

2006年度内地留学奨学金による成果報告書

井内麻友美（葛飾区郷土と天文の博物館）

研究テーマ：彗星コマ中に観測されるナトリウム原子の放出量の日心距離変化とその彗星ごとの相違について

受入機関：国立天文台

担当教官：渡部潤一

研究内容の概要：彗星コマを分光すると、彗星に含まれる分子の種類を知る手がかりを得ることができる。本研究では、太陽に近づいたときに観測されることのある金属原子ナトリウム (Na) の輝線に注目をした。

現在では彗星の塵が Na の供給源であると考えられており、その供給過程は熱的放出メカニズムによることが明らかにされている (Watanabe et al., 2003; Furusho et al., 2005)。Na 原子の放出メカニズムが熱的放出だと仮定した場合には、〔塵連続光強度に対する Na 原子輝線の割合〕 $= C \times \exp[-(D/kT)]$ の関係がある (C: 定数, D: エネルギーバリアー (後述), k: ボルツマン定数, T: 彗星塵粒子の温度)。今回、この先行研究の手法で新しいサンプル C/2004 F4 (Bradfield) の検証を行い、Na 原子の放出量の日心距離変化と、先行研究で導きだされている二つの彗星との相違があるかをみた。

この結果、三つのサンプル (彗星) において、定数 (C: $\exp[-D/kT]$ が 1 のときの塵粒子の散乱断面積当たりの Na の量) は異なるが、エネルギーバリアー (D: 彗星の塵から Na 原子が放出される閾値) は似通っていることがわかった。

なお、本研究の解析および速報は内地留学前より着手しており、内地留学中は、毎週月曜日に国立天文台内で行われる太陽系小天体ゼミに通いながら議論を詰め、報告論文の作成作業を進めてきた。

以下に、本研究について詳しく述べる (下記のような内容で報告論文を執筆中である)。

1. はじめに

彗星は、太陽系始原天体であり、太陽系形成初期の情報源のひとつといえる。特に、その情報は彗星核をつくっている氷や塵から得られると考えられている。明るくなった彗星のコマを分光すると、可視領域に Na 原子 (D 線) が見られるとき

がある。この Na 原子は彗星の塵についての情報を得る手がかりとして、以前より注目されている。

可視低分散分光データに基づく彗星の Na 原子の放出量の日心距離変化の研究は、ヘール・ボップ彗星 (C/1995 O1)、池谷・張彗星 (153P/Ikeya-

Zhang) ですすでに行われており、塵からの Na 原子の供給過程が熱的放出によるものであることが明らかにされている (Watanabe et al., 2003; Furu-sho et al., 2005).

本研究では、Na 原子の熱放出メカニズムは他の彗星の場合でもあてはまるか、また熱的放出メカニズムが成り立つならば、彗星ごとにエネルギーポテンシャルバリアーは異なるか、以上の2点に着目をして、先行研究の手法を用い、新しいサンプルとしてブラッドフィールド彗星 (C/2004 F4) で検証を行った。

2. 方法

観測データは、岡山県の藤井 貢氏による藤井-美星観測所 (N36° 67 E133° 55 標高 400 m) の低分散分光観測によって得られたデータをいただくことができた。

解析には、天文解析ソフト「IRAF」を使用した。Na 輝線のフラックスと塵連続光 (散乱光) の強度を測定し、Na 輝線と塵連続光強度の比 (以後 Na/Cont 比) を求めた。ここでは、塵表面から Na 原子が放出されると考えているため、本当は、塵の単位表面積当たりの放出される Na 原子数が知りたい。だが、塵のサイズ分布や反射能は観測からわからないため、塵の表面積がわからない。そこで、観測される塵連続光強度から得られる塵の総散乱断面積を塵の表面積の指標として使った。

3. 結果

4 日間分 (2004 年 4 月 24 日, 27 日, 28 日, 5 月 5 日) の観測データのうち、3 日分 (2004 年 4 月 24 日, 27 日, 28 日) に Na 輝線 (D 線: 589.5 + 588.9 nm) が見られた (表 1)。また、観測されたブラッドフィールド彗星のスペクトル例が図 1 である。

Na/Cont 比は、 $C \times \exp[-D/kT]$ (C は定数) に比例し、 $C \times \exp\{-\frac{(D/S)}{(280k)}\} \times r^{0.5}$ に置き換えられる (r は彗星の日心距離 [AU], D はエネルギーバリアー [eV], S はスーパーヒート, k は

表 1 ブラッドフィールド彗星の各観測日の日心距離 R と Na/Cont 比。

日 (JST)	日心距離 R (AU)	Na/Cont 比
2004/4/24	0.352	2.819
2004/4/27	0.439	0.656
2004/4/28	0.469	0.593
2004/5/ 5	0.657	—

Na/Cont 比は、Na 輝線のフラックスと塵連続光強度の比。

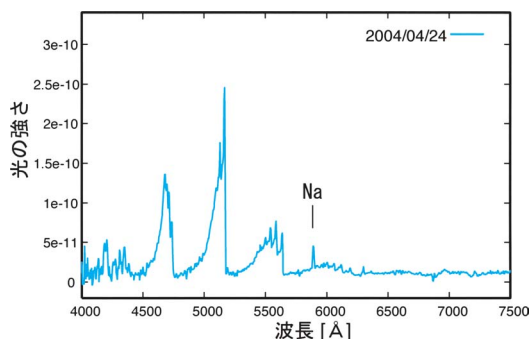


図 1 ブラッドフィールド彗星のスペクトル。

表 2 C/2004 F4 (Bradfield), C/1995 O1 (Hale-Bopp), 153P/Ikeya-Zhang の D/S , D , S の値。

彗星	(D/S)	D	S
C/2004 F4 (Bradfield)	0.46 ± 0.05	0.58 ± 0.04	1.25^{*1}
153P/Ikeya-Zhang	0.43 ± 0.09	0.49 ± 0.10	1.15^{*2}
C/1995 O1 (Hale-Bopp)	0.28 ± 0.06	0.46 ± 0.10	1.65^{*1}

*1 Mason et al. (2001)

*2 Lyke et al. (2002)

C/2004 F4 (Bradfield) については、過去の観測から得られた典型値を用いた。

ボルツマン定数)。エネルギーバリアーとは、彗星塵から Na 原子が放出される閾値のことで、スーパーヒートとは、黒体放射温度に対する色温度の超過量である。

これより、本研究対象天体の (D/S) は 0.46 ± 0.05 となった。さらに、スーパーヒート (S) の値を Mason et al. (2001) のデータの平均値を使用すると、エネルギーバリアー値 (D) は 0.58 ± 0.04

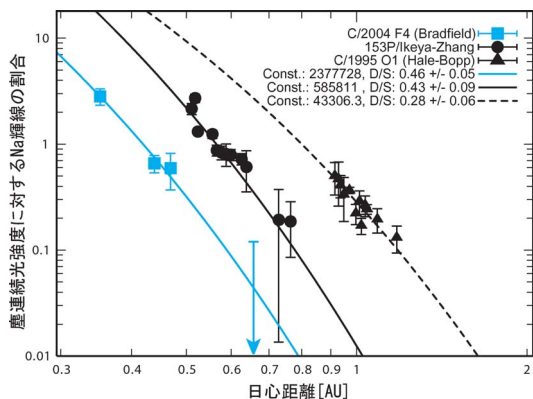


図2 塵連続光強度に対するNa原子輝線の割合と彗星ごとの日心距離変化。

と求まった(表2)。

D の値は, C/2004 F4 (Bradfield): 0.58 ± 0.04 , 153P/Ikeya-Zhang: 0.49 ± 0.10 , C/1995 O1 (Hale-Bopp): 0.46 ± 0.10 と, 三つの彗星共に似たような値をとっていることがわかった(図2)。

4. 議論

Na原子の放出メカニズムが熱放出であるかを検証する。Na原子の放出メカニズムがダスト粒子の光子による叩き出し(フォトスパッタリング)の場合, 太陽から彗星が遠ざかれば遠ざかるほど塵表面にあたる光子の量が少なくなるので, Na/Cont比の日心距離 r に対する変化は, 関数(r^{-K} , $K=-2$)に従うが, これではフィットしなかった。一方, 塵粒子からのNa原子放出は熱放出であると仮定した場合, 塵粒子からのNa原子放出は, $\exp\{-D/kT\}$ に比例する。結果はこの関数にフィットした。ゆえに, Na原子の放出メカニズムがフォトスパッタリングではなく, 熱的放出であると考えることができる。

Na/Cont比 $=\exp\{-D/kT\}$ の式は, 以下のように展開される。ダスト粒子の温度($T_{\text{dust}}[\text{K}]$)は, 実際にはわからないので, 赤外観測で明らかにすることが可能な色温度($T_{\text{color}}[\text{K}]$)と等しいと考え, これに置き換えた[$T_{\text{dust}}=T_{\text{color}}$]。さらに, 色温度は, スーパーヒート(S) \times 黒体放射

温度($T_{\text{bb}}[\text{K}]$)[$T_{\text{color}}=S \times T_{\text{bb}}$]と表すことができる。また, 黒体放射温度(T_{bb})は彗星の日心距離($r[\text{AU}]$)の関数[$T_{\text{bb}}=280/\sqrt{r}$]として書き換えることができる。したがって, Na/Cont比の日心距離依存性は, Na/Cont比 $=C \times [-(D/S)/(280k)r^{-0.5}]$ と表される(C =定数)。

塵散乱光強度に対するNa輝線強度の割合の日心距離依存性($C \times \exp[-D/kT]$)を異なる三つの彗星間で比較すると, 定数(S)は異なるが, エネルギーバリアー値(D)は似通っていることがわかった。

ここで, 定数(C)は $\exp[-D/kT]$ が1のとき(すなわち $T=\infty$ のとき)のNa/Cont比に相当する。異なる三つの彗星間で, 同じ温度状態でも塵粒子からNa原子が放出される量は異なるということの意味している。ところで, ここでは塵粒子の表面積の指標として塵の総散乱断面積を用いた。つまり, Na/Cont比のContは視野内の総散乱断面積を示し, それは塵のサイズ分布やアルベドに依存する。したがって, Na/Cont比の違いは, 放出されるNa原子の量の違いとも, 塵の性質の違い(サイズ分布 \cdot アルベド)ともどちらとも考えられる。

エネルギーバリアー値(D)は, 彗星の塵からNa原子が放出される閾値のことである。 D が似たような値をとるということは, 異なる三つの彗星間で, 塵粒子からNa原子が放出される閾値は似通っているということを示し, これは塵粒子の鉱物構成が似通っていると考えられる。

以上の議論をまとめると, 三つの彗星間で, 塵粒子のサイズ分布やアルベドといった性質は異なるが, 塵粒子の鉱物構成はそれぞれに似通っていると考えられる。

ここでいくつかの問題点も考えられる。まず, 塵粒子の物理的な温度を色温度と等しいと考えて計算している($T_{\text{dust}}=S \times T_{\text{bb}}=S \times 280 \times r^{-0.5}$)ので, エネルギーバリアー値(D)に系統的なエラーを引き起こしている可能性が考えられる。し

かし、手法は三つの彗星共に同じなので、比較した結論は妥当だろう。

また、可視光観測のみでは、塵粒子の特性すなわち、サイズ分布や形、光学定数などの違いを導くのは困難である。温度や塵粒子のサイズ分布を正確に導くには、熱赤外線観測が必要になってくる。熱赤外線観測データが得られれば、Na/Cont比で、Naの量が違うのか、それとも塵の特性に違いがあるのかを突き止めることができる。

5. まとめと今後

C/2004 F4 (Bradfield) の塵連続光強度に対するNa輝線強度の割合を日心距離ごとに導びき、先行研究ですでに導きだされている二つの彗星(C/1995 O1 (Hale-Bopp), 153P/Ikeya-Zhang)の結果と比較した。この結果、三つのサンプル(彗星)において、定数($C: \exp[-D/kT]$ が1のときの、塵粒子の総散乱断面積当たりのNaの量)は異なるが、エネルギーバリアー(D : 彗星の塵からNa原子が放出される閾値)は似通っていることがわかった。

しかし、三つのサンプルのみで、どの彗星においてもエネルギーバリアー値が類似するとは断定できない。他の彗星ではどうなのだろうか? 今後も、サンプルを増やして、彗星ごとの連続光中のNaの関係性を見ていきたい。また現在、査読

論文の執筆作業中である。

謝辞

今回の内地留学にあたり、ご指導くださいました渡部潤一助教授(国立天文台)に感謝申し上げます。また、多くのご助言をくださった古荘玲子氏(早稲田大学)ならびに渡部ゼミの皆様、データ利用を快く承諾してくださいました藤井貢氏に御礼申し上げます。解析では国立天文台計算センター一般共同利用ワークステーションのお世話になりました。最後にこのような機会を与えてくださいました日本天文学会の内地留学制度に感謝いたします。ありがとうございました。

報告

- 2006年日本天文学会秋季年会

参考文献

- Watanabe J., Kawakita H., Furusho R., Fujii M., 2003, ApJ 585, 2, L159
- Furusho R., Kawakita H., Fujii M., Watanabe J., 2005, ApJ 618, 1, L543
- Hueber W. F., 1970, A&A 5, 286
- Cremonese G. et al., 1997, ApJ 490, L199
- Mason C. G., Gehrz R. D., Jones T. J., Woodward C. E., Hanner M. S., Williams D. M., 2001, ApJ 549, L635
- Lyke J. E., Kelly M. S., Jackson D. C., Gehrz R. D., Woodward C. E., 2002, IAU Circ. 7921