

Jovian resonance meteor showers

軌道共鳴を示す木星族流星群

司馬康生 (SonotaCo Network)

Abstracts

2007-2024年9月のSonotaCo Networkの流星観測軌道データから木星族流星群の中で年により周期的に出現数が増減する6群の特徴を調べた。これらは木星と流星物質の公転周期が整数比のために、平均運動共鳴による流星物質の軌道上の集中部分(swarm)が生じたと推定できる。この流星物質集中位置を幾何学的に説明可能か試みた。流星軌道の長軸、遠日点側から公転軌道周期比で決まる一定角度位置に木星が存在する条件で、流星群軌道の遠日点付近に流星物質が集中すると考えた。多くの流星群に対してこの理論予測は観測された swarm 位置に対して1年程度以内の誤差の結果を得た。ただし、系統的に予想時期は早いものが多いなど理論の不十分が残る。

1. Introduction

軌道共鳴の研究は小惑星において早く進んだ。個々の軌道が正確に観測される小惑星と比べて、流星の軌道は、その個々の高精度の決定が大気内のほんの1秒程度の観測に基づき困難である。このため、小惑星に対する知見を活用しても十分な観測結果を伴わない議論の期間が長かった。例えば(Scholl & Froeschle 1988)では、既知の7つの流星群に対して軌道共鳴の条件に有るとして軌道進化を計算されたが、meteoroidsのarcは形成されないと結論された。(Asher & Izumi 1998)によって、おうし座流星群に対して初めて観測的に証明された理論提示という新時代に入った。

Asher & Izumi 1998において、軌道共鳴成によって火球の出現数が伸びることが示された一方、電波観測ではおうし座流星群の軌道共鳴を支持する結果が得られなかった(Egal et al 2022)。これは、平均運動共鳴に支配される流星物質のサイズの大きな流星物質に偏っているのか、サイズの小さい流星物質が排除されているかのいずれかによって説明可能である。さて、2007年から本格的に運用され始めた日本のアマチュアの自動流星観測ネットワーク：SonotaCo Network(SonotaCo 2009)は、大きなサイズの流星物質の統計的増減を調べるには優れた観測手法である。ここでは、安定的に運用されてきた2024年(途中)までのデータを使って軌道共鳴によって出現数が極端に増減する流星群について計算モデルと比較する。

2. Observation Results

これまでの日本の自動TV流星観測ネットワーク、SonotaCo Networkの観測から軌道共鳴に基づく推定する周期的な出現が記録された木星族流星群が6群検出できている。その2007年から現在(2024年9月)までの観測から得られた各年の流星数の変遷をFig.1に示す。流星群の帰属判断は、軌道類似性の指標である「D判定(Drummond 1981)」に従い、一般的な流星群判断の閾値より2倍厳格な $Dd < 0.0525$ を採用した。Fig.1において、▼マークは輻射点分布図を描くと輻射点集中が顕著に見られる年であり、▽マークは顕著とまでは言えないが流星群の存在が認められる年を示した。○印は、SonotaCo Networkの観測では輻射点の集中が認められなかったが、EDMONDの観測データ(Kornos et al 2013)で輻射点の集中が見い出せた年である。印のない年は、輻射点分布図から流星群の存在が確認できない年である。ただし、STA(おうし座南群)のみは、軌道共鳴に関わらない同群のannual成分がswarm成分に重なって存在するために、毎年輻射点の集中を認める。

軌道共鳴による周期的出現を示すと推定する6流星群の諸元をTable.1に示す。各項目は、No.:IAU MDC流星群番号,Code:IAU MDC流星群コード,Meteo Shower Namer:流星群名,S. Lon:[deg]:観測流星の平均太陽黄経,S.L.Beg,S.L.end[deg]:出現期間の始めと終わりの太陽黄経,RA,DE:修正輻射点の天球座標(平均値)[deg],dRA,dDE:修正輻射点の太陽黄経に対する移動[deg/S.L.],Vg:[km/s],dVg:突入地心速度(平均値)とその太陽黄経に対する変化[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],Incl:軌道傾斜角[deg],N:観測流星数,mag:平均光度[dmag], γ :光度比,H1,H2:発光点と消滅点の地上高度[km],周期比:木星との軌道周期比。なお、座標系は J2000.0 である。 軌道図は Fig.2 に示した。

Table.1 Resonance Meteor Showers Mean Orbital Elements

Code	Meteor Shower Name	S. Lon	S.L.Beg	S.L.end	RA	DE	dRA	dDE	Vg	dVg	a	q	e	P	Peri	Node	Incl	N	mag	γ	H1	H2	周期比
		J2000 [deg]							[km/s]		[AU]	[AU]		[yr]	J2000 [deg]				[mag]		[km]	[km]	
STA	Southern Taurids	222.8	209	240	58.4	14.2	0.63	0.10	28.1	-0.20	2.116	0.362	0.829	3.08	113.7	42.8	5.6	2674	-0.80	2.9	96.5	75.6	7 : 2
EVI	eta Virginids	357.1	348	8	185.6	3.3	0.70	-0.23	27.2	-0.17	2.450	0.442	0.819	3.83	283.6	357.1	5.3	227	-0.55	3.2	91.2	75.8	3 : 1
	2003 FB5										2.517	0.532	0.789	3.99	288.3	358.4	5.4						
KCG	kappa Cygnids	138.9	114	157	284.9	47.8	0.54	0.90	22.4	0.19	3.589	0.966	0.731	6.80	206.7	138.9	33.3	499	-1.20	2.8	94.3	81.0	5 : 3
HVI	h Virginids	39.2	32	45	203.2	-11.0	0.22	-0.20	18.8	-0.27	3.067	0.753	0.754	5.37	76.8	208.0	0.7	96	-0.63	2.7	93.4	81.8	2 : 1
OAV	68 Virginids	19.1	10	28	203.6	-14.9	0.57	-0.27	28.0	-0.16	2.412	0.414	0.828	3.75	107.2	199.1	5.1	111	-0.71	4.0	92.8	77.3	3 : 1
	2017 FY64										2.499	0.439	0.824	3.95	82.0	208.6	2.7						
CCY	chi Cygnids	169.4	162	178	302.0	29.3	-1.62	0.79	15.2	-1.64	2.888	0.939	0.675	4.91	213.0	169.4	17.6	49	-0.32	3.2	89.4	77.1	7 : 3
	418929 (2009 DM1)										2.892	1.038	0.641	4.92	219.7	197.6	15.2						

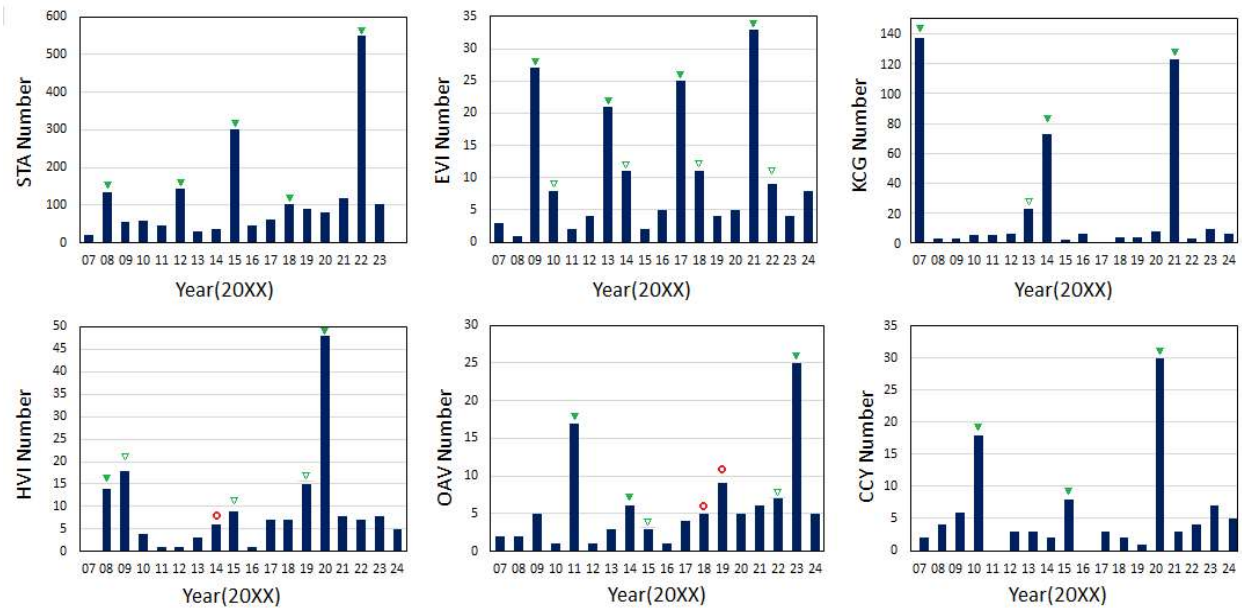


Fig.1 Meteor's Number belongs to Resonance Meteor Showers.

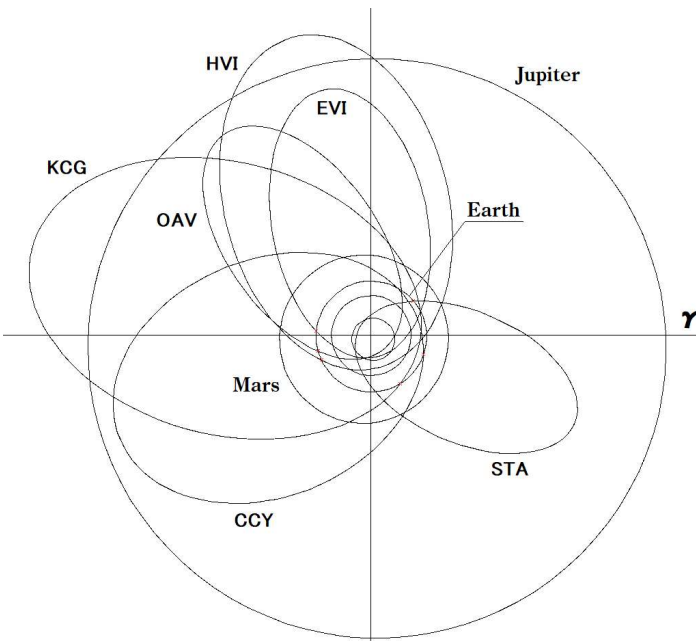


Fig.2 Resonance Meteor Showers Mean Orbit

さて、一般に流星の光学観測では速度の決定が困難で誤差が避け難い。SonotaCo Networkの解析過程でもランダム誤差に加えて、系統的に小さな速度値に傾く。これは、軌道周期が小さくなる方向の誤差である。違って、表1の軌道半長径 a、周期 P は正しい数値より過小評価されている可能性が高いことに注意してほしい。ただし、この誤差を低減させるために軌道計算において UFOOrbit V2 での地心速度値の補正值 $V_{i0}=0.3\text{km/s}$ を採用している。

次に各流星群の特徴を論じる。

A. おうし座南流星群 (IAU MDC:#2 STA)

眼視観測記録に基づき初めて軌道共鳴が指摘されたのがおうし座流星群である (Asher & Izumi 1998)。この研究にはその後、追認研究が複数発表された (Beech, et al 2004, Johannink & Miskotte 2006, Dubietis & Arlt 2007)。なお、流星数の増加

は swarm の中心から平均近点離角で $\pm 30-40^\circ$ で見られるとされた (Asher & Izumi 1998)。

おうし座流星群は南北2つの群から構成されるが、南群のみに軌道共鳴を示す流星物質が存在し、北群には存在しない (Shiba 2016)。これは、(Spurny et al 2017) で追認するデータが提供された。更に、南群は、軌道共鳴を示す成分と毎年安定出現する annual 成分との複合群でもある。過去の多くの観測記録は、性質の違う両者が合算されたデータが多いことに注意を要する。前者は、(Jenniskens et al 2016A) で、(#628 STS) s-Taurids としている群と同一であろう。両成分の流星物質の近日点黄経の特徴は Fig.3 のように相違する。Fig.3A は軌道共鳴成分と遭遇した 2008,12,15,18,22 年の積分、Fig.3B は annual 成分を観測した 12 年を積分した分布図である。軌道共鳴成分 (A) は太陽黄経 $215-235^\circ$ で近日点黄経が $160-157^\circ$ に緩やかに後退するが、annual 成分 (B) では、出現時期の進行に対して太陽黄経 218 度までと、 235 度以降は近日点黄経が強く前進し、その間はおく緩やかな前進 ($154-156^\circ$) である。

Asher & Izumi 1998 では、軌道共鳴成分出現時に明るい流星、火球が顕著に多いことを検出指標とした。小さな流星物質を主として捉える電波観測では、この swarm 成分がほとんど見えないこともわかった (Egal et al 2022)。この特徴は、おうし座南流星群の annual 成分が暗い流星を多く含むことと好対照である。これは、大きな流星物質

が軌道共鳴によって集まったのか、小さな流星物質が軌道共鳴の進行過程で取り除かれたのか、あるいは母天体の相違のいずれか興味深い。2015 年の STA の swarm との遭遇では、めざましい火球が観測され、小惑星との関連が議論されている (Olech et al 2016)。(Brown et al 2013) ではおうし座流星群について隕石落下の可能性を肯定的に議論している。同様にこの課題は、(Spurny et al 2017) でおうし座南流星群が地球に対する脅威の一つと指摘している。一方、(Devillepoix et al 2021) では、この流星群 (#628 STS) の物質が、彗星的な物質であり、隕石として地上に達する見込みは低いとしている。

STA の共鳴成分に類似する準共鳴軌道にある小惑星として (Olech et al 2017) では 2015 TX24, 2005 TF50, 2005 UR, 2010 TU149 を指摘している。それでもこれらは 2P/エンケ彗星との近日点距離の差から、母天体とするべきで無く、Taurid Swarm のかつて存在した巨大な母天体の最も大きな残骸と見るべきとしている。(Clark et al 2019) では、同様な残骸天体の発見を更に期待している。(Devillepoix 2021) でも、2015 TX24 を母天体の生き残りとしている。2019 UN12 は木星との軌道共鳴関係に近いが、その軌道は annual Shower であるおうし座北流星群に酷似する。

SonotaCo Network では、2010,2017 年に合計 3 個の Daytime zeta Perseids (#172 ZPE) に属する流星が撮影された。この流星群は Taurid complex member とされる (Egal et al 2022)。もし、STS の軌道共鳴成分と同位相に存在したなら少し小さな軌道だが、この出現が swarm 遭遇かもしれない。

B. はくちょう座 κ 流星群 (IAU MDC:#12 KCG)

次に見いだされたのが、 κ はくちょう座流星群である (Shiba 2017)。この流星群は古くから出現の周期性について指摘され (Koseki 2014, Moorhead et al 2015)、反面、眼視観測に基づく否定的な報告も

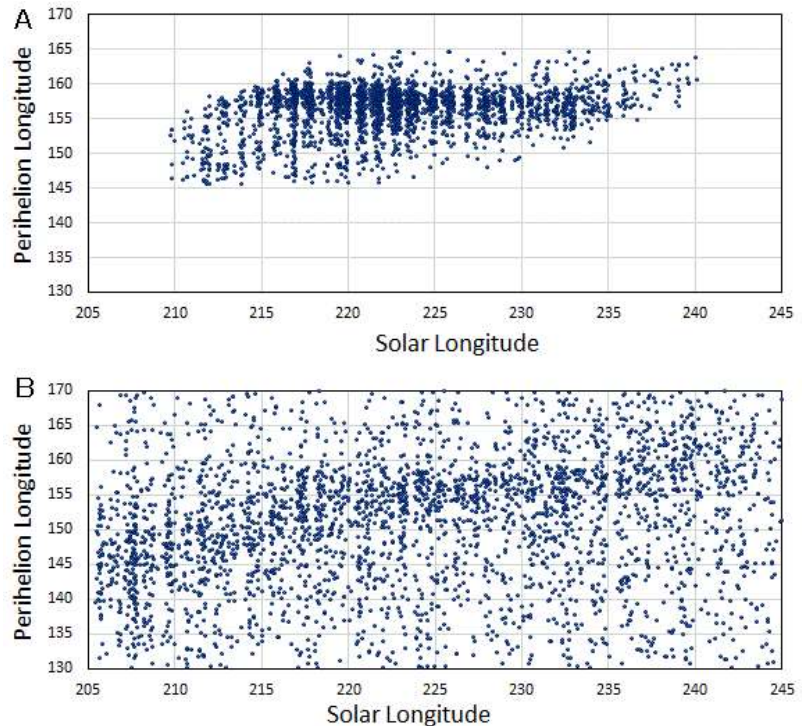


Fig.3 Southern Taurids Perihelion Longitude vs Solar Longitude

あった(Rendtel & Aelt 2016)。これは、暗い流星の周期性が不明瞭なために、眼視観測や電波観測では周期的群活動を検出できず、写真もしくは TV 観測によってのみ確認できたと結論できる。また、この流星群は、複合群の一部との指摘も有る(Koseki 2014)。この群の明確な活動は、SonotaCo Network のサンプリング期間中では 2007,2014,2021 年である。この3年の輻射点分布(Fig.4A)と、若干の出現

を認めた 2013 年をも除いた 11 年間に積分した輻射点分布(Fig.4B)を示す。この群の出現しない年(Fig.4B)に見られる輻射点集中は August Draconids(#197 AUD)である。

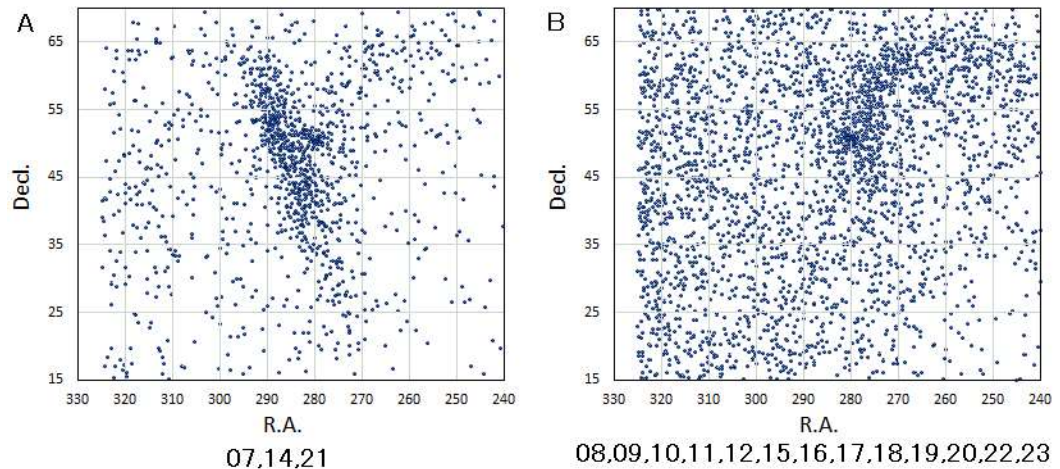


Fig.4 κ Cyg Radiants Distribution

この両群の活

動初期(7月中-下旬)の輻射点位置が、ほぼ重なっていることに観測では注意していただきたい。また、この流星群の活動と重なって、R.A.=280°, Decl.=51°付近に輻射点が存在する長周期流星群の7月 γ りゅう座流星群(#184 GDR)が、やや短い日数出現する(Fig.4A&B)。

(Jones et al 2006)では2001 MG1と2004LA12がKCGと共通の祖先を持つ残存と指摘している。(Sergienko et al 2019)では母天体候補を挙げているが、これらは木星との軌道共鳴関係に無く、annual showerである8月りゅう座流星群(#197 AUD)との関連がより疑わしい。ただし、私がAUDとしている群(Shiba 2017)は、(Koseki 2014)では κ はくちょう群の一部、Fig.5のE,F,Gと判断しているものと同等と推察する。過去の観測報告を参照する時には、両流星群の判別に研究者の見解の相違があることに注意を要する。

κ Cygは特徴的な爆発を伴う火球が多い。また、発光地上高度が高い傾向も特徴である。つまり、揮発しやすい、もしくは軟弱な流星物質と推定する。この特徴は、この流星群の軌道の近日点がほぼ地球軌道付近で、太陽から遠いためと推定する。

さて、2013年にこの群の検出されたのに、ほぼ同位相に当たる2020年に出現しなかった点は不可解である。次の2027年の観測から答が出るだろうか。

C. おとめ座 η 流星群 (IAU MDC:#11 EVI)

出現する年としない年が2年毎に交代する4年周期が明確に現れる(Shiba 2018, Koseki 2020)。この群も明るい火球を多く含む特徴を示す。しかし、火球の消滅点高度が目立って低い流星が多く、堅固な流星物質を推定する。これは、(Brcek et al 2021)による小惑星的な密度と機械的強度の有る流星物質との指摘と整合する。この理由は、この流星群の近日点が水星の少し内側にまで太陽に接近することと関連するのだろう。

軌道共鳴の関係が成り立つ3.95年周期ならば、おそらく20-30年後、活動は顕著な1年の出現、3年の休止期間というサイクルに近付くだろう。

小惑星2003 FB5はこの群の母天体と推定できる程度に類似している。ただ、軌道周期が共鳴条件より僅かに長いため、2085年3月下旬には遠日点付近で木星と会合、接近してしまう。ただし、(Soja et al 2011)で指摘される母天体の有力の候補としてのシナリオがある。小惑星2003 FB5はかつて、彗星として活発にダストを放出していた。その放出していたダストのうち、軌道後方に放出されたものが、現在のEVI群として共鳴状態で安定化したというものである。これは、木星と3:1の関係でswarmが

一カ所に限定される故にあり得るモデルである。この小惑星は今後、木星の重力による摂動の結果、木星に接近できない EVI 群と同化する軌道に進化する可能性も検討に値する。(Babadzhanov et al 2015)では、EVI 群と小惑星 2007CA19 との関連が議論されているが、2003 FB5 は、より類似軌道に加え、共鳴条件に近く母天体としてより有力と推定する。

D. はくちょう座 κ 流星群 (IAU MDC:#757 CCY)

出現周期は5年間隔であり、7:3(5.08年)と推定すると出現年の特徴と一致する。5年間隔での出現は、(Koseki 2022)でも指摘している。Fig.1で、2023年の出現が多いように見えるが、晴天のため観測密度が高く、散在流星の混入が多かった可能性が高い。軌道の近日点に近い位置で地球軌道と接するように衝突するという軌道特徴は、はくちょう座 κ 流星群(KCG)や、August Draconids (#197 AUD)と似ており、輻射点が北西に移動する似た特徴を示す。また、軌道傾斜角は活動時期の進行と強く比例する。発光高度の高い流星が多いことも KCG、AUG と共通する。反対に、KCG と違い暗い流星が多い。2020年の活動については(Jenniskens 2020)に詳しい。

(Sergienko et al 2019)では幾つかの母天体候補を提示しているが、軌道周期は軌道共鳴条件に遠く、これらは 620090(2002 GJ8)と共に AUD の母天体候補としてより有力である。Table.1では、418929(2009 DM1)を列記したが、近い軌道では有っても軌道共鳴の条件は備えず、参考程度である。

E. 68 おとめ座流星群 (IAU MDC:651 OAV)

顕著な出現が記録できたのは2011年と2023年のみである。一方、EDMOND(Kornos et al 2013)の観測結果では、2018,2019年にも活動が記録され、2007年も出現数は少ないが出現したように見える。 (Lindbrad 1971)で Northern λ Virginitids と記載されている群は、これと同一かもしれない。

Fig.2の軌道図で同じ3:1共鳴が推定される EVI 群との関係に注目して頂きたい。共に周期4年周期で増減し、軌道長軸の向きが木星の公転0.9年分の差である。結果、出現の様子も Fig.1 に示すとおり EVI 群の1年遅れを示す。両群は、共通の起源を持つ " η Virginid Complex" を成すのかもしれない。

小惑星(2017 FY64)は OAV 群の軌道と類似し軌道共鳴による推定軌道周期とほぼ等しく、その存在位置は、推定する Swarm の中心近くでもある。軌道傾斜角がやや小さいなど軌道の向きは若干違うが、この流星群の母天体、もしくは共通の母天体由来する残骸で有ることは濃厚である。

F. h おとめ座流星群 (IAU MDC343: HVI)

これまでの SonotaCoNetwork の観測から、2008,2020年に明確な輻射点の集中が観測できたのに加え、2009,2015,2019年に弱い出現が確認できた。EDMOND の観測からは2014年に少数であるが特徴的な輻射点集中が認められる。すなわち、5.5年程度の活動サイクルである。周期性に対しては(Koseki 2020)でも指摘されている。推定する木星の公転との周期比は2:1である。ただし、観測軌道の公転周期は5.38年である。一方、CAMSによる観測を基に(Jenniskens et al 2016B)では軌道半長径は2.28、3.44年周期に相当する。(Roggemans et al 2020)では SonotaCo Net のデータに基づき $a=2.86$ 、軌道周期4.84年としている。つまり、これらは十分一致せず、今後の観測で精度向上が望まれる。

(Sergienko et al 2021)では、2001SZ269がこの流星群と関連する小惑星としている。ただし、木星との軌道共鳴条件には該当しない。2022 WV2が2:1の軌道共鳴条件に近いが軌道の向きが大きく相違する。木星と7:3共鳴位置に存在すると推定する2014 DJ23(周期5.08年)も軌道の向きが相違する。

3. Mean Motion Resonance Model

木星は太陽系最大の惑星であり、その重力の影響は他の惑星より十分大きく、太陽系内の小天体の軌道に影響を与える。木星族の流星群は木星との接近機会が多いため目立ってその効果が現れる。

木星の重力が木星から遠ざける

Fig.5には、楕円軌道を描いて太陽系を周回する流星物質と木星の軌道を表す模式図である。木星

も流星物質も平面上を左回りに周回しているとする。流星物質が遠日点に有るときに木星が A 点に存在するならば、木星の引力で公転速度が増加する。結果、公転軌道（軌道半長径）が少し大きくなる。軌道が大きくなった流星物質はケプラーの第3法則に基づき公転周期が長くなって、次の木星との機会に、同じ場所を少し遅く通過する。結果的に木星位置からやや離れる。木星が後方、B に位置する場合、流星物質は木星重力を受けて次の回帰では更に早く前方に移動する。つまり、流星物質が遠日点において常に木星から離れたがる。さて、流星物質の周回において木星との位置関係は公転周期が整数比になる時、Fig.5 における A 点、B 点の位置は交互に現れ、流星物質はその軌道上で前後から挟み付けられ掃き集められる場所ができる。流星物質が遠日点にある時に A 点、B 点の位置を決める角度 D はプラス(A 側)、マイナス(B 側)で等しくなる位置が安定した流星物質の集積中心と推定する。さて、流星物質が自転によって周回する度に木星が Fig.5 における前後 A 点と B 点が等しい位相差角 D で交互に現れる角度条件は、木星と流星の軌道周期比によって Table.2 のとおり決まる。流星物質の遠日点方向に対して木星が Table.2 に示した角度に有る時に、流星物質が遠日点に掃き集められて swarm 中心となると推定できる。なお、周期比 7:2 ではそのような場所は軌道上の 2 カ所、5:3、7:3 では 3 カ所存在可能である。しかし、観測結果はそれらの存在可能位置のうち、swarm は一カ所しか存在しないので、他は虚なる解である。

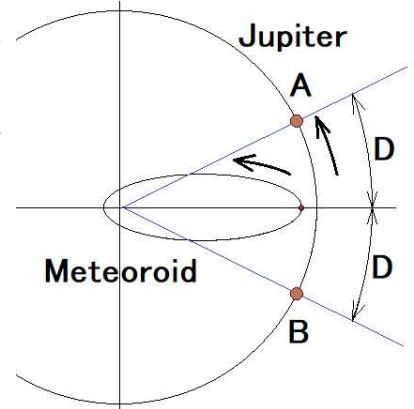


Fig. 5 Perturbation Model

Tble.2 Differential angle D

Shower		D[deg]
STA	7:2	25.73
EVI	3:1	60.0
KCG	5:3	36.0
HVI	2:1	90
OAV	3:1	60.0
CCY	7:3	25.73

このモデルから推定される swarm 中心の回帰の推定計算が Table.3 である。各項目は、それぞれの群に対して上から、軌道周期比から推定する公転周期[年]、swarm 中心が遠日点に存在すると推定する時の木星位置の離角 D[deg]、

Table.3 Resonance Meteor Showers Swarm Encounter Predict

上記 D が成り立つ年のうち基準と採用した年、観測極大日付を[年]で表した数、上記の流星物質(想定 swarm 中心)が地球軌道と遭遇する年[yr]、上記遭遇年を基準に流星公転周期を加減算し地球に衝突する年を計算したもの(調査期間前後)、コメントは、観測に対する計算の差。

	STA	EVI	KCG	HVI	OAV	CCY
共鳴軌道周期[yr]	3.389	3.954	7.117	5.931	3.954	5.084
位相差角 D[deg]	25.73	60	36	90	60	25.73
swarm中心遠日点[yr]	2010.8	2015.9	2005.7	2017.1	2016.8	2018.3
観測極大日[yr]	0.85	0.21	0.62	0.33	0.27	0.69
swarm地球軌道通過[yr]	2011.9	2017.2	2008.7	2019.2	2018.1	2020.4
swarm周回遭遇年 (推定観測swarm中心)	2005.1	2009.3	2008.7	2007.4	2006.2	2005.2
	2008.5	2013.2	2015.8	2013.3	2010.2	2010.3
	2011.9	2017.2	2022.9	2019.2	2014.1	2015.4
	2015.3	2021.1	2030.0	2025.1	2018.1	2020.4
	2018.7	2025.1			2022.1	2025.5
	2022.1				2026.0	
2025.5						
コメント	若干早	若干早	1年遅	1年早	半年早	若干早

結果は、多くの群でこの考え方で観測結果に近いが、観測結果に対して1年違うのが KCG, HVI である。他の群は計算が観測結果より早い傾向である。

4. Discussion

木星との周期比が 5:3,7:2,7:3 である STA,KCG,CCY 群では軌道共鳴可能な節、つまり流星物質の集積可能場所が複数存在する。しかし、全流星群で流星物質の swarm はそれぞれ軌道上の一領域だけ

に存在する。この観測結果を合理的に説明できるのは、拡散した流星物質が集積するのでは無く、軌道共鳴状態にあった母天体からの流星物質の放出、もしくは母天体の崩壊で軌道上に放出された流星物質が一定範囲から逃げ出せない、という生成過程である。母天体が完全に崩壊されず残存する、あるいは崩壊した中に大破片が残っているならこの Swarm の中に発見できるかもしれない。

このような swarm の形成過程を考慮すると、母天体を推定する時に軌道の類似を評価する D 判定の重要度は低いだらう。なぜなら、母天体、もしくはその崩壊残存天体は同じ軌道共鳴状態近傍に存在するはずであり、同じ共鳴状態に有るかの評価が優先されるべきである。

ここでは、軌道共鳴流星群の流星物質集中部 swarm が軌道上の何処に生じるかを調べた。結果は、予想に近い場所に存在したが、一部予想とは大きく相違した。1年以上相違した KCG は軌道傾斜角が 30° を超え、木星重力の影響が、遠日点方向からの角度差 D の土に対して顕著に非対称である。遠日点に向かう側で黄道面に近い場所、遠日点通過後で黄道面から遠い場所を通過する。結果、遠日点通過後に木星重力が流星物質を後方に押し戻す効果が弱くなるだろう。観測結果と計算結果の相違はこの説明で十分かには疑問が残るが、計算結果が観測と相違する一因としては有力である。この軌道傾斜角の効果は HVI 群を除く他の流星群でも小さな軌道傾斜に対して同種の効果は発生するはずである。しかし、観測結果はむしろ逆方向である。誤差の理由の一つとして、この考えは現実的に見えるが不十分が目立つ。一方 HVI 群は軌道傾斜がごく小さく別理由が必要で有る。例えば、角度 D が特に大きく木星からの距離が常に遠いことが swarm の形成力を弱めているかもしれない。それでも HVI 群の観測データ不足や推定周期の不確かさはより重要な課題である。それでも、EVI 群と OAV 群の 1 年違いの出現は合理的に説明できた。なお、角度 D が小さい流星群(KCG,CCY,STA)は流星物質を掃き集める作用が強いと推定でき、swarm の集中度は高く複数年に亘る出現は少ない。

KCG で 2013 年に流星数の増加観測されたのに 2020 年に記録されなかったように、swarm 構造の安定した構造の崩れが他の幾つかの流星群でも存在しているように見え。木星以外の惑星摂動が関与しているかもしれない。表れた課題に対して、モデルの見直しと今後の観測の蓄積が重要である。

α Cap 群は、木星族の流星群として多くの流星数が観測され、3:1 の共鳴関係が成り立っている可能性はある。しかしながら、火球クラスを含めても周期的な増減は見られない。それでも、流星物質の一部が共鳴関係に存在する可能性は残っている。

Acknowledgements

この研究は、SonotaCo Network の観測者の日々の努力に裏打ちされたものです。データを寄せられたアマチュアの皆さんの日々の観測、解析、データのアップロードに感謝いたします。また長きにわたりネットワークを運営された SonotaCo 氏に特に感謝します。

References

- 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.
- Babadzhanov,P.B., Kokhirova,G.I, Obrubov,Yu.V., 2015, "The potentially hazardous asteroid 2007CA19 as the parent of the η Virginids meteoroid stream", *Astron. & Astrophys.* 579, A119
- Beech,M., HargroveM., Brown,P., 2004, "The running of the bulls: a review of Taurid fireball activity since 1962", *The Observatory*, Vol. 124, p. 277-284
- Breck,A., Boroviccka,J., Spurny,P., 2021, "Orbital and physical properties of η -Virginids from the data of the European Fireball Network", *WGN the Journal of the IMO* 49:4 p.98-101
- Brown,P., Marchenko.V., Moser.,D.E., Weryk,R., Cooke,W., 2013, "Meteorites from meteor showers: A case study of the Taurids", *Meteorites & Planetary Sciences* 48,Nt2, 270-288
- Clark,D.L., Wiegert,P., Brown,P. G., 2019, "The 2019 Taurid resonant swarm: prospects for ground detection of small NEOs", *MNRAS* 487, L35.L39
- Devillepoix,H.A.R., Jenniskens,P., Bland,P.A., Sansom,E.K., Towner,M.C.,Shober,P., Cupák,M., Howie,R.M., Hartig,B.A.D., Anderson,S., Jansen-Sturgeon,T., Albers,J., 2021, "Taurid stream #628: A reservoir of large cometary impacters" *Planetary Sci. J.*, 2:223 p.1-13
- Drummond J. D., 1981, "A test of comet and meteor shower associations". *Icarus*, **45**, 545-553.

- Dubietis,A., Arlt,R., 2007."Taurid resonant-swarm encounters from two decades of visual observations ".Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 376, Issue 2, pp. 890-894.
- Egal,A. Brown,P.G. Wiegert,P. Kipreos,Y. 2022, "An observational synthesis of the Taurid meteor complex", MNRAS 512, 2318–2336
- Jones,D.C., I.P.Williams, V.Porubcan, 2006, "The Kappa Cygnids meteoroids complex", *M.N.R.Astr.Soc.*, **371**, 684-694
- Jenniskens,P., Nénon,Q., Albers,J., Gural,P.S., Haberman,B., Holman,D., Morales,R., Grigsby,B.J., Samuels,D., Johannink,C., 2016A, "The established meteor showers as observed by CAMS", *Icarus*, Volume 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., 2016B, "CAMS confirmation of previously reported meteor showers", *Icarus*, Volume 266, p. 335-370.
- Jenniskens. P., 2020, "The 2020 Chi-Cygnids", *WGN the Journal of the IMO* 48:5 p.146-149
- Johannink,C.,Miskotte,K., 2006,"Taurid activity 1988-2005", *WGN, Journal of the International Meteor Organization*, vol. 34, no. 1, p. 7-10
- Koseki,M. 2014, "Various meteor scenes II: Cygnid-Draconid Complex (-Cygnids)", *WGN, the Journal of the IMO* 42:5 \ 181-197
- Koseki,M., 2020, "Three Virginid showers", *eMeteorNews* 2020-4, p.245-251
- Koseki,M., 2022, "SonotaCo net vs CAMS vs EDMOND vs GMN in the case of the chi Cygnids (CCY#0757)", *eMeteorNews*, 2022-6, 381-388
- Kornos L., Koukal J., Piffel R., Toth J. 2013, "Database of meteoroid orbits from several European video networks" . In Gyssens M., and Roggemans P.,editors, *Proceedings of the International Meteor Conference, La Palma, 20.23 September 2012. IMO*, pages 21.25.
- Lindblad,B.A., 1971, "A computerized stream search among 2401 photographic meteor orbits", *Smithson. Contrib. Astrophys.*, No. 12, p. 14 - 24
- Lindblad B.A., 1995, "The orbit of the Kappa Cygnids and related meteor streams" *Earth,Moon &Planets*, **68**, 397-404
- Moorhead A.V.,Brown,P.G., Spurny,P.,Cooke,W.J, Shrubny,L., 2015, "The 2014 KCG Meteor Outburst:Clues to a Parent Body",*Astron.J.*,150:122,1-13.
- Olech,A., Zoladek,P., Wisniewski,M., Rudawska,R., Beben,M., Krzyzanowski,T., Myszkiewicz,M., Stolarz,M., Gawronski,M., Gozdalski,M., Suchodolski,T., Wegrzyk,W., Tyminski,Z., 2016, "2015 Southern Taurid fireballs and asteroids 2005 UR and 2005 TF50", MNRAS 461, 674.683
- Olech,A., Zoladek,P., Wisniewski,M., Tyminski,Z., Stolarz,M., Beben,M., Dorosz,D., Fajfer,T., Fietkiewicz,K., Gawronski,M., Gozdalski,M., Kałuzny,M., Krasnowski,M., Krygiel,H., Krzyzanowski,T., Kwinta,M., Łojek,T., Maciejewski,M., Miernicki,S., Myszkiewicz,M., Nowak,P., Polak,K., Polakowski,K., Laskowski,J., Szlagor,M., Tissler,G., Suchodolski,T., Wegrzyk,W., Wozniak,P., Zareba,P., 2017, "Enhanced activity of the Southern Taurids in 2005 and 2015", MNRAS 469, 2077–2088
- Rendtel,J., Arlt,R., t 2016, "Kappa Cygnid rate variations over 41 years", *WGN J.of the IMO* 44:3, p.62-66
- Roggemans,P., Johannink,C., Sekiguchi,T., 2020, "h Virginids (HVI #343) activity enhancement in 2020", *eMeteorNews*, 2020-4, p.233-244
- Scholl,H., Froeschle,C., 1988, "Gravitational breaking of meteor streams in resonance with Jupiter", *Astron. & Astrophys.* 195 p.345-349
- Sergienko,M.V., Sokolova,M.G., Andreev,A.O., Nefedyev,Y.A.,2019, "The kappa Cygnid meteoroid shower and its connection with near-Earth asteroids", 82nd Annual Meeting of The Meteoritical Society 2019 (LPI Contrib. No. 2157)
- Sergienko,M.V., Sokolova,M.G., Andreev,A.O., Nefedyev,Y.A.,2021, "Search for possible connections of the h-Virginids meteor shower with near-Earth asteroids", *International Conference PhysicA.SPb/2021*
- Shiba,Y., 2016, "Taurid swarm exists only in southern branch (STA)",*wgn*. **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
- Shiba,Y., 2022, "Jupiter Family Meteor Showers by SonotaCo Network Observations " *WGN, Journal of the International Meteor Organization*, vol. 50, no. 2, p. 38-61
- Soja,R.H., Baggaley,W.J., Brown,P., Hamilton,D.P.,2011, "Dynamical resonant structures in meteoroid stream orbits", *M.N.R.Astron. Soc.* 414, 1059–1076
- SonotaCo, 2009, "A meteor shower catalog based on video observations in 2007-2008",*wgn*,**37:2**, 55-62
- Spurny,P., Borovicka,J., Mucke,H., SvorenJ., 2017, "Discovery of a new branch of the Taurid meteoroid stream as a real source of potentially hazardous bodies", *Astron. Astrophys, A&A* 605, A68