

K-45

分光観測と数値シミュレーションによる 2017-2018 年ふたご座流星群 Na 変動量の調査

Investigation of the 2017-2018 Geminid meteor shower sodium variation

by spectroscopic observations and numerical simulations

○小川 巧寛¹, 新垣 志麻¹, 宇田 天音³, 阿部 新助², 布施綾太²

Takumi Ogawa¹, Shima Arakaki¹, Amane Uda³, Shinsuke Abe², Ryota Fuse²

Abstract: Geminids is the most active annual meteor shower whose parent body is a near-Earth active asteroid (3200) Phaethon. In order to investigate variations of the amount of sodium in Geminids' spectra, approximately 149 low-resolution spectroscopic observations were carried out using 4K high-resolution high-sensitive color camera SONY $\alpha 7s$ during 2017 - 2018 in Japan. And, we discuss the age of Geminids meteor stream using sodium distribution in Geminids by observation and sodium diffusion model.

1. 背景

流星とは、彗星や小惑星起源のメテオロイドや惑星間塵が秒速 12~72[km]で大気に衝突した際にそれらが上層大気と衝突し、衝突励起することでプラズマ発光が起きる現象のことである。

メテオロイドや惑星間塵はそれらの由来となった母天体の軌道に沿って、チューブ状の流れの帯として分布している。これをダスト・トレイルという。

毎年 12 月中旬に出現するふたご座流星群は、現在最も流星数が多い主要流星群として知られており、ふたご座流星群のダスト・トレイル形成年代については、数百年~数千年と複数のモデルが提唱されている。しかし、母天体 3200 Phaethon は太陽に 0.14AU まで接近するため枯渇彗星(B 型小惑星)となっていて、ふたご座流星群の形成メカニズムは大きな謎となっている (e.g.Ryabova, 1999, 2007)。

Table 1. Orbital elements of 3200 Phaethon

元期(JD)	2458728.5	軌道傾斜角(i)[deg]	22.26028
近日点距離(q) [AU]	0.13998	昇交点黄経(Ω)[deg]	265.21594
軌道長半径(a) [AU]	1.27133	近日点引数(ω)[deg]	322.18595
離心率(e)	0.88989		

2. 目的

本研究ではふたご座流星群の分光観測を行うことで、流星物質の組成について推定するとともに、Na 量の質量毎の枯渇分布の統計的なデータを取得する。さらに、Na 拡散モデルを用いて Na 量の枯渇分布と比較することで、ダスト・トレイルの形成年代について考察する。

3. 観測手法

超高感度 CMOS カメラと回折格子を用いて 4K30fps 非圧縮動画記録を行い、2017-2018 年ふたご座流星群の可視分光観測において 149 個の良質なスペクトルを取得した。この観測条件および結果を Table 2, 観測例を Fig.1 に、代表的なスペクトルを Fig.2 に示す。

Table 2. Observation Conditions and Results

カメラ	SONY ILCE-7S (IR フィルタなし)		SONY ILCE-7S	
	波長範囲	380-800[nm]		400-700[nm]
分光器	Edmund optics VIS 600GPM			
波長分解能	0.44[nm]	0.28[nm]	0.51[nm]	0.37[nm]
レンズ	SIGMA 24mm F1.4 DG HSM	SIGMA 35mm F1.4 DG HSM	Canon FD 24mm F1.4 L	SIGMA 35mm F1.4 DG HSM
水平視野角	73.74°	36.97°	73.74°	54.43°
観測日時	2018 年 12 月 13~16 日	2017 年 12 月 13~14 日	2018 年 12 月 1~21 日	2018 年 12 月 9~18 日
観測回数	5	2	63	79

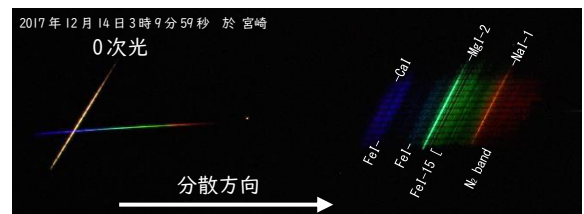


Figure 1. Example of Meteor Spectra

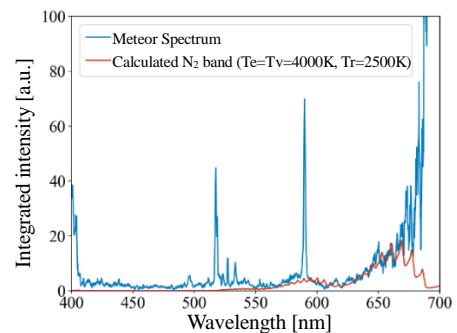


Figure 2. Spectra and N₂ bands

4. 観測結果

観測した流星のスペクトルから 500~600[nm]の範囲にある Na,Mg,Fe の輝線強度比を用いて組成比の推定を行い、三角ダイアグラムを用いて流星の分類 (Borovička et al., 2005)を行った。結果を Fig.3 に示す。

1 : 日大理工・院 (前) 航空宇宙工学科・航空宇宙工学専攻 2 : 日大理工・教員 航空宇宙工学科・航空宇宙工学専攻
3 : 日大理工・学部 航空宇宙工学科・航空宇宙工学専攻

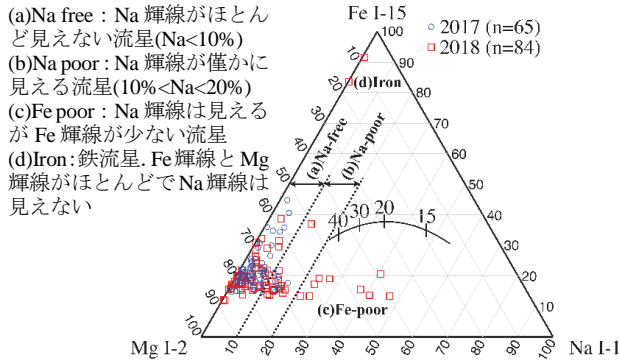


Figure 3. Na-Mg-Fe emission intensity ratio for the 2017-2018 Geminids meteor shower

Fig.3 中央の曲線は普通コンドライトがある速度で大気に入射した際の輝線強度比を示している。単位は [km/s]である。ふたご座流星群の速度は 35[km/s]であるので、今回観測された流星は普通コンドライトの組成ではないことは明らかであり、観測された流星のおよそ 8割で Na が枯渇している傾向が見られた。Na/Mg 比と総積分発光強度(波長範囲 400[nm]~700[nm])との比較では、流星が暗いほど、すなわち質量が小さいほど、より Na が枯渇するという傾向が見られた。(Fig.4)

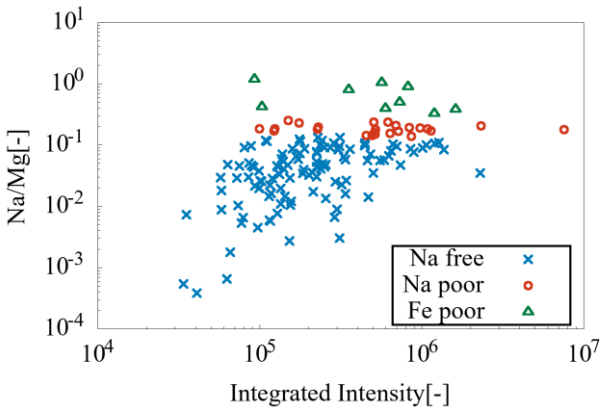


Figure 4. Integrated intensity and Na/Mg ratio

5. 解析手法・考察

Na 拡散モデルと観測結果を比較するためには、流星体の質量を知る必要がある。本研究では、Ceplecha et al., (1998)にある発光効率の式を用いて質量を出した。発光効率の値は Verniani(1967)より、突入速度 35[km/s]時 0.5[%]という値を用いた。また、Na 拡散モデルは Čapek et al., (2009)で用いられた手法を改良し、粒子分布モデルのみ新たに用意した。以下に粒子分布モデルを示す。

$$i = 0, 1, 2, 3 \dots N$$

$$m_i = m_{min} (m_{max}/m_{min})^i$$

$$n_i = F(m_i) \times \{m/\sum_{n=0}^N F(m_n)\} \quad (1)$$

$$n_N = r$$

N:分割数, m_i :ある特定の質量, n_i : m_i の質量の粒子の個数, m :流星体の質量 m_{min}, m_{max} :最大, 最小の質量 r :最大粒子の個数, $F(x)$:粒子分布の式である。粒子分布 $F(x)$ は, Grün et al.(1985)で用いられた式を引用した。

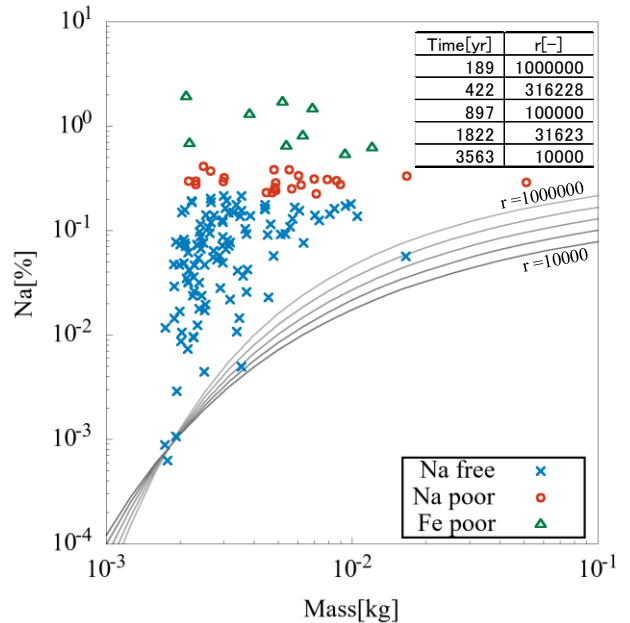


Figure 5. Results of Na diffusion model

Fig.5 は Na 拡散モデルの計算結果である。赤丸は流星の観測データを質量と Na 拡散量に補正したものである。曲線は最大粒子個数 r を変えて計算した結果であり、上から順に Fig.5 右上の表の通りに並んでいる。この計算結果から、最も古い流星物質は約 500~2000 年の間の年齢であると考えられることができる。

6. 結論

- ・観測の結果、ふたご座流星群の流星物質から Na は枯渇しており、小さな質量のものほど多く枯渇していた。
- ・Na 拡散モデルと観測から得られた質量-Na 量の分布を比較したところ、ふたご座流星群のダスト・トレイルの年齢は 500~2000 年の範囲であると推測された。

7. 今後の課題

ダスト・トレイルの年齢の決定にはより多くの Na free の流星観測データが必要である。そのため、今後も継続して観測データを取得する必要がある。

8. 参考文献

[1] Verniani, F., "Meteor Masses and Luminosity", Smithsonian Contr. Astrophys. 10, 181-195., 1967.
 [2] Grün, E., Zook, H. A., Fechtig, H., Giese, R. H., "Collisional balance of the meteoritic complex", Icarus 62, 244-272, 1985.
 [3] Ceplecha, Z., Borovička, J., Elford, W. G., ReVelle, D. O., Hawkes, R. L., Porubčan, V., Šimek, M., "Meteor Phenomena and Bodies", Space Science Reviews volume 84, 327-471., 1998.
 [4] Ryabova, G. O., "Age of the Geminid Meteor Stream", Solar System Research, vol. 33, Issue 3, 224-238, 1999.
 [5] Borovička, J., Koten, P., Spurný, P., Boček, J., Štokr, R., "A survey of meteor spectra and orbits: Evidence for three populations of Na-free meteoroids" Icarus 174, 15-30., 2005.
 [6] Ryabova, G. O., "Mathematical modelling of the Geminid meteoroid stream", Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 375, Issue 4, 1371-1380, 2007.
 [7] Čapek, D., Borovička, J., "Quantitative model of the release of sodium from meteoroids in the vicinity of the Sun: Application to Geminids", Icarus 202, 361-370., 2009.
 [8] Abe S., Ogawa T., Maeda K., Arai T., "Sodium variation in Geminid meteoroids from (3200) Phaethon", Planetary and Space Science Volume 194, 1-9., 2020.