

要約

2021年にアンドロメダ群の突発が11月27/28日に観測された。太陽黄経245.84度で11月28日4h15m(UT)に相当し、太陽黄経1度当たり785個程度に達した。これは2011年に突発が観測された#0446DPCとは区別されるべきもので、例年観測されているアンドロメダ群の一部が活発化したものと考えられる。

1. はじめに

現在も活動を続けている主なビデオ観測ネットにはSonotaCo ネット、CAMS と並んで急速に発展しているGlobal Meteor Network (GMN)がある。GMNの特徴はCAMS同様、観測システムを統一化していることと並んで、迅速な結果の公表にある。ほぼ結果リストの公表はリアルタイムだと言ってもよい。GMNのホームページから自由にデータをダウンロードできる仕組みになっている。しかし、筆者が数度にわたって試みたが途中で'memory over'という表示が出てきて、ダウンロードできずにいた。どうも、windowsの仕様に原因があるようで、edgeでもchromeでも同じであった。旧来の知己であるPaul Roggemansにその話をしたところ、彼がダウンロードしたデータを共有という形で利用できるようにしてくれた。本稿は彼の協力のおかげによっている。

2. GMNの観測による2021年のアンドロメダ群

NMS 同報でも話題となったが、2021年11月27/28日にアンドロメダ群が突発した。CMORでも突発の継続時間が短かったことが知られているが、ほぼ4時(UT)頃に極大となり、ヨーロッパ・北米には好条件であった。GMNでも多数の観測が得られているので、まずはどのような観測結果が得られているかみておこう。

2. 1. 輻射点分布

GMNで観測された輻射点分布を $(\lambda-\lambda_s, \beta)$ 座標系により、#0018AND00 ($\lambda_s=232, \lambda-\lambda_s=162.6, \beta=20.8, \Delta\lambda_s=25$)を中心として示したものが1図である。アンドロメダ群の輻射点急速に移動することは知られているが $(\lambda-\lambda_s, \beta)$ 座標系を用いても非常に移動量が多いことが分かる。

輻射点移動の推算にあたっては、左図を (x, y) 座標でみて、 x, y がそれぞれ太陽黄経 λ_s に対してどのように変化するか直線近似を反復して収束するまで繰り返した。1図を見ると、直線近似よりも2次近似または途中で折れ曲がっていることを考慮したほうが良いようにも思えるが、今回は直線近似をしてその結果を検討することにした。

直線近似の様子を後回しにして、近似と反復計算の結果により、輻射点分布がどのように変化したのかを見ることにする。2図に結果を示すが非常によく密集していることが分かる。2図の分布について中心からの距離と輻射点数及び、輻射点密度を示したものが表1である。中心からの距離が10度離れると輻射点密度が1平方度あたり3個でほぼ一定となることが分かる。この値が周辺の散在活动による輻射点密度と考えられるので、これを考慮すると輻射点から3~4度のあたりで群流星の輻射点と散在流星による輻射点密度が拮抗してい

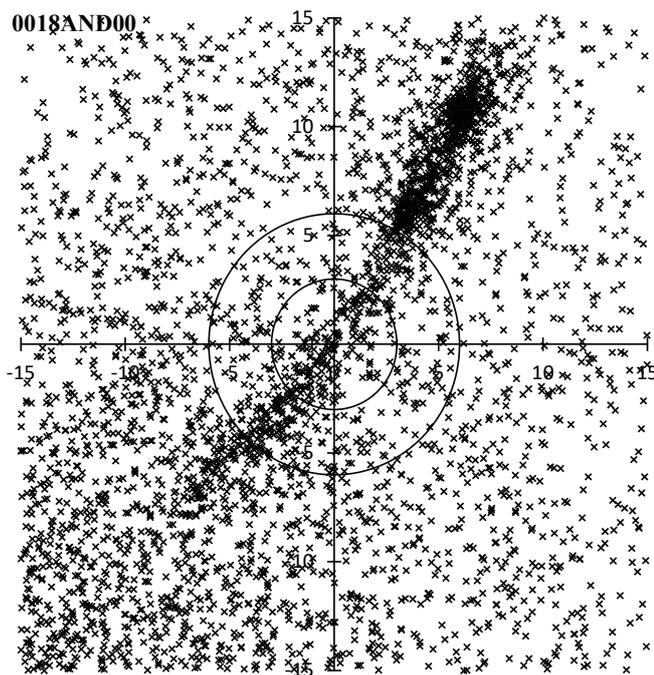


図 1 : もとの輻射点分布。

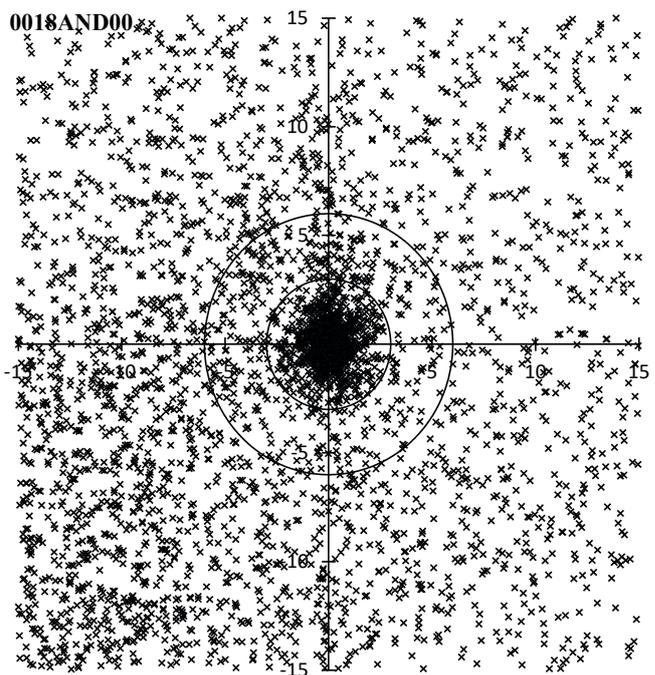


図 2 : 直線近似により移動を補正した輻射点分布。

ると考えられる。従って、以下ではこの輻射点移動の推算値から 3 度以内の輻射点をアンドロメダ群として扱うことにする。

表 1：輻射点分布と輻射点密度。

r	N	Area	Density
1	640	3.1	203.7
2	398	9.4	42.2
3	202	15.7	12.9
4	121	22.0	5.5
5	135	28.2	4.8
6	140	34.5	4.1
7	144	40.8	3.5
8	183	47.0	3.9
9	181	53.2	3.4
10	160	59.4	2.7
11	233	65.6	3.6
12	237	71.8	3.3
13	216	77.9	2.8
14	260	84.0	3.1
15	270	90.1	3.0
16	261	96.2	2.7
17	317	102.2	3.1
18	300	108.3	2.8
19	345	114.2	3.0
20	344	120.2	2.9

2. 2. 活動曲線

輻射点移動を考慮して、推算位置から 3 度以内に入る輻射点より求めた活動曲線を図 4 a に示す。今回の活動は SonotaCo ネットの観測から知られていた活動も捉えられているが、それよりもさらに後期の活動であることが分かる。

極大部分を細かく見るために太陽黄経 1 度幅で 0.1 度ずつスライドさせた移動平均を求めたものが図 4 b である。これにより、今回の突発出現が短期間であったことが明確に示されている。

さらに極大部分を出現時間ごとに並べた群流星 30 個の出現間隔から太陽黄経 1 度当たりの出現数を推定したものが図 4 c である。太陽黄経 245.84 度で瞬間最大 785 程度の数値となっている。これは 11 月 28 日 4h15m(UT)に相当する。これはヨーロッパでは朝を迎え、観測終了のタイミングに近い。GMN の活動拠点はヨーロッパ、北米の東岸と西岸、オーストラリアであり、必ずしも全世界を覆っているわけではない。図 4 c で活動曲線が分断されているのはそのためである。図 4 c で活動が急速に終息するように見えるのは見かけ上のようにも思えるので、後で日本での観測と比較してみよう。

2. 3. #0446DPC との関係

IAUMDC の流星群表で DPC が Biela 彗星に関連すると表記されている（これは発表論文の著者の意見）ことから DPC がアンドロメダ群と一体であるかのように思われることが多い。GMN でも DPC とアンドロメダ群の混同があり、上に示した方法でアンドロメダ群とした流星のかなりの部分が GMN のデータの群判定では DPC と分類されている。表 2 に本稿でアンドロメダ群としたものが GMN でどのように分類されているかを示す。

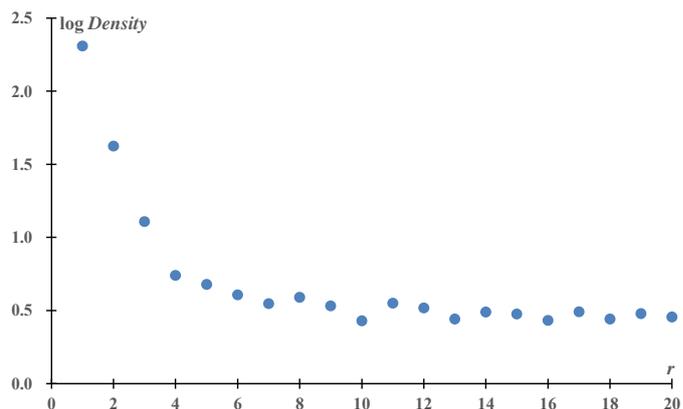


図 3：対数表示による輻射点密度と中心からの距離。

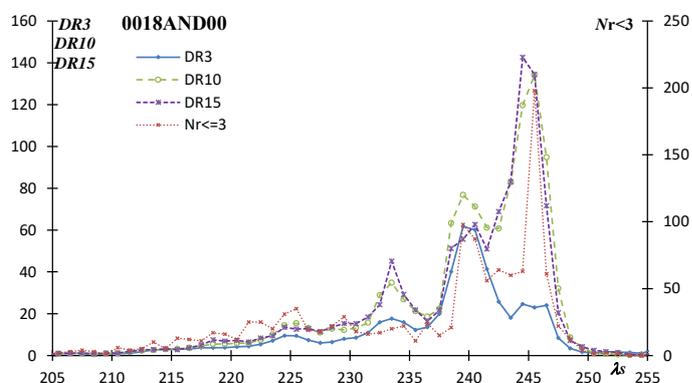


図 4 a：GMN によるアンドロメダ群の活動曲線。

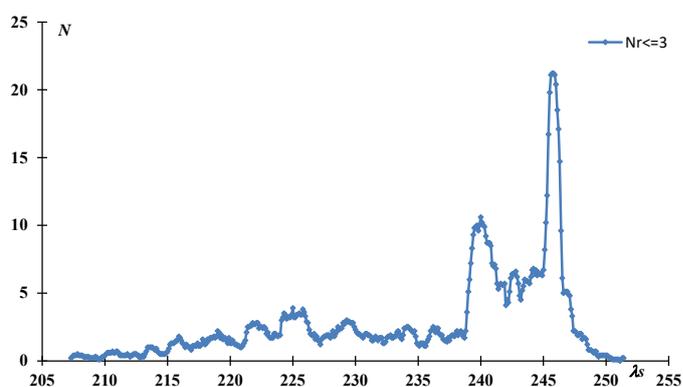


図 4 b：輻射点数の太陽黄経 1 度幅の移動平均。

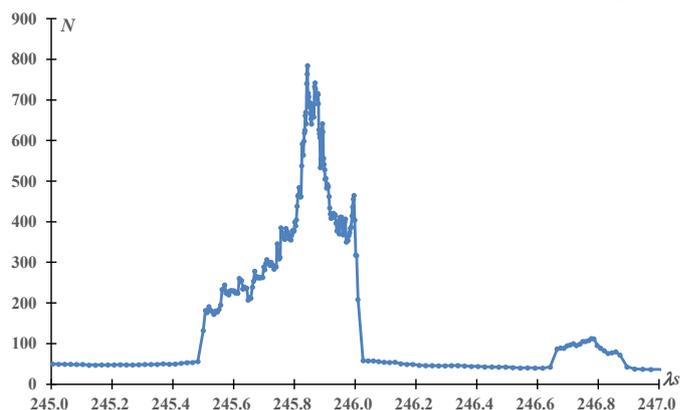


図 4 c：極大付近の出現数推移。

表 2 : GMN での群判定。

AND	DPC	散在流星	合計
1108	34	98	1240

ちなみに、本稿でアンドロメダ群とした流星 1240 個を年別に示すと表 3 となる。2021 年の突発の激しさを示すとともに GMN 自体の活動が急激に進展していることを示している。

表 3 : アンドロメダ群の観測数

年	2018	2019	2020	2021	合計
N	0	64	114	1062	1240

図 5 は #0446DPC00, $\lambda_s=252$, $\lambda-\lambda_s=152.8$, $\beta=44.8$, $\Delta\lambda_s=10$ を基にした GMN の輻射点分布であり、赤丸で囲んだものを GMN では DPC と判定している。図の下側に見られる輻射点の集中域はアンドロメダ群であり、集中域が斜め上方に伸びているのは $\Delta\lambda_s=10$ という時間 ($\lambda_s=242\sim 262$) に輻射点移動をしているためである。DPC がアンドロメダ群よりもずっと大きい輻射点移動をするとは考えられず、GMN による

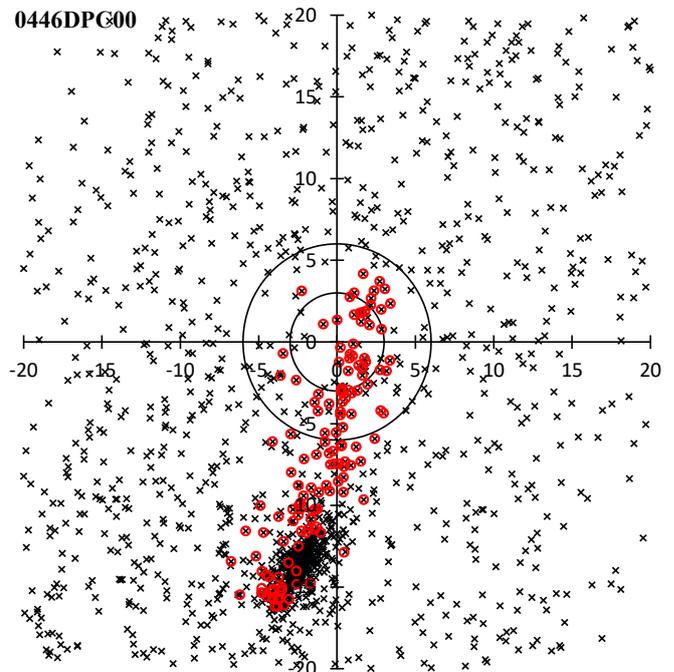


図 5 : GMN で DPC と判定された輻射点分布。

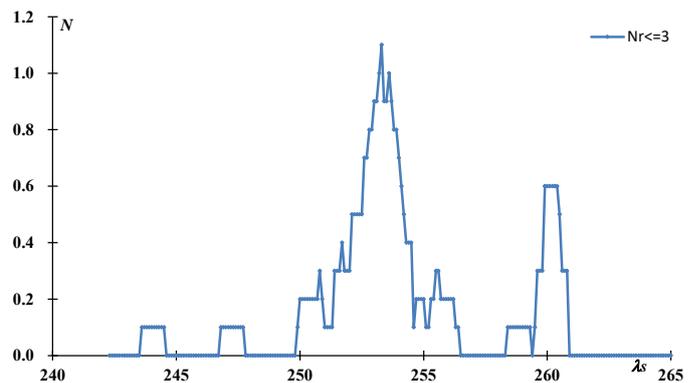
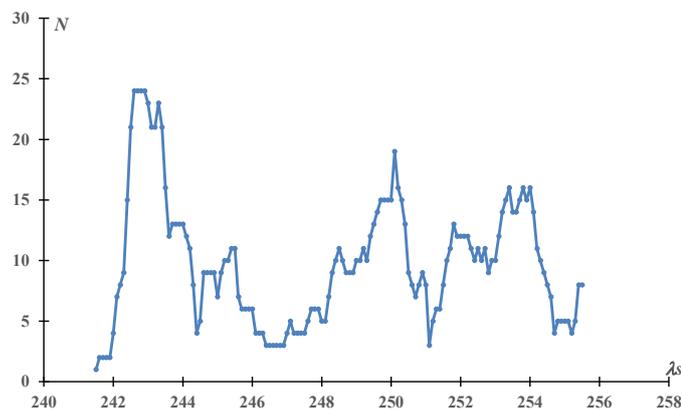


図 6 : GMN の群判定による DPC の活動曲線 (a 左)。図 5 の中心から 3 度以内の活動曲線 (b 右)。DPC の群判定基準に問題があることが分かる。GMN が DPC と判定した輻射点数の太陽黄経による変化を示したものが図 6 a である。不規則な変動を示し、明らかにアンドロメダ群の混入による影響と考えられる。図 6 b は図 5 の中心から 3 度以内の輻射点数の変化を示したもので、SonotaCo ネットの結果ともよく一致し、これが DPC 本来の活動を示すものであろう。

2. 4. 回帰分析とアンドロメダ群の構造

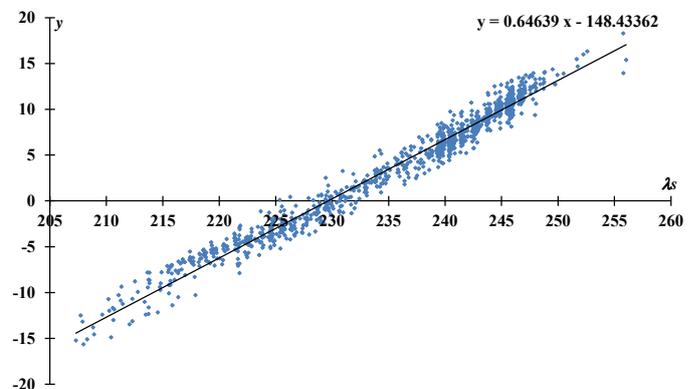
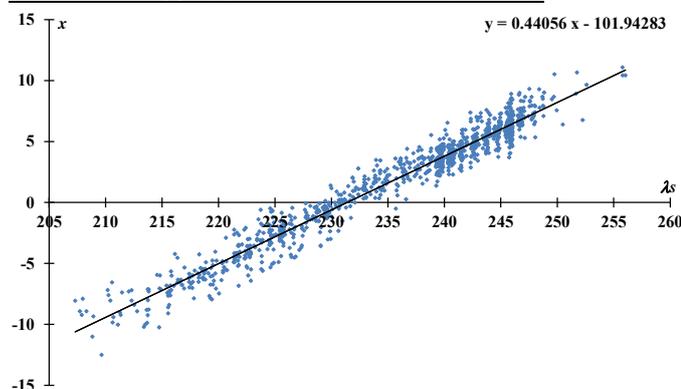


図 7 : 図 1 の輻射点の太陽黄経による移動量の回帰分析。左 (a) は x 座標、右 (b) は y 座標。

図 1 の輻射点移動が直線的に見えないにもかかわらず直線回帰を適用したことを既に述べた。ここでは、その当否を含めてアンドロメダ群の構造について考察する。

図7 aを見ると、 $\lambda_s=230$ 付近で輻射点分布が屈曲しているように見え、図7 bではそれに加えて $\lambda_s=220$ 付近でもう一度折れ曲がっているように見える。これが図1で輻射点分布が直線状に見えていない理由である。しかし、図2と図3で見たようにアンドロメダ群の活動全般を中心から3度以内の流星で考えることに問題はないと言える。ここでの屈曲はアンドロメダ群の微細構造の問題である。

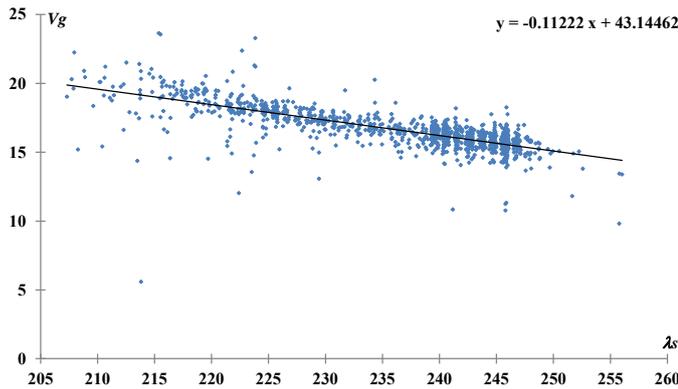


図7 c : 地心速度 V_g の回帰直線。

図7 cは地心速度の回帰直線である。群判定には地心速度を用いていないため、図7 a、bとは独立したデータである。これを見ると、 $\lambda_s=230$ 付近の屈曲は見られないが、 $\lambda_s < 220$ で直線から離れるようにも見える。このようにアンドロメダ群は重層的な構造を持つと考えられる。この問題については次節以降でさらに検討する。

3. SonotaCo ネットによる観測：2007年から2021年までのアンドロメダ群の活動

「ビデオ観測による流星群データ集」で2007~18年の観測を用いたアンドロメダ群の分析をしているが、2021年の活動を取り上げるため、範囲を2007~21

年に拡張して再分析を行った。

SonotaCo ネットのデータで示される群判定は用いず、GMNでも用いた方法によってアンドロメダ群の判定を行った(MSSの発表では中心から6度以内をアンドロメダ群としていたが、ここではGMNの場合に合わせて3度以内としている)。この群判定によると、表4に示すようにアンドロメダ群の活動変化は2021年の活動がそれまでの平均と比べて約10倍に達していることが明らかである(MSSでの発表と調査の範囲が異なり、判定範囲も変更しているため、輻射点移動の回帰直線も異なることからMSSで示した流星数の年変化とは多少異なる)。

表4 : 2007~21年にSonotaCo ネットの観測でアンドロメダ群と判定された流星数。

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Total
N	7	16	22	17	6	14	5	12	18	20	15	13	14	33	143	355

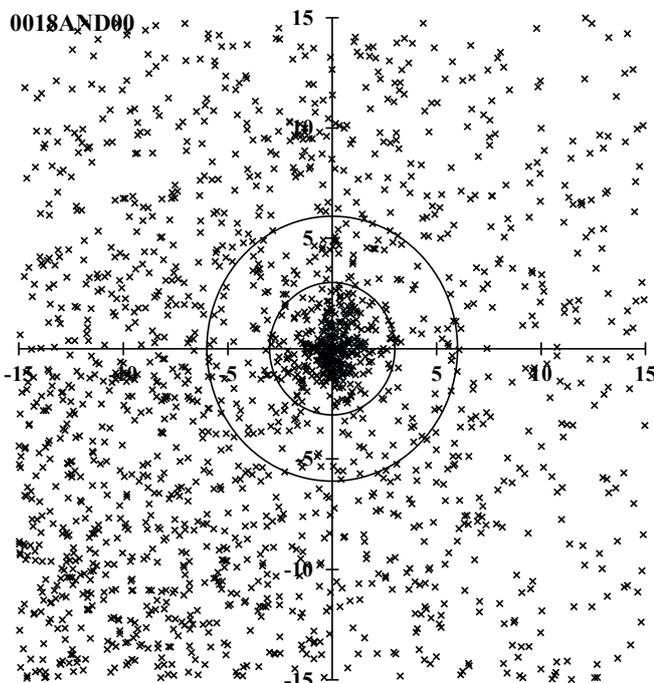


図8 : SonotaCo ネットによる輻射点分布。

に空が暗くなるにもかかわらず、その後の流星数は減少している。このことはGMNの活動から推定される極大 $\lambda_s=245.84$ を裏付けるものと考えられる。

注意が必要なのは、両方の図ともに15年間の平均値として表されていることである。GMNのグラフがほぼ2021年だけの数字であることを考え、図9のグラフを15倍して考えれば、図4の値も図9の値もほぼ同じであることが分かる。

回帰分析の結果、求められた輻射点分布(図8)はGMNのものによく似ていて、半径3度以内に輻射点が集まっている。GMNの場合と異なるのはDPCの輻射点がy軸の目盛り10の数字に重なるように認められることである。これはSonotaCo ネットの観測ではDPCが突発した2011年の観測を含んでいるためである。

図9に活動曲線を示すが、これもGMNと観測年数が異なるため、2021年の突発出現が最大の極大となっているが、その他にも複数の極大の存在が示唆されている。MSSで発表したグラフには $\lambda_s=225\sim 230$ 、 $\lambda_s=230$ 、 $\lambda_s=240$ の3つが見られていたが、図9 aでは $\lambda_s=240$ が2021年の突発出現と接しているために不明瞭になっているが、他の2つの存在は認められる。これはアンドロメダ群の活動がいくつかの微細構造を持っているためと考えられ、DMNの回帰直線で指摘したことと対応すると思われる。

図9 bは図4 bと同様に太陽黄経1度幅で0.1度ずつスライドさせた移動平均である。これからはこの突発の極大が $\lambda_s=245.8\sim 246.0$ にあったことが示される。日本での観測は夕方の薄暮から始まって、次第

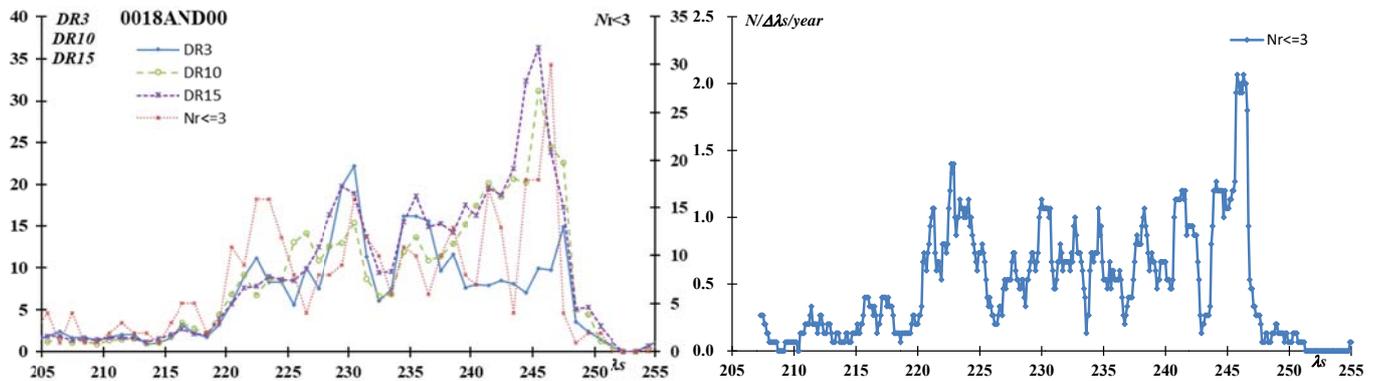


図 9 : アンドロメダ群の活動曲線。DR による太陽黄経 3 度の移動平均 (左 a)。太陽黄経 1 度幅で 0.1 度刻みの中心から 3 度以内の流星数変化 (右 b)。

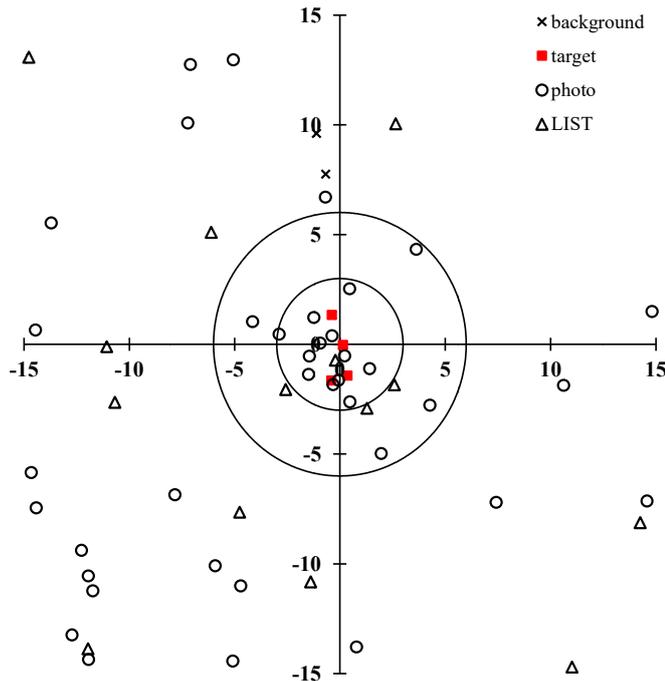


図 10 : 写真観測と流星群の輻射点分布。

H5-2622 はハーバードの小型カメラ、D1-66 と K1-31 は旧ソビエトの小型カメラによる観測であり、これらが含まれていることは注目してよい。いずれも大きなカメラであるがスーパーシュミットではないために明るい流星しか撮影できない。つまり、定常的なアンドロメダ群は暗い流星というよりも明るい流星が含まれていることを示唆している。

なお、H1-5384 の地心速度が極端に低いのは図計算という簡略な方法で求めたことによる誤差であろう。

表 7 で L1-129 は Lindblad が写真観測から求めたもので、「アンドロメダ群の再発見」を再確認したものである。また、LE-512、LE-565、LE-630 はハルキウにおける電波観測によるものである。3 つに分かれているが、当時の電波観測は機器の管理上、休止期間が必要であったためであり、一つの流星群活動を捉えたものと考えてよい。

表 5 : IAU に登録されている流星群。

Code	λ_s	$\lambda-\lambda_s$	β	V_g	Distance	Angle	x	y
0018AND02	223.0	166.8	17.9	18.2	1.4	16	-0.4	1.3
0018AND01	228.6	163.4	18.8	17.0	1.5	194	0.4	-1.4
0018AND03	230.4	162.8	21.4	17.5	0.2	254	0.1	0.0
0018AND00	232	162.6	20.8	17.2	1.7	166	-0.4	-1.7
0446DPC01	250.4	153.1	42.0	16.5	7.8	5	-0.7	7.8
0446DPC00	252.0	152.8	44.8	16.5	9.7	7	-1.1	9.6

表 6 : 図 10 で中心から 6 度以内にあつて、アンドロメダ群と推定される写真観測。

Code	λ_s	$\lambda-\lambda_s$	β	V_g	Distance	Angle	x	y
D1-66	208.3	170.9	1.7	19.77	5.3	202	2.0	-5.0

4. ビデオ観測以外の輻射点

図 10 は SonotaCo ネットの観測から推定される輻射点の移動量を考慮して、写真観測及び種々の流星群表に掲載されている輻射点の分布を示したものである。赤い四角は IAU でアンドロメダ群とされているもの、×は IAU でその他の流星群とされているもの、○は写真観測、△は IAU に掲載されていないその他の流星群表にある流星群である。IAU でアンドロメダ群とされているもの 3 個が中心から 3 度以内にあり、#0446DPC は中心から 10 度ほど上に離れていることが分かる (表 5)。

図 10 で中心から 6 度以内には 16 個の写真流星の輻射点があり、「アンドロメダ群の再発見」を裏付けることができる。表 6 を見ると、写真流星の出現は太陽黄経 225 度付近にあり、SonotaCo ネットの観測で指摘されてきた複数の極大のうち、最初のものに相当するとみられる。

定常的なアンドロメダ群がいくつかの部分的な構造を持っていることが写真観測でも示され、図 7 a ~ c で取り上げた回帰直線の屈曲の原因になっていると考えられる。

H1-4977	208.7	175.6	7.4	22.4	2.9	81	-2.9	0.5
H1-4967	208.7	176.9	7.9	20.1	4.3	76	-4.2	1.0
H4-11093b	211.2	172.9	9.8	20.68	1.7	45	-1.2	1.2
H3-9172	221.1	166.8	12.6	22.46	2.7	190	0.5	-2.6
H4-12336	223.8	166.4	17.4	19.18	0.5	44	-0.4	0.4
H5-2622	225.1	165.5	16.3	18.8	1.6	178	-0.1	-1.6
H2-5337	225.3	166.9	16.7	17.4	2.0	133	-1.5	-1.4
H1-5335	225.7	165.5	16.5	17.7	1.9	170	-0.3	-1.8
H1-5339	225.7	161.3	22.6	17.3	5.6	320	3.6	4.3
K1-31	228.7	159.3	17.5	13.4	5.1	237	4.3	-2.8
H1-5392	230.7	162.6	21.1	18.1	0.6	203	0.2	-0.5
H1-5384	230.7	163.8	21.7	2.7	0.9	86	-0.9	0.1
H1-5382	230.7	161.3	20.5	17.4	1.8	232	1.4	-1.1
H4-11182	232.2	163.6	22.1	17.55	1.5	110	-1.4	-0.5
H3-9379	249.3	152.3	36.1	16.14	2.6	350	0.5	2.5

表 7 : 図 1 0 の中心から 6 度以内で、IAU のリストに含まれていない流星群。

Code	λ_s	$\lambda-\lambda_s$	β	V_g	Distance	Angle	x	y
LE-512	211.7	168.8	7.1	20.8	3.2	235	2.6	-1.8
L1-129	228.2	164.2	19.3	21	0.8	164	-0.2	-0.7
LE-565	234.3	163.8	21.9	21.2	3.3	129	-2.6	-2.1
LE-630	243.2	154.9	26.8	19.9	3.2	204	1.3	-2.9

付録 : GMN の観測によるアンドロメダ群の推算値。

λ_s	$\lambda-\lambda_s$	β	α	δ	V_g	e	q	i	ω	Ω	λ_{II}	β_{II}	a
220	167.8	14.5	20.2	24.2	18.5	0.748	0.740	7.8	246.1	220.0	105.9	-7.1	2.93
221	167.3	15.2	20.4	25.0	18.3	0.747	0.745	8.1	245.3	221.0	106.1	-7.3	2.95
222	166.9	15.8	20.7	25.8	18.2	0.747	0.750	8.3	244.5	222.0	106.2	-7.5	2.96
223	166.5	16.5	21.0	26.6	18.1	0.746	0.756	8.6	243.7	223.0	106.4	-7.7	2.98
224	166.0	17.1	21.2	27.4	18.0	0.745	0.761	8.8	242.8	224.0	106.6	-7.8	2.99
225	165.6	17.8	21.5	28.2	17.9	0.744	0.766	9.1	242.0	225.0	106.7	-8.0	3.00
226	165.1	18.5	21.7	29.0	17.8	0.743	0.772	9.3	241.2	226.0	106.9	-8.1	3.01
227	164.7	19.1	22.0	29.8	17.7	0.742	0.777	9.5	240.4	227.0	107.1	-8.3	3.02
228	164.2	19.8	22.2	30.6	17.6	0.741	0.782	9.7	239.6	228.0	107.2	-8.4	3.02
229	163.7	20.4	22.5	31.4	17.4	0.740	0.787	10.0	238.8	229.0	107.4	-8.5	3.03
230	163.3	21.1	22.7	32.2	17.3	0.739	0.792	10.2	238.0	230.0	107.6	-8.6	3.03
231	162.8	21.7	23.0	33.0	17.2	0.738	0.797	10.4	237.2	231.0	107.7	-8.7	3.04
232	162.3	22.3	23.2	33.8	17.1	0.736	0.802	10.6	236.4	232.0	107.9	-8.8	3.04
233	161.8	23.0	23.4	34.6	17.0	0.735	0.807	10.7	235.6	233.0	108.1	-8.8	3.04
234	161.4	23.6	23.6	35.4	16.9	0.733	0.812	10.9	234.8	234.0	108.3	-8.9	3.04
235	160.9	24.3	23.8	36.1	16.8	0.732	0.817	11.1	234.0	235.0	108.5	-9.0	3.04
236	160.4	24.9	24.1	36.9	16.7	0.730	0.821	11.3	233.2	236.0	108.6	-9.0	3.04
237	159.9	25.6	24.3	37.7	16.5	0.728	0.826	11.4	232.4	237.0	108.8	-9.0	3.04
238	159.4	26.2	24.4	38.4	16.4	0.726	0.830	11.6	231.6	238.0	109.0	-9.1	3.04
239	158.9	26.8	24.6	39.2	16.3	0.724	0.835	11.8	230.8	239.0	109.2	-9.1	3.03
240	158.3	27.5	24.8	40.0	16.2	0.722	0.839	11.9	230.0	240.0	109.4	-9.1	3.02
241	157.8	28.1	25.0	40.7	16.1	0.720	0.844	12.0	229.3	241.0	109.6	-9.1	3.02
242	157.3	28.7	25.1	41.4	16.0	0.718	0.848	12.2	228.5	242.0	109.8	-9.1	3.01
243	156.8	29.4	25.3	42.2	15.9	0.716	0.852	12.3	227.7	243.0	110.0	-9.1	3.00
244	156.2	30.0	25.4	42.9	15.8	0.713	0.857	12.4	226.9	244.0	110.3	-9.1	2.99
245	155.7	30.6	25.6	43.6	15.6	0.711	0.861	12.6	226.2	245.0	110.5	-9.0	2.98
246	155.1	31.2	25.7	44.4	15.5	0.708	0.865	12.7	225.4	246.0	110.7	-9.0	2.97
247	154.6	31.8	25.8	45.1	15.4	0.706	0.869	12.8	224.6	247.0	110.9	-9.0	2.95
248	154.0	32.5	25.9	45.8	15.3	0.703	0.873	12.9	223.9	248.0	111.1	-8.9	2.94
249	153.4	33.1	26.0	46.5	15.2	0.700	0.876	13.0	223.1	249.0	111.4	-8.9	2.92
250	152.8	33.7	26.1	47.2	15.1	0.697	0.880	13.1	222.4	250.0	111.6	-8.8	2.91
251	152.2	34.3	26.1	47.9	15.0	0.694	0.884	13.2	221.6	251.0	111.8	-8.7	2.89
252	151.6	34.9	26.2	48.6	14.9	0.691	0.887	13.3	220.9	252.0	112.1	-8.6	2.87
253	151.0	35.5	26.2	49.3	14.8	0.688	0.891	13.4	220.1	253.0	112.3	-8.6	2.85
254	150.4	36.1	26.2	50.0	14.6	0.684	0.894	13.5	219.4	254.0	112.6	-8.5	2.83
255	149.8	36.7	26.2	50.6	14.5	0.681	0.898	13.5	218.6	255.0	112.8	-8.4	2.82