

年間特集

彗星入門

森谷友由希（『天文教育』編集委員／広島大学宇宙科学センター）

1. はじめに

今年はパンスターズ彗星とアイソン彗星のふたつの明るい彗星が太陽に近づき、日本からも肉眼で見えるくらい明るくなると期待されています。パンスターズ彗星（C/2011 L4）は2013年3月上旬に太陽に最も近付き、日本からは4月頃に見えると予測されています。一方で、アイソン彗星（C/2012 S1）は2013年11月下旬に最も太陽に近付き、日本からは12月頃に見える予定です。

このように、明るい彗星で賑わう1年、いわば「彗星年」を更に盛り上げるため、『天文教育』では年間特集を予定しています。各彗星の見どころについては他の天文雑誌にゆずりますが、本号から一年間、彗星について多岐に渡る記事を掲載する予定です。

本記事では年間特集の導入として、彗星の正体や命名の仕方、パンスターズ彗星とアイソン彗星がどのように発見されたのかについてご紹介します。

2. 彗星とは？

2.1 彗星はどんな構造をしているのか？

彗星は別名「ほうき星」と言われるように、ほうきのような長い尾を持つのが特徴的です。英語で彗星を意味する“comet”など多くのヨーロッパ言語でも、ギリシャ語で『長い髪の毛』を意味する“komētēs”が語源となっています。では彗星はどのような構造をしているのでしょうか。[1]を参考に見ていきましょう。ここでは太陽から大体1天文単位の距離にまで近付いた場合の構造について紹介します。

図1に1997年に太陽に近づき、明るくなったヘール・ボップ彗星（C/1995 O1）の写真を、図2に彗星の模式図を載せます。彗星を可視光で見ると主に「コマ」と「尾」の2つの部分から成り立っていることが分かります。「コマ」は目で見た時に明るく光っている光芒で、特に中心部が強く光っています。コマの中には核（彗星核）と呼ばれる、氷と固体微粒子（塵：ダスト）でできた直径数100mから数kmの個体部分が存在していますが、コマと尾の強い拡散光の為に可視光では直接見ることはできません。

コマから伸びているのが彗星の「尾」で、大きく広がった塵の尾と淡いイオンの尾の2種類が主に見られます。これに加えて太陽と反対方向に直線状に伸びる中性ナトリウムの尾が見られることがあります。



図1 ヘール・ボップ彗星

ESOのwebサイト[2]から借用。矢印は太陽の方向を示す。下側に見えているのが塵（ダスト）の尾、上にあるのがイオンの尾である。先端が一番明るく輝いている部分がコマである。

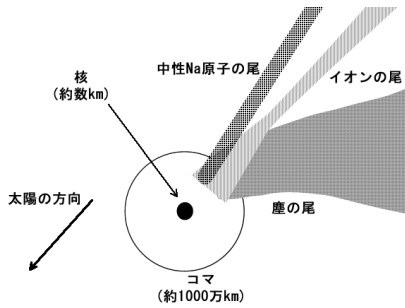


図2 彗星の模式図

縮尺は実際を反映していないので注意。

コマや尾といった構造は彗星核からガスや塵が放出されることで形成されています。彗星核が H_2O (水) を主成分とする氷と塵からなる固体核であるといういわゆる「汚れた雪玉」モデルを最初に提唱したのはF・L・ホイップルで1950年代のことでした。1986年に各国の探査機がハレー彗星 (P/1682 Q1、1P/Halley) の直接観測を行い、初めて彗星核を直接撮像して以来、いくつかの彗星核が探査機で直接観測されてきました。この結果、彗星核の表面について共通する特徴がいくつかみられることが分かりました。

まず、彗星核は可視光を殆ど反射せず、(アルベドが4%) 特に短波長の方では殆ど見えません。次に、塵やガスは特定の領域から集中して放出されています。但し、この活動領域と表面地形の関係は未だにはっきりとはしていません。更に、彗星核表面の大部分はマントル層に覆われ H_2O の氷を殆ど露出していません。彗星核の内部構造については解明されておらず、今後の課題となっています。

彗星核に含まれる揮発性成分は H_2O が殆どを占め (7割以上)、次いで CO (一酸化炭素)、 CO_2 (二酸化炭素) が多く存在する他、星間空間でも検出されている様々な分子が0.1~1%程度含まれています。一方で難揮発性成分の塵は彗星ごとにサイズ分布や氷との質量比が異なっています。中間赤外線の観測

から結晶質および非晶質のシリケート (ケイ酸塩鉱物)、炭素質の粒子が含まれていることが分かっています。結晶質シリケートは非晶質シリケートが原始太陽系円盤の内側で加熱されて結晶化したものと考えられている為、これらが氷と一緒に存在していることは原始太陽系円盤中で動径方向、つまり円盤の内側から外側、或いはその逆方向への質量輸送があった可能性を示しています。更に、1999年にNASAにより打ち上げられた探査機STARDUSTが2006年にヴィルド第2彗星 (P/1978 A2、81P/Wild 2) の彗星塵と星間塵のサンプルを地上に持ち帰ることに初めて成功し、調査の結果やはりシリケートなどの高温凝縮物が存在していることが明らかになりました。

氷と塵から成り立っている彗星核が太陽に近付くと表面から揮発性成分が昇華し、彗星核中に含まれる塵がガスの圧力によって放出され、コマを形成します。コマの彗星核近傍では、ガスと塵の数密度 (単位体積当たりの粒子の個数) は高いですが、核から離れるにつれて低下します。

彗星核近傍ではガスの膨張によって温度が急激に下がります。しかし、昇華した分子は太陽の紫外線を浴びて光解離反応 (光を受けることで進む化学反応のこと) を起こす為、解離エネルギーが運動エネルギーに変換されコマ中のガスは再び加熱されます。彗星の温度分布は光解離で加熱される分子 (主に H_2O) の存在量に依存しますが、 H_2O が多いとコマの平均温度が高くなることが分かっています。コマの外側は太陽放射圧が塵粒子の運動に影響を与えない範囲で球対称になっており、その範囲は塵の大きさに依存すると考えられています。

彗星核から放出された塵やガスがコマを形成すると、その外側が太陽の影響を受けて尾を形成します。前述した通り、彗星には3種

類の尾が存在しており、それぞれ形成に関わっている太陽の影響が異なります。まず、イオンの尾についてです。イオンや電子など荷電粒子の運動は磁場が存在すると磁束の方向に凍結されます。コマ中のガスが電離してイオンと電子に分かれると、彗星自身は磁場を持たないので、これらの荷電粒子は太陽風磁場(惑星間磁場)に沿った方向に運動します。その為、イオンの尾は太陽とは反対の方向に伸びた構造になっています。可視光で光っているのは主に CO^+ 、 CO_2^+ 、 H_2O^+ などのイオンです。

塵の尾の形成は、太陽放射圧の影響で、彗星核から放出された塵に働く太陽の重力が、実質的に弱くなることに起因します。このため、塵は彗星核と異なる軌道を運動します。太陽放射圧と太陽重力の比は塵の散乱特性で決まっており、塵のサイズ、組成形に依存しています。もし彗星核からの塵の放出速度が無視できるならば、塵の尾は彗星の軌道面に分布し、薄い構造になるはずですが。

最後に、ナトリウムの尾の形成は、核から放出されたナトリウム原子が太陽放射圧を受けることに起因します。中性ナトリウムは波長 589nm に強い電子遷移を持ちます(D 線)。太陽スペクトル中にも同波長の吸収があるので、太陽との相対速度がゼロである場合には光りませんが、太陽に対して相対速度を持つ場合にはドップラー効果により D 線から僅かにずれた波長の強い太陽放射にさらされ、放射圧を受けることで中性ナトリウムが光り、尾が形成されます。

このように、彗星のコマや尾は彗星核が太陽に近付くことで昇華したガスや塵、イオンなどによって形成されています。可視光から近赤外線では主に塵やガス、イオンが太陽の光を散乱することで光っています。中間赤外から長波長側では塵そのものの熱放射が観測

されています。他にも、電波ではコマ中のガスが冷却されるときに、分子の回転遷移による放射が観測されています。太陽風中の高階電離イオンが彗星コマ中の中性ガス分子と衝突し、より低いエネルギー状態に遷移するときに放射される X 線も観測されています。

尚、彗星核が太陽から遠く離れたところに存在し、塵やガスの放出が殆どない場合には、彗星核そのものによる太陽光の反射や熱放射が観測されています。

2.2 彗星はどこから来るのか？

では、その彗星核はいったいどこから来ているのでしょうか。

太陽系に存在する惑星は原始太陽系円盤中に形成された微惑星が合体集積して形成されたと考えられています。特に氷雪限界線よりも外側で形成された微惑星は氷と塵が混ざっており、氷微惑星と呼ばれています。氷微惑星の内、惑星に取り込まれなかったものがオールトの雲(Oort cloud)やエッジワース・カイパーベルト(Edgeworth-Kuiper belt)といった太陽系外縁部の構造を形成していると考えられています(図 3 参照)。彗星は、オールトの雲やカイパーベルトに残存している微惑星(太陽系外縁天体: TNO 天体[3])が惑星の摂動や銀河潮汐力、太陽系と恒星や巨大分子雲との接近遭遇などの原因によって太陽系内部へ到達する軌道に進化したものと考えられています。彗星の起源のより詳しい内容は[5]をご覧ください。

2.3 彗星の名前について

ところで、彗星の名前はどのように付けられているのでしょうか。彗星の名前は IAU (International Astronomical Union: 国際天文学連合) によると次のように定められています。まず、名前と符合がつけられるのは

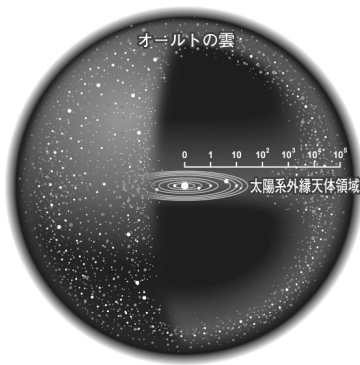


図 3 オールトの雲と太陽系外縁天体領域（エッジワース-カイパーベルト）の模式図
図中の数字は天文単位を示している。（理科年表のオフィシャルサイトより[4]）

彗星候補天体の内、その軌道が確定したものに限り、軌道が確定すると、発見時期や周期性に関連した符号[6]と、発見した人や研究グループ、プロジェクトに則した名前が付けられ、『符号（名前）』の様式で書かれます。その時、どの名前をつけるが相応しいか IAU の 16 人からなる専門の委員会で議論が行われます。この規程にのっとると、パンスタース彗星は C/2011 L4 (PANSTARRS)、アイソン彗星は C/2012 S1 (ISON) と表示されます。符号は太陽系内の小天体全てに共通するものであり、C/は彗星(Comet)を表します。彗星の中でも 200 年以下の周期で太陽に近づくものは P/と表されます(Periodic)。次の 4 桁の数字は発見年で、続いて 1 年のどの時期に発見されたかを示すアルファベットがきます。このアルファベットは 1 月の前半を A、後半を B…というように続き、12 月の後半は Y になります(紛らわしいので I は用いません)。最後に発見された順を示す番号が付けられます。従って、パンスタース彗星は『2011 年 7 月前半に 4 番目に発見された彗星』、アイソン彗星は『2012 年 9 月後半に 1 番目に発見された彗星』ということを意味します。この

記事に出てくる彗星にはよく使われる名称以外にもこの符号を載せているので参考にして下さい。現在、632 個の彗星[7]に符号と名称がつけられています。

では現在の規程はどのようにできたのか、[8]を参考に少し歴史を遡ってみたいと思います。

最初に天文学的に彗星と定義づけられたものは、ご存知の方も多いと思いますが、ハレー彗星です。この天体はエドウィン・ハレーが 1607 年と 1682 年に見えた彗星が再び現れると予言し（1705 年のことでした）、実際に 1758 年に再発見されたことからハレー彗星と名付けられました。

ハレー彗星の例に倣って、19 世紀までは 2 回以上出現して初めて彗星に名前がつけられる、という慣習がありました。つまり、長い周期で太陽の周りを回っているために一度しか現れていない彗星には名前がなく、ただ発見年と見つかった順を示すアルファベットや番号で表された符号がつくだけでした(例えば 1810a, 1810b,とか 1805 I, 1805 II など)。19 世紀中頃になると、このような彗星にも発見者の名前が付けられましたが、あくまでも括弧書きとして登場するだけでした。

現在の規程ができるきっかけとなったのは 19 世紀後半から 20 世紀初頭にかけて、同じ発見者の名前がついた彗星がいくつも登場したことです。当時は発見者の名前が同じ場合には、例えば Tempel 1, Tempel 2 のように名前と番号がついていました。しかし、この頃には何度も現れる彗星には通し番号が付けられていたことから冗長であることと、名前がいたずらに複雑になることから、2003 年 3 月に IAU が彗星の命名についてガイドラインを設けた時に名前の後ろに番号を付けない方針を立て、以降番号はつかなくなりました。

3. 彗星のサーベイ計画

さて、今年見ることのできるパンスターズ彗星とアイソン彗星はどちらも大規模なサーベイ観測プロジェクトで発見された天体です。

どちらも地球に近づく天体やスペースデブリなどを監視する目的としていますが、現在このように地球近辺の物体を監視・観測するプロジェクトがいくつか行われています。これらのプロジェクトによって小惑星や TNO 天体、彗星が近年次々と見つかっています。

3.1 パンスターズ望遠鏡

パンスターズ望遠鏡(Pan-STARRS: the Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System)はハワイ大学天文学研究所(IfA UH)が中心になって開発されている広視野サーベイ用望遠鏡計画です[9]。

地球に近づく小惑星や彗星を監視するのが主な目的ですが、同じ視野を何度も繰り返し観測する為、恒星、銀河、宇宙論といった他の分野へのデータの応用も期待されています。

パンスターズ望遠鏡は直径 1.8m の鏡を 4 つ持つ望遠鏡として運用される予定ですが、その支持方法などについては現在議論中です。1 つの鏡が持つ視野は約 3 度あり、4 つ合わせると 7 度の視野になります。更に、4096 個 (64 個×64 個) の CCD を並べて 14 億もの画素数をもった CCD カメラを使い(1 ピクセルあたり 0.3 角秒の精度で撮像)、位置精度の高い広視野の観測を実現する予定です。

現在は試作機をかねた 1 枚の 1.8m 鏡からなる第 1 望遠鏡(PS1、図 4)がハワイ州のマウイ島、ハレアカラ山で運用されており、これまでに 27 個の彗星を発見しています(軌道が確定して符号がついているもののみ)[7]。将来、4 つの鏡を組み合わせたときにはハレアカラ山かハワイ島のマウナケア山かのどちらかに建設される予定ですが、いずれにしても



図 4 パンスターズ望遠鏡の試作機 (PS1) の写真[9]

ハワイ諸島から観測できる全天の 3/4 の領域 (約 30,000 平方度) を監視する予定です。

3.2 アイソンネットワーク

アイソンネットワーク (ISON: International Scientific Optical Network) はロシア科学アカデミー ケルディシュ数学研究所(KIAM RAS)が中心となって進めている観測プロジェクトです[10]。2004 年にプロジェクトが開始して以降、ロシアやヨーロッパを中心に 10 ヶ国以上の研究機関が持つ 30 以上の観測所が協力して地球近傍、特に静止軌道や地球低軌道付近に存在する天体やスペースデブリ、探査機、宇宙船などの軌道を調査、監視しています。小惑星の発見をはじめ、発見された太陽系外縁天体や彗星の軌道の追跡、小惑星や彗星の測光観測も行っており、これまでに彗星に関してはこれまでに 1 つ軌道を確定させています[7]。

観測所によって(1) 静止軌道上にある明るい (16 等級以上) 移動天体のサーベイ観測をする、(2) 静止軌道や静止トランスファ軌道上の暗い移動天体 (16 等級以下) を追跡する、(3) 静止軌道や地球高軌道上の明るい移動天

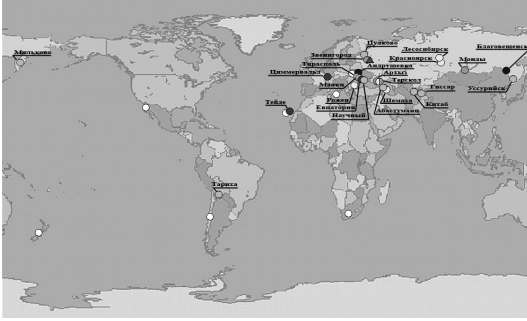


図 5 アイソネットワークに参加している観測所のマップ[10]

体を追跡する、(4)小惑星の調査をする、といった 4 つの役割を分担して行っています。

静止軌道上に存在するスペースデブリなどの移動天体を、大体 1 ヶ月に 10 個程度のペースで発見し続けており、静止軌道上に 1557 個 (2011 年 2 月 1 日時点)、その他の軌道上では 1699 個 (2010 年 9 月 1 日時点) の移動天体を発見しています。

アイソネットワークに参加する観測所は年々増えており、また自動観測システムや広視野の望遠鏡の導入も進められている為、今後の移動天体監視や発見に期待です。

4. おわりに

今回は年間特集の第 1 回目として彗星の基礎知識について紹介しました。今後は 1 年の間に、彗星の最先端の研究に始まり、歴史上の彗星の紹介、また思い出の彗星なども取り上げて行く予定です。会員の皆様の彗星にまつわるエピソードも募集していますので、是非ご投稿下さい！

文 献

- [1] 渡部潤一・井田 茂・佐々木晶 編 (2008) 『シリーズ現代の天文学 第 9 巻 太陽系と惑星』、日本評論社

- [2] ESO の web サイトより
<http://www.eso.org/public/images/phot-mar14-hbs-2/>
- [3] 2006 年 8 月以降エッジワース・カイパーベルトに存在する微惑星などを太陽系外縁天体 (TNO 天体: Trans-Neptunian Object) と呼ぶことが推奨されています。
- [4] http://www.rikanenpyo.jp/kaisetsu/tenmon/tenmon_011.html
- [5] 大西浩次 (2013) 天文教育 2013 年 1 月 Vol.25 No.1, pp. 10 - 17
- [6] 彗星の中には比較的短い周期で太陽に近付き再発見されるものがあります。その場合、再発見時の通し番号も暫定的に付けられます。
- [7] 本稿執筆時点(2013 年 1 月 6 日)での情報です。
- [8] 国際彗星季刊誌の web サイト(英語)
<http://www.icq.eps.harvard.edu/cometnames.html>
- [9] パンスタース望遠鏡の公式サイト(英語)
<http://pan-starrs.ifa.hawaii.edu/public/home.html>
- [10] アイソネットワークの公式サイト(ロシア語)
<http://lfvn.astronomer.ru/main/pulcoo.htm>
 アイソネットワークの成果や出版物がまとめられている web サイト (英語)
<http://lfvn.astronomer.ru/main/english.htm>

森谷 友由希