

小型望遠鏡による小惑星観測 その2

黒崎裕久・柳沢俊史

JAXA

Minor planet observation by small telescope – Second -

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. 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

世界的規模で大型望遠鏡を用いて、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のサーベイ観測が開始されて早くも10年が過ぎた。この間に明るい小惑星はほとんどが発見されてしまい、アマチュア天文家の小型望遠鏡による小惑星の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）でもまだまだ未知小惑星が発見されており、工夫次第ではチャンスは残されていると思う。

2 小惑星発見の推移

MPC¹⁾によれば、世界における小惑星の発見は図1に示したように1999年頃から急激に増加を始め、2010年11月28日現在の仮符号は540,573個となった。そして追観測から軌道が求まり、小惑星として番号登録されたものはおよそ半分の257,455個となった。今後、Pan-STARRSなどの本格的な稼働により、これらの数字は桁違いで増えると予想されている。

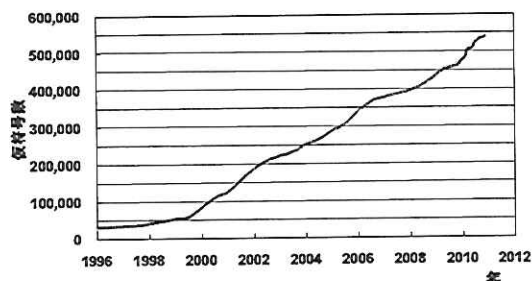


図1 世界の小惑星仮符号取得数の推移

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、従来のように画像を切り替えて、移動している物体を見つけるブリックによって人間の目で小惑星を探すことには限界がある。そこで画像解析により小惑星を発見することは賢明である。JAXAで開発した移動天体検出ソフトウェア²⁾は、同じ領域を恒星追尾で例えば40枚撮り続けた場合、およそ2倍の口径の望遠鏡でないと見えないような暗い小惑星を検出することができる。

JAXAでは小口径の35cm反射望遠鏡と移動天体検出ソフトを用いて、2010年11月までにおよそ350個の新しい小惑星を発見して仮符号を得てきた。22等級を超える暗い小惑星も多く発見しており、そのほとんどが1枚の画像では確認できず、シングル画像のブリックでの移動天体の検出は困難である。

この移動天体検出ソフトは望遠鏡で取得した画像の前処理（ダークフラット補正、スカイレベル調整、恒星除去など）、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本のソフトで処理することができる。

3.1 モーション

小惑星の探索は、移動天体の動き（モーション）に合わせて画像をシフトさせ中央値をとることで移動している天体の検出を行なっている。

図2はメインベルト小惑星の探索時のモーションを例にあげたものである。観測日時と赤道座標からメインベルト中央付近での黄道上でのモーションが計算さ

れる。そのままの設定で探索をおこなえば、それに合った小惑星が検出される。しかし、小惑星は軌道長半径や軌道傾斜などの異なりからいろいろな動きを持っているので、ベクトルの範囲を拡げる必要がある。探索設定で赤経、赤緯を適当に拡げることで、より多くの小惑星を検出することができるが、その分、探索にかかる時間が大幅に増加していく。

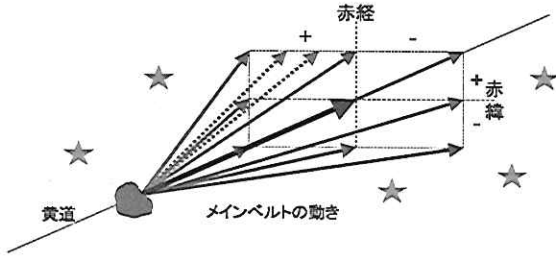


図2 モーションの設定

3.2 重ね合わせブリンク

検出できた移動天体は2次探索処理において、ブリンク機能によってその動きを確認して小惑星とノイズなどを選別するが、暗い小惑星では検出できてもノイズとの判断が大変困難であった。ブリンクによって移動が確認できないもの小惑星として報告はできない。しかし画像をモーションに沿って数枚ずつ重ね合わせながらブリンクを行うことで、検出した小惑星を全て判断できるようになった。ここでは指定した枚数ごとに画像の重ね合わせる組み合わせを順次ずらしていくことでスムーズに天体の動きを確認することができる。この機能により多くの小惑星の発見に繋がった。そして観測領域によっては既知小惑星の検出数以上に未知移動天体を発見できるようになった。

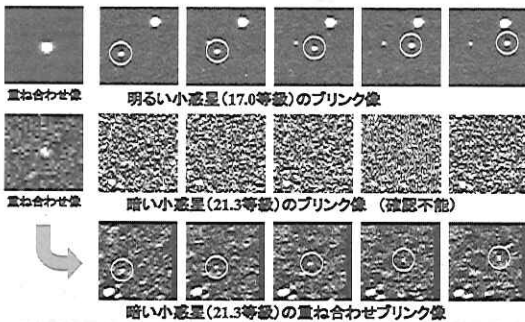


図3 重ね合わせブリンクの効果

3.3 探索ソフトのシーケンス処理

この移動天体検出ソフトは、これまでは手動で前述のような処理を順番に行ってきたが、2009年度末の改良において自動で処理を行うシーケンス機能を搭載した。あらかじめ探索に必要なパラメータをテキスト形

式で記載しておくことで、いくつもの領域を連続して探索を行うことができる。このパラメータファイルは全ての探索に共通する探索用のパラメータファイルと各領域の座標マッチングのための個別情報を記載したファイルの2つからなる。このシーケンス処理によって数領域の探索であっても、二次探索までを自動で処理するため、探索時間の大幅な短縮と人手を省けることになった。探索者はシーケンス処理終了後に二次探索において検出した候補を確認すればよく、検出状況に応じて一次探索から手動でやり直せばよい。

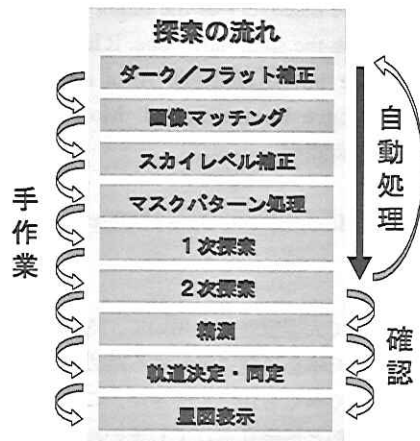


図4 探索のシーケンス処理

4 メインベルト小惑星の発見

我々はこれまで、おもにメインベルト小惑星の発見を行ってきたが、ここにその経験に基づく観測領域の決め方を述べる。

メインベルト小惑星の観測領域の決め方

- ① 観測期間は下弦から上弦までの新月期間がよい。満月期間ではスカイが高くなり、新発見となるような暗い小惑星は検出が難しい。
- ② 月が出ている場合は離角を十分とる。ただし時期によっては小惑星が明るくなる衝付近に月があると小惑星の発見はほぼ無理である。
- ③ 衝付近で小惑星の移動量が十分あること。留付近では小惑星の動きが遅いことに加え、移動方向がバラバラしているので検出が難しくなるので観測は避ける。この移動天体検出ソフトは、当然ながら小惑星が十分に移動していないと検出することはできない。
- ④ 衝よりやや手前がよい（その領域を観測している人が少ない可能性あり?）。この場合、先に発見しておき、あとは追観測を待てばよい・・・。
- ⑤ 小惑星は黄道付近が最も多く、ほとんどの小惑星が発見され尽くしている。黄道の±10度ぐらい

の範囲で少し離すとまだ発見されていない小惑星がたくさん出てくる場合がある。ただし黄道から離れるほど小惑星は少なくなるので注意する。

- ⑥ 黄道の北側（上）の方が高度が高いので光害、大気の影響も少なく有利である。
- ⑦ 小惑星を観測している数時間は十分な高度があること。
- ⑧ 天の川や、大きな星雲星団を避け、観測視野内にできるだけ明るい恒星がないこと。
- ⑨ 数日後に追観測を予定している場合は、追観測時にも明るい恒星が入らないように領域を決めるのが望ましい。
- ⑩ 観測視野に新しい仮符号がないこと。また既知小惑星でも近隣の観測がないのが望ましい。もし新しい観測があるとその周辺は探索されている可能性がある。これはMPCのMPES (Minor Planet & Comet Ephemeris Service)などで調べれば分かる。

これらを考慮して、移動天体検出ソフト付属のスターチャートを使うと、既知小惑星を全て表示できるので、観測する視野を決定する際の強力なツールとなる。

近年では小惑星の発見においてルール変更があり、これまで小惑星の発見報告には複数夜（2夜）の観測が必要であったが、1夜ごとの報告になった。また発見者になるには必ずしも複数夜の観測が必要ではないようだ。

5 広視野サーベイの試験観測

移動天体検出ソフトは恒星追尾による同一領域の画像を数十枚必要とする。この場合、1領域を3分露出で40枚撮るとすれば2時間ほどかかる。1晩に観測できる領域は夜間が長い冬の場合でも、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、暗い小惑星を発見できるような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晩かけて全部の観測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。これにより広範囲を少しは効率的に観測できようである。JAXA入笠山光学観測施設に設置されている赤道儀はこのような観測スケジュールを組むことが可能である。画像は1枚ごとに視野が異なるが、探索時にそれぞれの領域毎の画像において、基準恒星での位置合わせをおこなうため問題はないものと思われる。

5.1 観測システム

今回の試験観測では、JAXA入笠山光学観測施設に設置してある25cm望遠鏡システムを用いた³⁾。望遠鏡とCCDカメラの仕様は表1に示したとおりである。

表1 25cm望遠鏡とCCDカメラの主要仕様

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	FLI Micro Line (e2v CCD 44-82 Back-illuminated)
Pixels	2048×2048
Pixel size	13.5 μm×13.5 μm
Cooling	Peltier
Shutter	Mechanical
FOV	1.26 x 1.26 deg. (with 25cm Tele.)

5.2 試験観測

試験観測は2010年12月4,5日におこなった。観測領域の中心は、R.A. 3h45m, Decl. +26d28mであった。180秒露出で4領域を、ローテーションにより1領域あたり40枚の観測を行った。12月4日は4分ごとに視野を替え、12月5日は3分30秒ごとに視野を替えた。観測当日は晴れたものの途中で少し雲が流れた。

5.3 試験観測の結果

今回の観測では途中で雲が流れたため探索での有効枚数は24枚であった。探索結果は全領域で58個検出し、そのうち未知天体は7個であった。その等級は19.1～20.2であった。全視野内には検出できた小惑星の他に77個もの既知小惑星があるので、今回の探索では物足りない結果となった。図5はその探索結果である。それぞれの領域内の白文字がソフトで検出できた移動天体である。

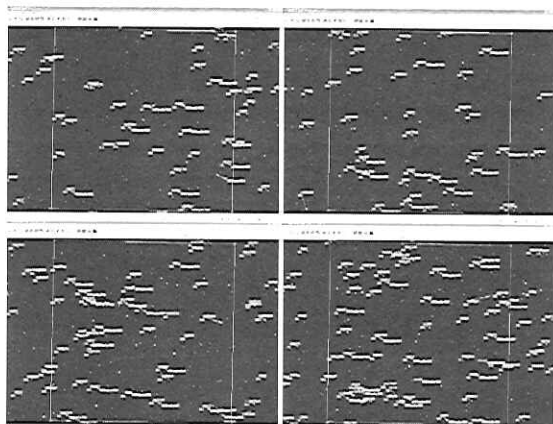


図5 観測結果の星図

5.4 判明した問題

今回の観測で結果が思わしくなかった理由を考えてみた。第一には快晴ではなく探索に用いることができた画像が十分でなかったことがあるが、次のような事も分かった。

- ① 観測領域が西へ行くに従い、視野を切り替えると、ローテーションによって次に回ってきた時に視野ズレが大きくなることがみられた。累積誤差は増加していき、位置合わせにおいて数十ピクセルでの補正が必要になった。
これは赤道儀の導入精度の問題と思われる。
- ② 取得した画像の探索においては、観測時間が長くなったことで探索モーションの範囲が広がり、探索に相当な時間がかかることがわかった。
- ③ 長時間観測しているためスカイの変動が大きくなり、暗い天体の検出が難しくなる。
- ④ 観測中に天候が変わり曇る可能性があり、1視野の枚数確保が難しいことがわかった。そうするとローテーション観測の全視野に影響が発生する。

これらを考えてみると、視野を変えずに観測した方が、条件がよい視野ができる。もし途中で曇ったにせよ、それが全領域に与える影響を最小限にすることができる。

6 NEO検出の可能性

これまでの小惑星観測においてNEO発見の可能性について述べる。

6.1 ケース1

2006年には、メインベルトの小惑星を観測して報告して仮符号を得た中に、2006 EZ1 があつた。これは後日、2006 DZ169 に同定された。報告が若干遅れたため、他の天文台（691 Kitt Peak, Spacewatch）による前後の観測に同定された。

その時は、NEOとは全く分からなかったが、後日に関係者の指摘などでNEOであったことがわかった。調べてみると他のメインベルト小惑星と動く方向はほぼ同じであったが速度は他の2倍であった。NEOがちょうど遠地点メインベルト付近にいた時に観測されたことが分かった。

6.2 ケース2

2007年3月には、メインベルト小惑星を観測していた領域にたまたま未知のNEOの（2007 EJ88）がいたことが数日後の探索解析中に判明した（図6参照）。

21等台のため目視では発見できず、プリンクによる探索では検出できない。

MPCによれば、14日に最初の発見報告（G96 Mt

Lemmon Survey）の記録があるので、13日に検出でき報告していれば、獲得できたと思われる。

観測したら探索を早く行ない早めに報告することが重要だと痛感した。

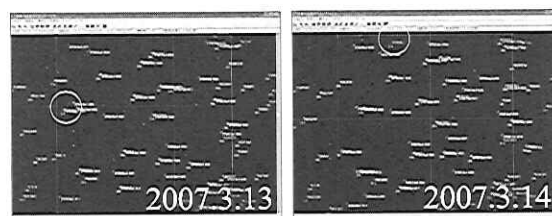


図6 NEO (2007 EJ88)

7 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。今後、海外の大型サーベイ観測が本格稼働しない限り、チャンスはあると思われ、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。また、メインベルト小惑星をターゲットにしても、まれにNEOが観測できる可能性もあることが分かる。ただ、最近プロのサーベイの処理が優先され、従来のようにアマチュアの観測への待遇がされなくなったことが懸念される。

参考文献

- 1) <http://www.minorplanetcenter.org/iau/mpc.html>
- 2) Yanagisawa, T. et al, Automatic Detection Algorithm for Small Moving Objects, PASJ, 57, pp.399-408, 2005.
- 3) <http://www.ard.jaxa.jp/research/mitou/mit-kansokusouti.html>

(2011年4月15日受付, 2011年5月11日受理)