

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25400238

研究課題名(和文) 広汎な画像データから太陽系小天体を検出するソフトウェアの開発

研究課題名(英文) Developing a software for detecting moving objects from an astronomy data archive

研究代表者

吉田 二美 (Yoshida, Fumi)

国立天文台・国際連携室・専門研究職員

研究者番号：20399306

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：近年広視野CCDカメラが開発されて以来、大量に蓄積されつつある天体サーベイの画像データから太陽系小天体を検出するソフトウェアの開発を試みた。

天文データアーカイブには様々な露出時間・時間間隔で取得された画像データが保存されており、そのようなデータの中から、偶然映り込んでいる様々な速度で天球上を運動している太陽系小天体を見つけて、同定していくのは容易なことではなかった。我々が作成した検出プログラムには、撮像の時間間隔がまちまちな同一視野の画像で移動天体を探す方法、及び同一視野の連続撮像画像で移動天体検出する方法の二通りがある。

研究成果の概要(英文)：Since CCD cameras with a wide field of view have been developed, a large amount of image data is available in the astronomical data archive. Many kinds of image data having various exposure time/observational time interval, are stored in the astronomical data archive. We tried to develop a software to detect small solar system bodies from such archive data taken by astronomical surveys.

It was hard to detect and identify each small solar system body passing occasionally in such image data by chance. Because each small solar system body has different speed. Nevertheless, we made two detection programs with two different algorithms. One of them is a way searching for moving objects in the same field images taken with various time intervals. Another one is a way to look for moving objects along a line in the images taken consecutively.

研究分野：惑星科学

キーワード：太陽系小天体 測光観測 データアーカイブ 天文サーベイ

### 1. 研究開始当初の背景

広視野の CCD カメラによる天体サーベイ観測が開始されて以来、大量の画像データが天文データアーカイブに蓄積されてきており、その容量は年々増え続けている。

観測を計画した研究者は自分の研究目的が達成されれば、その観測画像を再利用することはあまりないが、実は天文観測画像には画像を取得した研究者が意図した以上の情報がたくさん詰まっている。これらの情報は、毎年高額の予算で運営・維持されている望遠鏡で得られた貴重な画像データにもかかわらず、有効利用されてこなかった。

そこで、我々は、主たる研究が終わった後の画像の情報を拾い集め、他の研究への有効活用が図れないだろうかと考えた。この研究の趣旨は、埋もれている画像情報の単なる有効活用にはとどまらない。近い将来天文観測装置はますます大型化し、大型予算を獲得するために作られた大規模な研究グループによって運営されるようになるだろう。そうした時に個々の研究者へ割り当てられる観測時間はますます短くなり、細切れの研究しかできなくなってしまいうだろう。そういった将来を見越して、観測者グループが共通のデータセットで、幾つものサイエンスが生み出せるような観測手法・研究連携の構築へつなげる指針を、この研究を通じて見出すという大きな目標も見据えている。

### 2. 研究の目的

天文データアーカイブに眠っている情報の一つが太陽系小天体である。太陽系小天体は恒星よりずっと手前にあるため、天文データアーカイブに数分角以上の領域を撮像した画像を探すと、その画像を取得した研究者が意図していなくても太陽系小天体が紛れ込んでいることは多々ある。我々は天文データアーカイブ画像に眠っているこのような太陽系小天体を探し出して、研究に使おうという試みをこの研究課題を通して行った。

太陽系内の小天体は太陽からの距離や軌道の形、また地球から見る方向によって天球上の運動速度が様々に変化する。一般に地球に近いものは速く、地球から遠い天体の動きは遅い。このように様々な移動速度の天体をアーカイブデータから検出するには、動かない天体（恒星・銀河等）と移動天体を区別するソフトウェア作りがまず必要である。そして首尾よく検出できた天体については、その明るさ・軌道・カラー・天体像の形状 (PSF) 等の情報を最大限引き出す。そして、抽出された物理パラメータから太陽系小天体の空間分布・サイズ分布・カラー分布・氷天体分布等の太陽系史解明（特に初期太陽系での大惑星移動過程）に直結するデータを獲得する。

### 3. 研究の方法

移動している天体を見つけるにはある程度大きな視野の撮像装置の画像しか使えな

いので、すばる望遠鏡の Suprime-Cam や Hyper Suprime-Cam で取得された画像のデータのアーカイブを中心に、太陽系小天体検出が可能な画像データセットを収集する。

同時にパリ天文台と国立中央大学（台湾）の研究グループと共同で太陽系小天体検出プログラムを作成する。特に国立中央大学の研究グループは他の望遠鏡の大規模サーベイ観測データで移動天体探索を行った経験があるので、協力をお願いした。

作成した検出プログラムで、収集した画像データから太陽系小天体を検出する。

様々な太陽系小天体の動きを調べた結果、アーカイブ画像から太陽系小天体を検出するために必要な条件は以下の三つの要件を満たしていなければならないことがわかった。(A)同一視野を3回以上撮像していること。(B)同一視野の撮像間隔が20分から8時間以内であること（移動天体の速度によって必要な撮像間隔は変わる）。(C)移動天体を同定するため、天体と地球の相対速度が最も大きくなる衝の位置（太陽と正反対の方向、太陽離角180度）付近での撮像が2回以上あること。

以上の条件を満たすデータをアーカイブから取り出し、データセットに応じて天体検出アルゴリズムを使い分ける。

最終的に検出された天体の明るさ・軌道・カラー・PSF等を引き出す。

### 4. 研究成果

天文データアーカイブには様々な露出時間・時間間隔で取得された画像データが保存されており、そのようなデータの中から、偶然映り込んでいた様々な速度の太陽系小天体を見つけて、同定していくのは容易なことではなかった。

我々が作成した検出プログラムには、撮像の時間間隔がまちまちな同一視野の画像で移動天体を探す方法、及び同一視野の連続撮像画像で移動天体検出する方法の二通り（図1、2）がある。

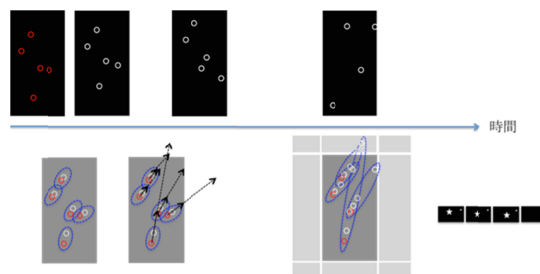


図1：移動天体検出方法の一例 撮像時間がまちまちな同一視野の画像で移動天体を探す方法。(1)比較的撮像時刻に近い2枚の画像で移動天体ペアを見つかる。(2)その移動天体ペアの速度を計算。(3)3枚目、4枚目の画像でのその移動天体の位置を予測。(4)予想位置に天体があったら、各画像からその天体周辺の画像を切り出し、人の目で天体像と動きを見て、本物かどうかを確認する。

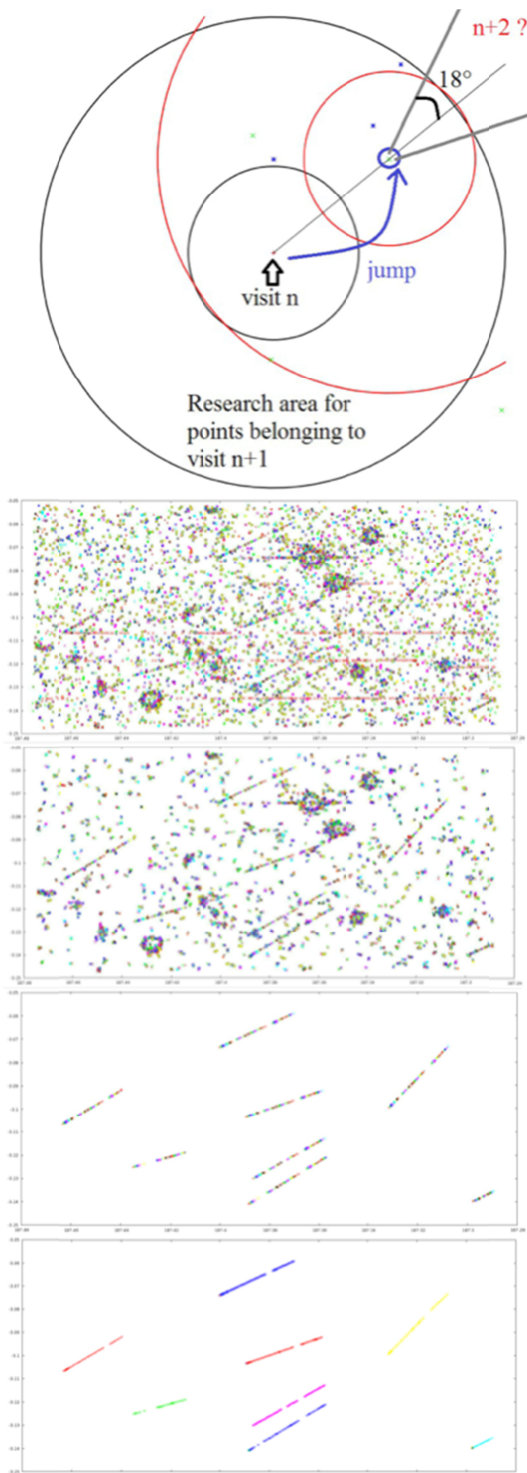


図2：移動天体検出方法の一例 同一視野の連続撮像画像に移動天体を検出する。一定方向に直線的に動いていく天体を探す。

現在の検出プログラムは移動天体検出のみを目的としたものであり、天体の明るさや移動速度の測定精度は、特に速度の速くて細長く伸びた天体像の移動天体については十分でない。今後、検出した移動天体の明るさや速度の測定精度を上げる方法を開発し、より高精度で天体サイズやカラーを導出する工夫をしなければならない。さらに、検出天体が彗星活動を持つかどうかを光度の分布

関数(PSF)から判定する機能も付加し、かすかなコマや尾をもつ彗星の検出も行えるようなソフトウェアにしていく。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計 8 件)

1. Z.-Y. Lin, W.-H. Ip, C.-H. Lin, F. Yoshida, Broadband Photometry of asteroid (285263) 1998 QE2 during its closest approach in May-June 2013. submitted to PASJ. 査読あり
2. H.-W. Lin, F. Yoshida, Y.-T. Chen, W.-H. Ip, C. K. Chang, A search for subkilometer-sized ordinary chondrite like asteroids in the main-belt. *Icarus*, 254, 202-212, 2015. 査読あり  
[10.1016/j.icarus.2015.04.007](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2015.04.007)
3. R. G. Strom, R. Malhotra, Z. Xiao, T. Ito, F. Yoshida, L. R. Ostrach, The inner solar system cratering record and the evolution of impactor populations. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 15(3):407-434, 2015. 査読あり  
[10.1088/1674-4527/15/3/009](https://doi.org/10.1088/1674-4527/15/3/009)
4. C.-H. Lin, W.-H. Ip, Z.-Y. Lin, F. Yoshida, Y.-C. Cheng, Detection of large color variation in the potentially hazardous asteroid (297274) 1996 SK. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 14(3):311-318, 2014. 査読あり  
[10.1088/1674-4527/14/3/005](https://doi.org/10.1088/1674-4527/14/3/005)
5. T. Terai, S. Urakawa, J. Takahashi, F. Yoshida, G. Oshima, K. Aratani, H. Hoshi, T. Sato, K. Ushioda, Y. Oasa, Time-Series

- Photometry of Earth Flyby  
Asteroid 2012 DA14. A&A 559,  
A106, 2013.査読あり  
[10.1051/0004-6361/201322158](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201322158)
6. T. Ito, F. Yoshida, H. Fukushima,  
H. Sato, S. Takahashi, T.  
Nakamura, 他 4 名, Lightcurve of  
(4507) 1990FV, Minor Planet  
Bulletin, 40, 206-207, 2013.  
[http://www.minorplanet.info/MPB/MPB\\_40-4.pdf](http://www.minorplanet.info/MPB/MPB_40-4.pdf)
  7. O. A. Burkhanov, S. A.  
Ehgamberdiev, K. E. Ergashev, F.  
Yoshida, Period determination for  
(4527) Schoenberg, Minor Planet  
Bulletin, 40, 190, 2013.  
[http://www.minorplanet.info/MPB/MPB\\_40-4.pdf](http://www.minorplanet.info/MPB/MPB_40-4.pdf)
  8. F. Yoshida, Current knowledge of  
Jupiter Trojans - toward the Solar  
Power Sail mission -. in New Results  
in the Observations and Space  
Exploration of Asteroids, Proceedings  
of An International CJMT-1 Workshop  
on Asteroidal Science, October 16-17,  
2012, Macao, Ed. Wing-Huen Ip,  
Issued Date: March 2014, Macau  
University of Science and Technology,  
43-59.  
[http://www.astro.ncu.edu.tw/people/ip\\_wing/file/CJMT1\\_Proceeding.pdf](http://www.astro.ncu.edu.tw/people/ip_wing/file/CJMT1_Proceeding.pdf)
- [学会発表](計 16 件)
1. 吉田二美「すばる望遠鏡の HSC 戦  
略枠サーベイが目指す太陽系小天  
体研究」日本地球惑星科学連合  
2015 年大会, 2015 年 5 月 24-28 日,  
幕張メッセ(千葉県・千葉市)
  2. 吉田二美, Y.-T. Chen, 寺居剛,  
HSC 太陽系天体 WG「HSC 戦略枠  
プログラムで検出された太陽系小  
天体について」日本天文学会 2015  
年春季年会, 2015 年 3 月 18-21 日,  
大阪大学(大阪府・豊中市)
  3. F. Yoshida, H.-W. Lin, Y.-T. Chen,  
D. Souami, S. Bouquillon, W.-H.  
Ip, C.-K. Chang, T. Nakamura, B.  
Dermawan, M. Yagi, J. Souchay,  
Colors and spin period  
distributions of sub-km main belt  
asteroids. 46th Annual Meeting  
Division for Planetary Sciences,  
Nov. 9-14, 2014, Arizona, USA.
  4. 吉田二美, D. Souami, S.  
Bouquillon, 中村士, B. Dermawan,  
八木雅文, J. Souchay「すばる望遠  
鏡によるメインベルト小惑星のラ  
イトカーブ観測」日本惑星科学会秋  
季講演会, 2014 年 9 月 24-26 日, 東  
北大学(宮城県・仙台市)
  5. 吉田二美, Z.-Y. Lin, O. A.  
Burkhanov, Sh. A. Egamberdiev,  
K. E. Ergashev, 伊藤孝士, 秋田谷  
洋, 高橋準, 黒田大介, 花山秀和,  
光・赤外線大学間連携 観測チーム  
「若い小惑星族の高速自転小惑星  
候補の観測」日本天文学会 2014  
年秋季年会, 2014 年 9 月 11-13 日,  
山形大学(山形県・山形市)
  6. F. Yoshida, D. Souami, S.  
Bouquillon, T. Nakamura, B.  
Dermawan, M. Yagi, J. Souchay,  
Lightcurves of hundred sub-km  
main belt asteroids. ACM, June  
30-July 4, 2014, Helsinki,  
Finland.
  7. 吉田二美「若い小惑星族小惑星の測  
光観測 天体衝突破壊過程の物理

- プロセス解明のため」大学間連携  
WS, 2013年12月10日-11日, 西  
はりま天文台(兵庫県・佐用郡)
8. F. Yoshida, T. Terai, T. Ito, S. Urakawa, R. Fursusyo, Water in our solar system from past to future and new taxonomy of asteroids. WISH Science Workshop: "Exploring the Darkness" Dec. 2-3, 2013, NAOJ, Tokyo, Japan
  9. 寺居剛, 浦川聖太郎, 高橋隼, 吉田二美, 大朝由美子, 大島吾一, 荒谷健太, 星久樹, 佐藤太基, 潮田和俊  
「地球大接近小惑星 2012DA14 の表面特性測定」日本惑星科学会秋季講演会, 2013年11月20-22日, 石垣市民会館(沖縄県・石垣市)
  10. 吉田二美, Edward Lin, Wing-Huen Ip, Ying-Tung Chen  
「Sub-km メインベルト小惑星のカラー分布」日本惑星科学会秋季講演会, 2013年11月20-22日, 石垣市民会館(沖縄県・石垣市)
  11. Z.-Y. Lin, W.-H. Ip, C.-H. Lin, F. Yoshida, Broadband Photometry of asteroid 1998 QE2 (285263) during its closest approach of May-June 2013. East Asian Meeting on Astronomy, October 14-18, 2013, NCU, Taoyuan, Taiwan
  12. F. Yoshida, E. Lin, W.-H. Ip, Y.-T. Chen, Multi-photometric observation of sub-km Main Belt Asteroids. East Asian Meeting on Astronomy, October 14-18, 2013, NCU, Taoyuan, Taiwan
  13. 寺居剛, 浦川聖太郎, 高橋隼, 吉田二美, 大島吾一, 荒谷健太, 星久樹, 榎本藍子, 佐藤太基, 高井大地, 中里佳織, 潮田和俊, 大朝由美子  
「地球大接近小惑星 2012 DA14 の表面特性測定」日本天文学会 2013年秋季年会, 2013年9月10日-12日, 東北大学(宮城県・仙台市)
  14. F. Yoshida, Photometric observations of asteroids at Maidanak in 2011-2012. The 4th Maidanak users meeting, July 1-4, 2013, Tarusa, Russia.
  15. F. Yoshida, D. Souami, M. Yagi, Lightcurve Observation of Sub-km Main Belt Asteroids by Subaru Telescope. AOGS2013, June 24-28, 2013, Brisbane, Australia
  16. F. Usui, S. Hasegawa, T. G. Muller, F. Yoshida, T. Terai, T. Kasuga, Mid-infrared asteroid survey: from AKARI to SPICA. 1st SPICA Science Conference, June 18-21, 2013, the Ito Hall of the Ito International Research Center, the University of Tokyo Tokyo, Japan
- 〔図書〕(計 0 件)
- 〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)
- 名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:
- 取得状況(計 0 件)
- 名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:

番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

吉田二美 (YOSHIDA, Fumi)  
国立天文台・国際連携室・専門研究職員  
研究者番号：20399306