

# 岡山天体物理観測所： 太陽系・惑星科学への貢献



渡部 潤一

〈国立天文台天文情報センター 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: jun.watanabe@nao.ac.jp

国立天文台岡山天体物理観測所では、188 cm 望遠鏡の共同利用観測を中心として、さまざまな成果が生まれたが、ここでは太陽系・惑星科学についての成果の一端、特に世界一の時間分解能観測データを生み出した1994年の彗星の木星衝突などに重点をおいて紹介する。

## 188 cm 望遠鏡ニュートン焦点

日本の太陽系・惑星科学の天文学的な観測は、麻布飯倉に東京帝国大学東京天文台があった頃から、天体写真儀による彗星や小惑星などの小天体の軌道決定・改良のための位置観測に重点が置かれてきた。わが国に由来する命名がなされた小惑星「TOKIO」、「NIPPONIA」などが撮影されたのは、この麻布時代、1900年のことで、欧米に比べても比較的早い時期から写真観測を行っていた。その後、引っ越してきた三鷹でも、この種の観測は継続され、さらに埼玉に設置された堂平観測所での観測、特に50 cm シュミット望遠鏡による観測も行われた。しかし、暗い対象天体の場合は撮影が難しい。そこで岡山の188 cm 望遠鏡、特に視野の広いニュートン焦点での小天体の位置観測が天体搜索部のスタッフを中心に行われた。現在、三鷹では岡山の乾板類の整理を細々と続けているが、ニュートン焦点で撮影された乾板類の大部分は彗星や地球接近小惑星、そして天王星や土星の衛星の観測が、そのかなりを占めている。いずれはデジタル化してアーカイブを公開予定である（科研費：研究成果公開促進費「データベース」18HP7003「岡山天体部物理観測所天体写真乾板データアーカイブ」代表：渡部潤一）。

残念ながら、これらの観測結果は、直接論文として成果につながったものは少ない。位置観測だけだと軌道改良には役に立つものの、それだけで論文にはならないからである。もちろん、世界的なキャンペーン（小惑星エロスやアポロの地球接近に伴う観測など）に参加して、なかなか世界的に観測が埋まることのない極東地域で一定の役割を果たしたことは確かである。また、70年代から80年代は当時の日本は彗星王国と呼ばれるほど、アマチュア天文家が新彗星発見に活躍した時代であった。発見初期の位置観測は軌道決定にとっては極めて大事であり、それらの観測を堂平や岡山で果たしていたことは評価してよいだろう。ただ、天体物理学的な観点での観測は、残念ながら多くはなかった。岡山における初期の太陽系の観測はニュートン焦点に限られていたと言って良い。筆者も、大学院生の頃だったか、故・富田弘一郎氏の車に乗せられて、ニュートン台での観測に付き合ったことがある。ともかく季節が季節だとニュートン台は寒く、居心地はいいものではなかったが、いかにも天体観測の最前線にいるという気分だけは味わえた。慣れるとニュートン台で仮眠もとれるようになったが、これは10 mも下の床が見えないため、屋は何でこんなところで寝られるのかと思うほど恐怖ではあった。

## 乾板から CCD へ

80年代になると、観測手段が乾板から電子撮像素子へ移っていく流れが日本でも始まった。岡山では当時の東京大学の川上肇氏の開発した CCD がニュートン焦点に取り付けられ、観測が始まっていた。筆者は1986年に回帰するハレー彗星 (1P/Halley) の観測を行うため、川上氏や富田氏など彗星の観測のベテランに相談していたが、その頃は188 cm 望遠鏡のプロポーザルも「書けば誰でも時間をもらえるよ」という状況であった。しかし、なにしろ博士論文がかかっていることもあり、北半球から観測可能なハレー彗星の近日点前の時期にできる限り、時間を確保したかった。そこで、故・古在由秀氏や中村士氏にも協力をお願いして、1985年10月から12月までの3カ月にわたって、数日間ずつ観測を申し込んだ記憶がある。感度の良い冷却 CCD 素子によって直接撮像を行うことで、ハレー彗星の核の自転運動を抽出しようとしていた。筆者は1983年に地球に接近したアイラス・荒貴・オルコック彗星 (C/1983 H1) の直接撮像観測を堂平の50 cm シュミット望遠鏡で行い、その乾板をデジタル化して、彗星のコマの形状変化から、核の自転運動を推定する方法を開発し、修士論文に仕上げていた<sup>1)</sup>。同じ手法をハレー彗星でも適用したかったのである。結果的に1985年10-12月に要求どおりの時間を割り当ててもらい、川上氏の開発していた CCD も極めてうまく動作し、良質なデータが得られた。それだけでなく、1985年12月の観測時には、偶然にもハレー彗星の小規模なアウトバーストを捉えることができた。南向きの放出が目立ち、コマの形状が大きく変化したのである。近日点前のハレー彗星の振る舞いとしては、極めて大きな変化のアウトバーストだったため、その晩の観測だけからダストの放出速度を求め、博士論文にまとめる前に、この現象の解析だけで論文にしたことがある<sup>2)</sup>。

ちなみに筆者は、この観測を契機に CCD 素子の素晴らしさを実感・認識し、その後も宮崎大学の高岸邦夫氏の開発した CCD を使って、当時の文部省宇宙科学研究所の鹿児島県大隅半島の射場に隣接した宮原光学台地にあった、60 cm 望遠鏡を借りたり、木曾観測所などで、さまざまな彗星を観測していくことになった。

## SL9の観測へ

岡山の知名度が、この業界で一挙に上がったのは、1994年のシューメーカー・レビー第9彗星 (D/1993 F2, 以下 SL9 と略す) の木星衝突現象の観測成果である。現象の希有さから、観測期間中、毎日記者会見を行うという極めて珍しい広報体制をとったこともあり、世間的な知名度も群を抜き、ほぼ毎晩、観測結果の速報が翌日の朝刊に掲載されるという異例の事態となっていた。この年が国立天文台に広報普及室を筆者が立ち上げた直後であったことは幸いだった。また、当時の前原英夫所長の努力で地元の鴨方町の協力のもと、車で5分足らずの遥照山の小さな民間企業の研修所を記者会見会場として借り受けられたことも大きい。観測当時の木星はすぐに沈んでしまう位置にあったので、観測は夕刻のわずかな時間しかできなかった。その観測終了後、毎日17時から24時まで観測データや結果について、適宜記者会見を行うことになったのである。観測データの画像処理と資料作成は、この道の専門家である吉田道利氏にも協力を仰ぎ、まさに万全の体制だった。研修所での昼の上の記者会見は海外でも報道され、海外の研究者からもメールで「さすが日本の記者会見は違う」と妙に感心されるほどであった。

こうした SL9 の発見から観測までの経緯は、「巨大彗星が木星に激突するとき<sup>3)</sup>」に、そして、この衝突現象から観測計画をどのように立案していったかについては「夜行急行 SL9—1993e：木星行き —1000年に一度の臨時列車—<sup>4)</sup>」で紹介してある。ともかく、SL9は木星に接近して分裂

した破片とは言っても、一つ一つはかなり大きいはずだ。われわれも衝突前の破片を岡山の188 cm望遠鏡のニュートン焦点で観測を行い、大きさを700から900 m程度と推定した<sup>5)</sup>。衝突速度が木星の強い重力のために、秒速60 kmに達することも考え合わせると、相当なエネルギーとなる。ただ、そうは言っても一体何が起きるのか正確に予測できていたわけではなかった。それはわれわれだけでなく、衝突が起こる半年ほど前にアメリカで開催された研究会でも、事前の予測では可視光では何も見えそうにない、という見解が示されていた。一方で、われわれを含め、世界中の研究者は近赤外線などでは衝突によって生成し、成層圏を超えるきのご雲が太陽光を反射し、木星の大気成分であるメタンによって吸収された木星面上で鋭く輝くに違いない、と考えていた。われわれのグループでは長谷川均氏や竹内覚氏などを中心とした木星大気の専門家により、実際にシミュレーションを行って予測を立てていた<sup>6)</sup>。幸いなことは、当時は山下卓也氏のグループを中心に、近赤外線観測装置OASIS<sup>7)</sup>が開発中であり、その装置を188 cm望遠鏡のカセグレン焦点に装着して、衝突現象を観測できたことだ。そればかりではない。さらに幸いなことがいくつかあった。一つは破片の中でも最大級のK核の衝突時、日本から観測が1994年7月19日夕刻に可能であったこと、そして当の観測装置はまさに開発途中であり、日々進化していたことである。特に最大級の破片であるK核の観測直前には、自動的に露出時刻をファイルに記録するようになった。また、開発途中ということもあって、光学系の一部がまだ密閉されていなかった。実は、K核ほどの破片が生み出すきのご雲の大きさだと、最大光度の頃はカメラが飽和してしまうと予想していた。そのためには観測途中で減光フィルターを、適宜入れたり出したりする必要があったが、それが可能だったのである。観測中にデータをクイックルックで見ながら、減光フィルターを抜き差しするとい

う、たいへんな冒険をすることにしたのだ。

きのご雲の明るさを見ながら、飽和するかどうかをOASISチームの西原英治氏が即座に判定し、それを受けてフィルターの抜き差しをすることを安部正真氏と故・森淳氏とが担当することになった。こうして、減光フィルターなしで19時から連続観測を開始し、19時24分に発光を検出。一時的に明るくなった（これが実はエントリーフラッシュであった）が、すぐに減光し、落ちついた後に、19時30分ごろからみるみる増光を始めた。

撮影後、次の撮影までのほんの数秒の間にきのご雲の明るさを調べ、ドームへ指示を出す。飽和に達し、フィルター挿入指令がでた。山下氏が叫ぶ。「10%フィルター挿入！」しかし、明るさの上昇は収まらない。「2%のフィルター挿入！」「いったい、どこまで明るくなるんだ？」「すごい！イオの明るさを完全に超えている！」もうこれ以上の減光フィルターの用意はなかったが、幸い38分頃に増光が止まり、急激な減光に転じたのである。観測室は異常な興奮に包まれていた。筆者も高鳴る動悸と感動からくる体のふるえを抑えることができなかった。正直、もういつ死んでもいい、と思った。天文学者として一生に一度こんなすごい現象に出会えば悔いがあるだろうか。それが正直な思いだった。このときの変光曲線はOASISの感度とフィルター挿入の工夫のために、世界一のデータとなったのである<sup>8)</sup> (図1参照)。

K核ほどの核だと他の望遠鏡では飽和してしまい、岡山のように完全なデータを、しかも高い時間分解能で得たところは実はほかにはなかった。とりわけエントリーフラッシュという破片の大気突入時に流星現象として光るところを捉えたのは岡山だけである<sup>9)</sup>。

一方、91 cm望遠鏡での観測も行われていた。こちらは偏光撮像装置であるOOPS<sup>10)</sup>が装着されており、鈴木文二氏らが中心となって、衝突痕の偏光観測を可視光で狙っていた。ただ、連日快晴に見舞われ、高温注意報が出ていた天候に襲わ

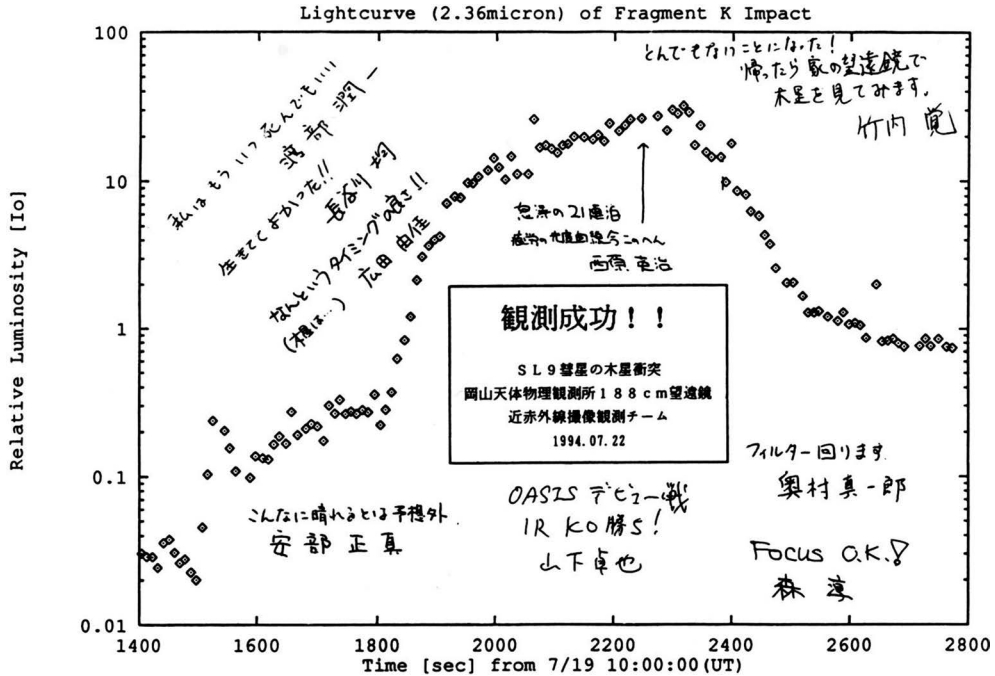


図1 K核の衝突により生じた近赤外線の明るさの変化グラフに観測チームメンバーによる寄せ書き。

れる。気温は38度を記録し、鴨方町でも湯水のため、給水制限をするほどだったが、その猛暑がついに装置へ打撃を与えた。OOPSに内蔵されている偏光観測用のウォールストンプリズムを支えている部分が熱で膨張・変質し、落下してしまったのである。これがないと偏光観測は不可能だ。本装置の開発責任者である佐々木敏由紀氏が応急処置を施し、とりあえず撮像と分光はできるようにした。残念ながら偏光のデータを得ることはできなかったが、鈴木氏はすぐに分光観測に切り替え、何とか面目を保ったのである<sup>11)</sup>(図2)。

これらの観測に至る一連のドキュメントは「彗星の木星衝突を追って」<sup>12)</sup>、観測の成果速報は、天文月報1995年1月号での「特集：シューメーカー・レビー第9彗星の木星衝突」にまとめられている。

### 彗星、小惑星の観測が続々

SL9の後、修理されたOOPSは面光源である彗星のコマの偏光観測に大活躍する。1997年に大

彗星となったヘール・ボップ彗星(C/1995 O1 (Hale-Bopp))のコマの偏光観測が鈴木氏らによって行われ、そのデータを元に当時神戸大学の大学院生だった古荘玲子氏が博士論文にまとめあげた<sup>13)</sup>。偏光観測は、世界的にそれほど装置がなく、かつ彗星のような天体に活用される望遠鏡もきわめて限られているため、この論文は世紀の大彗星となったヘール・ボップ彗星の貴重な偏光データを提供することとなった。

188 cm望遠鏡でも、その後、さまざまな観測装置が開発・稼働し始めた。なかでも赤外線観測装置はOASISからISLEへと進化していた。赤外線天文衛星「あかり」は、太陽系内小天体の観測成果も続々と上げていたが、サーベイによって小惑星の赤外線観測のカタログを一新することとなり、それらの成果は白井文彦氏や長谷川直氏によってまとめられていた<sup>14)-17)</sup>。これらのカタログの中の一部の小惑星についての分光フォローアップ観測でも188 cm望遠鏡は活躍し、小惑星





図2 188 cm望遠鏡を前に、SL9岡山観測チームの記念写真

のタイプの決定に大きな寄与をしている<sup>18)</sup>。

また、可視光の分光装置ではKOOLSやHIDESが登場し、周期彗星のウィルソン・ハリントン(107P/Wilson-Harrington)の活動について詳細な研究の中でコマ中の輝線観測に使われたほか<sup>19)</sup>、小惑星探査機「はやぶさ2」の探査候補天体の調査<sup>20)</sup>や、小惑星ベスタの表層の光学特性の調査に用いられている<sup>21)</sup>。特に、分裂して消滅したリニア彗星(C/1999S4 (LINEAR))をHIDESで観測した<sup>22)</sup>が、その結果から主著者である河北秀世氏が、アンモニア分子に含まれる水素のオルソ・パラ比の重要性に気づき、その後、すばる望遠鏡におけるHDSでの彗星の分光観測研究へとつなげ、サイエンス誌掲載論文に結実したことは特筆すべきである<sup>23)</sup>。

また、「あかり」のカタログの中には極めて特異な小惑星がいくつか見いだされていた。小惑星帯にあるC型小惑星は反射率が低いのが常だが、あかりによって非常に反射率の高い特異なC型小惑星がいくつか見いだされた。これらについて、やはりKOOLSを駆使した観測が行われ、すばる望遠鏡のデータとともに、その成果は春日敏測氏によってまとめられている<sup>24)</sup>。

ところで、188 cm望遠鏡での観測は小天体に限らなかった。高橋隼氏は、これも新装置であったHBSによって、地球照の偏光分光観測を行い、偏光度の最大値に波長依存性があることを明らか

にした<sup>25)</sup>。一見、地味な観測成果にも思えるが、この種の観測は、遠い将来の系外惑星の表面を探る観測につながる挑戦的な試行であり、その意味では貴重なデータとなっている。

## 50 cm望遠鏡の活躍

太陽系小天体の観測は、突発的な出現や変化に対応する意味では、実は望遠鏡時間を共同利用などできっちりと決められた望遠鏡ではやりにくいことが多い。そんななか、岡山に新たに50 cmの望遠鏡が設置されることになる。東京工業大学の河合誠之氏が中心となったガンマ線バーストの光学追跡観測のためのものだ。筆者もかつて可視光のカウンターパートが見つからなかった頃、小さなカメラを駆使してモニター観測などをしていた関係で、この望遠鏡の設置に加わった。もちろん、当初の目的であるガンマ線バーストの光学天体のフォローアップ観測において大活躍をしたわけだが、それだけではなかった。空いている時間を利用して、多数の小天体の観測が行われた。

観測を行ったのは、岡山の職員である戸田博之氏、そして黒田大介氏で、ほかの望遠鏡のデータも組み合わせながら成果論文に仕上げたのはソウル大学の石黒正晃氏である。このチームの観測・論文発表はものすごい数があり、それらの成果も迫力に満ちている。

なにより戸田氏は放送大学に在籍しつつ、岡山に勤務し、50 cm望遠鏡を駆使して、2007年のホームズ彗星(17P/Holmes)の大規模なアウトバーストの観測を継続した。そして日に日に大きく広がるコマの様子を連続的に捉えることに成功し、その拡散速度を導出し、修士論文としてまとめた、いってみれば観測のベテランである<sup>26)</sup>。その後も、50 cm望遠鏡で観測可能な種々の彗星について追跡していた。一方、黒田氏は初代の研究員として、設置されたばかりの石垣島天文台に勤務しながら、やはり東京工業大学が持ち込んだ三色カメラを駆使し、彗星や小惑星の観測を行っていた。岡山へ

異動した後も、50 cm 望遠鏡を積極的に駆使して観測を継続した。周期彗星として比較的新しいリニア彗星 (209P/LINEAR) は、新しく活動が確認された5月のきりん座流星群の母天体と目された天体である。この彗星の測光モニター観測が、岡山50 cm 望遠鏡を中心として、光赤外線天文学大学間連携による可視光望遠鏡群で行われた。ハワイ大学2.2 m 望遠鏡やトラピスト望遠鏡などのデータも駆使しながら、2014年の本帰中には、どの程度の質量放出があったのか、そのレートなどを見積もり、それが流星群の出現との関連を知る上での貴重な成果につながったのである<sup>27)</sup>。さらに翌年にはかなり古くから知られている周期彗星、フィンレー彗星 (15P/Finlay) についてのモニター観測が、岡山50 cm 望遠鏡を中心に石垣島天文台の1 m 望遠鏡、西はりま天文台の2 m 望遠鏡、そして岡山188 cm 望遠鏡で行われ、複数のアウトバーストを検出して、ダストの放出速度やその合計質量について論じることができた<sup>28)</sup>。さらに、ベスタと関連のあるV型小惑星の自転周期を調査したり<sup>29)</sup>、「はやぶさ2」探査機の探査候補天体の自転周期を調査したりすることにも用いられている<sup>19)</sup>。

現在、稼働が予定されている京都大学3.8 m せいめい望遠鏡は、突発天体の観測が柱の一つである。共同利用という体制のなか、太陽系小天体の観測にも柔軟な対応が期待したいところである。

## 謝 辞

本稿をまとめるにあたり、国立天文台評価支援室の堀久仁子氏、国際連携室の蓮尾隆一氏、編集責任者であり、またSL9観測チームの一員でもあった奥村真一郎氏、そして本稿に実名で登場する皆様にたいへんお世話になったことを記して謝意を表したい。

## 参考文献

- 1) Watanabe, J., 1987, PASJ, 39, 485
- 2) Watanabe, J., et al., 1987, A&A, 187, 229

- 3) 渡部潤一, 1994, 巨大彗星が木星に激突するとき (誠文堂新光社)
- 4) 渡部潤一, 長谷川均, 1994, 天文月報, 87, 21
- 5) Watanabe, J., et al., 1994, PASJ, 46, L1
- 6) Hasegawa, H., et al., 1993, Planet. Space Sci., 41, 791
- 7) Okumura, S., et al., 2000, PASJ, 52, 931
- 8) Watanabe, J., et al., 1995, PASJ, 47, L21
- 9) Sekanina, Z., 1996, A&A, 314, 315
- 10) Sasaki, T., et al., 1995, Rep. Natl. Astron. Obs. Jpn., 2, 545
- 11) Suzuki, B., et al., 1994, Earth, Moon, and Planets, 66, 19
- 12) 渡部潤一, 1995, 彗星の木星衝突を追って (誠文堂新光社)
- 13) Furusho, R., et al., 1999, PASJ, 51, 367
- 14) Usui, F., et al., 2011, PASJ, 63, 1117
- 15) Usui, F., et al., 2013, ApJ, 762, 56
- 16) Hasegawa, S., et al., 2013, PASJ, 65, 34
- 17) Usui, F., et al., 2019, PASJ, in press (arXiv:1810.03828)
- 18) Hasegawa, S., et al., 2017, PASJ, 69, 99
- 19) Ishiguro, M., et al., 2011, ApJ, 726, 101
- 20) Hasegawa, S., et al., 2018, PASJ, in press (arXiv:1810.03706)
- 21) Hasegawa, S., et al., 2014, PASJ, 66, 89
- 22) Kawakita, H., et al., 2001, PASJ, 53, L5
- 23) Kawakita, H., et al., 2001, Science, 294, 1089
- 24) Kasuga, T., et al., 2015, AJ, 149, 37
- 25) Takahashi, J., et al., 2013, PASJ, 65, 38
- 26) 戸田博之, 2009, ホームズ彗星 (17P/Holmes) のダストの性質, 放送大学大学院 文化科学研究科総合文化プログラム環境システム科学群, 修士論文
- 27) Ishiguro, M., et al., 2015, ApJ, 798, L34
- 28) Ishiguro, M., et al., 2016, AJ, 152, 169
- 29) Hasegawa, S., et al., 2014, PASJ, 66, 54

## Okayama Astrophysical Observatory and Its Contribution to Solar System and Planetary Science

Junichi WATANABE

Public Relations Center, National Astronomical Observatory of Japan, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

Abstract: Various outcomes have been produced by using the 188 cm telescope together with other telescopes at Okayama Astrophysical Observatory. Emphasizing the observational result of the comet impact to Jupiter in 1994, which is the highest time-resolution data in the world, the author introduces the various outcomes related to planetary sciences in this article.