

大学間連携による光・赤外線天文学 研究教育拠点のネットワーク構築



関 口 和 寛

〈国立天文台 光赤外研究部 〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1〉

e-mail: kaz.sekiguchi@nao.ac.jp

衛星や地上のサーベイ観測から発見される突発天体や変光天体などの可視光・近赤外線での多地点・多機能な即時フォローアップ観測や連続観測といった、大望遠鏡では実施困難な時間領域に焦点を当てた研究 (Time Domain Astronomy) が注目されています。日本の大学と国立天文台が国内外にもつ中小の望遠鏡を使ってこれらの観測を共同して行うことにより、大学での教育と研究を促進することを目指して2011年度から始められた取り組みについて紹介します。

1. ガンマ線バースト天体の観測

—皆様, 黒田です。本日, 日本時間21:51頃に国内サイトで観測可能な位置にGRB150728Aが出ました。

OISTER ToO Alert at 2015-07-28 13:07:31 UTC

Object Name: GRB150728A

Target Position:

RA=19:28:54.456, DEC=+33:54:59.04

AZ=100.7 [deg], EL=81.7 [deg]

Error Circle: 3.6 [arcsec]

Burst Time: 57231.53554 [day]

Source: SWIFT GRB XRT_Pos

観測可能な施設は速やかな観測の実施をお願いいたします。

—黒田様, 皆様, 埼玉大学の潮田です。埼玉では雨がぱつぱつ降っており今晚の観測は厳しそうです。恐れ入りますがよろしくお願いします。

—黒田様, 皆様, 北海道大学 今井です。名寄, Rcバンドにて60秒露光で観測を開始しました。薄曇りながら, Objectのある天頂付近は星が写っております。また, 送られてきた座標のエラーサークル内に光源は写っていないように感じ

ます。取り急ぎ, よろしく願いいたします。

—黒田です。ご連絡ありがとうございます。今のところ, Swiftの可視観測ではうかっていないようです。

—今井様, 皆様, 広島大学かなた望遠鏡では通報後~20分ほど観測できましたが, XRT通報位置に新天体は発見できていません(天の川の込み入った領域とダブルウォラストンプリズムによる分離の影響があることから星の切り分けが難しく, IDに至っていない可能性もあります)。

現在は高湿度のため, 観測できていません。取り急ぎご報告まで。広島大学 志岐, 伊藤

—伊藤様, 志岐様, 皆様, 黒田です。ご連絡ありがとうございます。天の川の中では, 天体の特定もかなりしんどいですね。Enhanced Swift-XRT positionが先ほどGCNCに流れましたので, こちらもご確認ください。

………

………

2015年7月28日に発見されたガンマ線バースト天体GRB150728AのOISTER (Optical and Infrared Synergetic Telescopes for Education and Research) ネットワークによる観測での電子メール

連絡の例です。観測のコーディネーションを担当する黒田（大介）さんを中心に各地にある大学の望遠鏡が情報交換を行い、まるで一つの天文台のように協力して目標天体を観測する様子がわかります。また、天候に恵まれない状況下でも、日本全国に広く分布する望遠鏡を使うと、どこかで観測できるチャンスが高まります。

2. 事業の概要

2.1 背景

日本各地の大学が連携して観測研究を行うことは、大学VLBI連携観測事業（2005-2010年度）としてJapanese VLBI Network (JVN) が構築された例があります。今ではこの大学VLBI連携は、東アジア各国の電波望遠鏡を連携させた世界最大級の電波望遠鏡観測網を作る計画に発展しています。もちろんVLBI観測は、みんなで連携しなければ観測にならないので、大学間での協力が得やすい利点があります。

それに比べて可視光・赤外線（以下、光・赤外線と略す）の分野では、これまで各地の大学がそれぞれ独自に教育および研究用に中小望遠鏡を建設し運用してきました。この事業が始まる前には、東京工業大学では国立天文台岡山天体物理観測所および山梨（明野）にそれぞれ口径0.5 m望遠鏡を設置し、ガンマ線バーストの可視残光観測を行っていました。広島大学では口径1.5 mのかなた望遠鏡に可視偏光観測装置や高速分光装置を取り付け、突発天体に対応した観測を行っていました。鹿児島大学は国内に口径1.0 mの望遠鏡をもち、また名古屋大学は南アフリカに口径1.4 mのIRSF望遠鏡をもち、それぞれ赤外線観測を行っていました。東京大学は2009年にチリに口径1.0 mのmini TAO望遠鏡を設置し赤外線観測等を行っていました。この他にも日本各地の大学や公共天文台が独自の観測研究を行っていました。また東京大学は、口径6.5 mの「東京大学アタカマ天文台望遠鏡 (TAO)」を建設する計画が

あり、本特集では吉井譲氏が大学間連携との関連で紹介しています¹⁾。京都大学は国立天文台と協力して、国立天文台岡山天体物理観測所の隣接地に突発天体に対応できる口径3.8 m新技術望遠鏡を建設する計画ででした。これについては本特集で長田哲也氏が紹介しています²⁾。そして、これらの望遠鏡の制御や観測データ取得のためのシステムは、それぞれ自分たちの用途に合わせて違うものが使われていました。

このようにそれぞれの大学が、独自性を生かした観測研究で競い合うのは良いのですが、日本のように天候条件に恵まれない所では、なかなか十分に必要な観測データが得られません。特に学生の研究課題などでは、これは困った問題です。さらに、自分の大学の望遠鏡だけではできない、たとえば自分たちの望遠鏡にはない観測装置での観測が必要などときもあります。そんなときには、国立天文台など共同利用機関の望遠鏡を使うか、大学間での協力が必要になります。これらの経験から、本特集の吉田道利氏の論文にあるように、国立天文台や他の大学のもつ地上観測設備を統合し、多モード・多波長にわたる相補的観測研究を行う必要が指摘されていました³⁾。

そこで、北海道大学、東京大学、東京工業大学、名古屋大学、京都大学、広島大学、鹿児島大学の7大学と大学共同利用機関である自然科学研究機構・国立天文台が連携することにより、日本の大学が国内外にもつ中小口径の望遠鏡を結び付けて、突発天体等の即時および連続観測により、その物理現象を解明することを目的とした「大学間連携による光・赤外線天文学研究教育拠点のネットワーク構築」（以下「光・赤外線大学間連携」と略す）事業が2011年度から6年間の予定で実施されることになりました。図1に2011年6月22日に学士会館で開かれた記者会見に勢ぞろいした各機関代表者の集合写真を示します。この事業は各大学・機関の天文学関係者だけによる協力事業ではなく、総長、学長、機構長のレベルで大学

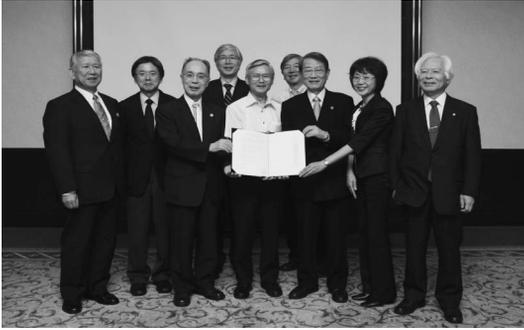


図1 2011年6月22日に学士会館で開かれた記者会見に勢ぞろいした各機関代表者。左から、佐伯浩 北海道大学・総長、清水孝雄 東京大学・理事(副学長)学術企画担当(濱田純一・総長の代理)、伊賀健一 東京工業大学・学長、國枝秀世 名古屋大学・大学院理学研究科長・教授(濱口道成・総長の代理)、佐藤勝彦 自然科学研究機構・機構長、観山正見 国立天文台長、松本紘 京都大学・総長、土屋英子 広島大学・理事・副学長(研究担当)(浅原利正・学長の代理)、吉田浩己 鹿児島大学・学長(職名はすべて調印式当時)。

や機関が協力して実施することが合意されました。研究者個人同士の研究協力は今までもありましたが、機関として責任をもって連携するという、いわば全学レベルで認知された天文学分野での研究協力という点で画期的なものです。翌2012年度からは、埼玉大学、兵庫県立大学もこの事業に加わり、観測体制がより強化されました。

2.2 目的・目標

これまで観測天文学の分野では、観測領域の広さ、深さ、また観測波長帯域の違いはあっても、掃天撮像観測や分光観測なども特定の時点での天体の状態を観測する、言わばスナップショット観測がほとんどでした。特に大型望遠鏡では、個々の研究に使える観測時間は比較的短いので、同じ天体の時間変化を観測する機会は限られています。これらの観測は、より広く、より深く(暗く)と研究が進み、ますます大口径の望遠鏡が必要となり光・赤外線の分野ではTMT⁴⁾等口径30 m級の望遠鏡建設が始まっています。

これに対して近年、衛星および地上からの大規模サーベイ観測データを利用することにより、今まで非常に困難であった突発天体や変光天体の発見と、その情報伝達のためのシステムが整備されて来ました。それにより、これまで十分に観測できなかったような短い時間のスケールで変動する天体を詳細に観測することが可能になりました。2022年に観測開始を予定しているLSST (Large Synoptic Survey Telescope: 大型シノプティック・サーベイ望遠鏡)⁵⁾が観測を始めると、今までの静的な宇宙像から時間により変化する動的な天体現象の研究へと大きな転換が起これと予想されています。

このように時間軸に焦点を当てた観測により、ガンマ線バーストの起源天体の解明や、超新星、X線新星、新星、矮新星、地球近傍の小惑星等の突発または移動天体の詳細な研究が可能となりつつあります。しかし突発天体の発生時期・発生場所は全く予測不可能なため、貴重な早期観測データ取得のためには全地球的な地上観測網を敷き、サーベイ情報を用いてすばやく地上からの光・近赤外線でのフォローアップ観測を実施することが必要です。大規模サーベイ計画が開始されようとするこの時期に国内・国外の望遠鏡を結ぶネットワークを早急に立ち上げ、これらの分野の発展にいち早く貢献するための準備が必要です。

光・赤外線大学間連携事業では、突発天体のフォローアップ観測および変光天体の連続モニター観測等、天文学では比較的未開拓な次元である「時間軸」に焦点を当てた研究を行うことを目的としています。衛星からのサーベイ観測と連携した全地球的な光・赤外線での多地点・多機能な観測ネットワークにより、それぞれの大学がもつ中小望遠鏡の特徴的な機能を使って、相補的で斬新な研究を推進し、すばる望遠鏡やアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(ALMA)のような大望遠鏡だけではできない種類の最先端研究を行うことにより大学での教育と研究を促進し、広い視

野と知識を備えた研究者を育成することを目指しています。また、共同での観測装置やデータ取得・解析システムの開発を通して、世界に通用する高い技術に触れる教育を行う点からも貴重な試みです。大学の垣根を越えて広く研究者の人的交流を促進することが期待されます。

3. 実施体制

3.1 望遠鏡と観測装置

現在光・赤外線大学間連携事業には、上記10の大学・機関が国内9カ所の天文台や観測所にもつ口径0.5-2.0 mの望遠鏡(図2)が参加しており、たとえば北海道の名寄と本州さらに石垣島では、気象条件や日の入りや夜明けの時間が2時間近く違うことなどから観測時間帯や時期にメリットがあります。さらに名古屋大学が南アフリカにもつ口径1.4 mの IRSF 望遠鏡と東京大学がチリにもつ口径1.0 mの mini TAO 望遠鏡が参加しており、日本の昼間でも天の赤道帯および南半球の天体を観測することが可能です。これらにより天の赤道帯領域の天体に対してはほぼ24時間連続の観測も可能となります。また将来的には、東大 TAO (口径6.5 m) 望遠鏡と京大新技術望遠鏡(口径3.8 m) が加わることが期待されます。

これらの望遠鏡には、可視光および赤外線での撮像・測光観測装置、低分散から高分散までの分

光観測装置、さらに高時間分解能を備えた撮像・分光装置まで、多様な用途と性能を備えた観測装置が準備されています。また、新しい観測装置も開発されています。光・赤外線大学間連携に参加する望遠鏡と観測装置の最新情報は光・赤外線大学間連携事業の OISTER Web ページに公開されています。(http://oister.oao.nao.ac.jp/)

3.2 事業の運営体制

光・赤外線大学間連携事業には、現在各大学や協力機関に属する研究者や学生合わせて約130人が参加しています。連携に参加する10の大学・機関の責任者から成る協議会が年に1-2回開催され、予算や大枠の運営方針が決められます。そして、実際の運営については、各大学・機関から選ばれたメンバーにより構成された観測企画運営委員会(4-5回/年+随時に開催)が担当します。

観測企画運営委員会は、この事業の円滑な運営に責任をもち;

- ・メーリングリスト, ウェブページ, Wiki等の作成, 管理, 運用,
 - ・連携に関するガイドラインや規約の制定,
 - ・観測プロポーサルの審査,
 - ・毎年1回のワークショップ開催,
 - ・観測のフォローアップを目的とした進捗報告会(6回/年)の開催,
 - ・主にガンマ線バースト天体を対象とした即時アラートシステムの構築,
 - ・全天モニターや観測装置ステータス取得システム等の観測環境整備,
 - ・大学院生を対象とした他機関での短期滞在実習プログラムの運営,
 - ・共通データ解析パイプライン(CARP: Common-use Automated Reduction Pipeline)の開発,
 - ・観測装置開発のための共同開発環境の整備と維持,
- などを行っています。事業の全体的なとりまとめと予算要求や配分は国立天文台が行います。

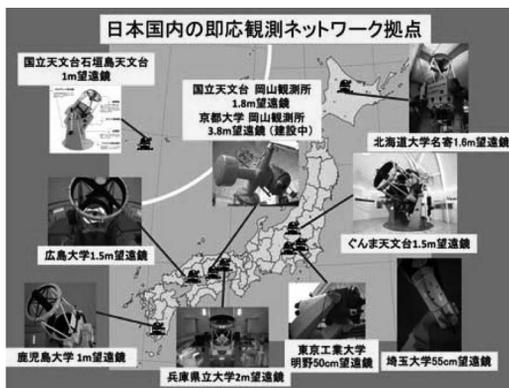


図2 光・赤外線大学間連携の国内観測網.

4. 今までの成果

4.1 研究成果

光・赤外線大学間連携事業での共同研究分野は、主に1. ガンマ線バースト、2. 超新星、3. 活動銀河核、4. 激変星（新星、矮新星など）、5. 太陽系内天体などにわたり、2015年7月までに41天体が観測されました（表1）。OISTERネットワークによる連携観測だけでも5編⁶⁾⁻¹⁰⁾の査読論文が出版され、本事業から派生した協力関係や関連研究から28編の査読論文が出版されました。表2には、これまでの論文出版状況の統計を示します。

この事業の主たる研究課題であるガンマ線バースト天体の観測（図3）では、即時アラートシス

表1 光・赤外線大学間連携事業により観測された天体数.

年度	観測天体数
2011	12 (0)
2012	6 (0)
2013	7 (2)
2014	11 (5)
2015*	5 (2)

() 内はOISTERによるガンマ線バーストの観測数。
*2015年7月までの数

テムと観測実施体制の整備により、2013年以来9件（2015年7月現在）の観測に成功しています（表3）。超新星の観測も、突発天体の即時フォローアップ観測に対応した光・赤外線大学間連携の観測に適した研究対象です。超新星は、宇宙の尺度を測る指標としての役割や、宇宙進化への寄与などからも天文学では重要な研究対象です。この事業では、多くの望遠鏡により、より広い波長領域でより時間密度の高い観測が可能となりました（図4）。本特集の山中雅之氏の論文に詳しく紹介されています¹¹⁾。

銀河中心にある巨大なブラックホールによる変光現象と考えられる活動銀河核の研究は、宇宙進化に伴ったブラックホールの成長過程の解明につながる課題としてこの連携で研究されています^{6),7)}。本特集では伊藤亮介氏と田中康之氏がその取り組みを紹介しています¹²⁾。激変星（新星、

表2 光・赤外線大学間連携事業による研究成果の統計数.

	2011	2012	2013	2014	2015*
査読あり	12 (0)	25 (0)	36 (1)	35 (1)	18 (3)
査読なし	36 (0)	81 (0)	52 (2)	73 (16)	11 (5)

() 内はOISTERによる連携観測による成果。
*2015年7月までの数

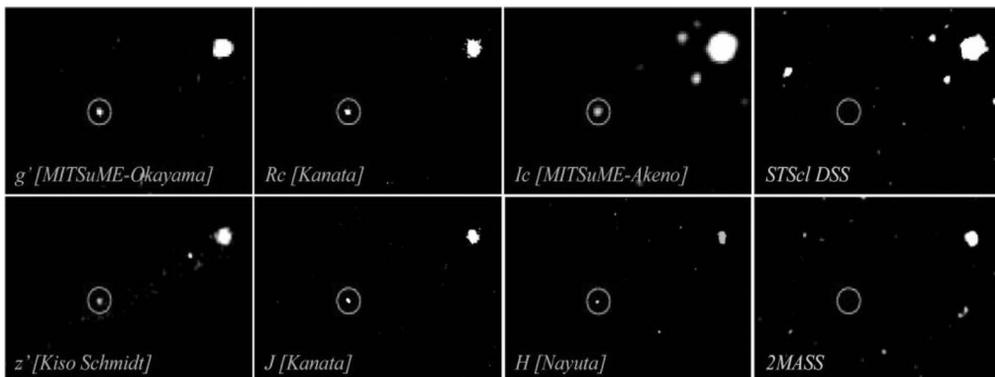


図3 光赤外大学間連携各望遠鏡が観測したGRB140423Aの画像（g'：MITSuME-岡山，国立天文台；Rc, J：かなた，広島大学；Ic：MITSuME-明野，東京工業大学；z'：木曾シュミット，東京大学；H：なゆた，兵庫県立大学）と参照画像（STScI DSSと2MASS）。

矮新星など)は、白色矮星と主に主系列星(一部のタイプでは進化した準巨星から巨星も含む)からなる連星系での、白色矮星表面での核融合爆発や、降着円盤の増光が観測されます。この事業では、その増光を捕えての観測のほかにも、極小期でも比較的明るい天体が多いため、多波長(可視光から赤外線)、多機能(高速測光や分光)での連続観測の対象としても研究されています。さらに光・赤外線大学間連携事業では、機動性を生かして彗星の観測⁹⁾(図5)や小惑星観測にも取り

組んでいます。

4.2 観測環境整備

この事業では、各大学が独自に構築、整備してきた観測システムを連携して観測研究が実施できるようにするため、共同して主にガンマ線バースト天体を対象とした即時アラートシステムを構築しました。そして、各天文台で共通した全天モニターや観測装置ステータス取得システムを導入し、さらに、データ解析を行いやすいように共通

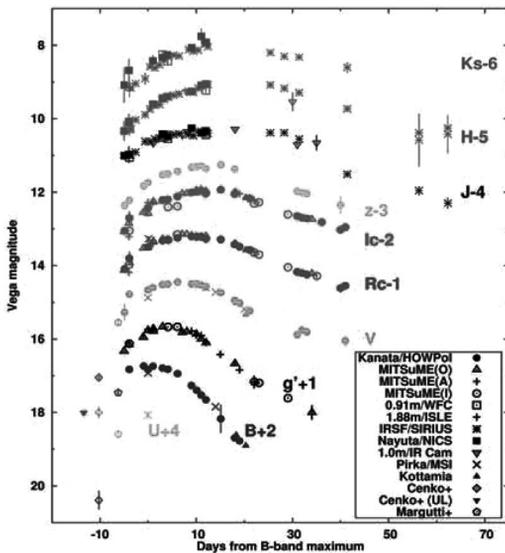


図4 光・赤外線大学間連携によるSN2013Zの多色測光観測¹¹⁾。

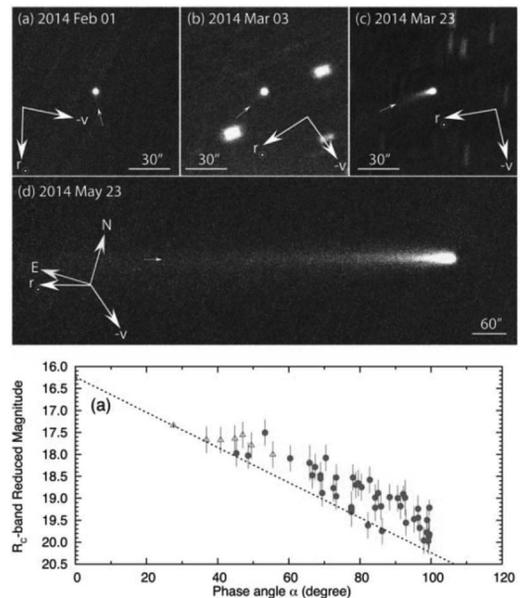


図5 光・赤外線大学間連携による木星族彗星209P/LINEARの測光観測⁹⁾。

表3 光・赤外線大学間連携による学生や若手研究者を対象とした多地点分散型の短期滞在実習の実績。

参加者	実施機関・施設	内容	期間
埼玉大学 M1	岡山天体物理観測所	望遠鏡制御	2013/10/6-11
埼玉大学 M2	西はりま天文台 ／岡山天体物理観測所	低分散分光観測 ／装置開発	2013/10/6-11
東京大学 D2	広島大学	低分散分光観測	2014/1/26-2/1
埼玉大学 M2	広島大学	低分散分光観測	2014/1/26-2/1
兵庫県立大学 D1	県立ぐんま天文台	高分散分光観測	2014/3/26-30
埼玉大学 M1	京都大学	装置開発	2014/10/1-9
埼玉大学 M1	西はりま天文台	低分散分光観測	2014/12/8-13

* 2015年度は新たに5名の実習が予定されている。

データ解析パイプライン (CARP) を開発しました。本特集の渡辺誠氏¹³⁾ および斉藤嘉彦氏と諸隈智貴氏¹⁴⁾ による論文がこれらの取り組みについて紹介しています。

5. 教育的な取り組み

この事業では、大学院生や若手研究者の観測技術と観測データ処理および解析能力の向上と、望遠鏡制御システムおよび観測装置の開発技能の習得を図る多地点分散型の短期滞在実習プログラムを2013年度から行っています (表3)。これら大学の望遠鏡群等の設備を使った短期滞在実習は、実際の観測研究や装置システムの開発などの体験を通じて研究者としての知見を広め、技能を高めるとともに、大学間での人的交流を促進することを目的としています。本特集では大朝由美子氏と高橋隼氏が詳しく紹介しています¹⁵⁾。

6. 今後の展望

「大学間連携による光・赤外線天文学研究教育拠点のネットワーク構築」事業は、2016年度の末で当初予定した6年間で終了します。これまでの成果のとりまとめとして日本天文学会2015年秋季年会では、大学VLBI連携との合同企画セッションを開催しました。またこれまでの成果報告を兼ねてPASJ特集号の出版を2016年に予定しています。そして2015年11月11-12日には、国立天文台三鷹で第6回大学間連携WSを開催し、次期の大学間連携の方針とあるべき姿について検討を始めたところです。

今までの光・赤外線大学間連携事業は、主に望遠鏡と観測設備をもった大学および機関による連携事業でした。これらの望遠鏡が連携しての突発天体早期フォローアップ観測が可能なネットワーク体制は完成しつつあります。次は、日本の光・赤外線天文学のいっそうの発展とさらなる大学での教育研究基盤の強化のために、これまでに蓄積した経験やノウハウを継続し、より多くの大学や

研究機関の参加を求めて天文学の研究教育拠点の裾野が広がるような将来像を模索したいと考えています。

参考文献

- 1) 吉井讓, 2016, 天文月報109, 3号掲載決定
- 2) 長田哲也, 2016, 天文月報109, 102
- 3) 吉田道利, 2016, 天文月報109, 3号掲載決定
- 4) 家正則, 2014, 天文月報107, 587
- 5) Abell A., et al., 2009, arXiv: 0912.0201v1
- 6) Itoh et al., 2013, ApJ 768, L24
- 7) Itoh et al., 2014, PASJ 66, 108
- 8) Yatsu et al., 2014, ApJ 802, 84
- 9) Ishiguro et al., 2015, ApJ 798, L34
- 10) Yamanaka et al., 2015, ApJ 806, 191
- 11) 山中雅之, 2016, 天文月報109, 92
- 12) 伊藤亮介, 田中康之, 2016, 天文月報109, 3号掲載決定
- 13) 渡辺誠, 2016, 天文月報109, 3号掲載決定
- 14) 斉藤嘉彦, 諸隈智貴, 2016, 天文月報109, 3号掲載決定
- 15) 大朝由美子, 高橋隼, 2016, 天文月報109, 107

Coordinated Optical and Infrared Astronomy Education and Research Program by Universities

Kazuhiro SEKIGUCHI

*Optical and Infrared Astronomy Division,
National Astronomical Observatory of Japan,
2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan*

Abstract: Cooperated efforts by Japan's universities, which have their own optical and infrared telescopes, and National Astronomical Observatory of Japan to promote Time Domain Astronomy researches and education at the university departments are presented. The program started in fiscal year 2011 and it is now in the 5th successful year.