

# SonotaCo Networkの観測による木星族流星群

司馬康生 (Shiba, Yasuo)

## 要旨

日本の自動 TV 流星観測ネットワーク SonotaCo Network の 2007-2018 年の観測データから IAU MDC において "established meteor shower" とされる木星族の 43 流星群データを見直した。その結果として、37 流星群の諸元を提供する。一方、6 流星群は有意なデータを得られなかった。この中には "established" とされる扱いに疑念を持つ流星群が含まれ、現在の IAU MDC の扱いに対する改善提案をする。また、発光点、消滅点の高さについて  $V_g$  依存効果を除いたとき、近日点距離  $q$  と相関があることが分かった。

## 1. 序論

日本の自動 TV 流星観測ネットワーク、SonotaCo Network (SonotaCo 2009) が定常データを取り始めた 2007 年からの観測実績は、世界の流星観測を大きく前進させた。木星族の流星群においては、おうし座南流星群 (STA: Asher&Izumi1998, Shiba2016)、はくちょう座  $\kappa$  流星群 (KCG: Shiba 2017)、おとめ座  $\eta$  流星群 (EVI: Shiba 2018) の 3 流星群の公転周期が木星の公転周期と整数比の関係があり、軌道共鳴による周期的な増減を繰り返すことがわかった。2018 年までの 12 年間のデータ蓄積は、木星の公転周期、12 年弱を超え、木星の重力効果を調べることに十分な年数に達した。このため他の木星族の流星群で、共鳴に起因する可能性がある流星群の周期的増減が存在するかを調べたところ、第 4 の軌道共鳴流星群を見つけることはできなかった。それでも、各流星群の多様な活動がその集計の中で現れたので、ここに報告すると共に、若干の問題提起をする。

## 2. 方法

調査対象は、IAU (国際天文学連合) の流星データセンター (Rudawska & Jopek (2019)) に 2019 年初に "established meteor shower" として登録されている流星群の中から抽出した。抽出条件は、(1) 軌道周期が木星周期と同等以下であること。(2) 木星軌道に 2.5au 程度以下に接近する軌道であること。(3) 輻射点が南天低く日本から観測できない流星群を除く。(4) 輻射点が太陽に近く、光学観測がほとんどできない昼間群を除く。以上の 4 項目の確認により、43 流星群を対象とした。

元データは SonotaCo Network よりダウンロードしたデータし、UFOOrbit V2 により軌道計算した。

流星群の帰属判定は、輻射点分布と速度分布から集中部分を残し、外れた流星を取り除く方法と、軌道の類似性を表す Dd 判定 (Drummond 1981) による方法を併用した。詳細は各群で述べる。

得られた諸元の様式は、SonotaCo Network の提供するソフトウェア、UFO シリーズの群判定データとして使用可能であることを念頭に掲げた。

## 3. 結論

### 3-1 各流星群の諸元

得られた結果を表-1 に示す。項目は左から (No) IAU MDC 番号、(和名) 流星群の和名、(Code) IAU MDC の略号、(Activity) 活動様態もしくは調査年、(S.Lon) 平均の太陽黄径、(S.L.Beg) およその

表 1 得られた流星群の諸元

No	和名	Code	Activity	S. Lon	S.L.Beg	S.L.end	RA	DE	dRA	dDE	Vg	dVg	R.P. <sub>≡</sub>	Vg <sub>±</sub>	a	q	e	P	Peri	Node	Incl	N	mag	H1	H2
1	やぎ座α流星群	CAP	annual	128.1	116	137	306.4	-9.17	0.662	0.271	21.8	-0.123	2.5	1.5	2.405	0.604	0.749	3.73	266.9	128.1	7.021	676	-1.09	93.7	81.5
2	おうし座南流星群	STA	resonance	222.5	213	235	53.32	14.29	0.667	0.109	27.7	-0.16	3	3	2.001	0.363	0.819	2.831	114.1	42.46	5.351	1114	-0.89	96.3	75.1
					182	(190)	21.07	4.637	0.83	0.423	28.6	-0.034	5	4								69	0.08	95.4	79.8
					(190)	(210)	35.73	9.478	0.843	0.255	28.2	-0.005	5	3.5								464	-0.20	95.7	78.8
					(210)	(230)	50.97	13.45	0.814	0.171	26.5	-0.063	6	3.5	1.933	0.406	0.79	2.688	109.9	47.28	5.23	640	-0.23	93.4	75.6
			annual	227.3	(230)	(250)	63.91	15.05	0.808	0.069	23.6	-0.1	6	4								505	-0.23	93.4	75.6
					(250)	(270)	85.52	18.06	0.91	-0.008	25.5	-0.034	7	4								290	-0.36	93.5	74.9
					(270)	(280)	100.8	16.83	1.069	-0.225	24.8	0.056	7	4								85	-0.24	91.6	76.4
17	おうし系おうし座北流星群	NTA	annual	231.7	(225)	(240)	60.57	23.21	0.808	0.16	27	-0.122	3	3	2.01	0.384	0.809	2.849	291.8	231.7	2.777	1114	-0.28	95.7	77.4
					(240)	268	75.02	25.47	0.919	0.09	24.9	-0.075	6	3								1545	-0.48	95.0	75.7
33	みずがめ座ι北流星群	NIA	annual	156.1	146	(170)	353.6	0.708	0.852	0.354	30.1	0.01	6	4	1.804	0.261	0.855	2.422	307.8	156.3	5.763	176	-0.21	94.6	80.5
96	かに座δ北流星群	NCC	annual	276.3	(265)	288	104.3	25.65	0.993	-0.05	25.4	-0.042	5	2	2.145	0.459	0.786	3.144	282.3	276.3	2.757	138	-0.14	93.5	76.0
97	かに座δ南流星群	SCC	annual	281.3	(270)	292	108.7	16.97	0.923	-0.067	25.4	-0.012	6	2	2.172	0.459	0.789	3.2	102.1	101.3	4.854	100	-0.03	92.9	77.7
69	いて座ι南流星群	SSG	annual	85.32	80	96	272.3	-28.05	0.898	0.062	25.6	-0.025	14	4	2.355	0.443	0.81	3.613	104.6	265.3	4.828	31	-0.16	94.0	84.6
257	オリオン座α南流星群	ORS	おうし座流星群と分離する根拠不明。																						
5	みずがめ座δ南流星群	SDA	annual	128	123	133	340.8	-16.25	0.906	0.311	40	-7E-04	3	2	2.418	0.083	0.966	3.761	150.3	308	26.35	691	-0.97	95.7	86.6
26	みずがめ座δ北流星群	NDA	annual	143.5	130	159	349	2.856	0.914	0.379	38.2	-0.05	3	2.5	2.054	0.097	0.953	2.944	328.6	143.5	21.22	282	-0.82	95.2	84.9
9	10月ゆづり座流星群	DRA	存在を確認できず。																						
10	しづんぎ座流星群	QUA	annual	283.4	278	289	230	49.81	0.787	-0.165	40.2	-0.114	5	2.5	2.63	0.979	0.628	4.265	172.2	283.4	70.57	2095	-0.90	98.9	86.9
334	12月ゆづり座流星群	DAD	annual	255.7	230	271	208.1	59.88	0.906	-0.41	40.5	-0.028	6	3	2.458	0.976	0.603	3.854	182.7	255.7	71.79	481	-0.48	97.3	86.7
11	おとめ座γ流星群	EVI	resonance	357.2	350	6	185.5	3.513	0.742	-0.303	26.6	-0.101	5	4	2.296	0.453	0.803	3.48	283	357.2	5.348	185	-0.72	91.3	74.7
21	おとめ座α流星群	AVB	annual	27.26	10	48	200.9	4.376	0.498	0.044	19.3	-0.197	4	1.5	2.492	0.718	0.712	3.933	251.3	27.26	6.964	191	-0.49	92.2	78.4
343	おとめ座β流星群	HVI	2008,2009	40.26	36	44	203.7	-11.52	0.771	-0.095	17.8	-0.12	3	2	2.687	0.766	0.715	3.735	64.83	220.2	0.796	42	-0.50	93.4	81.9
12	はくちょう座α流星群	KCG	resonance	140.4	120	153	286	49.06	0.542	0.888	22.1	0.194	10	3	3.211	0.968	0.699	5.755	206.4	140.4	33.46	300	-1.34	94.3	80.8
197	8月ゆづり座流星群	AUD	annual	143.6	(140)	160	266	58.55	-1.169	0.248	20.6	-0.034	12	4	2.766	0.998	0.639	4.601	189.2	143.6	31.55	181	-0.66	91.6	79.1
15	こぐま座流星群	URS	annual	270.5	269	271.5	219	75.44	2.173	0.668	33	-0.564	3	2	4.867	0.939	0.807	10.7	206	270.5	52.69	302	-0.62	102.0	88.1
18	Bela系	AND	annual	230.9	217	244	22.33	33.18	0.113	0.706	16.9	-0.132	6	2	2.786	0.795	0.715	4.65	237.5	230.7	10.07	176	0.07	91.7	81.5
446	12月カシオペア座流星群	DFC	2011	252.7	251.7	258	19.1	58.0			15.7		3	2.5	2.749	0.901	0.672	4.558	218.1	252.7	17.47	23	-0.33	94.4	83.6
61	へルクレス座流星群	TAH	annual	79.48	63	93	238.8	46.54	-0.037	0.506	14.5	-0.001	15	3	2.505	0.999	0.601	3.964	194.4	79.48	19.8	50	-0.30	87.9	75.9
170	6月カシオペア座流星群	JBO	2010	90.35	85	93	225.3	47.24	-0.794	-0.093	13.5	-0.016	2	1	2.68	1.013	0.622	4.387	187.5	90.36	18.06	10	-0.69	89.4	78.7
63	からす座流星群	COR	存在を確認できず。																						
110	ボンプ座流星群	AAN	annual	310.9	303	318	156.4	-8.752	0.815	-0.256	44	-0.101	5	3	3.431	0.14	0.959	6.356	138.9	130.9	55.56	35	0.50	96.3	87.5
137	とみ座流星群	PPU	存在を確認できず。(観測困難領域である)																						
152	ぐら座ω北流星群	NOC	annual?	54.03	46	58	18.32	20.72	0.474	0.32	39.7	0.309	6	5	2.236	0.108	0.951	3.343	33.55	54.03	38.29	13	-0.74	96.9	88.1
164	6月わし座北流星群	NZC	annual	112.4	98	130	318.6	-2.281	0.849	0.233	37.4	0.007	4	5	1.867	0.135	0.928	2.552	323.4	112.4	34.3	124	-0.36	95.3	85.2
165	6月わし座南流星群	SZC	annual	104.9	100	110	319.3	-27.07	1.089	0.226	39.2	0.033	4	3	2.113	0.104	0.951	3.071	147.4	284.9	33.73	48	-0.76	95.2	87.0
171	おひつじ座南流星群	ARI	annual	76.92	70	86	43.9	24.18	0.765	0.181	40.6	0.139	3	2	2.564	0.077	0.97	4.106	28.65	76.92	26.73	34	-0.43	98.9	92.2
187	カシオペア座流星群	PCA	annual	122.3	117	128	12.89	59.3	0.906	0.076	53.5	0.085	3.5	2	10.08	0.992	0.902	32.02	162.7	122.3	98.51	17	-1.39	106.7	93.3

表 1 得られた流星群の諸元 (続き)

	DSX	annual	189.2	183	195	156	-3.268	0.904	-0.382	31.5	-0.076	4	3	1.06	0.153	0.856	1.092	213	9.242	25.06	21	-1.01	95.9	85.8	
221 ろくぶんぎ座流星群		annual																							
233 10月やぎ座流星群	OCC	存在を確認できず。																							
254 ほのお座流星群	PHO	存在を確認できず。																							
319 1月し座流星群	JLE	annual	282.6	278	287	147.8	23.74	0.774	-0.23	52	-0.102	2.5	2	6.103	0.049	0.992	15.08	335.3	282.6	103.2	51	-0.11	95.1	86.4	
323 かんむり座流星群	XCB	annual	294.9	285	309	250.6	29.98	0.721	-0.096	45	-0.006	7	4	4.474	0.783	0.825	9.464	123.4	294.9	77.04	71	0.10	98.2	89.3	
330 σへび座流星群	SSE	annual	270.4	260	278	239.8	-2.633	0.876	-0.31	46	-0.067	2	2	4.904	0.133	0.973	10.86	40.88	270.4	63.25	8	0.22	97.4	90.0	
338 エリダヌス座流星群	OER	annual	229.8	215	246	57.03	-0.353	0.739	-0.03	27.2	-0.076	6	3	3.454	0.515	0.851	6.42	92.53	49.78	18.19	316	-0.68	95.9	78.9	
346 ヘルクス座流星群	XHE	annual	350.9	348	355	253.7	48.91	0.992	-0.337	34.2	-0.051	4	2	2.674	0.977	0.62	3.528	196.8	350.9	58.77	38	-0.65	95.9	81.4	
388 おおぐま座流星群	CTA	annual	219.6	210	228	62.49	26.42	0.985	0.099	40	0.085	6	5	3.085	0.101	0.967	5.418	325.9	219.6	16.39	79	-0.63	93.3	82.9	
404 こぐま座南流星群	GUM	annual	299.8	296	305	229.5	67.54	1.222	-0.639	28.9	0.148	5	2	2.584	0.953	0.631	4.154	203.2	299.8	47.46	54	-0.41	93.6	79.4	
526 りゅう座南流星群	SLD	annual	221.6	220	223.5	162.1	68.19	2.322	-0.943	48.2	0.546	6	2	3.392	0.984	0.71	5.097	190.8	221.6	87.47	50	-0.86	106.0	94.1	
530 からす座流星群	ECV	annual	299.8	287	316	190	-17.34	0.966	-0.252	68	0.015	6	2.5	5.178	0.819	0.842	11.78	50.56	119.8	157.6	247	-0.72	111.0	100.0	

出現始め、ただし( )記入は集計の開始太陽黄径、(S.L.Beg)およその出現終わり、( )記入は集計の終了太陽黄径、(RA)修正輻射点の赤経、(DE)修正輻射点の赤緯、(dRA)太陽黄径一度当たりの輻射点赤経変化、(dDE)太陽黄径一度当たりの輻射点赤緯変化、(Vg)対地心速度、(dVg)太陽黄径一度当たりの対地速度変化、(R.P.±)およその輻射点の広がり半径、(Vg ±)対地速度のばらつき範囲、(a)軌道半長径、(q)近日点距離、(e)軌道離心率、(P)軌道周期、(Peri)近日点引数、(Node)昇交点黄径、(Incl)軌道傾斜角、(N)計算に使った流星数、(mag)平均絶対光度、(H1)発光点の標高、(H2)消滅点の標高。

### 3-2 各流星群

#### 3-2-1 やぎ座流星群(#001 CAP)

群判定は、 $Dd < 0.0525$  (やや厳しい軌道類似性)を使った。輻射点移動を見ると、3部分に分けて扱える(上田 2019)とされる。また、Jenniskens et al 2016a では2つの部分に分けて扱っている。ただ、活動の様子が毎年変わっているように見える。天候が同等だったのと推定するが、2012年の輻射点集中度より2016年は広がり大きく見えるなどの相違がある。天候の不安定な時期でもあり、年変化の分析は難しい。

#### 3-2-2. おうし座流星群複合群

Taurids Complexとして扱われる一群の流星群である。黄道を挟んで南北に輻射点があり、8月にみずがめ座ι北流星群から始まり、9月下旬に南北のおうし座流星群の活動が始まる。ただし南群は、木星との軌道共鳴による流星物質の集中を示す成分と、共鳴を示さず毎年同様の出現を示す成分の特徴の違う2種の流星が重なる。12月末から1月にはかに座δ北、南群となって"established shower"としては終わる。ただ、この南北の流星群の軌道は特に近く、D判定では両者が混在して抽出される。このうち、かに座δ北群と6月に出現するいて座μ南流星群の軌道は180°回転させた位置関係にあり、平均光度はほぼ一致する。ただし、光跡の消滅点高度が有意に高い。

#### ◆おうし座流星群南群(002#STA)\_軌道共鳴成分

木星と7:2共鳴により約3.4年周期で増加する成分である(Shiba 2016)。2008,2012,2015,2018年の出現から、 $Dd < 0.105$ の条件で抽出した。annual(非軌道共鳴)成分の一部混入は避けられない。非共鳴成分との明確な差は、活動期間が短い(約3週)こと、明るい流星が多いこと、近日点黄径が158°で固定し前進を示さないことである。

#### ◆おうし座流星群南群(002#STA)\_非軌道共鳴成分

2007,2009,2010,2011,2013,2014,2016,2017 年の出現から  $Dd < 0.105$  の条件で抽出した。活動期間が長く、開始を太陽黄径  $180^\circ$  としたが、それ以前の活動もあるかもしれない。終了を  $280^\circ$  としているが、かに座  $\delta$  南流星群との境を決定できない。長期間の活動のため、輻射点移動等を太陽黄径で  $20^\circ$  刻みで算出した。このうち太陽黄径  $250^\circ$  付近で軌道の特徴に明らかな断層がある(図1)。ただし、発光高度や明るさの相違は認められない。後述するオリオン座  $\chi$  南流星群として表すことも可能だが、ここでは一連の群と扱った。

◆おうし座流星群北群(#017 NTA)

群の判定は  $Dd < 0.105$  の条件で抽出した。活動期間が長く、太陽黄径  $265^\circ$  で終了としたが、かに座  $\delta$  北群に繋がる。太陽黄径  $204^\circ$  で開始としたが、みずがめ座  $\iota$  北流星群とのつながりは天候の安定しない時期のためか明確では無い。活動期間が長いので、3 期間に分けて集計した。

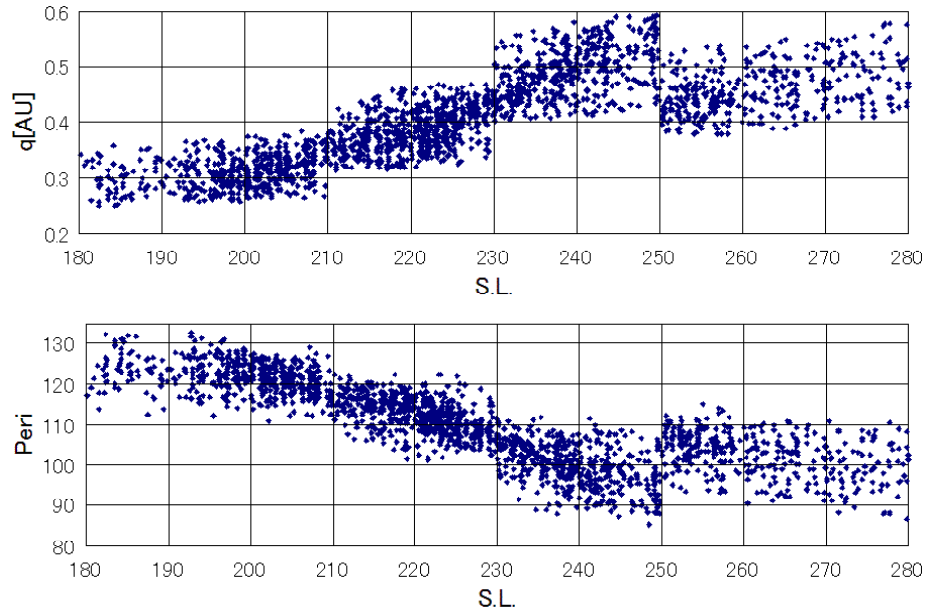


図1 おうし座流星群南群(annual)の太陽黄径に対する近日点距離(上)と太陽黄径に対する近日点引数(下)

◆みずがめ座  $\iota$  北流星群(#033 NIA)

群の判定は  $Dd < 0.105$  の条件で抽出し、輻射点位置と  $V_g$  が集中から外れたものを取り除いた。NIA は N-Tau 群の前駆の可能性が高く、活動終了は認められず、N-Tau 群に繋がっている感じである。おうし座流星群北群より  $q$  が小さいのは、みずがめ座  $\delta$  北流星群のコンタミによる影響かもしれない。

◆かに座  $\delta$  北流星群(#096 NCC)

群の判定は  $Dd < 0.105$  の条件で抽出した。また、南群を除くため、昇交点が  $180^\circ$  程度離れた流星は取り除いた。おうし座流星群北群との明確な境界は見えない。

◆かに座  $\delta$  南流星群(#097 SCC)

群の判定は  $Dd < 0.105$  の条件で抽出した。また、北群を除くため、昇交点が  $180^\circ$  程度離れた流星は取り除いた。おうし座流星群南群(annual)との明確な境界は見えない。

◆いて座  $\mu$  南流星群(#069 SSG)

群の判定は  $Dd < 0.0525$  (やや厳しい基準) の条件で抽出した。散在流星との境界が不明確である。集中部分( $Dd < 0.0525$ )は周辺部分( $0.105 > Dd > 0.0525$ )より平均光度で 0.2 等明るく大きな物質が多いと推定できる。消滅点高度が高いことは、輻射点が南天低いため突入角が浅くなることと関連するのかもしれない。

◆オリオン座  $\chi$  南流星群(#257 ORS)

Working List に置かれているオリオン座  $\chi$  北流星群と共に  $\chi$  Orionids Complex (Jenniskens 2006) のメンバーとされる。Jenniskens, 2006 や Jopek et al., 2003 は、おうし座流星群南群の太陽黄径  $250^\circ$  以後の活動を指すように見えるが、Jenniskens et al, 2016 で記載されたオリオン座  $\chi$  南流星群はずっと前の時期でピーク輻射点はおうし座に位置する。  $250^\circ$  付近におけるおうし座流星群南群の断層について

て、定かな研究が必要と思われる。ここでは一旦この群の扱いは削除した。

### 3-2-3. 南北みずがめ座 $\delta$ 流星群

#### ◆みずがめ座 $\delta$ 南流星群(#005 SDA)

$Dd < 0.0525$ により抽出後、輻射点、 $V_g$ の集中からはずれた流星を取り除くことを繰り返した。

#### ◆みずがめ座 $\delta$ 北流星群(#026 NDA)

$Dd < 0.105$ により抽出後、輻射点、 $V_g$ の集中からはずれた流星を取り除くことを繰り返した。毎年の活動変化が大きい。活動のよく見える年とそうで無い年、また輻射点がよく集中する年と分散する年がある。大雑把には、低調な活動→ばらけた輻射点→まとまった輻射点というサイクルを3-4年で繰り返しているようにも見える。ところで、同時期の散在流星に対するこの群に属する流星の比を図1に示す。この図からは明確な周期性を読み取ることはできない。今後も活動の変動に注視したい。

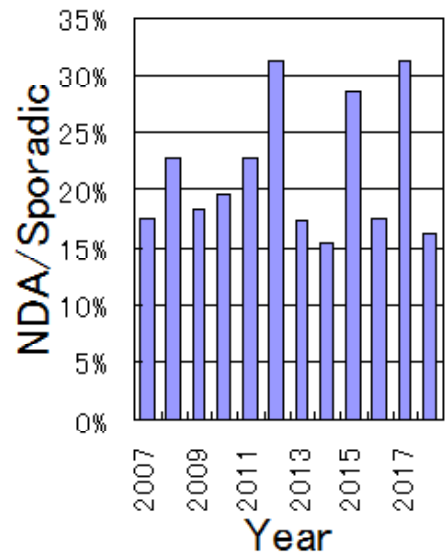


図2 みずがめ $\delta$ 北流星群の散在流星との比の毎年の変化

### 3-2-4. 10月りゅう座流星群(#009 DRA)

いくらかは流星群活動が認められるだろうと期待したが、ほぼ認められなかった。

### 3-2-5. しぶんぎ座流星群と12月りゅう座 $\alpha$ 流星群

1 1月下旬から1月初旬にかけてりゅう座に輻射点に位置する3つの流星群が連続して活動する。最初に活動するのが12月りゅう座 $\kappa$ 流星群(#336 DKD)で、12月初旬にピークがある。これは軌道が大きく、Halleyタイプの流星群である。この流星群の輻射点は南東に移動し、木星族の流星群である12月りゅう座 $\alpha$ 流星群の活動に繋がる。1月頃になると、短く鋭いピークがあるしぶんぎ座流星群へと繋がる。この3群は活動期間と輻射点位置が連続するため、個々の流星の識別が困難である。

#### ◆しぶんぎ座流星群(#010 QUA)

2007年から2019年までの13年間の活動から求めた。群判定は $Dd < 0.0525$ によるルーチンを実施し、集束した結果を採用した。活動のピークは太陽黄径で $1^\circ$ 程度の幅に入る。そして、その前後に淡い活動が重なる二重構造である。太陽黄径 $285-287^\circ$ 付近の活動はQUA群の核心とはやや独立した感がある。

#### ◆12月りゅう座 $\alpha$ 流星群(#334 DAD)

前後の流星群と分離するため、群判断は次の通り行った。輻射点位置と $V_g$ の分布図を使い、集団から外れた流星を除外した。また、軌道半長径の逆数( $1/a$ )が0.2より小さいものを除外した。これは軌道の大きなDKD群を除外するためである。活動期間の太陽黄径は $239-272^\circ$ となった。抽出した流星は、 $Dd > 0.105$ になるものが2割以上含まれる。図4は、太陽黄径 $230$ から $290^\circ$ の輻射点分布、太陽黄径(S.L.)に対する赤経と赤緯の12年間積分した図である。ただし、しぶんぎ座

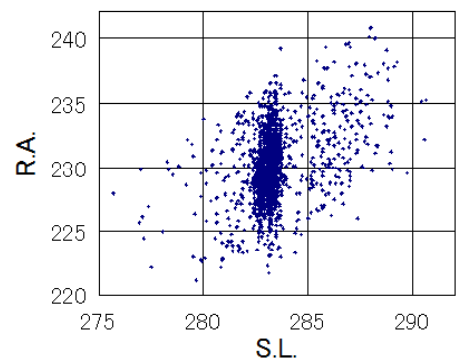


図3 しぶんぎ座流星群の太陽黄径に対する輻射点赤経

流星群と判定したものを除外しているため、輻射点分布図の左下がクレーターのよう欠けている。"クレーター"の右上縁には輻射点の集中がある。この集中は、DAD を示す集中とは不連続に見え、正しくは2重構造を示すQUA群の外周部と判定すべきだろう。

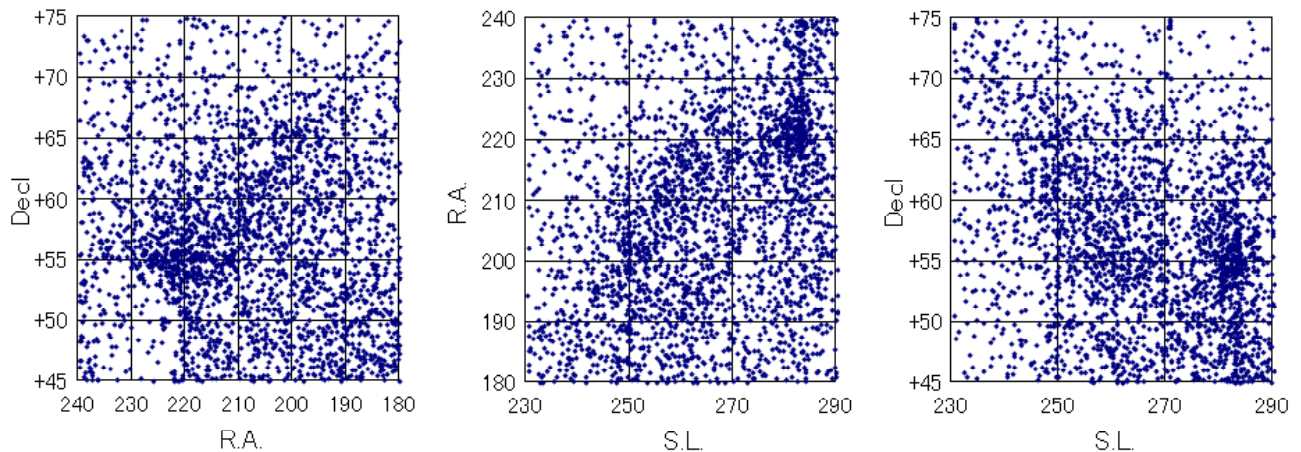


図4 12月りゅう座流星群太陽黄径230-290°の輻射点分布(左)、太陽黄径に対する輻射点赤経(中央)、太陽黄径に対する輻射点赤緯(右)。

また、輻射点分布の中のDAD群の中央部付近に図5(左)のようにA-Bの帯の部分を取り、その部分の流星について太陽黄径と赤経の図を描いた(図5中央)。太陽黄径270°付近でDAD群の活動が終わり、272°付近からQUA群に置き換わると見られる。図5(右)は、同じ範囲で太陽黄径と軌道半長径の逆数(1/a)の図である。中央左の横に伸びた塊がDAD群、右中央の集中度の高い塊がQUA群の前駆活動、そして、1/a=0.1付近に横に繋がる分布がDKD群として分離できる。すなわちDKD群は少なくとも太陽黄径260°付近まで続き、QUA群の下側、即ちQUA群と同時期にまでDKD群の活動が続いている可能性がある。正確な判断は、観測誤差を十分に排除して下す必要があり、小型TVカメラによる観測では困難な課題である。

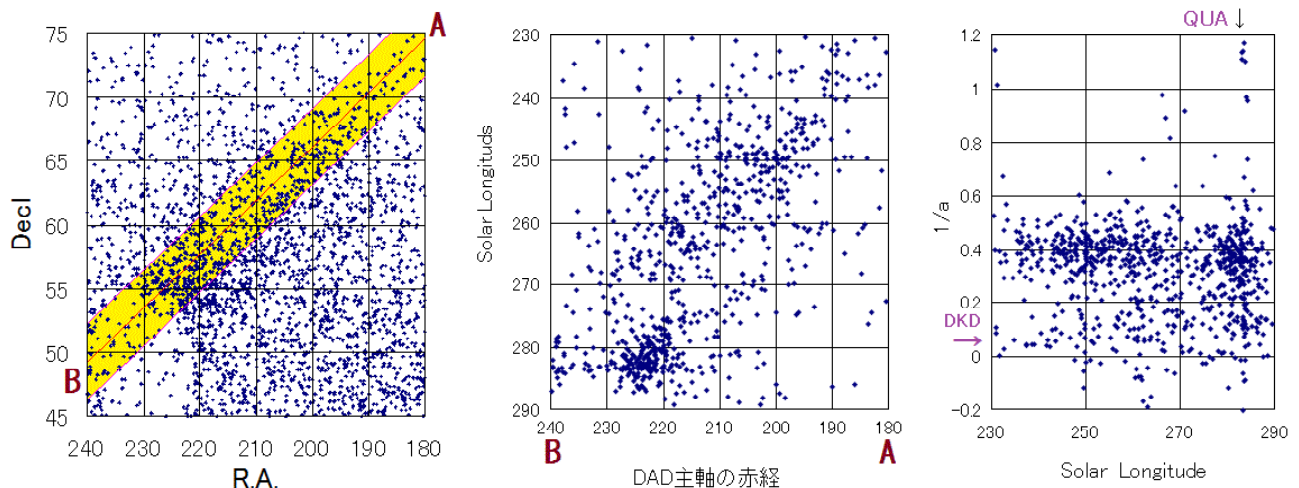


図5 12月りゅう座流星群太陽黄径の輻射点分布に群の中央付近にA-Bの帯を取り(左)、その領域の流星の輻射点赤経と太陽黄径(中央)、太陽黄径に対する1/aを(右)を示す。

### 3-2-6 春の黄道群

流星の少ない3~4月頃、おとめ座付近に輻射点がある流星群が活動する。いずれも小流星群であり、背景に"anti helion source"と呼ばれる反太陽方向からの(散在?)流星が重なる。

◆おとめ座  $\eta$  流星群(#011 EVI)

木星との 3:1 軌道共鳴により 4 年周期での明確な出現を示す。従って、2009,2010,2013,2014,2017,2018 の 4 年間のデータから集計した。群判定は  $Dd < 0.105$  に従った。

◆おとめ座  $\alpha$  流星群(#021 AVB)

2017,2018 年のみで明確な集中した活動が記録されている。他の年は拡散した輻射点である。群の帰属判定は、輻射点位置と速度 ( $V_g$ ) によって行い、S.L.-R.A. の相関からはずれた流星を手動で除去した。年による活動状況の相違は天候を反映している可能性がある。

## ◆おとめ座 h 流星群(#343 HVI)

2008,2009 年のみで顕著に出現し、2015,2017 年にわずかに確認できる。他の年はほぼ認められない。群判定は  $Dd < 0.0525$  (厳しい判断基準) に加え、輻射点位置と  $V_g$  が集中から遠いものを除外した。おとめ座  $\alpha$  流星群とは軌道の形はほぼ一致し、軌道の向きが少し違うのみ。2011,2014 年にはやや南に輻射点の集中 (S.L.=23.5, R.A.=207.5, Decl=-15.2,  $V_g=26.7$ ) が有り、IAU MDC で October alpha Virginids (#651 OAV) が該当しそうである。この東側にも弱い流星群活動が見られる。working list にある  $\iota$  Librids (#826 ILI) と  $\mu$  Virginids (#047 DLD) がそれぞれ該当しそうである。

3-2-7. はくちょう座  $\kappa$  流星群と 8 月りゅう座流星群

ペルセウス座流星群が活動する頃、同時期にごく近くに輻射点がある 2 つの流星群である。活動の初期には輻射点が接近し両群の識別が困難である。

◆はくちょう座  $\kappa$  流星群(#012 KCG)

木星と 5:3 共鳴により約 7 年周期で明確な出現を示す (Shiba 2017)。群判定は 2007,2014 年の活動から  $Dd < 0.105$  で抽出し、輻射点位置と  $V_g$  の葉擦れが大きいものを取り除いた。輻射点分布は南北に極端に伸びる傾向がある。2013 年にも弱い活動があったが、輻射点は北側に  $5^\circ$  ほどずれていた。2020,2021 年の出現に期待する。

## ◆ 8 月りゅう座流星群(#197 AUD)

輻射点は円弧を描いて西に移動するため直線近似が不能な流星群である。加えて活動の初期には輻射域が南北に延び、活動の後半は東西に延びる特異な分布を示す。群判定は輻射点の位置と  $V_g$  の集中部として抽出した。

## 3-2-8. こぐま座流星群

活動のピークはわずか太陽黄径  $0.5^\circ$  程度の間である。そのピークの前後  $10^\circ$  ほどの期間にごく弱い活動が付随する (図 6)。ピーク前にやや明確でピーク後の活動は特に弱い。ごく短い極大期が観測可能かどうかで出現数は極端に変わる。群判定は  $Dd < 0.0525$  (厳しい基準) を使った。これまでに見られた大出現 (1981 年等) は、ストリームとの遭遇だろう。

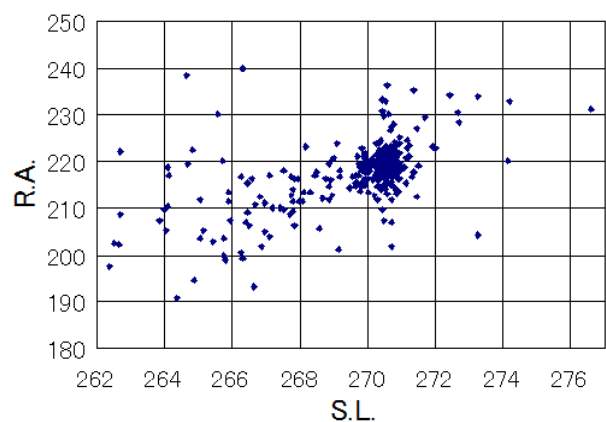


図 6 こぐま座流星群の太陽黄径と輻射点赤経

## 3-2-9. Biela系

Biela 彗星起源の流星群は 19 世紀に流星嵐を見せた。母天体は崩壊したと推定され、現代の流星活動は低調である。輻射点の位置が時代と共に大きく変化した特徴が観測史に残されており、現在の輻

射点領域がその歴史を留めている。10月下旬から12月上旬の長い活動期間の内に、広い空域に年によって現れるごく小さな集中した活動と、およそ通年現れる小流星群活動と、その周りに散在流星化した流星が観測されている。そこで次の通り整理した。まず、目立った集中部分を個別抽出した。次に、全年の合計からアンドロメダ座流星群として判定基準  $Dd < 0.105$  として抽出した流星から輻射点位置と速度が集中から外れる流星を削除して平均軌道と輻射点移動を求めた。

#### ◆ 年によって現れる突発的 Stream

各年の集中が見られた部分の集計は次の表2のとおり。このうち2011年の下段が12月カシオペア座 $\phi$ 流星群(#446 DPC: Jenniskens 2016)とされる。これに似た特徴を持つものが2013年、2015年(下段)に認められる。ただし、2018年の出現のように中間位置の出現もあり、12月カシオペア座 $\phi$ 流星群をアンドロメダ座流星群(#018 AND)から分離する境界線は見い出せない。この2018年の出現に該当する位置には他の年にも少しずつまとまった出現が認められ、これを表2の末尾に★として2018年以外の集計を示した。

表 2

Yr.	N	Solar Longitude			Corr.Rad.			orbital elements								mag	H1	H2
		Mean	From	Till	R.A.	Decl.	_vg	_a	_q	_e	_p	_peri	_node	_incl				
2007	3	225.29	224.59	225.69	21.4	26.9	17.8	3.101	0.7717	0.7511	5.46	241.03	225.29	8.38	-0.58	96.44	83.34	
2009	6	225.44	223.99	227.33	22.0	27.6	17.4	2.792	0.7705	0.7240	4.67	241.93	225.44	8.47	-0.26	96.54	84.30	
2009	5	242.49	241.20	244.39	26.3	43.5	16.2	2.857	0.8433	0.7048	4.83	229.67	242.49	13.02	0.06	95.32	84.83	
2010	7	222.04	219.11	223.88	20.6	27.2	18.0	2.785	0.7513	0.7303	4.65	244.91	222.04	8.94	-0.26	95.95	84.71	
2011	4	213.58	212.68	214.55	16.3	25.2	18.6	2.457	0.7152	0.7089	3.85	251.08	213.58	9.41	-0.14	89.42	80.92	
2011	17	252.25	251.76	252.82	19.3	58.0	15.8	2.773	0.8993	0.6757	4.62	218.49	252.24	17.61	-0.41	95.96	84.36	
2012	3	220.77	219.28	221.59	19.1	24.7	17.7	2.804	0.7575	0.7299	4.70	243.92	220.77	7.88	0.46	96.46	86.92	
2012	4	230.32	230.26	230.43	22.8	32.5	17.1	2.927	0.7950	0.7284	5.01	237.78	230.32	10.16	0.04	95.35	84.75	
2013	3	252.45	252.52	252.50	18.8	55.6	14.8	2.608	0.9060	0.6527	4.21	217.29	252.45	15.89	0.54	95.35	88.81	
2014	5	239.13	237.92	240.00	18.1	27.0	16.1	2.921	0.8144	0.7212	4.99	234.64	227.35	7.95	-1.58	93.18	75.14	
2015	7	220.35	217.40	223.71	11.9	25.2	15.2	2.452	0.8190	0.6659	3.84	235.62	220.34	7.91	0.62	86.33	76.20	
2015	9	222.25	221.56	223.63	20.4	26.3	17.6	2.692	0.7590	0.7181	4.42	244.01	222.25	8.34	0.22	95.56	85.70	
2015	5	248.86	247.78	251.89	19.7	52.0	15.5	2.917	0.8913	0.6944	4.98	220.01	248.86	15.51	-0.32	95.90	85.16	
2018	8	243.02	237.75	247.24	21.0	45.9	15.8	2.921	0.8674	0.7031	4.99	225.04	243.02	13.93	-0.15	92.79	83.31	
★	9	244.27	237.67	247.27	22.4	44.7	15.2	2.787	0.8705	0.6877	4.65	224.63	244.27	12.87	0.18	92.08	83.71	

表の項目は次の通り。Yr.: 観測年、N: 流星数、Solar Longitude: 太陽黄径 (J2000.0) の平均、最初、最後 [deg]、Corr.Rad.: 修正輻射点の赤経と赤緯 [deg]、vg: 対地心速度 [km/s]、a: 軌道半長径 [au]、q 近日点距離 [au]、e: 離心率、P: 軌道周期 [yr]、peri: 近日点引数 [deg]、node: 昇交点黄経 [deg]、mag: 平均絶対光度 [mag]、H1: 平均発光点地上高度 [km]、H2: 平均消滅点地上高度 [km]

#### ◆ アンドロメダ座流星群 (#018 AND)

群判定は、表2の Stream 起源と思われる流星を除外し、 $Dd < 0.105$  の条件に加え、輻射点位置と Vg の集中部から外れたものを除外して集計した。

#### ◆ 12月カシオペア座 $\phi$ 流星群 (#446 DPC)

表2に示した2011年に顕著な出現から範囲を広げて集計した。

### 3-2-10 ヘルクレス座 $\tau$ 流星群 (#061 TAH) と6月うしかい座流星群 (#170 JB0)

6月にごく近い位置に2つの流星群が記載されている。母天体は別とされるが、軌道は大変類似している。

#### ◆ ヘルクレス座 $\tau$ 流星群 (#061 TAH)

$Dd < 0.525$  を基準に群判定した。集計したが、輻射点位置と速度の集中度が低く、この群の存在は

怪しい。6月うしかい座流星群(#170 JBO)とも近く、分離の困難もある。

◆ 6月うしかい座流星群(#170 JBO)

明確な出現は2010年のみである。Dd<1.025の条件に加え、輻射点位置とVgの外れたものを除外して集計した。

**3-2-11. からす座流星群(#63 COR)**

IAU MDCに記載された位置に出現はほぼ認めない。

**3-2-12. ポンプ座 $\alpha$ 流星群(#110 AAN)**

2009,2010,2012,2013,2017年は出現したかもしれないが、他の年はほぼ見られない。Dd<0.105を基準に抽出。日本からは観測困難な群である。

**3-2-13. とも座 $\pi$ 流星群(#137 PPU)**

南天低く、日本からは観測困難な流星群で、1個の観測も得られなかった。

**3-2-14. くじら座 $\omega$ 北屋間群(#152 NOC)**

輻射点位置とVgの集中部として抽出した。屋間群だが、辛うじて観測できる位置である。電波観測によるBrown et al., 2008より軌道周期がかなり大きくなった。

**3-2-15. 6月わし座北流星群(#164 NZC)と6月わし座南流星群(#165 SZC)**

やぎ座流星群(#001 CAP)の出現に先行してそのやや東に出現するが、軌道の特徴は全く違う。むしろ、約1ヶ月後に出現するみずがめ座 $\delta$ 南流星群(#005 SDA)、みずがめ座 $\delta$ 北流星群(#026 NDA)と似ている。関連が気になるが、日本では梅雨時期で十分なデータを取りづらい。

◆ 6月わし座北流星群(#164 NZC)

活動が明確なのは2011のみで2008,2009,2018はやや活動を認める。Dd<0.105を基準に抽出した。Jenniskens et al 2016aの極大より10日以上遅い出現時期になった。

◆ 6月わし座南流星群(#165 SZC)

輻射点はやぎ座の南部で名前と一致しない。Dd<0.105を基準に抽出した。こちらの諸元はJenniskens et al 2016aとよく一致。

**3-2-16. おひつじ座屋間流星群(#171 ARI)**

輻射点位置とVgの集中部を抽出し群判定とする。Dd判定の結果とあまり一致しない。軌道傾斜角のばらつきが大きいことがその原因と思われる。発光点、消滅点高度が高く、破碎しやすい物質なのかもしれない。

**3-2-17. カシオペア座 $\psi$ 流星群(#187 PCA)**

ペルセウス群に先行する活動とされる。Jenniskens et al 2016aの位置にこの群は存在しない。Brown et al 2008に近い場所には弱い活動があるかもしれないが怪しい。2010,20014,2018の集中部のみを輻射点位置とVgにより抽出した。木星族の流星群では無いという結果となった。

**3-2-18. ろくぶんぎ座屋間群(#221 DSX)**

輻射点の位置と  $V_g$  により集中部分を抽出した。D 判定と一致しないものも含まれる。

**3-2-19. 10月やぎ座流星群(#233 OCC)**

Terentjeva 1989 (Stream No 53) に該当する軌道では群活動は存在しない。 $V_g$  を大きく減少させれば存在すると言えるのかも。

**3-2-20. ほうおう座流星群(#254 PHO)**

日本からは低空で、確実に該当する流星は見つけられなかった。

**3-2-21. 1月しし座流星群(#319 JLE)**

$Dd < 0.105$  の基準により抽出した。軌道は木星族というより Halley type であることを確認した。

**3-2-22. かんむり座流星群(#323 XCB)**

毎年活動の様子が変化する。2010 年は集中した活動、2014 年は 3,4 度南からの出現、2017 年は拡散した輻射点、2012 年も拡散し更に弱い。他の年はほとんど出現を認めない。 $Dd < 0.105$  で抽出し、速度の大きいもの ( $a > 10au$ ) を除外して集計した。230,+28 ~ 238,+25 付近に別の活動あるようだ(=かんむり座  $\theta$  群 : #321 TCB か?)。この群の変動の大きさ、周囲の活動の複雑さを考慮すると、Working list に留め置くことが適切である。

**3-2-23.  $\sigma$ へび座流星群(#330 SSE)**

$Dd < 0.105$  を基準として抽出。集計はしたが、 $N=8$  と数が少なく群の存在が不鮮明。それでも Jenniskens et al 2016a の  $N=3$  の 2 倍を超える。 $R.A.=220, Decl.=+1, S.L.=286^\circ$  付近の活動は #500、JPV とされる。

**3-2-24. エリダヌス座  $\circ$  流星群(#338 OER)**

$Dd < 0.105$  を基準として抽出。輻射点の集中度は低いが、群の存在は明確。輻射点はおうし座流星群南群の南側  $15^\circ$  付近に位置する。

**3-2-25. ヘルクレス座  $\times$  流星群(#346 XHE)**

$Dd < 0.105$  を基準として抽出。比較的明確な出現があった年は、2009,2011,2013,2015,2018 年。

**3-2-26. おうし座  $\chi$  流星群(#388 CTA)**

Jenniskens et al 2016a のデータを元に、 $Dd < 0.105$  を基準に抽出。輻射点はおうし座流星群北群(NTA) とほぼ重なり、眼視観測による分離は不能。速度の差が有ることで独立した群の存在が確認できる。ただ、計算された近日点引数( $q$ )のばらつきが大きい。この群に加えて NTA の観測速度の誤差が重なり、真の軌道の大きさは判然としない。

**3-2-27. こぐま座  $\gamma$  流星群(#404 GUM)**

$Dd < 0.525$  による判定を基準に輻射点と  $V_g$  の分布から外れたものを除外した。

3-2-28. リゅう座λ南流星群(#526 SLD)

輻射点の位置と  $V_g$  を基準に抽出した。コンパクトに集中した小流星群である。

3-2-29. からす座η流星群(#530 ECV)

$Dd < 0.105$  を基準として抽出。逆行軌道の高速流星群で木星族と言うより Halley type に属する。平均消滅点高度が 100km を越える。

3-3. 物理データの比較

3-3-1. 平均光度

各流星群の平均絶対光度を図7に示す。

目立って明るい流星群は、はくちょう座κ (KCG)、カシオペア座φ流星群(PCA)である。ろくぶんぎ座昼間群(DSX)、南北みずがめ座δ流星群(SDA,NDA)やしぶんぎ座流星群(QUA)も明るい。また、おうし座流星群南群のうち、軌道共鳴成分(STA\_R)は他のおうし座流星群と大きな違いがある。軌道共鳴流星群はおとめ座η群(EVI)も含めて明るいという特徴が見られる。

一方、目立って暗いのはポンプ座α流星群(AAN)で、σへび座流星群(SSE)、アンドロメダ座流星群(AND)、かんむり座ξ流星群(XCB)も暗い傾向である。

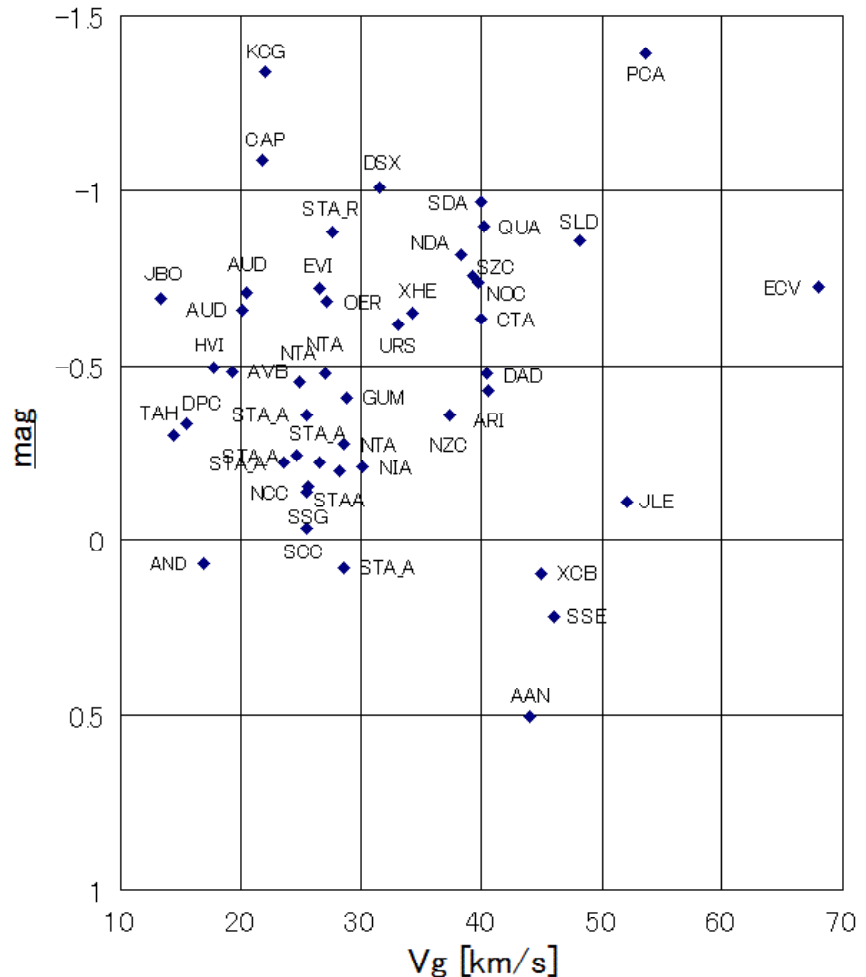


図7 流星群毎の対地心速度と平均光度の関係

3-3-2. 発光高度

各流星群の平均の発光点標高(○印)、消滅点標高(◆印)を対地速度  $V_g$  に対して図8に示す。結果は、それぞれ高速の流星ほど高い高度で発光し、早くに消滅する傾向が確認できる。図8には発光点高度、消滅点高度と  $V_g$  の関係を一時近似し図9に並記した。しかし、消滅点光度の分布にばらつきが大きい。そんな原因として、流星物質の大きなものほど低空まで光り続けるという効果が加わっているだろう。

この他に発光、消滅の高さに影響を与える効果を探するため、図9の一時近似と、個々の群の平均高度との偏差を、図10に近日点距離  $q$  に対して示した。結果は、発光点も消滅点もいずれも正の相関があった(一時近似並記)。

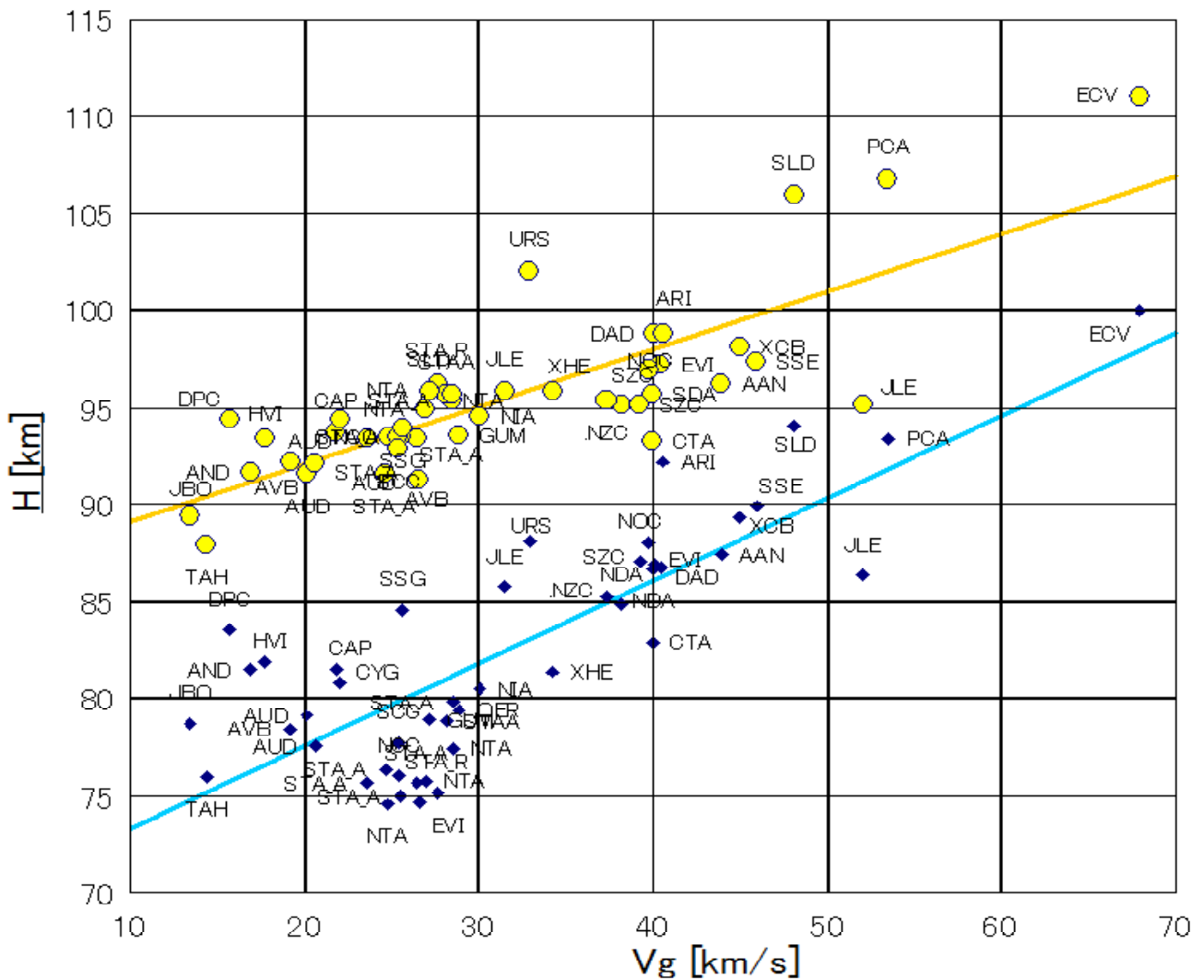
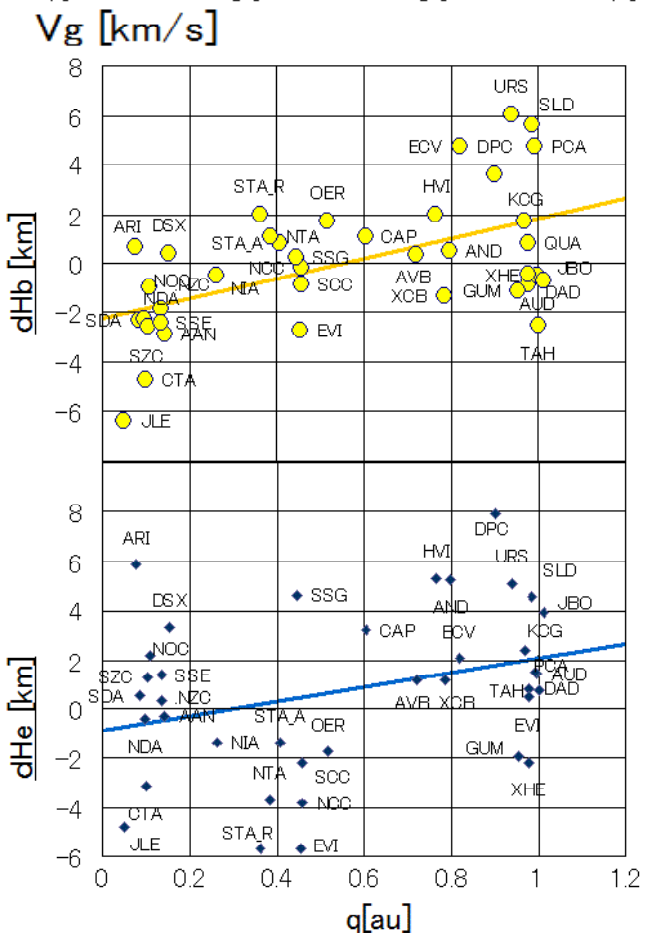


図8 流星群毎の対地速度と発光点(O)、消滅点(◆)地上高度の関係

図9 流星群毎の近日点距離と発光高度の関係  
上が発光点、下が消滅点、縦軸は平均高度から  $V_g$  依存成分を除いた偏差。直線近似を並記。



#### 4. 議論

木星軌道に接近し、木星の公転周期程度以下の公転周期を持つ流星群を日本の自動流星観測ネットワーク SonotaCo Network の観測実績から調査し、多くの流星群の諸元を得た。結果の多くは先行研究である Jenniskens 2016 a,b,c とよく一致した。観測装置と、地球上の観測点緯度が類似なので納得できる結果である。ただし、軌道半長径(a)や軌道周期(p)はやや小さく求まっている。これは、地心速度に含まれる大気減速の扱いの違いに起因する。SonotaCo Network のデータ処理で標準

的に使われる UFOOrbit V2 による軌道計算の過程で、速度は全経路の平均値を初速として扱うことを基準とし、必要があれば減速値を推定して加算することもできる仕様である。このたびは、減速値をゼロとする設定で計算したため、速度は過小評価されている場合が多い。今後、この減速値の推定を改善する必要がある。幸い、軌道共鳴が推定できる流星群が3群判明している。これらは、計算された軌道周期が天体力学的に決定される軌道周期と等しくなるよう大気減速値を逆算可能である。ただし、流星群毎に違った特徴があるだろうし、現在の計算を改善できてもすべての流星群に対する普遍的な修正値を知ることはできないだろう。

さて、この研究ではいくつかの流星群で Jenniskens 2016 a,b,c,d のデータを改善した可能性がある。これは、SonotaCo Network の12年に及ぶ観測で、毎年の活動変動、毎年の天候の変動を平均化し、更に基礎的なデータ数も多くなったことが寄与したことだろう。

ただし、一方いくつかの流星群で有意な観測データ得られなかった。その理由は、流星数の少なさと推定されるもの (PPU) や、流星群の Stream との遭遇するときのみで出現すると思われる流星群 (DRA,PHO)、群の存在が疑われるもの (COR,OCC)、従来のデータに大幅な相違がある疑いがあるもの (NOC,PCA)、さらに他の流星群との境界を確定し、分離する基準が不明な群 (ORS) もあった。この中にはTV観測では補足困難な条件、すなわち昼間群や暗すぎる流星群もある一方で、IAU MDCで“Established Meteor Shower”とされていることに疑念が生じる流星群がある。ここで、IAU MDCの扱いについて一つの提案をする。すなわち、小惑星の仮符号から確定番号付与の条件を参考に、“established”への移行は、個別の流星群に対して個別に判断せず、決定されている判定基準に対して半自動的に決定されることが望ましい。必要と思われる定性的な判定基準例を次に示す。

(a) 流星が一定期間に一定範囲に集中していることの証明

- ・時間軸に対する輻射点と速度に集中が証明できること、もしくは太陽系空間において軌道の集中が証明できること。

(b) 必要なデータが揃っていること

- ・現代的な観測では、観測者、報告者、観測地、観測時間が揃った報告で、輻射点とその移動に加えて速度、もしくは軌道要素が提供されていること。
- ・歴史的記録では、上記を柔軟に扱う。

(c) 既存の流星群と一致しないことの証明

- ・報告された流星群の時間的、空間的周囲に流星群が存在しないか、存在する場合でもその性質に明確に分離する空隙が存在するか、その起源や軌道進化で分離する理由があること。

(d) 科学的データとして客観性の証明

- ・上記(a)(b)(c)が揃った報告が少なくとも2件以上、独立した観測グループから提供され、誤差の範囲で一致すること。

流星群毎の発光点および消滅点の高度がその速度に依存し、正の相関があることが確認できた。これは従来からよく知られていた。更に、その効果を除去したときに流星群の近日点距離と正の相関があることが分かった。これは、流星物質が太陽に繰り返し近づくことによって揮発しやすい物質が失われたり、破碎しやすい物質が優先的に失われたり、熱変性によって堅固になったりする効果が作用した可能性がある。また、軌道共鳴流星群であるおうし座流星群南群 (軌道共鳴成分)、おとめ座  $\eta$  流星群の消滅点が高いことが興味深い。軌道共鳴によって準安定な軌道を得た流星群は、他の流星群より長い期間太陽を安定して周回することができるだろう。その結果、熱変性により機械的強さを得

た流星物質は破碎を免れやすくなったのかもしれない。今後、分光観測から何らかのヒントが得られることを期待する。

## 5. 謝辞

この研究は、日々カメラを稼働し、そのデータ解析を続けられたSonotaCo Networkの多くのメンバーの成果である。また、ネットワークを運営し必要なソフトウェアを提供されたSonotaCo氏の貢献にも負う。彼らの多大な努力に感謝する。

## 文献

- Asher D. J. and Izumi K. (1998). "Meteor observations in Japan: new implications for a Taurid meteoroid swarm". *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **297**, 23-27.
- Brown, P.; Weryk, R. J.; Wong, D. K.; Jones, J. (2008), 'A meteoroid stream survey using the Canadian Meteor Orbit Radar. I. Methodology and radiant catalogue' *Icarus*, Vol.195, Issue 1, p. 317-339.
- Drummond J. D.(1981), "A test of comet and meteor shower associations". *Icarus*, **45**, 545-553.
- Jenniskens, Peter(2006), 'Meteor Showers and their Parent Comets', *Meteor Showers and their Parent Comets*, by Peter Jenniskens, pp. . ISBN 0521853494. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2006.
- Jenniskens, P.; Nénon, Q.; Albers, J.; Gural, P. S.; Haberman, B.; Holman, D.; Morales, R.; Grigsby, B. J.; Samuels, D.; Johannink, C.(2016 a), 'The established meteor showers as observed by CAMS', *Icarus*, Vol.266, p. 331-354.
- Jenniskens, P.; Nénon, Q.; Gural, P. S.; Albers, J.; Haberman, B.; Johnson, B.; Holman, D.; Morales, R.; Grigsby, B. J.; Samuels, D.; Johannink, C.(2016 b), 'CAMS confirmation of previously reported meteor showers' , *Icarus*, Vol.266, p. 355-370.
- Jenniskens, P.; Nénon, Q.; Gural, P. S.; Albers, J.; Haberman, B.; Johnson, B.; Morales, R.; Grigsby, B. J.; Samuels, D.; Johannink, C.(2016c), 'CAMS newly detected meteor showers and the sporadic background' , *Icarus*, Vol.266, p. 384-409.
- Jopek, T. J.; Valsecchi, G. B.; Froeschle, Cl. (2003), ' Meteor stream identification: a new approach - III. The limitations of statistics' , *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, Vol.344, Issue 2, pp. 665-672.
- Rudawska,R. and Jopek,T.J.(2019), <https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/>
- Shiba Y., (2016). 'Taurid swarm exists only in southern branch (STA)'. *WGN, Journal of the IMO*, 44:3,78.91.
- Shiba, Y., (2017), 'Kappa Cygnids (KCG) by TV observation results', *WGN, Journal of the IMO*, vol. 45, no. 6, p. 127-143
- Shiba, Y.(2018), 'Eta Virginids (EVI) four year cycle' ,*WGN, Journal of the IMO*, vol. 46, no. 6, p. 184-190
- SonotaCo (2009). 'A meteor shower catalog based on video observations in 2007.2008'. *WGN, Journal of the IMO*, 37:2, 55.62.
- SonotaCo Network :<http://sonotaco.jp/>
- Terentjeva, A. K.(1989), 'Fireball streams.' ,*WGN Journal of the IMO*, Vol. 17, No.6, p. 242 - 245
- 上田昌良(2019)'観測指針', 天文回報, No.914