



光・赤外線天文学研究・教育ネットワーク(OISTER) 第2期(平成28年度～令和3年度)のまとめと 次期(令和4年度～)に向けて

関口和寛

(国立天文台)

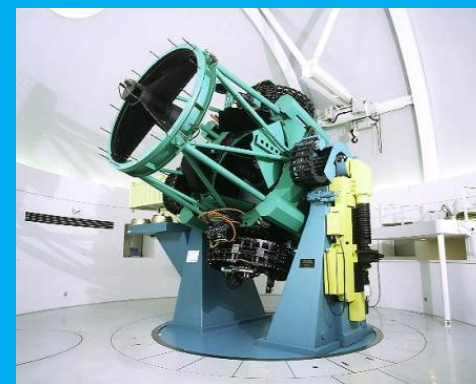
平成23年6月22日、事業への協力について、参加8機関の総長、学長および機構長が合意。参加機関は；北海道大学，東京大学，東京工業大学，名古屋大学，京都大学，広島大学，鹿児島大学、および自然科学研究機構国立天文台の8機関。



なゆた望遠鏡

さらに平成24年度から新たに：
・**兵庫県立大学**
日本国内最大の
口径2メートル「なゆた望遠鏡」

・**埼玉大学**
口径0.55メートル望遠鏡と、
ぐんま天文台1.5メートル望遠鏡
が連携事業に参加。



県立ぐんま天文台1.5m望遠鏡

2016 Vol.109 No.2 昭和24年5月18日 第3種郵便物認可 毎月18日20日発行 平成27年 1月20日発行 ISSN 0374-2466

天文月報 2016

THE ASTRONOMICAL HERALD

「光・赤外線天文学大学間連携」特集(1)
ふと、気づけばミュンヘン
中性子星震学で探る原子核パラメータ



光・赤外線天文学大学間連携事業参加機関で運用されている望遠鏡群

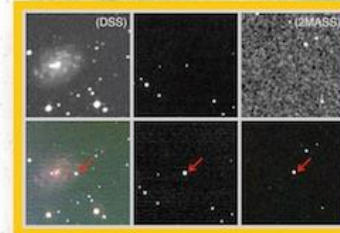


2016 Vol.109 No.3 昭和24年5月18日 第3種郵便物認可 毎月18日20日発行 平成27年 2月20日発行 ISSN 0374-2466

天文月報 2016

THE ASTRONOMICAL HERALD

「光・赤外線天文学大学間連携」特集(2)
極めて継続時間の長いガンマ線バースト



光・赤外線大学間連携による突発天体の観測例

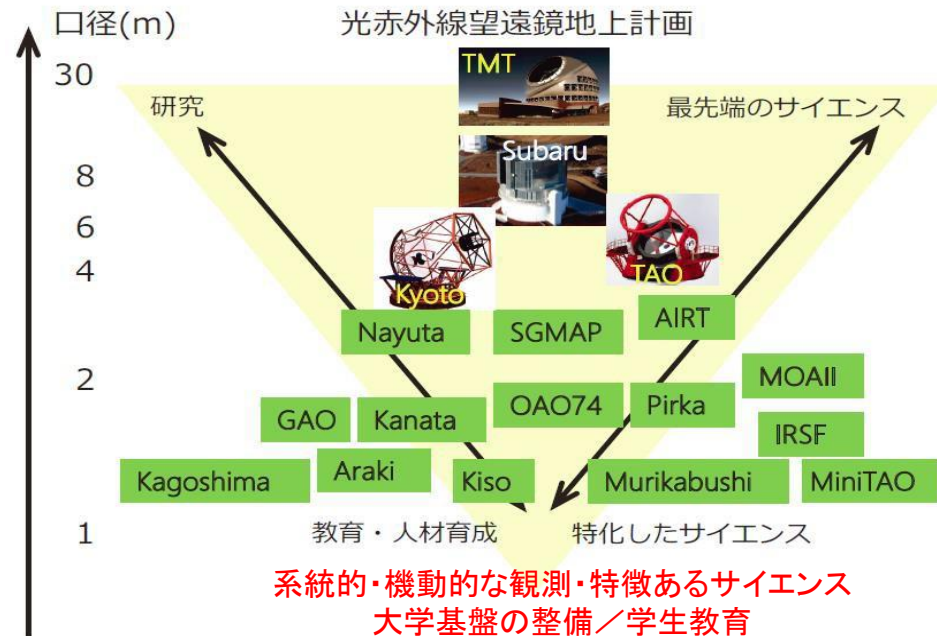


連携のメリット

- ・連携事業経費での人員雇用や設備・システムの整備
- ・個々の大学の設備・装置だけでは出来ない観測研究や実地教育が可能
- ・個々の望遠鏡だけでは達成不可能な観測カバー率を実現
- ・学生や若手研究者が最先端天文学の一翼を担う貴重な機会となり、大学の研究力の向上に貢献
- ・多用な観測モード：撮像、分光、偏光撮像・分光を同時に実現
- ・多バンド観測：可視～近赤外線が多バンドで同時に
- ・多地点観測：天候補償
- ・多経度・緯度：海外の天文台との連携による途切れの無い連続観測、南半球天体の観測も実現

滞在型観測実習

- 各大学の望遠鏡・装置・スタッフの「多様性」を活用
- 希望者(主に大学院生)と実習先をマッチング
- 実習先のスタッフが観測実習・研究指導を実施
 - 若手研究者の観測・データ解析能力の向上
 - 所属大学以外の望遠鏡や観測装置を利用したり、研究分野の合ったスタッフから直接指導を受けられることで、幅広い専門性・視点・思考力を持つ人材を育成



自然科学大学間連携推進機構 NINS Inter-University Cooperative Association :NICA

OISTER



自然科学大学間連携推進機構

- 【目的】 ●機構と大学等との組織的連携強化の方策
●分野別の予算の確保
●人的・物的資源の有効活用
- 【構成】 関係大学の長または研究担当理事等から構成
- 【会議】 協議会を年に1、2回程度

大学群

光赤外線
天文学研究

双方向型
共同研究

筑波大、富山大、京都大、
大阪大、九州大

東京大、大阪大、北海道大、京都大、
筑波大、名古屋大、愛媛大 他

北海道大、東京大、東京工業大、
名古屋大、京都大、鹿児島大 他

筑波大、鹿児島大、茨城大、
岐阜大、山口大学 他

大学VLBI連合

先端バイオイメージング
支援プラットフォーム

自然科学研究機構

MRIを用いた
ヒト高次脳機能解明

ナショナルバイオリソース
プロジェクト(メダカ・ニホンザル)

バイオバックアップ・
プロジェクト

大学連携研究
設備ネットワーク

京都大、新潟大、
宮崎大 他

CiNet (NICT+大阪大)、
新潟大、京都大、
岩手医大、Tubingen Univ、
Max Plank、NIH、eurospin

新規モデル生物
の開発拠点形成

北海道大、東北大、東京大、
名古屋大、大阪大、京都大、
愛媛大、九州大 他

北海道大、東北大、東京大、
名古屋大、大阪大、京都大、
九州大

北海道大、東北大、東京大、
東京工業大、富山大、
名古屋大、京都大、
大阪大、九州大、EMBL 他

大学間連携による光学・赤外線天文学研究教育ネットワークの活用 マルチメッセンジャー天文学の拠点創出



1. 事業骨子

大学と国立天文台によるマルチメッセンジャー天文学の教育・研究拠点構築

大型望遠鏡だけでは困難な機動的、継続的な観測による先端研究分野の開拓

突発天体の重点観測による時間領域天文学 (Time Domain Astronomy) 研究の促進

2. 科学目的

大学所有の中小口径望遠鏡ネットワークを活用し、機動性に富む可視光・近赤外線での多モード連続観測を使った研究を推進する

重力波源、ニュートリノ源、ガンマ線バーストや超新星等の突發現象や変光・変動天体を共同で観測し、それらの物理状態を研究する

3. OISTERの主な活動

- ・突発天体観測用データアーカイブシステムの共同開発
- ・突発天体即時アラートシステムの整備と運用
- ・観測データ解析システムの共同開発
- ・情報共有環境の整備 (ML, HP, Wiki)
- ・観測環境の整備 (装置ステータス監視システム、等の開発)
- ・プロポーサル制による連携観測計画導入
- ・滞在型観測実習 (大学院生を対象に他大学・機関に滞在)
- ・ワークショップ開催 (1回/年)、進捗報告会 (6回/年)
- ・オンライン講演会、講習会の開催
- ・共同研究・開発環境の維持 (観測装置開発協力、実験スペース、等)

事業名：大学間連携による光学・赤外線天文学研究教育ネットワークの活用

参加大学・機関：北海道大学，埼玉大学，東京大学，東京工業大学，名古屋大学，京都大学，兵庫県立大学，広島大学，鹿児島大学，自然科学研究機構(国立天文台)

大学での観測天文学教育と研究を促進することを目指し、大望遠鏡では達成困難な研究領域である時間軸に視点を当てた探究領域で、最先端の研究を共同して行う

連携大学・協力機関

望遠鏡、観測機器、等の提供

協議会 (1-2回/年)

各大学・機関の責任者
予算案や大枠の方針を協議

連携観測研究・教育ネットワーク OISTER

観測企画運営委員会

(4-5回/年+随時)
OISTERを円滑に運用

連携大学・協力機関の研究者や学生

観測提案・遂行・解析・成果とりまとめ

これまでの成果



最近の主な研究成果:

- ・重力波源の電磁波による観測
(光学・赤外線天文学研究教育ネットワーク事業の最重点目標)
- ・高エネルギー宇宙ニュートリノの起源天体の特定
- ・Ia型超新星の標準モデル (Delayed Detonation) の検証

教育等成果(開発・観測運用の現場における教育効果):

- ・多くの博士論文・修士論文・学士論文をアウトプット
- ・リーダーシップのトレーニング
(学生が観測現場をリードし、他機関との連携をマネジメント)
- ・装置開発・運用などを通じての産業界・社会への貢献

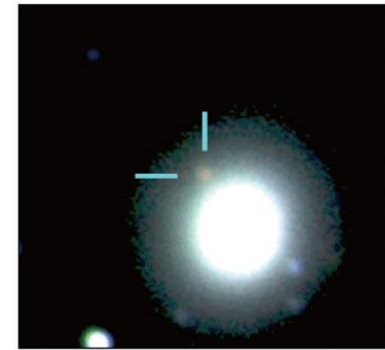
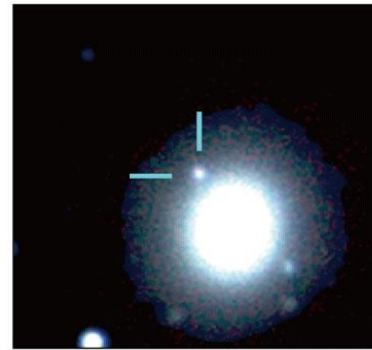
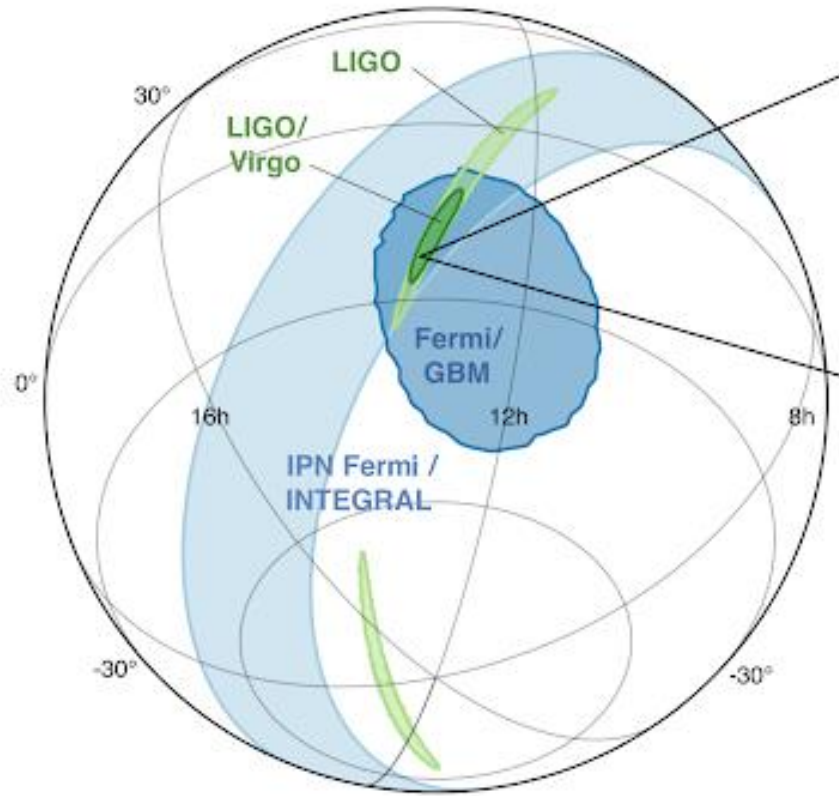
“重力波源の電磁波による観測“に成功！

光学・赤外線天文学研究教育ネットワーク事業の最重点目標



2017.08.18-19

2017.08.24-25

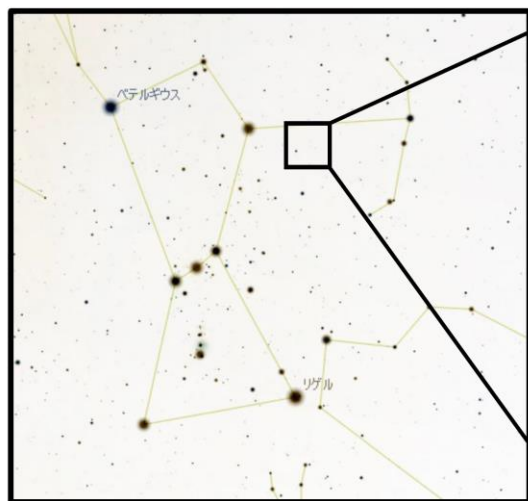


すばる望遠鏡の HSC (z) + IRSF SIRIUS (H & Ks)
○ 国立天文台/名古屋大学

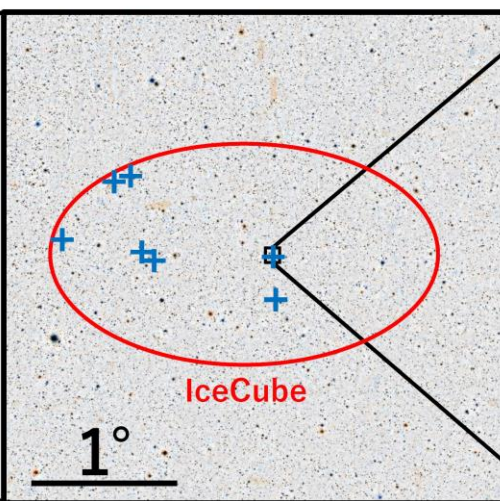
光学・赤外線天文学研究教育ネットワークの望遠鏡が撮影した重力波源 GW170817。うみへび座の方向にある銀河 NGC 4993 で発見され、地球からの距離は約1億 3000 万光年。

ハワイにある国立天文台すばる望遠鏡の HSC による可視光線観測 (z バンド: 波長 0.9 マイクロメートル) と、南アフリカにある名古屋大学 IRSF 望遠鏡の SIRIUS による近赤外観測 (H バンド: 波長 1.6 マイクロメートル、Ks バンド: 波長 2.2 マイクロメートル) を3色合成したもの (青: z バンド、緑: H バンド、赤: Ks バンド)。2017年8月24日-25日の観測では、天体が減光するとともに赤い色を示している (近赤外線で明るく光る) ことが分かる。

高エネルギー宇宙ニュートリノの起源天体の特定に成功



Stellariumより作成



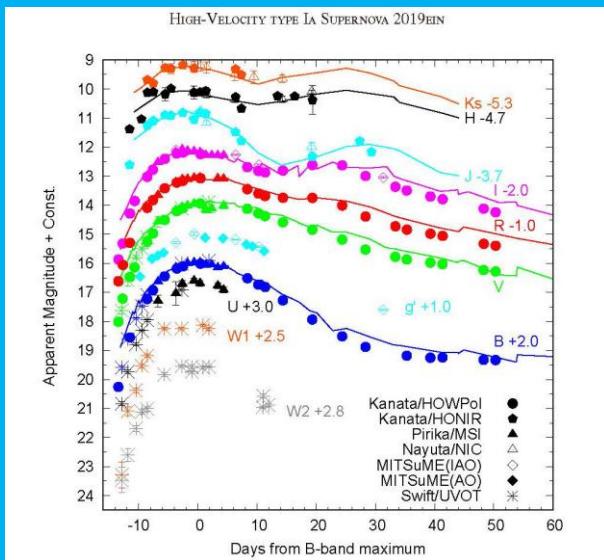
Pan-STARRS DR1 より作成
赤い楕円はIceCubeニュートリノ到来方向の誤差の大きさ
青い+印は候補となったブレーザーの位置



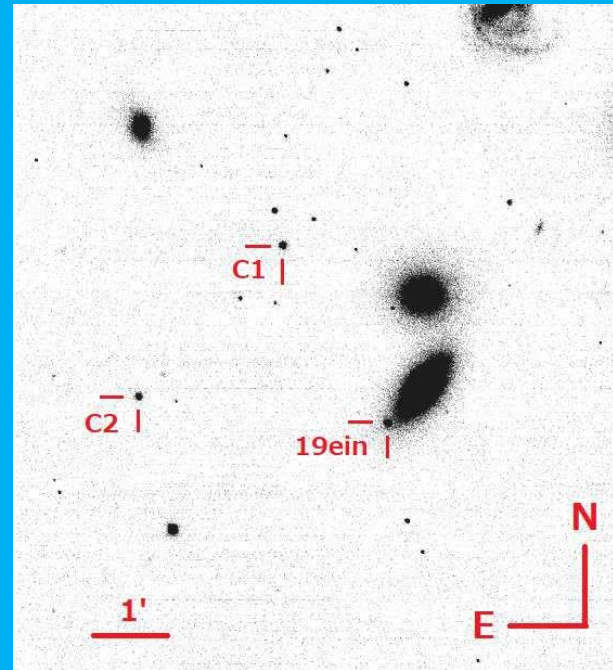
広島大学かなた望遠鏡で取得された画像

南極実験施設 IceCube が検出した高エネルギーニュートリノIceCube-170922Aの到来方向を、広島大学かなた望遠鏡を使って探索観測したところ、TXS 0506+056という天体が明るく活動的であることがわかりました。更に、光赤外線大学間連携を通じた観測によって、偏光情報やスペクトルが調べられ、ブレーザーの特徴を示すことが確認できました。宇宙からやって来たと同定されたニュートリノの放射源としては、太陽、超新星SN 1987Aに次いで3つ目となります。今後のすばる望遠鏡や京都大学3.8mせいめい望遠鏡を含めた光赤外線大学間連携による観測でさらなる発見が期待されます。

Ia 型超新星の標準モデル (Delayed Detonation) の検証に成功



Multi-band light curves of SN 2019ein. The different symbols denote data that were obtained using different instruments (see the figure legends). The light curve of each band is shifted vertically as indicated in the figure. We adopted MJD 58618.24 \pm 0.07 as day zero. For comparison, we show the light curves of SN 2002bo with solid lines (Benetti et al. 2004; Krisciunas et al. 2004).



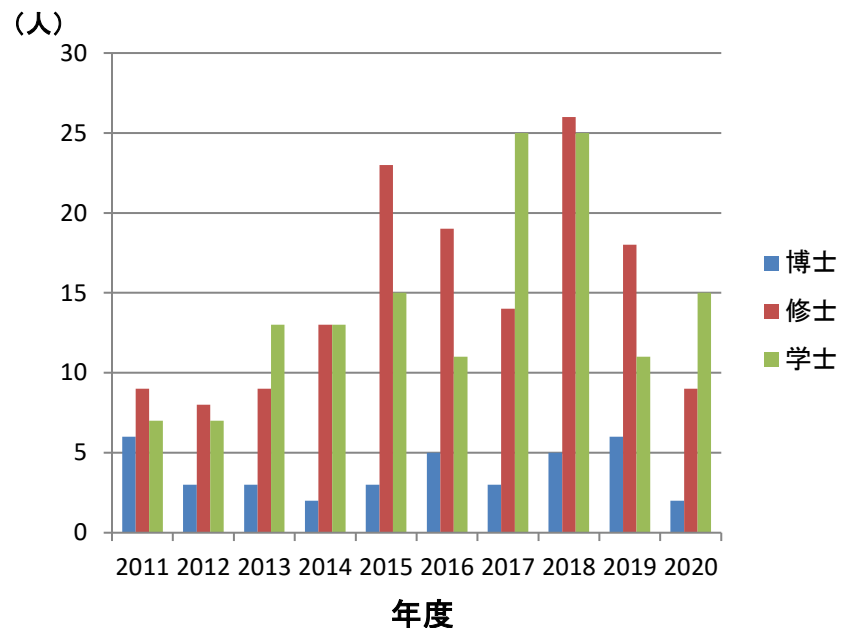
R-band image of SN 2019ein and the comparison stars taken with the Kanata telescope / HOWPol on MJD 58615.7 (2019 May 12).

2019年8月7.4日(UT)に発見されたIax型超新星SN 2019mujを京都大学3.8mせいめい望遠鏡、広島大学かなた望遠鏡を始めとした光赤外線大学間連携での追観測を実施。Iax型超新星の中でも増光期から長期に亘って測光・分光観測を行った例は数が少なく、暗いIax型超新星ではSN 2019mujが初となる。初期は減光速度は速く、Iax型超新星でも暗いSN 2010aeに似た光度変化を示す。中期になると光度変化は緩やかになり、明るめのIax型超新星に近い光度変化を示す。近赤外では、Iax型超新星で特徴であるシングルピークの光度変化を示し、顕著な赤外超過は見られなかった。スペクトルで見られる吸収線は細く、極大頃ではSi II 6355は約5000km/sと速度はやや遅い。これまで例を見ないエジェクタ速度進化を示すIa型であり、標準的な爆発モデルの示すパラメータスペースに一致することが分かった。

光赤外線天文学大学間連携事業による成果の状況

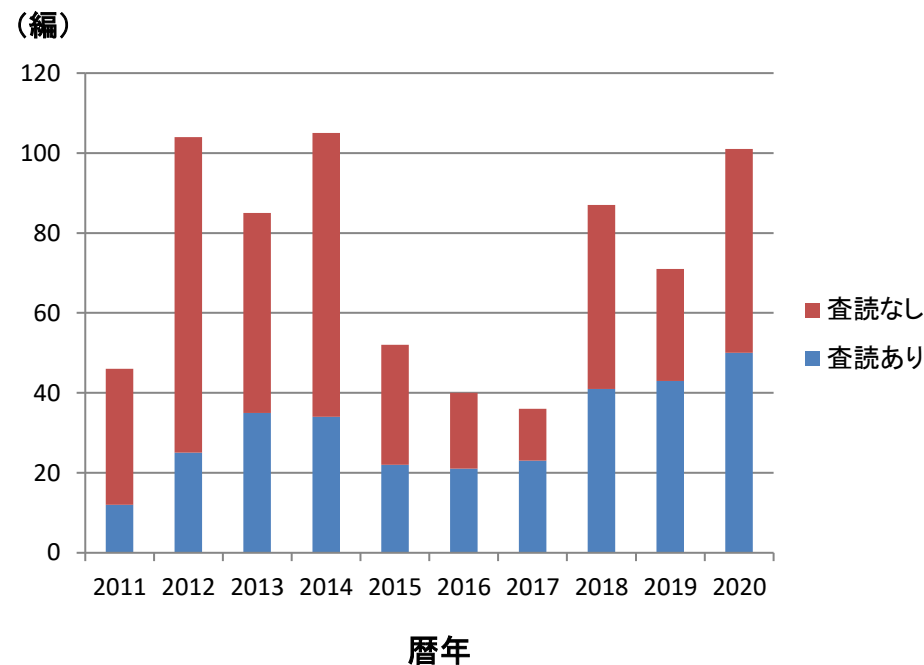


学位取得者数



	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	合計
博士	6	3	3	2	3	5	3	5	6	2	38
修士	9	8	9	13	23	19	14	26	18	9	148
学士	7	7	13	13	15	11	25	25	11	15	142

研究成果論文の出版状況



	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
査読あり	12	25	35	34	22	21	23	41	43	50
査読なし	34	79	50	71	30	19	13	46	28	51

*令和3年5月1日調査

1. 事業骨子

大学と国立天文台の協力によるマルチメッセンジャー天文学の新たな展開

前中期計画期間（平成28年度～令和3年度）の成果である重力波源 (GW170817)の観測とニュートリノ放射源(TXS 0506+056)の同定観測成功を受けて、大学の持つ望遠鏡群を主とした機動的、継続的な観測によるマルチメッセンジャー天文学の研究・教育プログラムを実施し、大学教員と学生が先端研究分野の研究に直接かかわることで大学の研究力強化を図る。

2. 科学目的

マルチメッセンジャー天文学による宇宙高エネルギー現象の解明

- 1) 重力波天体の追求観測による起源とメカニズムの解明
- 2) 連星中性子星の進化と起源の解明
- 3) 高エネルギーニュートリノ放射天体のメカニズムを解明
- 4) Fast Radio Burst（高速電波バースト）天体の正体を解明

3. 主な活動計画

- ・重力波、ニュートリノ観測と連携した突発天体即時アラートシステムの整備と運用
- ・クラウド等を利用した観測データ・解析リソースの共有・共同利用システムの開発
- ・滞在型観測実習（大学院生を対象に他大学・機関に滞在）等による大学の垣根を越えた研究・教育交流の促進





マルチメッセンジャー天文学の進展に向けて OISTERにとっての好材料となる2022年以降の状況

- 2022年以降に米国・欧州に加えて、新たに稼働する日本の重力波検出実験KAGRAが参画予定。
- これにより、到来方向の精度が高まり、重力波を放出する電磁波放射天体が**複数例**発見される事への期待が高まる。
- 高エネルギーニュートリノ実験IceCubeは、到来方向の精度を高めるアップデートを実行、実験はさらに強化され継続。
- 日本独自のニュートリノ検出実験スーパーカミオカンデの発展とハイパーカミオカンデが本格実験を開始
- 依然として機動力の高い中小口径望遠鏡が活躍する期待が高い。
- 広視野・高頻度サーベイ観測網が発展し、多くの突発現象が発見され、即時公開されることが期待される。
- 世界的にも多バンド・多モード観測装置を用いた突発現象の即応・中長期のフォローアップ観測が望まれる状況となる。
- **OISTERの望遠鏡群が世界的ユニークさを増す**ことを意味する。



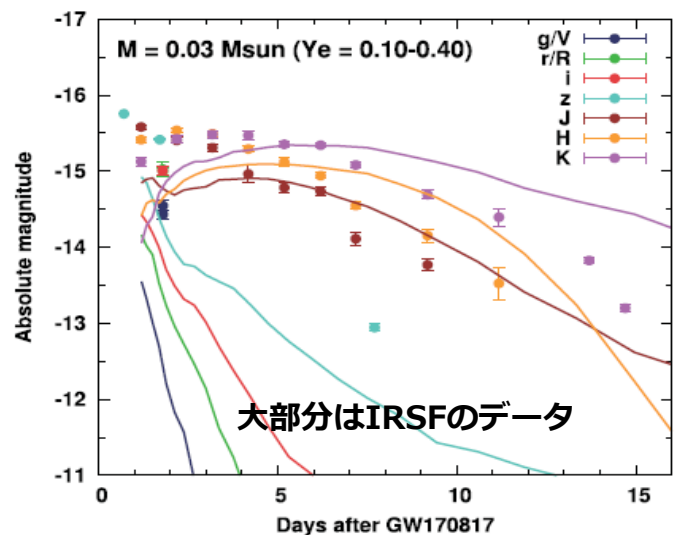
1) 重力波放出天体の追求観測

重力波源対応天体の同定は、わずか1例だけ
 (今後、観測数を増やし統計的なアプローチが必要)

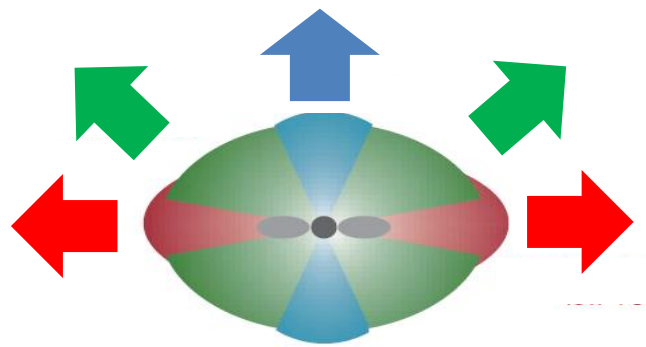
重力波源対応天体はキロノバモデルが有力。
 しかし、このモデルが観測結果を全て説明できたわけではない。特に初期においてキロノバモデルで説明できない成分の存在が示唆されている。GW 170817では重力波の検出から0.5日以前の観測が無く、速やかに観測することが重要である。日本が夜の時間にイベントが発生すれば、1つの経度に集中する国内望遠鏡で速やかに観測することができる。

中性子星合体による重力波源GW170817

明るさの時間変化



Utsumi et al. 2017, PASJ 69, 101



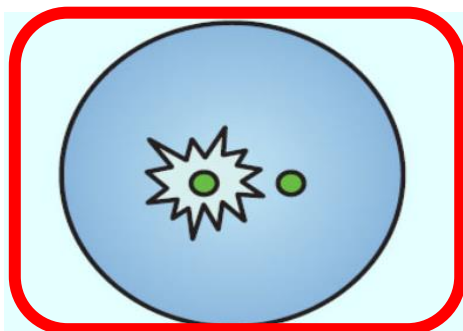
キロノバモデル：爆発構造の描像

Tanaka et al. 2017, PASJ 69, 102より引用

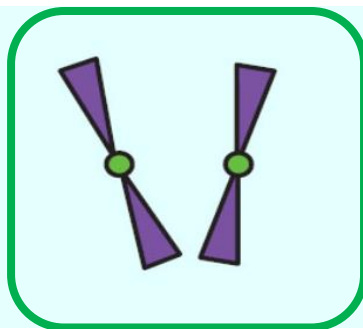
- 本事業による成果**
- (1) 中性子星合体に伴う重力波イベントGW 170817に付随する電磁波放射天体をOISTERに参画する望遠鏡がフォローアップ
 - (2) 史上初めて光学・赤外線で光度の変化が明らかに。
 - (3) 特に、名古屋大学1.4mIRSF望遠鏡が赤外データ取得に主たる貢献を果たした。
 - (4) 合体爆発・電磁波放射モデルが検証された。金・プラチナなどの希少重元素の合成現場であることが立証された。

2) 中性子星を含む連星の起源と進化の解明

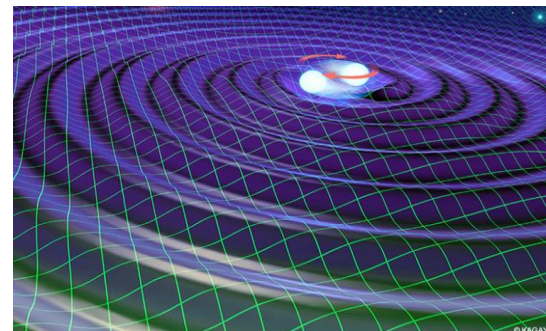
特異な超新星爆発



中性子星連星

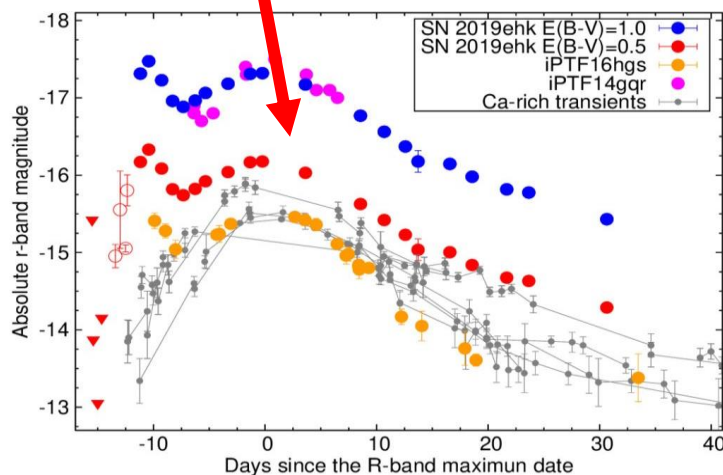


中性子星連星、合体？



De et al. 2018, Science

せいめい・かなた望遠鏡による観測成果



Nakaoka, Maeda, Yamanaka et al. 2019

中性子星連星：

どのような過程を経て爆発に至るか不明

-> GW 170817の発見を境に進化と起源を巡る理論・観測研究が大きく進展しつつある

ある有力なシナリオ：

特異な超新星爆発によって中性子星連星が形成される。爆発直後にその兆候が見られることが期待される。発見後速やかに超新星を測光・分光観測する事が肝要

-> 光赤外天文学大学間連携による柔軟な観測で重要なフェーズを多バンド・多機能で詳細に観測する



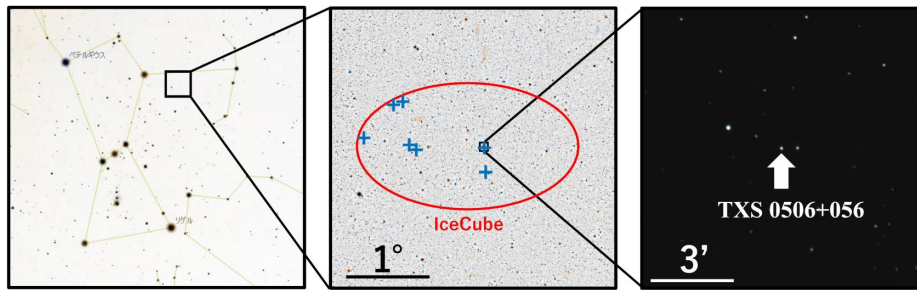


3) 高エネルギーニュートリノ源天体の特定



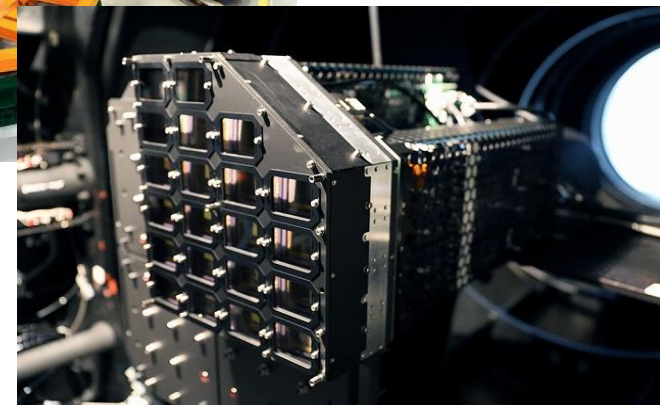
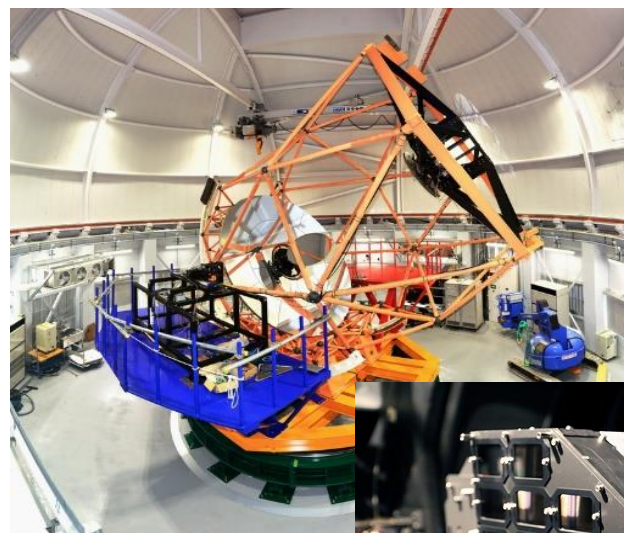
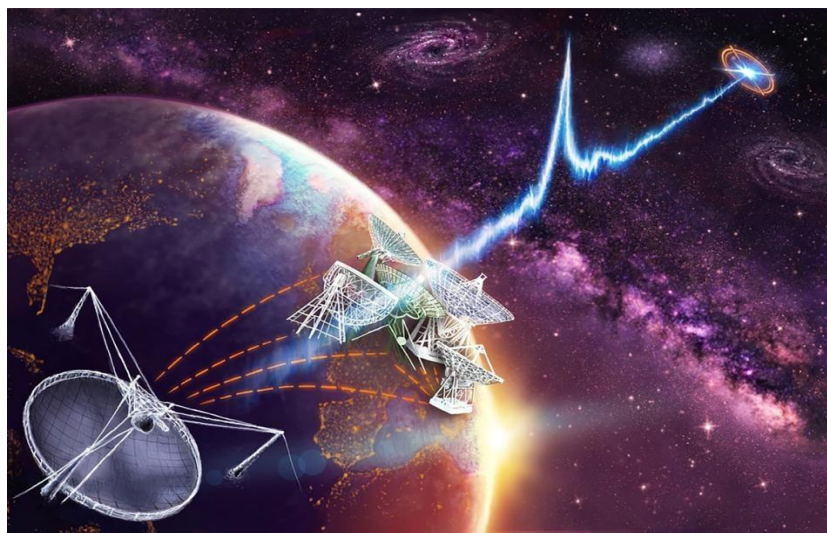
高エネルギーニュートリノ放射源の想像図：
 TXS 0506+056では活動銀河核が同定されたが、電磁波対対応天体が見つかった例はこれのみであり、さらなる追求が求められる。

- 多くの高エネルギーニュートリノ事象に対して追観測がなされているが、電磁波放射が観測された天体は一例のみ。
- シナリオは一つではなく、超新星爆発・ガンマ線バースト等も依然有力。
- 2022年以降、IceCube実験によるニュートリノ検出精度が向上し、多くのイベントが検出されると期待される。
- 到来方向には幅があり、光赤外線大学間連携の持つ望遠鏡で速やかに観測し、活動的な天体を見つけ出す。
- 観測例を2, 3例と積み重ねることでニュートリノバーストに迫る



Stellariumより作成
 Pan-STARRS DR1より作成
 赤い楕円はIceCubeニュートリノ到来方向の誤差の大きさ
 青い+印は候補となったレーザーの位置
 広島大学かなた望遠鏡で取得された画像

4) 高速電波バーストの解明



図：正体不明の起源から速い時間変動を示す電波バーストが到来する様子の想像図

中国500m電波望遠鏡 FAST
との同時観測も準備中



国内最大口径（3.8メートル）のせいめい望遠鏡に搭載予定の**多色同時撮像**が可能な「TriCCS（トリックス）」や木曾シュミット望遠鏡の**広視野撮像装置「Tomo-e Gozen（トモエゴゼン）」**では**秒以下の高時間分解観測**が可能：世界的にユニーク
-> 未知の現象に迫る



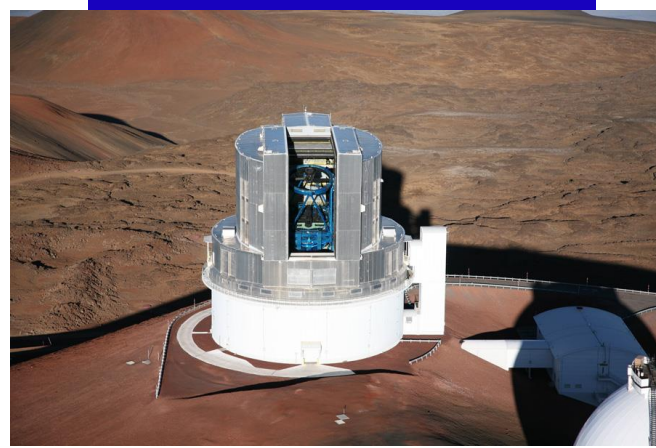
“すばる”と“せいめい”望遠鏡との連携

光赤外線大学間連携では、突発天体や変動現象の観測を柔軟な体制を整えて実施してきた豊富な経験があり、重力波源やニュートリノ源の他にも、ペテルギウス等の超新星爆発が起こった際に、新天体発見のアラートに対応して即座に観測を行うことができます。これにより発見された新天体を詳しく調べるために、“すばる望遠鏡”や“せいめい望遠鏡”をネットワークに組み入れることにより、これらの突発現象解明に重要な分光フォローアップ観測が可能となります。

京都大学岡山観測所“せいめい”望遠鏡



国立天文台ハワイ観測所“すばる望遠鏡”



天体の特徴を調べるための分光観測は、よりたくさんの光を集める必要があるため、これまでの大学間連携の体制では困難でした。今後は、国立天文台ハワイ観測所の“すばる”望遠鏡(口径8.2m)や京都大学岡山観測所の“せいめい”望遠鏡(口径3.8m)で分光観測することで、理論研究によって期待されているようなタイプの超新星であるかどうかや、あるいはブレーザーのタイプや距離を調べることが可能となり、新しく勃興してきている高エネルギーニュートリノ天文学の発展に大きく寄与し、マルチメッセンジャー天文学の発展に資するものと期待されます。