

1m級望遠鏡による突発天体・現象の観測

野上 大作¹⁾

¹⁾ 京都大学

Observational research of transient objects and phenomena by 1-m class telescopes

Daisaku NOGAMI¹⁾

Abstract

Telescopes having a diameter of 1-2m have been constructed in many universities, and public observatories in Japan, and Japan is now a power of the telescope. Although each telescope does not have a large diameter, we can make a great contribution to astronomy by coordinated observations via a well cooperated network. Especially, mobile ToO observations of transient objects and phenomena have a possibility to yield a lot of precious data for clarifying the nature and mechanism of such intriguing objects and phenomena. In this paper, we stress importance of coordinated ToO observations by mid-to-small class telescopes, introduce some promising topics, and call for joining our network.

Key Words: Coordinated observation, Transient phenomenon, small telescopes

1 中小口径望遠鏡で行う観測的研究

可視光赤外線領域でも10を超える8m級以上の大型望遠鏡が大活躍する現在、他波長でも大型計画が次々と走り出して、「観測天文学の黄金時代」とはよく言われる言葉である。さらに複数の30m級の次世代超大型望遠鏡計画も進行中である。現代天文学の最先端研究というところといった大型望遠鏡に目が行きがちであるし、中小口径望遠鏡に比べて圧倒的な集光力があるとか、大掛かりな観測装置を取り付け可能であるとかの非常に大きな利点があるのは厳然たる事実である。また観測最適地であるハワイ山頂やチリなどにある場合がほとんどで、シーイング、晴天率、観測可能な波長域などの点でもほとんどの中小口径望遠鏡で及ぶべくもない。

では、これから可視光・近赤外線観測天文学において中小口径望遠鏡が活躍することはなくなるのだろうか?私の答えは「否」である。むしろ(少なくとも今後5~10年のスケールでは)ますます重要な観測結果を出していけるはずである。以下にその要項をまとめたい。

まず中小口径望遠鏡が大型望遠鏡に勝る点としては、1)数が多いこと、2)観測時間に融通が利くこと、といふことがある。このことと、上記の中小口径望遠鏡が大型望遠鏡に劣っている点を考え合わせると、中小口径望遠鏡がこれから最先端の研究を行おうとすれば、その方針としては3つのものが考えられるだろう。即

ち、a) サーベイ観測、b) モニター観測、c) ToO観測である。

実際にサーベイ観測では、近年のものとしてはアメリカのアパッチポイント天文台で走っているスローンデジタルスカイサーベイ Sloan Digital Sky Survey (SDSS) が大きな成果を挙げているのは周知のことであろう。使われている望遠鏡は、口径2.7mのこのプロジェクト専用に製作・運用されているものである。また各国で競って進められている系外惑星探査プロジェクトでは、メインで使われているのは1~4mの望遠鏡である場合が多い(トランジット法によるものでは数十cmクラスの望遠鏡も活躍している)。これについてはモニター観測的な意味も強い。

モニター観測としては、古くはウイルソン山天文台で行われていた恒星活動の変化を追いかけるH-Kプロジェクトが有名だろう。日本のグループとしては名大グループが主導している重力マイクロレンズ現象を探るMOAプロジェクトが成果を挙げている。大規模に変光星や突発的な現象を探るAll Sky Automated Survey (ASAS) やCatalina Real-Time Transient Survey なども数十cmの望遠鏡で行われている。これらは名前の通り、サーベイ観測の性格も併せ持つ。他にも多種のNEOサーベイ観測はこのモニター観測の性質を併せ持つ。

そして、本稿の主題であるTarget of Opportunity (ToO) 観測である。これは突発的な天体現象が起った

1 m級望遠鏡による突発天体・現象観測

時に、それに応じて観測を行うというものである。突発天体やその現象というのは非常に幅広くあるが、本稿ではガンマ線バースト、超新星、新星、矮新星、X線新星などを指す。この分野はまず突発天体・現象の発見がなされ、その後にToO観測という流れになる。10年くらい前までは、発見の部分は超新星・新星ハンターなどのアマチュア天文家や、(ほぼ可視光観測のみ)貧弱なサーベイによるものであった。そこから発見情報がIAU Circularや、VSNETなどの各種メーリングリスト¹に流され、主に世界中に散らばっているアマチュアによる可視光観測か、たまたま観測時間を持っていて発見情報を得た観測的研究者が機転を利かせて断片的なToO観測が行われるというものがほとんどであった。

この10年で状況はどう変わったかというと、アマチュア天文家がレベルアップし(特に日本のアマチュアの方のレベルアップは著しい)、X線やγ線でのものを含めた強力なサーベイと即時の検出・報告システム(GCNやATelなどの連絡網や、ASASやCRTSのVSNETへの通報など)が走るようになった。このように発見段階では非常に発展したものの、実はそれを受けたToO観測の部分はそれほど変わってはいない。近年大型望遠鏡でもToO観測を受け付けるようになり、チリでSMARTS望遠鏡群という1mクラスの望遠鏡を中心とした専用のシステムが走り出したりと、その重要性が広く認められつつある。しかし、まだまだ十分とは言い難く、組織的に取り組めば大きな成果がバンバンあがるのは間違いない。我々は突発現象発生初期からの多モードでの継続的な観測を行うことで、これまでに誰も見たことのないデータを得て、新しい局面を切り拓いていきたい。

2 日本の中小口径望遠鏡事情

日本には多数の意識が高く素晴らしい技術を持つアマチュアがあり、数十cmクラスの望遠鏡で新天体探索や可視光観測に意欲的に取り組んでいる。また多数の1mクラスの望遠鏡を持つ大学・研究機関や公開天文台がある。さらに近年では分光器が安く市販されたり、赤外線アレイの価格が下がってきたりしたことなどで、1mクラス望遠鏡でも使える観測装置が大いにひろがりつつある。そしてなんと言っても、意欲溢れる能力の高い多数の観測的研究者が存在する!これらのことから、日本の関係者が総力を結集すれば、突発天体・現象のToO観測と継続的なモニター観測を多

モードで行うことが可能となる。是非これを実現し、これまでの前例のないデータの取得を行い、いまだ謎の多く残されている突発天体の素性や突発現象の機構の解明に取り組んでいきたい。

現時点での日本の口径1m以上の望遠鏡と観測可能なモードを表1にまとめた。また、今後予定されている口径1m以上の望遠鏡を表2に、現在までのところ天文学的な観測結果の実績はないものの、今後参入の可能性がある(かもしれない)望遠鏡を表3にまとめた。

表1：日本の口径1m以上の望遠鏡と可能な観測モード

2mなゆた望遠鏡	可視撮像、可視中低分散分光、3波長同時近赤外カメラ、近赤外分光
1.88m@岡山天体物理観測所	可視低～高分散分光、近赤外撮像分光、偏光分光
1.8mMOA@名大、NZ	可視広視野撮像
1.5mかなた望遠鏡@広島	可視撮像・低分散分光、近赤外撮像分光、偏光
1.5m@ぐんま天文台	可視低&高分散分光、近赤外撮像
1.4m@名大、南アフリカ	近赤外3色同時撮像
1.3m@JAXA	可視3色同時撮像(GRB可視光残光用)
1.13m阿南市科学センター	可視撮像?(小惑星発見の実績が有る)
1.05m@木曾観測所	可視広視野撮像、近赤外撮像
1.0m mini-TAO@東大、アタカマ	近赤外撮像、中間赤外撮像
1.0m美星天文台	可視撮像、可視低中分散分光
1.0m美星スペースガードセンター	可視広視野撮像

表2：今後予定されている口径1m以上の望遠鏡

1.3m望遠鏡@京都産業大学神山天文台	今年度末運用開始予定
3.8m新技術望遠鏡@京大ほか、岡山	2012年度ファーストライト予定
1.6m望遠鏡@北大・名寄市立木原天文台	今年度?来年度?

表3：今後天文学的な観測がなされる可能性がある(かもしれない)口径1m以上の望遠鏡

1.5m望遠鏡@情報通信研究機構
1.3m望遠鏡@仙台市天文台

¹ メーリングリストは1990年台前半に発展し、突発天体現象の観測に決定的に重要な発見情報の即時共有において非常に大きな革新をもたらしたが、ここでは置いておく。

野上大作

1.1m望遠鏡@銀河の森天文台
1.05m望遠鏡@みさと天文台
1.05mむりかぶし望遠鏡@国立天文台石垣島観測所
1.03m望遠鏡@さじアストロパーク
1.0m望遠鏡@富山市天文台
1.0m望遠鏡@かわべ天文台

3 光赤外ToO+モニター連携観測によるサイエンス

この章では突発天体・現象の可視光多モード連携観測による狙いを概説する。

3.1 超新星

超新星に関してはまず本研究会の山岡氏の集録をご覧頂きたい。早期に発見して型を同定し、その後の観測戦略を練ることになる。基本的な多色の光度曲線作成も重要であるが、さらに分光観測(低～中分散で十分)や偏光観測が可能になると、長い間の懸案であるII型超新星の爆発機構に迫れたり、Ia型超新星の母天体に迫れたりする可能性がある。

3.2 新星

新星は白色矮星表面に降り積もったガスが、一定の温度・圧力を超えた際に起こる熱核暴走反応のことである。伴星からの質量輸送でガスが降り積もるが、伴星としては多くの場合晩期型主系列星(この場合の連星系は激変星と呼ばれる)で、巨星の場合(同じく共生星)や白色矮星の場合もある。爆発の機構はある程度わかっているとされているものの、減光途中の再増光現象や振動期と呼ばれる状態の存在、放出物質の非等方性などよくわかつていないことが多い。Ia型超新星の親星候補天体としてその進化が注目され、新星爆発による重元素のばらまきなども面白いトピックである。

これらを探るために、極大前からの多色測光観測(ただし新星はスペクトル中で輝線が非常に強いため、少なくとも1色は輝線がほとんど寄与しないフィルター(yフィルターなど)を使うことが推奨されている)、分光観測、偏光観測が期待される。ごく最近、爆発後それほど時間の経っていない時期に、数十分の時間尺度という短時間変動が検出された。これも全く予期せぬ出来事で、今後の対観測が期待される。放出された物質は数百～数千km/sで飛ばされるため、これまでに行われた分光観測は低分散のものが主体で、それでも幅広い輝線の消長はわかるが、高分散分光観測をしてみると実はかなり細かい特徴が見て取れることもわかつている。偏光観測は爆発の非対称性の起源を探るために重要である。

3.3 γ 線バースト可視光残光

γ 線バーストはその名の通り γ 線で検出される数ミリ秒から数百秒のバースト現象で、1960年代の初検出以来30年ほど正体不明の現象であった。しかし

1997年にX線及び可視光での残光現象が初めて見つかり、以後急速に研究が進んだ。現在では継続時間2秒以上の長いバーストについては、非常に重い星の進化の最終段階である超新星爆発のうちのごく一部が γ 線バーストとして観測されると考えられている。この機構そのものや通常の超新星との違いの源を知ることが重要であることはもちろんである。また現在知られている中で宇宙で最もエネルギーの大きな爆発現象であるため、最遠方の宇宙を探査するためのツールとしてもこれから観測への期待は大きい。まずは赤外線も含めた測光観測で残光を同定し、赤方偏移zを推定することが重要である。分光観測では正確なzの測定や母銀河の状態を調べることができると期待される。偏光観測ではバースト機構に重要な役割を果たすと考えられる磁場の形状やその変化の情報を得られると思われる。ただし減光が非常に早く、中小口径望遠鏡で分光観測や偏光観測を行おうとすると、爆発検出後数分が勝負となる。そのための望遠鏡や観測装置の最適化をしないと難しいだろう。残光を伴わないように見える γ 線バーストもあり、残光を伴うものとの違いを追求することも重要である。

3.4 ブレーザー

ブレーザーは活動銀河中心核の1種で、中心核から視線方向にジェットが吹き出ている、つまりジェットを真正面が見ているものと考えられている。OJ287など、可視光でも数日のタイムスケールで激しく明るさが変わる現象が知られており、近年ではさらに短い数十分の時間尺度での変動現象が確認されている。系の大きさから考えて非常に解釈の難しい現象であり、今後の観測が期待される。川端氏の集録をご覧頂きたいが、かなた望遠鏡などの活躍で、可視・近赤外線での変動現象と偏光度、偏光方位角の変化の相関が明らかになってきている。ジェット噴出及び収束の機構に大きく関わっていると思われる、磁場についての情報がえられるものと期待されている。

3.5 X線連星・激変星

X線連星はブラックホール、あるいは中性子星と、激変星は白色矮星と通常の星との連星系である。可視光・近赤外線では、X線連星では伴星と降着円盤の外側付近が、激変星では降着円盤全体と伴星が主に見えていると考えられている。

いずれの天体でも可視光で数十倍から数百倍も明るくなるような爆発現象が観測されるものがあり、その起源は降着円盤の熱的構造の変化によるものと考えられている。この爆発は開始後数時間程度のタイムスケールで極大に達するが、この時間こそが降着円盤のダイナミックな構造の変化が観測され、その機構の解明のために重要なところである。時間分解能連続測光

1 m級望遠鏡による突発天体・現象観測

観測で、特に降着円盤やコンパクト天体が伴星に隠される食を伴う天体での食の形状の変化を追う観測が求められる。1980年代後半から、時間分解能連続分光観測によって輝線のプロファイル変化を軌道位相で考慮して解析することで降着円盤や伴星などの構造を調べるドップラートモグラフィーという手法も発展してきた。これを用いてやることで、連続測光観測と相補的に降着円盤のダイナミクスを詳しく調べることができる。爆発の極大を過ぎても、数秒から数時間の様々なタイムスケールで変動現象が観測されており、継続的にその消長を追うことはやはり降着円盤の物理を調べる上で重要である。

赤外線で観測できると可視光よりも低温の領域が観測されるが、近年の激変星の爆発時の観測で、爆発中に可視光で主に観測される領域の外側により低温の領域ができる様が発見されている。降着円盤や爆発の物理を知る上で、可視光と赤外線の共同観測の重要性が増している。

またX線連星では、爆発に伴って高速なジェットが吹き出ることがあることが確認されており、地上望遠鏡での観測とX線、電波との共同での観測によりジェットの機構に迫れる可能性がある。近年、短いタイムスケールでの可視光での変動現象とX線での変動現象の相関を指摘する観測もあり、短時間変動を詳細に調べることで、可視光でもコンパクト天体近傍の極限状況を観測できるとも考えられてきている。この場合、X線の変動と可視光での変動のタイムラグが重要なポイントとなる。また偏光観測によって、降着現象、あるいはジェット噴出現象の機構に深く関わっていると考えられている磁場の情報も得られるかもしれない。

3.7 その他の様々な突発現象

時折思いもよらないような珍しい現象が観測されることもある。例えばV838 Monは突如として明るくなつたことから発見当初は新星爆発だと思われていたが、その後の観測で見事な星雲状の星周物質の姿があぶりだされてきた。今では連星(単独星の可能性も残っている)での強力な質量放出現象が過去にあって相当な量の星周物質がばら撒かれ、新たな爆発によって発された光が星周物質を照らしていく様を見ているものと考えられているが、その正体や機構はいまだにはつきりしているわけではない。V4334 Sgrは日本のベテラン変光天体探索者の櫻井幸夫さんが発見されたことからSakurai's objectと呼ばれている天体であるが、これは中質量星が漸近巨星分枝にいるときにヘリウムフラッシュ、あるいは熱的パルスで大きな質量放出を起こした天体だと考えられている。今後惑星状星雲を経て白色矮星へと進化していくものと思われる。非常に珍しい天体現象であったが、発見された当初はそれほど

集中的な詳しい観測がされていなかったことが残念である。このように突発天体には、今後2度と観測できないような貴重な現象が隠されていることもあり、ともかく観測をしてデータを残す、という姿勢は重要である。

2006年に多胡昭彦さんが発見された振幅の大きなマイクロレンズ現象は、カシオペア座方向という銀河中心方向からは大きく外れた場所のもので、銀河中の星の分布、また星の質量分布を考える上で大きな衝撃を与えた。この天体がマイクロレンズ現象であった決定的な証拠は、数日で対称的な増光と減光をした詳しい光度曲線と、明るい時でも暗い時とスペクトルの様子が全く変わらなかつたことである。

他にも我々はBe星(Be/X線連星)の観測やフレア星の観測など様々な恒星活動現象・変動現象の観測を考えている。

4 今後に向けて

ここまで大まかに述べてきたが、非常に興味深い観測的な研究テーマなのに、断片的な観測しかこれまで行われてこず理解が進んでいない現象はいくらでもある。というより、突発天体・現象というのは、発見から即時に1m級望遠鏡が集まって観測できれば、新しい発見だらけであると言つて過言ではない。これまでそういう観測はほとんど行われてこなかつた上に、一般に突発天体・現象の機構の解明には初期観測こそが重要なのだから。1m級望遠鏡ネットワークで新しいことがわかつてくれれば、さらに大望遠鏡や他波長観測との連携、国際的な連携を行うことで夢は膨らんでいく。我々の1m級望遠鏡ネットワークが先頭を切って新しい観測天文学切り開いていくのである！

やや大言壯語を並べてみたが、これを実現するためにはまずはALL JAPANで臨む組織作りをしていかないといけない。ターゲット天体の状況、各観測地の天気、観測装置の状態など、日々変化していく状況に対応して最適な観測の分担をして実行しなければならない。そのためにはメーリングリストやwebなどのIT技術を駆使した緊密な情報共有網の構築、人員の配置(大学から公共天文台への観測人員としての出張など)、標準的なデータ解析手法やソフトウェアの共有、観測データを一元的に管理するデータセンターの構築、必要になるであろう資金の獲得など様々なことが必要になると想えられる。将来的には効率的な観測装置の開発と配置、自動望遠鏡化なども視界に入れて、皆さんの協力を得ながら少しづつ前進していきたい。

(2010年1月27日受付、2010年2月14日受理)