

国立天文台 岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡
共同利用の京都大学 3.8m 望遠鏡への移行に関する
要望書

岡山天体物理観測所 共同利用ユーザー 一同

2015 年 12 月 7 日

概要

大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 国立天文台(以下、国立天文台) 岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡の共同利用を停止し、京都大学 3.8m 望遠鏡に共同利用を移行する計画に対し、我々、岡山天体物理観測所の共同利用ユーザーは以下を国立天文台に要望する。

- 「京大 3.8m 望遠鏡共同利用推進小委員会」(仮)の設置
- 国立天文台による岡山天体物理観測所のインフラストラクチャの維持

これらは各研究グループから出ている要望を実現するために共通して必要な事項である。次に、各研究グループからの要望を以下に列挙する。

- 恒星視線速度精密測定観測のための可視高分散分光機能の維持
- 頻繁な繰り返し観測を必要とする連星系の変動モニター観測のための可視高分散分光機能の維持
- 早期型(OB)星の振動の観測のための可視高分散分光機能の維持
- 銀河系内新発見天体の分類のための低分散分光機能の維持
- トランジット系外惑星サイエンスのための岡山観測所のインフラストラクチャの維持
- 真空蒸着装置の継続的な利用

各研究グループは上記の要望を実現するために外部資金の獲得を目指していることも多い。今回の共同利用システムの移行に際しては、国内における研究の多様性が損なわれないよう、上記の要望ができるだけ多く実現することを望む。

目次

1. 背景	4
2. ユーザー全体からの要望	11
要望2-1 「京大 3.8m 望遠鏡共同利用推進小委員会」(仮)の設置	12
要望2-2 国立天文台による岡山天体物理観測所のインフラストラクチャの維持	14
3. 各研究グループからの要望	16
要望3-1 恒星視線速度精密測定観測のための可視高分散分光機能の維持	17
要望3-2 頻繁な繰り返し観測を必要とする連星系の変動モニター観測の為の可視高分散分光機能の維持	24
要望3-3 早期型(OB)星の振動の観測のための可視高分散分光機能の維持	28
要望3-4 銀河系内新発見天体の分類のための低分散分光機能の維持	31
要望3-5 トランジット系外惑星サイエンスのための岡山観測所のインフラストラクチャの維持	35
要望3-6 真空蒸着装置の継続的な利用	39

1. 背景

大学共同利用機関法人自然科学研究機構国立天文台(以下、国立天文台)岡山天体物理観測所(以下、岡山観測所)188cm 望遠鏡は 1988 年(昭和 63 年)に国立天文台が大学共同利用機関になって以来、共同利用望遠鏡として国内を中心に多くの研究者に利用されてきた。2015 年現在でも共同利用に供することができる観測時間に対して、利用者からの申請時間は 2〜3 倍多く、共同利用望遠鏡として適切な倍率での運用が続いている。2000 年代初め、京都大学は岡山観測所の敷地内に口径 3.8m の新しい望遠鏡(以下、京大 3.8m 望遠鏡)を建設する計画を開始した。この計画は、国内では初めてとなる分割鏡制御や、鏡材の研削加工等、技術的な課題に挑戦すると共に、望遠鏡完成後は岡山 188cm 望遠鏡の後継となることが期待された。京都大学のこの計画をもとに、2010 年(平成 22 年)、国立天文台の運営会議において観山正見台長(当時)から、京大 3.8m 望遠鏡が完成した後は、その観測時間の半分以上を共同利用に供すること、またその後、国立天文台は岡山観測所を運用しないことも含めて検討すること、などが提案された。[1] この提案以降、岡山 188cm 望遠鏡から京大 3.8m 望遠鏡への共同利用の移行や、岡山観測所のサイト・インフラストラクチャ(以下、インフラ)・ファシリティの将来像についての議論が国内の光赤外線天文学コミュニティで開始された。例えば同年、国立天文台内の光赤外専門委員会や、国内の研究者組織である光学赤外線天文連絡会から、岡山観測所施設の有効利用、及び共同利用ユーザーの研究継続の必要性などが指摘されている。[2][3]

その後、京大 3.8m 望遠鏡計画は望遠鏡本体とドームの建設費用面での実現性が不透明だったため、岡山観測所ユーザー内で具体的な方向性を決定するには至らなかったが、2014 年に京大 3.8m 望遠鏡本体、2015 年にはそのドーム建物への概算要求が認められた。2015 年 12 月現在では岡山観測所敷地内において京大 3.8m 望遠鏡が仮ドーム内に設置され、ドームの設計も最終段階に入っている。このように、京大 3.8m 望遠鏡計画は実現の見通しがたち、これを受けて、国立天文台、京都大学、および岡山観測所ユーザーは至急、共同利用の移行や岡山観測所の今後について方針を決める必要に迫られた。そこで、2015 年 8 月 17―18 日に開催された「2015 年度岡山(光赤外)ユーザーズミーティング」(以下、岡山 UM2015)において、林正彦 国立天文台 台長も交えて現状の確認と今後の方針について観測所とユーザー間で集中的な議論が行われた。

岡山 UM2015 での議論の結果、確定事項として以下の 3 点が確認された。

1. 京大 3.8m 望遠鏡はその完成後、観測時間の少なくとも相当部分を大学共同利用に供する。
この共同利用の推進にあたっては国立天文台がその責務を果たす。
2. 京大 3.8m 望遠鏡による共同利用の開始後に、岡山 188cm 望遠鏡の共同利用は停止し、共同利用は京大 3.8m 望遠鏡に移行する。

3. 岡山 188cm 望遠鏡の共同利用停止後、国立天文台は岡山観測所の運用経費と人員のかなりの部分を京大 3.8m 望遠鏡の共同利用のために供出する。

「1.」は 2013 年(平成 25 年)に国立天文台と京都大学との間で交わされた覚書にも同内容が書かれている。[4] ここでいう「少なくない相当部分」は観測時間の「約半分」であることが、岡山 UM2015 で京都大学側から提案されている。「2.」について、移行は 2018 年(平成 30 年)が予定されているが、その時点で京大 3.8m 望遠鏡が共同利用として使用する段階に十分には達していない場合等を想定し、年限は定まっていないことが林台長から確認された。「3.」について、参考までに 2015 年度の岡山観測所の予算額は一億円弱であり、したがって、共同利用移行後も数千万円台の経費が国立天文台から京大 3.8m 望遠鏡の共同利用のために供出される見込みになる。ただし、共同利用移行後も岡山のインフラを国立天文台が保持・運用する要望がユーザーからあれば、その分、京都大学に供される経費は少なくなることが林台長からコメントされた。また、現在岡山観測所に充てられているリソースより多いリソースを本件に関して求める場合は、国立天文台の他プロジェクトの予算を削ってでも実現すべき強い理由を明示する必要があり、外部資金獲得の自助努力がまずは必要、ともコメントされた。

共同利用の移行については、岡山 UM2015 で岡山観測所の泉浦所長から具体的な移行案が提示された(図1)。それによると、岡山 188cm 望遠鏡の現在の形態の共同利用は 2018 年(平成 30 年)で終了し、その時点で京大 3.8m 望遠鏡によって実施可能な観測課題から共同利用が徐々に移行される。一方、その時点で京大 3.8m 望遠鏡では不可能な課題については、岡山 188cm 望遠鏡の機能を限定した形で運用することで継続可能にする。このような移行期間を 3 年間設け、その間に共同利用ユーザーに必要な観測装置や望遠鏡機能を準備し、2021 年(平成 33 年)に京大 3.8m 望遠鏡への共同利用の移行を完了する。この提案に対して岡山 UM2015 では大きな反対意見はなく、この案を軸にユーザーからの要望を取り込み、実際の移行計画を具体化することとなった。

また、岡山 UM2015 において、京都大学から京大 3.8m 望遠鏡計画の現状報告があった。計画のスケジュールについて、2018 年(平成 30 年)の共同利用の移行開始が現実的なスケジュールである旨、プロジェクトマネージャーである栗田氏からコメントがあった。表1は岡山 UM2015 で報告された、京大側で検討が進んでいる観測装置の一覧である。なお、188cm 望遠鏡を含む岡山観測所のファシリティを国立天文台から京大に移管する可能性については、京大は一貫して否定的な態度を示している。

以上が岡山 UM2015 で確認・報告された事項である。岡山 188cm 望遠鏡から京大 3.8m 望遠鏡への共同利用の移行に関して、未定である重要事項としては以下のものが挙げられる。

1. 2018 年(平成 30 年)から始まる共同利用の移行期間を具体的にどのように進めるのか。
2. 京大 3.8m 望遠鏡の共同利用に必要な装置は何か。それが京大で検討されている装置に含まれていない場合、どのように実現するか。
3. 共同利用の完全移行後、現岡山観測所ファシリティの何が今後も必要で、その継続運用をどのような形態で実現するのか。

上記 3 点はいずれも共同利用ユーザーの要望を根拠に、共同利用を実施する国立天文台が主体となって方針を決定する事項である。ここで「ユーザー」とは「岡山 188cm 望遠鏡の共同利用をはじめとする、岡山観測所内のファシリティのユーザー」を意味する。本要望書の目的は、岡山 188cm 望遠鏡の共同利用の移行について、大学共同利用機関である国立天文台が具体的な計画を決定する際の根拠となるユーザーからの要望を伝えることである。ただし、上記の未定事項 3 点に関して、本要望書では「1.」「2.」について具体的に扱うものとする。「3.」、すなわち共同利用完全移行後の岡山ファシリティのあり方については、それらの運用に必要な財源と人材を用意する研究グループが現れるかどうかに関し強く依存し、共同利用の移行とは別の問題と考えられる。この項目に関しては、共同利用の移行が進められるなかでさらに議論することが必要である。

要望のとりまとめについては、岡山 UM2015 において岡山観測所プログラム小委員会がとりまとめる旨、提案があり、了承された。その後、岡山ユーザーのメーリングリスト(oao-user)において要望の募集がアナウンスされ、それによって提出された要望内容はいずれも互いに矛盾が無いものだった。とりまとめられた要望書原稿は同メーリングリストを通じてユーザーに回覧され、原稿に対する意見を反映させ、本要望書が完成した。

共同利用の移行に関して、第一に、我々ユーザーはその方針を歓迎する。アクセスしやすい国内の共同利用拠点にある望遠鏡が口径 188cm から 3.8m に変わることは今後将来に渡って研究・教育上のメリットが大きい。岡山 188cm 望遠鏡の共同利用を停止するだけでなく、京大 3.8m 望遠鏡に移行するという国立天文台からの提案は、現在岡山 188cm 望遠鏡で継続している研究の意義が認められたものであり、ユーザーは国立天文台のこの措置に感謝するものである。この期待に応えるためには、岡山 188cm 望遠鏡で推進してきた研究を京大 3.8m 望遠鏡でも継続し、完遂することが必須である。そのため、我々ユーザーは本要望書提出後も国立天文台及び京都大学と密に議論し、研究の継続を実現することが肝要であると考ええる。

本書は以下の章から構成されている。第 2 章ではユーザー共通の要望が記されている。第 3 章では各研究グループからの要望がその背景と共に詳細に記されている。第 2 章の要望は、第 3 章で要望している全ての研究グループに共通した優先度の高い要望である。一方で、第 3 章は各研

究グループ固有の要望ではあるが、それらは互いに矛盾する内容ではなく、同時に実現が可能な要望であり、第3章の要望も全てユーザーの総意としての要望である。

参考資料

- [1] 「岡山天体物理観測所の今後の運用方針と観測所長人事について」、国立天文台台長、運営会議、2010 年 7 月 23 日
- [2] 「岡山天体物理観測所の今後の運用方針について」、光赤外専門委員会、2010 年 9 月 1 日
- [3] 「光赤外線天文連絡会による「国立天文台・岡山天体物理観測所運用方針」についての議論の報告」、光学赤外線天文連絡会、2010 年 11 月 2 日
- [4] 「京都大学大学院理学研究科と自然科学研究機構国立天文台との研究教育協力に関する覚書」、2013 年 3 月 6 日

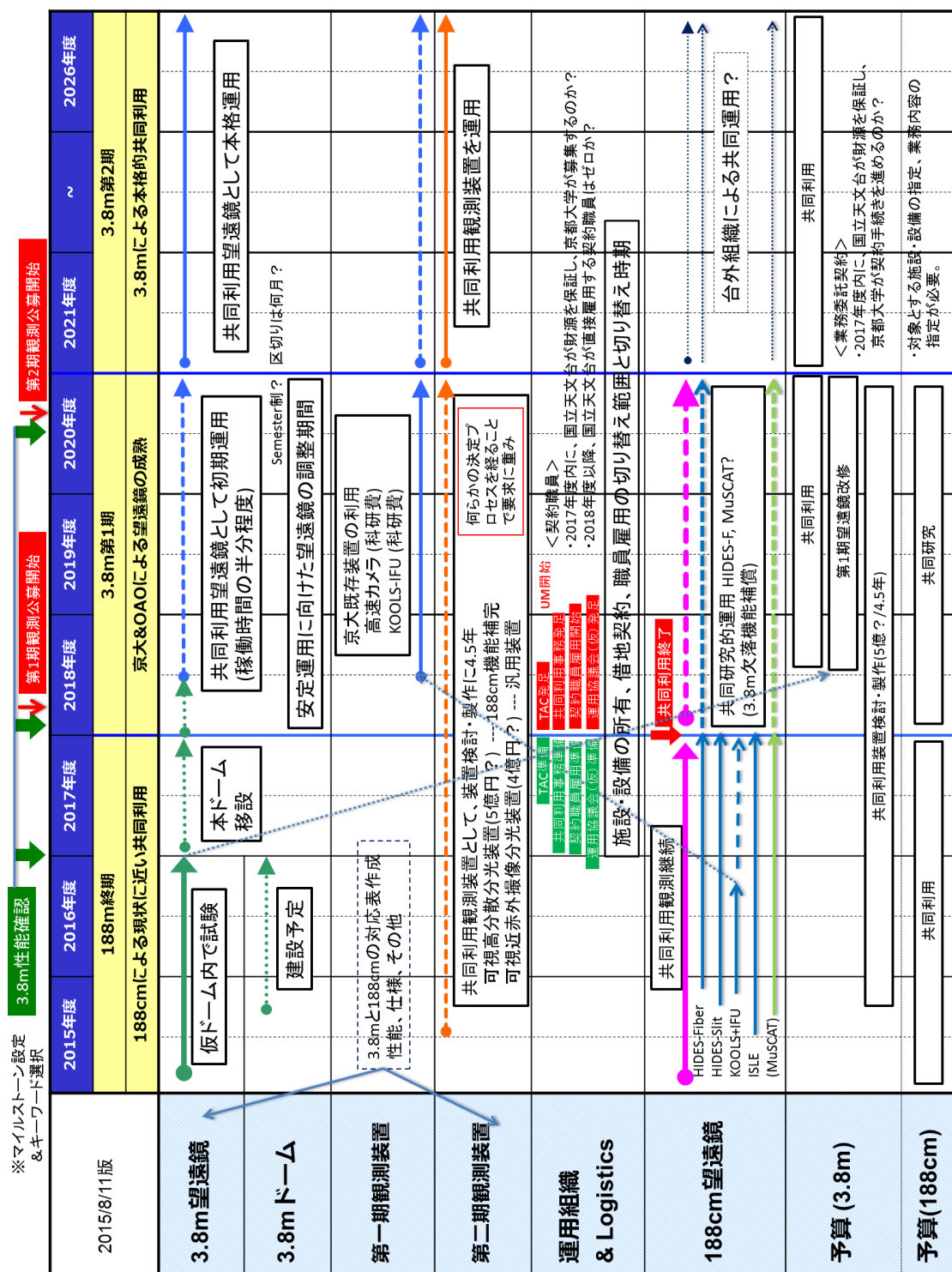


図 1:岡山観測所から提案された共同利用の移行計画案

表1：京都大学で検討・開発中の 3.8m 望遠鏡用観測装置

装置名	観測モード	特徴	開発ステータス
高速撮像分光器	可視、撮像、 低分散分光	視野 54".5 露出時間 27.1msec～10sec 波長分解能～20, 150	既存
可視面分光装置 (KOOLS-IFU)	可視、 低分散分光	波長分解能～700 限界等級～20 mag	既存
SEICA(高コントラスト 惑星探査装置)	近赤外、撮像、 AO	視野 3".4 ϕ 限界等級 H=22.5	開発中
近赤外相対分光器	近赤外、 中分散分光	波長分解能～4,000 限界等級～17.5 mag	検討中
可視高分散分光器	可視、 高分散分光	波長分解能～50,000 (100,000 も検討中) 限界等級 15–16 mag	検討中
近赤外高分散分光器	近赤外、 高分散分光	波長分解能>100,000	検討中

2. ユーザー全体からの要望

要望2-1 「京大 3.8m 望遠鏡共同利用推進小委員会」(仮)の設置

要望者： ユーザー 一同

要旨

共同利用ユーザーが本要望書の対応や共同利用移行の具体的な計画について審議するための組織として「京大 3.8m 望遠鏡共同利用推進小委員会」(仮)を国立天文台内に設置することを求める。

1. 背景

岡山 188cm 望遠鏡の共同利用を京大 3.8m 望遠鏡に移行する計画については、これまで人事も含め、京都大学と国立天文台の間で協議が進められてきた。ユーザーを交えた議論は、年 1 回の岡山 UM において実現している。しかし、今後京大 3.8m 望遠鏡と観測装置の調整が進むにつれ、京大側と、望遠鏡及び観測装置を使用するユーザー側の意思疎通をより密に行う必要がある。一般的に共同利用観測においては、ユーザー側の代表者が共同利用のシステムや運用方針に関するユーザーもしくは観測所からの要望・提案を各科学諮問委員会で審議することが多い。例えば、岡山観測所では国立天文台の光赤外専門委員会の下に「岡山天体物理観測所プログラム小委員会」が設けられており、観測申請書の公募ごとにプログラムを選定し、また共同利用のシステムの変更なども審議している。

岡山 UM2015 においても、京大 3.8m 望遠鏡を共同利用に供するにあたり、望遠鏡・観測装置のクオリティ・コントロールを行う組織の必要性がコメントされた。また、京大 3.8m 望遠鏡計画に対する外部評価報告書においても、新たな共同利用体制等の検討のため「科学委員会」の設置が必要と指摘されており、これに関して岡山 UM2015 において林台長から、そのような委員会は国立天文台内の設置が適当であるとコメントされた。

2. 要望の内容

そこで我々ユーザーは、国立天文台に対して国立天文台内規によって定められる「京大 3.8m 望遠鏡共同利用推進小委員会」(仮)を設置するよう求める。この小委員会は光赤外専門委員会の

下に置くのが適切と考えられる。この小委員会の設置目的は京大 3.8m 望遠鏡での共同利用を実現することであり、具体的な審議事項は以下のものを想定する。

1. 本要望書の個々の要望に対する国立天文台からの返答や計画案等について審議する。
2. 京大 3.8m 望遠鏡とその観測装置の性能を評価し、共同利用の部分的な、もしくは完全な移行の開始時期や形態、プログラム選定方法等を審議する。

また、これらに加えて、初期は委員会の開催頻度・時期等についても本小委員会の審議事項とする。

委員会メンバーは、初期は岡山天体物理観測所プログラム小委員会が推薦する3名に加え、京都大学側から1名の合計4名とする。また、国立天文台側からも職権上の委員(ex-officio)の参加を求める。委員の任期は原則4年とし、初期委員からの改選や人数の変更については小委員会内での審議事項とする。

また、本小委員会は京大 3.8m 望遠鏡による共同利用の定常運用が実現し、継続的な運用体制が整った時点で、一般的な科学諮問委員会へと移行することを想定する。

要望2-2 国立天文台による岡山天体物理観測所のインフラストラクチャの維持

要望者： ユーザー 一同

要旨

3 章に記す各研究グループの要望では岡山観測所のインフラの維持が共通の前提事項である。観測所内の望遠鏡・観測装置を使用して観測研究をする際には、電気、水道、インターネット回線などのインフラが提供されていることは必須である。岡山 188cm望遠鏡の従来の共同利用の停止と同時にそれらのインフラが使用不可になると、研究上の損失は重大なものとなる。したがって、少なくとも共同利用の移行が完了するまでの期間は国立天文台が岡山観測所のインフラを維持することを要望する。

1. 背景

本要望書は岡山 188cm 望遠鏡の共同利用を京大 3.8m 望遠鏡に移行する件に関し、ユーザーからの要望をまとめたものである。第3章で詳述されている各研究グループからの要望を以下に列挙する。

- **恒星視線速度精密測定観測のための可視高分散分光機能の維持**

佐藤文衛、宝田拓也、長谷川棕、葛原昌幸、井田茂、原川紘季、大宮正士、吉田道利、伊藤洋一、神戸栄治、小久保英一郎、安藤裕康

- **頻繁な繰り返し観測を必要とする連星系の変動モニター観測の為に可視高分散分光機能の維持**

森谷友由希

- **早期型(OB)星の活動現象(特に非動径振動)の観測のための可視高分散分光機能の維持**

神戸栄治

- 銀河系内新発見天体の分類のための低分散分光機能の維持

松永典之、三戸洋之、伊藤洋一、大朝由美子、板由房、新井彰、前原裕之

- トランジット系外惑星サイエンスのための岡山観測所のインフラストラクチャの維持

成田憲保、田村元秀、日下部展彦、佐藤文衛、平野照幸、福井暁彦、鬼塚昌宏、笠岡瑠

- 真空蒸着装置の継続的な利用

吉田道利、川端弘治、植村誠

これらの要望はいずれも岡山観測所のインフラが維持されていることが前提となっている。ここでいうインフラとは、電気、水道、ガス、通信(電話・インターネット回線)などや、道路、建物、仮眠室、食堂などのファシリティ、警備などのサービス等、研究活動の基盤となるものを指す。共同利用の移行後のインフラの運用については、その運用母体・形態に関してこれまで国立天文台と京都大学との間で議論が進められてきたが、2015年12月時点で結論はでていない。岡山188cm望遠鏡の従来型の共同利用が停止する際に、それと同時にこれらのインフラのうちのいくつかが使用不可になると、上記の各研究グループからの要望はいずれも実現が難しくなる。

2. 要望の内容

そこで、我々ユーザーは国立天文台が岡山観測所のインフラを維持することを要望する。

ただし、第3章に挙げられている要望を実現するにあたり、現有の全てのインフラの維持が費用の面で難しい場合は、要望2-1で設立を要望している新たな委員会において、その優先順位を含めた具体的な計画を審議することを希望する。

また、第3章の要望3-5、3-6に代表されるように、岡山188cm望遠鏡による共同利用観測以外にも岡山ファシリティは国内外の大学・研究機関から必要とされてきた。ユーザーが運用費を負担するなどの体制を検討することは前提として、岡山188cm望遠鏡の共同利用の完全移行後も岡山観測所のインフラが大学共同利用機関である国立天文台によって維持されることを我々ユーザーは強く望む。共同利用の完全移行後については具体的な財源の面で現在は不透明な状況であり、移行期間中の議論が重要となるが、少なくとも共同利用の移行が完了するまでは国立天文台によるインフラの維持を要望する。

3. 各研究グループからの要望

要望3-1 恒星視線速度精密測定観測のための可視高分散分光機能の維持

要望者: 佐藤文衛、宝田拓也、長谷川棕、葛原昌幸、井田茂(東京工業大学)

原川紘季、大宮正士(国立天文台)、吉田道利(広島大学)、伊藤洋一(兵庫県立大学)

神戸栄治、小久保英一郎、安藤裕康(国立天文台)

要旨

現在 188cm 望遠鏡と可視高分散分光器 HIDES で行われている、太陽系外惑星探索や星震学観測等の恒星視線速度精密測定法を用いた観測研究を継続・発展させるため、3.8m 望遠鏡用可視高分散分光器の早期立ち上げと移行期間中の 188cm 望遠鏡及び HIDES の維持・運用に必要な措置をとることを国立天文台に要望する。

1. 背景

恒星の視線速度変化を数 m/s 以下の超高精度で測定する技術は現代天文学において重要な役割を担っており、系外惑星探索や恒星微小振動の検出等に広く利用されている。例えば系外惑星探索においては、主系列星や巨星など多様な恒星を周回する低質量の地球型惑星や巨大な木星型惑星、また、公転周期数日の短周期惑星から木星軌道以遠の長周期惑星まで幅広いパラメータ領域の惑星に検出感度があり、かつ惑星軌道を精度よく決定することが可能な手法として、惑星の検出のみならず惑星の物理量を正確に決定するために必要不可欠なものとなっている。特に、木星～土星軌道付近(5～10 天文単位)の正に巨大惑星が形成される領域の惑星を検出し、その性質を調べることは惑星形成及び進化の過程を解明する上で本質的に重要であるが、これは現在のところ高精度の長期視線速度観測によってのみ可能であり、近年の Gaia 衛星によるアストロメトリや直接撮像観測との相補的關係によって益々その重要性が増している。また、稼働中のケプラー衛星や、近い将来打ち上げが予定されている精密測光観測衛星(TESS、PLATO 等)によって発見されるトランジット惑星の質量を決定するための手段としても視線速度精密測定法は必須のものである。

岡山観測所では、2000 年に 188cm 望遠鏡の可視高分散分光器 HIDES に視線速度精密測定用のヨウ素ガス吸収フィルターを導入し、以来約 15 年間、精力的かつ継続的な技術開発によって現在約 2-3m/s という測定精度を実現している[1]。これは同程度の口径の望遠鏡では世界トップクラスの性能である。また、約 15 年という観測継続期間は、世界の名だたる系外惑星探索望遠鏡と

肩を並べるものであり、現に公転周期 2500 日以上 of 惑星系を発見しているのは岡山を含めて世界で 7 拠点 (Lick, Keck, McDonald, AAO, Haute-Provence, La Silla, 岡山) のみである[2]。これは、188cm 望遠鏡と HIDES が早い時期から高精度の観測を実現し、その後長年に渡って安定的にユーザーに供されてきたことの賜物であり、グループの競争力を支える一つの強みであるとともに、生命線ともなっている。また、岡山観測所と同程度以上の測定精度を実現している拠点は東アジア地域には存在せず (南半球には AAO がある)、国内で視線速度精密測定観測ができる設備を有する拠点も岡山観測所のみであり、現時点でこの機能を肩代わり出来る拠点は他に存在しない。さらに、このような長期的なモニター観測はすばる望遠鏡や TMT のような競争倍率が極めて高く観測時間の限られる大口径望遠鏡では実質的に不可能であり、188cm 望遠鏡や 3.8m 望遠鏡のような観測時間の自由度が比較的高い中小口径望遠鏡でこそ可能な観測研究である。

2. 本課題の目的と 188cm 望遠鏡での実績

この視線速度精密測定技術を利用して、我々は「中質量 G 型巨星における系外惑星探索」や「太陽型星における長周期惑星の探索」、「太陽型星及び巨星における星震学」などユニークな観測研究を約 15 年に渡って展開し続けてきた。特に、巨星周りの系外惑星については総発見数の約 4 割を我々のグループによる発見が占めており、当該分野で世界をリードしている。

2-1 中質量 G 型巨星における系外惑星探索

従来、系外惑星探索の主たる対象は太陽型星 (FGK 型の主系列星) であり、同恒星については周回する系外惑星の軌道や質量などの統計的分布がかなり明らかになりつつある。一方、それ以外のタイプの恒星については依然として惑星探索が不十分であり、統一的な惑星形成・進化の理解にはほど遠い状況にある。特に、太陽より重い恒星 (以下、中質量星と呼ぶ) は主系列段階では高温のためスペクトルに吸収線が少なく、また、それらは高速自転によって線幅が広がっているため、視線速度法による惑星検出が実質的に不可能であった。

我々のグループは、中質量星が進化して低表面温度・低速自転となった G 型巨星においては視線速度法による惑星検出が可能であることに着目し、中質量星における惑星系の発見とその性質の解明を目的として、2001 年から G 型巨星を対象とした大規模な系外惑星探索を世界に先駆けて展開してきた。2004 年からはプロジェクト観測として 4 期 (12 年間) 連続で採択されている。この間、G 型巨星における初の系外惑星[3]、散開星団における初の系外惑星[4]、特徴的な複数惑星系[5]等を含む約 30 個の系外惑星・褐色矮星を発見し、中質量星における巨大惑星の性質を明らかにしてきた。また、このプロジェクトは中国や韓国、オーストラリアの望遠鏡を使った共同研究としても行われており、その中で岡山は高精度で安定した長期観測が可能な拠点として中心的な

役割を果たしている。このプロジェクトは、従来未開拓であった中質量星周りの惑星系という新たなフロンティアを切り拓いた岡山発の独創的なものであり、関連論文 20 編に対する総被引用回数は約 570 に上る。また、2008 年に実施された国立天文台の国際外部評価においては、世界的に最も成功している系外惑星探索プロジェクトの一つとして高く評価され、その後も継続的に成果を挙げている。

2-2 太陽型星における長周期惑星の探索

現在までに分かっている太陽型星周りの惑星についての統計的情報は、そのほとんどが 3AU 以内の惑星について述べるに留まっており、より遠方の惑星についての知見は現在もほとんどわかっていない。このあたりの領域は、惑星形成論において、ガス惑星のコア形成が促進される場であると考えられており、遠方の惑星分布を正しく知ることは木星・土星といった太陽系惑星形成論との比較においても重要である。しかし、軌道半径が 3AU を超えるような長周期の惑星は種々の惑星探索において検出が困難なことで知られている。トランジットの発生確率は極めて低く、直接撮像でも 10AU 以内の惑星については検出が難しい。最も着実な方法は長期的観測によって視線速度の変動を検出することである。2004 年より開始された、すばる望遠鏡・ケック望遠鏡・マジラン望遠鏡を駆使した FGK 型星周りの惑星探索プロジェクト「N2K コンソーシアム」では、高金属量星をターゲットとしてトランジットをするホット・ジュピター検出を目標としていた。すばる望遠鏡では、HD 149026、HD 17156 といった、本プロジェクトの目的であったトランジットをするホット・ジュピターを軒並み検出するなど、大きな貢献をした。現在は大型望遠鏡を用いたサーベイは終息しているが、取得した大量のデータからはホット・ジュピターのみならず、より長周期の惑星の検出も可能になってきた。

そこで我々は、系外惑星探索初期にスタートした N2K コンソーシアムの時間的優位性に着目し、2009 年より長周期惑星検出と性質の理解を主眼に据えた継続探索を岡山で行っている。2011 年より HIDES がファイバーフィールド化されたことで、7~9 等台の暗いターゲットについても十分な SN 比を稼ぐことが可能となり、探索規模は拡大してきている。最新の結果では新たに 5 つの惑星が検出され、そのうち 2 つは軌道長半径が 4AU に迫る長周期惑星であるなど、着実な成果をあげ始めている[6]。

2-3 太陽型星及び巨星における星震学

恒星の微小振動を利用し、その特徴から恒星内部を探る学問は、1980 年代後半の日震学の成功によってその重要性が実証された。太陽の 5 分振動の詳細な観測により、太陽内部の音速や自転速度分布など他の方法では見ることのできない恒星内部構造の重要な知見がもたらされたのである。一方、同じ手法を一般の恒星に対して適用する「星震学」はその観測の困難さから長年進展がなかった。しかし、2000 年以降の視線速度精密測定技術の著しい進歩や、CoRoT、Kepler といった超精密測光観測衛星の登場によって大きく開花し、恒星の内部構造・進化段階の推定、質

量・半径など物理パラメータの決定等において、星震学は今や欠かせない手段となっている。系外惑星研究においても、惑星の物理パラメータを精密に決定し、惑星系の特徴が中心星質量や進化段階にどのように依存するかを明らかにする上で、星震学による恒星パラメータの決定は益々その重要性を増している。特に、通常的手法(有効温度と光度から恒星進化モデルを用いて推定する方法)での質量決定に大きな不定性のある巨星に関しては星震学の恩恵は特に大きく[7]、2-1 で述べた巨星周りの系外惑星探索とは深いつながりがある。

我々のグループは、HIDES の視線速度精密測定機能を用いて太陽型星や巨星における星震学観測研究を進めてきた。太陽型星においては、振動検出の真偽に長年論争があった α CMi(プロキオン)の地上国際キャンペーン観測に参加し、非動径振動の確実な検出と、自転による活動領域のモジュレーションによると思われる長周期変動の検出に成功した[8]。岡山観測所は、東アジア地域において星震学に必要な数 m/s 以下の視線速度測定精度を実現している唯一の拠点であり、経度をまたいだ国際キャンペーン観測の際に世界的に重要な拠点となっている。巨星の観測においても同様に地上国際キャンペーン観測に参加し[9]、また、巨星周りの系外惑星探索に関連して独自に惑星をもつ巨星の振動観測を進め、巨星における星震学の確立を進めてきた[10]。

3. 3.8m 望遠鏡での将来計画

我々は、上述の 188cm 望遠鏡と HIDES における観測研究を 3.8m 望遠鏡においても継続し、さらに発展させていきたいと考えている。以下、各課題についての計画を記す。

3-1 中質量 G 型巨星における系外惑星観測

3-1-1 現行の系外惑星探索の継続

現在行っているプロジェクト観測では、中国や韓国との共同研究分を含めて計 500 個ほどの天体を定期的にモニター観測しているが、この中には周期 10 年を超える長周期惑星、3 つ以上の巨大惑星を有する特異な複数惑星系、木星質量以下の長周期惑星(公転周期数年)など、巨星周りで未だ発見されておらず、かつ長期間に渡って高精度なデータを取り続けている我々のグループによってのみ検出可能な興味深い惑星系の候補が数多く存在している。これらを確実に検出し、惑星軌道を決定するためには継続的な観測が何よりも重要であり、3.8m 望遠鏡でも観測を継続していきたい。

3-1-2 中質量巨星周りのトランジット惑星の探索

巨星はその名の通りサイズが大きいため、木星サイズの惑星のトランジットでも主星の減光率は1万分の1以下であり、従来の地上観測では検出は不可能であった。そのため、視線速度法で惑星は発見されてはいるものの、惑星自体の性質(大きさや組成)は全くと言ってよいほど分かっておらず、中質量星における惑星形成の理解にとって大きな障害となっている。しかし、近年のケプラー衛星による超精密測光観測によって初めて巨星におけるトランジット惑星が検出され、巨星周りの惑星系の研究に質的な変化がもたらされつつある[11]。さらに、今後は TESS や PLATO による広天域のサーベイによってより多くの巨星を周回するトランジット惑星の発見が見込まれている。そこで我々は、これらの観測衛星によって発見が期待される中質量巨星周囲の多数のトランジット惑星系に対して精密視線速度観測を行い、惑星の質量と大きさから最終的には組成の分布を明らかにしたいと考えている。中質量星における巨大惑星の物理的・化学的性質を本計画によって初めて系統的に明らかにし、かつ 3-1-1 で述べた長期惑星探索から明らかになる木星～土星軌道までの広範囲の惑星軌道分布を組み合わせることによって、中質量星における惑星形成と進化の包括的な理解を目指す。

3-2 太陽型星における長周期惑星の探索

現在、我々は約 650 個のターゲットについて視線速度変動のデータを保有している。しかし、そのほとんどが7等級よりも暗い星であるので、全てについて視線速度を定期的に取得するには、集光力の向上が欠かせない。有効ターゲット数が向上することで、惑星分布の推定精度を向上させることができる。惑星候補天体は増え続けており、遠方の惑星の性質を理解するという大目標を達成するためにも、今後の継続的な観測が不可欠である。すばる望遠鏡では取得可能夜数の制限のため、全ターゲットについて継続的な観測をすることが難しく、自動化なども含めて京大 3.8m 望遠鏡の効率的かつ継続的な運用が不可欠である。本観測のターゲットが高金属量星に集中していることから、我々の探索によって推定される惑星分布は、高金属量星に特化することになる。近年、金属量の高低が原始惑星系円盤の寿命にも影響を及ぼしうるといふ示唆が理論・観測両面から得られており、我々が高金属量星に特化した惑星分布を初めて明らかにすることで、太陽類似星(有効温度・質量・金属量)周りで推定される分布との比較が可能となり、新たに中心星金属量の違いにおける惑星形成の傾向の違いが見えてくると期待される。位置天文学衛星の Gaia による精密なアストロメトリは、視線速度変動と組み合わせることで、長周期惑星探索を促進すると期待されている。最初のデータリリースは 2017 年の予定で、本計画ではこれらのデータを積極的に利用して長周期惑星探索を加速してゆきたい。

3-3 星震学による惑星をもつ巨星の質量決定

星震学は近年の Kepler 衛星や CoRoT 衛星の活躍によって大きく花開き、近い将来打ち上げ予定の測光観測衛星 (TESS, PLATO) でもトランジット惑星探索と並んで重要な研究テーマとなっている。しかし、測光観測衛星の観測ターゲットは一般的に暗いため、現在ドップラー法による系外惑星探索の主な対象となっている明るい恒星の星震学には地上視線速度観測が必須である。また、周期が数分～数時間、振幅が数 m/s という微小振動モードを検出するためには短時間露出で高 SN 比のデータを多数取得する必要があるが、188cm 望遠鏡では観測可能な天体が限られるが、口径の大きい 3.8m 望遠鏡を用いることによって観測対象を拡張することができると期待される。

我々は、特に巨星周りの惑星探索に関連して、惑星をもつ明るい巨星の質量決定を目的とした視線速度精密測定による星震学を展開していきたいと考えている。これまでの研究から、半径が干渉計等によって精度よく決まっている場合には主たる振動モードの周期のみから比較的精度よく質量を推定できることが分かっており、また、巨星の振動周期は数時間と比較的長いので、3.8m という口径のメリットを生かして複数の天体を順に繰り返し観測することでトータルの観測効率を上げることが可能である。これにより、系外惑星探索と一体となって、巨星周りの惑星系の統計的性質とその中心星パラメータへの依存性を高い信頼度で描き出したいと考えている。

4. 188cm 望遠鏡と 3.8m 望遠鏡での共同利用に対する要望

上記の観測研究を行うため、188cm 望遠鏡から 3.8m 望遠鏡への共同利用移行に関して以下を要望する。

4-1 3.8m 望遠鏡用可視高分散分光器の早期立ち上げ

現在京都大学のグループが中心となって予算獲得を目指している 3.8m 望遠鏡用可視高分散分光器の開発に国立天文台が積極的に関与し、これを早期に立ち上げるよう要望する。可視高分散分光器は 188cm 望遠鏡において第一の主力共同利用観測装置であり、また、3.8m 望遠鏡は 188cm 望遠鏡の共同利用を引き継ぐことになっていることを踏まえ、可視高分散分光器を 3.8m 望遠鏡の第一期共同利用観測装置として位置づけ、国立天文台としてその早期立ち上げに必要な措置をとることを要望する。

4-2 移行期間中の 188cm 望遠鏡と HIDES の機能維持

先に述べたように、現在 188cm 望遠鏡と HIDES で行われている視線速度精密測定観測を肩代わりできる施設は現時点で他に存在しない。そのため、3.8m 望遠鏡の可視高分散分光器が稼働

し、少なくとも現在の HIDES と同等の性能が確認され観測の移行が可能になるまでの間、国立天文台が 188cm 望遠鏡と HIDES の現在の観測機能を維持・運用することを要望する。ユーザーグループによる外部資金獲得努力と合わせて、188cm 望遠鏡と HIDES の維持・運用に必要な措置を国立天文台がとることを要望する。

参考文献

- [1] Kambe, E. et al. 2008, PASJ, 60, 45
- [2] Sato, B. et al. 2013, ApJ, 762, 9
- [3] Sato, B. et al. 2003, ApJ, 597, L157
- [4] Sato, B. et al. 2007, ApJ, 661, 527
- [5] Sato, B. et al. 2015, ApJ submitted to ApJ
- [6] Harakawa, H. et al. 2015, ApJ, 806, article id. 5
- [7] Bedding, T.R. et al. 2011, Nature, 471, 608
- [8] Arentoft, T. et al. 2008, ApJ, 687, 1180
- [9] Beck, P.G., Kambe, E. et al. 2015, A&A, 573, id.A138
- [10] Ando, H., Tsuboi, Y., Kambe, E., & Sato, B. 2010, PASJ, 62, 1117
- [11] Lillo-Box, J. et al. 2014, A&A, 562, A109

要望3-2 頻繁な繰り返し観測を必要とする連星系の変動モニター観測の為に可視高分散分光機能の維持

要望者： 森谷友由希（東京大学）

要旨

岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡と可視高分散分光器 HIDES の活躍によって、大質量 X 線連星における詳細な相互作用について明らかになりつつある。連星系における研究では観測時期に対する制限が厳しくなるが、柔軟な時間割り当てを可能としている岡山天体物理観測所だからこそ実現できるものである。今後も継続・3.8m 望遠鏡における研究へと発展させるためには可視高分散分光機能、柔軟な時間配分の維持が必要である。

1. 背景

連星系の中で OB 型星のような大質量星とコンパクト天体から構成される大質量 X 線連星は、太陽系外天体の中で最も明るいものが多く、ミリ秒単位から年単位に渡って大小様々な変動を見せる為、重力や強い磁場の環境下におけるプラズマ物理学のよい実験場となっている。大まかには OB 型星からコンパクト天体に質量が輸送されることで X 線を放射しているが、その詳細については未解明な部分が多い。例えば Be 星と呼ばれる星周円盤をもつ B 型星と中性子星からなる連星系(Be/X 線連星系)は、離心率が 0.3 以上と楕円軌道を持つものが多く、非定常な相互作用を見せる。いくつかの Be/X 線連星では数年に 1 回の頻度で $L_X > 10^{37} \text{ erg/s}$ と明るいジャイアント・アウトバーストが発生するが、その詳細な機構については解明されていない。これは、質量を供給する側である伴星の研究が不足していることが一因になっている。特に、コンパクト天体との相互作用は主に Be 星の星周円盤の外縁部で強くはたらくために、高分散分光が必要である。波長分解能 50,000 を超えるような高分散分光によるモニター観測は要望者らのグループ以外行っておらず、近年ようやくコンパクト天体との相互作用が詳しく調べられ始めたところである。要望者のグループは岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡と可視高分散分光装置 HIDES を用いて Be/X 線連星系を 7 年間に渡りモニター観測し、このジャイアント・アウトバーストと Be 星の星周円盤の持つ構造変化との関係性に一つのシナリオを構築した。更に近星点付近の相互作用の様子も調べている。その他、コンパクト天体の正体が不明な X 線連星の伴星をモニタリングし、相互作用の様子からコンパクト天体の正体に制限を付けることに成功している。

このように岡山天体物理観測所の可視高分散分光器 HIDES の活躍によって、大質量 X 線連星の相互作用における問題のいくつかが解明されつつある。これらの研究は、特定の位相、頻度が高いが一回の観測時間が短いようなモニター観測が不可欠であり、柔軟な観測時間の割り振りが可能な岡山天体物理観測所だからこそ実現可能なものになっている。

2. 本課題の目的と 188cm での実績、将来計画

本課題の目的は X 線連星系における相互作用の性質を追究することである。連星系における相互作用による伴星の変動に着目し、それを詳細に観測しているのは世界で要望者のグループだけであり、以下のような前進的な発見をしてきた。

1) Be/X 線連星系におけるジャイアント・アウトバーストと星周円盤の構造進化の関係性[1]

Be/X 線連星は Be 星と呼ばれる幾何学的に薄い星周円盤を持つ B 型星と中性子星からなる連星系である。この系のいくつかは規模の小さいノーマル・アウトバースト ($L_X < 10^{36-37}$ erg/s) と規模の大きなジャイアント・アウトバースト ($L_X > 10^{37}$ erg/s) が観測される。どちらも星周円盤から中性子星へ質量が輸送されることで X 線放射が起きるが、その詳細な機構・両者の違いは長年不明であった。要望者らのグループは 2005 年から 2011 年の 7 年間にわたって代表的な Be/X 線連星である A0535+262 をモニタリングし、Be 星星周円盤の構造変化の様子を調べた。その結果、「軌道面から傾いた歪んだ Be 星星周円盤が、中心星からの質量放出がなくなり、歳差運動を始めることでジャイアント・アウトバーストが起きる」というシナリオを打ち立てた。

円盤を歪ませる原因については潮汐相互作用・中心星からの放射、古在効果といくつか候補があり、その原因を突き止める観測も行っている(解析中)。現在岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡+HIDES で観測対象になる Be/X 線連星は A0535+262 だけだが、今後 3.8m 望遠鏡に可視高分散分光装置が設置されると、2、3 天体増え、共通点や相違点の調査による上記シナリオの理解を進めることが可能になる。

2) ガンマ線連星系におけるコンパクト天体の正体の解明[2]

X 線連星の中でも特に 1 MeV 以上の高エネルギーガンマ線放射が卓越している系をガンマ線連星と呼んでいる。ガンマ線連星のコンパクト天体の正体は 1 つの系を除いて

不明であり、粒子加速・高エネルギー放射機構も長年謎なままだった。要望者のグループはガンマ線連星 HESS J0632+057 における相互作用と性質に制限を付け、コンパクト天体の正体に切り込むために 2013 年から 2015 年にかけて Be 星星周円盤の様子を調べ、その結果コンパクト天体の正体がパルサーである可能性を見出した。

今後はコンパクト天体の正体がパルサーである仮説に基づき、相互作用の性質や X 線・ガンマ線活動との関係性を調査する予定である。Be 星星周円盤そのものの変化が数年のタイムスケールで起きる可能性を考慮すると、連星相互作用による変化を理解する為には高分散分光器を用いたモニター観測を継続する必要がある。

3. 3.8m での共同利用に対する要望

要望者らのグループは上述したような、X 線連星における相互作用の追究を今後も、岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡と HIDES や 3.8m 望遠鏡を用いて発展をさせていきたいと考えている。その為には、(1)188cm 望遠鏡の共同利用移行期間に可視高分散分光機能が維持されること、(2)時間配分がこれまでと同様の柔軟性を持って行われること、(3)リモート観測機能が維持されることを要望する。

X 線連星における相互作用の詳細な研究は要望者のグループによってはじめて行われている。X 線連星は様々な時間変動を見せるために系統的な研究をする為には数年にわたってモニターを継続することが必須である。例えば、上述したジャイアント・アウトバーストと星周円盤の構造進化の関係性は 7 年間にわたって継続的にモニター観測したからこそ得られたシナリオである。この系統的なモニター観測を現在はガンマ線連星 HESS J0632+057 で行っている。もし、共同利用移行期間に可視高分散分光機能が失われたならばこのような系統的な観測は不可能になる。

要望者のグループが行っている研究では同一の天体を繰り返し観測する。一回の観測に必要な露出時間は半夜以下(3-4 時間)で済むのに対し、例えば数日に一回など、頻度が高い。このような観測を可能にしているのが柔軟な時間配分である。複数の研究グループで一夜をシェアする場合、真夜中を区切りに前半・後半で分ける。しかし、岡山天体物理観測所の共同利用時間では、例えば南中を挟んだ 4 時間を数日に 1 回、などという割り当てを 4 期分、2 年間にわたっていただいた。移行期間においてもこのような柔軟な割り当てが維持されることを望む。

また、リモート観測機能も頻度の高いモニター観測を支えた機能である。観測者の移動にかかる時間的・身体的・金銭的成本を削減でき効率的な研究が行えた。共同利用移行期間もリモート観測が行えることを強く希望する。

参考文献

- [1] Moritani et al., 2013, PASJ, 65, 83
- [2] Moritani et al., 2015, ApJ, 804, L32

要望3-3 早期型(OB)星の振動の観測のための可視高分散分光機能の維持

要望者: 神戸栄治(国立天文台)

要旨

主系列星に近い早期型(OB 型)星の活動、特に振動の研究を継続するために、可視高分散分光器の継続的な共同利用を希望する。また、早期に 3.8m 用に高効率の分光器が開発されることも期待する。

1. 背景

早期型星は、個数比でいえば恒星の中で圧倒的に小さいが、星形成などへとつながる星間空間の化学進化やエナジェティックスに大きくに寄与し、また、一部の星は超新星のプロジェニタであるなど、宇宙の中での天体の輪廻を理解するために重要な天体の一つである。このような早期型星の進化には、対流、自転、質量放出などが多大な影響を与えるため、これらの状態を観測してその物理過程を詳しく理解していくことが重要である。

早期型星の振動を観測し星震学を行うためには、個々の天体について十分な観測を行い、振動モードを同定し、恒星モデルと比較する方法が依然として重要である。その理由の一つは、個数密度が小さいことや星間吸収の影響のために明るい天体が天球上に散らばっており、全天の一部をみるマッシュ・フォトメリーなどではサンプル数が稼げず、アンサンブル星震学が行いにくいことがあげられる。また、主系列に近い早期型星では、振動が一般に漸近的なモードではなく、さらにその周期が自転などの影響を強く受けているため、如何にモードの完全な同定を行うかが星震学を行う上での重要なステップとなる。高分散分光観測では、天体が自転しているために恒星表面をある程度分解して観測できるといったメリットがあり、測光観測などではわかりにくい空間や運動の情報が得られる。したがって、モードの同定を確実に行う上で、高分散分光観測は重要な役割を果たしている。

このような事情から、例えば、数時間～数日の周期の変化がみられる恒星振動の観測においては、MOST 衛星や CoRoT 衛星などによる宇宙精密測光観測と地上観測ネットワークによる高分散分光観測の共同観測などが頻繁に行われてきた。今後も、2014 年に打ち上げが完了した 6 台の BRITE 衛星との共同観測、広い領域をカバーし多くの早期型星が観測される予定の K2 ミッション

や TESS 衛星との共同もしくはフォローアップ観測などにおいて、地上観測ネットワークによる高分散分光観測は重要な役割を果たしていくと考えられる。

2. 各課題の目的と 188cm 望遠鏡での実績

ここでは、まず、 β Cep 型星、Slowly Pulsating B-type stars (SPB) および γ Dor 型星の振動観測の例について述べる。これらのタイプの星は、比較的内部的構造がシンプルな主系列星であり、星震学によって対流 (core overshooting) や自転分布などを調べることができると期待されている。実際に星震学を利用して恒星の状態を探るためには、観測される周期などの振動パラメータを恒星のパラメータと関連付けてやる必要があるが、太陽型星のようにペリオドグラム中にみられるピークのパターン (漸近関係など) を利用した星震学を行うことが難しいため、これらの恒星では高分散分光観測など複数の観測から全ての振動パラメータを決め、恒星のモデルと比較して恒星の状態を調べる必要がある (注: SPB より late な星では、Kepler 衛星によって多数検出された g-mode の周期にみられるパターンを利用して、自転を探る研究が進んでいる)。

このような研究は、モード同定の難しさに加えて、例えば一つの星を観測するために複数の観測サイトの中小口径望遠鏡の時間が1週間程度必要になるため、これまで急速な進展はして来なかったが、それでも、現在までに 10 以上の星について内部自転分布や overshooting parameter が見積もられており、その傾向が徐々に明らかになりつつある[1]。我々のグループも、微力ながら長年この分野において共同研究を続けており、SPB 星や γ Dor 型星の中で集中観測に適した星を探索するプロジェクトに参加したり[2]、個々の星の集中観測(キャンペーン観測)を企画・参加したりして[3,4,5]、早期型星の研究に貢献してきている。

今後についても、できる限り共同研究を続け、早期型星の対流や自転分布の理解に努めたいと考えている。特に、現在は、4 等星までの明るさの星を集中観測する BRITE 衛星が観測を始め、2017 年ころまでは K2 ミッションにより多くの観測対象星の候補が得られ続けることから、高分散分光観測にとっても重要な時期である。

最後に、上で述べたタイプの星以外でも、今後数年のうちに、K2 ミッションや TESS などの観測から比較的明るい早期型超巨星などでも振動の観測が進むと考えられる。高分散分光によるこれらの振動観測のみならず、星自体の有効温度、重力加速度、化学組成などを決めるための追観測もますます必要になってくると考えられる。

3. 188cm 望遠鏡と 3.8m 望遠鏡の共同利用に対する要望

本研究の分野では、特殊な高分散分光器は必要としないが、現在は宇宙測光衛星との共同研究が必要とされている時期であり、HIDES と同程度以上の性能を持った高分散分光器の継続的な利用を希望したい。また、宇宙測光衛星の観測対象星は一般に暗く(K2 ミッションでは 9 等星から 13 等星くらい)、これらの星に対しては基本的な恒星パラメータを決めるための one-shot スペクトルの需要も高い。是非、早期に 3.8m 用に効率のよい分光器を立ち上げて欲しい。

参考文献

- [1] Aerts, C., 2013, EAS, 64, 323A
- [2] De Cat, P. et al. 2009, AIPC, 1170, 480
- [3] Walker, G.A.H. et al., 2005, ApJ, 623, 145
- [4] Demset, M. et al., 2009, MNRAS, 396, 1460
- [5] Sodor, D. et al, 2014, MNRAS, 438, 3535

要望3-4 銀河系内新発見天体の分類のための低分散分光機能の維持

要望者： 松永典之、三戸洋之（東京大学）、伊藤洋一（兵庫県立大学）、
大朝由美子（埼玉大学）、板由房（東北大学）、
新井彰（京都産業大学）、前原裕之（国立天文台）

要旨

現在さかんに進んでいる探査によって、銀河系内の多くの天体が発見されつつある。特に、様々な種類の天体がいろいろな距離や星間赤化量で発見される銀河系円盤部においては、分類のために分光観測が欠かせない。ターゲットのカラーと星間赤化量に応じて、可視光と近赤外線でのそれぞれの観測効率が大きく変化する。そこで、KOOLS と ISLE の両方の機能を国内の共同利用観測で利用できるように維持してほしい。

1. 背景

銀河系円盤は、天の川銀河に存在するほとんどの星間物質とその星の多くが集まっている銀河の骨格部分である。しかし、銀河系円盤の星の分布を天の川銀河の広い範囲について調べることは容易ではない。その大きな原因は、大きな星間減光と各天体までの距離を求めることが難しいという 2 点である。最近では、星間減光の影響が小さい赤外線での観測が 2MASS や AKARI、Spitzer 宇宙望遠鏡(GLIMPSE プロジェクト)によって進んだ結果、銀河系円盤に存在する多くの天体が発見された[1,2]。各天体までの距離の不定性は現在でも大きな困難として残っているが、後述する脈動変光星の探査など様々な観測によって、銀河系円盤にある天体の分布を描き出す研究が急ピッチで進んでいる[3,4,5]。それらの天体の性質を調べる上で大きな制約となるのはやはり星間減光である。その影響で、恒星は大きな赤化を受け、恒星固有のカラーに基づく分類などは行えない。このため、分光観測による分類が重要になる。星間減光によって暗くなっていることもあり、低分散分光を行うにも 2 メートル級以上の望遠鏡を必要とすることが多い。可視光で 15 等級から 18 等級くらいまでの天体の分類を共同利用観測で行うことができる国内の観測設備は、188cm 望遠鏡と KOOLS が唯一のものである。一方、近赤外線での低分散分光を行える観測設備も 188cm 望遠鏡と ISLE が唯一である。新たな天体の発見と分類は、天文学の多くの分野における研究の根幹をなすものであり、身近な望遠鏡ですばやくその観測を行うことが国際的な競争力を高める上で重要である。

2. 要望の内容

—KOOLS については、

国立天文台および京都大学を始めとする 3.8m 望遠鏡開発チームが連携をして、3.8m 望遠鏡の稼働に合わせて速やかに共同利用観測として利用できるように準備することを要望する。

—ISLE については、

188cm 望遠鏡での共同利用観測装置としてできるだけ長く現在の運用を継続し、その後は他機関の望遠鏡に移管することも含めて、なるべく多くのユーザーが利用し続けられるような措置を要望する。

3. 各課題の目的と岡山 188cm での実績、及び将来計画

KOOLS および ISLE の低分散分光観測によって可能となる観測の科学的な目標を以下に挙げる。

3-1 ミラ型変光星による銀河系恒星種族の研究

ミラ型変光星は赤外線で見え、その周期光度関係から距離を決めることができるため、銀河系円盤の広い範囲を調べるために非常に有用なトレーサである[6]。星間減光の影響などにより、その探査はいまだ著しく不完全であるが、松永らが東京大学木曽観測所で行っている KWFC 銀河面変光天体探査(KISOGP)などにより、多くのミラ型変光星が発見されつつある。ミラ型変光星の中には、表面化学組成が全く異なる 2 つのグループが存在する。熱パルスとそれに伴って起こる汲み上げ(3rd dredge up)によって恒星内部で合成された炭素が恒星表面に運ばれると、酸素過多の星(M 型星)から炭素過多の星(炭素星)に変化することがある。AGB 星が炭素星になるかどうかは、その星の初期質量(年齢)や金属量に依存する[7]。そのため、炭素星の分布や酸素過多の星(M 型星)との存在比は恒星種族を考えるうえで重要な情報を提供する。松永らは、2013 年から岡山 188cm と KOOLS、ISLE を用いて、KISOGP で発見したミラ型変光星の分類を行っている。その結果、AKARI などで行われていたミラ型変光星以外も含む一般的な星を赤外線カラーで分類して得られていた炭素星と M 型星の分布の特徴[1]とは異なる様子が得られつつある。ミラ型変光星は、進化の最終段階にある中小質量星(年齢 10~100 億年)を集めたサンプルであるので、銀河系円盤の恒星種族の分布に関する議論をより直接的に行うことができるはずである。今後、他のプロジェクトでも、銀河系円盤のミラ型変光星が多く発見されることを考えると、低分散分光観測による分類を継続していく必要がある。

3-2 散在する T Tau 型星の探査

現在までに行われてきた前主系列星の探査観測は、分子雲全体またはその一部を深く観測することにより、多くの成果を上げてきた。例えば、太陽程度の質量の恒星は、自発的に形成される場合と連鎖的に形成される場合があることがわかった[8]。また前主系列星の初期質量関数は分子雲によって、場合によっては分子雲内でも異なることも明らかになった[9]。一方で、分子雲の周囲にも前主系列星が存在することは予想されていることであるが、探査範囲が莫大になるため、そのような天体を対象とした観測は実施されていない。

私達は、KISOGP の銀河面サーベイによって、分子雲から遠く離れた天域に孤立して存在する前主系列星候補を発見した。こうした天体は「分子雲で形成されたが、大きな固有運動を持ち、現在は分子雲から遠くに存在する」ことが考えられる。もしくは、「より低質量の天体とともに集団的に生まれている」可能性や、「孤立して形成した」ことも十分に考えられる。そこで、前主系列星(すなわち T タウ型星)の特徴である「変光」を手がかりに、銀河面の大規模変光星探査である KISOGP のデータから、候補天体を探索している。しかし、「変光」だけでは、前主系列星かどうかは定かではない。KISOGP による新たな前主系列候補天体をもう一つの特徴「H α 輝線」を示すか確かめるために、観測効率の良い KOOLS を用いて低分散分光観測し、T タウ型星を同定する観測が必須である。

これら一連の観測から、これまで見逃されていた孤立した前主系列星の分布が明らかになると期待される。今まで見逃されていた「孤立した前主系列星」をより多く観測し、孤立して見える原因を追求したい。本研究は、銀河系全体での星形成の描像を変える可能性も秘めていると考えられる。

3-3 突発天体の分光分類

変光星をターゲットとした反復観測を行うサーベイでは、目的とする天体以外にも新星や矮新星、FU Ori 型天体など、突発的な増光を示す天体も発見されることがある。突発的な増光を示す天体の中には、final helium shell flash を起こした V4334 Sgr[10]のような観測例が非常に少ない稀な天体現象もある。発見直後の可視・近赤外の低分散分光によって迅速な天体分類を行うことは、そのデータを使ったサイエンスのみならず、効率的な他波長・他モードの ToO 観測の実施にも必要不可欠である。KISOGP でもそのデータを利用した突発天体検出を行っており、共生星候補天体[11]における特異な増光現象など、いくつか興味深い突発天体の検出およびその分光によるフォローアップ観測が実施できている。KISOGP では 2015 年度より一時の領域において突発天体をターゲット

ットとした高頻度のサーベイ観測を行っており、今後もミラ型星や YSO と並行して検出された突発天体の低分散分光による観測を継続する必要がある。

参考文献

- [1] Churchwell et al. 2009, PASP, 121, 213
- [2] Ishihara et al. 2011, A&A, 534, 79
- [3] Reid et al. 2014, ApJ, 783, 130
- [4] Feast et al. 2014, Nature, 509, 342
- [5] Dekany et al. 2015, ApJ, 799, L11
- [6] Matsunaga et al. 2009, MNRAS, 399, 1709
- [7] Marigo et al. 2008, A&A, 482, 883
- [8] Lada et al. 1993, Protostars and Planets III, p. 245
- [9] Oasa et al. 2006, AJ, 131, 1608
- [10] Duerbeck and Benetti 1996, ApJ, 468, L111
- [11] García-Hernández and Górný 2014, A&A, 567, A12

要望3-5 トランジット系外惑星サイエンスのための岡山観測所のインフラストラクチャの維持

要望者：成田憲保、田村元秀、日下部展彦（アストロバイオロジーセンター）、
佐藤文衛、平野照幸（東京工業大学）、福井暁彦（国立天文台）、
鬼塚昌宏、笠嗣瑠（総合研究大学院大学）

要旨

岡山天体物理観測所（岡山観測所）は視線速度法による系外惑星探索の国内拠点であるだけでなく、多色精密トランジット測光観測を通じた系外惑星の特徴付け研究においても国内の重要拠点となりつつある。188cm 望遠鏡の共同利用が停止されたあとも、外部資金により同望遠鏡を運用、あるいは岡山観測所に新規の望遠鏡を建設して系外惑星研究を継続出来るよう、同観測所のインフラの維持および必要なサポートの提供を国立天文台に要望する。

1. 背景

1995 年に初めて太陽以外の恒星を周る惑星が発見されて以来、系外惑星の研究は急速に発展し、これまでに 2 千個近くの系外惑星が発見されるに至っている。特に NASA の Kepler 衛星による成果が目覚ましく、宇宙には地球大の大きさの惑星（スーパーアース）が最も豊富に存在すること、連星のまわりを周る惑星が実在すること、数十%の恒星に生命居住可能（ハビタブル）惑星候補が存在することなどが次々と明らかにされてきた。一方、系外惑星研究における日本の功績も小さい。日本主導の系外惑星探索プロジェクトとしては、岡山 188cm 望遠鏡を用いた視線速度惑星探索、ニュージーランドで展開する重力マイクロレンズ惑星探索（MOA）、すばる望遠鏡と高コントラスト装置を用いた直接撮像探索（SEEDS）などがあるが、中でも 2001 年より開始された岡山 188cm 望遠鏡を用いた惑星探索では、日本で初めて系外惑星を発見しただけでなく、世界初の散開星団中の惑星の発見や、巨星まわりの惑星発見数で世界トップを走るなど、日本の系外惑星研究を牽引する成果を挙げてきている。つまり、この 188cm 望遠鏡を有する岡山観測所は日本の系外惑星研究の最重要拠点と言える。

一方、時代は新しい系外惑星の発見から個々の惑星の特徴付けへと重心を移しつつある。特に主星の手前を通過する軌道をもつトランジット惑星では、惑星の半径と質量を両方測ることが出来るだけでなく、公転軸の傾き角や惑星の表面温度、さらには大気の組成まで調べる事が可能であり、惑星の形成進化過程や表層環境を調べる上で貴重な研究対象となっている。これまでは観測

の容易な短周期の巨大惑星(ホットジュピター)がこのような特徴付け観測の主な対象であったが、**今後はより小型の、スーパーアースや地球型惑星に対する特徴付け観測が急速に進展すると期待されている**。その背景には、Kepler 衛星による第二期観測として現在進められている Kepler-2 ミッション(K2)や、2017 年に打ち上げ予定の全天トランジット探索衛星 TESS 計画といった広域スペーストランジット探索がある。Kepler 衛星の第一期観測では、ある特定の天域のみを深く探索したため、発見された小型惑星の大多数は主星が暗く特徴付け観測に不向きであったが、K2 や TESS では太陽系近傍の明るい恒星が主なターゲットとなるため、特徴付け観測が可能な小型惑星の発見数が格段に増加すると期待されている。

2. 岡山 188cm 望遠鏡での実績

このような情勢のなか、我々の研究チームでは、岡山観測所を拠点にトランジット惑星観測のための精密相対測光技術の開拓を行ってきた。トランジット惑星を詳細に観測するためには、主星の微小な(〜1%以下の)減光を高精度に捉える必要がある。我々は岡山 188cm 望遠鏡と近赤外撮像分光装置 ISLE を使用して、観測及び解析技術の工夫を重ね、2010 年に日本で初めて 0.1%(1 ミリ等級)の相対測光精度($J < 10$ 等級の星に対し、60 秒積分あたり)を達成した[1]。我々はこの高い測光観測技術を応用して、これまでにトランジット周期変動の探索や新たなトランジット惑星の探索などを実施してきた。さらに 2012 年からは東京工業大学が岡山観測所に設置した口径 50cm MISTuME 望遠鏡と可視 3 色撮像カメラも同時に利用して、多色同時トランジット測光観測による惑星の大気を探る研究を押し進め、海王星サイズの小型惑星 GJ3470b や低温度の木星型惑星 WASP-80b の大気の性質を世界に先駆けて明らかにした[2][3]。そして、我々はこの多色同時トランジット観測による研究を K2 や TESS の時代にさらに発展すべく、188cm 望遠鏡に搭載するための新たな可視 3 色同時撮像カメラ MuSCAT の開発を行った。2013 年度より MuSCAT の設計と開発を開始し、翌年 12 月にファーストライトを迎え、そして 2015 年 3 月の試験観測において 0.05% ($V=10$ 等級の星に対し、60 秒積分あたり)という**地上観測で世界トップレベルの相対測光精度が得られることを実証した**[4]。MuSCAT は既に実際のサイエンス観測にも応用されており、高精度多色トランジット測光のデモンストレーション、K2 で新たに発見された海王星サイズの惑星の質量決定、そして K2 探索で初となる地球の 2 倍強の半径をもつスーパーアースの発見確認など、複数の重要な成果を挙げてきている[5][6][7]。

3. 将来計画

来る TESS による全天トランジットサーベイの時代において、地上の中口径望遠鏡による多色トランジット観測が果たす役割がますます大きくなると予想される。単色でサーベイを行う TESS により発見される惑星「候補」の中には、低くない確率（～10%以上）で背景の食連星の混入を惑星と見間違える偽検出が含まれてしまう。このような偽検出天体は、異なる波長帯で観測すると大きく異なる減光率を示すため、中口径望遠鏡を用いて多色測光観測を行うことで容易に判別することが可能である。また、TESS は 1 領域あたりのサーベイ期間が約 27 日と短いため、地上望遠鏡を用いた高精度測光フォローアップによる惑星のパラメータ、特に正確な公転周期の決定が重要となる。さらに、TESS によって大気の詳細観測が可能な小型惑星が数百個規模で発見されると期待されているが、そのうち一定割合の惑星の表面には厚い雲がかかっている可能性があり、その場合は大型の望遠鏡を用いて分光観測を行っても大気成分を検出することが出来ない（つまりスペクトルがフラットになる）。そこで、事前に中口径望遠鏡を用いて多数の小型惑星に対して多色測光観測を実施し、フラットなスペクトルをもたない惑星をスクリーニングする必要がある。

我々は今後岡山観測所を拠点にして、MuSCAT を用いて TESS で発見されるトランジット惑星の多色測光フォローアップ観測を強力に推進していきたいと考えている。岡山観測所を選ぶ利点は 2 つある。1 つは海外のサイトに比べてはるかにアクセスが容易な点である。コストとマンパワーを考えると国内サイトが望ましく、なかでも晴天率とシーイングの条件が国内で最良レベルの岡山観測所が最適である。もう一つは経度的な利点である。我々の観測は惑星がトランジットをする夜に実施する必要があり、その観測機会は経度ごとに異なる。世界的に見て東アジア地域はトランジット観測の空白地帯となっているため、岡山観測所に MuSCAT を設置することはトランジットの観測機会を増やす上で非常に重要である。特に、ハビタブル惑星のような比較的長周期の惑星はもともトランジットの頻度が低いため、貴重な観測機会を逃さないためにも岡山観測所で観測を行う意義は大きい。

今後 TESS で発見される多数の惑星に対して大規模な観測を展開していくにあたり、なるべく多くの望遠鏡時間(年間 100 夜以上)が必要となる。そこで、我々は 188cm 望遠鏡の共同利用に近い将来に停止することも見据え、MuSCAT の今後について現在以下の 3 つの可能性を検討している。(1)専用 1.5m 望遠鏡を岡山観測所に新設し、現行の MuSCAT を移設する、(2)3.8m 望遠鏡向けに新たに多色カメラ(MuSCAT-2)を製作する、(3)188cm 望遠鏡を外部資金で運用し、継続して 188cm 望遠鏡に搭載して使用する。(1)と(2)は予算獲得に向け現在科研費を申請中であり、(3)については望遠鏡の運用経費を外部から調達出来る可能性は高いものの、その具体的な調達先や望遠鏡の運用方針は未定となっている。なお、3.8m 望遠鏡向けに MuSCAT-2 を製作した場合、開口面積の比の分だけ測光精度の向上が期待されるものの、同望遠鏡で共同利用に提供

される時間は全体の約半分しか無いため、やはり十分な観測時間を得ることは難しい。さらに、3.8m 望遠鏡では 188cm 望遠鏡に比べて広い視野を得ることが難しく、高精度相対測光に必要な明るい参照星が同一視野内に入るターゲットが限られてしまうというデメリットもある。そこで、並行して 188cm 望遠鏡を外部資金で運用し、現行の MuSCAT を用いた観測を併用することも検討していく予定である。どの場合においても、岡山観測所は国内のトランジット観測の重要な拠点となり、そのインフラが研究継続のために不可欠となる。

4. 要望の内容

我々は国立天文台に対し、188cm 望遠鏡の共同利用停止後も岡山観測所のインフラを維持し、国内の研究機関が既存の望遠鏡を運用あるいは新規に望遠鏡を建設出来るよう、必要なサポートを提供することを要望する。必要なサポートとは、具体的には光熱通信等のインフラ設備の提供（ただし望遠鏡の運用にかかる電気代は除く）、仮眠室および食堂の運用管理、敷地内の警備や整備などである。

これらのサポートは、我々が新規に望遠鏡を設置あるいは既存の 188cm 望遠鏡を運用していく上で必要なだけでなく、岡山観測所の設備の利用を希望する全てのユーザーにとって必要不可欠なものである。岡山観測所のインフラは全国の研究者の利益に供するものであり、大学共同利用研究機関である国立天文台が管理すべきものであると考える。また、既に述べたように、岡山観測所は視線速度法による系外惑星探索の国内拠点であるとともに、精密トランジット測光観測を通じた系外惑星の特徴付け研究においても重要な拠点となりつつある。岡山観測所の設備が使えなくなることは、これらの研究が停滞し、世界に大きく遅れを取る結果となってしまう。このような事態を避けるため、岡山観測所のインフラの維持とそのためのサポートを強く希望する。

参考文献

- [1] 福井暁彦、天文月報 2012 年 1 月号、p.22-27
- [2] Fukui, A., et al. 2013, ApJ, 770, 95
- [3] Fukui, A., et al. 2014, ApJ, 790, 108
- [4] Narita, N., et al. 2015, JATIS, 1 (4), 045001
- [5] Fukui, A., et al. submitted to ApJ
- [6] Narita, N., et al. accepted to ApJ
- [7] Hirano, T., et al. submitted to ApJ

要望3-6 真空蒸着装置の継続的な利用

要望者: 吉田道利、川端弘治、植村誠(広島大学)

要旨

岡山 188cm 望遠鏡の共同利用の部分的な移行の開始から、完全な移行完了まで、岡山観測所内にある真空蒸着装置を大学・研究機関ユーザーが利用できるよう、国立天文台が装置を保有し続け、複数機関のユーザーによる運用を可能にすることを求める。

1. 背景

岡山観測所の 188cm 望遠鏡ドーム 1 階にある真空蒸着装置は年に 1 回の 188cm 望遠鏡の主鏡蒸着が主な用途である。また、他大学・研究機関の望遠鏡の鏡の蒸着にも使用されてきた。

広島大学宇宙科学センター附属東広島天文台にある口径 1.5m の「かなた望遠鏡」では偏光観測に力を入れており、主鏡はコーティングしておらず、2006 年の開所以降、年に 1 回岡山観測所の蒸着装置を使用し、再蒸着してきた。再蒸着直後は主鏡の反射率は約 90%だが、例年、1 年間の使用によって反射率は 70~80%に減少する。したがって、年に 1 回の再蒸着はかなた望遠鏡にとって必須であり、岡山観測所の蒸着装置が運用可能であることが、かなた望遠鏡を使った研究にとって生命線の1つである。

表1は 2010~2014 年の 5 年間の蒸着装置の使用実績である。岡山 188cm 望遠鏡と広島大学「かなた望遠鏡」が毎年使用しているのに加え、東京大学、JAXA も散発的に使用していることがわかる。また、2010 年にはウズベキスタンからの利用があり、国際的な需要があることもわかる。各望遠鏡の使用頻度・形態によって蒸着作業の頻度は異なるが、いずれの望遠鏡も鏡の長期にわたる品質保持は岡山観測所の蒸着装置に依存している。一方で、これまでの国立天文台と京都大学との協議のなかで、岡山 188cm 望遠鏡の従来型の共同利用の停止後における蒸着装置を含む岡山観測所のファシリティについては、2015 年 12 月現在において、その運用の継続は保証されていない。

2. 要望の内容

そこで、我々は国立天文台に対して岡山観測所の真空蒸着装置の保有を継続し、複数機関のユーザーによる運用を可能にすることを要望する。具体的には以下を要望する。

1. 蒸着装置、及びその周辺装置を稼働させるために必要なインフラ(配管・配線・循環水システム等)を従来通り、国立天文台が所有する資産・設備・備品とすること。
2. 蒸着装置の操作経験が豊富な現岡山観測所の人員を少なくとも1名、蒸着装置の担当者としてすること。
3. 蒸着装置に軽微な故障が発生した場合は、国立天文台が主体となって修理を執り行うこと。

これらによって実現を希望する運用体制は、共同利用の部分的な移行の開始(2018年を予定)から、完全な移行(2021年を予定)まで継続することを希望する。なお、その後は岡山188cm望遠鏡の新たな運用方針に基づいて、蒸着装置の運用体制も再考する。

なお、蒸着作業の実作業に関して、マンパワーが必要な作業についてはユーザー側から相当の人員を出すものとする。実際、広島大学「かなた望遠鏡」の場合、ここ数年は岡山観測所員の監督・指示のもと、事前にフィラメントに蒸発材料を蒸着する「ブリュエット作業」に3名程度、および蒸着作業自体には8～10名程度の人員を大学から出し、作業を行っている。そのため、国立天文台から多くの人員が供出されない場合でも、上記の要望項目が実現さえすれば、蒸着装置の運用は可能である。また、蒸着作業に必要な消耗品の購入はその一部をユーザー側が負担することも検討する。

表1:岡山観測所の真空蒸着装置の使用実績(2010~2014)

日時	使用機関・望遠鏡
2010/04	ウズベキスタン 60cm, 48cm 鏡
2010/06/08	岡山観測所・188cm 望遠鏡
2010/06/09	広島大学・かなた望遠鏡
2011/06/07	岡山観測所・188cm 望遠鏡
2011/06/08	広島大学・かなた望遠鏡
2011/06/09	JAXA 宇宙科学研究所・1.3m 望遠鏡
2012/06/19	岡山観測所・188cm 望遠鏡
2012/06/20	東京大学 木曾観測所・105cm シュミット望遠鏡
2012/06/21	広島大学・かなた望遠鏡
2012/06/25,26	東京大学 宇宙線研究所・明野大気チェレンコフ望遠鏡
2013/11/20	広島大学・かなた望遠鏡
2013/11/21	国立天文台三鷹・太陽塔望遠鏡
2014/06/10	岡山観測所・188cm 望遠鏡
2014/06/11,13	広島大学・かなた望遠鏡
2014/06/12	JAXA 宇宙科学研究所・1.3m 望遠鏡

国立天文台 岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡
共同利用の京都大学 3.8m 望遠鏡への移行に関する要望書

発行:岡山天体物理観測所 共同利用ユーザー 一同

編集:岡山観測所プログラム小委員会

2015 年 12 月 7 日