

## ウズベキスタン／マイダナク天文台での 日本人研究者の活動

吉田二美<sup>1)</sup>

1) 自然科学研究機構 国立天文台 国際連携室

### Research collaborations with Maidanak Observatory in Uzbekistan

Fumi YOSHIDA

#### Abstract

We started research collaboration with Maidanak Observatory in Uzbekistan in the summer of 2003. At this collaboration, we have observed the young asteroid families for the last 5 years for obtaining their lightcurves and colors. Several papers related to space weathering and collisional properties were published so far. Recently the collaboration was extended to other research groups. People from NAOJ, JAXA, BSGA etc. are interested in the Maidanak observatory. Because the sky condition of Maidanak is suitable for astronomical observation. In 2009, we carried out re-aluminizing the mirror of the 60cm telescope of Maidanak observatory. We held the Maidanak users meeting so that researchers can discuss the maintenance and operation methods at Maidanak in 2009, 2010. For supporting the education of the young, we invited two students to a training seminar for asteroid observations at NAOJ, JAXA and BSGA in Japan in 2010 February. We hope to encourage the development of astronomy in Uzbekistan through our research collaboration.

Key Words: Research collaborations, Maidanak observatory, Uzbekistan

#### 1 はじまり

台湾の国立中央大学のポスドクをしていたとき、「ウズベキスタンにマウナケア並みに良い空がある」と言う噂を聞いた。ウズベキスタンに行ってみると実際に観測したことがあるWen-Ping Chen教授に聞いてみると「そりゃもうすごいから行ってみる」ということだったので、当時同じく国立中央大学のポスドクだった高橋茂さん（現国立天文台野辺山宇宙電波観測所）を誘ってマイダナク天文台の空を見に行くことにした。

2003年8月、ユーラシア大陸の真ん中に我々は立っていた。ウズベキスタンの首都であるタシケントの空港から車で5時間走って辿り着いたサマルカンドはマイダナク天文台から一番近い都市であり、かつてのシルクロードの中継地点でもある。「青の都」とも呼ばれるように、青い屋根のモスクが青い空に溶け込んでいた。マイダナク天文台はさらに車で5時間山道を走って到着する（現在はタシケント-サマルカンド間を鉄道で行けるようになったので、10時間のドライブは必要なくなった）。夜マイダナクで夕飯を食べ終わって、見上げた夜空に息を飲んだ。圧倒されるとはこういうことを言うのだろう。天蓋に覆いかぶさるような天の川、暗黒星雲も星の集まっている部分も、星の色の違

いもはっきり見える。この辺りの住民はガリレオ・ガリレイに教えられなくても天の川が星の集まりだと知っていたに違いないと思う。マイダナクの天の川はマウナケアで見た天の川よりずっと近くに見え、今も強烈な印象として私の中に残っている。

マイダナクにある1.5m望遠鏡で若い小惑星族として有名なカリン族に属する1つの小惑星の光度変化を4晩にわたり観測した。解析の後きれいなライトカーブが描き出された。この時マイダナクにはお国の事情で（ソ連崩壊以降維持費がない）60cm望遠鏡が3台も放置されているのを知った。望遠鏡は観測可能な状態なので、CCDカメラさえあれば自由に観測できるとのことだった。早速日本に帰って中村士助教授（当時）に相談すると、国立天文台の研究推進費でCCDカメラを買ってくださった。これがウズベキスタンとの長い付き合いの始まりである。以後国立天文台とマイダナク天文台を所轄するウルグベク天文研究所<sup>1)</sup>と共同研究協定を結び、1台の60cm望遠鏡の観測時間50%を占有して、小惑星の観測をしてもらっている。これまでの共同研究の履歴を表1にまとめた。遅々としてではあるが、マイダナク天文台の観測データを使った論文も出始めた（表2）。

表1 共同研究の履歴

2003.08	マイダナク天文台の1.5 m望遠鏡で若い小惑星族小惑星を観測(個人的共同研究の始まり。60cm望遠鏡がCCDカメラがなく放置されていることを知る)
2004.12	国立天文台とウルグベク天文研究所で共同研究協定を締結
2005.03	国立天文台の経費でST9を買って、60cm望遠鏡に取付
2006.04-2009.03	科研費で望遠鏡オペレーターを雇い、若い小惑星族小惑星を継続観測
この頃からいろんな日本人がマイダナクに行き始める	
2009.03	共同研究協定を2012年3月まで延長
2009.04-2012.03	日本学術振興会のアジア・アフリカ学術基盤形成事業による予算がついた(代表者:伊藤孝士・国立天文台) マイダナク天文台ユーザーズミーティング、若手研究者育成のための観測講習会の開始、60cm鏡の再蒸着等観測装置整備の援助

表2 共同研究に関連した論文

- マイダナク天文台で取得した観測データを使った論文  
T. Ito and F. Yoshida, "Young asteroid families and their lightcurve observation at Maidanak Observatory, Uzbekistan", in *Advances in Geosciences* (Eds. Anil Bhardwaj et al.), World Scientific, Singapore, accepted for publication, 2010.  
F. Yoshida, T. Ito, M. Ibrahimov, et al., "Photometric Observations of Young Asteroid Families at Maidanak Observatory", (2009) *Advances in Geosciences*, vol.15, 119.
- 他の天文台で取得したデータを含む関連論文  
Ito & Yoshida (2007) *Publ. Astron. Soc. Japan*, 59, 269.  
Ito & Yoshida (2006) *Adv. Geosci.*, 3, 317.  
Sasaki, Yoshida, Ito, et al. (2006), *Adv. Geosci*, 3, 311  
Sasaki, Yoshida, Ito, et al. (2006), *Adv. Space Rev.*, 38, 1995.  
Yoshida, Ito, et al. (2004), *Publ. Astron. Soc. Japan*, 56, 1105.  
Sasaki, Yoshida, Ito, et al. (2004), *Astrophys. J.*, 615, L161.

## 2 マイダナク天文台の観測条件

### 2.1 天候と望遠鏡

ウズベキスタンと日本との時差は4時間。マイダナク天文台<sup>2)</sup>はサマルカンドから南に120km, アフガニスタン都の国境から北に120kmのなだらかな山岳地帯にある。経度は+66.89641度、緯度は+38.67332度、標高は2593mで、高山ではあるが体に負担はほとんどない。この観測サイトは旧ソ連の大学が天文観測所を作るために開拓されたサイトである。マイダナクの観測条件の調査は1980年代から行われてきた。1996-1999年のシーイングの調査では平均シーイングサイズは0.69秒角、1999-2003年の調査では0.71秒角と安定している。晴天夜数は年間200日以上、特に7-9月はほぼ100%快晴状態が続く。

望遠鏡は1980年代のまま更新されていない。1.5mが1台、1mが1台、60cmが4台あるが、観測できるようにな

っているのは1.5mと60cm2台だけ。望遠鏡は全部手動操作で、自動導入はできない。

### 2.1 国際協力体制

マイダナクが出来た当初、1980代はソ連の“Kitt Peak”と呼ばれるほどの観測所で、一日に10回ほどヘリコプターが行来し、ソ連の大学が幾つも望遠鏡の建設計画を立てていた。しかし1991年のソ連崩壊後、状況が一変する。天文学者はほぼ全員がロシアに帰り、あるいは天文学をあきらめ、望遠鏡だけがウズベキスタンに残された。ウズベキスタンには望遠鏡を維持する予算はなく停滞状態が続くが、2000年代になって国際協力を開始し、ようやく観測所を維持して行く目途が立ったと聞いている。2009年現在、ロシア、ウクライナ、韓国、日本が主たる協力国である。ロシアやウクライナは望遠鏡のメンテナンス等技術的なサポートと引き換えに1.5m望遠鏡の観測時間の提供を受ける。東アジアの国々との共同研究で最初にスタートしたのは台湾の国立中央大学のWen-Ping Chen氏であるが、うまくいかず止まってしまった。韓国はソウル大学のMyungshi Im氏を中心に、大学連合を作って、年間5000-20000ドルを投入して、1.5mの望遠鏡を使用している。日本は望遠鏡オペレーターを年間5000-8000ドルで雇い、60cmの観測時間の50%を占有している。観測だけでなく、取得したデータの一時処理までをウズベキスタンの学生にお願いしている。2009年に日本学術振興会のアジア・アフリカ学術基盤形成事業による予算がついてから、マイダナク天文台ユーザーズミーティング、若手研究者育成のための観測講習会の開始、60cm鏡の再蒸着等観測装置整備の援助なども開始した。以下にマイダナク天文台に関連して展開されている国立天文台、JAXA、日本スペースガード協会他の日本人研究者の活動を紹介する。

## 3 日本人研究者グループの活動

日本人研究者の活動を大きく分けると研究者個人のサイエンスベースのもの、望遠鏡の整備、研究者同士の交流促進、若手研究者の教育支援に分けられる。

### 3.1 若い小惑星族構成員の多色測光観測

形成年代の若い小惑星族に属する小惑星のサイズ分布や、形状、自転周期分布は天体衝突プロセスの物理過程を反映していると考えられる。さらに表面カラーからは宇宙風化の影響をあまり受けていない物質情報を得ることができる。これら点から、若い小惑星族小惑星の物理特性を観測することは非常に重要で、マイダナクでは主にS型の若い小惑星族であるKarin族、Iannini族、C型の若い小惑星族であるVeritas族の観測を行っている。この研究は国立天文台の研究者を中心に行われている。定常的に観測が始まったのは2006年からだが、これまで数十個の小惑星の自転周期を決めることができた。図1(a, b)はそれぞれ Karin, Veritasという若い小惑星族の小惑星の自転周期とライトカーブの振幅をプロットしたものである。図1(c, d, e, f)は

カタログから抜き出した古い小惑星族の自転周期とライトカーブの振幅のプロットである。これらと比べると、若い小惑星族では細長い小惑星ほど、自転は遅く、自転が速い小惑星はまるっこい形状をしている傾向があるように見える。一方、古い小惑星族では、そのような傾向は見られない。おそらく族を作った衝突以後にさらに衝突進化を受けて、若い小惑星で見られる傾向が見えなくなってしまったものと思われる。

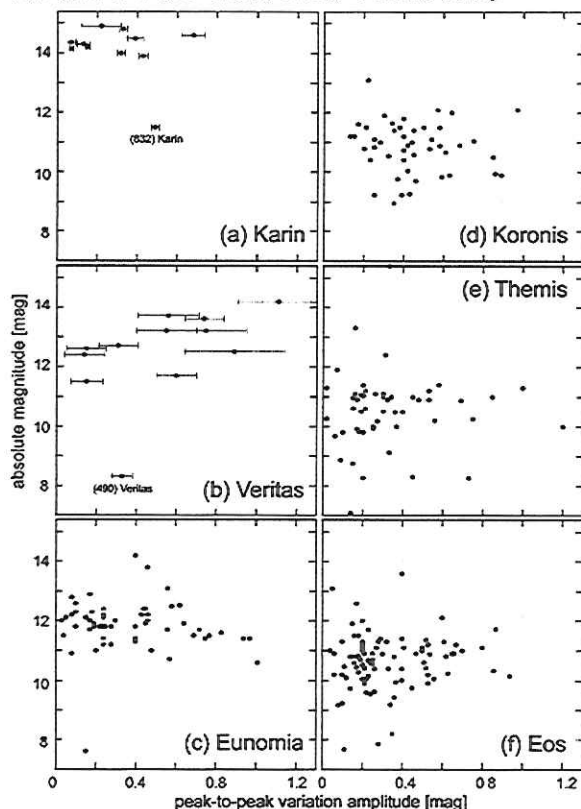


図1 若い小惑星族と古い小惑星族の自転周期vs. 形状。若い小惑星族では細長い小惑星は自転が遅く、球形に近い小惑星は自転が速い傾向が見られる。

### 3.2 未知小惑星の検出

図2は、2009年11月にJAXAの未踏技術研究センターの柳澤俊史、黒崎裕久両氏がマイダナクのシーイングサイズを測るために使用した20cmの望遠鏡セットである。望遠鏡はセレストロンのシュミットカセグレン口径20cm（二人がかりで手で運び込んだもの）、赤道儀はビクセンのGPD（SkySensor2000）、CCDカメラはNILの1K1Kである。このシステムでは観測視野は $0.38^\circ$ である。一回の露出は30秒で1視野を約2時間観測。240枚の画像を取得した。この観測を2領域行った。小惑星検出には未踏技術研究センターで開発されたソフトを使い、領域1では7個の小惑星が検出された。そのうち2個が未知小惑星であった。領域2でも小惑星は7個検出でき、1個が未知小惑星であった。両領域とも約20等まで検出可能であった。一晩分の観測データしかなかったので、

MPCには報告できなかったが、20cmの小型望遠鏡で3個の未知小惑星が検出されたことは驚きであり、マイダナクのシーイングの良い空ならではの成果である。

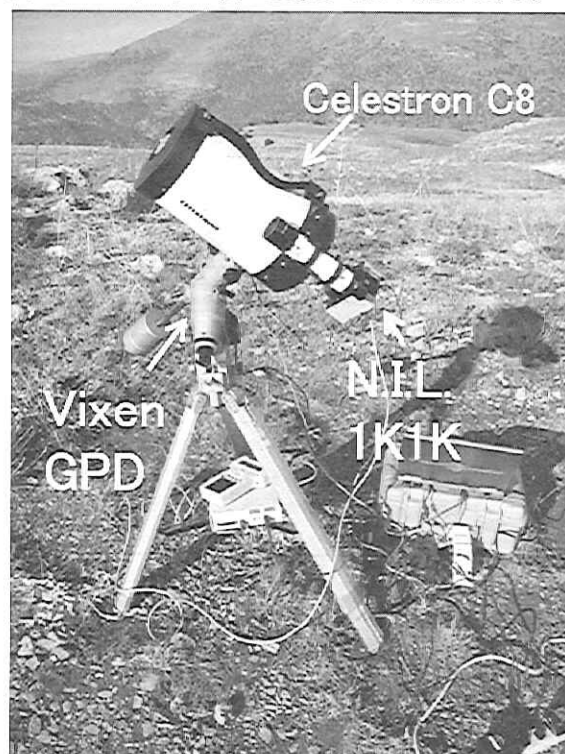


図2 マイダナクで未知小惑星を検出した20cmの望遠鏡セット。

### 3.3 60cm望遠鏡の改良についての検討

20cm望遠鏡でも未知小惑星が見つかるなら、60cm望遠鏡なら、確実にもっと多くの未知小惑星を見つけることができるはずである。そこで、現行の60cm望遠鏡の視野を広げて、サーベイ専用の望遠鏡に出来るかどうかの検討を京都大学の菅野浩名教授にお願いした。レーザーを付けることで、技術的には1平方°まで広げることが可能とのことである。

現在の60cm望遠鏡は天体の自動導入が出来ないので、観測効率が非常に悪い。観測天体を変えるたびにオペレーターがCCDの狭い視野に手で天体を導入しなければならないからである。不慣れたオペレーターの場合天体導入に1時間かかることもある。望遠鏡の架台を取り替える予算はないので、国立天文台・岡山天体物理観測所の沖田喜一主任研究技師に赤経と赤緯の軸にエンコーダーを付けて望遠鏡の向いている座標をデジタル表示する方法を検討してもらった。将来的には非恒星追尾が出来るようにして、動きの速いNEOや彗星も観測出来るようにしたい。

### 3.4 60cm望遠鏡の整備

若い小惑星族を観測している60cm望遠鏡の鏡の表面

が薄いダストの層が出来るほど汚れていたもので、2009年の8月に鏡の洗浄を行った。Scatterometerという相対反射率の測定器で洗浄前の鏡の反射率を測ると68%だったが、水とアルコールで洗った後、反射率は81%まで回復した。

7年前にウズベキスタンでアルミを蒸着したという60cm望遠鏡のスペアの鏡を見せてもらった。これもとても汚れていて、反射率は50%もない状態だった。そこで、このスペア鏡を日本に送って蒸着釜のある国立天文台・岡山天体物理観測所でアルミを再蒸着することにした。輸送業者を通じて通関手続き等をしてもらい、2010年1月に鏡が岡山に到着した。蒸着作業は2010年4月12-13日に行った。表面のアルミを水酸化ナトリウム溶液ではがして、重曹で研いできれいに落とし、蒸着釜に入れる。翌朝蒸着釜から取り出された鏡は見事にピカピカだった。2010年6月には鏡はマイダナク天文台に戻り、60cm望遠鏡に取り付けられた。鏡をきれいにしたことで、限界等級が少し良くなり、今まで暗くて観測できなかった40個ほどの若い小惑星族小惑星を新たに観測リストに加えることができた。



図3 再蒸着前の鏡(上)と再蒸着後の鏡(下)

### 3.5 マイダナクユーザーズミーティング

マイダナク天文台を使っている研究者を一堂に集めて情報交換をする機会として2009年度からユーザーズ

ミーティングを立ち上げた。これは日本学術振興会アジア・アフリカ学術基盤形成事業から資金(年間500万円を3年間。代表:伊藤孝士・国立天文台)を受けて始まった。以前はマイダナクを使っている研究者同士が会うことは全くなかったが、研究者同士の顔が見えたことで、マイダナク天文台の効率的な運用、支援等を話し合う機会を持つことができた。韓国のユーザーが最も多かったため、第1回目はソウル大学で開催した。第2回目はウズベキスタンのウルクベク天文研究所で行い、その後参加者ほぼ全員がマイダナクに見学に行った。各国のユーザーがマイダナクに集まるのは初めてとのことで、一人一人が部屋の壁に記念のサインを残した。第1、2回目ともに50名ほどが参加した。第3回目は2011年6月27-28日に日本の東京国際交流館で開催される。



図4 第1回目(上)と第2回目(下)のマイダナクユーザーズミーティングの集合写真

### 3.6 若手研究者育成のための講習会

日本と異なり、マイダナクの望遠鏡オペレーターは必ずしも天文学の教育を受けた人ではない。そこで、観測技術/精度向上のために、2009年度から観測トレーニング、データ解析講習会も開催している。これも日本学術振興会アジア・アフリカ学術基盤形成事業からのサポートである。少しでもウズベキスタンの若手研究者育成に貢献できればと思う。2週間ほど日本に招いて、JAXAの未踏技術研究センターの入笠山観測所や美星スペースガードセンターで観測実習を行う。また最先端の科学成果を生み出す観測所の例として、国立天文台の岡山天体物理観測所を見学する。国立天文台三鷹では毎年国立天文台天文データセンター主催で開催されるIRAF講習会に参加し、データ解析の方法を学習する。昨年はウズベキスタンと台湾から一名ずつ学生が参加した。今年度はウズベキスタンから3名が参加する予定である。

### 3.7 太陽系小天体観測の理論的支柱の構築

太陽系小天体を観測するだけでは太陽系の歴史や成り立ちについての研究には不十分である。観測家だけ

ら天体を観測して何か論文が書ければ良いという考えでは大局的な太陽系進化史の中に太陽系小天体の研究を位置づけることが出来ないからである。ウズベキスタンとの共同研究を進める上で私達はこの点にも十分に留意し、理論的な研究を行っている研究者を積極的に取り込み、マイダナクを舞台とした共同研究が単なるad hocな観測作業の繰り返しではなく、太陽系の歴史を理屈の上で理解した上での研究活動となるように留意している。このためには若手研究者への教育も重要であり、将来的にウズベキスタンから招聘する学生への教育には惑星形成標準理論と小惑星との関係などについて習熟できる機会を設けたいと考えている。

#### 4 まとめ

2003年から蓄積されてきた観測データを見て、マイダナク天文台が天体観測にこの上なく適したサイトであることは間違いないと言える。最先端の観測所にするには膨大な設備投資が必要だが、昨今のウズベキスタンの右肩上がりの経済成長が続けば、そのうち自力でも立派な観測所になるかもしれない。我々研究者個人に出来ることは、わずかでも良いので物資と人的支援を継続し、マイダナク天文台ユーザーが途切れないようにすることだと思う。

とりあえず鏡はきれいになったので、若い小惑星族小惑星の多色測光観測は継続して行きたい。できれば新しいCCDカメラを設置したいと思っている。

20cm望遠鏡で未知小惑星が検出出来たのには驚いた。20cmで見つかるなら、60cmでは確実に見つかるので、4台ある60cm望遠鏡のうちの1台をサーベイ用望遠鏡に改良してはどうかと思う。レデューサーをつけたり外したりできるような仕様にすれば、若い小惑星族小惑星の多色測光観測に使っている望遠鏡とシェアすることも出来るだろう。確実に結果が出ることなので、なんとか進めて行く方策を考えたい。マイダナクのある東経70°付近には他にサーベイ用望遠鏡はないので、ここにサーベイ用望遠鏡を構築することはスペースガードの観点からも重要なはずである。

今は立ち消えたようであるが、以前韓国の研究者グループはマイダナクに数mクラスの望遠鏡を設置することを計画していた。最終的には国際協力の下で数mクラスの望遠鏡を持つことがウズベキスタンの研究者にとっても我々にとっても夢である。そのためにはEACOA(東アジア中核天文台連合)や国立天文台国際連携室が一役買うことになるかもしれない。

#### 参考文献

- 1) <http://www.astrin.uzsci.net/projects/index.html>
- 2) <http://www.astrin.uzsci.net/oldweb2/eng/maidanak/>

(2011年3月28日受付, 2011年5月15日受理)