

122P/de Vico 彗星におけるガス/塵比 および NH₂ 生成率

河北 秀世(シャープ)、綾仁 一哉(美星天文台)、
松原 敬二(オムロンソフトウェア)

§ イントロダクション

彗星の分光観測、測光観測からは彗星コマ中のさまざまな分子種についての情報が得られる。C₂ 分子や CN 分子などの比較的輝度の強い輝線を放つ分子種については、すでに多くの彗星についての観測が存在している。そのため、これらの観測から求められる各種分子の生成率やスケール長(後述)、分子種の存在比などについては、すでに多くの研究がなされている。しかしその一方で、NH₂ 分子については報告例は非常に少ない。これは NH₂ 分子の輝線が C₂ や CN のそれに比べて弱く、また C₂ や CN がフォトマルの対象となりうる波長域であったため古くから観測がなされてきたのに対し、NH₂ の輝線はフォトマルの感度の低くなる長波長側に現れるために観測があまり行われなかったことが原因と考えられる。近年、CCD の発達に伴い、NH₂ の観測も増えてきた。しかし、他の分子種の輝線とのブレンドのために精度良く測定ができないことや、整約のために必要な物理量が十分な精度で求められていないなどの問題を抱えてきた。また、宇宙探査機による P/Halley 彗星の観測から直接求められた NH₃ 分子の量が、NH₂ の観測から求められる NH₃ 分子の量よりも小さいことが問題となっている。

また、過去の観測から求められた彗星の化学組成は、従来、比較的似かよっており、彗星による違いは少ないと思われてきた。しかし近年、P/Giacobini-Zinner 彗星や P/Wolf-Harrington 彗星において、通常の彗星に比べ異常に C₂ 分子の生成率が小さいことが見出され(Beaver et al.: 1990, Schleicher et al.: 1993)、また、Yanaka(1988r) 彗星においては C₂ および CN 分子が通常の 1/25~1/100 という異常な組成の彗星が見つかるに至り(Fink :1992)、彗星の組成にもバリエーションがあることが解ってきた。

また、この他に彗星を特徴づける物理量としてガス/塵比があるが、これについては従来から個々の彗星によってさまざまなバリエーションがあることが解っている。最もガスの多い部類の彗星では、ガス/塵比は、最も塵の多い(ガスが少ない)部類の彗星に比べて約 100 倍もの値を示す。

本研究の目的は、P/de Vico 彗星における NH₂ 生成率、ガス/塵比を求め、他の彗星との比較により、P/de Vico 彗星の個性を明らかにすることである。また、あわせて NH₂ 分子のスケール長についても報告する。

§ 美星天文台における P/de Vico 彗星の分光観測

§ § 観測装置緒元

本研究において解析したスペクトルは、岡山県美星町美星天文台の 101cm 望遠鏡に設置されたスリット分光器(窒素冷却 CCD 使用)により得られたものである。観測は低分散にて行った。

- スリット分光器: 低分散(FWHM=12Å), 425" x 2" スリット
- 窒素冷却 CCD : 1024 x 256 pixel, 2 ["/pixel]

§ § 観測ログ

観測は、P/de Vico 彗星の近日点通過日より 5 日後、1995 年 10 月 11 日に行った。分光標準星は彗星とほぼ同じ Air Mass で観測している。

- 28:28(JST): 分光標準星 Leo α , altitude=25deg., exposure=5sec.
- 29:14(JST): P/de Vico 彗星, altitude=27deg. . exposure=10min.
Heliocentric Distance = 0.67 AU
Geocentric Distance = 0.96 AU
Heliocentric Velocity = 51 [km/sec]

§ § 整約上の注意

彗星スペクトルの整約は基本的には通常の恒星スペクトルの整約と同じであるが、彗星の場合、薄明中の観測が多く、スカイ成分が非常に大きいことがある。また、彗星コマは意外に大きく広がっており、スカイの差し引きには十分な配慮が必要となる。スペクトルの整約には IRAF を用いた。

スカイの差し引き

彗星のコマは意外に広範囲におよんでおり、波長によってはスリットに受かった範囲外にはみだしている場合があるが、今回の観測では、NH₂、[OI]、連続光成分についてはスリット中で同時にスカイを取得できると判断した(スリット方向のプロファイルを参照)。NH₂、[OI]、連続光成分はコマ中心からの距離が増えるに従い、

比較的急速に輝度が減少する。しかし、代表的なコマ中の輝線である C2 分子の成分は、これらよりも外側まで広がっている。

このように同時にスカイを取得できない場合には、彗星の観測の前後でスカイ取得して観測時のスカイを推定したり、彗星の輝度分布を仮定し、スカイを推定するなどの手法が必要となる。

実際の解析では、スリットに沿って、その端から 25 Pixel 分のデータをスカイとして用いている。残る部分を彗星コマの成分としてスリット方向に積分した。

§ § Haser モデル

発光分子の生成率や分子の寿命を求めるには、コマ中での発光分子の生成・消滅のモデルを仮定する必要がある。ここでは、代表的な生成・消滅モデルである Haser モデルを仮定して解析を行う。Haser モデルは決して現実的なモデルとは言えないが、取り扱いが非常に簡便であり、かつ彗星コマの輝度分布をうまく表現できるため、多くの研究で用いられている。Haser モデルよりも現実的かつ複雑な生成・消滅モデルはあるが、フリーパラメータが多く、実際の観測の整約にはあまり利用されない(Vectorial モデルなど)。

(Haser モデルにおける仮定)

1. 発光分子(娘分子)は、1 種類の親分子の崩壊により生成される
2. 娘分子は 1 種類の孫娘分子へと崩壊する
3. 分子は核中心から動径方向に一定速度 v で運動する
4. 分子の消滅は確率的で、 $dn/dt = -(1/\tau) \cdot n$ (n は分子数、 τ は時定数) と表せる

ここで、 $\lambda = \tau \cdot v$ をスケール長と呼ぶ

§ § NH₂ ガス生成率

個々の彗星におけるガス生成率は、その彗星の核の大きさによってさまざまな値を取る。そのためガス生成率を異なる彗星で直接比較することはできない。そこで多くの場合、特定の分子の生成率との相対比によって異なる彗星の生成率を比較する。この時、彗星核の主成分と考えられる H₂O 分子の生成率を基準にとることが多い。

H₂O のガス生成率

可視域付近のスペクトルには、H₂O 分子にかかわるものとして、OH, [O], H₂O⁺ などの輝線が見られる。今回は、6300 Åに見られる [O] の輝線より、間接的に H₂O ガスの生成率を求めた。6300 Åの [O] のラインからは O(¹D) の生成率が求まるが、その生成率と H₂O 分子の生成率の比として、 $Q(\text{H}_2\text{O})/Q(\text{O}(\text{}^1\text{D})) = 6.0$ を採用した (Magee-Sauer et al.: 1990)。

また、スペクトル中の [O] 成分には NH₂(0,8,0) 成分の Contamination があり、これを取り除く必要がある。このため、6300 Å付近と 6335 Å付近における NH₂(0,8,0) のフラックスの比として 0.9 を用いている。これは 1986 年の P/Halley 彗星の観測において求められた値である (Fink and DiSanti: 1990)。

NH₂ ガスの生成率: 結果と比較

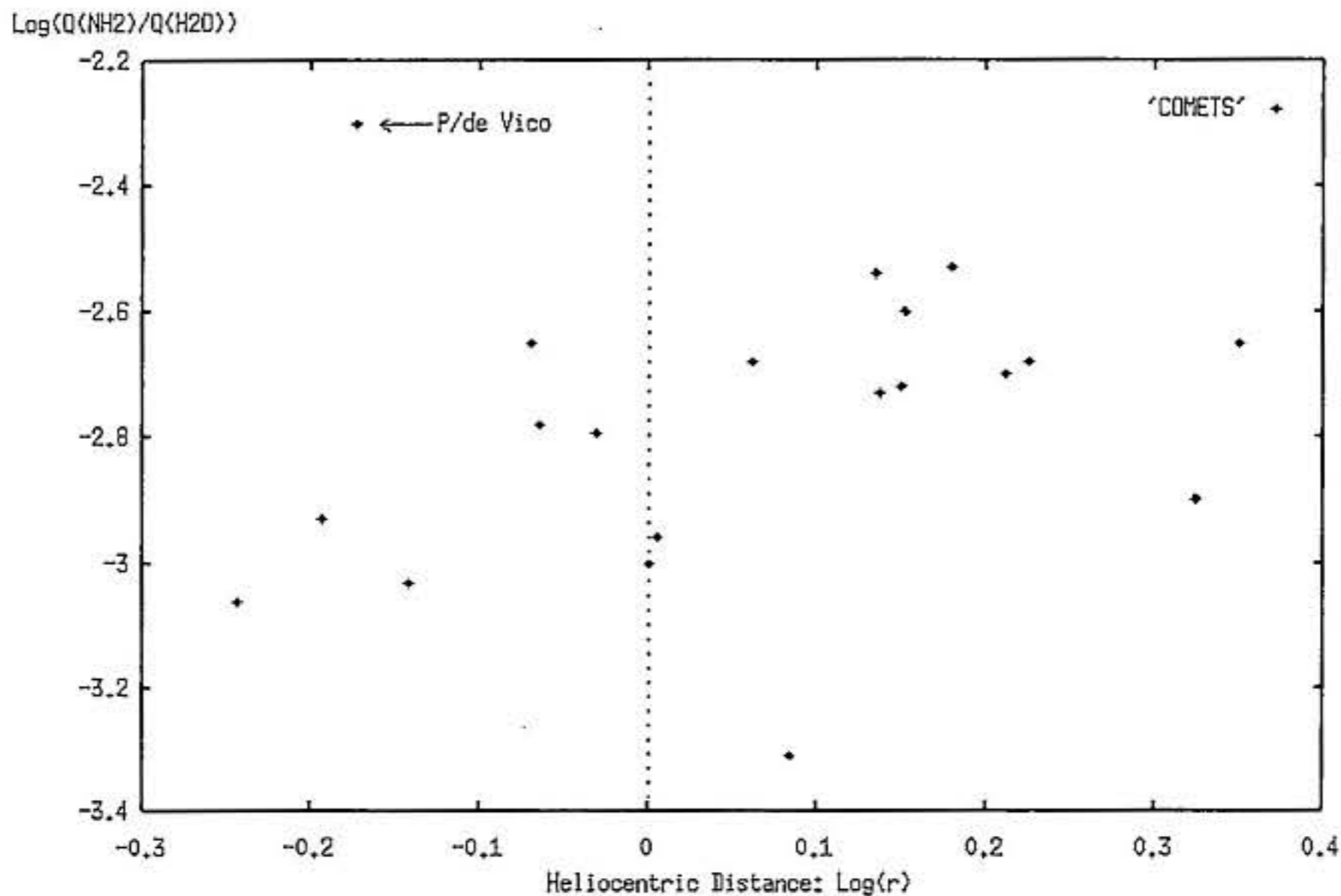


図1 : 各彗星における NH₂ ガス生成率(相対比)の比較

表1 は P/de Vico 彗星における NH₂ ガスの生成率を H₂O ガスとの相対比で求めたものである。いくつかのバンドにおいてそれぞれ生成率を求めた。平均は約 0.5 % である。図1 は、代表的な他の彗星での NH₂ の生成率(相対比)を日心距離に対してプロットした図である(Fink: 1996)。その値の典型値は約 0.2 % であるので、われわれの観測から求めた P/de Vico 彗星における値は約 2.5 倍になる。この差異については、H₂O に対する NH₂ の生成率比の日心距離依存性であるという可能性があるが、一方で P/Halley に対する継続的な観測から、 $Q(\text{NH}_2)/Q(\text{H}_2\text{O})$ は日心距離に対して $r^{-0.72}$ という関係が見られる(Fink: 1994)。

表1 : P/de Vico の NH₂ ガス生成率

	Gas Production Rate Ratio: Q(NH ₂)/Q(H ₂ O)
NH ₂ (0,6,0)	0.67 %
NH ₂ (0,7,0)	0.50 %
NH ₂ (0,8,0)	0.38 %
NH ₂ (0,10,0)	0.44 %
Average	0.50 %

§ § ガス/塵比

彗星の個性を現すパラメータの一つに、ガスとダストの比がある。このガス/塵比は彗星によってさまざまな値を示し、最もガスの豊富な彗星のガス/塵比は、最もガスの少ない部類の彗星に比べて約 100 倍もの値を示す。

一般に、ガスの生成率としては彗星中に最も大量に存在する H₂O を採用し、ダストの生成率を示すパラメータとして、 $Af\rho$ (A' Hearn: 1984) を用いる。よって、ガス/塵比はガス生成率を $Q(\text{H}_2\text{O})$ として、

$$(\text{ガス/塵比}) = Q(\text{H}_2\text{O}) / Af\rho$$

と現される。ここで A はダスト粒子のアルベド、f はアパーチャ面積中に占めるダスト粒子の散乱断面積の総和、そして ρ がアパーチャ半径である。ダストの連続光としては、6250 Å における値を採用した(Fink: 1992)。その結果、P/de Vico 彗星に対して $\log[Q(\text{H}_2\text{O}) / Af\rho] = 26.5$ という値が求められた。

ガス/塵比: 他の彗星との比較

図2 には、いくつかの代表的な彗星のガス/塵比とともに今回の結果を比較してある。図中、上段の3つの彗星はダストリッチな彗星の例、その下の3つはガスリ

リッチな彗星の例である。この結果から、P/de Vico 彗星はガスリッチな彗星の部類に属することが解る。

§ § スケール長

NH₂ 分子のスケール長を、いくつかのバンドについて調べた結果を表2に示す。表3はこれまでに報告されたNH₂分子のスケール長である。現在、NH₂のスケール長としてはP/Halley 彗星の観測から求められた値が使われることが多い。われわれが今回求めた値は、おおむね過去の研究結果と一致している。

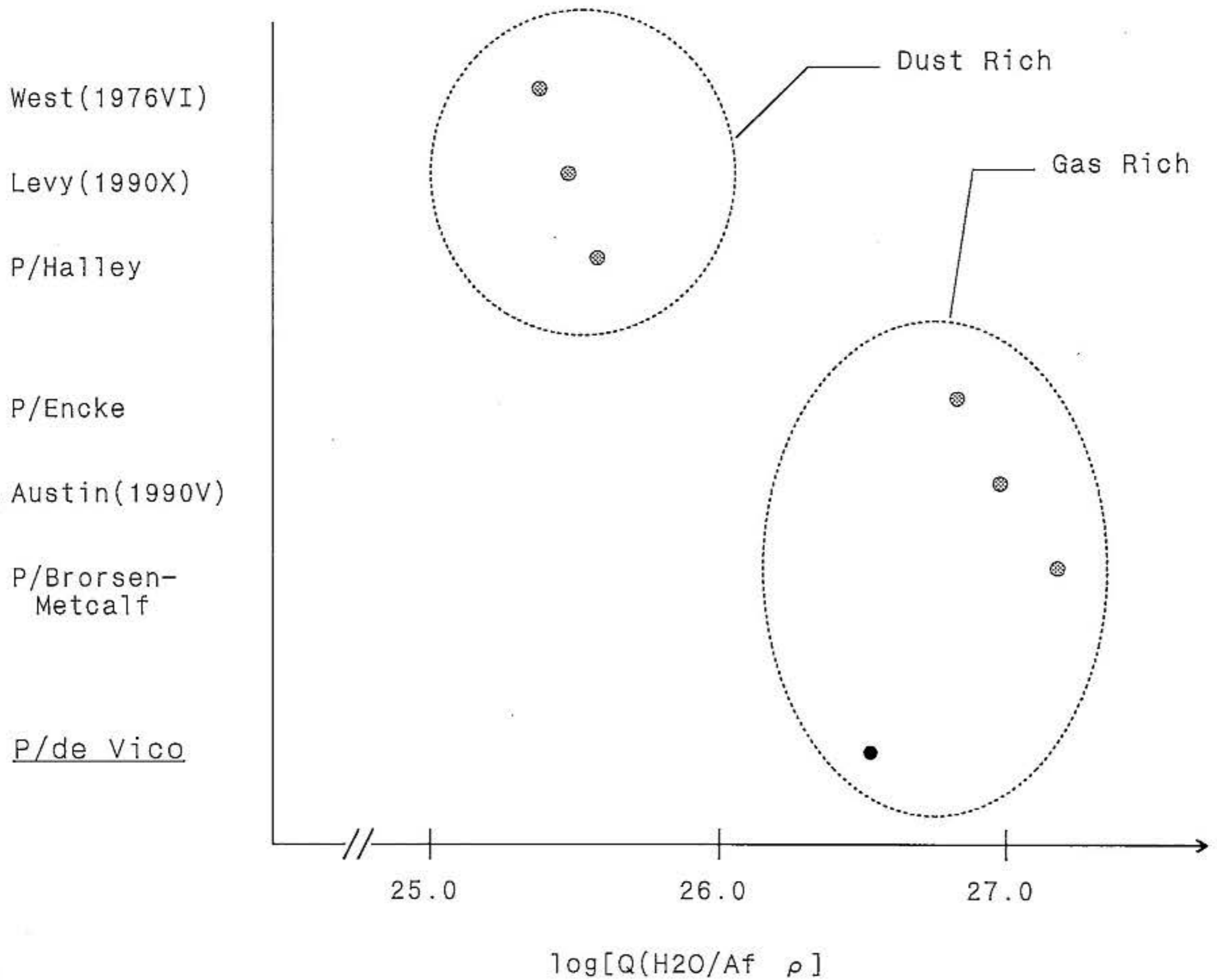


図2: ガス/塵比の比較

今回、求められたスケール長と既に報告されている値との差異の原因については、原因のひとつに日心速度の違いがあげられる。ドップラーシフトによる紫外域の太陽フラックスの変化は分子の崩壊率(すなわち、寿命)を変化させるからである。また、そのほかの原因としては、彗星のトラッキングエラー、あるいはスケール長の日心距離依存性の問題などが考えられる。

表2： P/de Vico 彗星の観測より求めた NH₂ 分子のスケール長

	λ_d [m]	λ_p [m]
NH ₂ (0,6,0)	6.0×10^7	2.4×10^6
NH ₂ (0,7,0)	3.3×10^7	2.5×10^6
NH ₂ (0,8,0)	2.9×10^7	2.3×10^6
NH ₂ (0,10,0)	1.8×10^7	6.1×10^6

*) 添え字d およびp は、娘分子、親分子を表す

*) スケール長は r^2 -law にて 1 [AU] での値にしてある

表3： NH₂ 分子のスケール長さについての他の研究

出展	彗星	λ_d [m]	λ_p [m]
Delsemn(1983)	Kohoutek	3.2×10^7	3.2×10^7
Johnson(1984)	Tuttle	1.0×10^7	7.0×10^6
Wyckoff(1988)	Halley	1.6×10^7	1.1×10^7
Fink(1991)	Halley	6.2×10^7	4.9×10^6
Tegler(1992)	Brorsen-Metcalf	5.0×10^7	7.7×10^6

*) それぞれ、1[AU] での値

§まとめ

本研究により、P/de Vico 彗星の個性を明らかにするという当初の目的は或程度、達せられた。ここに、それをまとめると次のようになる。

- P/de Vico 彗星における、H₂O に対する相対的な NH₂ の生成率は、“ normal ” な彗星での値よりも約 2.5 倍大きい。
- P/de Vico 彗星のガス/塵比は Encke 彗星と同じ程度であり、ガスリッチな彗星の部類に属する。

- スケール長は過去の研究とおおむね一致する。

なお、今後の課題は次のようである。

- 選ばれた結果のエラー評価を詳細に行う 必要がある
- 今回調べたスケール長などについては、日心距離依存性に関してさらに調べる必要がある。

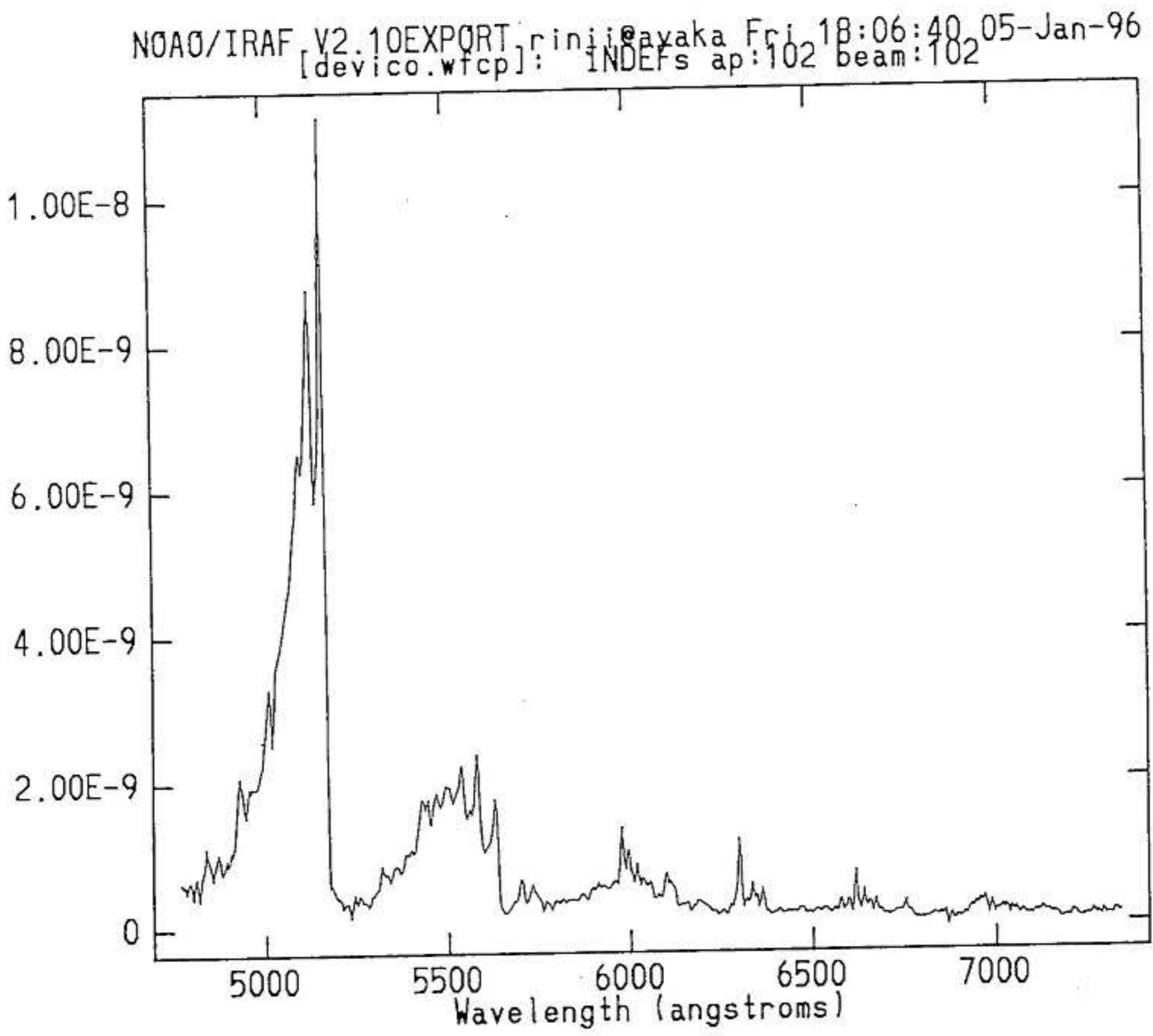


図3 : P/de Vico 彗星のスペクトル

NOAO/IRAF V2.10EXPORT rinji@ayaka Mon 00:15:23 15-Jan-96

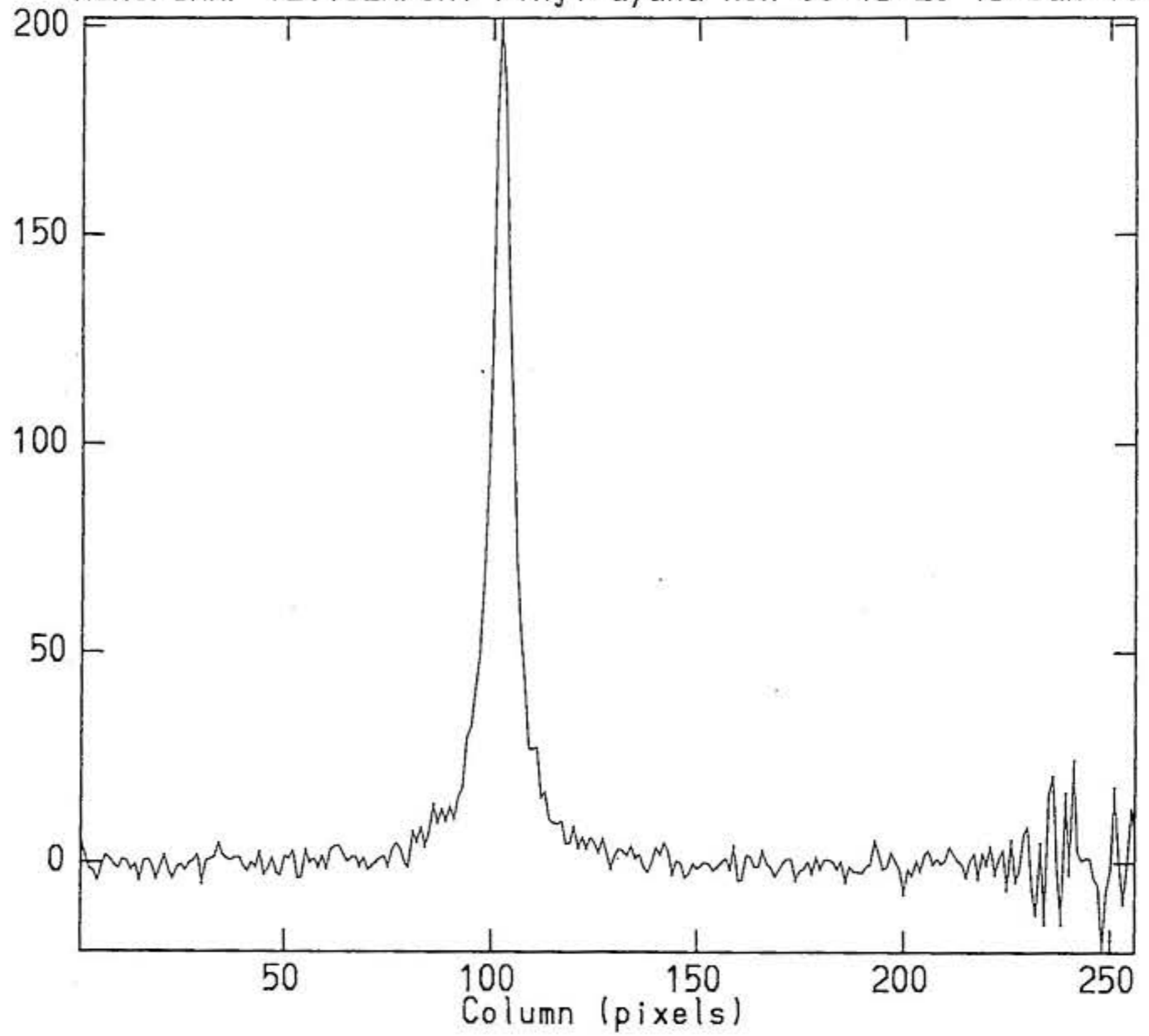


図4 : NH₂(0,8,0)バンドの輝度プロファイル