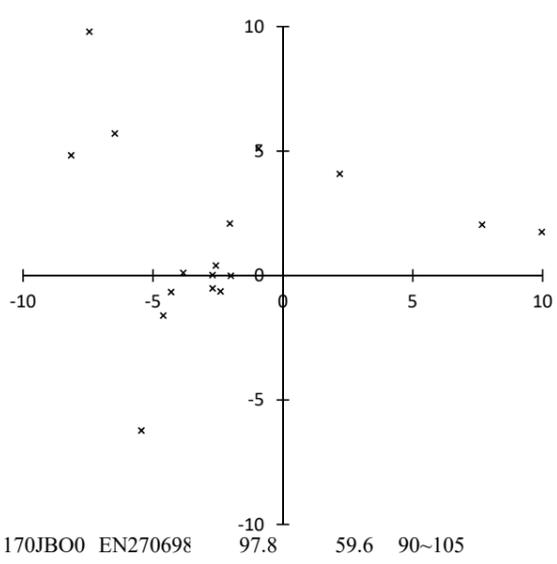
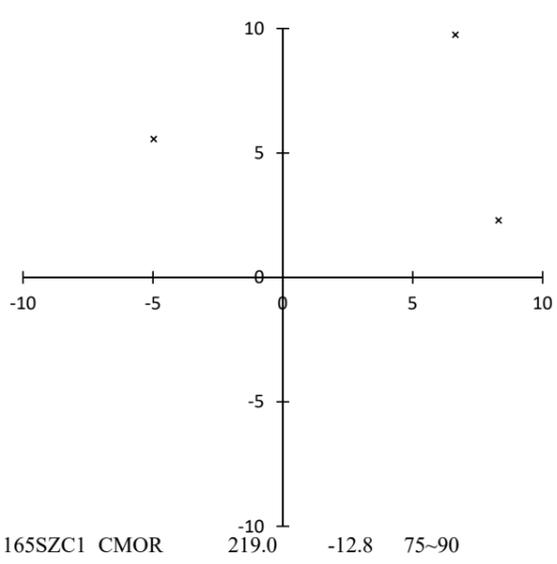
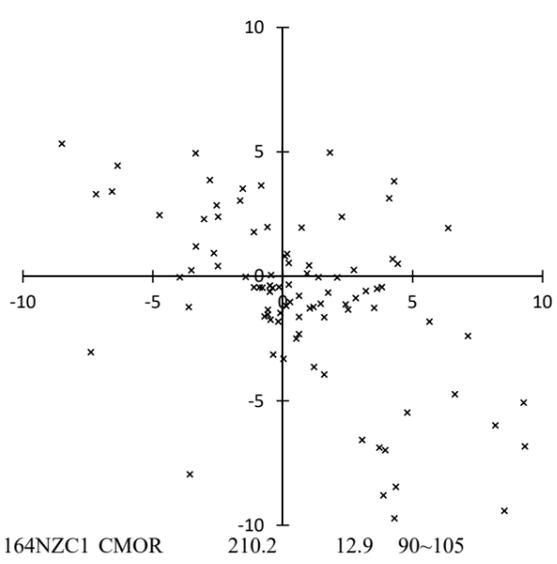
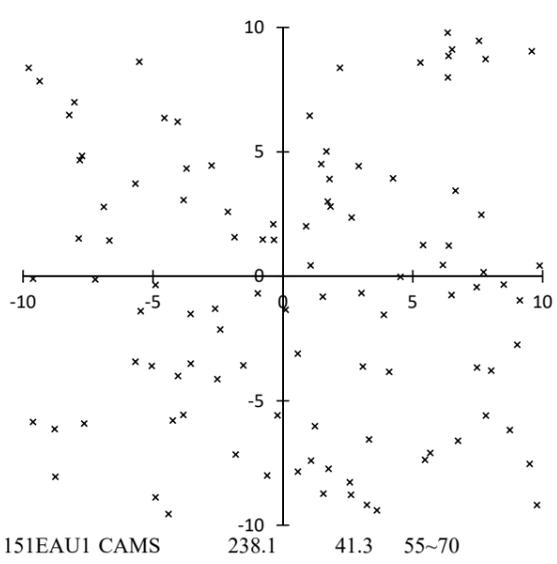
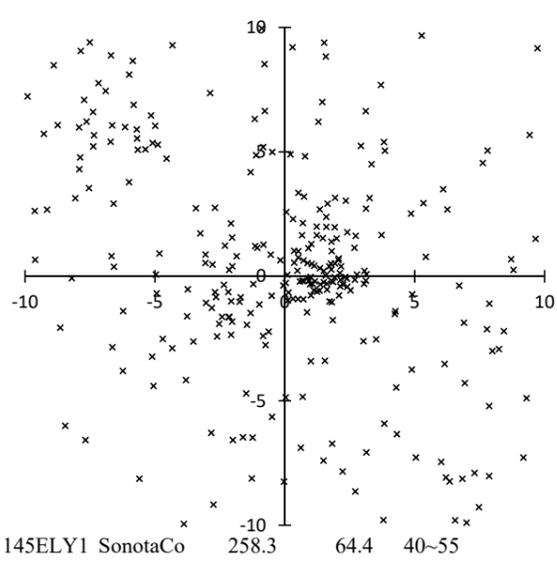
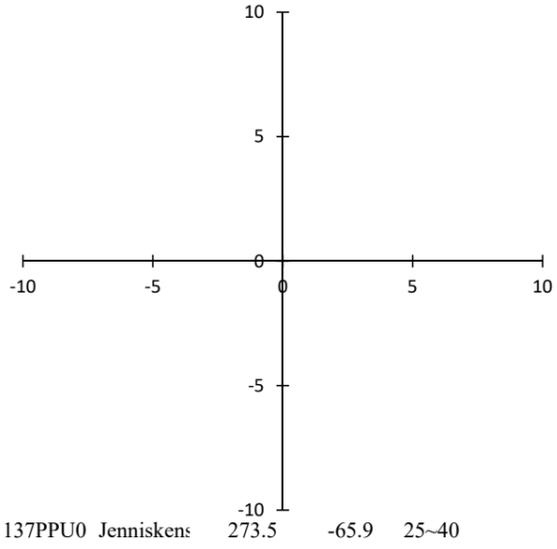
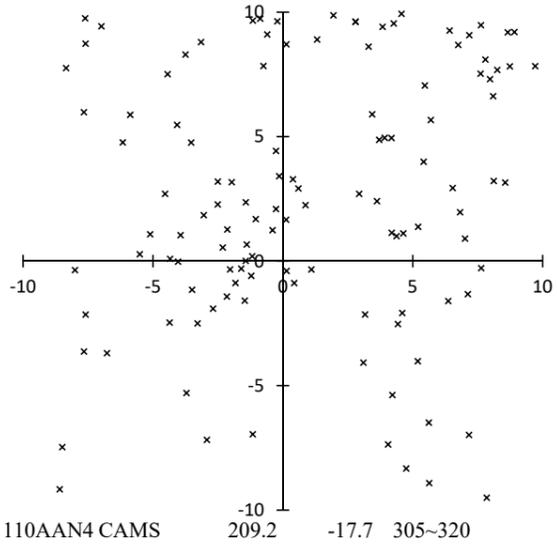
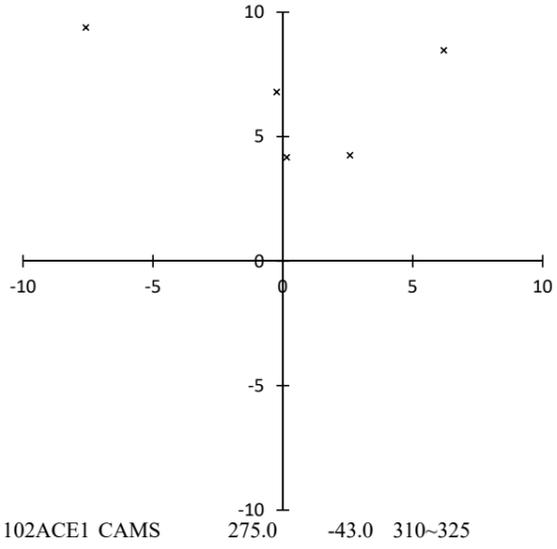


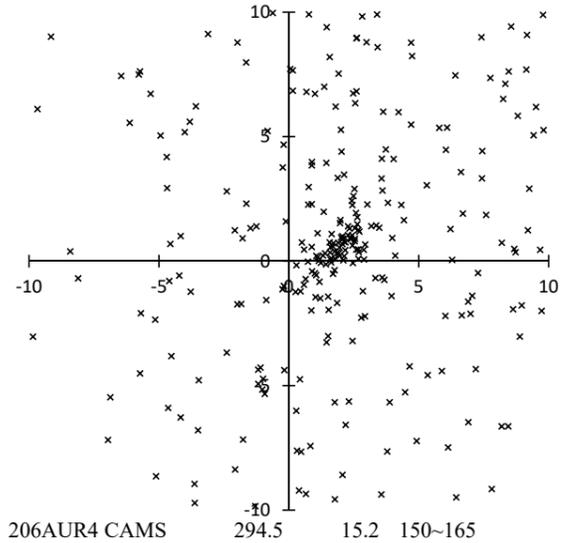
16HYD2 SonotaCo 231.9 -16.5 245~260



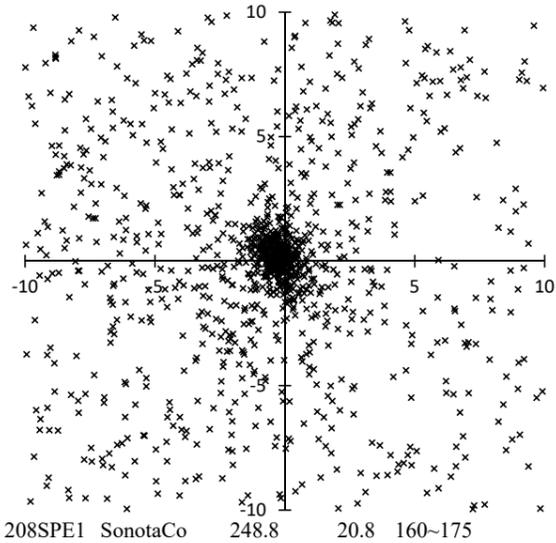
17NTA4 SonotaCo 190.2 3.0 225~240



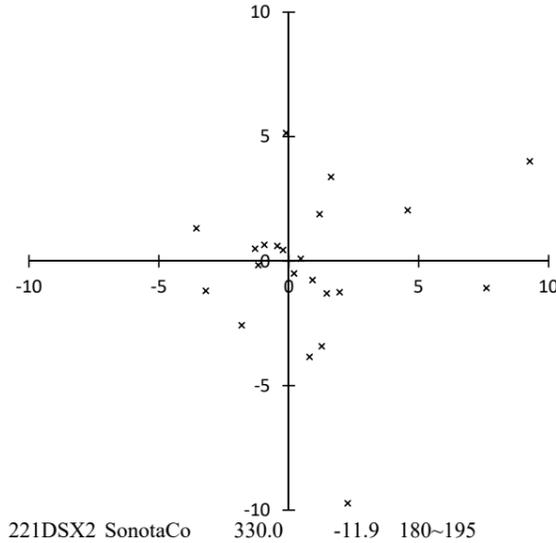




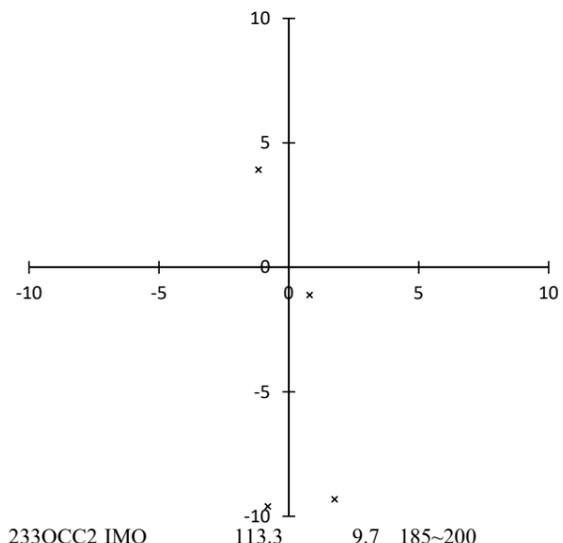
206AUR4 CAMS 294.5 15.2 150~165



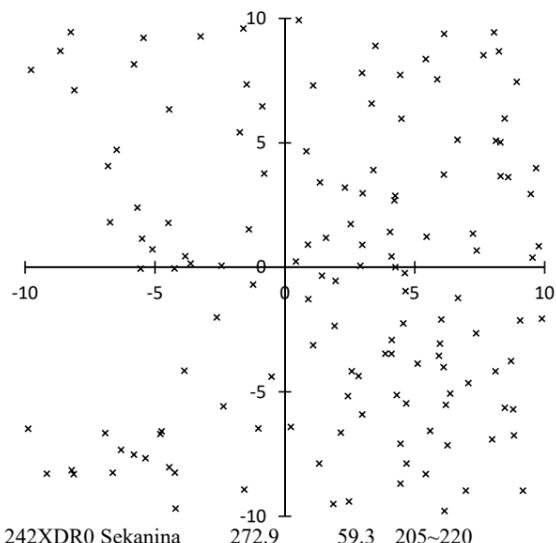
208SPE1 SonotaCo 248.8 20.8 160~175



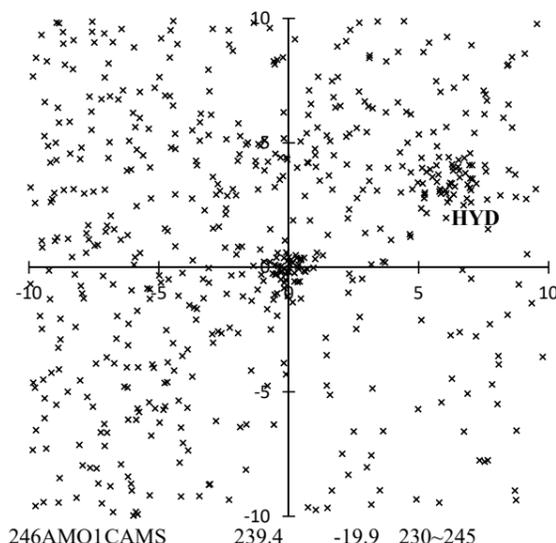
221DSX2 SonotaCo 330.0 -11.9 180~195



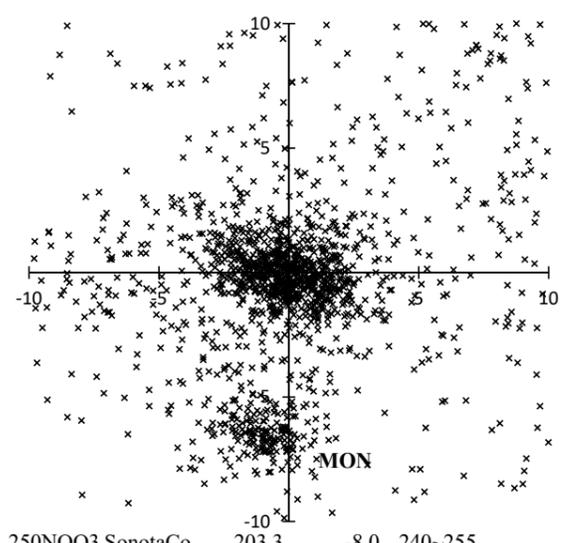
233OCC2 IMO 113.3 9.7 185~200



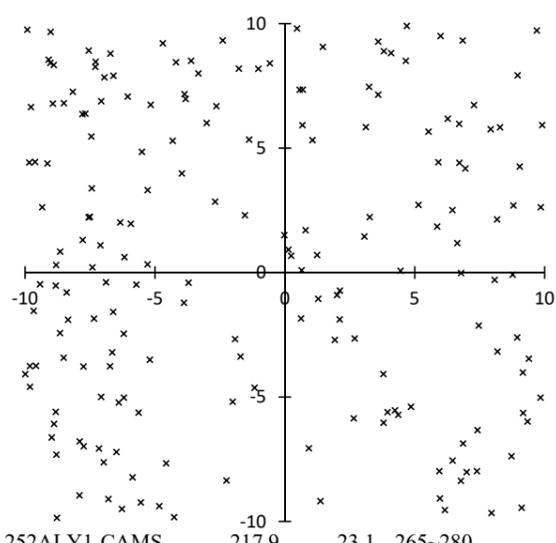
242XDR0 Sekanina 272.9 59.3 205~220



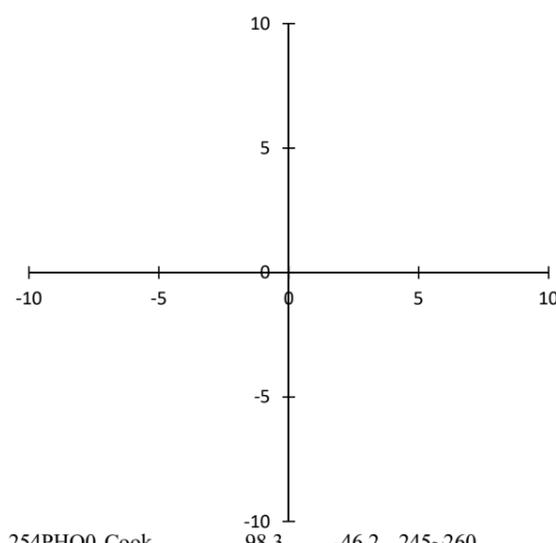
246AMO1 CAMS 239.4 -19.9 230~245



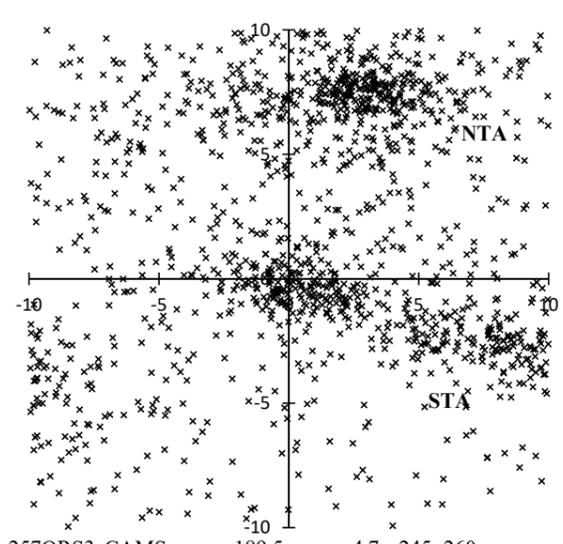
250NOO3 SonotaCo 203.3 -8.0 240~255



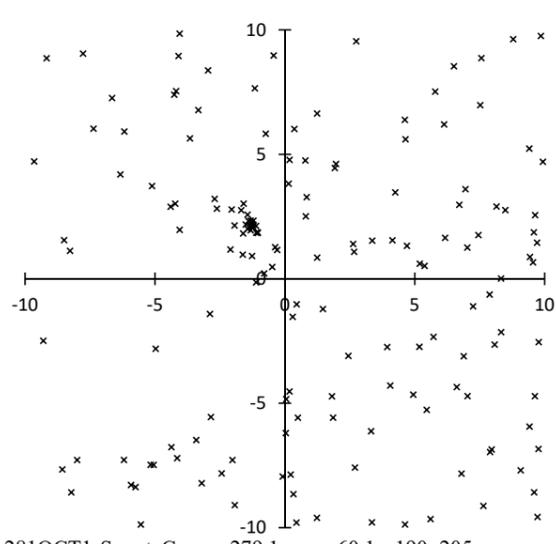
252ALY1 CAMS 217.9 23.1 265~280



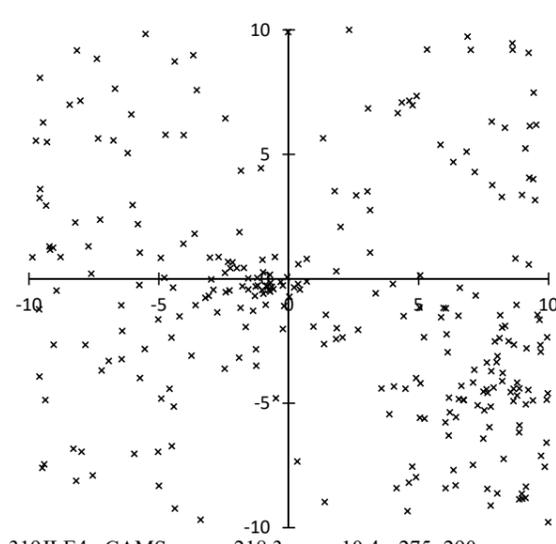
254PHO0 Cook 98.3 -46.2 245~260



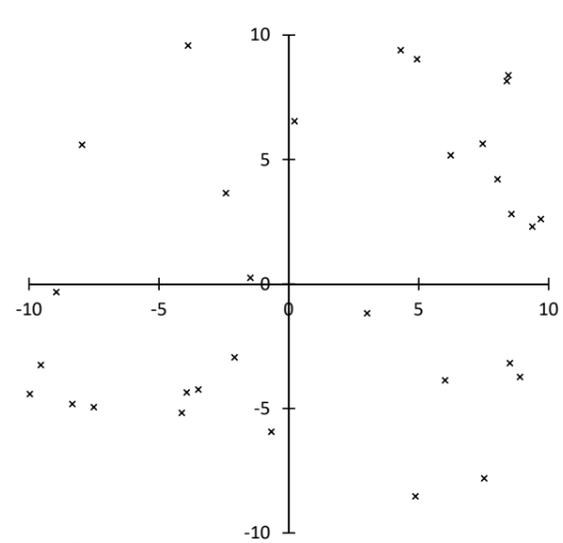
257ORS3 CAMS 189.5 -4.7 245~260



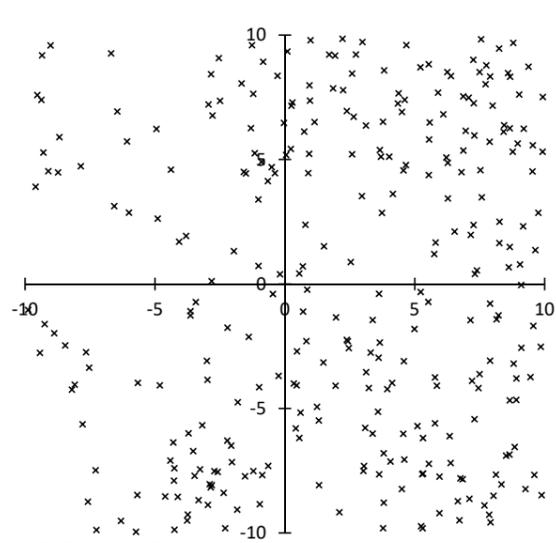
281OCT1 SonotaCo 279.1 60.1 190~205



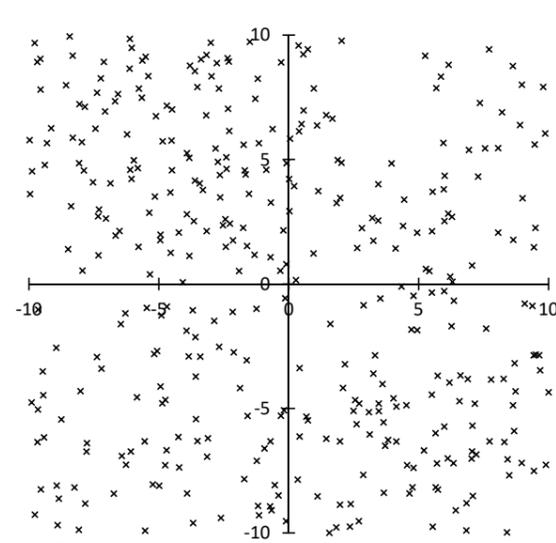
319JLE4 CAMS 218.3 10.4 275~290



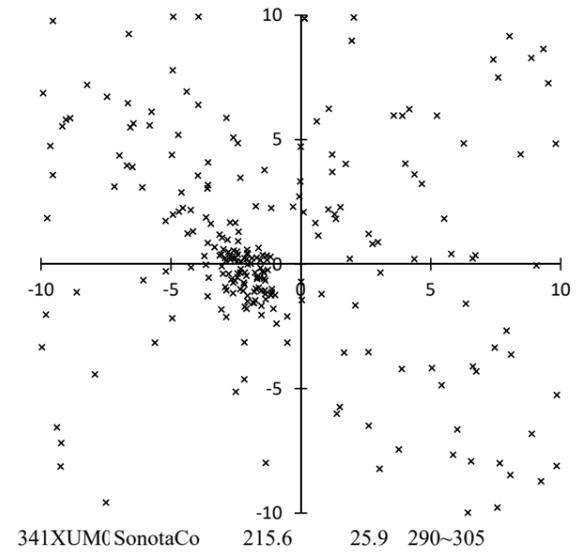
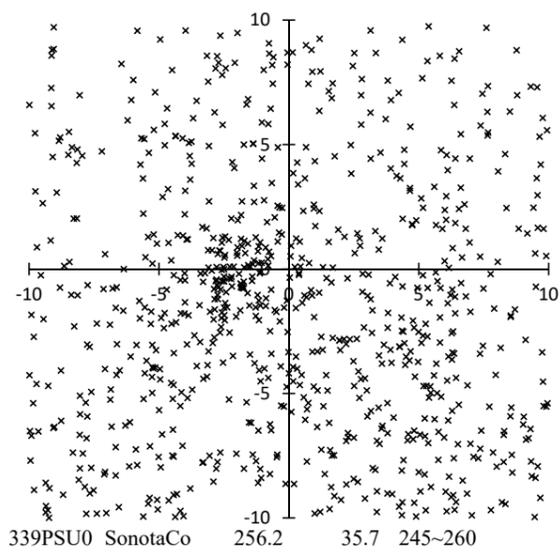
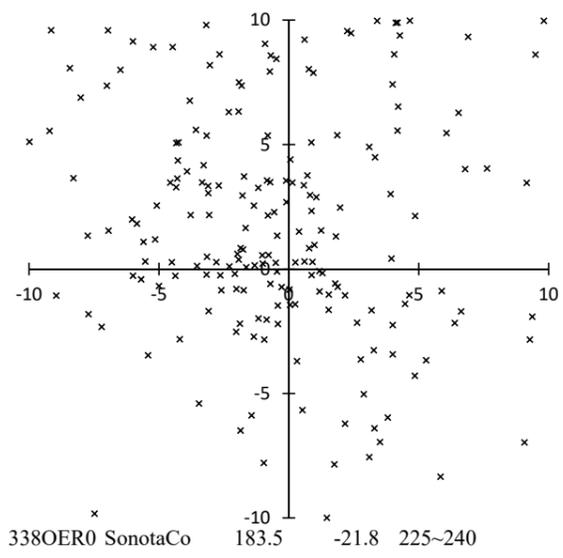
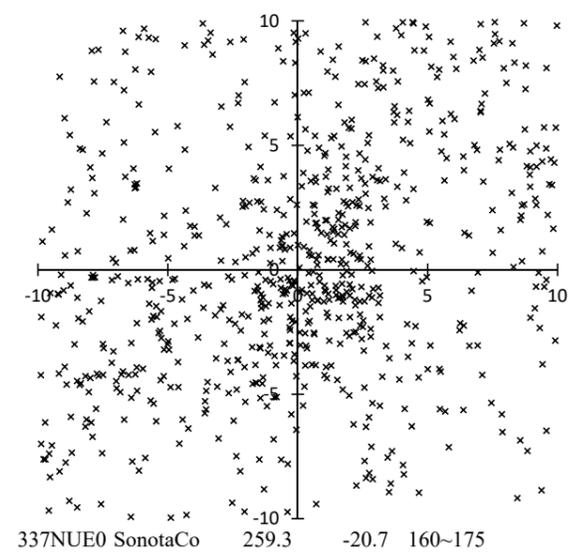
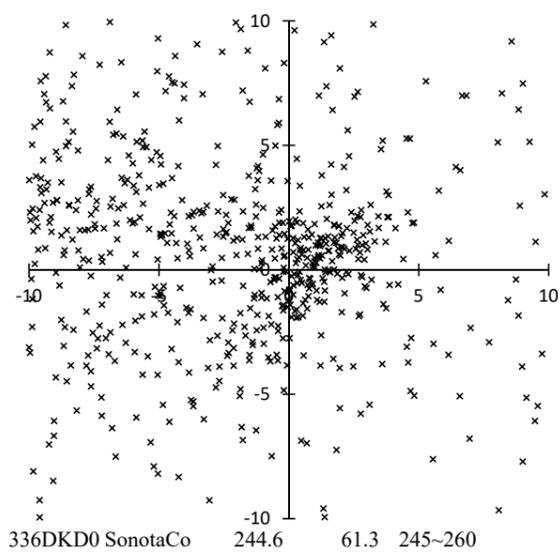
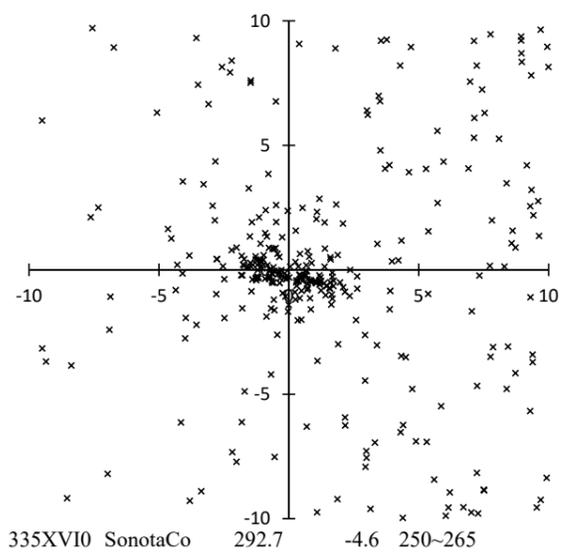
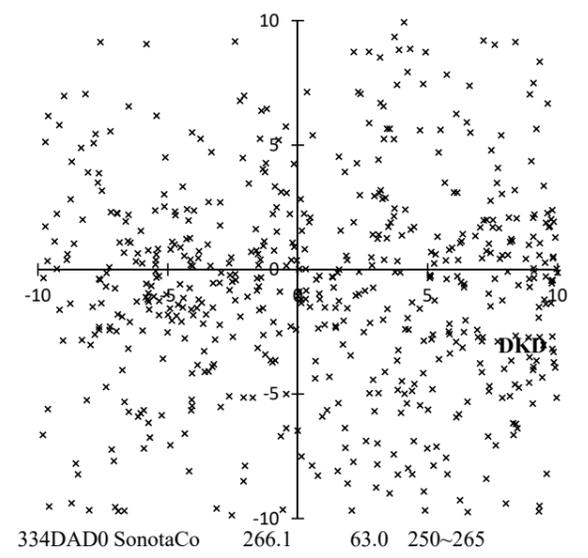
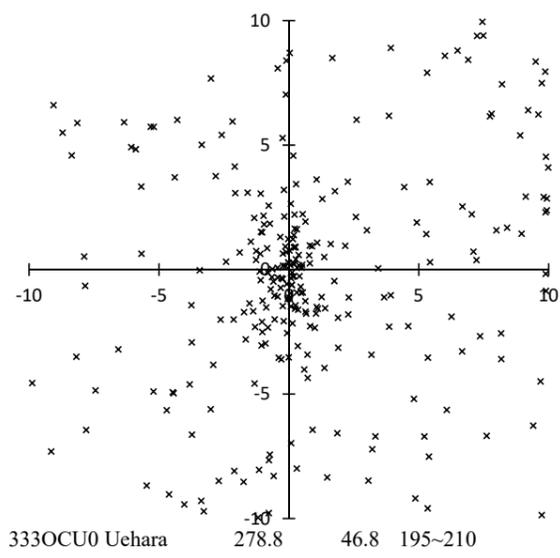
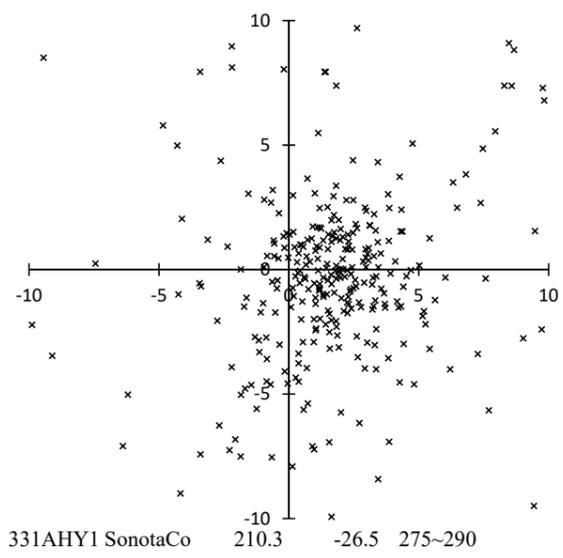
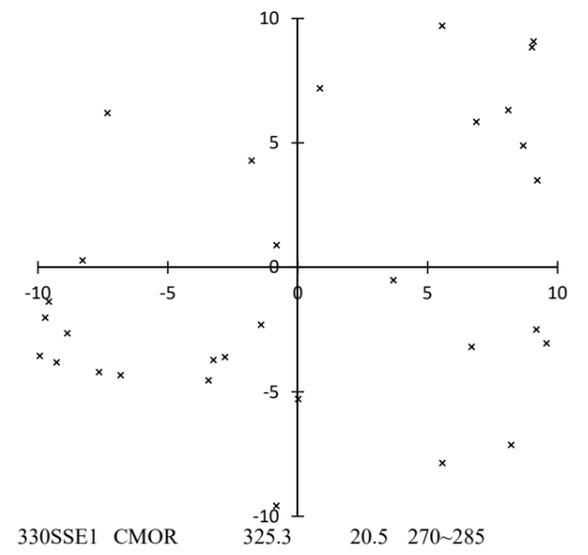
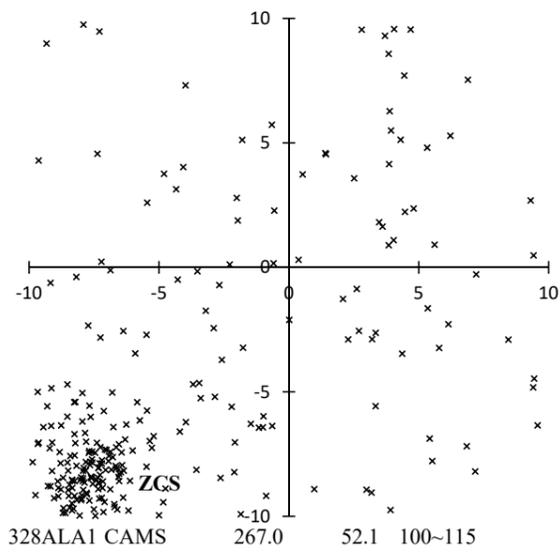
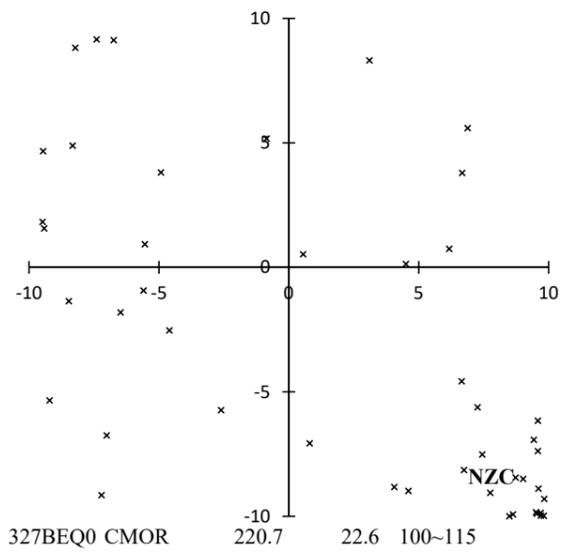
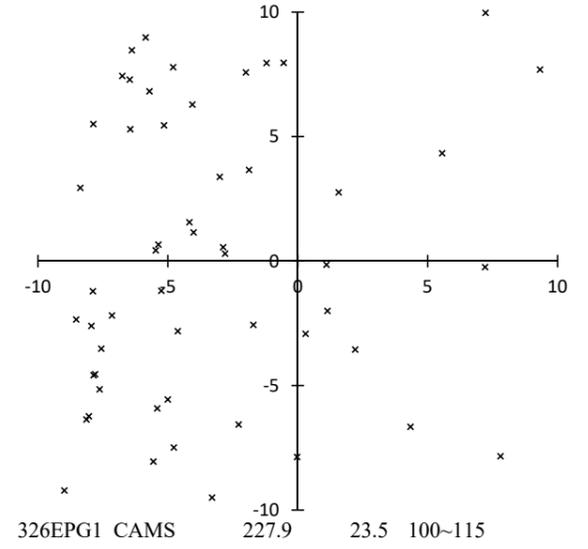
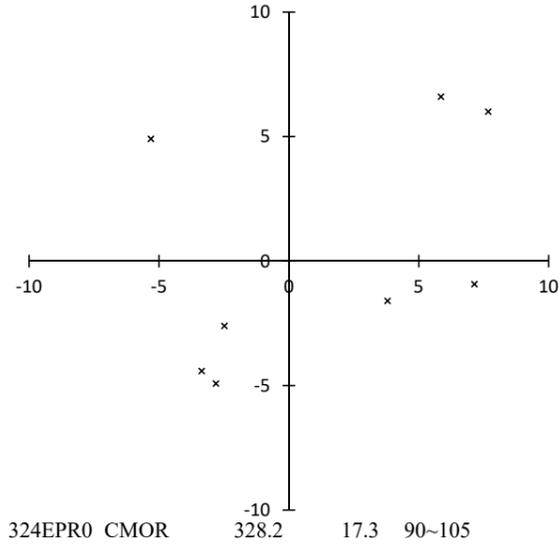
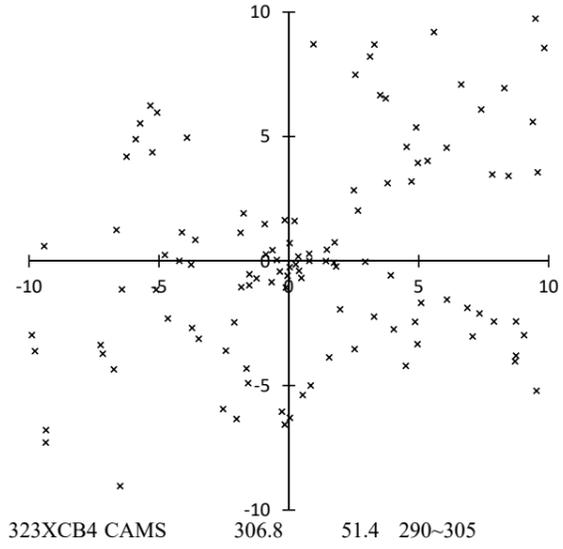
320OSE0 CMOR 324.6 21.2 270~285

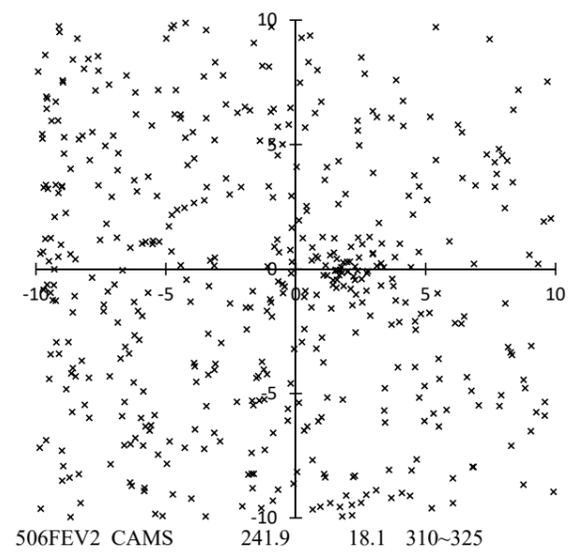
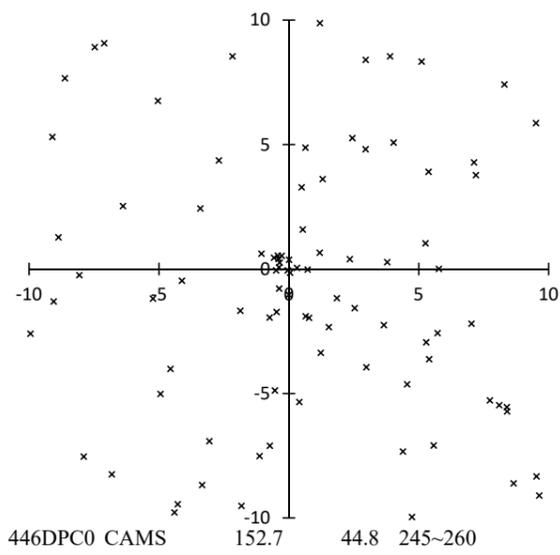
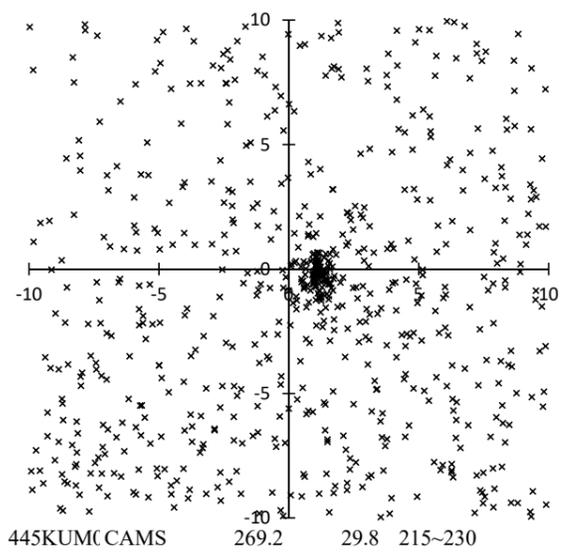
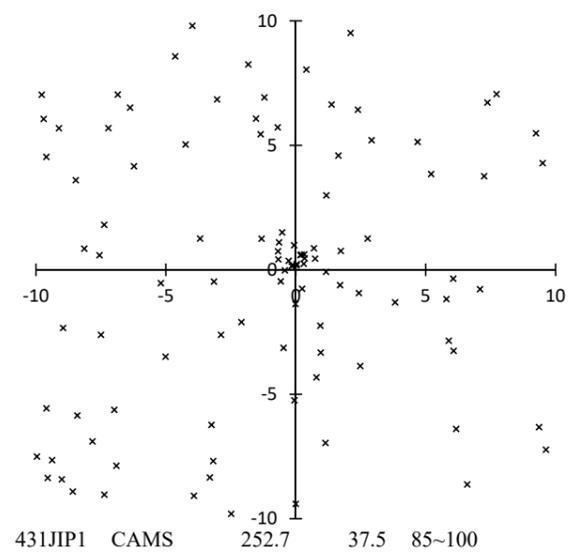
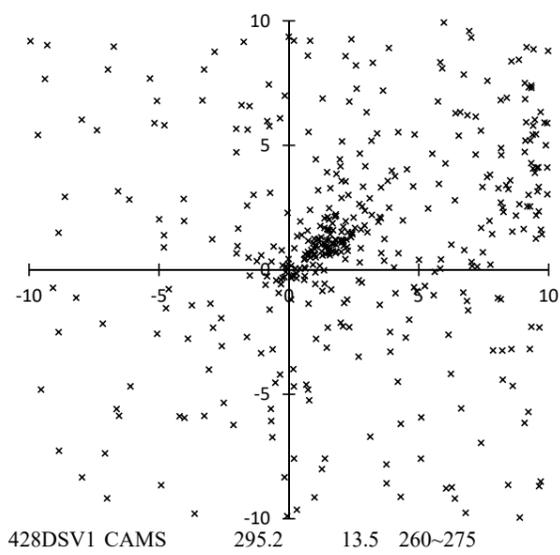
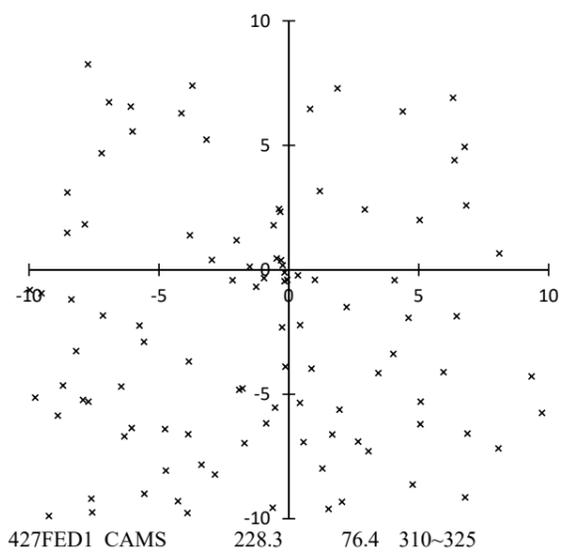
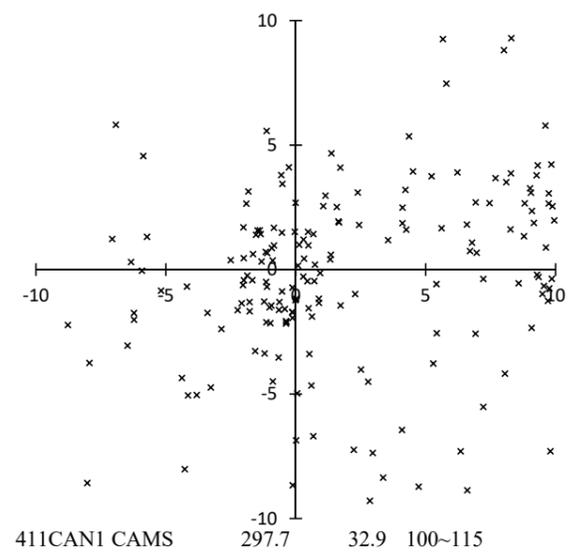
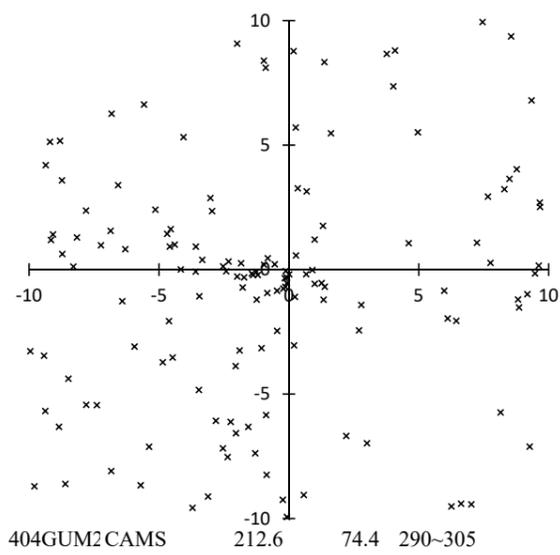
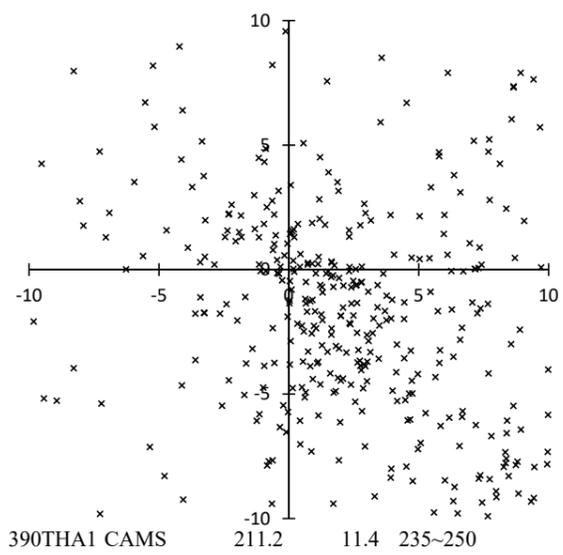
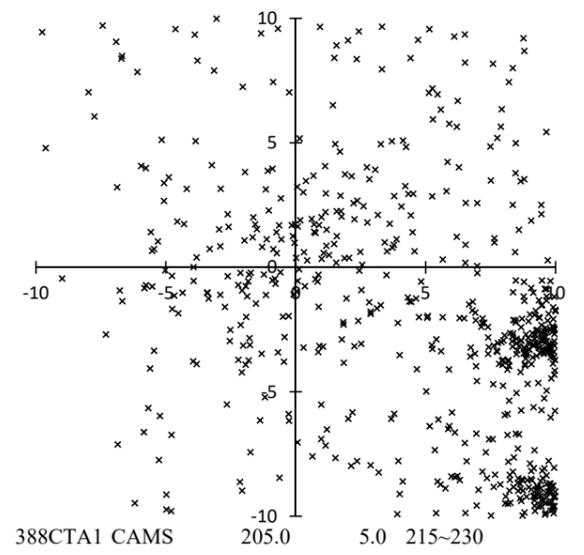
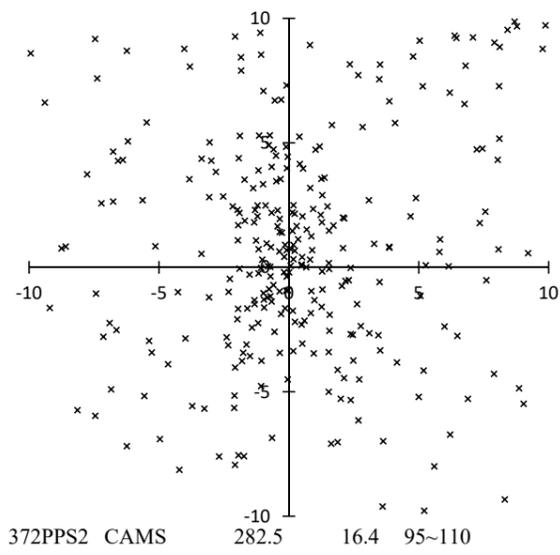
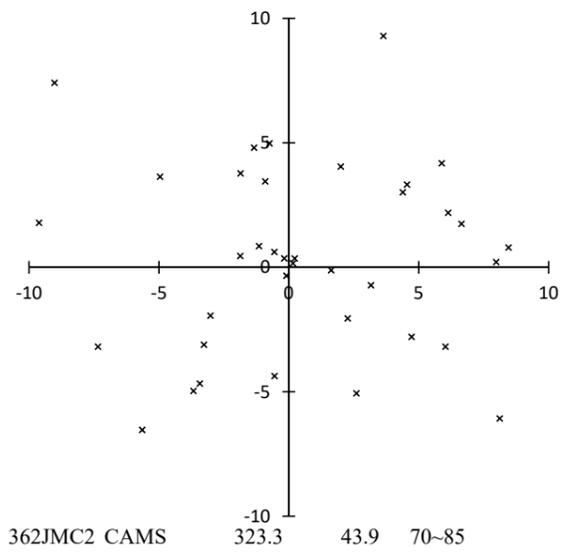
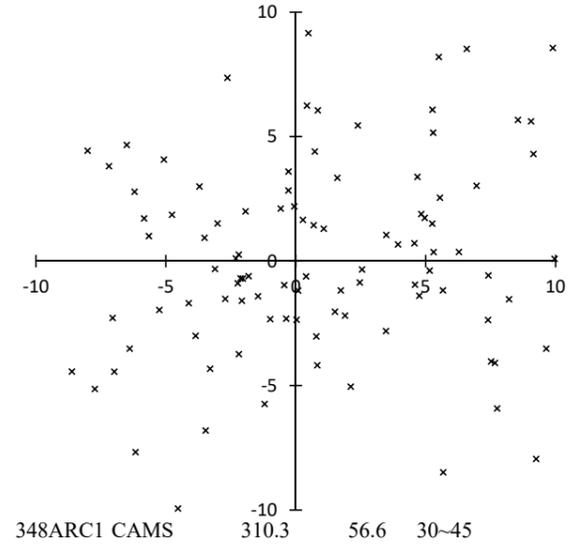
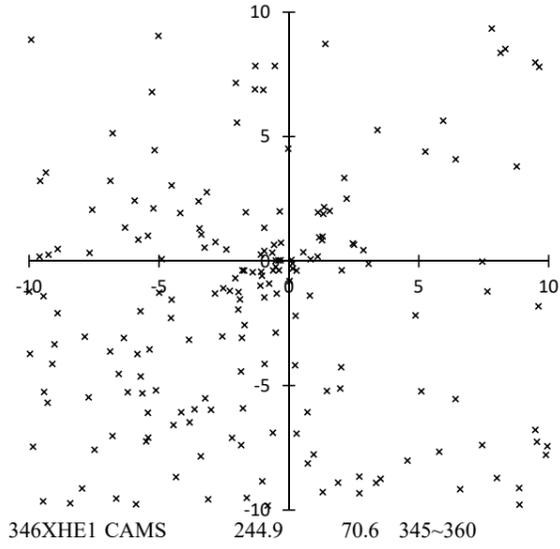
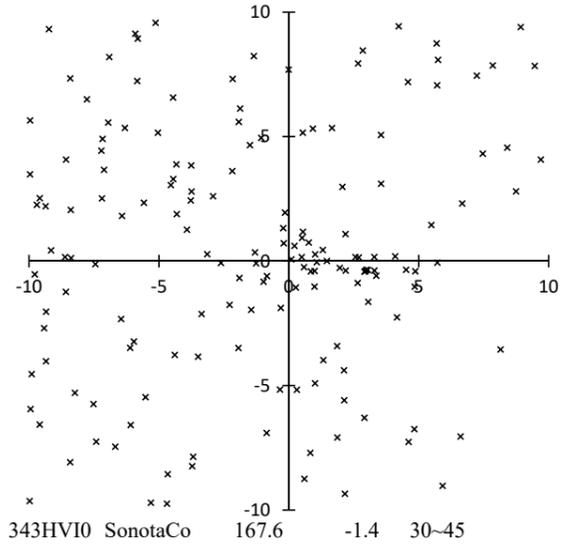


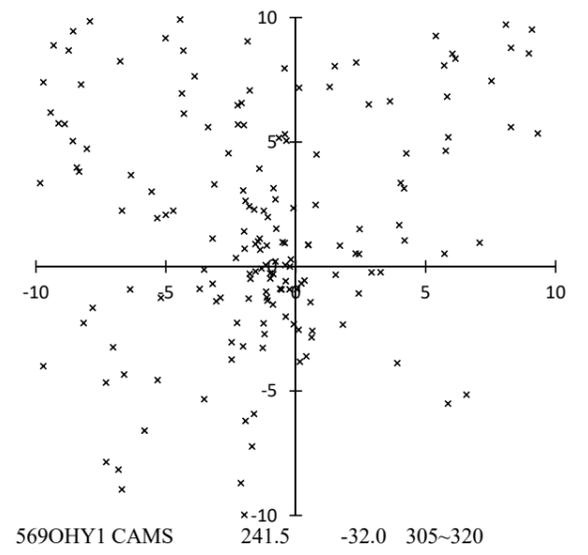
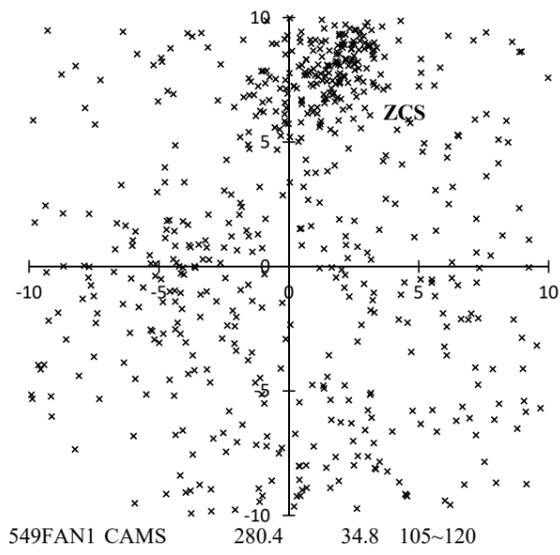
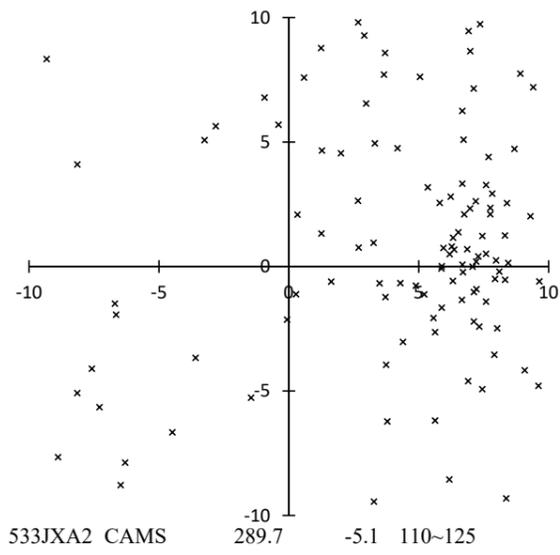
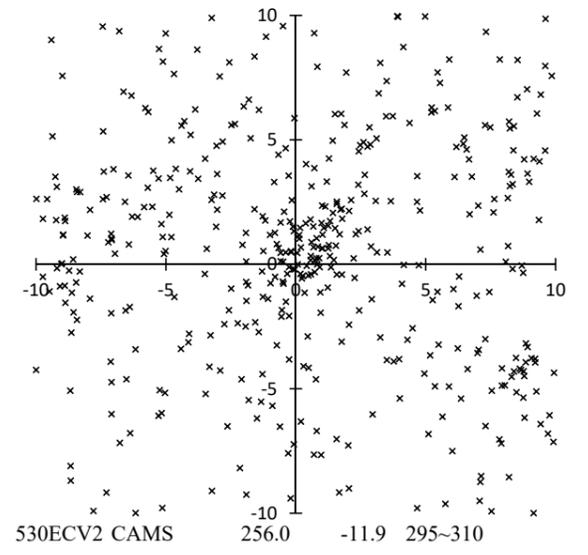
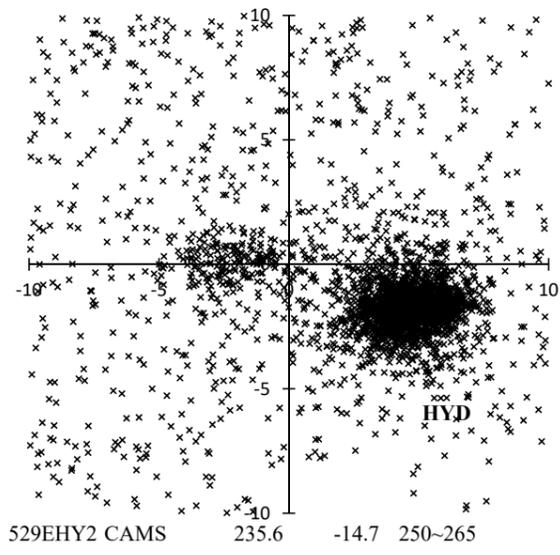
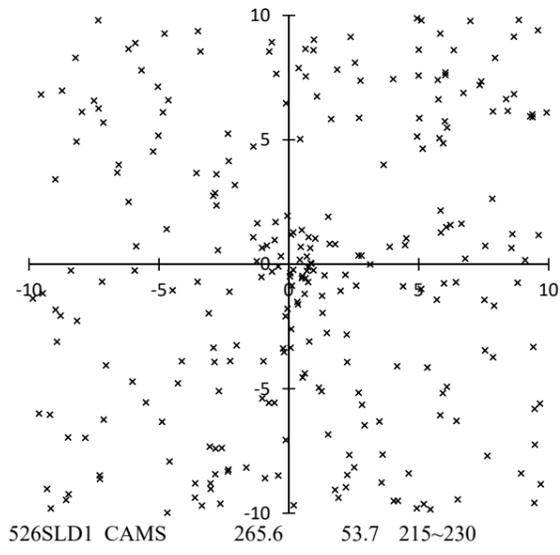
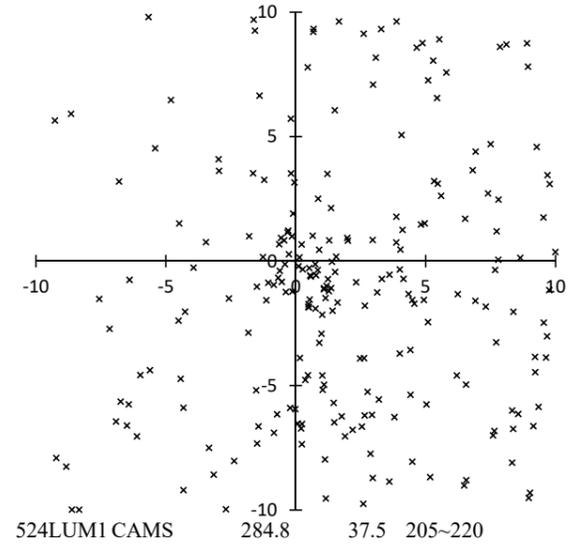
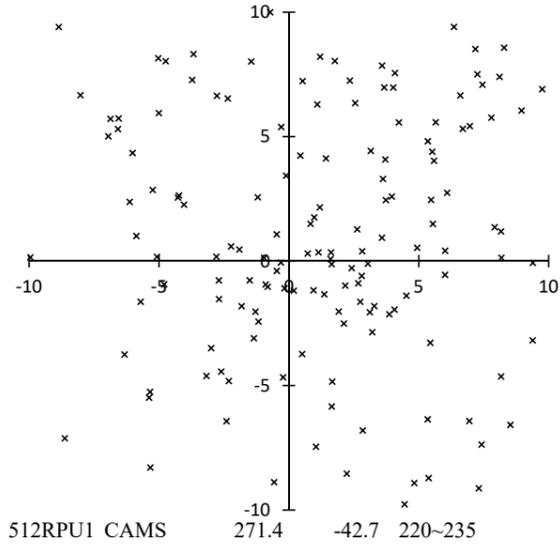
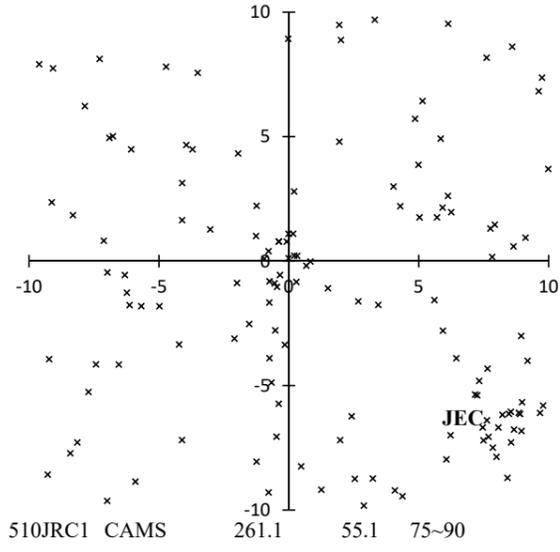
321TCB1 CMOR 282.1 51.5 290~305



322LBO1 CMOR 262.1 54.4 290~305

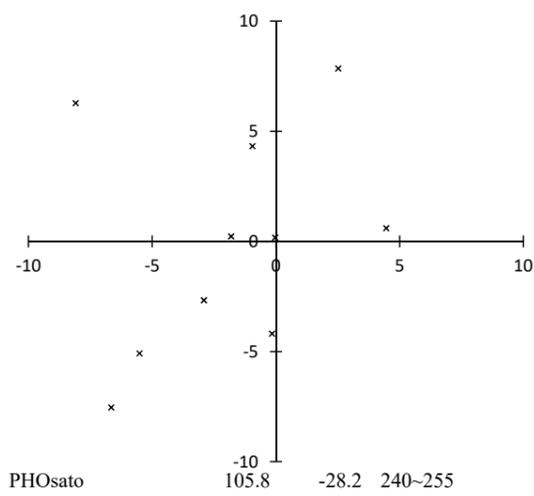
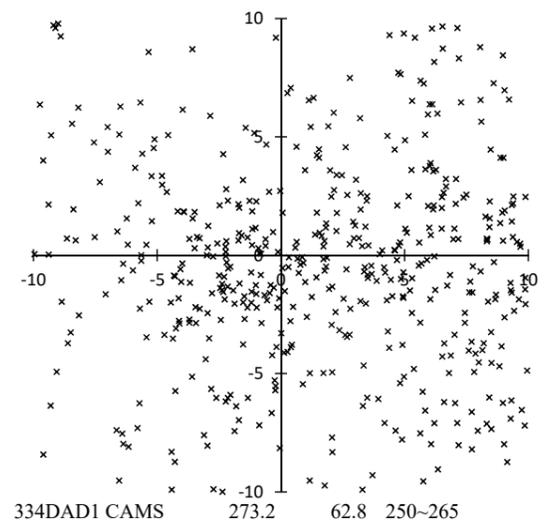
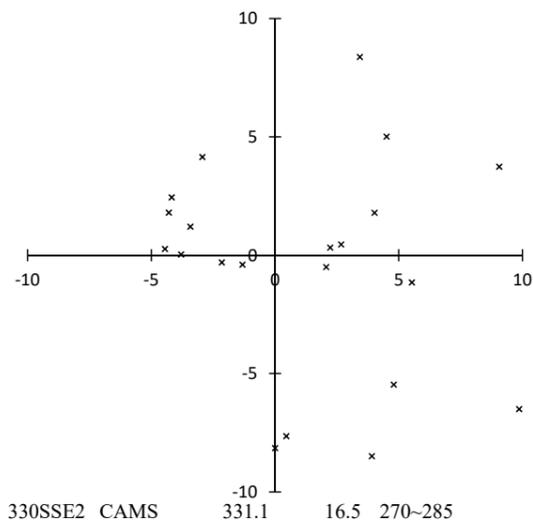
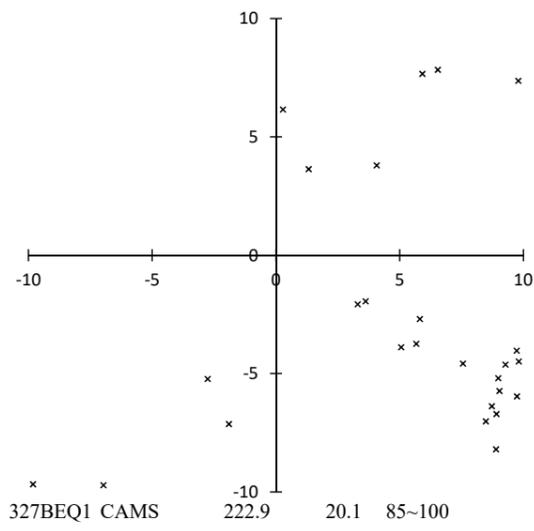
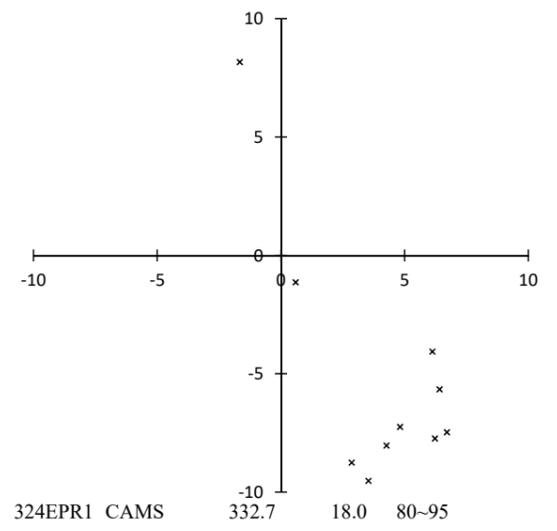
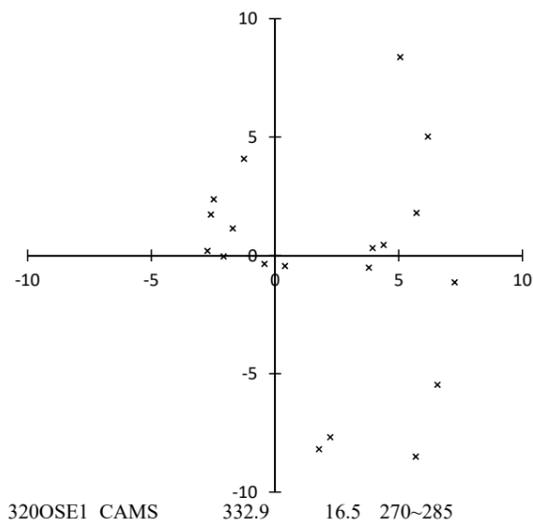
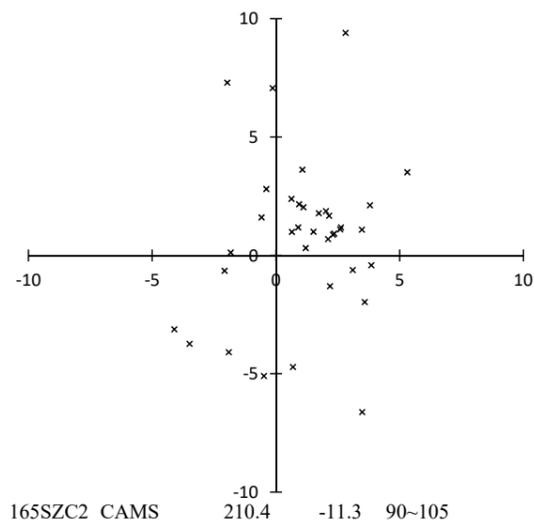
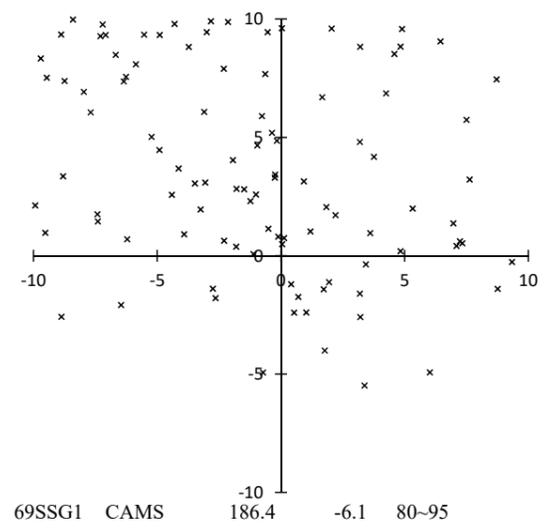
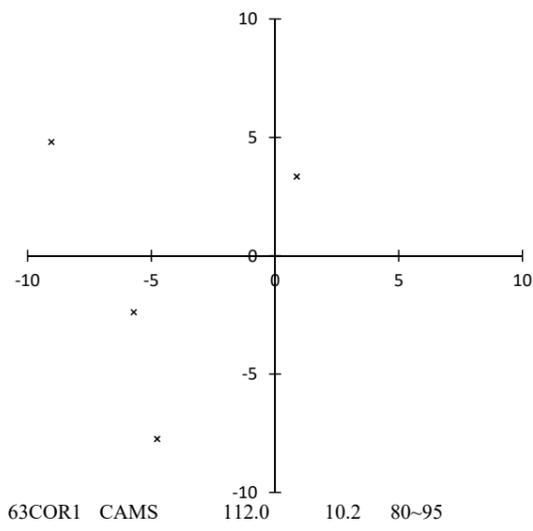
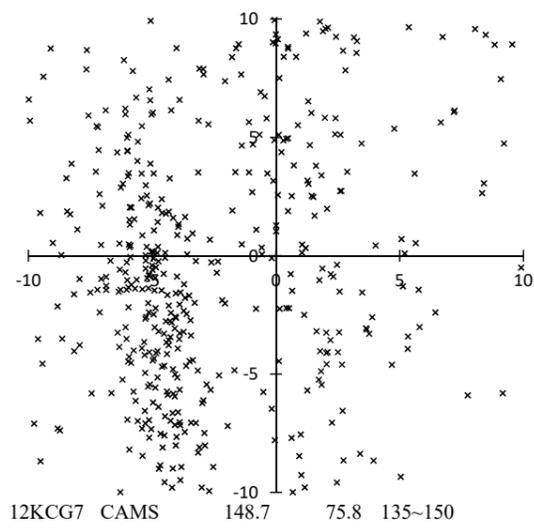






“確定群”の中で輻射点の位置または極大時期が大きく異なるデータが存在するものについては次ページで補足する。

補足



ペルセウス群輻射点拡大撮影

重野好彦

2006年以降、ペルセウス群輻射点の拡大撮影を行っている。昨年との比較を紹介する。

撮影日時 2017年8月11/12日 22:00~04:00(現地標準時)(極大11:00) 21流星

観測地 ヨセミテ西

撮影機材 Nikon D500 4K(3840×2160) 30fps動画 1/30secシャッター ISO:5万
レンズ 85mm F1.4 (35mm版200mm相当) 写野 11度×6度
恒星最微等級9.0等 流星最微等級7等
高橋P型+ビケンモードラ自動ガイド

- 昨年との
違い
- 1) シャッター 1/125sec→1/30sec (露出時間を4倍にした)
 - 2) ISO: 10万→5万 (感度を下げたことで画質が改善された)
 - 3) 恒星最微等級7.5等→9.0等
(感度は1/2になったがシャッターが4倍になり、さらに画質の改善により最微等級が暗くなったと思われる)
 - 4) 面積のある流星痕は感度が下がったためやや写りにくくなった

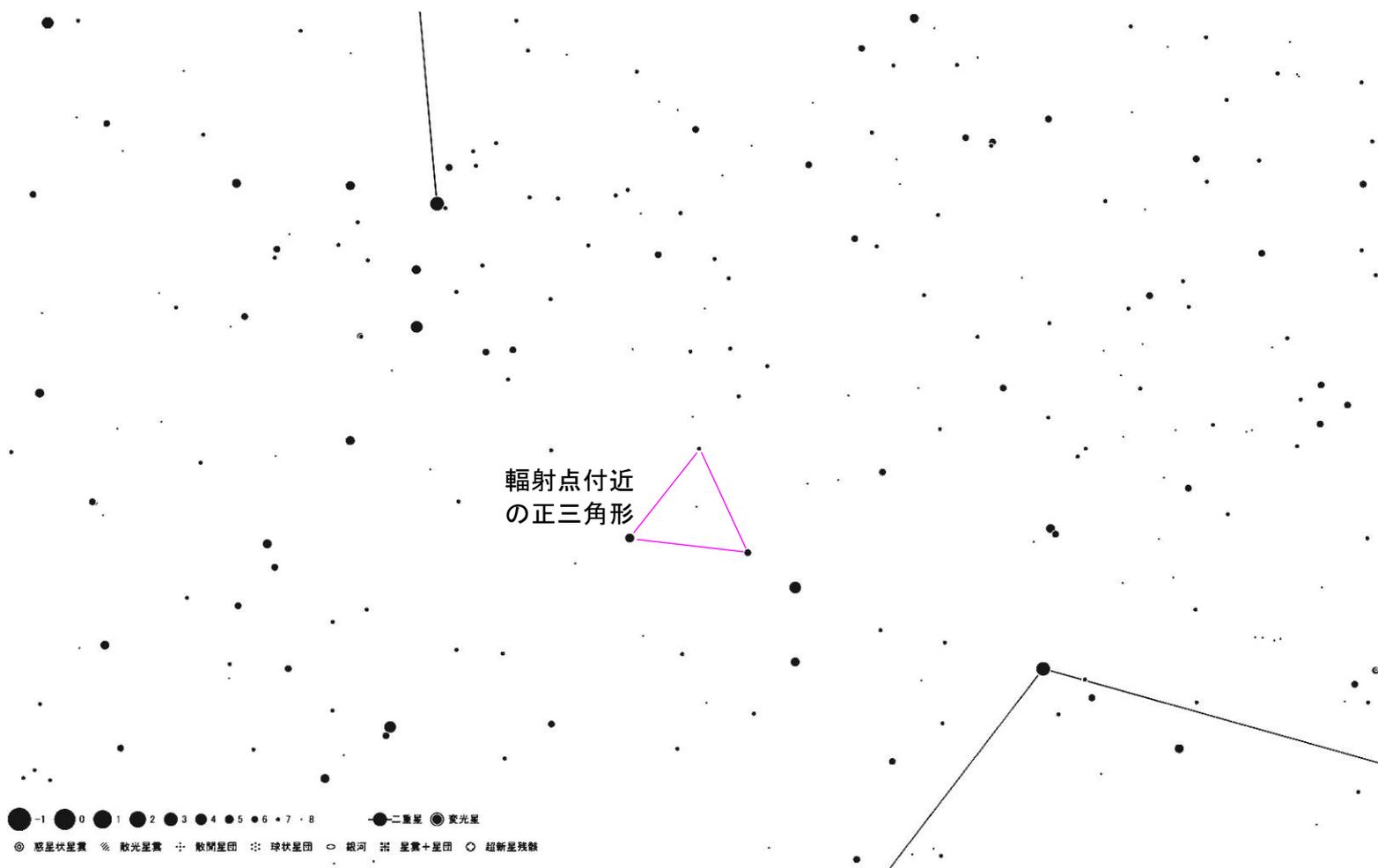


図1. 動画とほぼ同視野の星図(ステラナビゲータ) 最微等級9.0等
動画と較べてやや視野が回転している

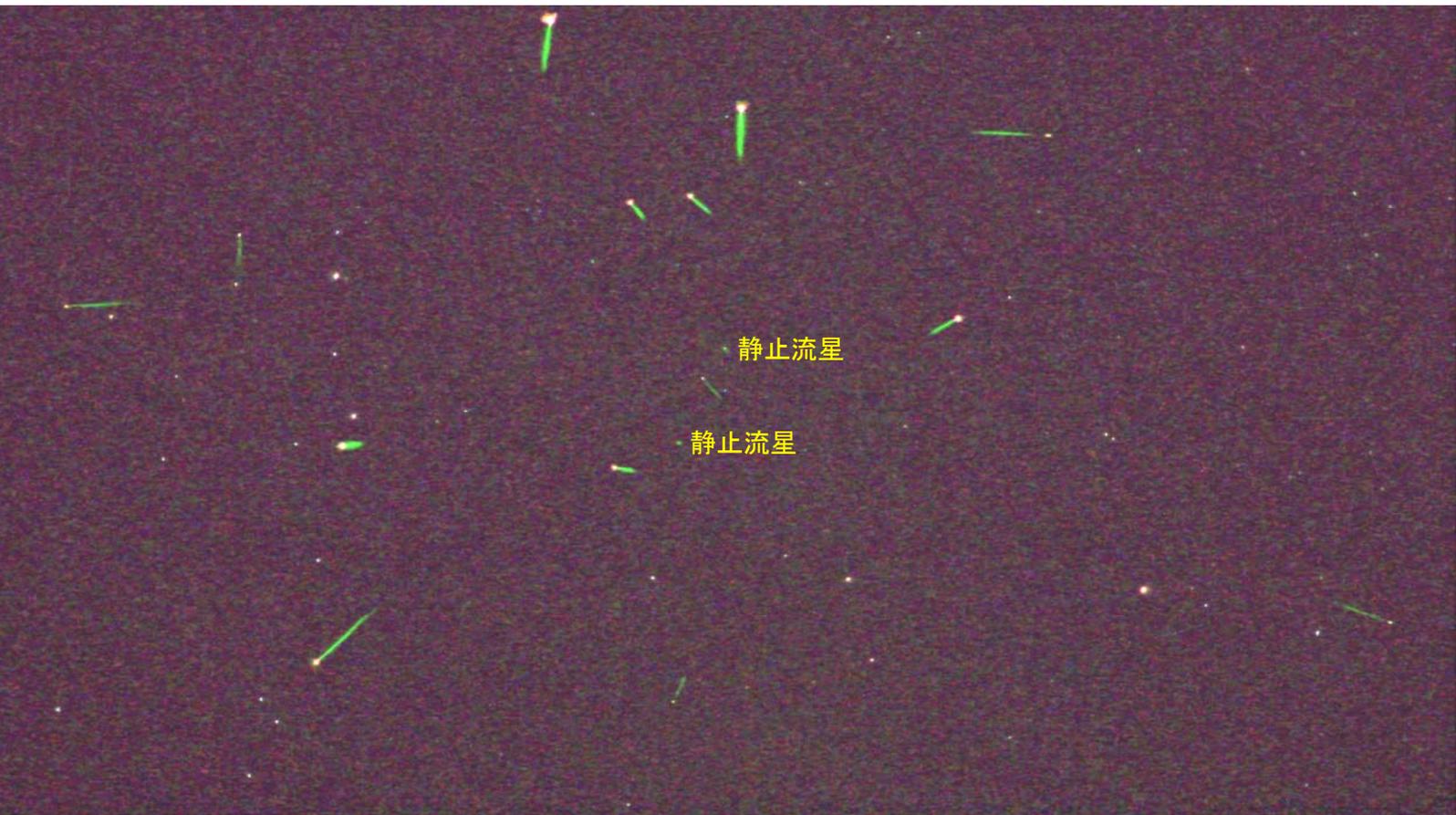


図 2. 2016. 08. 11/12+12/13 16流星
1/125secシャッター- ISO:10万 恒星最微等級7.5等



図 3. 2017. 08. 11/12 21流星
1/30secシャッター- ISO:5万 恒星最微等級9.0等

1. はじめに

前回のMSSで「CAMSとSonotaCoネットで得られたデータ」という発表をした。その後、いくつかの流星群について、電波観測を含めた観測方法による見え方の比較を天文回報の誌草原稿として書いている。今回の発表は秋から冬にかけての流星群についてCAMSとSonotaCoネットの見え方を比較したものである。

2. ηエリダヌス(ERI)群、νエリダヌス(NUE)群、オリオン群の尻尾？

JenniskensらはCAMSの論文でオリオン群に連なる一連の流星活動を「オリオン群の尻尾」と名付けた。8月から11月までの流星活動を単一の起源に帰するには無理があるだろうが、実際に輻射点分布を見ると(付録の図を参照)、ERIから始まり、オリオン群に吸い込まれるように輻射点が移動していくように見える。Jenniskensらは「オリオン群の尻尾」としている流星活動をオリオン群まで含めて全部で10の流星群に分割している(第1表)。

表1: オリオン群の尻尾とされる流星群。

IAU#	Object	N	R.A.	Dec.	λ_s	Vg	$\lambda-\lambda_s$	β	e	q	i	ω	Ω	a
191	ERI	214	43.7	-11.9	137	64.5	260.3	-27.3	0.945	0.953	132.7	28.4	317.7	10.3
738	RER	24	44.8	-4.0	137	67.3	264.1	-20.1	0.945	0.988	145.7	18.7	316.7	8.94
337	NUE	291	61.5	+4.3	163	67.1	257.3	-16.2	0.916	0.867	150.7	43.7	53.2	7.04
552	PSO	99	70.5	-2.3	159	65.8	269.5	-24.3	0.893	1.004	138.3	17.2	342.4	7.53
225	SOR	40	87.9	+0.5	187	66.2	260.7	-22.9	0.919	0.934	139.7	30.6	9.6	9.70
479	SOO	40	80.9	+12.5	187	67.6	254.0	-10.7	0.911	0.777	159.9	57.6	7.7	8.11
718	XGM	33	96.9	+12.7	206	68.1	250.8	-10.6	0.952	0.726	159.9	60.8	26.3	5.78
8	ORI	3024	95.9	+15.7	209	66.3	246.7	-7.6	0.944	0.578	163.9	82.2	28.3	6.87
558	TSM	7	121.8	-5.8	227	64.6	258.5	-25.4	0.858	0.899	134.4	37.4	46.6	6.27
719	LGM	11	106.8	+17.5	232	60.6	234.1	-5.0	0.981	0.220	164.7	128.1	52.2	4.68

この中でERIは大塚勝仁さんらが写真観測を端緒に、また、NUEはSonotaCoネットで検出されたものであり、日本に縁があるので少し詳しく見ていくことにする。

CAMSとSonotaCoネットの観測を合成した $(\lambda-\lambda_s, \beta)=(260, -27)$ を中心とした輻射点分布を示す(図1)。ERIの輻射点がよく集中しており、太陽黄経5度幅の移動平均で示した流星活動の変化もはっきりとした極大を示している(図2)。

これに対して、NUEは付録に示したように「オリオン群の尻尾」の一部に過ぎず、独立した流星群ではないようにも見える。図中でCAMSによるNUE(Δ)の位置は尻尾から少し外れているように思われ、CAMSがNUEと判定した流星数の変化を太陽黄経5度幅の移動平均で示したもの(図3)を見ても明確な極大は見られない。これに対して、SonotaCoネットの観測では明確な極大が表れる。これは、両者におけるNUEの判定基準が異なるためである。

例として $(\lambda-\lambda_s, \beta)=(259, -19)$ を中心としたSonotaCoネットによる輻射点分布を示す(図4)。中心右上に散在と判定された流星があるが、この位置はCAMSではNUEとされている。SonotaCoネットの判定では散在とされているNUEの左下に連なる流星はCAMSではNUEに近い側からERI、PSOとされている。 $(\lambda-\lambda_s, \beta)=(259, -19)$ から5度以内に入るNUEと判定されている流星だけに限っても、また、5度以内に入る散在流星を含めた流星数の変化を調べてもCAMSでは極大が明確でない。NUEは「オリオン群の尻尾」の一部の中で少しだけ周囲より流星活動が盛んな部分とみられ、大量のデータを慎重に分析しなければ、輻射点の位置(移動)、極大といった基本的な数値すら明確にするのは容易ではない。しかし、これでもIAUMDCでは確定群に位置付けられている。

この後、「オリオン群の尻尾」はオリオン群本体に接するようになり(付録右下の図)、479SOO(9月オリオン群)と名付けられた流星群が設定されている。オリオン群とSOOとの分離が困難なことからわかるように、オリオン群の初期活動がいつから始まるのかは不明確と言わざるを得ない。同様にオリオン群の活動末期の活動についても散在流星・「オリオン群の尻尾」の活動によって判断は分かれている。

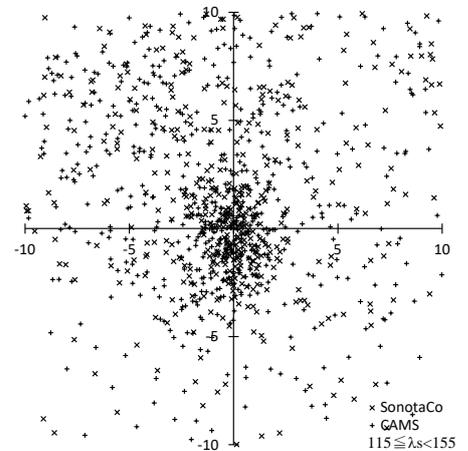


図1: ERIの輻射点分布。

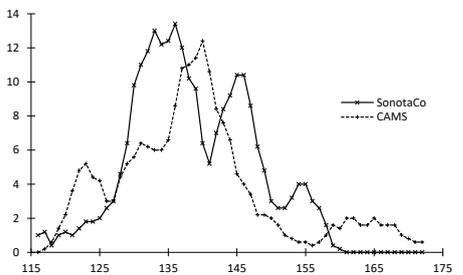


図2: ERIの活動変化。

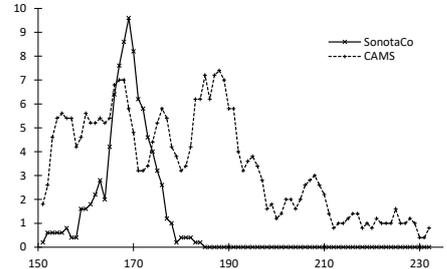


図3: NUEの活動変化。

3. おうし南群と北群

写真観測された流星数の太陽黄経で5度ずつの移動平均と SonotaCo ネットで撮影された流星数の変化はよく似ている (図 5 a, b)。南側の活動は太陽黄経で 200 度付近と 220 度付近の 2 つの極大をもち、北側の活動は太陽黄経で 230 度付近に単一の極大をもっている。

これに対して、CAMS で STA または NTA と判定された流星数の変化は極めて特異である。STA は複数の極大を持つように見え (図 6 a)、NTA では SonotaCo ネットまた写真観測での極大に当たる部分は凹部になり、その後二次的な極大をもっている (図 6 b)。これは「おうし群」の活動がそのように変化するのではなく、CAMS の群判定が特殊だからである。

CAMS による STA の平均軌道に対して $D_{SH} < 0.2$ になる流星群は CAMS 中だけで次のものがある: 626LCT0(0.026), 628STS0(0.082), 637FTR0(0.087), 624XAR0(0.097), 625LTA0(0.114), 630TAR0(0.172), 28SOA1(0.176), 631DAT0(0.176), 25NOA1(0.184)。同様に NTA に対しては: 630TAR0(0.030), 631DAT0(0.064), 632NET0(0.090), 25NOA1(0.103), 635ATU0(0.108), 629ATS0(0.129), 637FTR0(0.145), 628STS0(0.149), 633PTS0(0.164), 625LTA0(0.168), 626LCT0(0.183)がある。さらに、215NPI4, 216SPI4, 256ORN2, 257ORS3, 286FTA1 も輻射点分布では「おうし群」と重なり合う。CAMS による STA と NTA の流星数変化は、これらの CAMS が定義する別群をそぎ落とした残りである。

$(\lambda - \lambda_s, \beta) = (190, 0)$ を中心とした CAMS による輻射点分布 (図 7) を見ると、STA または NTA と別群 (この場合、STA には 625LTA、NTA には 629ATS) が重なっている。この分布と流星数の変動を見れば、CAMS の群判定の在り方はいささかの無理があるといえる。

CAMS が「おうし群」を分割するのに対して、CMOR は黄道型群を結合しようという方向で (●が SIA ○が STA)、活動は連続しているのではないかという提起をしている。STA と NTA の区別はあるものの、CAMS のようには「おうし群」を分割していない。CMOR のまとめの表では図と異なり、活動期間を太陽黄経で 172~217 度、極大を 196 度としている。おうし群とは何か。謎は多い。

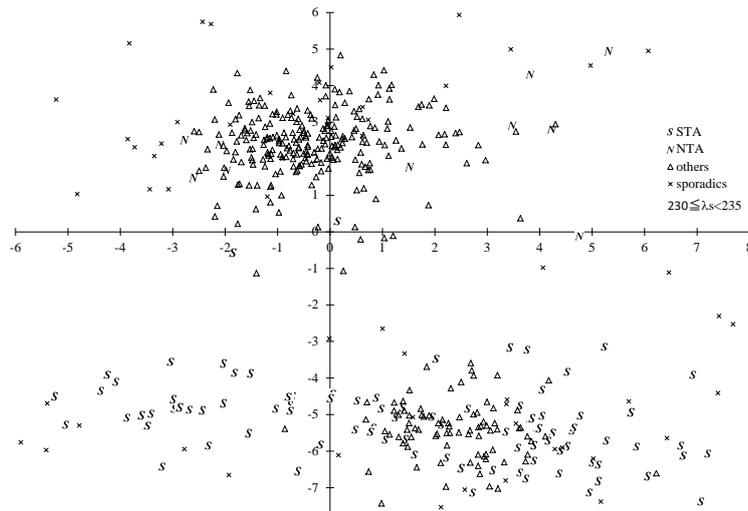


図 7: CAMS による輻射点分布。

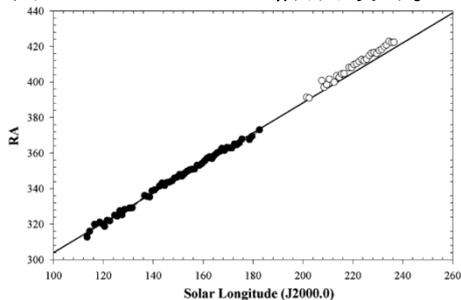


図 8: CMOR による拡張。

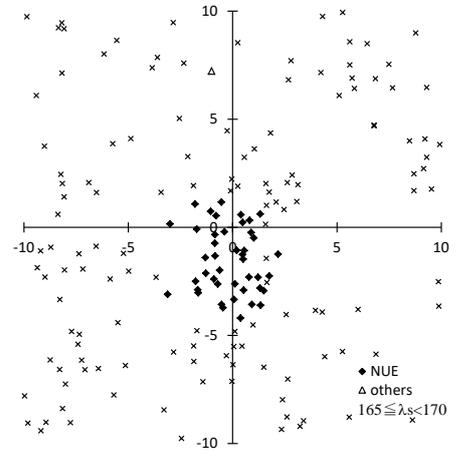


図 4: NUE の輻射点分布 (SonotaCo)。

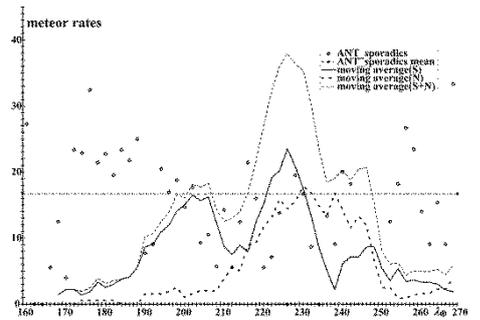


図 5a: 写真の流星数。

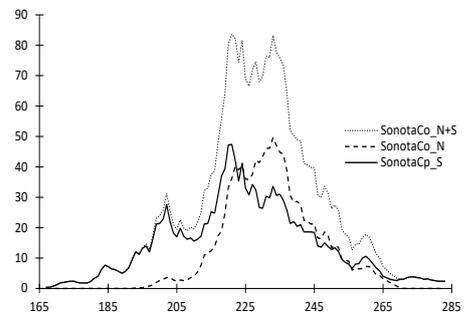


図 5b: SonotaCo ネットの流星数。

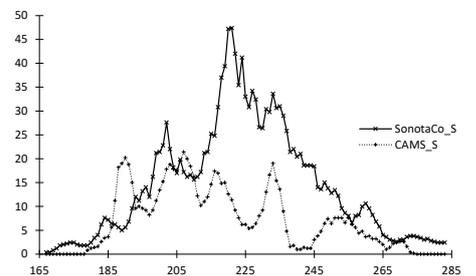


図 6a: STA の流星数。

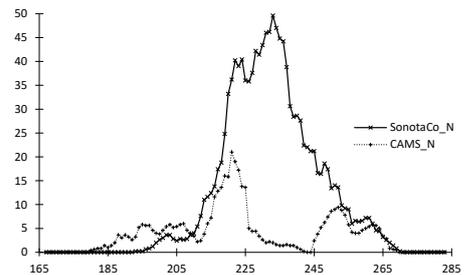


図 6b: NTA の流星数。

4. しし群

前回の大出現時には組織的な写真観測はアマチュアが行っただけであり、ビデオ観測は CCD ではなく、II が用いられており観測数は少ない。また、CMOR の観測はまだ始まっていない。このような中で、1998 年に NMS が中心となって実施された写真観測、また、2001 年に行われた重野による II 観測は貴重である。輻射点分布を見ると、極めて狭い範囲に集中していることがわかる。

CAMS ではしし群をあまり捉えていないが、2011 年 11 月 18 日及び 2012 年 11 月 17-18 日の観測がほとんどない（欠測）ためであり、観測条件に恵まれているとみられるカリフォルニアであっても 2 年程度の期間では、流星群の活動状況を把握するには不十分であることが示される。33 年という長い年月を同じシステムで観測することは不可能といっても過言ではなく、しし群の全体像はまだつかめていないのが実情である。

そのような母天体が 1 回転する間におけるしし群の活動状況を追跡する試みを NMS 元会長村上忠敬先生が行っている。これは日本の眼視観測によるものであり、長期間にわたり一定の観測方法を貫くことが出来るものとして眼視観測がいかに基本的なものであるかを物語る。

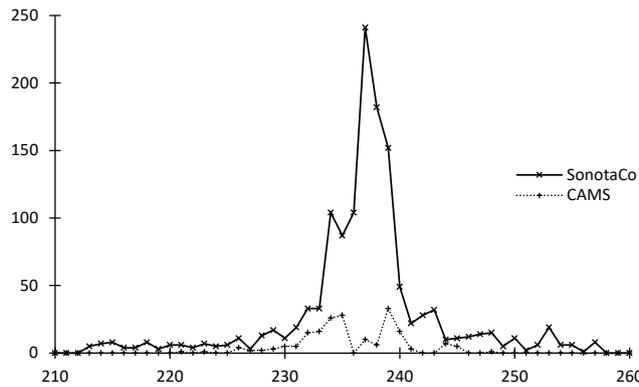


図 10：観測条件によるしし群のデータの偏り。

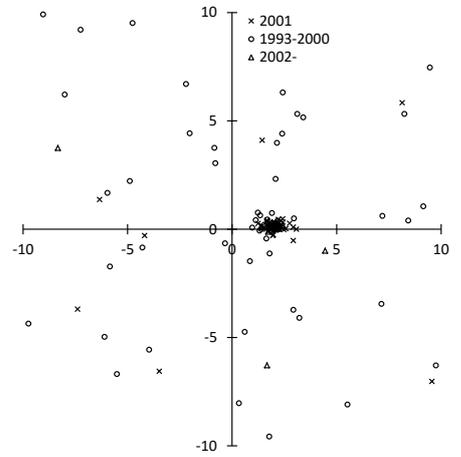


図 9：重野によるしし群の II 観測。

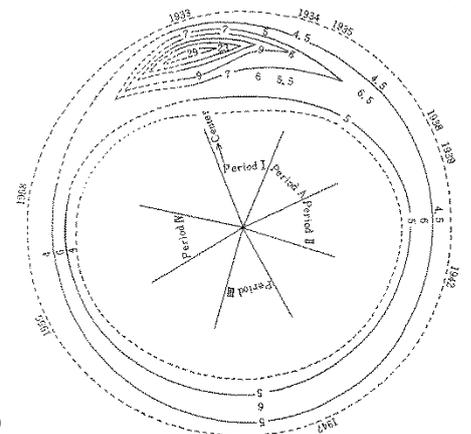


図 11：村上先生によるしし群の活動サイクル。

5. ふたご群

全ての観測方法ではっきりととらえられている流星群は多くない。しかし、それでもふたご群の全貌を捉えるには十分とは言えない。CAMS と SonotaCo ネットの観測について撮影された流星数を年毎に見るとグラフは「楕円型」になる。流星数の変動を知るだけであれば、輻射点高度の補正によって、それらしいグラフを得ることはできる。しかし、流星群の構造を捉えるために、極大と前後の流星体の違いを調べたりするには 2~3 年の観測では足りないことが分かる。このグラフで SonotaCo ネットの 2012 年の観測はふたご群の極大に遭遇していると考えられるが、CAMS の 2011 年の観測は極大から微妙に外れている。このことは SonotaCo ネットが CAMS に比べて多数のふたご群を撮影できた原因の一つと言える。

地球の公転周期に約 0.25 日の端数がつくために 1 年ごとに同一地点で観測できる流星群の位置は太陽黄経で 0.25 度ずつずれる。流星群の全体像をつかむには 4 年かかるというのは、眼視観測だけではない、電波観測、写真観測でも同様である。このことを忘れて、電波観測、写真観測の結果に重きを置くことは誤りである。IAUMDC が記載する流星群の平均太陽黄経を流星群の極大そのものと考えすることはできない。流星観測団体の多くでは、長年の眼視観測によって求められた極大の太陽黄経を用いている。月の巡りを考えれば 12 年、天候条件を考慮すればさらに長期間の観測に拠らなければ詳しいことはわからないのである。

SonotaCo ネットの 2007-16 年の全観測を用いてふたご群の流星数の変化をグラフにしたものを見ると、それでもグラフに凹凸がみられる。一部は実際の変動、一部は観測条件の違い（悪天候による観測数減少）による。しかし、まったく同じではないにせよ、同じようなシステムで 10 年間観測が続けられたことにより、ほぼふたご群の全体像を明らかにできているということは大きな成果である。

ふたご群に関して CAMS の観測は不思議な「発見」をしている。ふたごの輻射点分布にまったく重なるような 641DRG (12 月 ρ ふたご群) が活動していると指摘している。DRG がふたご群と区別されるという彼らの

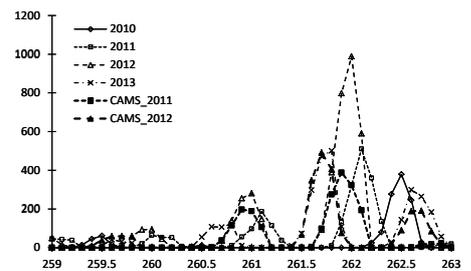


図 12：ふたご群の観測の隙間。

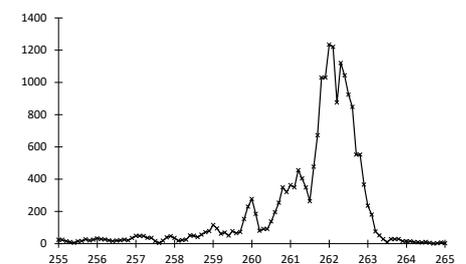


図 13：SonotaCo net10 年の観測。

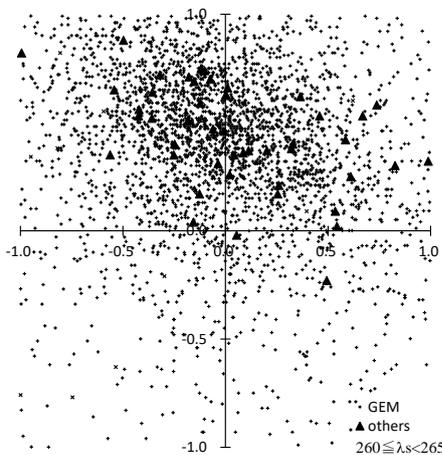


図 14: CAMS による GEM と DRG。

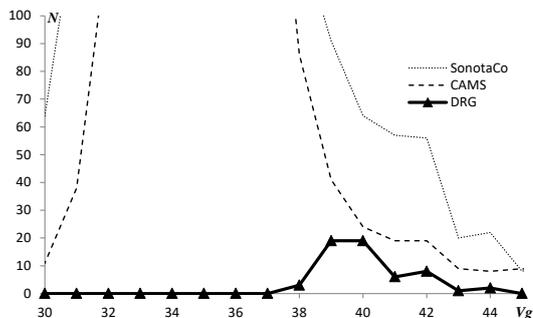


図 15: GEM と DRG の速度分布。

主張は、引用したものからも分かるように極めて単純な根拠に基づいている。速度分布のグラフは彼らの主張を裏付けるものとは到底言えない。おうし群同様、CAMS の流星群の定義は主観的と言わざるを得ない。

As a final curiosity, a group of unusual Geminids was found to have relatively high ~ 39.5 km/s entry speed (7σ above the median 33.8 km/s of other Geminids) and a resulting high $i \sim 28^\circ$ and semi-major axis $a \sim 1.5\text{--}3.0$ AU (Fig. 11). Based on the medium measurement error, we expected only 3 such outliers. These are here called here the December ρ -Geminids (#641, DRG).

6. しぶんぎ群と 12 月 α りゅう群 (DAD)

SonotaCo ネットのデータでしぶんぎ群を考えるとときには、12 月 α りゅう群 (DAD) との関係に触れる必要がある。DAD は SonotaCo ネットの 2007-08 年の観測で指摘されたものであり、CAMS のデータでもその存在は確認されている。しかし、両者の結果には大きな違いがある。

SonotaCo ネットと CAMS のデータで DAD の統計量を見てみよう。まず、活動時期だが、太陽黄経の平均

表 2: DAD の統計量。表の意味については表 1 についての説明を参照。

	$\lambda - \lambda_s$	β	Sol long	H beg	H end	Max Mv (m Vg)	e	q	i	ω	Ω	1/a	
Min	249.1	59.3	248.8	94.1	82.7	-1.0	37.5	0.493	0.950	66.3	165.0	248.8	0.147
	237.3	52.8	227.0	82.1	55.8	-3.2	33.5	0.194	0.902	58.2	133.5	227.0	-0.298
Max	282.1	65.9	262.6	108.3	102.9	4.0	43.4	0.857	0.986	77.4	202.7	262.6	0.515
	299.2	72.5	288.1	116.4	103.9	3.4	49.0	1.293	0.990	87.8	217.4	288.1	0.858
Mean	270.9	62.7	255.4	100.4	89.9	1.8	40.9	0.628	0.980	72.3	179.5	255.3	0.379
	266.0	63.3	267.4	98.8	87.6	0.6	41.3	0.691	0.975	71.9	184.5	267.4	0.317
SD	7.57	1.47	3.79	3.93	4.81	1.16	1.45	0.081	0.006	2.37	8.98	3.79	0.082
	10.19	3.34	16.25	4.69	6.32	1.09	3.10	0.153	0.013	5.16	11.69	16.25	0.157
Median	273.0	62.9	254.8	100.1	88.8	2.1	40.9	0.606	0.982	71.9	177.1	254.8	0.401
	267.6	63.4	270.6	98.4	87.9	0.7	40.9	0.653	0.981	71.7	183.2	270.6	0.354

または中央値のいずれも 10 度以上違っている。一般的に、同一の流星群であれば、このような大きな差異を生じることはない。活動期間も SonotaCo ネットでは太陽黄経で 227.0~288.1、CAMS では 248.8~262.6 と大きな違いがみられる。

DAD と判定された流星数の変化を図 16 に示す。ここでは、太陽黄経の順番に並べた DAD の流星 7 個ごとの太陽黄経の差 $\Delta\lambda_s$ を用いて $N=7/\Delta\lambda_s$ によって移動平均を算出している。これは CAMS では DAD の数が少ないために太陽黄経 1 度毎では流星数の変動を見にくいのである。太陽黄経 1 度あたり DAD と判定されている流星数を表していることになるが、図中の縦軸は左側が CAMS、右側が SonotaCo ネットに対応している。

DAD と判定された流星の平均太陽黄経は CAMS で 255.4、SonotaCo ネットで 267.4 であるが、太陽黄経は 267.4 付近では DAD と判定される流星はほとんどないことがわかる。CAMS による太陽黄経 255 度付近で CAMS の流星数が極大を迎えるのは当然であり、SonotaCo ネットでも流星数の増加がみられる。

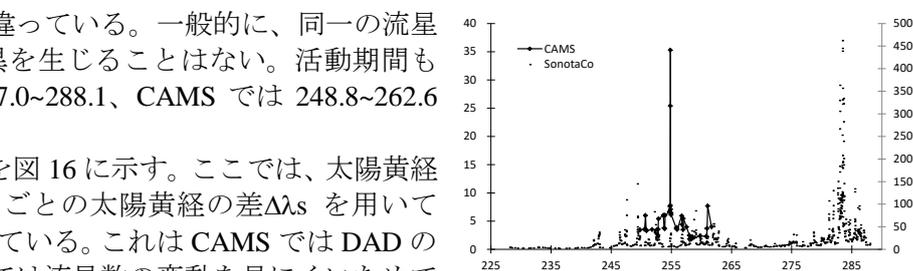


図 16: DAD の流星数変化。

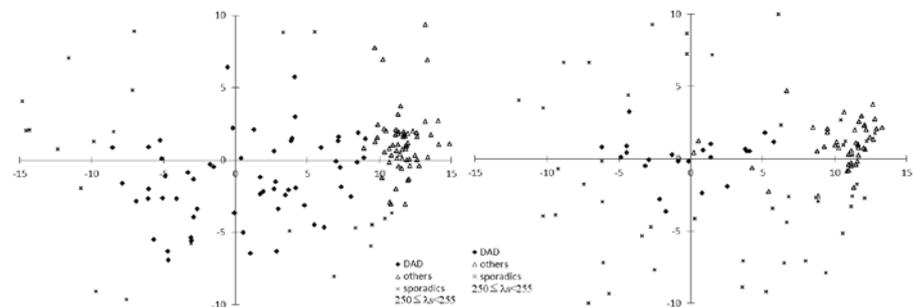


図 17: DAD の輻射点分布。SonotaCo net(左;a)、CAMS(右;b)。

太陽黄経 250~255 度における輻射点分布を見てみよう(図 17a, b)。中央やや左に見られる塗りつぶした菱形が DAD であり、右側の三角形はやはり SonotaCo ネットによって見出された 12 月 κ 群(DKD、SonotaCo ネットでは kDr)である。SonotaCo ネット、CAMS とともに DAD は DKD よりも弱い活動であることがわかる。また、a、b の図を比較すると、SonotaCo ネットで CAMS よりも DAD の数が増えているのは、CAMS が散在と判定している範囲まで DAD を拡張していることも一因であることが分かる。。

しかし、さらに注目すべきは、SonotaCo ネットでは、太陽黄経 267.4 以降に DAD と判定される流星数は増加し、太陽黄経 283 度付近で著しい増加を示している。太陽黄経 280~285 におけるしぶんぎ群の輻射点分布を図 18a, b に示す。CAMS と SonotaCo ネットで全体的にはよく似た分布であるが CAMS でしぶんぎ群と判定されている領域(図の右側)を、SonotaCo ネットの判定では DAD (この図中では三角形) が占めていることがわかる。このことから、SonotaCo ネットの判定では DAD の活動期間を長く取り過ぎたことによって、しぶんぎ群との混同が起きていると考えられる。

このことを両者でしぶんぎ群と判定された流星数の太陽黄経 1 度あたりの移動平均で見てみよう。ここでは流星数が多いので流星数 15 個ごとの平均を DAD の場合同様に見ている。極大付近で SonotaCo ネットでしぶんぎ群と判定された流星数が CAMS のものより明らかに少ないことがわかる。従って、しぶんぎ群また DAD のデータを考察するには SonotaCo ネットのデータを再判定する必要がある。太陽黄経 265 度以前を DAD、以後をしぶんぎ群とみなすことが妥当であろう。

CMOR では、しぶんぎ群はトロイダル活動の一部とみなされており、背景となる散在流星の数は多い。軌道が似ている、輻射点移動経路の延長上に位置するという点だけで群流星と判断し、しぶんぎ群の活動期間を長く取り過ぎると大きな問題を生じる。

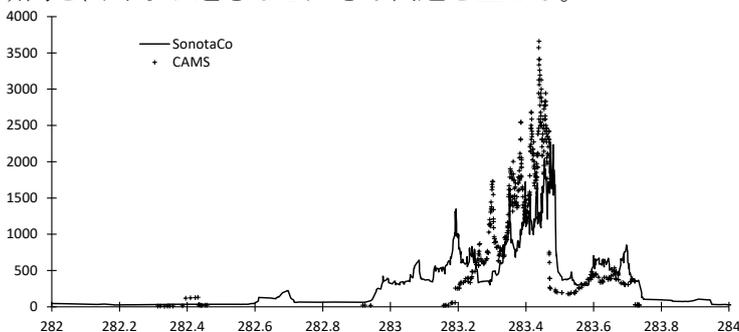


図 19 : しぶんぎ群と判定された流星数の変化。

7. おわりに

この他にも秋から冬にかけての流星群には、うみへび群、いっかくじゅう群(と 11 月オリオン群)、12 月こじし群(かみのけ群)等もあるが、これらについては天文回覧誌上でいずれ CAMS と SonotaCo ネットだけではなく、いろいろな観測によって見え方がどのように違うか解説する予定である。

ふたご群、オリオン群、しし群といった大流星群であっても、まだまだ知られていないこと、観測の届かないところがある。それらよりも活動の低い流星群になれば、どのようにその流星群を定義するか(活動期間、輻射点の範囲等々)が観測者、研究者によって異なっているために様々な混乱がある。本報告では、それらの問題点を明らかにして、今後の観測・研究課題を提示したつもりである。

- ・継続は力なり：2年、3年の観測では一部しかわからない。同じ方法で観測を続けることが解決の道。
- ・疑問があれば調べる：研究結果を鵜呑みにしないで、自分の目と手で元データを確認する。

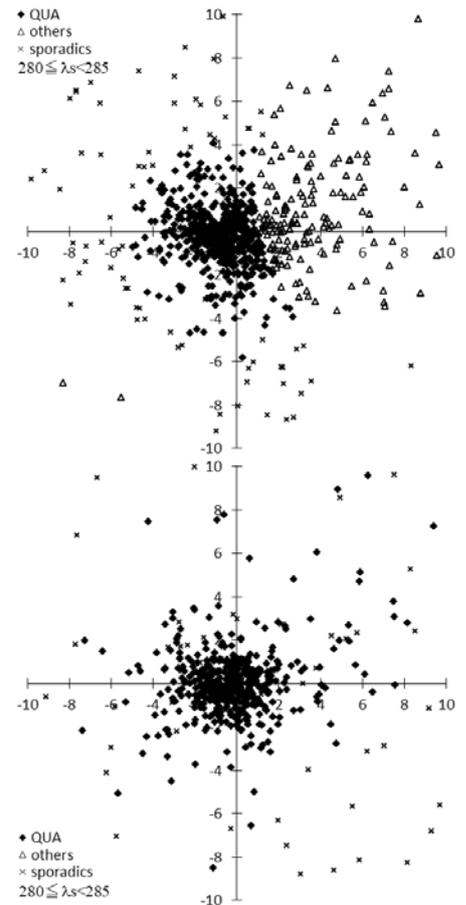
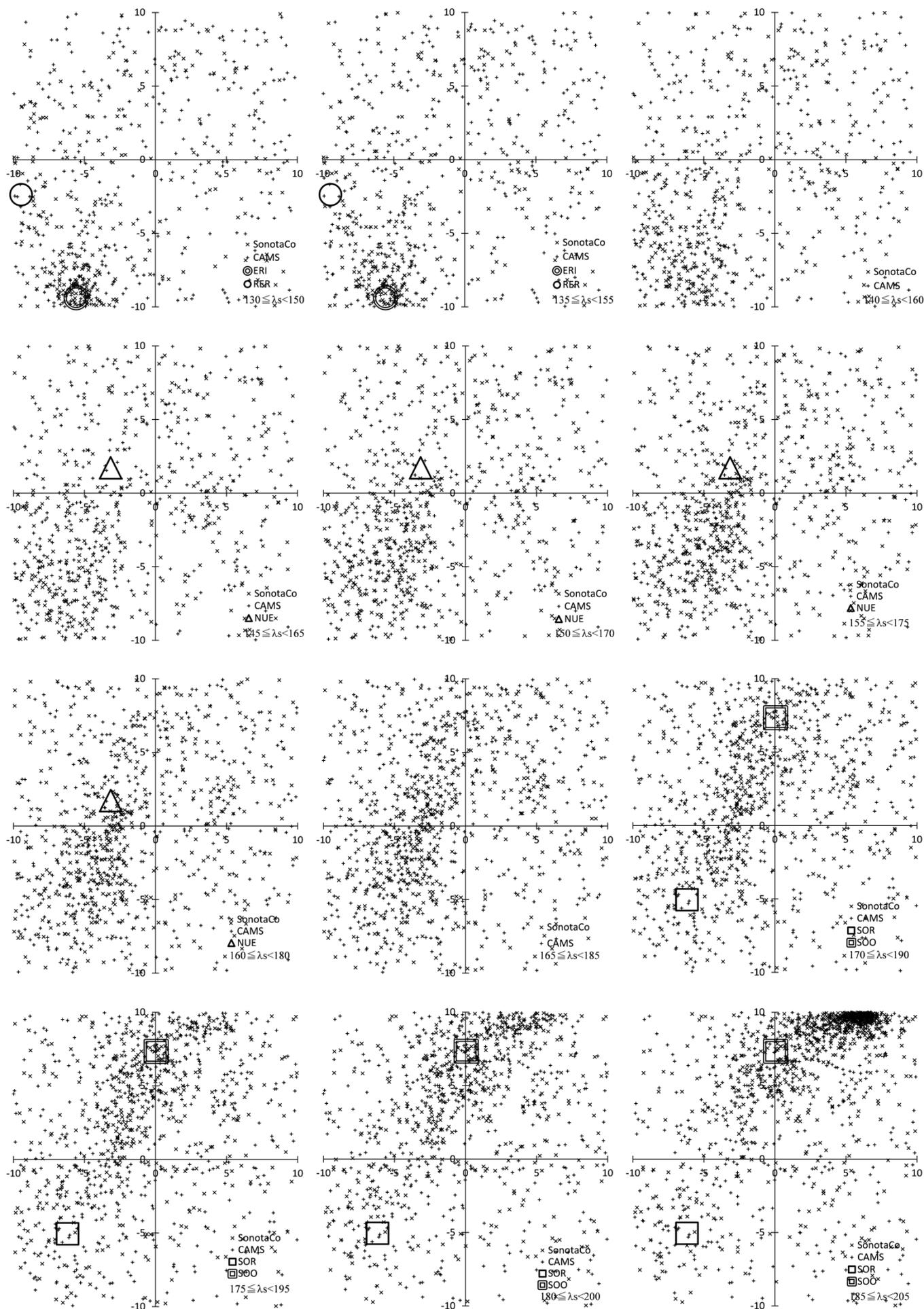


図 18 : QUAs と DAD の輻射点分布。SonotaCo net(上;a)、CAMS(下;b)。

付録：オリオン群の尻尾

上段左→右、中段、下段の順に太陽黄経 20 度ずつ重ねて $(\lambda-\lambda_s, \beta)=(254, -18)$ を中心とした輻射点分布を示す。



ふたご群輻射点拡大撮影

重野好彦

撮影日時 2017年12月13/14日 23:00~06:00(JST) (極大14日15:00) 21流星

観測地 秩父郡

撮影機材 Nikon D500 4K(3840×2160) 30fps動画 1/30secシャッター ISO:5万
レンズ 85mm F1.4 (35mm版200mm相当) 写野 11度×6度
恒星最微等級9等 流星最微等級7等
高橋P型+ビケンモード+自動ガイド

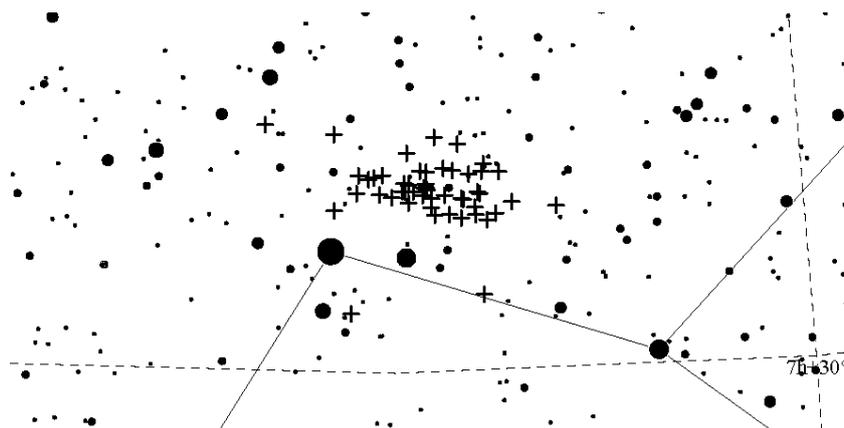


図1. 輻射点付近の星図(ステラナビゲータ) 最微等級8.5等 +印は1999.12.13/14ビデオ同時観測輻射点

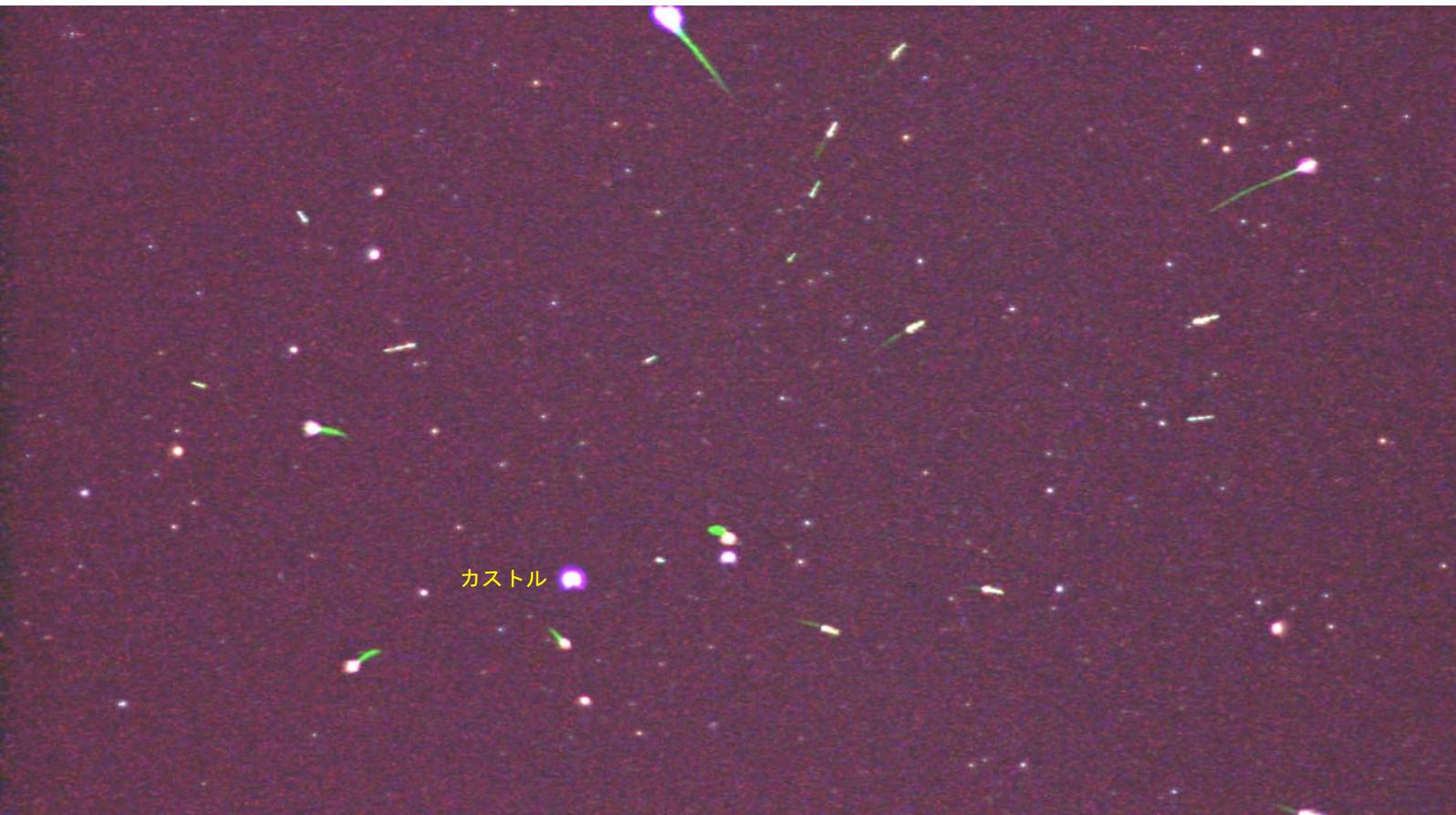


図2. 2017.12.13/14 21流星

ペルセウス群の場合は、流星最微7等まで全ての流星に短痕が見られた。ふたご群の場合は、まれに流星最微7等まで短痕が見られる。

1. はじめに

SonotaCo ネットが 10 年間の観測を継続し、その結果を公表している。これは大きく称えるべきことである。CAMS や EDMOND といったビデオ観測のデータは一部を除いて外部の利用は不可である。CAMS や EDMOND のグループが SonotaCo ネットのデータを自由に用いているのに対して不公平だとの感否めない。しかし、SonotaCo ネットのメンバーでない筆者もデータ公開の恩恵に預かっているのだから、SonotaCo ネットの流星天文学に対する貢献を大いに称賛したい。

IAUMDC の “確定群” についての問題はたびたび取り上げているが、今回は SonotaCo ネット 10 年間の観測を通して “確定群” の実態を見ていくことにする。

2. “確定群” の実態

No	Code	Name	No	Code	Name	No	Code	Name	No	Code	Name
1	CAP	alpha Capricornids	96	NCC	Northern delta Cancrids	206	AUR	Aurigids	337	NUE	nu Eridanids
2	STA	Southern Taurids	97	SCC	Southern delta Cancrids	208	SPE	September epsilon Perseids	338	OER	omicron Eridanids
4	GEM	Geminids	100	XSA	Daytime xi Sagittariids	212	KLE	Daytime kappa Leonids	339	PSU	psi Ursae Majorids
5	SDA	Southern delta Aquariids	102	ACE	alpha Centaurids	221	DSX	Daytime Sextantids	341	XUM	January xi Ursae Majorids
6	LYR	April Lyrids	110	AAN	alpha Anliids	233	OCC	October Capricornids	343	HVI	h Virginids
7	PER	Perseids	128	MKA	Daytime kappa Aquariids	242	XDR	xi Draconids	346	XHE	x Herculis
8	ORI	Orionids	137	PPU	pi Puppids	246	AMO	alpha Monocerotids	348	ARC	April rho Cygnids
9	DRA	October Draconids	144	APS	Daytime April Piscids	250	NOO	November Orionids	362	JMC	June mu Cassiopeiids
10	QUA	Quadrantids	145	ELY	eta Lyrids	252	ALY	alpha Lyncids	372	PPS	phi Piscids
11	EVI	eta Virginids	151	EAU	epsilon Aquilids	254	PHO	Phoenixids	388	CTA	chi Taurids
12	KCG	kappa Cygnids	152	NOC	Northern Daytime omega Cetids	257	ORS	Southern chi Orionids	390	THA	November theta Aurigids
13	LEO	Leonids	153	OCE	Southern Daytime omega Cetids	281	OCT	October Camelopardalids	404	GUM	gamma Ursae Minorids
15	URS	Ursids	156	SMA	Southern Daytime May Arietids	319	JLE	January Leonids	411	CAN	c Andromedids
16	HYD	sigma Hydrids	164	NZC	Northern June Aquilids	320	OSE	omega Serpentids	427	FED	February eta Draconids
17	NTA	Northern Taurids	165	SZC	Southern June Aquilids	321	TCB	theta Coroneae Borealis	428	DSV	December sigma Virginids
18	AND	Andromedids	170	JBO	June Bootids	322	LBO	lambda Bootids	431	JIP	June iota Pegasids
19	MON	December Monocerotids	171	ARI	Daytime Arietids	323	XCB	xi Coroneae Borealis	445	KUM	kappa Ursae Majorids
20	COM	Comae Berenicids	172	ZPE	Daytime zeta Perseids	324	EPR	epsilon Perseids	446	DPC	December phi Cassiopeiids
21	AVB	alpha Virginids	173	BTA	Daytime beta Taurids	325	DLT	Daytime lambda Taurids	506	FEV	February epsilon Virginids
22	LMI	Leonis Minorids	175	JPE	July Pegasids	326	EPG	epsilon Pegasids	510	JRC	June rho Cygnids
23	EGE	epsilon Geminids	183	PAU	Piscis Austrinids	327	BEQ	beta Equuleids	512	RPU	rho Puppids
26	NDA	Northern delta Aquariids	184	GDR	July gamma Draconids	328	ALA	alpha Lacertids	524	LUM	lambda Ursae Majorids
27	KSE	kappa Serpentids	187	PCA	psi Cassiopeiids	330	SSE	sigma Serpentids	526	SLD	Southern lambda Draconids
31	ETA	eta Aquariids	188	XRI	Daytime xi Orionids	331	AHY	alpha Hydrids	529	EHY	eta Hydrids
33	NIA	Northern iota Aquariids	191	ERI	eta Eridanids	333	OCU	October Ursae Majorids	530	ECV	eta Corvids
61	TAH	tau Herculis	197	AUD	August Draconids	334	DAD	December alpha Draconids	533	JXA	July xi Arietids
63	COR	Corvids	198	BHY	beta Hydrusids	335	XVI	December chi Virginids	549	FAN	49 Andromedids
69	SSG	Southern mu Sagittariids	202	ZCA	Daytime zeta Cancrids	336	DKD	December kappa Draconids	569	OHY	omicron Hydrids

Total: 112 established showers.

(1) “確定群” の分類

見え方という観点から次の 6 類に分けて考えることにする。

基本群：ほぼすべての観測方法によって捉えられているもの：23 群。

CAP, STA, GEM, SDA, LYR, PER, ORI, QUA, LEO, URS, NTA, MON, NDA, ETA, ARI, DSX, NOO, JLE, AHY, PPS, CTA, THA, GUM

光学群：電波観測によっては明瞭にとらえることが出来ないもの：40 群。

EVI, KCG, HYD, COM, LMI, EGE, ELY, JPE, GDR, ERI, AUR, SPE, AMO, ORS, OCT, OCU, DAD, XVI, DKD, NUE, OER, PSU, XUM, HVI, XHE, CAN, FED, DSV, JIP, KUM, DPC, FEV, JRC, LUM, SLD, EHY, ECV, JXA, FAN, OHY

電波群：光学観測によっては明瞭（下線のものは曖昧）にとらえることが出来ないもの：12 群。

AAN, NZC, SZC, XDR, OSE, TCB, LBO, XCB, EPG, BEQ, ALA, SSE

史的群・周期群：過去に突発が捉えられた歴史的な群、または、活動の変動が大きいもの：7 群。

DRA, AND, TAH, COR, PPU, JBO, PHO

昼間群・南天群：北半球の光学観測では観測不能または困難なもの：15 群。

XSA, MKA, APS, ACE, NOC, OCE, SMA, ZPE, BTA, XRI, BHY, ZCA, KLE, EPR, DLT

不詳群：光学観測はあっても、SonotaCo ネットの観測で明確には認められないもの：15 群。

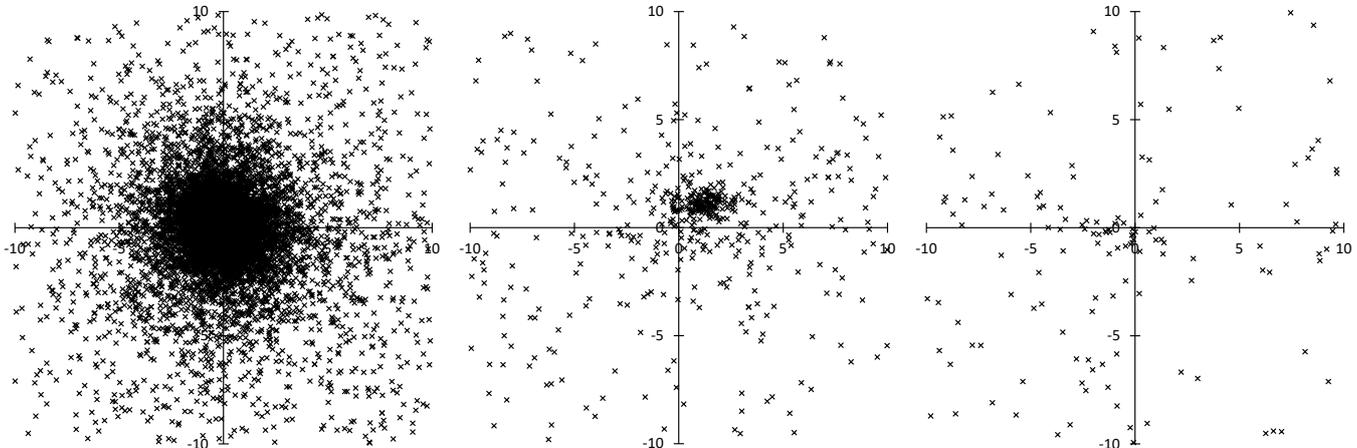
AVB, KSE, NIA, SSG, NCC, SCC, EAU, PAU, PCA, AUD, OCC, ALY, ARC, JMC, RPU

もちろん、分類の境界は曖昧であり、電波群の NZC、XCB などは、基本群との境界上にある。厳密な分類よりも、“確定群” という名称からは、「すべての観測方法によって捉えられている」と考えられがちであるが、そのような基本群は全体のほぼ 1/5 であるという点を強調しておきたい。

(2) 基本群

「すべての観測方法によって捉えられている」といっても、PER のように光学観測の方が電波観測よりも活発な活動がみられるものもある。両方で同じように見えているわけではない。また、PER、GEM のように非常に出現数の多いものもあれば、THA、GUM のように眼視観測ではまず捉えることが困難な極小流星群もあ

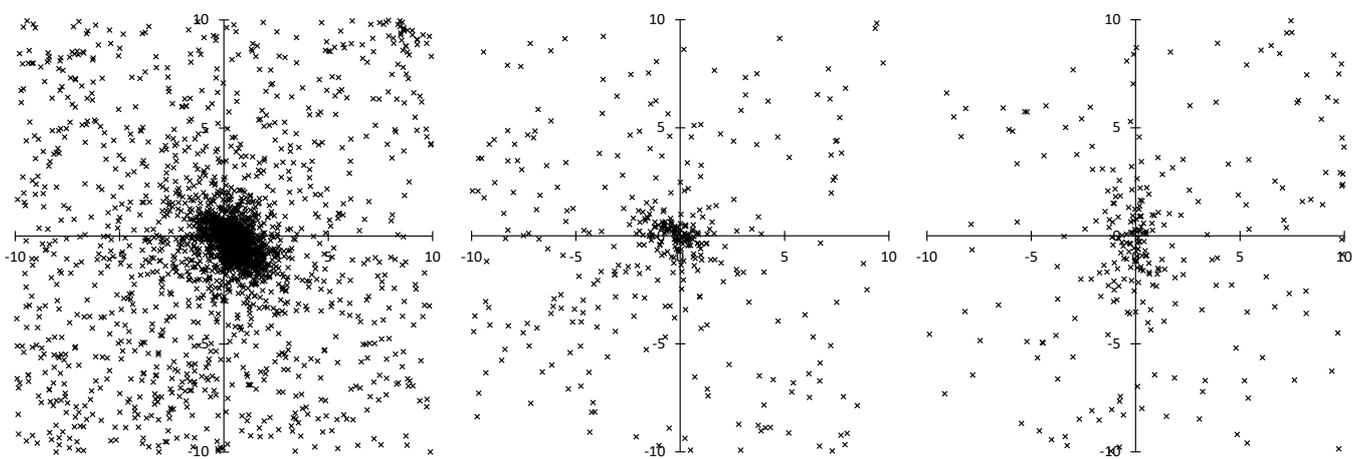
る。以下に 10 年間の SonotaCo ネットの観測によって GEM、URS、GUM の輻射点分布を示す。各図の下部に 4GEM3、SonotaCo、208.1、10.4、255~270 のように基本データを示した。これは IAUMDC の No.4 が GEM であり、その中で 4 番目(3 という数字は IAUMDC では最上位に表示されるものを 0 としているためである)に SonotaCo ネットのデータが示され、 $(\lambda-\lambda_s, \beta)$ という黄道座標で(208.1, 10.4)が輻射点の中心であり、極大を挟んで太陽黄経 255~270 度の輻射点を表示したものであることを表している。10 年間の蓄積により極めて大量のデータが得られていることが分かる。ここでは輻射点の広がりの問題には触れずに、他の群を見ていくことにする。中央は URS である。「史的群・周期群」とも言えるが、近年小規模の突発が繰り返されて、光学的にも電波によっても捉えられている。小流星群の例と言え。右は GUM という群でなじみがないが、CMOR の電波観測で見出されて以降、光学的にも捉えられている。10 年間の蓄積でこの程度のデータであるから、眼視観測ではまず気付くことはできない極小流星群である。



4GEM3	SonotaCo	208.1	10.4	255~270	15URS2	SonotaCo	221.3	71.0	260~275	404GUM2CAMS	212.6	74.4	290~305
-------	----------	-------	------	---------	--------	----------	-------	------	---------	-------------	-------	------	---------

(3)光学群

眼視観測では存在が示唆される程度、写真観測でも小流星群としか考えられていなかった流星群の中に CCD 観測によって主要流星群に匹敵するほどの活動を示すものが見出されてきた。その後、SonotaCo ネットまたそれに続く CAMS 等の活動により、非常に多くの流星活動が見出されている。これらの多くは眼視観測ではほぼ知られていなかったものである。観測機器の特性から、高速で明るい流星の割合が高い流星群と考えられる。COM がこれほど多く捉えられているのに、眼視観測では貧弱な出現しか見られないことから、それよりも活動の低い群を眼視観測で捉えることは困難と考えられる。近年では OCU よりもさらに出現数の少ない活動が CCD 観測によって <流星群>として多数報告されている。



20COM1	SonotaCo	243.3	21.3	260~275	175JPE2	Ueda	244.1	14.5	105~120	333OCU0	Uehara	278.8	46.8	195~210
--------	----------	-------	------	---------	---------	------	-------	------	---------	---------	--------	-------	------	---------

(4)電波群

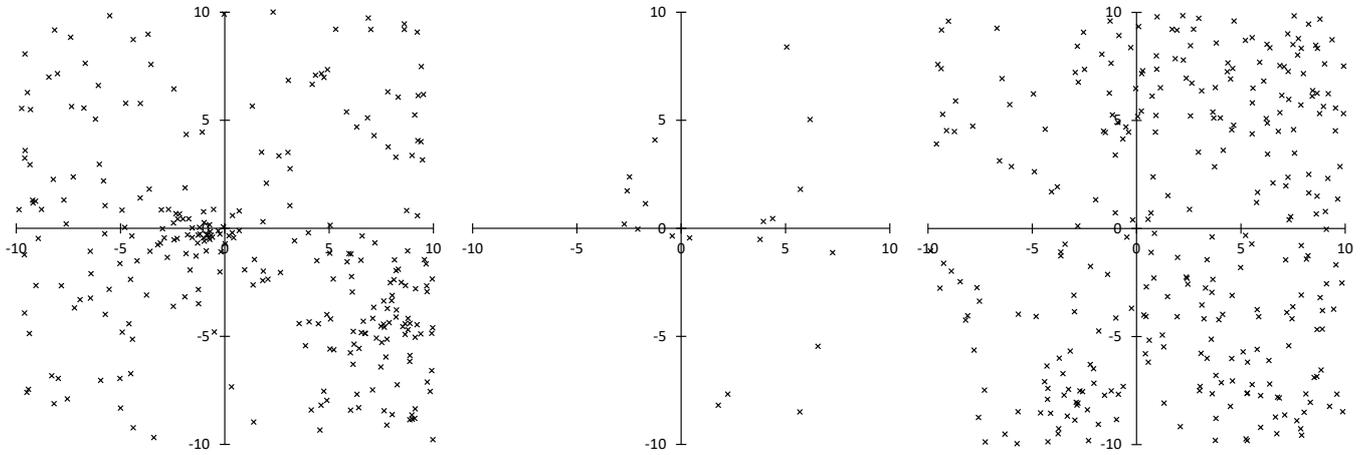
実は電波群といっても、電波観測の中だけでも一致する流星群を見出すことは困難である。これが電波観測の数だけ群判定基準があることによるのか、微小な流星体の領域では流星活動の変動が激しく年毎に活動する流星群が異なるのか、あるいはほかの原因があるのかよく分かっていない。

ここでは IAUMDC で重用されている CMOR の観測を例にとる。もちろん、CMOR の観測で基本群も捉えられているし、'working list' のままのものもある。“確定群”とされている中で、CMOR の観測が筆頭(各流星群の先頭に掲げられている)とされているものだけを取り上げる。

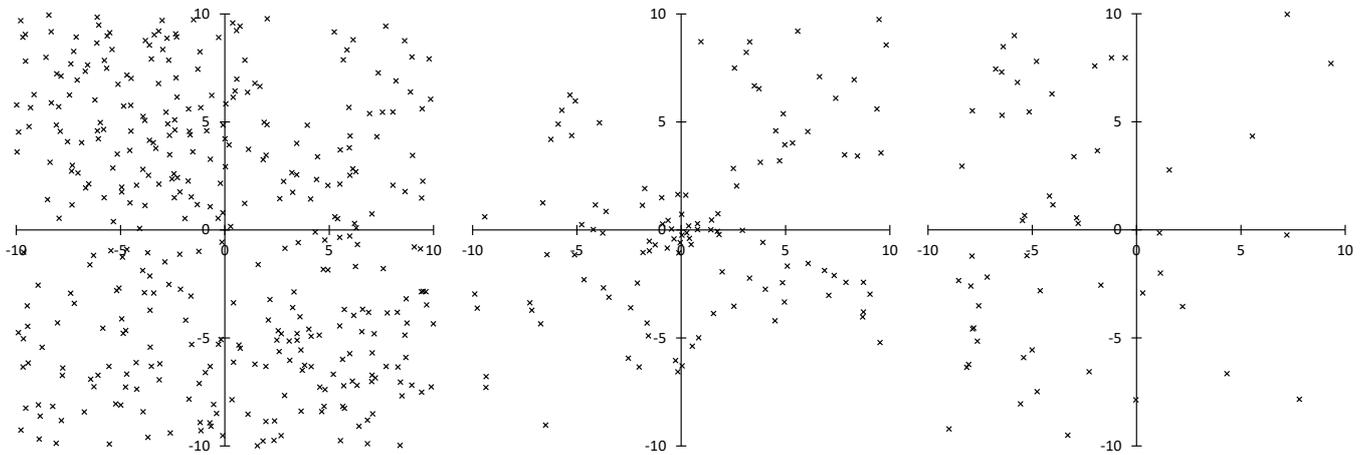
表中で LaSun は極大時の太陽黄経、N は帰属流星数である。 $(\lambda-\lambda_s, \beta)$ で β が大きいものはトロイダル、 $\lambda-\lambda_s$ が 300 よりも大きいものは昼間群と考えてよい。

	shower name	Ra	De	Vg	LaSun	$\lambda-\lambda_s$	β	e	q	inc	peri	node	a	N
319JLE0	January Leonids	148.3	23.9	52.7	282.5	220.3	10.4	0.9913	0.055	109.3	333.7	282	6.3	138
320OSE0	omega Serpentids	242.7	0.5	38.9	275.5	324.6	21.2	0.88	0.164	56.5	38.8	275.9	1.37	60
321TCB0	theta Coronae Borealids	232.3	35.8	38.66	296.5	279.2	52.4	0.1662	0.924	77	124.9	296.5	1.108	1123
322LBO0	lambda Bootids	219.6	43.2	41.75	295.5	259.9	54.4	0.3579	0.956	79.3	206.6	295.4	1.49	354
323XCB0	xi Coronae Borealids	244.8	31.1	44.25	294.5	299.7	51.5	0.6509	0.817	79.6	124.7	294.5	2.34	185
324EPR0	epsilon Perseids	58.2	37.9	44.8	95.5	328.2	17.3	0.9714	0.13	63	39.7	96	4.55	203
325DLT0	Daytime lambda Taurids	56.7	11.5	36.4	85.5	331.6	-8.2	0.9337	0.104	23.2	210.8	1.7	1.57	406
326EPG0	epsilon Pegasids	326.3	14.7	29.9	105.5	228.9	26.5	0.7711	0.173	55.4	334.9	105.2	0.757	65
327BEQ0	beta Equuleids	321.5	8.7	31.6	106.5	220.7	22.6	0.8164	0.163	49.7	330.3	106.2	0.887	89
328ALA0	alpha Lacertids	343	49.6	38.9	105.5	266.5	50.7	0.0799	1.002	81.1	217.1	105.3	1.089	66
330SSE0	sigma Serpentids	242.8	-0.1	42.3	275.5	324.9	20.6	0.9168	0.16	64	41.3	275.9	1.92	540
331AHY0	alpha Hydrids	127.6	-7.9	43.6	285.5	207.3	-26.0	0.9774	0.287	57.1	115.6	105	12.7	193

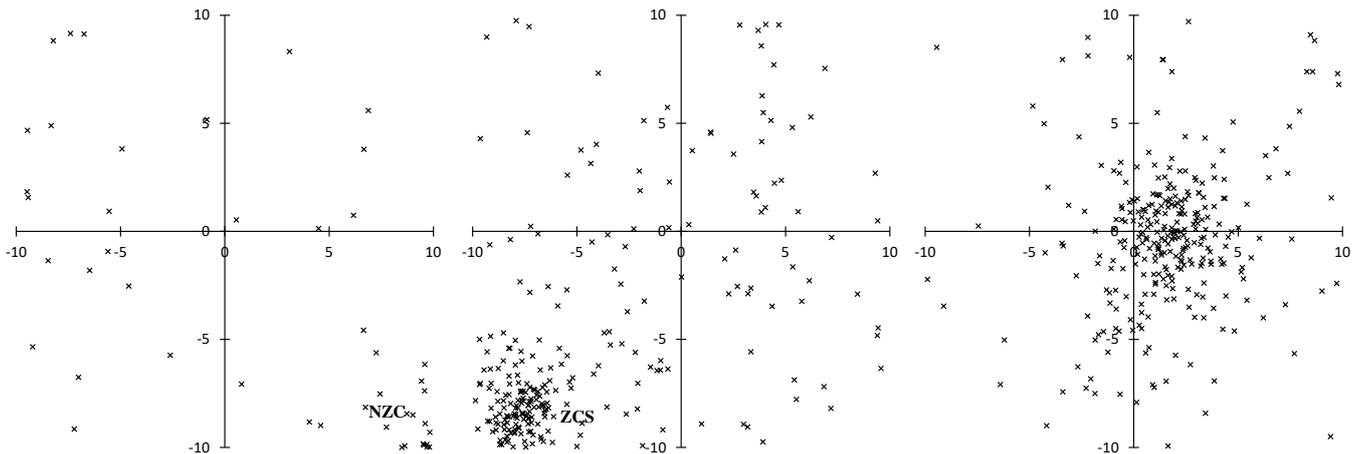
後者のうち、光学観測が困難な EPR、DLT、SSE を除いた輻射点分布を示す。



319JLE4	CAMS	218.3	10.4	275~290	320OSE1	CAMS	332.9	16.5	270~285	321TCB1	CMOR	282.1	51.5	290~305
---------	------	-------	------	---------	---------	------	-------	------	---------	---------	------	-------	------	---------



322LBO1	CMOR	262.1	54.4	290~305	323XCB4	CAMS	306.8	51.4	290~305	326EPG1	CAMS	227.9	23.5	100~115
---------	------	-------	------	---------	---------	------	-------	------	---------	---------	------	-------	------	---------



327BEQ0	CMOR	220.7	22.6	100~115	328ALA1	CAMS	267.0	52.1	100~115	331AHY1	SonotaCo	210.3	-26.5	275~290
---------	------	-------	------	---------	---------	------	-------	------	---------	---------	----------	-------	-------	---------

JLE、XCB、AHYを除いては、光学的に確認できないことがわかる。表中で CAMS と記したものは CAMS で確認したとしているが SonotaCo ネットの観測からは確認できない。

特に TCB は流星数が表中で最も多いが、SonotaCo ネットの観測では、ほぼ背景の散在流星の活動に埋もれている。TCB はトロイダル活動の典型である。トロイダル全般を散在流星とみなすこともできるが、CMOR によってトロイダルの活動に1年間の間に大きな変動があることが見出され、それらを分割して<流星群>としている。

(5)史的群・周期群

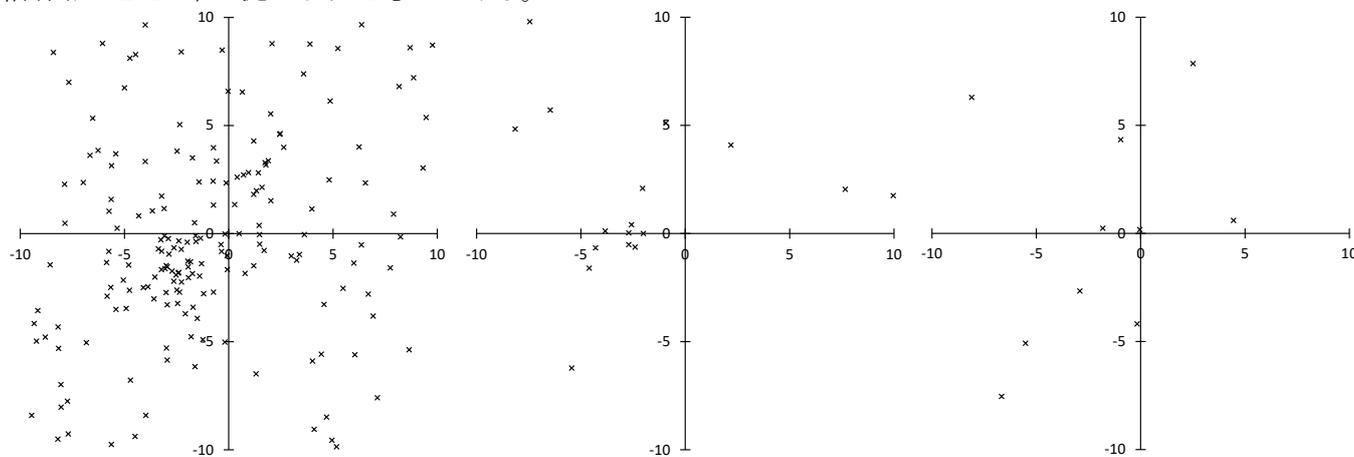
代表的な例は Hoffmeister が記録した COR だが、これはその後観測されていない。Jenniskens は CAMS の観測から Hoffmeister の輻射点からかなり離れた位置に活動を認めたとしているが、SonotaCo ネットの観測ではどちらについても輻射点の集中は認められない。地球背後から衝突する型であり、輻射点が拡散して D 判定でならある程度の活動を検出することが出来るかもしれないが、少なくとも輻射点分布からは存在を確認できない。PPU も南半球の眼視観測だけに基づいており、状況はよく似ている。

DRA は広く知られているように、流星群の軌道が地球と遭遇すれば、光学観測でも電波観測でも捉えられる基本群である。2007~2016年の SonotaCo ネットの観測は出現期から外れているので、この位置づけになる。

AND は指摘されている場所に輻射点の弱い集中がみられるが、これが歴史的なアンドロメダ流星雨と直接関係するか明らかではない。IAUMDC には COR のような歴史的観測は掲載されていない。

TAH と JBO の状況は似ている。いずれも 20 世紀前半に彗星からの流星出現が予報され、それに対応する眼視観測が得られた。その後、TAH は写真観測を用いた D 判定によって関連するとみられる流星の出現が認められた。しかし、写真観測でもビデオ観測でも輻射点は極めて拡散しており、輻射点分布から確認することはできない。一方、JBO はその後の軌道変化によって、流星体と地球軌道の接近が予報され、それに応じた弱い出現が認められている。

PHO は 1956 年の観測後、2014 年に出現が予報され、観測されているが、IAUMDC に掲載されている輻射点は 1956 年のものであり、2014 年の輻射点とは遠く離れている。図中で原点付近と縦軸上で-4 付近の 2 つの輻射点が 2014 年に捉えられたものである。



18AND1	SonotaCo	163.4	18.8	220-235	170JBO0	EN270698	97.8	59.6	90-105	PHOsato	105.8	-28.2	240-255
--------	----------	-------	------	---------	---------	----------	------	------	--------	---------	-------	-------	---------

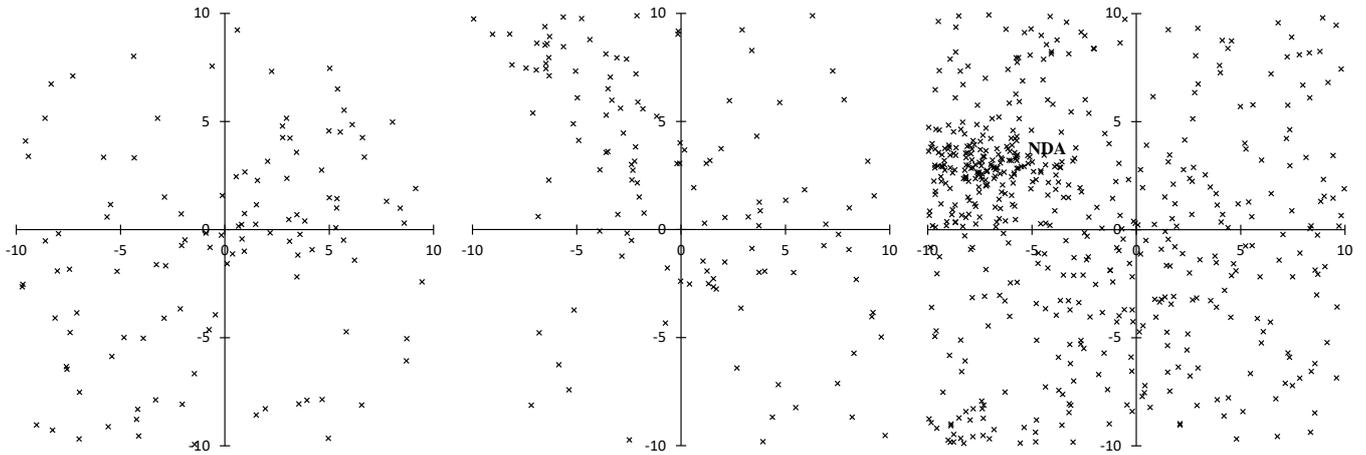
(6)昼間群・南天群

最新の IAUMDC の'working list'には CAMS が展開しているニュージーランドでの観測と思われる日本からは観測できない赤緯のものが含まれている。また、昼間群の光学観測は無理であるので、今後、この分類に入る流星群は増加する可能性が高い。

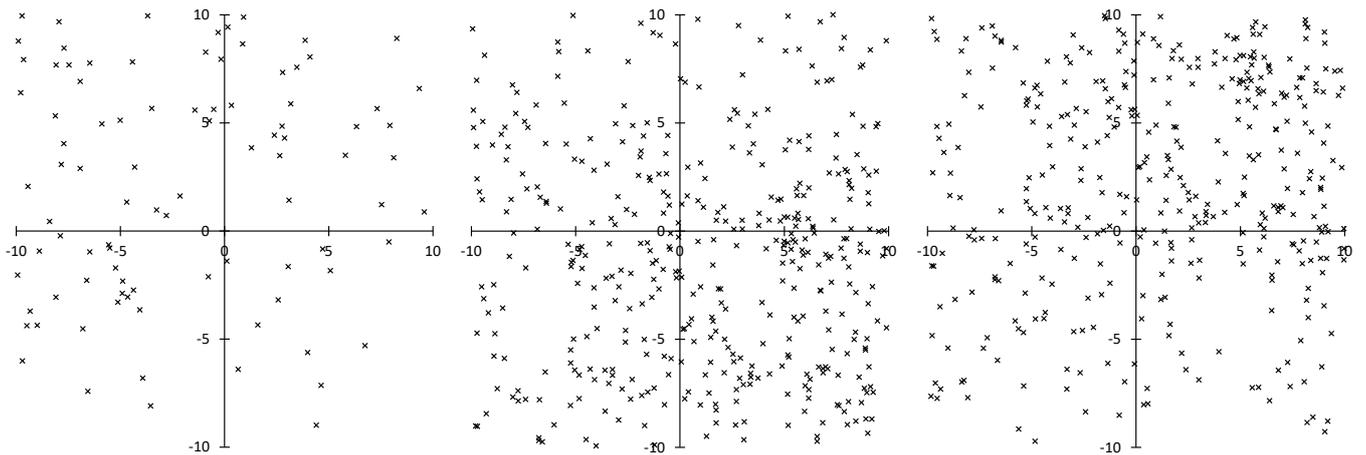
(7)不詳群

不詳群とは“不確定群”という意味でもあるので、個々の説明を簡単にしておこう。AVB は σ -Leonids というくくりの中に入れられたこともあり、非常に漠然としている。KSE は Harvard の写真観測によって指摘されたが、突発なのか、偶然の集団なのか不明である。NIA は“確定群”から格下げされた SIA とともに Harvard の写真観測で検出されたもので、不詳群の中ではよく名前が知られた<流星群>である。SSG は眼視観測以来、黄道群として知られていた<流星群>を写真観測から固定化したものである。NCC と SCC は黄道群であり、南北に分離できるかも含めて曖昧な存在である。EAU は Harvard の電波観測を取り上げたもので、CAMS で確認したとしているが、不確実である。PAU は南半球の眼視観測で指摘されていたが、SDA の南側に位置しており、分離は不確実である。PCA は Harvard と CMOR の電波観測、また、CAMS でも捉えられているが、SonotaCo ネットでは確認できない。AUD は KCG に接しており、特に CAMS の KCG とは分離しがたい。OCC は地球背点に近く、IAUMDC で掲載している 3 つの資料の根拠はほぼ 1 件の眼視観測報告である。ALY は IAUMDC で 2 件のデータを載せているが、1 件は出典不明である。ARC は CMOR の電波観測を取り上げたもので、CAMS で確認したとしているが、不確実である。JMC は CMOR の電波観測を取り上げたもので、IMO

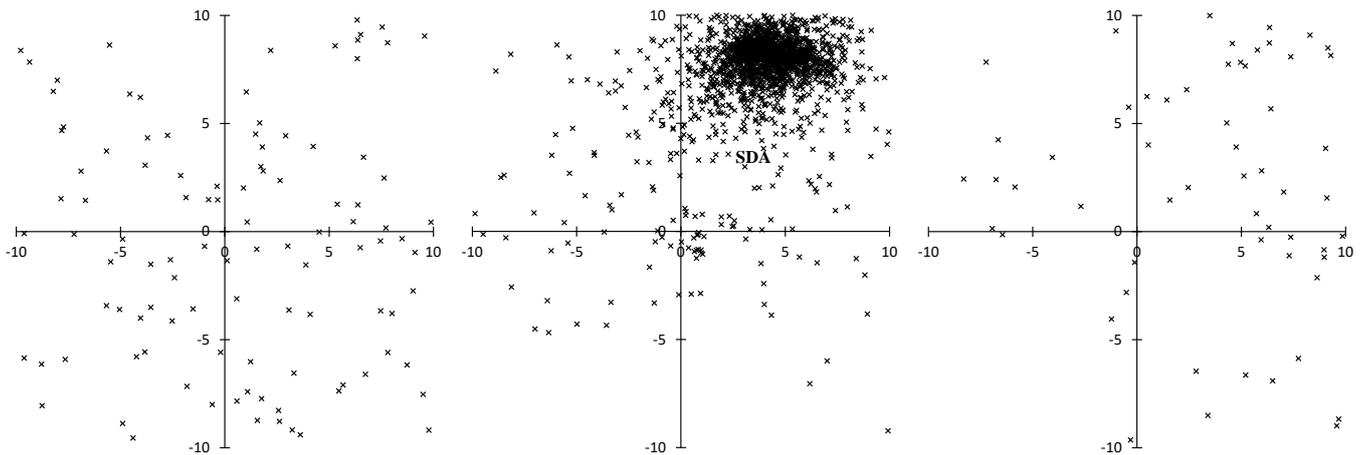
のビデオ観測と CAMS で確認したとしているが、不確実である。RPU は CAMS と Segon らのビデオ観測によるが、両者にはかなりの不一致がある。



21AVB4	CAMS	170.7	11.8	25~40	27KSE2	CAMS	213.6	36.6	10~25	33NIA5	CAMS	199.5	4.1	140~155
--------	------	-------	------	-------	--------	------	-------	------	-------	--------	------	-------	-----	---------



69SSG0	Porubcan	176.3	-4.2	70~85	96NCC6	CAMS	194.6	2.5	290~305	97SCC3	CAMS	194.6	-5.0	290~305
--------	----------	-------	------	-------	--------	------	-------	-----	---------	--------	------	-------	------	---------



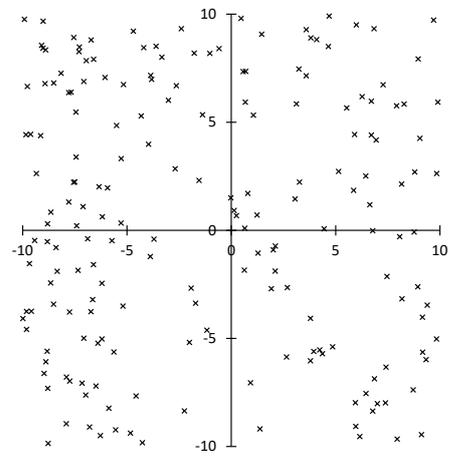
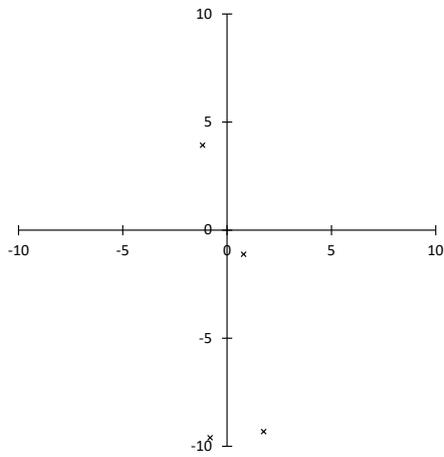
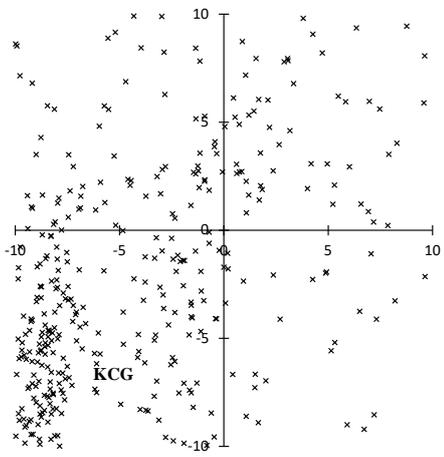
151EAU1	CAMS	238.1	41.3	55~70	183PAU2	SonotaCo	212.0	-15.8	125~140	187PCA2	CAMS	306.6	53.2	110~125
---------	------	-------	------	-------	---------	----------	-------	-------	---------	---------	------	-------	------	---------

このような問題を生じる原因はいくつかある。第一には、写真観測時代に行われた研究の権威を尊重したことである。写真観測は現代のビデオ観測に比べてはるかにデータ数が少なく、その中で似た輻射点、軌道を持つものを<流星群>と称したのである。そして、その研究を尊重したことをいまだに引きずり続けている。第二には、研究者・グループへの外交的配慮（付度）が入り込んでいることである。あちらとこちらのバランスをとるといふ、科学的とは言えない扱いがある。第三としては、散在流星や他の流星活動との区別について明確な規定がないことである。活動の変動も考えられるが、いずれも“確定群”と呼ぶには当たらないだろう。

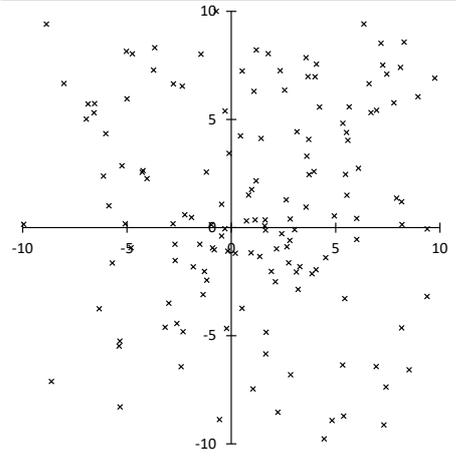
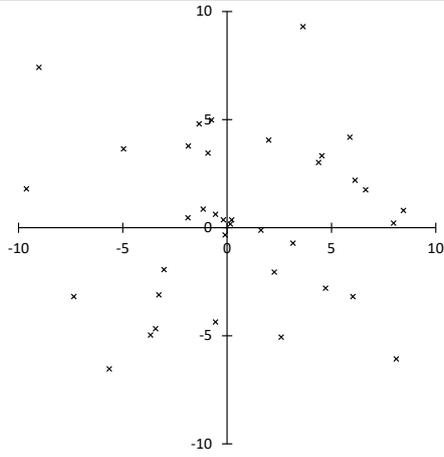
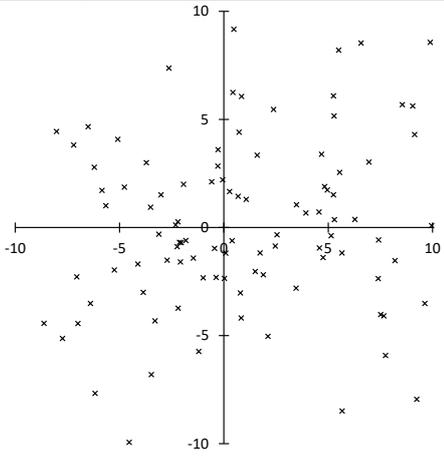
3. 'working list'の中で注目される<流星群>

“確定群”の中にも不詳群がある一方で、現在は'working list'に含まれているが、SonotaCo ネットの観測で輻射点の集中が明瞭なものもある：TPY、ASX、ZCS。

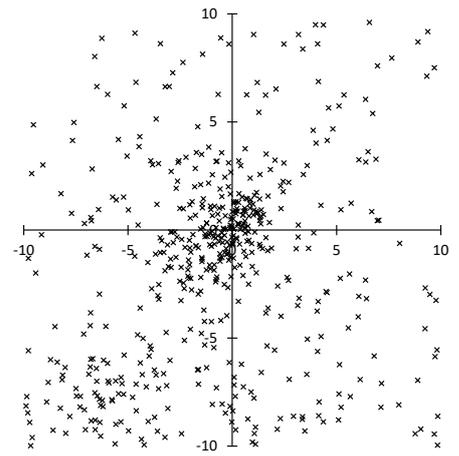
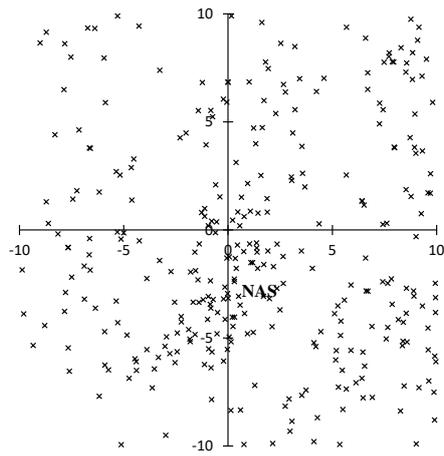
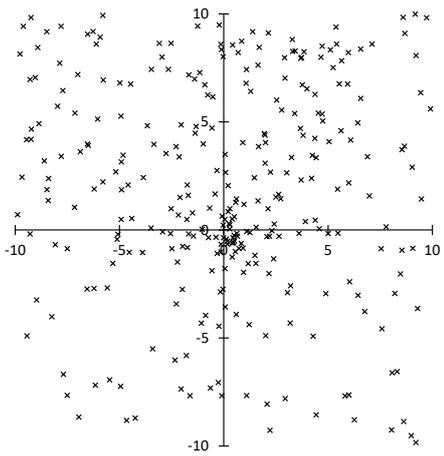
昨年の NMS 同報上で取り上げられた、「崩れる流星」を主とした流星群が IAUMDC に登録された。最後



197AUD1 CAMS	134.0	82.3	135-150	233OCC2 IMO	113.3	9.7	185-200	252ALY1 CAMS	217.9	23.1	265-280
--------------	-------	------	---------	-------------	-------	-----	---------	--------------	-------	------	---------



348ARC1 CAMS	310.3	56.6	30-45	362JMC2 CAMS	323.3	43.9	70-85	512RPU1 CAMS	271.4	-42.7	220-235
--------------	-------	------	-------	--------------	-------	------	-------	--------------	-------	-------	---------



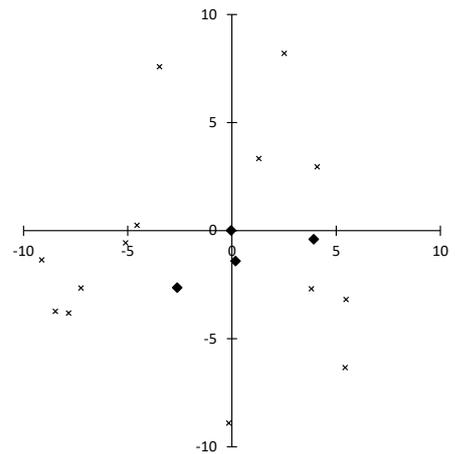
340TPY0 SonotaCo	262.0	-39.1	240-255	439ASX0 Shigeno	281.1	-13.0	230-245	444ZCS0 Segon	277.8	42.8	105-120
------------------	-------	-------	---------	-----------------	-------	-------	---------	---------------	-------	------	---------

に新しく登録される<流星群>の例として見ておこう。最初に注目されたのは群の活動ではなく、流星の外観であった。既に動画は削除されているが、痕が拡散していく様子は極めて印象的であった。その後、SonotaCo ネットのフォーラムで検討が進められ、合計 4 個の流星を同一群として IAUMDC に申請し受理されたものである。

右図で黒い菱形が 2017 年の観測、×は 2007~2016 年の観測である。恐らく、特異な外観に注目が集まらなければ<流星群>の存在は気付かれなかったものと思われる。

4. まとめ

電波、ビデオそれぞれの特性があり、また、活動の変動を考慮すれば、毎年、眼視観測で捉えられる可能性がある流星群（これを確定群と呼びたい）は 20 群程度であろう。



927AAQ0 Shiba	117.9	13.8	205-220
---------------	-------	------	---------