



報告

はやぶさ2地球スイングバイの光学望遠鏡での観測

Hayabusa 2 Observations during Earth Swing-by by Optical Telescope

富田晃彦^{1,2}, 吉住千亜紀^{1,3}¹和歌山大学宇宙教育研究所、²和歌山大学教育学部、³和歌山大学観光学部観光教育研究センター

2015年12月3日、小惑星リュウグウの探査に飛び立っていた探査機「はやぶさ2」が地球スイングバイを行った。その際、宇宙教育研究所の直径12mパラボラアンテナでの電波信号追跡と並行して、教育学部屋上天文台の口径60cm光学望遠鏡でも光跡をとらえることに成功した。

キーワード: はやぶさ2、光学望遠鏡、天文教育

1. 背景

2015年10月14日、JAXAより「はやぶさ2」のスイングバイについての軌道データが公開された。これを受け、姫路市宿泊型児童館「星の子館」の安田岳志氏が中心となり、日本公開天文台協会 (JAPOS) による公開施設観測キャンペーンをすることになった。安田氏はさらに10月18日、日本公開天文台協会 (JAPOS)、公開天文台ネットワーク (PAONET)、天文教育普及研究会 (JSEPA)、日本プラネタリウム協議会 (JPA) にメーリングリストでキャンペーン参加を呼びかけた。天文研究施設、公開施設対象で、JAXAの吉川真氏から軌道データをいただくことになった。このキャンペーンと連携して、一般向けには日本惑星協会がデータ提供をすることになった。

著者の一人、吉住は日本惑星協会にデータ提供を依頼した。観測地点の北緯東経標高を連絡すると、はやぶさ2の、その地点からの赤経赤緯データをいただけた。10月29日、教育学部屋上天文台 (口径60cm反射望遠鏡) の観測地点の位置情報 [1] を、富田から吉住に伝えた。

東経 135° 09' 08.4" (135.1523 deg)

北緯 34° 15' 59.8" (+34.2666 deg)

海拔 107.8 m

尾久土正己氏 (観光学部、宇宙教育研究所) からは、宇宙教育研究所の電波観測通信施設である直径12mパラボラアンテナ (以下、12mアンテナ) で、はやぶさ2が出している電波を追跡しようと提案があった。そして、12月3日の宇宙カフェの催しと合同で、12mアンテナ、そして教育学部屋上天文台の口径60cm光学望遠鏡 (以下、60cm望遠鏡) の両方ではやぶさ2の追跡を行うこととした。

11月15日、吉住が日本惑星協会推進事務局の井本昭氏より、はやぶさ2スイングバイ観測データを受け取った。12月2日は、若干の計算修正を行った最終データが届いた (付録1を参照)。

2. 観測方法

60cm望遠鏡は、追尾の速度として粗動を得意としないことから、粗動で精度高く天体を追うのは難しい。また、特殊な軌道を持つ対象を追う観測経験がなかったため、はやぶさ2を追いつながらの観測という方法は採用しないこととした。そこで、はやぶさ2が通過すると予報のあった場所に望遠鏡を向けておき、はやぶさ2の光跡を撮影するという方法を採用した。

はやぶさ2は11等級程度にしかならないという予想があったため、それを撮影するのに十分な感度があるか、事前に確認した。デジタル一眼レフカメラ (Canon

EOS Kiss 7Xi) で動画のモードで待ち伏せることを検討したが、60cm望遠鏡に取り付けても、6-7等級しか写らないことや、長焦点（焦点距離7800mmでF値は13）があだになり、視野角が10分角にも満たないことがわかった。60cm望遠鏡に同架している15cm望遠鏡に取り付ければ焦点距離（焦点距離1800mm、F値は12）の点でやや有利であったが、このデジタル一眼レフカメラでは焦点が出ないことが分かった。SBIG社製CCDカメラSTL-1001E（以下、CCDカメラ）では、1秒ごとの、ダーク差引をしない生データの連続読み出し（FOCUSモード、視野確認や、焦点出しの確認のために用いるモード）であっても、Rcバンド（もっとも感度高く写る帯域）で13等級程度の撮影が可能であることが分かった。視野角は約10分角である。読み出しや次の撮影準備のための空き時間が約1秒半あるのが難点である。このCCDカメラも15cm望遠鏡では焦点が出ないので、60cm望遠鏡にCCDカメラを取り付けて、Rcバンドで1秒露出のFOCUSモードで待ち伏せることとした。

3. 当日の観測

NHKの取材が12mアンテナ、60cm望遠鏡ともに入ったが、60cm望遠鏡に取材の時は、曇っていて、「はやぶさ2」の光跡をその場で紹介することはできなかった。その後、天気はやや持ち直したが、時々雲の切れ間がある、という程度の状況が続いた。約30分ごとに、望遠鏡を予定の赤経赤緯に向け、その時刻になるまで待つという方法を取った。

記録として、CCDカメラ制御（CCDOPSという名の、SBIG社製CCDカメラ用に開発されたソフトウェア）のノートPC上の画面を、デジタルカメラ（Canon S200を使用）で動画撮影をした（図1）。PC本体で、画面を動画として、あるいは連続の画像として保存した方が画質は良いだろうが、PCに過剰の負担がかかることから、控えることにした。図1左側にある小さな黒い正方形の窓が、FOCUSモードによる1秒露出画像である。約2.5秒ごとに更新される。なお、PC画面上では秒の単位まで表示する時計を表示させておいた。この時計は、桜時計というソフトウェアを用いて1秒以内の精度で合わせてある。

はやぶさの光跡をなかなかとらえられなかったが、北極星の近くを通過する18:40 JSTの時、その前後1分

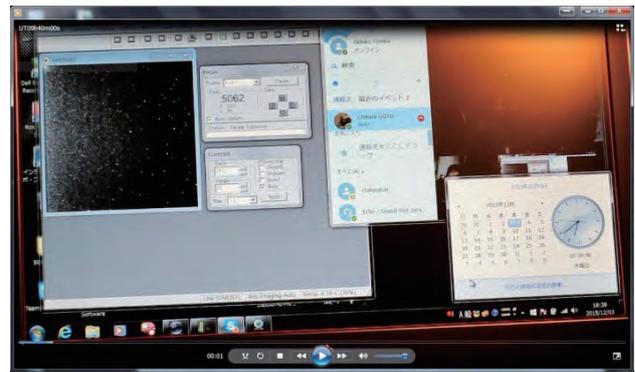


図1 CCDカメラの制御をしたPCの画面を、時計を出しつつ、デジタルカメラで動画撮影して記録した。

間にも満たない時だけ雲が切れ、その時にはやぶさ2の光跡を捉えることができた。図2a-dは、18:40 JST（9:40 UTC）付近での、FOCUSモードによる1秒露出画像の部分を切り出したものである。図2bで、はっきりとはやぶさ2の光跡を捉えた。図2cでも、はやぶさ2の光跡が見える。図2bでの読み取りを、図3に示した。

この光跡がはやぶさ2の予報位置と同じか確かめるために、Digitized Sky Survey (DSS)¹によるPOSS II-Red²画像の上に予報軌跡を描いた。まず9:39 UTC, 9:40 UTC, 9:41 UTCでの、はやぶさ2の予報中心位置を中心として60分角の矩形の領域を切り出した（60分角がDSSとしてPOSS II-Redを切り出せる最大の画角）。これでは互いに視野が重ならないので、9:39 UTC, 9:40 UTCそれぞれ予報中心位置の中点、9:40 UTC, 9:41 UTCそれぞれ予報中心位置

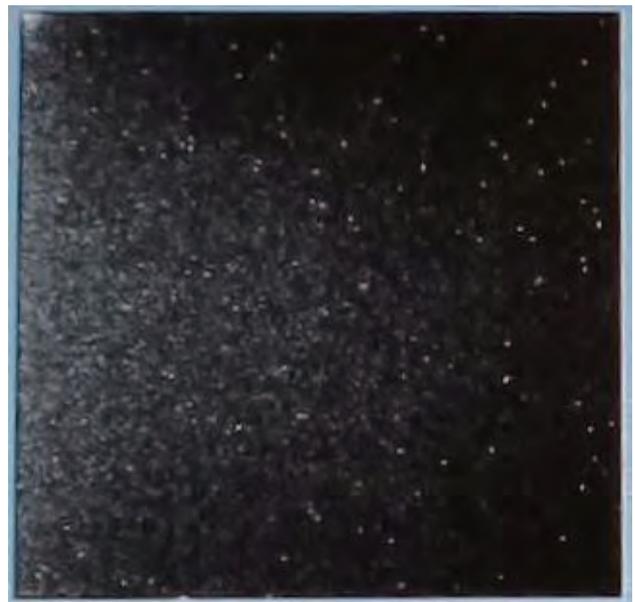


図2a 18h39m55s から1秒露出

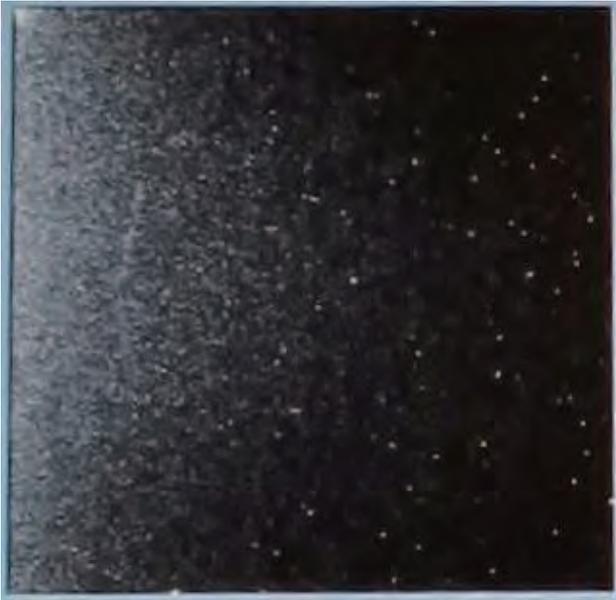


図2b 18h39m58s から1秒露出



図2d 18h40m04s から1秒露出

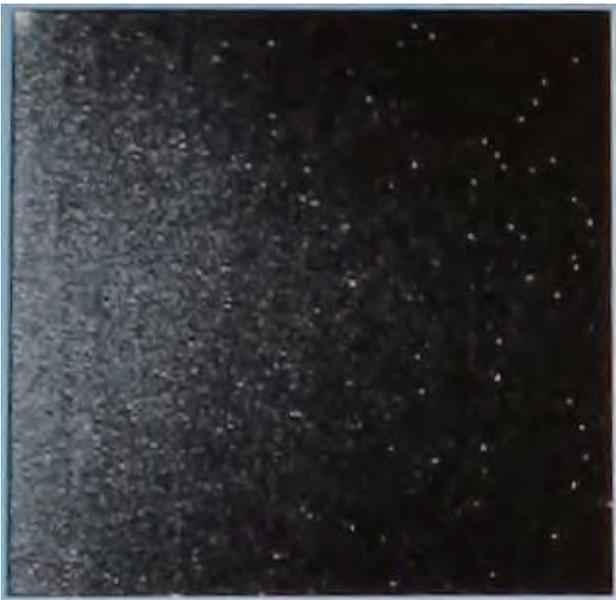


図2c 18h40m01s から1秒露出

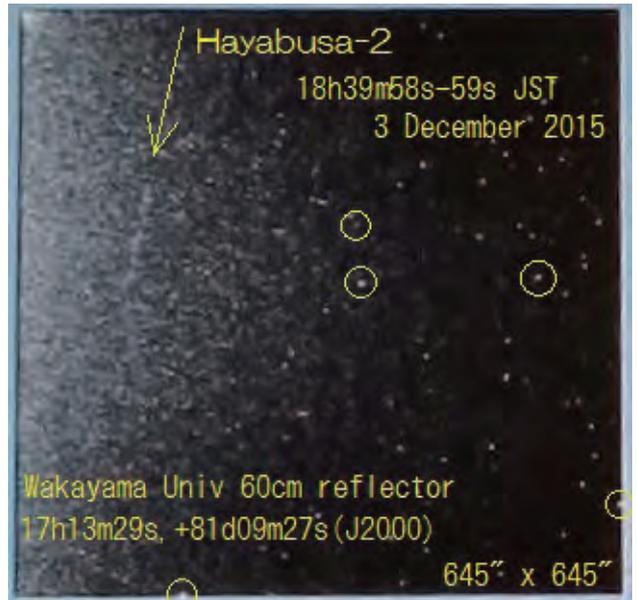


図3 18h39m58s から1秒露出、読み取り；丸印は周辺の星の位置。

の中心を中心として60分角の矩形の領域を切り出した。これら5枚の写真を印字したものを貼りあわせ、9:39 UTC, 9:40 UTC, 9:41 UTCの予報中心位置を線でつないだ。これがこの星図上のはやぶさ2の予報軌跡となる。そして、この軌跡上の予報時刻をたどっていくと、観測した時間に写りこんでいた光跡と一致し

た(図4a,b)。

はやぶさ2の光跡を捉えたのは、18:40 JST (9:40 UTC) 前後の時だけであった。しかし、確かにはやぶさ2を捉えることに成功した。観測中、これがはやぶさ2の光跡だろうと感じたが、その場では確認には至らず、12月5日なって、Digitized Sky Surveyによる

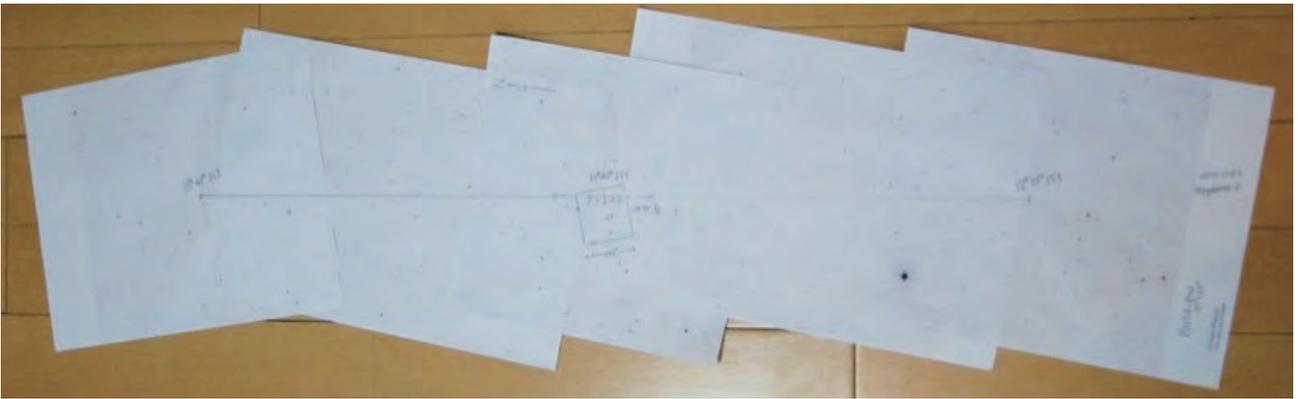


図4a DSSによる5枚のPOSS II-Red画像を印字したものの貼りあわせと、9:39 UTCから9:41 UTCまでのはやぶさ2の予報軌跡を描きこんだもの。

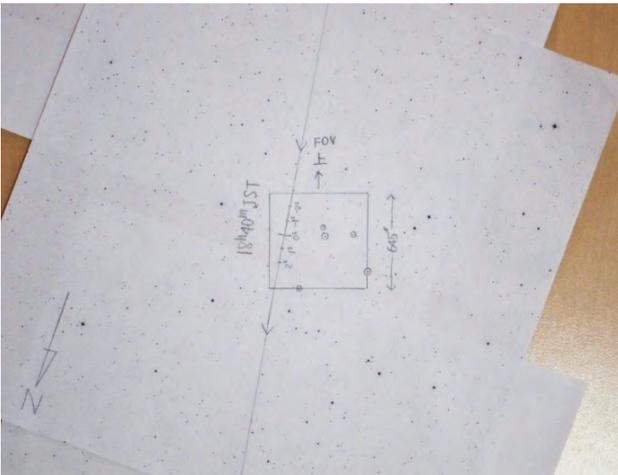


図4b 図3に対応した部分の拡大。予報の位置と時刻を鉛筆で描きこんでいる。図3での観測結果と一致しており、予報が高精度だったことを物語っている。

た井本昭氏をはじめとして日本惑星協会の関係者、後藤千晴氏（地域連携・生涯学習センター、地域連携コーディネーター）をはじめとして宇宙カフェの関係者、また、当日取材を下された方々、そして宇宙教育研究所の関係者全員に感謝したい。

注

- 1 https://archive.stsci.edu/cgi-bin/dss_form
- 2 POSS II = The Second Palomar Observatory Sky Survey, Red = Kodak IIIaF (red) plates

参考文献

- [1] 「和歌山大学教育学部屋上天文台：望遠鏡および観測装置」富田晃彦、和歌山大学教育学部紀要（自然科学）、Vol. 61, 17-22（2011年2月）

画像と照合することでようやく確認に至った。

2012年2月、和歌山大学マスタープランによる約1000万円の予算を投じて、60cm望遠鏡は計算機制御で、高い精度で天体導入できるように改造した。事前に与えられた赤経赤緯に向けておいて、約10分角の視野内に予定通りはやぶさ2が通過したのを捉えられたのは、この望遠鏡の制御系改造の成果の一つと言えよう。

なお、60cmでのはやぶさ2の追跡では、ドーム内で富田と吉住が待機して作業を行った。主に吉住がはやぶさ2の位置予報のデータを確認し、主に富田が60cm望遠鏡の操作、CCDカメラの操作を担当した。

謝辞

今回のはやぶさ2の光跡をとらえるために、多くの方にお世話になった。データを提供くださった吉川真氏をはじめとしてJAXAの関係者、それを仲介くださっ

付録

日本惑星協会から送られてきた、60cm望遠鏡から見たはやぶさ2の予報位置のデータ (一部)

```

=====
#-----
# Visible analysis result
# Originator       : JAXA Hayabusa2 Project
# Creation date    : 2015-12-01T15:00:07.000
#-----
# Target Spacecraft : HAYABUSA2
# Observer         : Wadai ( 135.152 E, 34.267 N, 107.8 m )
# Calculate start  : 2015-12-02T00:00:00.000
# Calculate stop   : 2015-12-03T10:20:00.000
# Calculate step   : 1 [min]
=====
#
# Date [UTC]      Az [deg]  El [deg]   RA [HMS]  DEC [DMS]   R [km]  PHASE [deg]El_s [deg]
2015-12-02T00:00:00.000  82.176   49.830   16 52 46.1 +30 12 32   6.152e+05  127.48   21.04
(中略)
2015-12-03T09:38:00.000  346.144  32.813   17 13 54.2 +78 23 03   1.242e+04   79.42  -21.96
2015-12-03T09:39:00.000  347.729  33.001   17 13 48.7 +79 43 37   1.203e+04   78.09  -22.16
2015-12-03T09:40:00.000  349.424  33.186   17 13 28.5 +81 09 27   1.164e+04   76.68  -22.36
2015-12-03T09:41:00.000  351.240  33.365   17 12 41.6 +82 41 05   1.126e+04   75.18  -22.57
2015-12-03T09:42:00.000  353.189  33.534   17 11 00.0 +84 19 02   1.088e+04   73.57  -22.77
(中略)
2015-12-03T10:19:00.000  118.769 -24.098   06 32 27.6 -36 21 08   1.167e+04   64.51  -30.30
2015-12-03T10:20:00.000  120.283 -25.290   06 35 55.6 -38 06 19   1.209e+04   66.37  -30.51

#-----
# Column description:
# Date [UTC] : Date at the observer location
# Az [deg] : Azimuth (0 = North, 90 = East, 180 = South, 270 = West)
# El [deg] : Elevation of the target center from the localhorizon
# RA [HMS] : J2000.0 right ascension of target center
# DEC [DMS] : J2000.0 declination of target center
# R [km] : Distance of the target center from the observerlocation
# PHASE [deg] : Sun-Target-Observer angle
# El_s [deg] : Elevation of the Sun from the local horizon
#-----

```