

ウィルタネン彗星(46P/Wirtanen (2018))のコマに含まれる塵成分の広がり

加藤 英行*

Expanse of dust coma of comet 46P/Wirtanen (2018).

Hideyuki KATO*

(要旨) 2018年11月14日から2019年1月13日までの期間中5夜において、デジタルカメラでウィルタネン彗星(46P/Wirtanen (2018))を撮影した。得られた画像を3色(R・G・B)に分解し、その中で主に塵の散乱光を多く含むR画像から、彗星核から太陽方向のコマの終端までの距離とコマの直径を測定し、それらの時間変化を捉えた。考察では、彗星核から太陽方向のコマの終端までの距離の変化は、塵がガスによって加速されて到達する終端速度や、塵の半径の変化が影響しているだろうことを示した。

キーワード：ウィルタネン彗星(46P/Wirtanen(2018))、彗星のコマ、彗星の塵、デジタルカメラ

1. はじめに

(1) 彗星のコマについて

彗星核が太陽に近づくと氷成分が蒸発し、吹き出したガスや塵がコマと呼ばれるぼんやりとした光のかたまりを作る。その直径は、彗星によって異なり、同じ彗星でも太陽からの距離によって大きく変化する(鈴木ほか, 2013)。

また、彗星核が太陽へ近づくと、太陽の光を受けて、コマを作る塵は吹き飛ばされやすくなり、コマは小さくなることが知られている(鈴木ほか, 2013)。

このように、興味深い彗星の振る舞いの1つとして、コマの変化を捉えることは重要なテーマである。

(2) ウィルタネン彗星(46P/Wirtanen(2018))について

ウィルタネン彗星(46P/Wirtanen (2018)) (以下、ウィルタネン彗星)は、1946年の発見以来、毎回帰観測され、2018年の回帰で第12回目となった。周期は5.44年、近日点距離は1.06AU、離心率 e は0.66である。2018年12月12日に近日点を通り、12月16日に地球へ0.078AUの距離まで接近した。(中野, 2018)。

2018年の回帰では、2018年11月中旬から2019年1月中旬まで、眼視観測で6等級以上の明るさで観測された。図1にウィルタネン彗星の眼視観測による光度曲線を示す。

本稿では、ウィルタネン彗星(46P/Wirtanen(2018))のコマ、特に塵の時間変化、日心距離の違いによる変化を捉えることを目的として、デジタルカメラを用いた観測結果について報告する。

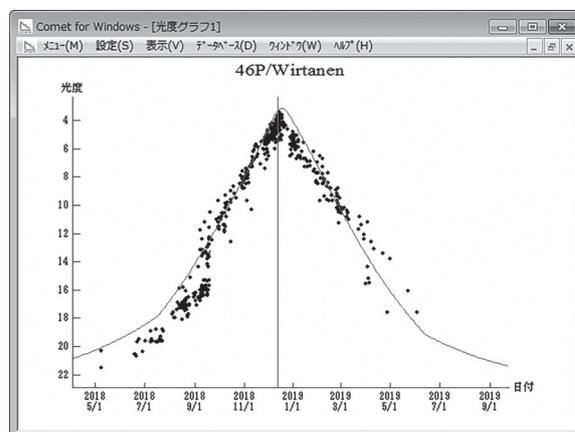


図1. ウィルタネン彗星の眼視観測による全光度変化(Yoshida, 2019)

2. 観測

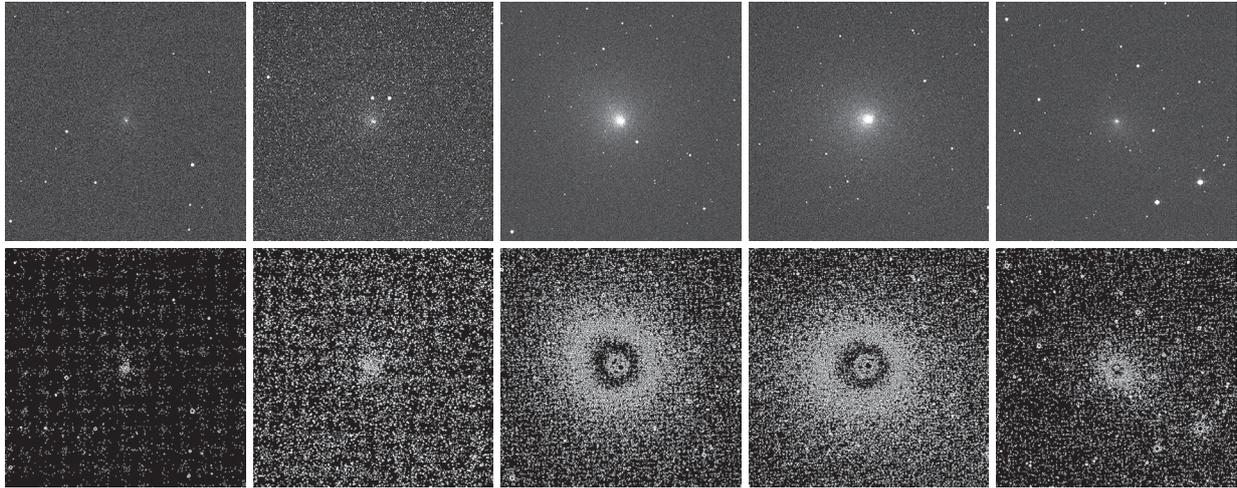
観測は2018年11月14日から2019年1月13日の期間中に5夜行った。観測を行った日と場所、雲量、露光時間、ウィルタネン彗星の日心距離、地心距離を表1に示す。雲量は、観測開始時に目視で、空全体を雲が覆った状態を10、雲が無い状態0とし、10段階で評価した。機材は20cmニュートン式望遠鏡(Vixen R200SS, $f=800\text{mm}$, F4)と補正レンズ(VixenコレクターPH, 合成焦点距離 $F=760\text{mm}$, F3.8)、デジタルカメラ(Canon EOS6D, センサーサイズ $35.8\text{mm} \times 23.9\text{mm}$, 画素数 $5,472 \times 3,643\text{pixel}$ (R画像の画素数 $2,748 \times 1,835\text{pixel}$)), 赤道儀(Vixen SXD2)を用いた。本システムの画角は $2.7^\circ \times 1.8^\circ$, R画像のピクセルスケールは 3.53秒角/pixel である。デジタルカメラのISO感度は25600として撮影した。

*〒918-8006 福井県福井市足羽上町147 福井市自然史博物館

*Fukui City Museum of Natural History, 147 Asuwakami-cho, Fukui-shi, Fukui 918-8006, Japan

表1. 観測を行った日と場所, 雲量, 露光時間, ウィルタネン彗星の日心距離, 地心距離. 日心距離と地心距離はNASA JPLのウェブサイトJPL's HORIZONS system (NASA JPL, 2019) から得られたデータである.

観測日	観測場所	雲量	露光時間[sec]	日心距離[AU]	地心距離[AU]
2018年11月14日	福井県勝山市平泉寺町	2	10	1.12	0.20
2018年12月 5日	石川県白山市白峰	8	10	1.06	0.10
2018年12月10日	福井県勝山市北谷町	1	10	1.06	0.09
2019年12月15日	福井県勝山市平泉寺町	1	10	1.06	0.08
2020年 1月13日	福井県勝山市平泉寺町	2	10	1.14	0.19



2018/11/14.68 UT 2018/12/5.69 UT 2018/12/10.60 UT 2018/12/15.70 UT 2019/1/13.74 UT

図3. ウィルタネン彗星のコマの変化. 彗星の光学重心を中心としてトリミングしたR画像(上)とR画像をもとにして作成したコントアマップ(下). それぞれの画像の画角は30分角で, 左の画像から順に, およそ25.7万km, 12.9万km, 10.9万km, 9.9万km, 24.6万kmに相当する. 上が北, 左が東である. 太陽の位置角は, 左の画像から順に, 201.8°, 220.2°, 229.6°, 255.4°, 23.8°である.

3. 解析

(1) 彗星の塵成分とデジタルカメラのRGB画像

デジタルカメラは, 撮影した画像をR・G・Bの3色の画像情報に分けられて記録している. そこで, 彗星のコマのスペクトルとデジタルカメラのRAW形式のRGB感度域を比較すると, BにはCNとC₂の輝線の一部, GにはC₂の強い輝線が含まれる. 一方, RにはNH₃などの輝線はあるが, 主に塵の散乱光が多くを占めると考えられる(鈴木ほか, 2013). したがって, 彗星の塵成分のコマの変化を観測するためには, デジタルカメラのR画像を用いた解析が有効と考え解析を行った.

(2) データ整約

デジタルカメラのRAW形式画像を星空公団のウェブサイト(星空公団, 2019)で配布する「raw2fits」を用いて, R・G・B画像へ分解及びFITS形式へ変換した. 画像データのダーク補正とフラット補正, 空の明るさの見積もり, 空の明るさの減算には, 国立天文台のウェブサイト(国立天文台, 2019)で配布する「すばる画像解析ソフトマカリ」を用いた. 空の明るさは, マカリの測光機能を用いて彗星とその他の天体が写っ

ていない任意の領域における総カウント値/ピクセル数を5箇所測定し, その平均値を算出することで見積もった.

(3) 彗星の輝度分布の重心からコマの終端までの距離の測定

図2に示すように, 彗星の輝度分布の重心を彗星核, カウント値が0以上となるピクセルを彗星のコマの終端と定義し, 彗星核から太陽方向の終端までの距離と太陽方向と垂直方向の終端から終端までの距離を整約後の画像データから測定した. 実距離に換算するための地心距離と太陽方向を決定するための位置角は, NASA JPLのウェブサイトJPL's HORIZONS system (NASA JPL, 2019) から得られるデータを用いた.

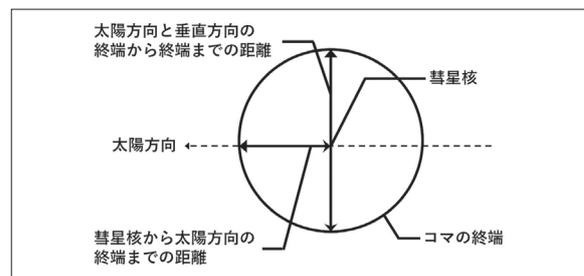


図2. 測定した要素の概念図

4 結果

各観測日から得られた観測画像の例を図3に示した。画像の比較から、地球と彗星間の距離が短くなるにつれて、コマの直径が大きくなる様子がわかる。彗星核から太陽方向の終端までの見かけの実距離（以下、太陽方向の距離）の時間と日心距離に対する変化を図4.5に示した。彗星核をとおり太陽方向と垂直方向の終端から終端までの見かけの実距離（以下、コマの直径）の時間と日心距離に対する変化を図6, 7に示した。

図4, 6から近日点通過時刻付近で、太陽方向の距離とコマの直径が大きくなる傾向がみられた。図5, 7から近日点付近で、太陽方向の距離とコマの直径が大きくなる傾向がみられた。

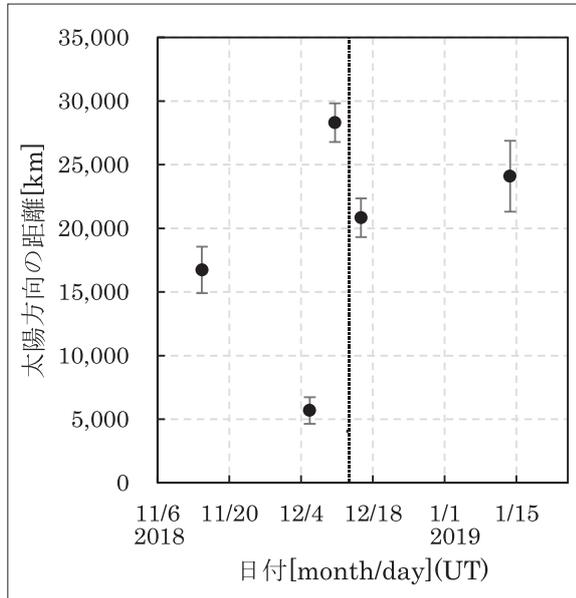


図4. 太陽方向の距離の時間に対する変化

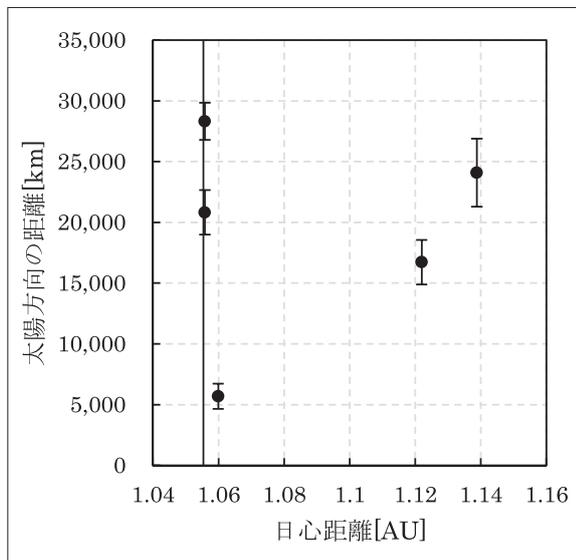


図5. 太陽方向の距離の日心距離に対する変化

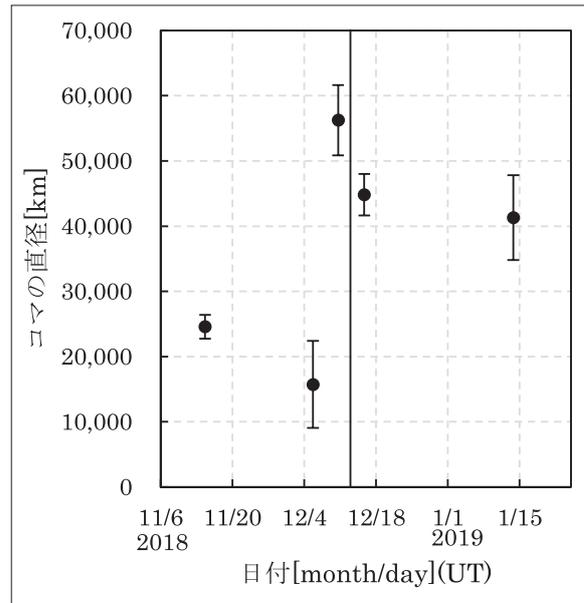


図6. コマの直径の時間に対する変化

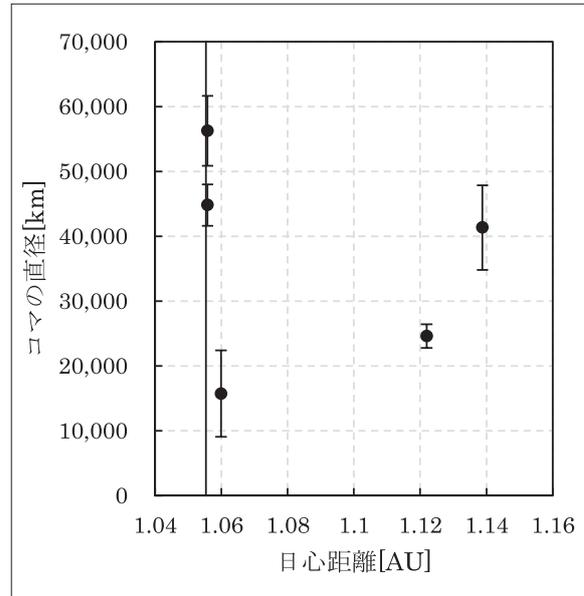


図7. コマの直径の日心距離に対する変化

図4, 5, 6, 7のグラフは、各観測日に撮影した画像の中から目視で雲とガイドエラーの影響が少ない5つの画像を選択し、太陽方向の距離とコマの直径を測定した平均値である。エラーバーは標準誤差を示している。図4, 6中の縦線は近日点通過時刻、図5, 7中の縦線は近日点距離である。

5. 考察

(1) 観測結果の妥当性

本観測から得られた太陽方向の距離は最大でおよそ3万kmである。この結果は、河北・古荘 (2003) が見積もった彗星核から太陽に向かった塵が数万km程度まで離れるとした値と一致している。従って、本観測で測定した太陽方向の距離は、彗星の塵成分を捉えていると考えられるだろう。

また、2018年12月5日の値が前後の観測日2018年11

月14日と12月10日の値よりも小さくなっている理由は、表1の雲量から、天候による影響であると考えている。

(2) 結果から得られた傾向

太陽方向の距離が近日点付近で、大きくなる傾向について考察する。

塵が核から見てどれくらい遠くまで太陽方向に進むかは、彗星核から放出された塵がガスで加速されて到達する終端速度と、太陽重力と太陽放射圧に依存する(河北, 古荘, 2003)。

したがって、太陽方向の距離が大きくなる傾向は、塵の終端速度が大きくなる又は、塵の粒子半径が大きくなり太陽放射圧の影響が重力に対して小さくなることで、本観測から得られた傾向を説明することができる。

(3) 塵にはたらく太陽重力と太陽放射圧の比 β と塵の半径

以下では、塵の終端速度を一定と仮定したとき、観測と一致する塵にはたらく太陽重力と太陽放射圧の比 β がどのような値をとるか求め、およその塵の粒子半径を推定した。

河北・古荘(2003)は、可視光で太陽光を効率的に反射することができる塵のサイズは、0.1~数 μm 程度で、これらの塵が得る終端速度はおおよそ数百m/秒であるとしている。ここでは、塵が得る終端速度を100m/s一定と仮定し、塵にはたらく加速度(式1)を用いて算出した彗星核から太陽方向の距離の最大値が観測と一致する β を0.01の精度で求めた。結果を図8に示す。

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{GM_{\text{sun}}}{r^2} (1-\beta) \quad (\text{式1})$$

ここで、 x は彗星核から放出された塵までの距離、 t は塵が放出されてからの経過時間、 G は重力定数、 M_{sun} は太陽質量、 r は日心距離である。

図8から、塵が彗星核から終端まで達する観測期間中の β は、 $1.03 \leq \beta \leq 1.17$ の範囲である。中村・山本(1984)の β の計算例を参考にすると、観測された物質は可視波長域において不透明な物体であり、仮に磁鉄鉱とするとダストの粒子半径は0.3 μm 程度以下である。

謝 辞

本報告をまとめるにあたり、本稿をお読みいただき有益なご助言をいただいた都留文科大学の古荘玲子博士、観測データの解析に使わせていただいたすばる画像解析ソフトマカリの開発者の皆様、画像変換処理ソ

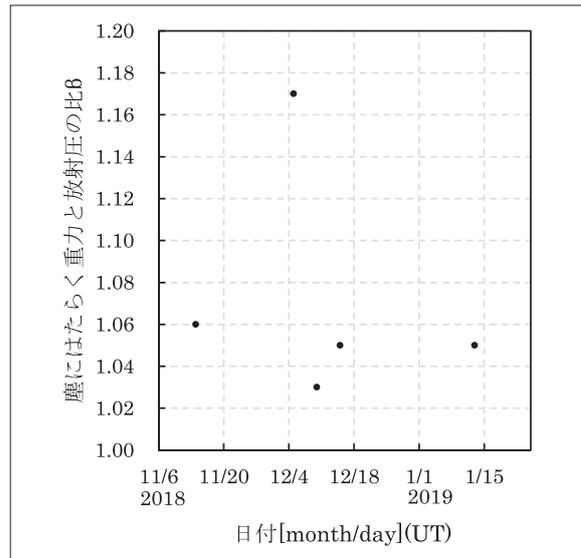


図8. 塵の終端速度を100m/s一定としたとき、観測値と一致する β

フトraw2fits開発者である星空公団の小野間史樹氏、光度曲線の掲載を快諾してくださった吉田誠一氏、本稿掲載に関してお世話になった福井市自然史博物館の梅村信哉氏と出口翔大氏に、ここに厚く感謝を申し上げます。

引用文献

- 星空公団, 開発製品(ソフトウェア) raw2fits. <https://www.kodan.jp/?p=products>. 参照2019-12-25.
- 河北秀世・古荘玲子, 2003, 1-3彗星のコマ, 高校生天体観測ネットワーク(Astro-HS)編, 彗星観測ハンドブック2004, P2.
- 河北秀世・古荘玲子, 2003, 1-3彗星のコマ, 高校生天体観測ネットワーク(Astro-HS)編, 彗星観測ハンドブック2004, P30.
- 国立天文台, すばる画像解析ソフト-Makali'i-配布サイト. <https://makalii.mtk.nao.ac.jp/index.html.ja>. 参照2019-12-25.
- NASA Jet Propulsion Laboratory, HORIZONS Web-Interface. <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>. 参照2019-12-25.
- 中村士・山本哲生, 1984, 5-4 輻射圧, アストラルシリーズ4彗星, 恒星社厚生閣, P82.
- 中野圭一, 2018, 近く訪れる彗星, 天文年鑑2019年版, 誠文堂新光社, P174.
- 鈴木文二・秋澤宏樹・菅原賢, 2013, ② コマは巨大だ, 彗星の科学, 恒星社厚生閣, P18.
- 鈴木文二・秋澤宏樹・菅原賢, 2013, ① コマの大きさ, 彗星の科学, 恒星社厚生閣, P101.
- 鈴木文二・秋澤宏樹・菅原賢, 2013, ④ RGBフォトメトリ, 彗星の科学, 恒星社厚生閣, P102.
- Yoshida, S., ウィルタネン彗星 46P/Wirtanen (2018). <http://www.aerith.net/comet/catalog/0046P/2018-j.html>. 参照2019-12-25.