

# 小口径望遠鏡による小惑星サーベイ観測

黒崎裕久・柳沢俊史

JAXA

Minor planet survey observation by small telescope

Hirohisa KUROSAKI, Toshifumi YANAGISAWA

## Abstract

Recently, the discovery of the minor planet with the large telescope stands out. But, the minor planet can be discovered with the small telescope. It is possible by image analysis. Actually, we have discovered a lot of minor planets by the image analysis. A small telescope of the aperture 35cm enabled the discovery of the faint minor planet of 22-magnitude by using the moving object detection software. As a result, the minor planets of the main belt are discovered, many new designations have been acquired. Moreover, the method to observe a minor planet in a small telescope effectively is studied.

**Key Words:** Minor Planet, Optical Observation, Telescope, CCD Camera, Detection

## 1はじめに

近年、地球に衝突する可能性のある天体を早期に発見するために、世界規模で大型望遠鏡を用いたサーベイ観測が行われ明るい小惑星はほとんどが発見された。これによりアマチュア天文家による小惑星発見は劇的に減少してしまった。しかし、発見数では敵わないものの、世界的に見て小口径望遠鏡（ここでは、口径数十cmクラスを示す）でもまだ未だ未知小惑星が発見されている。MPC<sup>1)</sup>によれば2009年12月現在の仮符号は47万個を超え、軌道が求まり番号登録されたものは22万8千個である。今後、Pan-STARRSが本格的に稼働すれば、これらの数字は劇的に増えると予想されている。

いものとする。）

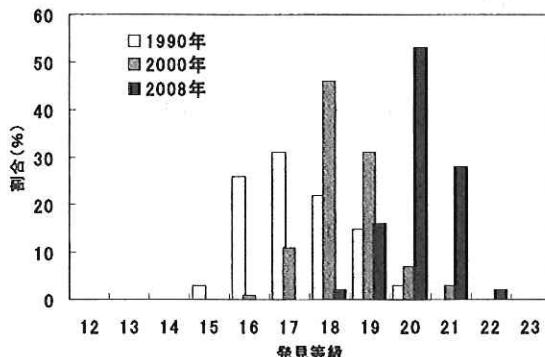


図1 世界での小惑星発見等級の推移

## 2 小口径望遠鏡による小惑星探索

世界における小惑星の仮符号取得について、発見等級を見てみると、図1に示したように暗い方へシフトしていることがわかる。1990年には17等台が最も多かったが、2000年には18～19等級、2008年では20等級後半が多くなっている。観測に用いる望遠鏡の口径についてみると、以外にも小口径望遠鏡での取得が結構みられる。図2にMPC<sup>1)</sup>公表による2009年11月の新月期間に発見され仮符号を取得した小惑星の口径別の発見数を示す。このように20cmクラスから始まり、40cmクラスでの発見も多数ある。どのような手法を用いて発見しているかは、今のところ不明であるが、小口径望遠鏡でも、まだまだ小惑星を発見することが可能である。（ただし、MPC記載の観測に使用した機器情報は正し

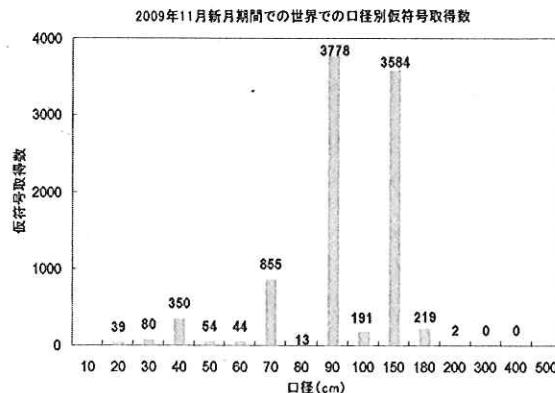


図2 2009年11月新月期間の世界での口径別仮符号取得数（90cmと150cmについては691とG96の連携によりダブっている可能性あり）

## 小型望遠鏡による小惑星サーベイ

### 3 JAXAでの小惑星発見と移動天体検出ソフト

小口径望遠鏡での限界等級を考えれば、従来のようにプリンクで小惑星を探索して発見することは難しくなっており、画像解析により小惑星を発見することは賢明であると思える。JAXAで開発した移動天体検出アルゴリズム<sup>2)</sup>は、同じ領域を40枚撮り続けた場合、およそ2倍の口径に匹敵する暗い小惑星を検出することができる。

JAXAではこれまでに35cm小口径望遠鏡と探索ソフトを用いて、2009年12月現在350個の小惑星を発見してきた。暗いものでは22等級を超えるものもあり、そのほとんどが1枚の画像からは検出困難となっている。

このソフトは取得した画像の前処理から、移動天体の探索、確認、位置測定、発見報告作成までの一連の作業を1本のソフトでできるようになっている。

### 4 マイダナク天文台での試験観測

#### 4.1 マイダナク天文台

マイダナク天文台 (Maidanak Observatory :  $66^{\circ}56' E$ ,  $38^{\circ}41' N$ ) は、中央アジアのウズベキスタン南東部の山間部にあり、サマルカンドの南方に位置する(図3)。

この天文台は、1970年にウズベキスタン科学アカデミー ウルグベク天文研究所がマイダナク山頂（標高2593m）に開設した。晴天率は年間220日程度、平均シャーディングはハワイ島マウナケア山頂にも匹敵すると言われ、一年を通じて観測不能な時期が無い。しかし、ソビエト連邦崩壊後は資金不足のために望遠鏡の整備がほとんど行われていないのが現状である。

2009年11月15日にマイダナク天文台を訪れたときは、星が針のように鋭く、天の川の精細さがよくわかり、すばる（プレアデス星団）を肉眼でも幾つも容易に分解できた。あまりの星の多さに、星座が分からなくなるほどで、マウナケア山頂で感動した星空を思い出すほどだった。



図3 マイダナク天文台の位置

マイダナク天文台でもっとも大きな望遠鏡は、Ritchey-Chretienの口径1.5m (F7.75) であり、4K4K裏面照射CCDカメラが取り付けられている。そのほかにも天文台敷地内に点々と設置されたドームやスライディングルーフの中に、口径1mが1基、60cmが2基、40cmが1基などがある。いずれも視野導入は目盛環を使い手動で行うものがほとんどであり、PCから自動導入できるものは無いようである。

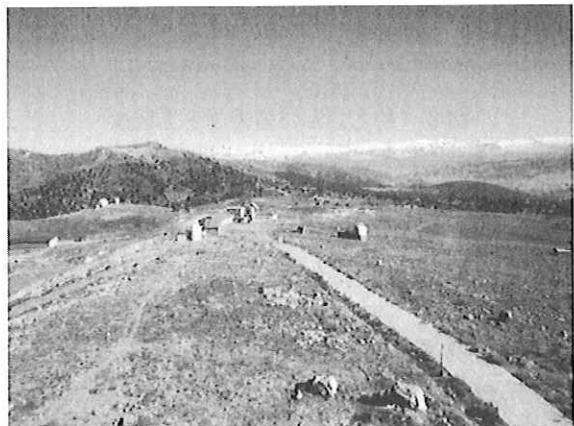


図4 マイダナク天文台の風景

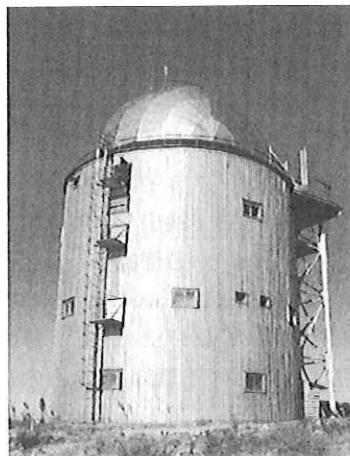


図5 1.5m望遠鏡とドーム外観

#### 4.2 20cm望遠鏡での観測

我々は、マイダナク天文台に小型望遠鏡と小型赤道儀を持ち込み、試験観測を行った。

持参した望遠鏡はセレストロンのシュミットカセグレン口径20cm、赤道儀はビクセンのGPD (SkySensor2000) である。CCDカメラはNILのIK1KCCDカメラである。図6に観測システムの写真を示す。極軸を合わせて設置したが、1分を超える露出では若干の恒星の流れが確認されたので、1枚の画像の露出時間は30秒とした。1領域あたり2時間ほど観測するので240枚の画像を取得したことになる。条件よく観測できたのは2領域である。



図6 持ち込んだ望遠鏡と赤道儀

#### 4.3 探索

観測した画像から小惑星を探索するのに用いるのは、ステラハンター・プロフェッショナルを改良して更に探索精度を上げたJAXA版の移動天体検出ソフトである。観測した画像は枚数が多いため、移動天体検出ソフトで処理するには負荷やメモリ不足になる。そのため、まず30秒露出画像を6枚ずつ恒星で位置合わせを行い加算した。保存時には加算した値を残した。

ステラハンターでの1次探索では赤経、赤緯パラメータで探索した結果、1領域目では既知が6個、未知が2個検出できた。しかし21等を超える既知小惑星は検出できなかった。また動きが速いK01SS6Gは20.9等級だったので、この探索では検出できなかった。元々の30秒露出の画像を直に処理すれば、スカイの上がりを抑え、トレールロスを少なくするので検出できる可能性もある。探索した数日後、未知のうち1個は他の天文台(691: Steward Observatory, Kitt Peak-Spacewatch)からの発見報告が入ったため既知(2009 VZ37)となった。等級は19.2等であった。別の2領域目でも既知が2個と未知が1個検出できたが、後日には同様に報告が入ったため2009 WH27となってしまった。

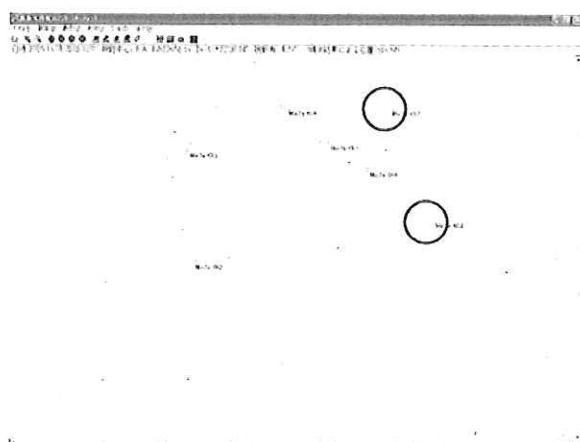


図7 検出できた小惑星（1領域目）

シュミットカセグレン望遠鏡は、主鏡を動かして調整するため、ピント合わせが難しく、今回は若干甘かったようだ、それも検出に影響していると思われる。また、同領域の観測は1夜のみだったので発見報告はできなかった。しかし、このように20cmクラスの小型望遠鏡でも画像解析により未知小惑星の検出が可能であることがわかる。

## 5 25cm望遠鏡と大型CCDカメラ

### 5.1 観測システム

小型望遠鏡を用いた観測として、JAXA入笠山光学観測施設での小惑星サーベイ観測の検討を紹介する。

観測施設には、35cm望遠鏡システムと25cm望遠鏡システムが設置されている<sup>3)</sup>。それぞれの仕様は表1と表2に示したとおりである。

表1 35cm望遠鏡システム

Telescope	e-350 (Takahashi Co.,Ltd)
Diameter	350 mm
Focal Length	1,248 mm (F/3.6)
Image circle	70 mm
Mount	SHOWA 25EF Equatorial Fork-Mount (SHOWA Industry Co.,Ltd)
CCD camera	e2v CCD 42-40 Back-illuminated
Pixels	2048×2048
Pixel size	13.5 μm×13.5 μm
Area	27.6 mm×27.6 mm
FOV	1.27 x 1.27 deg. (with 35cm Tele.)
Cooling	Peltier + Water cooling
Shutter	Mechanical

表2 25cm望遠鏡システム

Telescope	BRC-250 (Takahashi Co.,Ltd)
Diameter	250 mm
Focal Length	1,268 mm (F/5.1)
Image circle	100 mm
Mount	SHOWA 25EL Equatorial Fork-Mount (SHOWA Industry Co.,Ltd)
CCD camera	e2v CCD 44-82 Back-illuminated
Pixels	2048×4096 (1 chip)×2
Pixel size	15.0 μm×15.0 μm
Area	30.7 mm×61.4 mm (1 chip)
FOV	2.6 x 2.6 deg. (with 25cm Tele.)
Cooling	Refrigerator
Shutter	Mechanical

特に35cm望遠鏡システムを用いた小惑星探索では、これまでに350個の未知小惑星を発見してきた。

このように小型望遠鏡でも未知小惑星発見を可能にしているのが、移動天体検出ソフトである。

## 小型望遠鏡による小惑星サーベイ

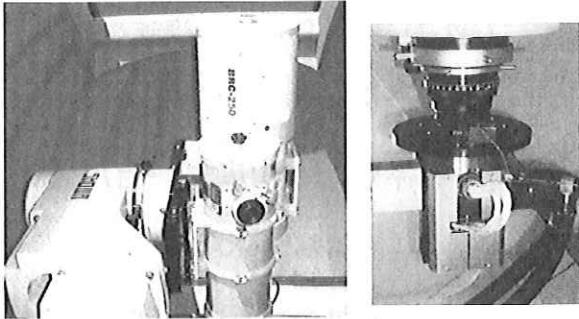


図8 25cm望遠鏡ほかと4K4KCCDカメラ

観測施設の第2ドームに設置してある25cm望遠鏡はベーカー・リッチャー・クレチアン方式の高橋製作所製BRC-250である。赤道儀には25cm程度の小型望遠鏡であれば2台まで同架可能である。CCDカメラは英国e2V technologies社の2K4K裏面照射CCD2枚を用いた、モザイク構成のナカニシ・イメージ・ラボ製4K4Kカメラである。このカメラは冷凍機冷却方式を採用しており、冷凍機により冷却された冷媒（ハイドロフルオロエーテル）をカメラまで循環させることでCCDの冷却を行っている。冷媒は-100°C以下まで下がり、CCDの冷却温度は-88°Cを達成している。

図8に25cm望遠鏡と赤道儀そして4K4KCCDカメラを示す。

### 5.2 広視野サーベイ

25cm望遠鏡と4K4Kカメラを組み合わせると、2.6deg.四方を観測できるが、撮影時に工夫すれば、1晩に効率よい観測が可能になる。

移動天体検出ソフトは同一領域の画像を数十枚必要とする。しかし、1領域を2時間ほどかけて撮影すると1晩に観測できる領域は冬の場合、最大4領域程度である。小惑星は衝付近がもっとも明るく移動量が大きくなるので観測に適している。さらに観測領域の高度が高いほど光害や大気の影響も少ない。そうすると1晩のうちでも良い条件で画像を取得できる領域が限られてくる。例えば4領域を取得した場合、条件がよい画像が撮れるのは半分の2領域程度である。

そこで、画像を1枚撮る毎に視野を替え、また始めの視野に戻るローテーション撮影を行えば、1晩かけて全部の領域を平均的に撮影できる。また小惑星の動きは次の画像までに十分に動いている。これにより5deg.四方の領域を観測できる。

観測施設に設置されている赤道儀はこのような動きのスケジュールを組むことが出来る。望遠鏡の導入ズレはほとんど無く、探索時には、それぞれの領域の画像を用いるが、基準恒星での位置合わせをおこなうため特に問題はない。

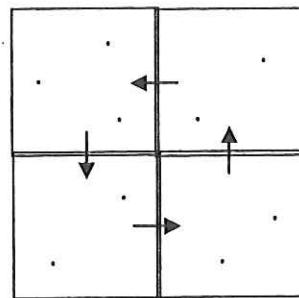


図9 観測例（動かす方向はいろいろ考えられる）

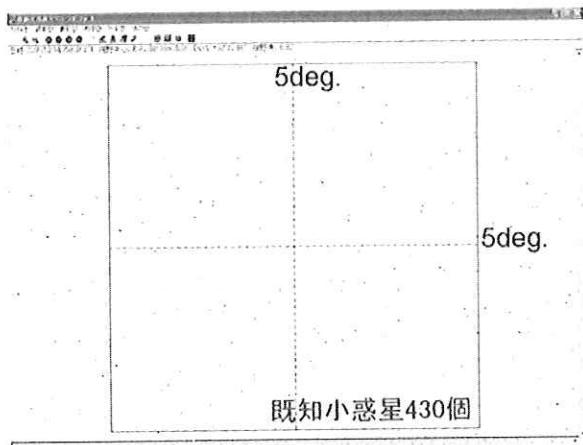


図10 観測視野5deg.四方内の既知小惑星

観測は2009年12月14日におこなったが、あいにく天候状況が悪く、動作試験までとなってしまった。図はそのときの全視野内にいる既知小惑星をプロットしたもので、430個ほどの小惑星がある。観測ができれば、これらの小惑星の9割程度は検出でき、さらに数十個以上の未知小惑星が発見できる可能性がある。この試験観測は、この冬季に再観測を行う予定である。

### 6 まとめ

小口径望遠鏡でも小惑星を発見できる可能性がある。Pan-STARRSが本格稼働しない限り、チャンスはあり、効率の良い観測手法や観測システムの考案により広範囲のサーベイもできるものと思われる。

### 参考文献

- 1) <http://cfa-www.harvard.edu/iau/mpc.html>
- 2) Yanagisawa, T. et al, Automatic Detection Algorithm for Small Moving Objects, PASJ, 57, pp.399-408, 2005.
- 3) H. Kurosaki, et al.: Development of Detection Technology for Space Debris in Nyukasayama Optical Observatory, JSASS, 51st Space Sciences and Technology Conference, 2F16, 2007.

(2010年1月8日受付, 2010年1月15日受理)