

ホームズ彗星のアウトバーストによる塵の拡散

加藤 英行 (明星大学)

概要

彗星のアウトバーストはしばしば確認されているが、2008 年現在、何故起こり、このような振る舞いをするのかについて解明されていない点が多い。そして今回、2007 年 10 月 24 日(UT) に確認されたホームズ彗星(17P/Holmes)のバーストは今までにない大増光をみせた。それに加え、今回のバーストは彗星が近日点(約 2AU) 通過から約 5 ヶ月経過してたどり着いた、太陽から約 2.4AU という遠方で起きたという特徴をもっている。

本研究では、17P/Holmes がバーストを起こした直後、日本時間 2007 年 10 月 28 日から 11 月 04 日の期間)において観測を行った。そこで得られたデータからは、バーストを起こし、彗星核から放出されたと考えられる塵の広がる様子を捉えることが出来た。画像解析の結果、彗星核から広がる塵は二つの構成要素からなることがわかった。そして、時間ごとの彗星の核と塵雲との視距離を測定し、それらが拡散する速度と拡散を始めた日時を推定した。さらに、拡散運動の解析から、放出された塵が太陽放射圧の影響を受けているであろうことが示された。本研究で得られた結果と他の報告との比較では、観測結果の妥当性を考察し、17P/Holmes の今回と以前(1892 年) のバーストとの比較では、今回と以前のバーストに、似ている部分があることを確認した。

(1) 17P/Holmes について

17P/Holmes は増光が確認された 2007 年 10 月 24 日の時点では太陽から約 2.4AU、地球からは約 1.6AU に位置していた。しかし、近日点は増光の約 5 ヶ月前に過ぎており、太陽から遠ざかる過程でアウトバーストが起きた。また、17P/Holmes は以前にも大増光を起こした彗星である。1892 年の 17P/Holmes は約 16 等級から約 4 等級に達し、約 12 等級の増光となった[1]。今回 2007 年のアウトバーストは約 17 等級から約 2 等級にまで達し、約 15 等級という今までに例を見ない大増光となった。今回のアウトバーストは「約 2.4AU という太陽から遠方で起きた」、「約 15 等級という大増光をみせた」という二つの大きな特徴をもっている。

また、Kobayashi, H. らによる、この彗星のバースト初期における可視低分散分光観測では、目立ったガス輝線は検出されていない[2]。このことから、バースト初期の増光は大量に放出された塵による

ものだと考えられる。よって、本研究では塵に着目し観測を行い、バースト後の日変化を観測した。そして、放出物の拡散速度と、拡散を開始した日時を推定することを目的とし研究を進めた。

(2) 観測

観測装置

観測には国立天文台三鷹キャンパス 50cm 社会教育用公開望遠鏡に彗星用広視野偏光撮像装置 PICO[3] を取り付け、冷却 CCD カメラによる観測を行った。それぞれについては以下に示し、表 2.1 にまとめた。

表 2.1: 観測装置仕様

種別	仕様
望遠鏡	ニュートン・カセグレン式反射望遠鏡 (カセグレン焦点を使用) 口径:50cm、焦点距離:6030mm、F:12.06
彗星用広視野偏光撮像装置 PICO フィルタ	Red continuum:711.9- 722.3nm i'-band(broad-band)filter:686- 837nm
冷却 CCD カメラ	STL-1001E ピクセルサイズ:24 × 24 μm ピクセル数:1024 × 1024pixel

観測に用いたバンドパスフィルタ

本研究では広視野偏光撮像装置 PICO にフィルタを取り付け、観測を行った。バンドパスフィルタは二種類用いた。Red continuum (711.9 722.3nm)[3] と i-band(broad-band) filter(686 837nm)[4] である。これらのフィルタが透過する波長域では、彗星の塵を捉えることができる。この様に、二種類のフィルタを用いたのは彗星の明るさに理由がある。観測を始めた当初、2007 年 10 月 28 日には彗星は非常に明るかった。そのため、波長域の狭いフィルタを用いることができたので、ガス分子の輝線光を確実に排除できる Red continuum フィルタを使用して観測を行った。その後、徐々に彗星の輝度が下がったため、11 月 3 日、4 日には波長域の広い i-band filter を用いた観測へ移行した。

冷却 CCD カメラ

冷却 CCD カメラは SBIG 社 STL-1001E を使用した。ピクセル数 1024 × 1024、ピクセルサイズ 24 × 24 μm、受光面積 24.576 × 24.576mm である。また、本システムでのピクセルスケールは 0.808 /pixel である

(3) 彗星の色々な成分間の距離の算出

本研究の解析は、NOAO(National Optical Astronomy Observatories) の画像処理ソフト IRAF(Image Reduction and Analysis Facility) を使用した。また、解析を進めるにあたって、画像の表示や 3D の輝度のグラフの作成に AstroArts 社の天体画像処理ソフト StellImage Ver.4 と、国立天文台の配布する、すばる望遠鏡画像処理解析ソフト:マカリも使用した。また、計算やグラフの作成には NeoOffice Calc、Microsoft 社の Excel を使用した。

17P/Holmes の構造

彗星の輝度分布を作成した(図 3.1)。そして、輝度の一番高いピークを「Comet nucleus」、二番目のピークを「エジェクタ」、彗星の淵の部分を「エンベロープ」と名付けた。エンベロープは、カウント値

が 0 以上になる場所とした(画像データからは一時処理の過程で、スカイの値を見積もり、引いている)。画像から、アウトバーストの放出物は「エジェクタ」と「エンベロープ」という、二つの構成要素から成ることが見て取れる。本研究では、この二要素はいずれも彗星核から放出されたものと仮定してモデル化を行った。

天球に投影された距離

輝度分布から座標を読み取り、彗星核からそれぞれ

- エジェクタまでの距離
- 太陽方向のエンベロープまでの距離
- 反太陽方向のエンベロープまでの距離

について、時間ごとに測定した。ただし、エンベロープに関する距離は時間が経過するにつれ装置の視野に入りきらなくなったため、二日間に亘るデータのみ測定が可能であった。

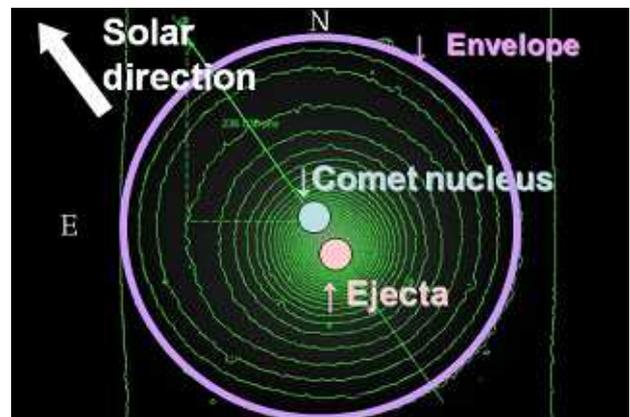


図 3.1

放出物の拡散速度と、拡散が開始した日時の算出

時間ごとに得られた、天球面に投影した彗星での実距離から、横軸を時間、縦軸を距離にとりプロットし、最小二乗法により、直線近似を行った。グラフの時間 0 点は観測を開始した日本時間 2007 年 10 月 28 日 23 時 28 分である(図 3.2 図 3.3)。また、彗星核に対するエジェクタの運動については、一次、二次共に近似式を算出し、距離が 0 になる日時を推定した(図 3.4)。

Envelope Sunward distance vs. Time

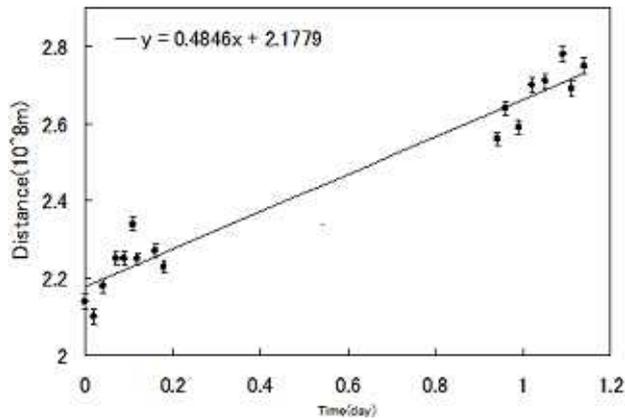


図 3.2

Envelope anti-sunward distance vs. Time

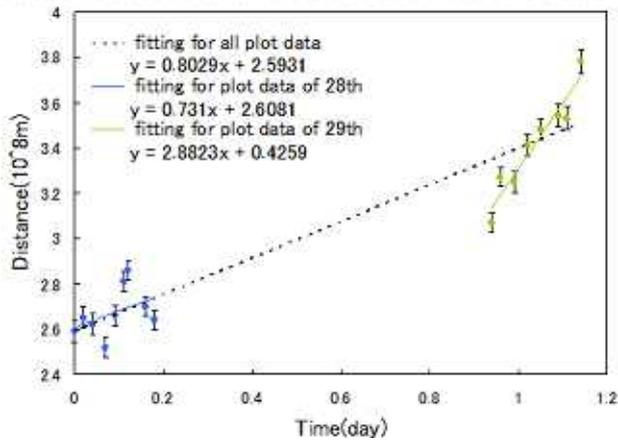


図 3.3

Distance of ejecta from comet nucleus vs. Time

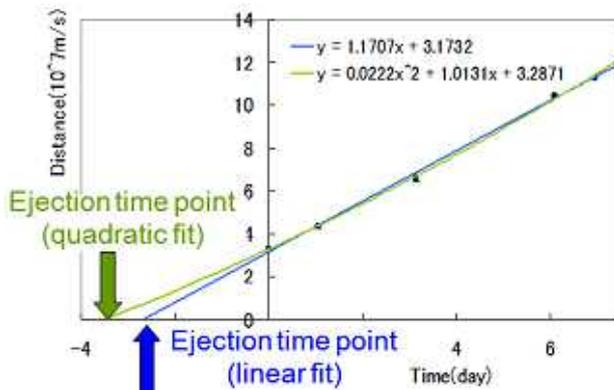


図 3.4

(4)結果

放出物の拡散速度

(3)で得られた速度および加速度は以下の通りである。

1 エンベロープについて

- 彗星核と太陽方向のエンベロープの速度 : $561 \pm 4 \text{ m/s}$
- 彗星核と反太陽方向のエンベロープの速度 : $929 \pm 11 \text{ m/s}$

2 エジェクタについて

・一次の近似をしたとき : $135 \pm 1 \text{ m/s}$

・二次の近似をしたとき

初速度 : $117 \pm 12 \text{ m/s}$

加速度 : $2.6 \pm 0.2 \text{ m/s/day}$

距離が0になる日時

・一次の近似をしたとき

: 2007年10月25.9日(UT)

・二次の近似をしたとき

: 2007年10月25.1日(UT)

(5)議論

エンベロープについて

本研究で得られた速度を他の観測報告と比較し、結果の妥当性を検討する。まず、「エンベロープ」要素について比較する。Snodgrass, C. らは 2.5-m Isaac Newton Telescope および 2.0-m Faulkes Telescope North を用いた 10月24.9日(UT) から 26.5日(UT) までの観測から、拡散構造の縁の直径の広がる速度は $400\text{-}600 \text{ m/s}$ と見積もっている[5]。また、Colas, F. と Lecacheux, J. は、Pic du Midi Observatory 1-m 望遠鏡による 2007年10月24日から27日までの観測から、シェルの半径の広がる速度は 575 m/s と報告している[5]。これに対し、本研究で得られたエンベロープの拡散速度は、 $561 \pm 4 \text{ m/s} \sim 929 \pm 11 \text{ m/s}$ と幅があり、太陽方向の拡散速度のほうが良く一致している傾向に

ある。この不一致の原因としては、淡く広がったエンベロープの端の見積もり方の違いが挙げられるだろう。また、エンベロープの直径もしくは半径をどの位置角で測定したかによっても変わってくると考えられる。

エンベロープの速度で注目すべき点は、太陽方向と反太陽方向の速度の違いである。彗星核から太陽、反太陽方向のエンベロープの速度において、太陽方向よりも反太陽方向の速度の方が大きな値を示している。従って、この速度には太陽放射が関係していると考えている。

エジェクタについて

「エジェクタ」拡散速度として得られた速度を検討する。Arai, A. らは、東広島天文台 1.5-m かなた望遠鏡と TRISPEC による、2007 年 10 月 25.62 日(UT)から 30.7 日(UT) の観測で、「核近傍の放出物の雲」の平均拡散速度約 150m/s を報告している[6]。これは、本研究で得られている一次の近似から算出した速度 $135 \pm 1 \text{ m/s}$ と比べても矛盾のない値である。

しかし、本研究においては二次の近似も行っている。では、どちらが妥当なのか。それは、一次の近似から推定した距離が 0 になる 2007 年 10 月 25 日(UT)において、すでに東広島天文台で観測された画像[7]に放出物が確認できる。従って、一次の近似よりも二次の近似のほうが妥当であると考えている。

前回のバーストとの比較

今回の 17P/Holmes のアウトバーストと、前回(1892 年) のアウトバーストの記録を比較すると、状況が似ているといえる。以下、二つの共通点を挙げる。

一つ目はバーストを起こした時の彗星と太陽、地球の位置関係である。今回、バーストが確認された 2007 年 10 月 24 日では彗星の地心距離 = 約 1.6AU、日心距離 $r =$ 約 2.4AU であるのに対し、前回バーストが確認された 1892 年 11 月 6 日では $r =$ 約 1.5AU、 $r =$ 約 3.0AU と非常に似

た位置関係である。そして、共に約 5 ヶ月前に近日点を通過していた[1]。

二つ目は拡散の様子である。今回のバースト時の初期は、肉眼で黄色くぼんやりとした恒星状に見えていた。日が経過するにつれ等方的な広がりを見せ、その過程で彗星核から放出されたと考えられるエジェクタが確認された。前回のバースト時も、発見から三日後に「as a small hazy star」と報告されている[1]。また、日を追うごとに拡散していき、「a fan-like jet coming from the nucleus」、「noted two jets」という報告があることから解るように、核近傍の放出物(エジェクタ)が確認されている。

しかし、前回とは異なる点もある。それは、前回はバーストの約二ヶ月後に再びバーストを起こしたのに対し、今回は 2 回目のバーストが確認されなかった点である。

5.5 結論

本研究では、17P/Holmes がバーストを起こした直後(日本時間 2007 年 10 月 28 日~11 月 04 日の期間) の観測データから、バーストで彗星核から放出されたと考えられる塵の広がる様子を捉えることが出来た。画像解析から、放出物(塵)は、ほぼ球形に広がる「エンベロープ」と核近傍の「エジェクタ」の、二つの構成要素からなることが解った。時間ごとにそれぞれの構成要素の拡散運動を測定したところ、「エンベロープ」は等速運動で、「エジェクタ」は加速度運動でフィットすることができた。「エンベロープ」の拡散速度として太陽方向に $561 \pm 4 \text{ m/s}$ 、反太陽方向に $929 \pm 11 \text{ m/s}$ 、「エジェクタ」の初速度 $117 \pm 12 \text{ m/s}$ 、加速度 : $2.6 \pm 0.2 \text{ m/s/day}$ を見積もった。これらの結果から、バーストが起きた日時を推定したところ、2007 年 10 月 25.9 日(UT)を得た。

さらに、本研究で得られた結果と他の観測報告との比較を行い、本研究結果の妥当性を検証し、「エジェクタ」が加速度運動していることや、「エンベロープ」の太陽方向・反太陽方向の速度に差異

があることから、太陽放射圧の影響を受けているであろうことが推測された。

次に、17P の今回と以前(1892 年) のバーストとの比較では、今回と以前のバーストとで、発生した日心距離や近日点通過日からの経過日数、そして放出物の拡散の様子に類似点があることを確認した。

しかしながら、バースト現象の原因自体は未だ解明されていない。バーストで放出された塵がどうしてこの様な速度で、どうしてこの様な振る舞いを見せたのかについては、更にこれからの調査、観測が必要になるだろう。

謝辞

研究を進めるにあたって、渡部潤一先生(国立天文台)、古荘玲子さん(国立天文台)、そして国立天文台太陽系セミナーの皆さんにも、大変助けられました。

渡部先生の「自信をもって」の言葉にどれほど励まされたかわかりません。そして、一つ一つ根気よく指導して下さった古荘さん、多くのことを学ばせて頂きました。みなさんのアドバイスのお陰で書き上げることができました。

尾崎洋二先生、天体物理学研究室のみなさん、この一年間は大学生活の中で本当に忘れられないものとなりました。とても充実し、楽しい時間でした。ここでの経験を生かせるよう、これかも更に努力していきます。

また、この様に多くの方々に支えて頂き、研究に取り組むことができたことを幸せに感じています。この場をおかりし、心より感謝申し上げます。

参考文献

[1] Kronk, Gary W. 2003, "Cometography", Volume 2 1800-1899, Cambridge University Press, Cambridge, UK

[2] Kobayashi, H., Kawakita, H., Nishikoji, A. 2007, "Comet 17P/Holmes", IAUC 8887

[3] Yuji, I., Hideyo, K., Reiko, F., Yusuke, S., Toshiro, K. 2007, "Polarimetric Imager for Comets, PICO", Publications of Astronomical Society of Japan, Vol.59, No.5, pp.1017-1025

[4] Gunn, J. E., et al. 1998, "The Sloan Digital Sky Survey Photometric Camera", The Astronomical Journal, Volume 116, Issue 6, pp. 3040-3081

[5] Snodgrass, C. et al. 2007, "Comet 17P/Holmes", Central Bureau Electronic Telegrams, 1111, ed. Green, D. W. E.

[6] Arai, A. et al. 2007, "Comet 17P/Holmes", Central Bureau Electronic Telegrams, 1118, ed. Green, D. W. E.

[7] 広島大学 宇宙科学センター 2008, "約40万倍も明るくなったホームズ彗星の詳細な観測", http://www.hiroshima-u.ac.jp/hasc/kenkyuseika/p_6ccef2.html