

第2回 流星スペクトル研究会輪読資料 2020.5.4

Catalogue of representative meteor spectra

5. Meteoroid orbits

5. 流星軌道

関口 孝志

5. 流星軌道

日心軌道は、2点観測から84個の流星全てについてわかっています。カタログには、さまざまな軌道要素の軌道の代表的なものがあります(図14を参照)。軌道傾斜角 i 、近日点距離 q 、近日点引数 ω 、および昇交点黄経 Ω などの軌道要素は、可能な値の範囲に全体的に分布しています。

離心率の高い値は、0.6~1.0の範囲(\bigcirc)で高くなっているが、これは、通常より高い離心率の値を持つ彗星や小惑星に由来する流星であることは明らかなことです。

また軌道半長径 a の値は、広い範囲があります。放物線の限界に近い軌道半長径は、それらが速度決定に敏感であるため、決定するのは難しく、精度はやや低くなっています。正式な双曲線の軌道がひとつありますが、私たちは、これは、測定誤差によると信じています。

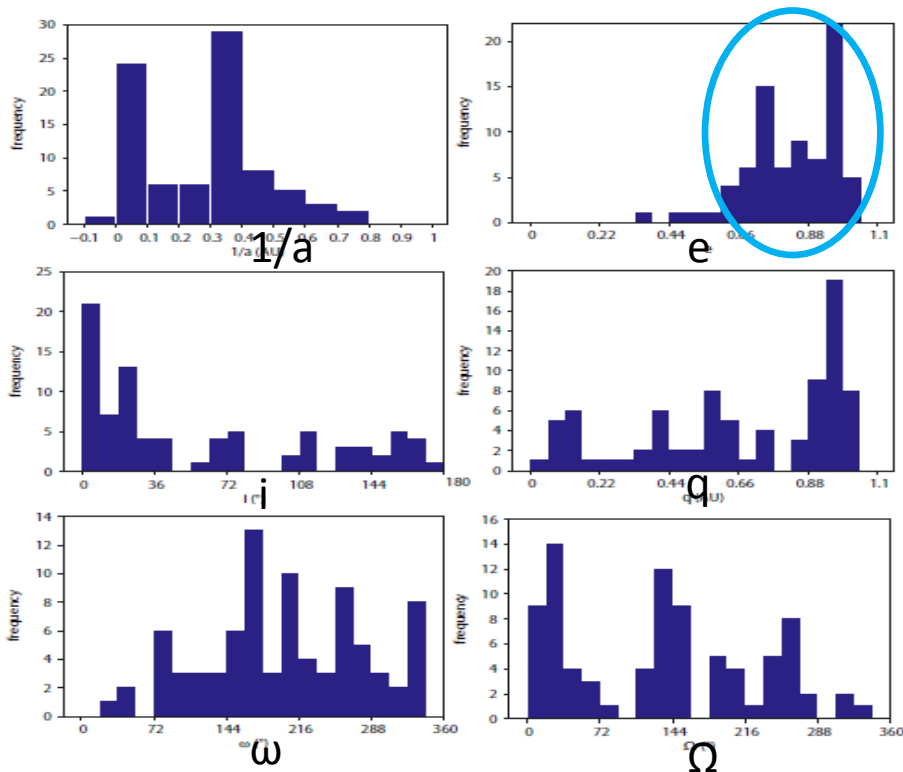
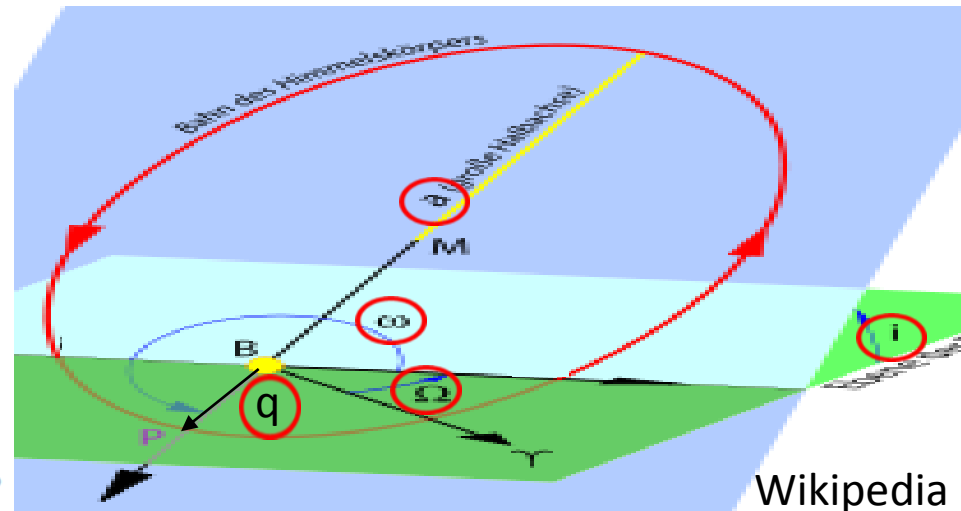


図. 14 流星スペクトルのカタログにある流星の軌道要素のヒストグラム。 a は軌道半長径、 e は離心率、 i は軌道傾斜角、 q は近日点距離、 ω は近日点引数、 Ω は昇交点黄経です。



5. 1. スペクトル分類に対する流星軌道の関係

私たちは、流星の軌道を分類するために軌道パラメータの異なる組み合わせを活用することにしました。近日点距離 q 、遠日点距離 Q 、軌道傾斜角 i 、及び木星に関連するTisserand(ティッセランド)パラメータ $T_J = (a_J/a) + 2\sqrt{(a/a_J)(1-e^2)} \cos(i)$ 、ここで、 $a_J = 5.2$ AUは、木星の軌道半長径です。

これらのパラメータは、小惑星、木星系彗星、及びハレー型彗星の典型的な軌道を決定するために頻繁に使用されます。流星軌道の5つのクラスは、Borovicka(ボロヴィチュカ)ら(2005)によって定義されました。

- (SA) 太陽接近軌道: $q < 0.2$ AU。近日点距離が短い軌道は、別のクラスとして定義される。
- (ES) 黄道群軌道: 黄道流星群の群流星。例えば、2P/エンケ彗星由来のおうし座流星群の流星及び小惑星や木星族の彗星との間の境界に近い軌道を持つ他の流星群の流星
- (HT) ハレー型軌道: $T_J < 2$ または $2 < T_J < 3$ と $i > 45^\circ$ 。
- (JF) 木星族軌道: $2 < T_J < 3$ と $i < 45^\circ$ と $Q > 4.5$ AU。
- (A-C) 小惑星-コンドライト軌道: $T_J > 3$ または $Q < 4.5$ AU。

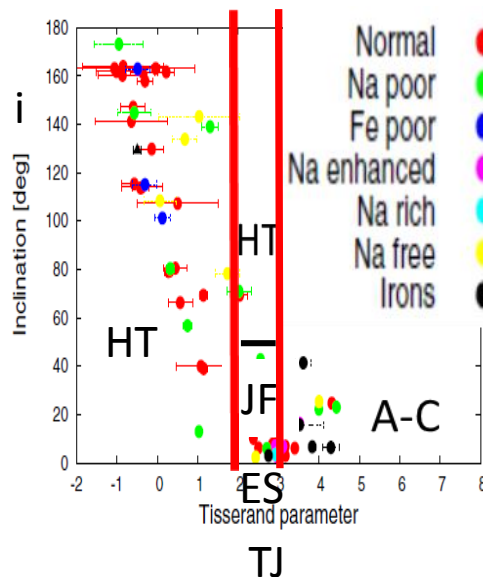
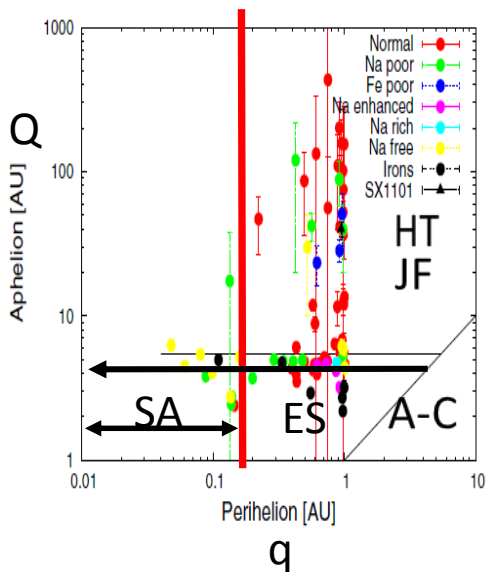


図. 15 近日点距離 q 対遠日点距離 Q のグラフ。エラーバー付きで点をプロットします。異なる記号は、個々のスペクトルクラスを表します。実線は木星の遠日点 $Q_J = 5.5$ AUを表しています。

図. 16 エラーバー付きのTisserandパラメータ対軌道傾斜角プロット。異なる記号は、個々のスペクトルクラスを表します。垂直の破線は、Tisserandパラメータ $T_J = 3$ を表しています。

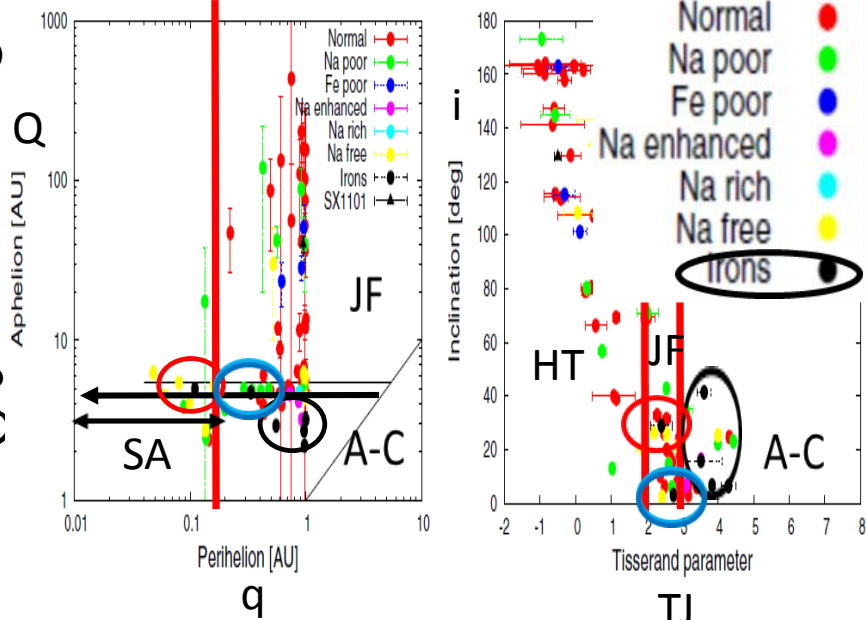
カタログの流星のスペクトルクラスと軌道分類図内でのそれらの位置は、図15および16に示されています。図15は、流星の近日点と遠日点の位置を示しています。図16は、軌道傾斜角とTisserandのパラメータを示しています。

私たちは今、スペクトル、軌道、および物質強度の分類を組み合わせ、個々のスペクトルのクラスを別々に議論することができます。

5.2 鉄流星(体) - Irons

鉄流星に分類されたカタログの全ての6個の流星の軌道要素は、表3に示されています。それらのうち4つ(SX393、SX689、SX692、およびSX1114、図中の●)は、小惑星-コンドライトクラスの条件を満たして、それらの遠日点距離Qは、4.5 AU未満であり、TisserandパラメータT_Jは、3より大きいです。

近日点距離がわずか0.11AUの流星SX001(●)は、太陽接近流星として分類できます。流星SX1194(●)の軌道は、木星族軌道に分類することができますが、軌道傾斜角がわずか3度で、遠日点距離4.7 AUが特に高くないため小惑星起源から除外はできません。



Spectra	a (AU)	q (AU)	Q (AU)	i (°)	ω (°)	Ω (°)	v _g (km s ⁻¹)	T _J	shower
SX001	2.5	0.110	5.0	28.9	325.1	16.95	40.3	2.4	SPO
	0.1	0.004	0.2	0.9	0.7	-	0.2	0.3	
SX393	1.59	0.976	2.19	6.4	194.1	262.71	6.5	4.3	SPO
	0.02	0.001	0.05	0.2	0.3	-	0.2	0.2	
SX689	1.84	0.966	2.72	41.3	150	45.77	24.1	3.6	SPO
	0.04	0.002	0.02	0.3	1	-	0.2	0.2	
SX692	2.1	0.999	3.2	16	194	45.80	11.8	3.5	SPO
	0.2	0.004	0.4	1	3	-	0.8	0.6	
SX1114	1.74	0.554	2.92	6.7	94.9	55.43	20.9	3.8	SPO
	0.05	0.006	0.09	0.2	0.09	-	0.2	0.08	
SX1194	2.53	0.335	4.7	3.1	295.6	19.91	30.6	2.7	SPO
	0.07	0.003	0.1	0.2	0.4	-	0.2	0.05	

表3 鉄流星に分類された流星の軌道要素。各流星の2行目は、エラーを表す。

5. 3 Na-フリー流星体(Naを含まない流星)

私たちは、Na-フリー流星に2つの異なった集団を明確に区別することができます。近日点距離が小さい太陽接近集団と軌道傾斜角が高いハレー型集団です。

5. 3. 1 太陽接近流星(体)

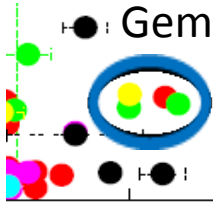
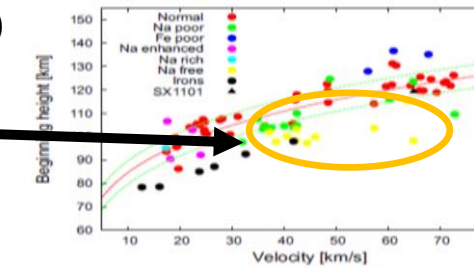
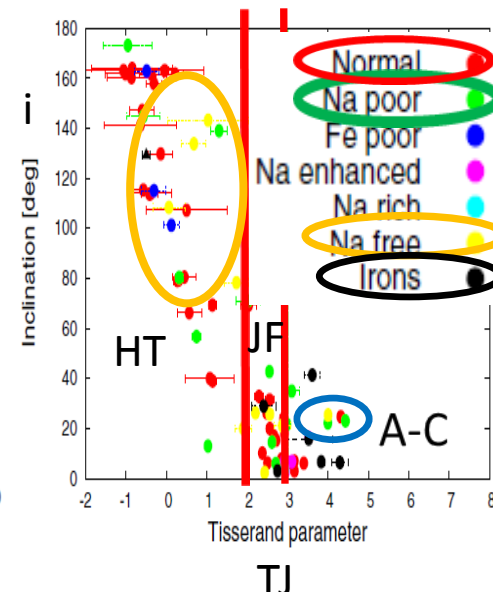
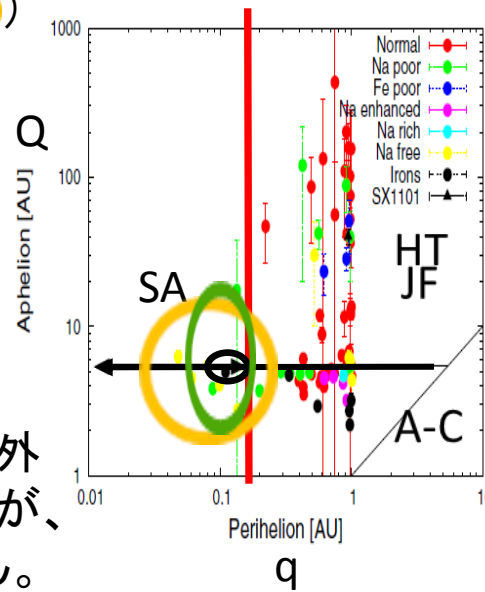
近日点距離 $q < 0.2$ の殆どの流星体は、Na-フリーかNa-プアーです。唯一の例外は、前述した鉄流星型の流星 SX001 ですが、それにもかかわらず、Naも含まれていません。

これは、太陽に対して ± 0.2 AU 以内に頻繁に近づくと、その起源に関係なく、ミリメートルサイズの流星からNaが失われるという (Capek & Borovicka 2009も参照) Borovicka (ボロヴィチュカ) からの結論 (2005年) に一致しています。

ナトリウムフリー流星の物質は、高い強度を有する傾向があります (図13参照)。みずがめ座 δ 流星群の流星 ($q = 0.07$) は、Na-フリー流星の中で見つけることができます。ふたご座流星群の一つ (SX337) もまた、Na-フリーに分類されました。しかし、(近日点距離 $q = 0.14$ AU と短い) この流星群 (ふたご群) の流星は、Na線強度が広く分布しています。私たちは、この流星群 (ふたご群) 内では、スペクトルのNa-プアーも、通常 (通常) のタイプも見つけることができます。

Borovičkaら (2005) が示唆しているように、Na含有量は、流星の年齢と相関していると説明されています。太陽近くで影響が少ない若い流星は、Naを保持しているのでふたご座流星群の流星は、短期間には形成されなかったことを意味します。

Borovickaら (2010) のその後の分析では、多孔性 (孔隙率) の差異でふたご群のNaの含有量が異なる主な理由であることを示唆しています。



● Gem
○ TJ

5. 3. 2 彗星起源のNaフリー流星(体)

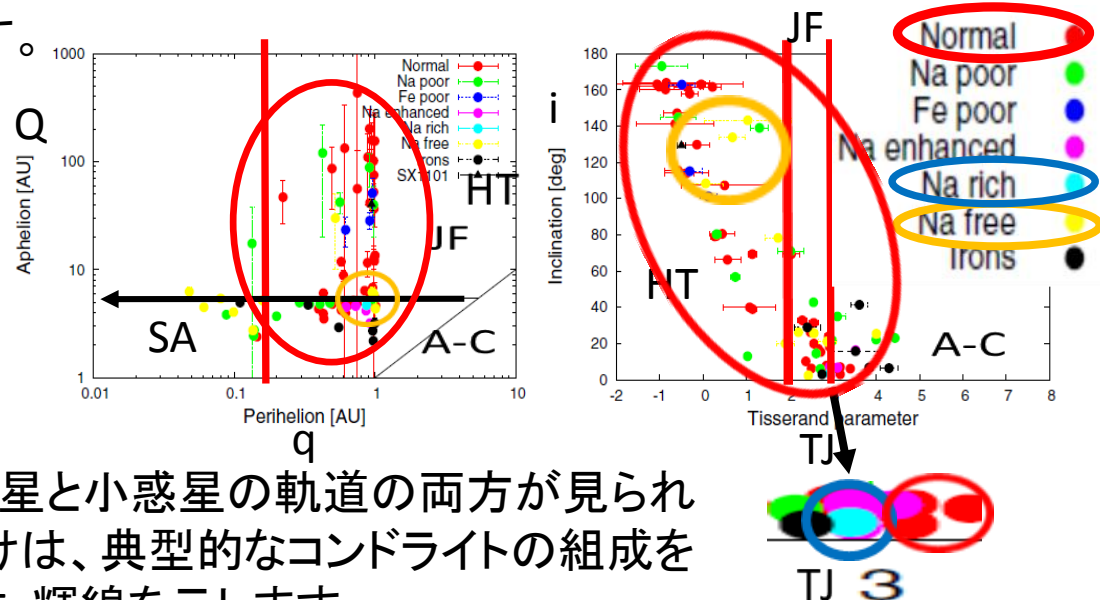
太陽への接近が流星でのNaの枯渇(こかつ)を引き起こす唯一のプロセスではありません。私たちのサンプルでは、そのスペクトル中にNa輝線を持たない3流星(SX350、SX696、およびSX1104)がありますが、それらの軌道は、太陽接近流星のものと異なります。

それらの近日点距離は1 AUに近く、それらは高い軌道傾斜角あるいは逆行軌道さえあります。これらの軌道はハレータイプのものです。Borovicka(ボロヴィチュカ)ら(2005年)によると、これらのタイプの軌道でNaが枯渇する理由は、おそらくオールトの雲の中にいる間に彗星表面が宇宙線に長時間さらされたからです。

このプロセスは、Naフリーの耐火性地殻?の形成につながる可能性があります。太陽系内を通過する彗星の通過中、外殻の段階的または突然の崩壊の時にミリメートルサイズの小型のNaフリーの流星を生成します。


5. 4 Naに富む流星(体)

私たちのカタログの中に、Naに富む流星(SX150)が1つだけあります。その物体は、木星族軌道です。



5. 5 通常の流星(体)

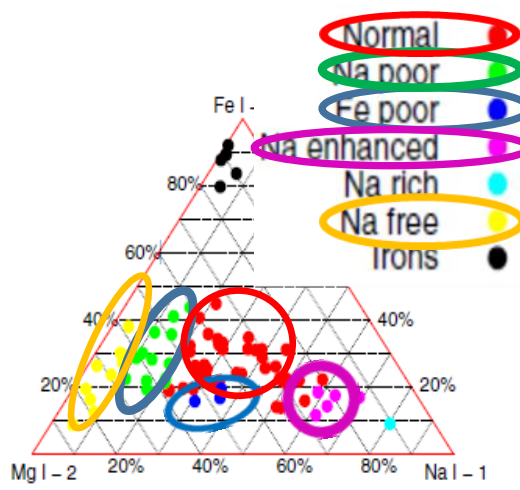
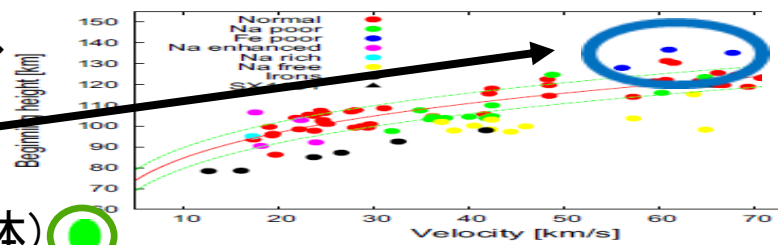
通常と分類された流星の中には、彗星と小惑星の軌道の両方が見られます。しかし、これらの流星の一部だけは、典型的なコンドライトの組成を持っていて、それらの多くはやや暗いFe輝線を示します。

しし座流星群の観測データに基づく、コンドライト組成とハレーダスト組成の計算によると、Borovickaら(2005)は、通常と分類された流星のサンプルは、通常のコンドライト物質としし座流星群に似た彗星物質の混合物であることを想定した。黄道流星群軌道を持つ三つのおうし座流星群流星(SX263、SX1122、およびSX1128)  は、通常の組成です。



5. 6 Fe-プアー(乏しい)流星(体) 

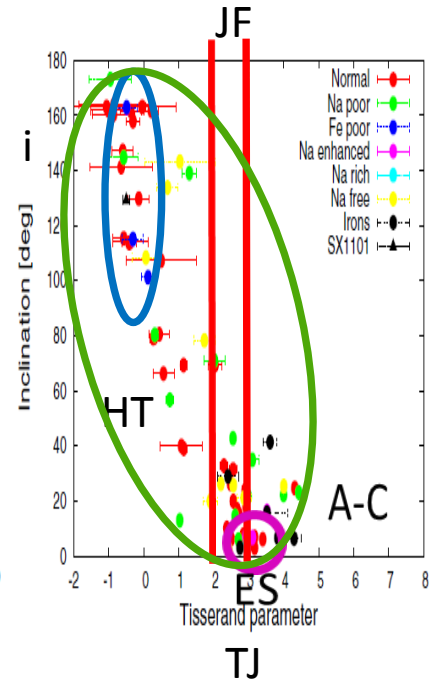
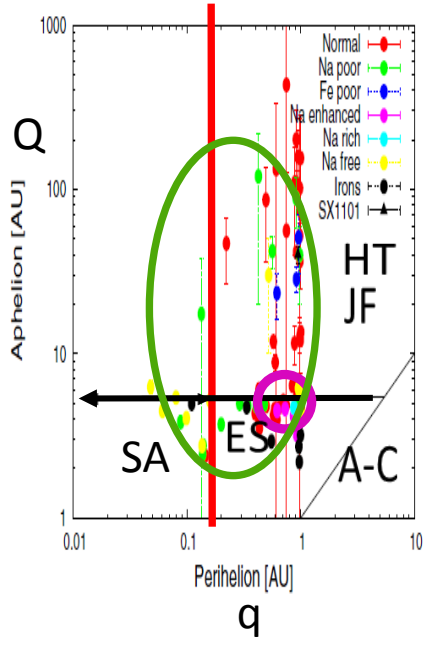
カタログ内の三つの流星(SX211、SX1064、およびSX1802)は、Fe-プアーと分類された。境界はやや恣意的ですが、鉄の輝線は、微弱すぎて通常の流星に分類できませんでした。

Fe-poor流星のすべてが彗星ハレータイプの軌道です。鉄-poor流星は、材料強度が弱く、アブレーション開始高度は、通常高いです(図13参照)。



5. 7 Na-プアー(乏しい)流星(体) 

Na-プアー流星は、通常とNa-フリー流星の間にあります。Na-フリー流星と同じように、それらのいくつかは短い近日点距離で、他は、彗星軌道です。したがって、それらは、おそらくNa-フリー流星と同じ2つの起源を持っています。



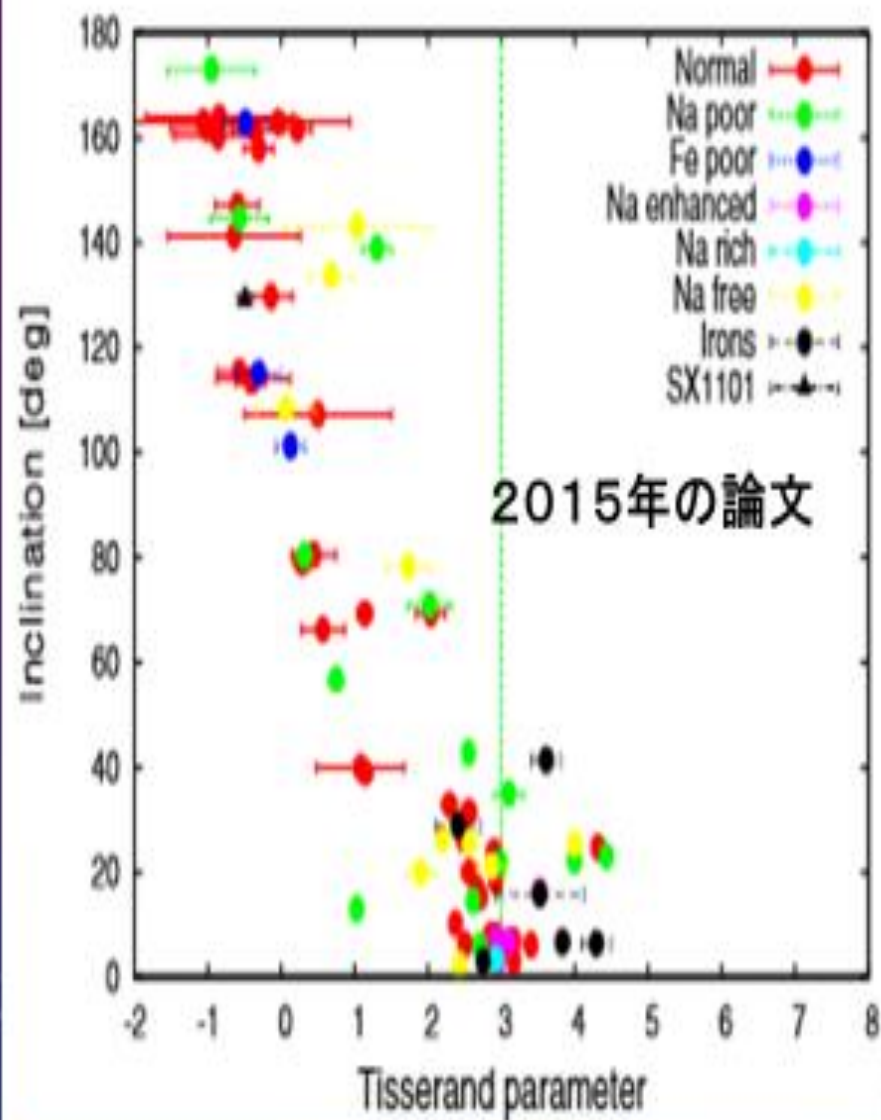
5. 8 Naが強化された(Na Enhanced) 流星(体) 

5個の流星(SX143、SX500、SX785、SX820、およびSX983)は、Naが強化された流星と分類されました。SX500は、典型的な小惑星-コンドライトの軌道を持っています。他4つの流星は、黄道群または木星族流星のように分類することができます。

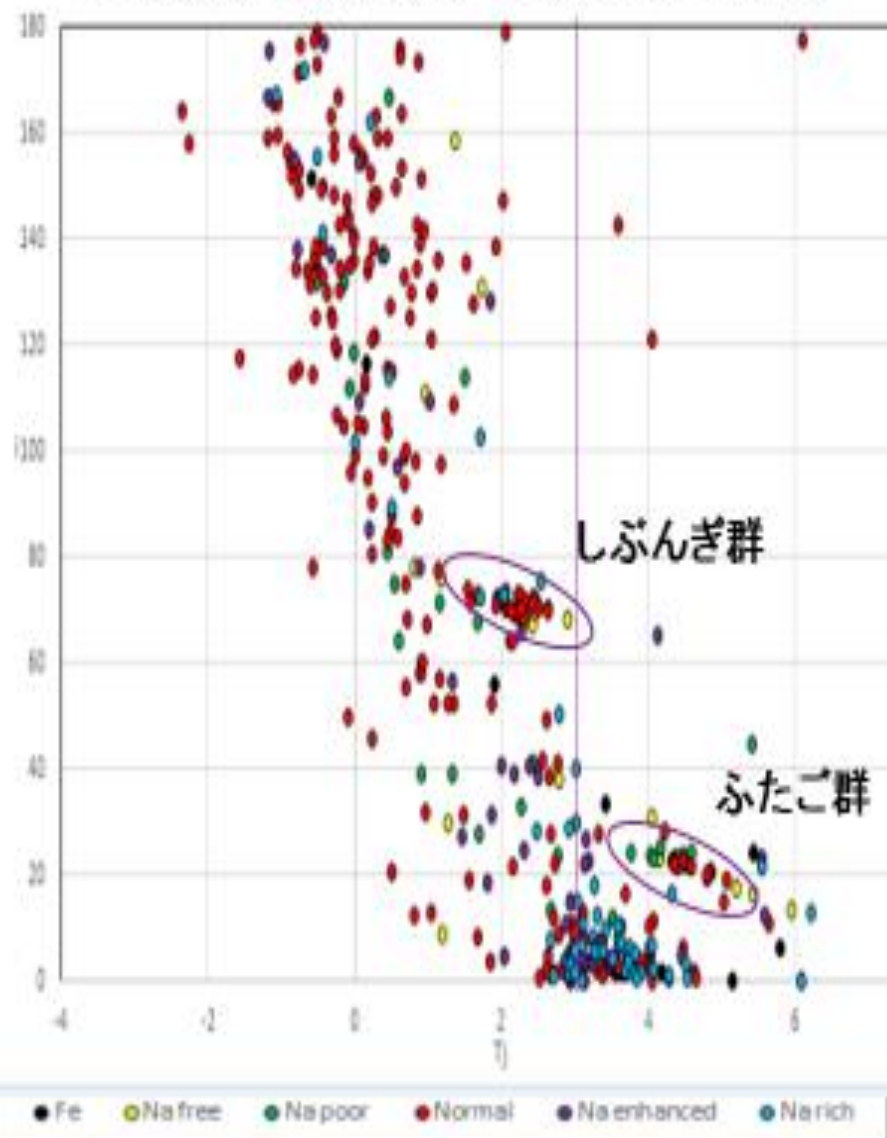
SX143、SX820、およびSX983は、散在流星でした。それらの軌道は、Naを富む流星SX150と似ていました。Borovička(ボロヴィチュカ)ら(2008)は、Naが強化された散在流星SX498を研究し、彼らの分析によると、この流星は、木星族軌道でした。

Ref. V. Vojáček, J. Borovička, P. Koten, P. Spurný and R. Štork "Catalogue of representative meteor spectra" A&A 580, A67(2015)

流星スペクトルの軌道の比較 Tjとi タイプ別(424個)



$$T_J = (a_J/a) + 2\sqrt{(a/a_J)(1-e^2)} \cos i \quad a_J = 5.2 \text{ AU}$$



流星スペクトルの軌道の比較 Q-q (424個)

