

氏 名 春日 敏測

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 925 号

学位授与の日付 平成 18 年 3 月 24 日

学位授与の要件 物理科学研究科 天文科学専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Metallic abundances of meteor showers; Solar heating
effect on the meteoroids with perihelion distance

論文審査委員 主 査 教授 佐々木 晶
教授 家 正則
教授 渡邊 鉄哉
助教授 吉川 真
講師 河北 秀世（京都産業大学）

論文内容の要旨

論文タイトル:

Metal Abundances of Meteoroids in Meteor Showers:

Solar Heating Effect on the Meteoroids

要旨:

Solar heating effect on meteoroids during orbital motion in interplanetary space is investigated by the spectroscopic observations of several meteor showers. The effect is considered to change the metal abundances especially for relatively volatile element such as Na, and to depend both on the (1) perihelion distance of the orbit and on the (2) exposed duration time. Metal abundances of Leonid meteors with perihelion distance $\sim 1\text{AU}$, and Geminid meteor of orbits with small perihelion $\sim 0.14\text{AU}$ are compared. Solar heating effects among Leonid meteoroids are investigated by the metal abundances deduced from two dust trails formed in different epochs. As a result, it is not confirmed that existence of this effect within about 100 years difference of the exposure. On the other hand, the depleted abundance of the Na was detected on a Geminid meteor, which indicates the existence of the solar heating effect depending on the (1) perihelion distance of the orbit.

The Leonid meteor shower is caused by the Earth's encountering dust trails formed by Comet 55P/Tempel-Tuttle. After the return of this comet in 1998, a theoretical calculation predicted that the peak activities could go up to a 'storm' level in next five years. In order to investigate metal abundances of meteors, a High-Definition TV spectroscopic observational system was constructed in 2001. The system was focused on the near - ultraviolet wavelength range (300 - 650 nm) by combining reflective grating (600 grooves/mm, blaze 300nm; 500 grooves/mm, blaze 330nm), UV lens ($f=30$ mm, F1.4), Image Intensifier (I.I.), and High -- Definition TV camera (HDTV). The spectral resolution of 1.0 ~ 2.0 nm was achieved. The diagonal coverage of the field of view (FOV) was 30° .

In 2002, the author participated in NASA's Leonid Multi - Instrument Aircraft Campaign (Leonid MAC), which had started since 1998. This mission concept is to bring together world - wide scientists from different disciplines and cooperatively observe the Leonid meteors using a wide range of techniques. The route of the two aircrafts in 2002 was from Torrejon, Spain to Offutt, Nebraska in order to encounter two predicted shower peaks deduced from two dust trails; one is the 1767 and the other is 1866 trails.

HDTV spectra in the ultraviolet -- visible region were obtained during the 2002 Leonid aircraft campaign. Total 20 meteor spectra are obtained, where 7 from the 1767 and 13 from 1866 trails, respectively. The identified neutral atoms are Mg I, Fe I, Ca I, and Na I in the observed wavelengths between 300 - 650 nm. The singly ionized atomic emissions, Ca II and Mg II lines, also appeared in the spectrum.

The abundances of metallic atoms, the electronic excitation temperature and electron density are obtained for each

spectrum, assuming the Boltzmann distribution for the number of each energy level, together with using a modified conventional method for meteor spectra. To estimate the degree of ionized atoms, the author improved an origin of CaII emissions and firstly obtained reliable electron densities and metal abundances, in particular Na. The metal abundances of Fe, Ca and Na relative to Mg are slightly lower than solar abundances in average. The correlation between the excitation temperature and the abundance of Ca, which suggests incomplete evaporation of the Ca due to intrinsic refractoriness, was found.

No evidence of solar heating effect on Leonid meteoroids between 1767 and 1866 trails was confirmed. The supportable idea is that the metals in silicate are preserved in interplanetary space at least several hundred years is supportable.

On the other hand, the result mentioned above gives no information on the effect of the (1) perihelion distance, because all the meteoroids in the Leonids have almost the same perihelion distance ($\sim 1\text{AU}$). It is the reason why the author focused on the Geminid meteor shower, of which the perihelion distance is small ($q \sim 0.14\text{AU}$). The observational system for the Geminids is the same as the Leonids, except the observational locations (ground-based observation at Nobeyama Radio Obs.). The result of a Geminid meteor spectrum derived shows extreme Na depletion, which is different from solar abundance and that of meteors

of other showers. The result may shows the solar heating effects on Geminid meteoroids, even if there are other possibilities, such that the parent body is not usual comet, but asteroid 3200 Phaethon. At the present, this is not conclusive.

Two factors of solar heating effect: (1) dependence of perihelion distance and (2) exposed time are studied in order to discuss solar heating effect on meteoroids in meteor showers as stated above. For an attempt to investigate the possibility of this effect on metal content in meteoroids, the author tried to calculate the equilibrium temperature of the meteoroids in two meteor showers during their orbital motion as a first approximation. Solar heating effect on metal in meteor shower, such like Na depletion on small perihelion, can be discussed by assuming condensation temperatures of the elements from a solar composition gas. Calculation of the temperature of meteoroids with several perihelion distance revealed the possibility of depletion of the relatively volatile species such as Na in meteoroids with small perihelion ($q \sim 0.14\text{AU}$) due to the solar heating effect.

論文審査結果の要旨

タイトル： Metal Abundances of Meteoroids in Meteor Showers:
Solar Heating Effect on the Meteoroids

流星は、始原的な太陽系小天体である彗星から放出された塵粒が、地球大気に飛び込んで発光する現象である。秒速 10 から 70 キロメートルという高速で大気に突入するために、塵は数千度の高温プラズマとなる。流星を分光観測することで、通常はガスになりにくい金属元素の種類と量を推定できる。流星天文学では長い間、観測された金属元素の量が、流星体にもともと含まれていた金属量を反映していると思われていた。

ところが太陽系天体の中で、固体表面を持つ惑星や小惑星の表面は、宇宙風化と呼ばれる変成を受けていることがわかってきて、そのメカニズムやタイムスケールが注目されつつある。固体表面が次第に変成し、可視光の反射率が変化し、カラーが赤くなる現象はよく知られている。また表面に氷を大量に含む太陽系外縁部の小天体群では、主に有機物の変成によって、カラーが変化すると示唆されている。流星はもともと固体塵であり、彗星から放出された後、一定の時間を太陽系空間内で軌道運動している間に、当然同じような宇宙風化を受けてもおかしくない。申請者は、これまでの研究者が着目してこなかった流星体の宇宙風化による変成作用を調べるため、太陽の影響の異なる、近日点が違う流星群の分光観測を行った。観測に使用した流星用可視・近紫外線分光観測システムは、流星のスペクトルの時間変化を追うことのできる画期的なものであり、自ら製作に参加し、観測に必要な校正試験はほとんどを申請者が行った。

観測は二つの流星群について行っている。ひとつは 2002 年のしし座流星群である。この流星群では、一夜の間に 2 つの異なる塵群（ダスト・トレイル）に遭遇すると予測されていた。これらは 1767 年と 1866 年とに母彗星から放出された塵群であり、軌道上で 100 年の差がある。申請者は両方を同一条件で観測するため、ヨーロッパからアメリカにかけて 2 機の航空機をとばす NASA のしし座流星群国際観測キャンペーンに参加し、あわせて 20 個の分光観測に成功した。申請者は 3367 本もの金属原子輝線カタログを用いてデータ解析を行い、金属元素の組成を導き出した。その結果、しし座流星群のように近日点が 1 天文単位程度の流星群では、宇宙空間においての経過年数が 100 年ほど異なっても、平均的な金属組成比には差がないことが明らかになった。観測されたしし座群流星の組成は、流星体のもともとの組成を示していると考えられる。

申請者が注目したもうひとつが、ふたご座流星群である。この流星群の軌道は太陽から 0.14 天文単位にまで近づくため、太陽による流星体の風化作用は激しいと予想される。申請者が 2004 年に行ったふたご座流星群の地上観測により、1 個の流星の詳細分光データが取得され、Mg, Fe, Ca, Ni, Na, Mn, Cr などの組成が得られた。申請者の解析の結果、ナトリウムのマグネシウムに対する比は、しし座流星群の平均が 0.039、0.031 であるが、ふたご座流星群の値は 0.0036 と非常に低い（太陽組成より 1 桁低い）値となった。

また、これらの解析過程において、申請者は従来の流星のプラズマモデル（2 成分モデル）の一部に不備があることを見いだした。CaII（カルシウムイオン）の放射が、従

来仮定されていた（流星プラズマの）hot componentではなく、main component由来とすることによりはじめて、有意な電子密度が求められることを明らかにした。ナトリウムはイオン化されやすいため、観測される原子ナトリウムの密度は電子密度に依存する。これまでも、ふたご座流星群についてはナトリウムが少ないという報告があったが、申請者の研究によってはじめて、信頼できる値が得られた。

ふたご座の分光観測では、ナトリウムより蒸発温度の高い元素については、太陽組成より大きな減少は観測されなかった。ごく簡単なモデル計算によれば、ふたご座流星群の塵粒が近日点である0.14天文単位付近を通過するときには、ナトリウムの蒸発温度に近くなるため、太陽に接近する場合には、金属の中でも揮発性の高いナトリウムの量は、もともとの組成よりも欠乏している可能性が示唆された。

申請者はふたご座流星群の母天体が、「通常の彗星活動をしていない小惑星」と分類されている天体であることにも触れ、ナトリウムの値が低い原因として、母天体の性質である可能性も本研究だけから排除できないとしているものの、得られた結果は今後の流星の分光観測から得られる金属組成の解釈に重要な視点を与える結果となっている。

これらの成果の一部は、すでにAstronomy and Astrophysics誌に申請者が主著者である3本の論文として掲載されており、Astrophysical Journal誌に1本受理されている。以上、申請者の研究成果は、少なくとも1天文単位付近までしか太陽に近づかない流星体であれば、その金属組成比は風化作用を受けていないこと、また極めて太陽に近づく場合には、揮発性の高い元素が欠乏している可能性を初めて指摘し、同時に従来分光データの解析手法の不備を指摘したものであり、流星体を通じた母天体・彗星や小惑星研究に新たな知見をもたらすものとして、きわめて高く評価できる。