

マイダナク天文台に於ける太陽系小天体データの自動収集システム構築

【共同研究者】

自然科学研究機構国立天文台天文シミュレーションプロジェクト助教 伊藤 孝士 (代表)

自然科学研究機構国立天文台国際連携室専門研究職員 吉田 二美 : 太陽系小天体の観測, データ取得

自然科学研究機構国立天文台岡山天体物理観測所主任研究技師 沖田 喜一
: 望遠鏡システムの設定と調整

自然科学研究機構国立天文台光赤外研究部教授 唐牛 宏 : 国際協力, 多国間協議の調整

宇宙航空研究開発機構未踏技術研究センター主任研究員 柳沢 俊史
: 太陽系小天体の観測, データ取得

宇宙航空研究開発機構未踏技術研究センター招聘研究員 黒崎 裕久
: データ取得, データアーカイブシステム構築

台湾国立中央大・天文研究所教授 陳 文屏 : 国際協力, 東アジア諸国との連携

Ulugh Beg 天文研究所 (UBAI), ウズベキスタン科学アカデミー大学院生 Rivkat Karimov
: データ取得, データアーカイブシステム構築

Ulugh Beg 天文研究所, ウズベキスタン科学アカデミー大学院生 Ruslan Salyamov
: 観測データの処理・解析

Ulugh Beg 天文研究所, ウズベキスタン科学アカデミー大学院生 Anastasia L. Martialkina
: 観測データの処理・解析

Ulugh Beg 天文研究所, ウズベキスタン科学アカデミー教授 Mansur A. Ibrahimov
: 観測所運営, 観測時間割り当ての調整

【研究目的】

小惑星や彗星などの小天体は太陽系の最初期の情報を保持したまま「凍結保存」された貴重なデータであり、地球などの惑星を形成した部材の残片でもある。地球近辺に飛来する小天体を詳細かつ継続的に観測すれば、現在でも未解明点の多い太陽系小天体の物理的実態を知り得、惑星の構成物質が 46 億年という太陽系年齢を通してどのような進化を遂げたのかに関する基礎データを得られる。そうしたデータは近年目覚ましい発展を遂げている太陽系外惑星研究にも大きな貢献を果たすだろうし、宇宙全体に於ける私達の太陽系の特殊性／普遍性を理解するために不可欠な知見をもたらすだろう。また、そのような天体が地球に衝突すれば被害は甚大となり得るので、継続観測によりこうした天体の詳細を知ることは災害予測の観点からも重要である。このような防災科学的見地に立った地球接近小天体の観測は現在主として米国で行われており、アジア地域には観測体制が存在しない。そこで私達は今まで天文観測点が欠如していた東経 70 度付近 (ウズベキスタン) と東アジア地域を結合した観測網を構築し、科学的興味のみならず、万が一にも地球との衝突が発生した場合の災害規模予測と減災に必要なデータを提供できるような地球接近天体の継続観測体制を、天体観測条件の良いウズベキスタンを中心に立ち上げようとする。

地球接近天体の軌道決定では、発見・検出時になるべく長く追跡観測を行うことが肝要である。日本国内で特定の天体を観測できる時間は一晩の長さに制限されるが、日本とウズベキスタン間の 4 時間の時差を利用すれば、より長時間の追跡観測が可能になる。さらに、地球接近天体では地球-太陽-天体の位置関係がめまぐるしく変化し、観測好機に限られるので、発見・検出時に物理観測まで行えることが望ましく、観測網の構築は理学研究の見地からも極めて重要である。

ウズベキスタンのマイダナク天文台は天文観測所として極めて好適な条件を持つ。晴天率は年間 240 日以上、平均シーイング (星像のシャープさ) は世界的な大望遠鏡群が集まるハワイ島マウナケア山頂に匹敵する 0.69 秒角で、雨季はなく一年を通じて観測不能時期が無い。マイダナク天文台はかつてはソ連の天文観測の中心地で、現在はソ連崩壊後の資金不足により保守が疎かに

なっているが、改修により再利用可能な望遠鏡資源が多く眠る。更にウズベキスタンはティムール朝時代にウルグベクがサマルカンドに天文台を建設し、当時の世界最高水準の天文表を作成した歴史を有し、国民や研究者は同国での天文学の再興を強く望んでいるので、マイダナク天文台に資金と最新の天文観測技術、天文学研究の最前線が導入されることを非常に歓迎している。

こうした背景および一連の共同研究計画のうち、本研究助成を用いた研究の目的はマイダナク天文台に於ける観測データの自動収集システムとアーカイブ、そして最新のデータ解析環境の整備である。現在マイダナク天文台にある望遠鏡の観測データは、各望遠鏡を制御する個別の計算機に個別に溜め込まれ、そうした個別の計算機から観測データが取り出されて研究者の手元に渡る機会には実に年1,2度しか無いという状況にある。この理由のひとつはマイダナク天文台に外部と接続されたインターネット環境が無いことであり、もうひとつは、観測データをアーカイブして研究者に提供するという観念が根付いていないことである。そこで私達は、日本から部材を持ち込んでマイダナク天文台にある複数の望遠鏡を制御する計算機群を観測所内ネットワーク（イントラ・ネットワーク）で接続し、各望遠鏡で取得されたデータを観測所共通のデータサーバにリアルタイムで転送して保存するシステムを構築する。また、近い将来マイダナク天文台には衛星回線による定常的なインターネット接続設備が導入される予定である。これを利用し、マイダナク天文台にあるデータのバックアップを兼ねて、すべての観測データを首都タシケントにあるウルグベク天文研究所本部へ毎日転送し、そこで観測データのアーカイブを作りたい。そのアーカイブを拠点にして東アジア地域に在住する研究者にデータアーカイブの内容を転送する。これにより研究者がマイダナク天文台に直接行かなくとも観測データにアクセスが可能になり、データ処理やデータ解析に要する時間が短縮され、生の観測データから学術的成果を導く作業の効率が大きく高まると期待される。データ自動取得システムに加えて、余裕があればマイダナク天文台の望遠鏡設備本体の整備も行いたい。

【研究内容及び成果】

研究目的にもあるように、本研究助成を用いた活動としては(1)マイダナク天文台内のデータアーカイブ用ハードウェアと観測所内ネットワークの整備、(2)そうした設備を用いた小惑星の観測と観測データの処理、それに加えて(3)マイダナク天文台の望遠鏡設備本体の整備作業を行った。

(1)については、まずマイダナク天文台で取得される観測データを収容するデータアーカイブ用のRAIDシステムを手配し、組み立てと動作試験までを日本国内で行った。日本と異なりマイダナク天文台では給電事情が悪く、とりわけ冬季は頻繁に停電が発生する。従ってデータアーカイブ用のシステムは停電時にも運用継続あるいは安全な機器停止を行うべく、システムへの無停電電源装置の接続とそれとの連携動作に注意を払った。また、天文観測のデータは再取得不可能な唯一無二のものであるので、データ保持の信頼性を高めるためにRAID5システム(NAS)を構築することにした。日本でシステム全体の安定動作を確認した後、研究代表者らが11月にマイダナク天文台に赴き、システムの設置と動作試験を行った。マイダナク天文台には常設の観測データアーカイブシステムが存在しておらず、複数ある望遠鏡はデータ備蓄と言う観点では完全に独立している。現地での作業はこの状況を打開することから開始した。当初は各望遠鏡や宿泊施設の間にイーサネットケーブルを直接付設することを考えたが、頑丈な設備を有線で構築するには費用が掛かりすぎるので、無線LANを導入することにした。これらはマイダナク天文台内部のネットワーク整備(イントラネット)に相当する。無線LAN設備についても日本で動作試験を行った後、マイダナク天文台に持ち込んだ。今回は現地で私達の観測拠点になっている0.6m望遠鏡のドームに無線LANの親機を設置し、他の望遠鏡ドームや宿泊施設に対して電波を発信する形式にした。現地で

の実験は成功し、0.6m 望遠鏡で取得されたデータは私達が持ち込んだデータアーカイブ用システムに蓄積され、マイダナク天文台の他の場所から共通して参照できるようになった。

小惑星に代表される太陽系小天体はその数と種類が非常に多く、それらの物理特性は光度の時間変化や表面カラーの時間変化に現れることが多いので、ある程度長期間集中した観測が望まれる。そこで(2)小惑星の観測と観測データ処理については、マイダナク天文台に滞在する観測要員に毎月の観測計画を送付し、それに基づいて定常的な観測を依頼して実施した。とりわけ私達がここ数年取り組んでいる若い小惑星の族（ごく最近の衝突破壊現象に於いて形成された小惑星のグループ）の観測については、その光度変化曲線や表面カラーの分類などに関してマイダナク天文台0.6m 望遠鏡を使って重要な観測データを得ることが出来た。従来そのデータは望遠鏡に直結された制御用PCに無造作に放り込まれており、バックアップなども取られていなかったが、上述したデータアーカイブシステムを構築したことによってデータ保持の安全性が向上し、なおかつ観測所内の他の場所からも参照できるようになった。例えば、天候不順な晩には観測所内の宿泊施設に於いて観測データの処理や解析が可能になったし、望遠鏡制御用のPCとデータ保存用PCを分離したことで、観測中に簡易的なデータ解析も可能になった。研究成果の一部については後記されたように何本かの論文として学術雑誌に発表された。

本研究助成による研究実施に於ける主な目論見違いとして、マイダナク天文台と首都タシケントとのインターネット接続が当初予定の2009年には開通しなかったことがある。これはウズベキスタン政府側の設備事情によるもので、私達には解決できない問題である。このため、マイダナク天文台とタシケントのウルクベク天文研究所本部を直接つなぐデータ転送が不可能となり、研究計画の一部変更を余儀なくされた。このため私達は残りの研究助成費を(3)マイダナク観測所の望遠鏡設備の整備、即ち取得されるデータの質を高める方向に使用した。具体的には、マイダナク観測所の0.6mおよび0.48m望遠鏡の主鏡を取り外して日本に輸送し、そこで洗浄・表面へのアルミの再蒸着を行って反射率を高める計画である。このための鏡の輸出作業は2009年10月から2010年1月にかけて実施され、洗浄と再蒸着作業が行われて、両鏡の反射率は格段に改善された。この改善により今後はより暗い天体まで観測可能になると期待される。

【今後の研究の見通し】

2009年に予定されていたマイダナク天文台のインターネット接続がウズベキスタン政府の事情により延期されたため、申請時の研究計画のうちデータの自動転送部分、即ちマイダナク天文台から観測データがタシケントのウルクベク天文研究所のデータサーバにリアルタイムで転送され、日本を始めとする東アジア諸国の研究者が直ちにそれにアクセスできる仕組みを作ることは出来なかった。けれどもこの実現のための基礎的な準備（ソフトウェアシステムの構築）については本研究助成期間内に相当部分を達成したと思われるので、マイダナク天文台のインターネット接続さえ開通すれば当初の目標に到達することはさほど困難ではないと考えられる。

マイダナク天文台内のイントラネット整備については、私達の観測拠点である0.6m望遠鏡および宿泊設備の周辺は完了した。が、マイダナク天文台には他にも多数の望遠鏡設備が存在する。そうした望遠鏡群ではそれぞれ異なる計算機制御が行われており、それぞれの制御用計算機からの異なるデータフローを今回設置したデータアーカイブシステムに整合的に受け取らせる設定は今後も継続して実施する必要がある（技術的に困難なものではなく、若干煩雑という程度）。また、観測時の気象条件や観測機器の状況の記録（環境データ）も自動的にデータサーバにアーカイブする仕組みを作製したい。このためにはイメージスキャナなどを活用し、一旦紙に記録した環境データを半自動的に電子化してそれらをデータサーバに送り込む手順を確立する。

将来的な研究計画の中で重要になって行くのは、一連の機材運用やデータ転送システムの操作・保守をウズベキスタン現地の担当者に任せられる状態にすることである。私達は今までもウズベキスタン側の共同研究者とマイダナク天文台での共同観測作業を実施して来ているが、観測データの自動取得・自動転送システムはマイダナク天文台では前例の無いものである。このようなシステムが長期にわたり定常的に稼動するためには、システム運用のポリシーや技術的詳細について現地の作業員への事細かな指導が欠かせない。このために私達は今後も定期的にウズベキスタンを訪れ、技術移転や指導を継続してゆく予定である。そのような活動の蓄積、とりわけ現地の若手研究者に対する知識の伝授は、ウズベキスタンの天文学水準の底上げにとって大きな役割を果たすはずである。

【本助成による主な発表論文、著書名】

(本研究助成期間の研究成果に直接よるもの。すべて査読付き欧文)

Takashi Ito and Renu Malhotra, "Asymmetric impacts of near-Earth asteroids on the Moon", *Astronomy & Astrophysics*, 519, A63, 2010.

Takashi Ito, Fumi Yoshida, and Mansur Ibrahimov, "Young asteroid families and their lightcurve observation at Maidanak Observatory, Uzbekistan", *Advances in Geosciences* (Anil Bhardwaj et al. eds.), 25, 161-172, 2010, World Scientific, Singapore.

Takashi Ito and Fumi Yoshida, "Near-infrared lightcurves of a very young asteroid, Karin", in *Advances in Geosciences* (Anil Bhardwaj and Wing-Huen Ip, eds.), 19, 285-294, 2009, World Scientific, Singapore.

Fumi Yoshida, Takashi Ito, Shigeru Takahashi, Mansur A. Ibrahimov, and Anastasiya L. Marchalkina, "Photometric observations of young asteroid families at Maidanak observatory", in *Advances in Geosciences* (Anil Bhardwaj et al. eds.), 15, 119-132, 2009, World Scientific, Singapore.

(本研究助成期間の研究成果に直接よらないが、参加研究者を含んだ関連分野論文。すべて査読付き欧文)

Katsuhito Ohtsuka, Aiko Nakato, Tomoki Nakamura, Daisuke Kinoshita, Takashi Ito, Makoto Yoshikawa, and Sunao Hasegawa, "Solar radiation heating effects on 3200 Phaethon", *Publ. Astron. Soc. Japan*, 61, 1375-1387, 2009.

Shigeru Takahashi, Fumi Yoshida, Koji Shinokawa, Tadashi Mukai, Koji Kawabata, "Simultaneous photometric and polarimetric of asteroid 3 Juno", *The Astronomical Journal*, 138, 951-955, 2009.

Toshihiko Kadono, Masahiko Arakawa, Takashi Ito, and Keiji Ohtsuki, "Spin rates of fast-rotating asteroids and fragments in impact disruption", *Icarus*, 200, 694-697, 2009.