

領域略称名：重力波天体 領域番号：2402

平成26年度科学研究費補助金「新学術領域研究
(研究領域提案型)」に係る中間評価報告書

「重力波天体の多様な観測による宇宙物理学の新展開」

(領域設定期間)

平成24年度～平成28年度

平成26年6月

領域代表者 (京都大学大学院・理学研究科・教授・中村卓史)

目 次

研究領域全体に係る事項

1. 研究領域の目的及び概要	2
2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	4
3. 研究の進展状況	6
4. 若手研究者の育成に関する取組状況	9
5. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	10
6. 総括班評価者による評価	11
7. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	14
8. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開發表等）	17
9. 今後の研究領域の推進方策	22

研究領域全体に係る事項

1. 研究領域の目的及び概要（2 ページ程度）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、これまでの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

～目前に迫った重力波観測の時代に、他の観測との連携体制を構築し、新しい宇宙物理学を開く～

1. 重力波は存在する！！

重力波はアインシュタインが一般相対性理論にもとづいて理論的にその存在を予言した。重力波とは光速で重力の潮汐力の効果が伝わる波である。観測的には連星中性子星である電波パルサー PSR1913+16 の軌道周期(約 28000 秒)が 1 年間に 76.94 マイクロ秒短くなることが電波観測により確かめられたことにより重力波の存在が証明された。一般相対性理論によると、連星のように加速度運動している系は重力波を放出してエネルギーを失い、連星間の距離が短くなるとともに公転周期が短くなる。PSR1913+16 の場合、一般相対性理論による理論値と観測値との差は実に僅か 0.1%であった。1993 年にハルスとテーラーはこの業績によってノーベル物理学賞を受賞した。

2. しかし、重力波の伝搬と振幅（時空の歪み）はまだ実験的に確かめられていない！！

PSR1913+16 により重力波の生成が一般相対論の予言通りであることが確かめられはしたが、重力波が理論通りに宇宙空間を伝搬することは確かめられてはいない。すなわち、連星中性子星 PSR1913+16 から放出されているはずの約 14000 秒周期（＝公転周期/2）の重力波による時空の歪みが直接検出された訳ではなく、波動としての位相の伝搬速度や振幅も確かめられていない。このことは一般相対性理論の検証の上で重要なポイントである。宇宙ニュートリノの観測を例にとると、地下実験で検出される太陽ニュートリノが太陽内部核反応の理論の予言値の半分しかないことがニュートリノ振動という大発見を導いた。重力波の場合も宇宙空間での伝搬が理論通りでなければ、ニュートリノ振動のように新しい物理学のフロンティアが現れ、その学術的な意味は測りしれない。一方、重力波が検出されれば、連星中性子星合体や超新星爆発などの破局的な天体現象や、ブラックホールが生成される現場の観測が可能になる。これは、今までの観測手法では深部を見ることができなかった強い重力場で一般相対性理論に支配された天体現象について、宇宙物理学の研究の新しい局面を開くと期待される。

3. 本格的な重力波観測の時代の幕開けは目前！！

米国の LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory)と仏・伊連合による Virgo のレーザー干渉計は距離約 6000 万光年での連星中性子星の合体からの重力波を検出可能なレベルに達したが、この感度では検出確率は 300 年に 1 回程度であり重力波の直接観測は期待できなかった。そこで、LIGO と Virgo は装置の改良を実施中で 2015 年から、改良型の感度向上と観測を繰り返し、検出可能な重力波の振幅を 1 桁下げることを目指している。そして、2019 年(Virgo は 2020 年)には連星中性子星の合体からの重力波を年間 10 イベント程度の検出率で観測を開始する予定である。我が国では「最先端研究基盤事業」に選定された「宇宙線研究所の大型低温重力波望遠鏡(KAGRA)計画」は腕の長さ 3 km のトンネルを神岡鉱山で 2014 年 3 月に掘削を終え、2015 年 12 月には一旦常温で観測した後、2016 年から低温鏡により感度高度化を進めて 2017 年から 2018 年を目途に LIGO や Virgo と同程度の感度に達する予定である。

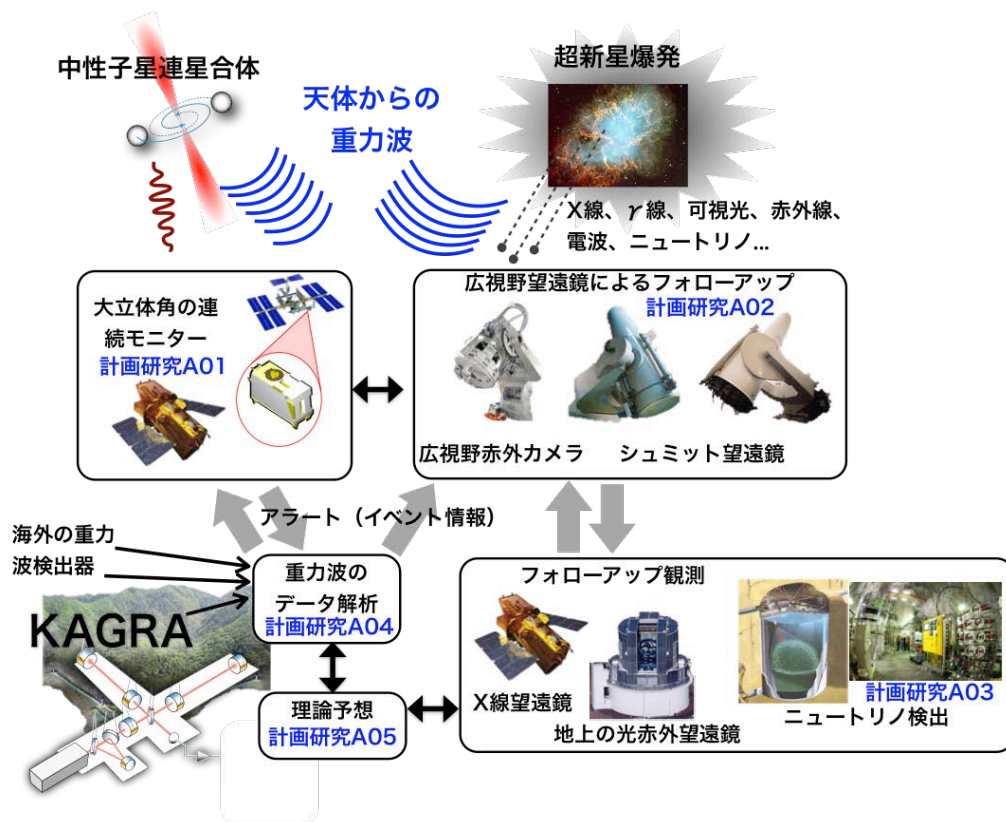
4. 領域の構成は？

計画研究は A01-A05 までの 5 つからなる。その内 3 つは電磁波とニュートリノの観測研究であり、後 2 つはデータ解析と理論の研究である。A01 では、重力波天体のガンマ線・X 線放射を観測するために①大立体角 X 線観測装置を開発するとともに②既存の観測衛星を用いて重力波源候補天体現象の観測研究を行う。A02 では、A01 とともに密接に連携して重力波源の可視・赤外線・電波観測をするため①可視赤外線広視野観測システムの構築②全地球的観測網の整備③電波観測による重力波天体を含む激変天体の観測体制の整備を行う。A03 では、

ペテルギウスからアンドロメダ銀河までで起きる超新星爆発に伴うニュートリノ事象に感度を持つ検出器の開発を行う。A04 はデータ解析で、理論が与えたテンプレートと観測データを高速で比較して重力波源と波形を突き止めることにより、到来方向の速報を A01 と A02 に出し追跡観測を促す。また、ガンマ線、X 線、可視・赤外線、ニュートリノ観測との比較を可能にする重力波のデータ解析もする。A05 は重力波の源・波形の理論で、すでに候補となっている波源の詳しい研究以外にも全く新しい波源を考えるのも課題である。

5. 何が宇宙物理学の新展開となりそうか？

まず、最も早い場合には 2015 年にも重力波が観測されることが全く新しい局面である。次に、重力波源が何でどういう現象が起こっているのかを明らかにするには重力波以外の電磁波やニュートリノの観測データが欠かせない。すなわち、重力波の研究者が電磁波の天文学やニュートリノ天文学の研究者と密接な関係を持つことになり、領域として大きな広がり期待できるのが今までと比べて全く新しい。2 つの例を挙げよう。連星中性子星の合体は継続時間の短いショートガンマ線バーストの候補でもある。しかし電磁波観測だけでは、その他の候補も含めて本当の起源が何かは、ほとんどわかっていないというのが現状である。重力波が発生した場所でショートガンマ線バーストが起こっているのが分かれば、ショートガンマ線バーストは連星中性子星の合体だと確認できるとともに、電磁波の時間変化と重力波の発生時間との比較からガンマ線バーストの理解が飛躍的に進む。もう一つの例は我々の銀河中で起こる超新星爆発である。もし発生すれば、重力波、電波からガンマ線に至るあらゆる電磁波帯、及びニュートリノの同時観測が期待でき、未だによくわかっていない超新星爆発のメカニズムを明らかに出来る可能性が高い。領域の構想を全体表示すると以下の図のようになる。



6. 重力波観測実験と本領域の関係

重力波観測実験は検出装置本体の建設が主である。一方、重力波天体の重力波以外の多様な観測並びに理論研究を行うのがこの領域の主な課題である。本研究はそのための多様な観測装置の開発や運用を進める。また重力波の観測データ取得そのものは KAGRA 計画で実行されるが、本領域で必要とされるイベント速報データ解析は KAGRA 計画の範囲外である。つまり、本領域は学問的には KAGRA と密接な関係を持つが予算的には KAGRA とは完全に独立な研究組織である。

2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況（2 ページ程度）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、研究組織間の連携状況について組織図や図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

項目毎の公募研究も含めた研究組織は以下のようになっている

X00 総括班

研究代表者: 中村 卓史 京都大学大学院理学研究科・教授・宇宙物理学・全体の総括
研究分担者: 神田 展行 大阪市立大学大学院理学研究科・教授・重力波実験物理学・事務局担当・計画研究 A04 代表者
河合 誠之 東京工業大学大学院理工学研究科・教授・宇宙物理学・計画研究 A01 代表者
吉田 道利 広島大学宇宙科学センター・教授・光学赤外線天文学・計画研究 A02 代表者
ヴァギンズ マーク 東京大学数物連携宇宙研究機構・特任教授・天体素粒子物理・計画研究 A03 代表者
田中 貴浩 京都大学大学院理学研究科・教授・宇宙物理学・計画研究 A05 代表者
連携研究者: 梶田 隆章 東京大学宇宙線研究所・教授・宇宙線・評価担当
佐々木 節 京都大学基礎物理学研究所・教授・相対論・宇宙論・評価担当
坪野 公夫 東京大学大学院理学系研究科・名誉教授・実験相対論・評価担当
伊藤 好孝 名古屋大学太陽地球環境研究所・教授・宇宙線物理学・評価担当
渡部 潤一 国立天文台天文情報センター・教授・惑星科学・光赤外線天文学・評価担当、広報

A01 重力波天体からのX線・ γ 線放射の探索

研究代表者: 河合 誠之 東京工業大学理工学研究科・教授・全体の統括、広視野突発天体観測システムの開発・運用
研究分担者: 谷津 陽一 東京工業大学・助教・X線・ガンマ線天文学実験・衛星用硬X線大立体角カメラの開発
富田 洋 宇宙科学研究所・主任開発員・X線天文学・軟X線大立体角カメラの開発
三原 建弘 理化学研究所・専任研究員・X線天文学・符号化マスク
坂本 貴紀 青山学院大学理工学部・助教・宇宙物理学・検出器の応答関数、MAXI を用いた GRB の研究
連携研究者: 常深 博 大阪大学理学研究科・教授・X線天文学・軟X線大立体角カメラの開発
上野 史郎 宇宙航空研究開発機構・主任開発員・宇宙物理学・スターセンサー、バス部
吉田 篤正 青山学院大学理工学部・教授・宇宙物理学・ガンマ線分光器
根来 均 日本大学理工学部・教授・宇宙物理学・データ処理
上田 佳宏 京都大学理学研究科・准教授・宇宙物理学・ブラックホール天体の観測研究
海老沢 研 宇宙航空研究開発機構・教授・宇宙物理学・観測アーカイブ
幸村 孝由 東京理科大学理工学部・准教授・宇宙物理学・軟X線大立体角カメラの開発
公募研究: 米徳 大輔 金沢大学理学部・准教授・重力波と電磁波の同時検出を目指した全天監視型X線撮像検出器

A02 天体重力波の光赤外・電波対応事象探索ネットワークの構築

研究代表者: 吉田 道利 広島大宇宙科学センター・教授・光赤外天文学・計画推進、システム構築
太田 耕司 京都大理学研究科・教授・銀河天文学・中口径光学望遠鏡による分光観測
柳澤 顕史 国立天文台岡山・助教・赤外線天文学・突発天体の広視野赤外線観測
本原顕太郎 東京大理学研究科・准教授・光赤外天文学・広視野観測装置の開発と運用
連携研究者: 土居 守 東京大理学研究科・教授・光赤外天文学・木曾観測所による広視野変光天体観
川端 弘治 広島大宇宙科学センター・准教授・恒星物理学・突発天体の偏光分光観測
永山 貴宏 名古屋大理学研究科・特任助教・赤外線天文学・広視野赤外線観測
藤澤 健太 山口大時間学研究所・教授・電波天文学・重力波候補天体の電波観測
公募研究: 酒向 重行 東京大理学研究科・助教・天文観測用高感度CMOSセンサの開発
田村 陽一 東京大理学研究科・助教・ミリ波サブミリ波観測技術による γ 線バースト初期残光の探索
阿部 文雄 名古屋大理学研究科・准教授・広視野望遠鏡を利用した重力波天体の光学観測
永山 貴宏 名古屋大理学研究科・助教・特殊減光フィルタを用いた近赤外線での明るい重力波源の観測
田中 雅臣 国立天文台・助教・超高頻度サーベイ観測による短時間突発天体の検出

A03 超新星爆発によるニュートリノ信号と重力波信号の相関の研究

研究代表者: ヴァギンズ マーク 東京大学・特任教授・天体素粒子物理・研究の総括
研究分担者: 小汐 由介 岡山大学・准教授・天体素粒子物理・データ取得
連携研究者: 中畑 雅行 東京大学・教授・天体素粒子物理・テストタンク運転
作田 誠 岡山大学・教授・天体素粒子物理・中性子・ガンマ線評価
竹内 康雄 神戸大学・教授・素粒子物理学実験・放射線不純物測定
石野 宏和 岡山大学・准教授・天体素粒子物理・透過率測定
岸本 康宏 東京大学・准教授・天体素粒子物理・キャリブレーション

関谷 洋之 東京大学・助教・天体素粒子物理・純水循環装置
 公募研究： 石徹白晃治 東北大学・助教・K a m L A N Dによる近傍超新星爆発の観測
 作田 誠 岡山大学・教授・ガドリニウムの熱中性子吸収反応でのガンマ線の相関測定

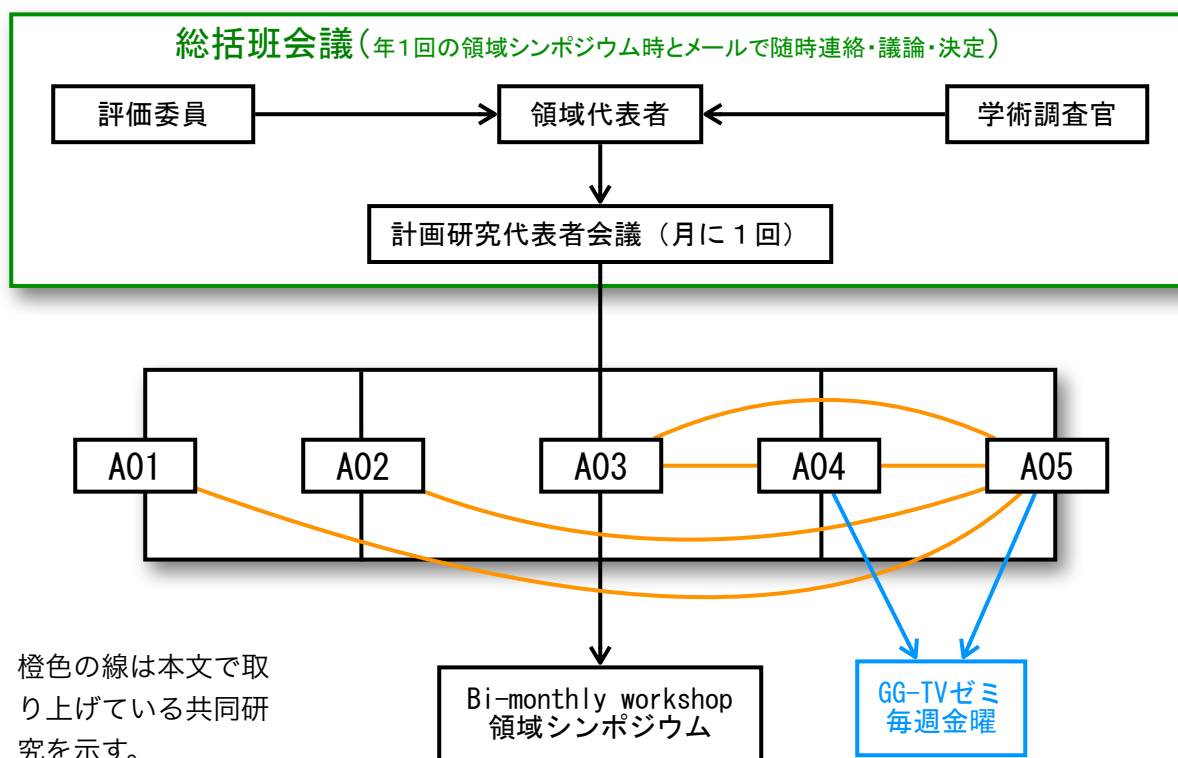
A04 多様な観測に連携する重力波探索データ解析の研究

研究代表者： 神田 展行 大阪市立大学理学研究科・教授・重力波実験物理学・計画推進・実験データ解析
 研究分担者： 田越 秀行 大阪大学理学研究科・助教・宇宙物理学・データ解析手法とコード開発
 高橋 弘毅 長岡技術科学大学工学部・准教授・宇宙物理学・データ解析手法の開発
 大原 謙一 新潟大学自然科学系・教授・宇宙物理学理論・新解析手法とその高速計算手法の開発
 伊藤 洋介 東京大学理学系研究科・特任助教・重力波天文学・連続重力波データ解析手法
 連携研究者： 新谷 昌人 東京大学地震研究所・准教授・地球計測学・データへの地球物理学的解析応用
 辰巳 大輔 国立天文台光赤外研究部・助教・重力波観測データ校正
 公募研究： 横山 順一 東京大学・ビッグバンセンター・教授・非ガウスノイズを取り入れた重力波データ解析方法の研究
 廣林 茂樹 富山大学・工学部・教授・重力波に関する新知見を導き出す超高精度解析技術と高速計算組み込み技術
 辰巳 大輔 国立天文台光赤外研究部・助教・低温干渉計型重力波検出器における突発性雑音低減

A05 重力波天体の多様な観測に向けた理論的研究

研究代表者： 田中 貴浩 京都大学大学院理学研究科・教授・宇宙物理学・計画研究全般の組織化と宇宙論的重力波源の研究
 研究分担者： 中村 卓史 京都大学大学院理学研究科・教授・宇宙物理学・様々な重力波源の研究
 山田 章一 早稲田大学先進理工学部・教授・宇宙物理学・超新星爆発の物理の研究
 瀬戸 直樹 京都大学大学院理学研究科・助教・宇宙物理学・重力波源およびデータ解析法の研究
 井岡 邦仁 高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所・准教授・重力波源と同時観測の理論的研究
 連携研究者： 川崎 雅裕 東京大学宇宙線研究所・教授・宇宙論・宇宙論的な重力波源の研究
 横山 順一 東京大学・ビッグバンセンター・教授・宇宙論的な重力波源の研究
 柴田 大 京都大学基礎物理学研究所・教授・宇宙物理学・数値相対論による重力波形の提供
 固武 慶 福岡大学・准教授・宇宙物理学・超新星爆発の物理と波形の研究
 公募研究： 須山 輝明 東京大学・ビッグバンセンター・助教・強い重力場での修正重力理論の検証に向けた理論的研究
 木内 建太 京都大学基礎物理学研究所・特定助教・ブラックホール磁場中性子星合体に関する数値的研究
 諏訪 雄大 京都大学基礎物理学研究所・准教授・ニュートリノ駆動型超新星爆発からの重力波
 関口 雄一郎 京都大学基礎物理学研究所・特定助教・コンパクト天体連星合体における r 過程元素合成の研究
 小畠 康史 広島大学・理学部・教授・マグネター星震学に向けた基礎理論

新学術領域「重力波天体」組織図

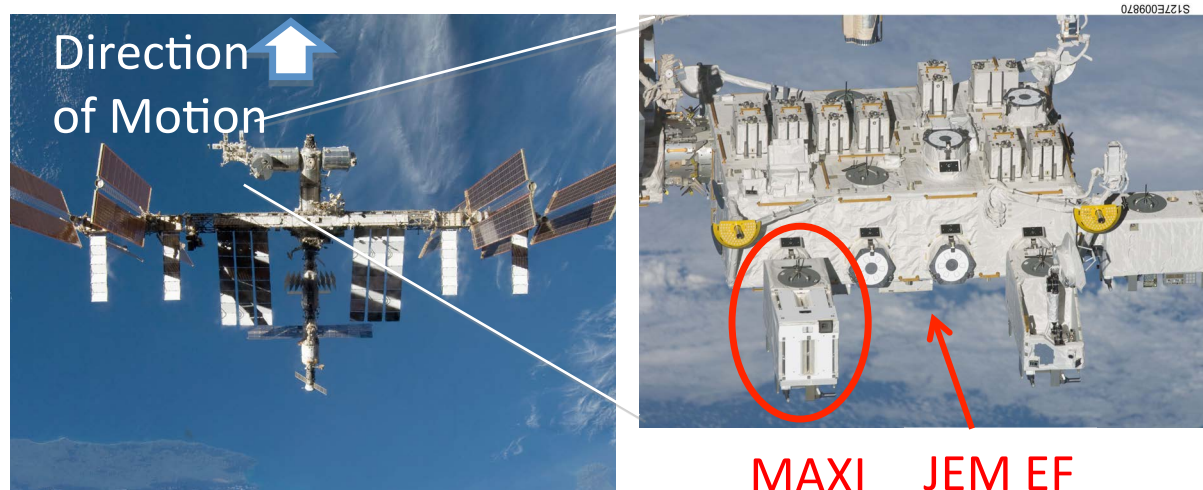


3. 研究の進展状況〔設定目的に照らし、研究項目又は計画研究毎に整理する〕（3 ページ程度）

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、現在どこまで研究が進展しているのか記述してください。また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らして、どのように発展したかについて研究項目又は計画研究毎に記述してください。

各計画研究はほぼ予定とおりに進んでいる。それぞれの計画研究における主な進展を以下に述べる。

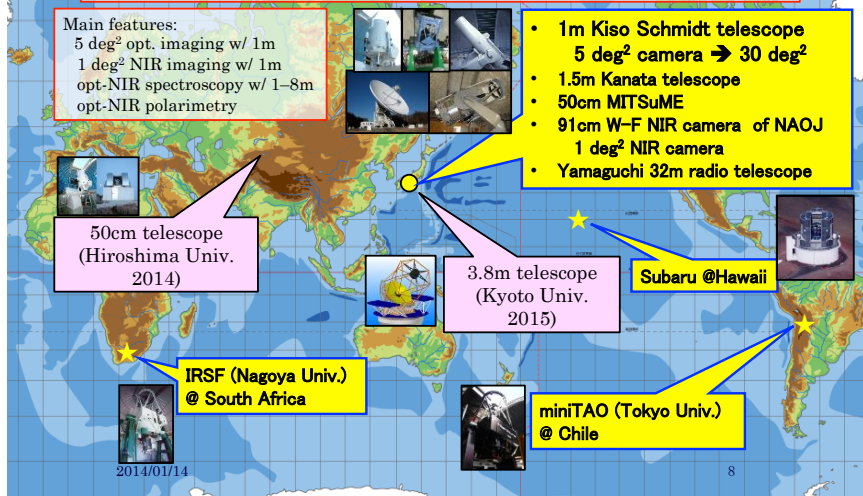
- 1) 最も有望な重力波源であるショートガンマ線バーストはジェット状の放射である事が分かっており、多くの場合はジェットを横から観測する事になる。従って観測できるのは 10keV 以下の X 線放射であるが、重力波によって決まる源の位置は数十平方度の広範囲に渡っているので、広視野の X 線望遠鏡が必須である。現在 ISS (国際宇宙ステーション) に取り付けられている MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) があるが、全天の 2% しか cover 出来ないのもっと視野の広い WF (Wide Field)-MAXI を提案するため、ミッションの検討と機器の開発（予備設計と試作）を計画研究 A01 で行って来た。その結果、十分な準備が整ったので、宇宙科学研究所の小規模プロジェクトの公募に対して ISS ミッションとして提案を行った。WFM-AXI は全天の 25% を常に観測する。0.7-10keV の領域で $2 \cdot 10^{-9} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (積分時間 100 秒、 5σ) の感度をもつため、重力波が検出できる範囲内の短い GRB に付随する軟 X 線放射の follow-up 観測が可能となる。なお、ISS は 2024 年までの運用が米国から要請されている。下の図は ISS および MAXI が取り付けられた JEM EF (日本実験棟「きぼう」) の船外実験プラットフォームの地球周回軌道上の写真である。



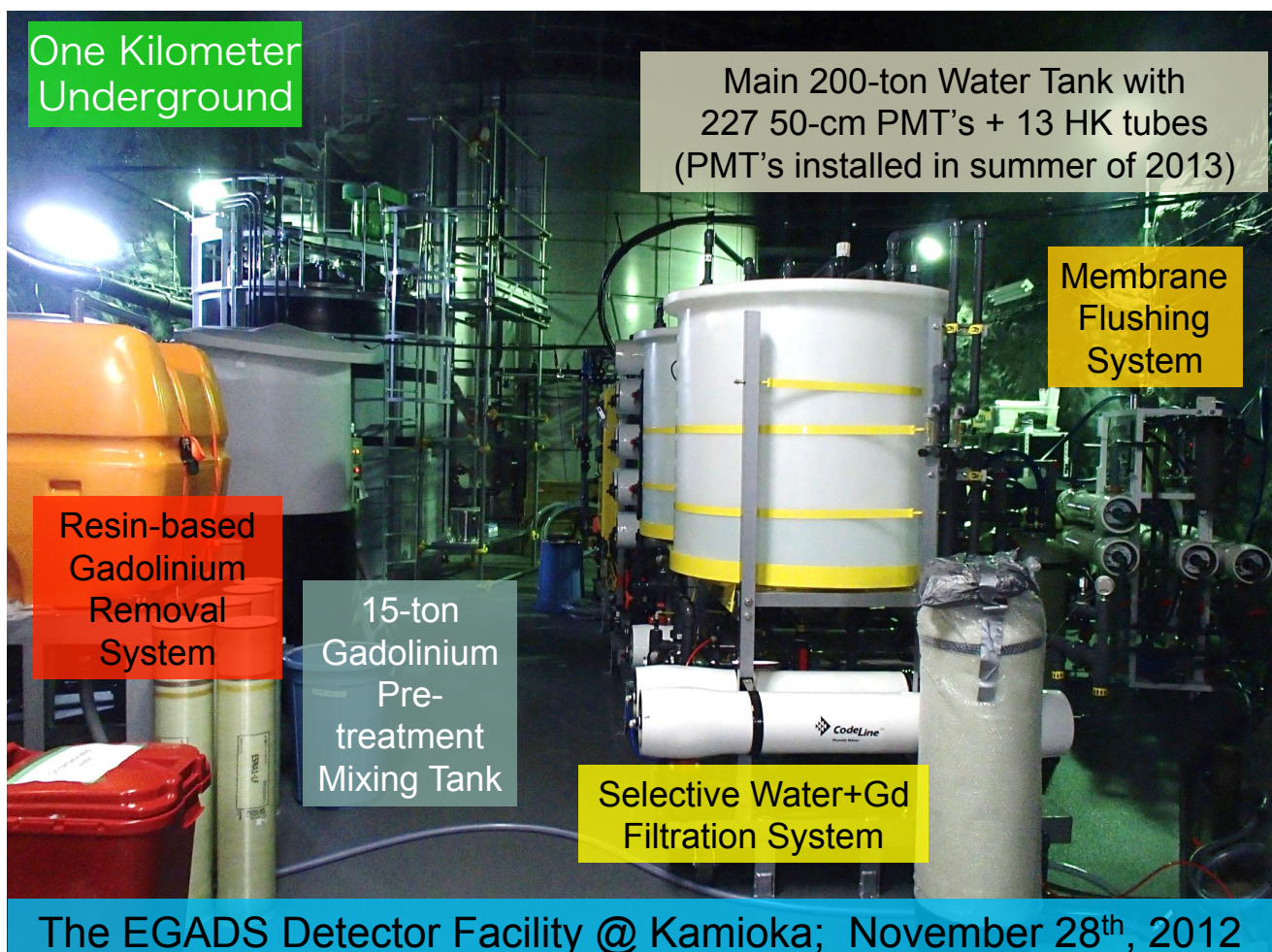
- 2) WFMAXI の位置決定精度は 0.1° 程度であるので、光学望遠鏡をその方向に向けて重力波天体のさらに詳細な情報を得ると言うのが、本領域の大きなシナリオである。そのため、(1)「木曾 1m シュミットカメラ用の超広視野 CMOS センサの開発、岡山 91cm 広視野赤外線望遠鏡の自動化、京大 3.8m 望遠鏡に搭載する面分光器開発を中心に、超大量画像データから変動天体を自動的に検出・測光する解析パイプラインの開発を進める。(2) 可視赤外線的全地球的観測網の整備：中国西域部への 50cm 広視野ロボット望遠鏡を設置し、木曾、岡山、広島などの国内観測所と東大アタカマ望遠鏡、名大南アフリカ望遠鏡などを結んだ全地球的突発激変天体観測網を整備する。(3) 電波観測による激変天体のフォローアップ観測体制の整備：野辺山観測所、山口大電波望遠鏡などを用いた連携観測体制を整える。」というのが当初の計画であった。これは、現在ほぼ目的を達成しており、次ページで示すように、全地球的な観測体制の構築が 70% 程度は完成した。

A02 Coordinated network for transients obser

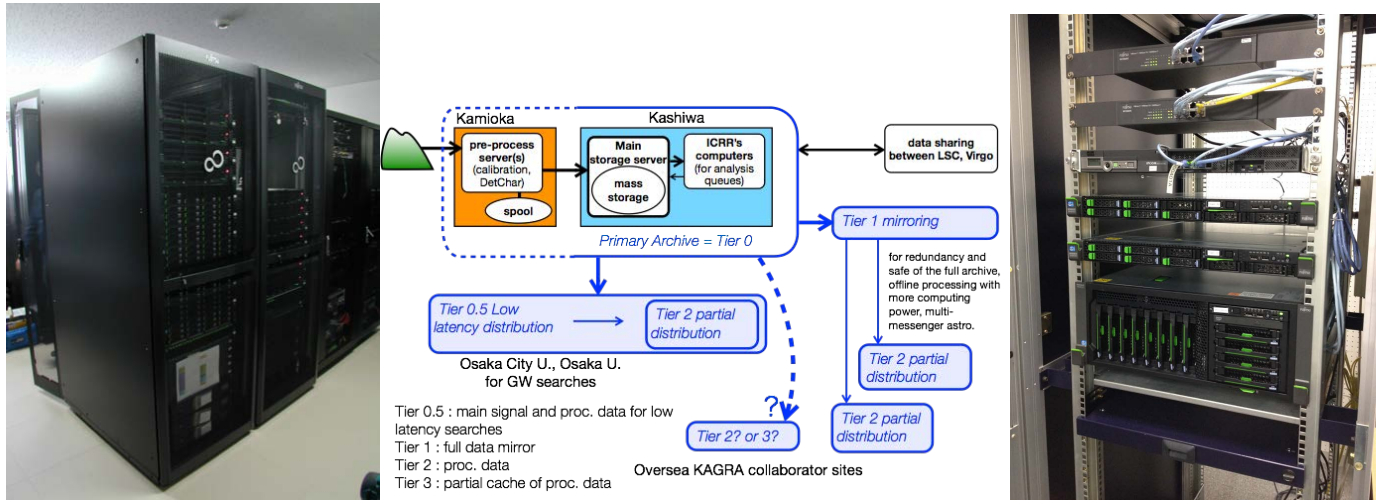
A part of the project "Multi-messenger Observations of GW sources"
 * collaborating with the KAGRA data analysis team
 * science cases: GRBs, supernovae, blazars, etc.



- 3) 超新星爆発に伴う重力波とニュートリノの検出も本領域の重要なターゲットである。特にニュートリノに関しては神岡鉱山内にある 200t の水チェレンコフ検出器に Gd を 0.1% 混入する EGADS(Evaluating Gadolinium's Action on Detector Systems)で反ニュートリノを判別できる世界初のニュートリノ検出器として2年間運転することが大きな目標の一つであった。2014年6月現在、Gd を封入する事に成功して、既に運転を開始している。下図は Gd ニュートリノ検出器の全景で、現在いつでもイベントを速報できる。



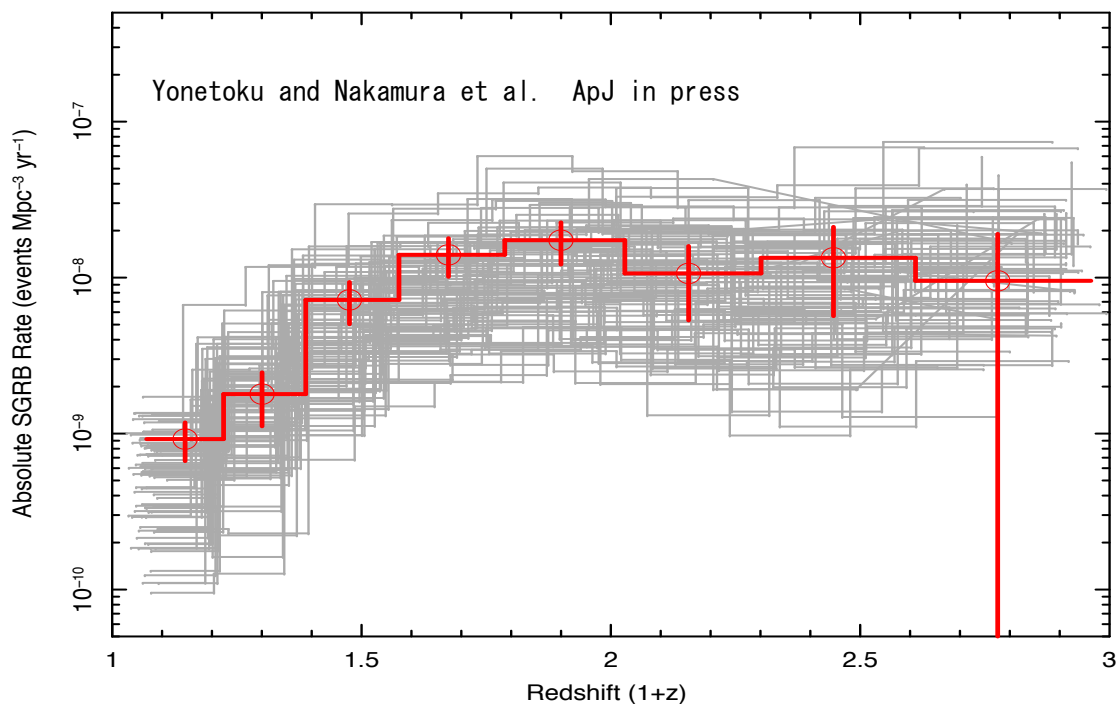
4) データ解析では、KAGRA で取得したデータを主に大阪市立大学と阪大で chirp signal search のような Low Latency なものを解析する。現在、解析ソフトウェアの構築が進んでいる。下図右は、KAGRA 実験からのデータの受け取り側の計算機となる計画研究 A04 のものである。これを中核にして、研究計画の後半で計算能力とデータ保管量を、観測データに対応する規模に増強する。全体の flow は下の図の中央のようになる。左は 2014 年 2 月に完成した iKAGRA 用の神岡の Data System である。



5) 理論の計画研究 (A05) では計画していた課題以外に他の計画研究や公募研究との共同研究が 6 件出て来ている。その 1 例として以下に示すのは A01 の公募研究との共同研究で、最も有力な重力波源であるショートガンマ線バーストの発生率の観測データに基づく推定で、KAGRA で少なくとも

$$3.8^{+1.8}_{-2.2}(146^{+71}_{-83}) \text{ events yr}^{-1} \text{ for NS-NS (NS-BH) binary, respectively, by KAGRA}$$

という event rate が期待できることが分かった。現実にはこの 4 倍くらいと期待できる。



横軸は宇宙の赤方偏移、縦軸はショートガンマ線バーストの発生率。灰色の線は誤差を考慮に入れた 100 のモンテカルロシミュレーションである。

4. 若手研究者の育成に係る取組状況（1 ページ程度） 領域内の若手研究者の育成に係る取組状況について記述してください。

- 1) 本領域の大きな特徴としては計画研究の代表者の一人が日本語を話さない外国人のため総括班会議、代表者会議、bi-monthly workshop、シンポジウム等の会議の公用語は英語となっており、これは若手の教育にもなっている。
- 2) 領域シンポジウムに若手によるセッションを設けた。趣旨は重力波の研究はこれから先が長いので、将来を担う自覚と、これまでの指導者に汚染されない形で全く新しいアイデア・試みを促す為である。45 歳を超える研究者は質疑にも参加しないと言うルールも作った。2012 年度の第 1 回シンポジウムでは、英語での発表に慣れていないことを考慮し、スライドが英語であれば日本語による発表も認めたが、2013 年度にはすべての発表が英語になった。まだ質疑応答は日本語であるが、明らかな進歩が見られた。2014 年度のシンポジウムでは質疑も英語になる事を期待したい。
- 3) 大学院生・ポスドクの研究会・学会・国際会議での研究発表を推奨しており、それらの延べの数は 293 件である。
- 4) この新学術領域では異なる分野の研究者がスタッフだけで 60 名参加しているので、それぞれの院生の成長を促す為に 2 ヶ月に 1 回の頻度で bi-monthly workshop を開催して院生・ポスドクの参加を促している。テーマは毎回、各計画研究が回り持ちで受け持ち、その計画研究の内容のみならず、他の関連する計画研究の研究発表や周辺分野の研究発表もあり、院生の研究範囲を広げるのも大きな目的である。これらの試みからノーベル賞級のアイデアが生まれる事を期待している。
- 5) 理論とデータ解析グループでは毎週金曜 10 時半から GG ゼミ(Gravitational wave and Gravitation seminar)を TV 会議として開催している。内容は最新の論文の速報、個人の研究発表と議論等である。参加機関は、京都大学、大阪市立大学、大阪大学、広島大学、東京大学、九州大学等である。院生、ポスドクも参加でき、自分の大学の研究室とは全く異なる教員が沢山いるので、初歩的な事の質問もできて、その場で答えを貰える。これも、この分野の若手育成に寄与している。
- 6) データ解析の分担者の長岡科学技術大学准教授高橋弘毅が「重力波初検出及び重力波天文学創成に向けたデータ解析法の研究」に対して山梨科学アカデミー奨励賞を 2013 年 6 月 4 日に受賞した。本研究で採用しているポスドクの中野寛之が 2013 年 11 月 7 日に Outstanding Presentation Award Gold Prize (JGRG23)、田中貴浩の大学院生の山下康穂が、2013 年 6 月に京都大学竹越賞、中村卓史の大学院生の衣川智弥は京都大学理学部グローバル GCOE poster award を 2013 年 2 月 13 日に、公募研究に採択された関口雄一郎が 2013 年 3 月 20 日に日本物理学会若手奨励賞を受賞した。新沼浩太郎と杉山孝一郎は 2013 年 9 月 4 日に Asia-Pacific Radio Science Conference, YOUNG SCIENTIST AWARD を、木村匡志は(学振受入れ：田中貴浩)アジア太平洋研究会 "Gravitation and Cosmology" で 2013 年 2 月に優秀プレゼンテーション賞を受賞した。
- 7) 2013 年度にポスドクで採用した本橋隼人と西澤篤志は海外学振研究員に採用され、現在海外で活躍している。
- 8) 2012 年 8 月から 2014 年 5 月までに新たに職を得た若手の数は 7 名である。（京都大学基礎物理学研究所准教授、名古屋大学大学院理学研究科特任助教、ウィスコンシン大学ミルウォーキー校 PD 研究員、理化学研究所 PD 研究員、日本学術振興会 海外特別研究員 3 名）
- 9) 2013 年 2 月 20 日—22 日には、国立天文台にて、データ解析グループが KAGRA データ解析スクールを開催しデータ解析の仕方を他分野の大学院生を含む 60 名程度の参加者に教えた。また 2013 年 9 月 27 日から 28 日には「データ解析スクール」を東大で開催し 60 名程度の参加があった。これらは、他分野の若手も含めた若手育成に寄与している。

5. 研究費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）（1 ページ程度）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について総括班研究課題の活動状況と併せて記述してください。

A01 の主な研究費使途は、広天域突発天体監視装置 WF-MAXI のバス部設計（予備検討）、軟 X 線広天域カメラの観測素子 (CCD)、カメラ筐体および回路部試作、硬 X 線モニターの検出器構造・熱設計と APD 読み出し専用 VLSI の試作、さらにこれら試作品の試験環境構築である。これによって、現在試作品の性能試験を進めており、次年度以降の詳細設計に反映させる。

A02 では、海外（中国を想定）に設置する 50cm ロボット望遠鏡の鏡筒と架台を購入し、日本国内（広島大学）における立ち上げ調整を行っている。また、この望遠鏡に装着する可視三色同時カメラ用の CCD カメラを購入し、50cm 望遠鏡に装着して基礎試験観測を行っている。迅速な重力波天体フォローアップを実現するため、木曾観測所シュミット望遠鏡の制御系を更新した。

A03：近傍超新星爆発ニュートリノ検出に必要な高速電子回路(QBEE)の開発を行ない、必要な周辺機器も合わせて購入した。現在、EGADS 検出器への導入に必要なソフトウェア開発を行っている。

A04：重力波データ解析システムの基盤となる計算機設備を整備した。2 拠点間でのVPN(仮想プライベートネットワーク)接続とリソース管理により、継ぎ目のない仮想的に一体化した環境を構築した。このシステムは将来的にはKAGRAの観測データを直接受け取る。データ保管量と計算能力の増強は3年目以降に行う。

領域全体での研究員雇用は、初年度に6名、2年目および3年目はそれぞれ14名である。これらの研究員は、計画研究 A04 においては、海外に比べて不足している重力波データ解析のマンパワーを補い、本分野の日本の若手育成に重要な役割を担っている。計画研究 A01 では、PD 研究員を2名雇用し、それぞれ重力波源の X 線対応天体監視のための WF-MAXI の開発と、現行の観測装置 MAXI、Fermi および地上望遠鏡を用いた観測研究に従事している。また、ポスドクの中野寛之は2013年11月7日に Outstanding Presentation Award Gold Prize (JGRG23)を受賞した。2013年度にポスドクで採用した本橋隼人と西澤篤志は海外学振研究員に採用され、現在海外で活躍している。これらの若い研究員自身の研究や、触発された大学院生の研究参加も今まで以上に積極的になり、領域の研究活動の活性化に多いに役立っている。

また、総括班では事務補佐のために1名の秘書を雇用している。領域の研究会やシンポジウムのために年間のべ100件程度の出張事務処理などを行い、領域の円滑な運営に役立っている。

6. 総括班評価者による評価（2 ページ程度）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

計画研究 A01 の評価 （評価担当 伊藤好孝）

A01 では重力波源となりえる突発天体について、MAXI を中心とした X 線・ γ 線広視野観測が順調に進んでおり、多数の X 線新星や短時間トランジェントが発見されるなど成果があがっている。ガンマ線バースト、極超新星といった重力波源となる天体現象について特筆すべき成果が上がっており、これらの知見は本領域が開催する研究会において領域内の研究者に共有されている。現行の MAXI を増強する WF-MAXI の準備研究として、構造体筐体や観測機器の配置において具体的な検討が行なわれており、最もクリティカルな点として熱制御を見だし、ミッション成立をほぼ確認できるデザインを得ている。CCD チップなどの各コンポーネントについても、これまでの経験の蓄積をうまく生かしながら順調に開発が進んでおり、試作品のテスト段階にいたっている。H26 年度に予定される熱設計の実証などと合わせ、準備研究に一定のめどが立つだろうと評価される。一方で、本領域の重要な特色となるマルチメッセンジャー天体物理学の確立のために、重力波解析チームとの双方向連携や他波長観測チームへの位置提供など、iKAGARA 及び他観測との組織的な連携体制の確立に向けたマイルストーンの提示や、MAXI から WF-MAXI への具体的な移行ロードマップなどは、今後の進展が期待される部分である。また、本領域は一般天文愛好家にも広く興味を持たれる題材であるため、将来の重力波研究の人材確保のためにも積極的なアウトリーチが望まれる。

計画研究 A02 の評価 （評価担当 渡部潤一）

順調に建設が進む KAGRA をはじめ、国際的に重力波の検出は現実味を帯びている。そのような状況の中、重力波が検出され、その方向が大まかに定まった場合、国際的に光学赤外線や電波によって、重力波源天体を同定し、また追跡観測することで、その正体を探り、全容を解明することは天文学側の寄与として非常に重要である。本研究は、想定される重力波の検出に呼応し、わが国での緊急観測態勢および追跡観測網の整備を目指すものである。

研究グループは、これまでのガンマ線バーストに呼応する観測・追跡網を参考にしつつ、一方でガンマ線に比べても決定位置精度が低いことが想定される点を鑑み、広視野撮像観測という日本の光・赤外線天文学のお家芸を駆使し、天文学では極めて斬新な CMOS センサーを活用した広視野撮像装置の開発を進めている。これは世界的にも例がなくユニークな方向性として高く評価できる。これに対応する形で、岡山の広視野近赤外線カメラ、そして岡山に設置が予定される 3.8m 新望遠鏡用の面分光装置、さらにアジア地区のネットワークを生かして、中国に設置予定の 50cm 望遠鏡と三色同時カメラの開発などを並行し、順調に進めている。手薄になりがちなソフト開発（重力波アラート対応システム、大量データ解析パイプライン）の開発や、関連する国内の望遠鏡のネットワークを通じての観測網を整備し、海外関係機関と協定書を結ぶなど、すべての面において順調に進んでいることは、きわめて高く評価してよい。

今後は、本研究で開発してきた、それぞれの望遠鏡・観測装置の定常的な運用にむけての性能向上と試験などを行うと共に、重力波の擬似的な検出をシミュレーションを行い、築き上げたネットワークが実際にうまく稼働するかどうか、そして観測データが有効に得られるかどうかの確認を行い、将来の検出に備える点を重視した方向で、引き続き努力を望みたい。

計画研究 A03 の評価 （評価担当 梶田隆章）

重力波を発生する最有力候補天体現象としては連星中性子星の合体と共に超新星爆発が想定されている。計画研究 A03 においては銀河系内の超新星爆発が起こった際に、重力波とニュートリノの同時観測を目指して研究を着実に進めている。現在までガドリニウムを溶かした 200 トンの水チェレンコフ測定器の電子回路については、東北の大地震の影響で製造が遅れていること、また水槽中に想定していなかった材料が使われていて、

その交換が必要であるなど、多少の遅れと問題はあるものの、ソフトウェアなどのその他の準備は順調に進行しており、概ね想定される範囲内で計画が進行していると評価される。重力波測定器 KAGRA の初期運転が 2015 年の末頃に予想されており、それに間に合うように 200 トンの測定器を準備する必要があるが、この点に関しては困難があるとは考えられない。また、超新星爆発ニュートリノを検出後 1 秒で警報を出せることは multi-messenger astronomy の観点からは非常に重要であり、是非 A01, A02, A04 などの計画研究班と密接な協力のもと、事前の試験を繰り返して確実なシステムとして整備していただきたい。なお、超新星の警報の際に、単にニュートリノが来たという警報のみならず、方向の情報を送ることが重要であろう。方向の情報がなく光学望遠鏡等がフォローアップ観測を行うことができない。水チェレンコフ検出器ではニュートリノ-電子散乱事象を用いて方向を決めることになるが、その際は反応の断面積が大きくまた反応の結果出てくる陽電子が等方的である反電子ニュートリノと陽子の準弾性散乱が大きなバックグラウンドとなる。しかしガドリニウムを溶かした水チェレンコフ検出器ではこのバックグラウンドが 90% 除去できる（し、このことは既に研究されていると理解している）ので、もしまだ整備されていないならば、方向決定についてもリアルタイムで行うシステムを開発し、その情報を瞬時に送れるようにしていくべきではないだろうか？

計画研究 A04 の評価（評価担当 坪野公夫）

計画研究 A04 の主目的は、1. 重力波のデータ解析体制の構築とその運用、2. 他の観測手段との連携体制の確立、である。これにより、本領域の中核テーマとなる「重力波事象」の検出を担うと同時に、各研究計画を横断する形で重力波データからのサイエンスの抽出を図ろうとしている。

1. 重力波のデータ解析体制

本研究の前半では、重力波を探索するための解析パイプラインの構築が重要な課題である。パイプラインは「コンパクト連星合体探索パイプライン」、「バースト重力波探索パイプライン」、「ブラックホール準固有振動探索パイプライン」の 3 つに分かれている。各パイプラインのソフトウェア開発に関しては、データ解析に関与する 20 名程度のグループによる調査、検討、コード作成が実行されており、おおむね予定通りに進んでいると思われる。また、解析ハードシステムの開発も同時に進められており、テスト機の導入、開発環境のテストなどが実施された。また、KAGRA サイトと解析拠点の間の高速かつ安全なデータ転送に関しては、VPN（仮想プライベートネットワーク）導入によって問題が解決される見込みがついた。以上のシステム開発に関しては、計画の 3 年目以降のシステム実装およびそれを用いた実際のデータ解析への一応のめどがついたと判断される。データ解析で最も重要な課題は、人的体制の強化である。これについても過去の解析チームが数人だった時代に比べると、今や格段の拡大強化が実現されている。しかし、欧米のチームに比べるとまだまだ弱小であり、今後もメンバーの拡充およびレベルアップへ向けた一層の努力が望まれる。

2. 他の観測手段との連携体制の確立

他の計画研究および公募研究との横断的な研究開発も進んでいる。理論も含めた横断的な研究から生まれたものの一つの知見の例として、重力波とニュートリノの時間的前後により超新星爆発のコアの回転の有無を検証できることが示されたことがあげられる。このほか、他の観測手段との同時観測・フォローアップ観測のための連携体制確立の準備も進んでいる。2015 年 12 月の KAGRA の最初の観測のデータ処理に向けて、全体的には当初の計画通り準備が進んでいると判断される。今後、周辺領域との連携も含めて、重力波サイエンス抽出のための確かな研究基盤が確立されることを期待する。

計画研究 A05 の評価（評価担当 佐々木節）

観測データから最大限に情報を引き出すために、既知の重力波源のさらなる詳細な理論的研究に加え、全く新しい重力波源の可能性を追求し、重力波天文学を創成することが目的である。以下はその進展状況である。

1) 様々な重力波源の探査と重力波波形の解明

最も重要な重力波源と考えられている連星中性子星の合体は、ショートガンマ線バースト(SGRB)に対応している可能性がある。この仮説に基づき最近の SGRB のデータを解析すると、連星中性子星合体の頻度は最低でも年間4イベント、検出されていない SGRB の数を考慮すると実際はその4倍程度になることを明らかにした。また重力波波形の位相進化に深刻な影響を及ぼす、共鳴軌道をまたぐ際の軌道の進化を正しく記述する定式化に成功した。これらは重力波検出の初期段階で極めて重要な役割を果たす成果である。

2) 超新星を中心とした物理

重力崩壊型超新星の爆発機構の一つの可能性として磁気回転不安定性による爆発機構に着目し、高分解能シミュレーションを実行した結果、磁気回転不安定性が本質ではなく、磁場による角運動量輸送でニュートリノ加熱時間が長くなることが本質的である可能性を発見した。

3) 新しい重力波観測・データ解析法の提案

重力波のデータ解析におけるパラメータ空間上で最尤値のもつ幾何学的特性に注目した解析手法の研究を進め、背景重力波の相関解析の新しい手法を開発した。

4) 他の観測手段との同時観測から得られる物理

連星中性子星の合体に伴うマクロノバと呼ばれる現象に関して、放出物質が周りの星間物質と衝突して輝く場合の放射のスペクトルを電波からガンマ線まで求めた。また、その際、ジェットが放出物質を突き破ってガンマ線バーストとなる可能性を示した。

5) 相対論の検証、及び、宇宙論的観点からの重力波研究

宇宙論では重力理論の修正による宇宙の加速膨張の説明の追求がなされてきている。そうした修正重力の一つとして注目されている理論が、太陽系観測と無矛盾であることを指摘し、さらに、そのモデルではニュートリノ振動に類似の重力波振動と呼ぶべき現象が起こることを示した。

以上のように、本計画研究の各小分野で、重要な成果が着々と上がっており、順調に研究が進んでいる。

7. 主な研究成果（発明及び特許を含む）[研究項目毎に計画研究・公募研究の順に整理する]

（3 ページ程度）

現在実施している新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（発明及び特許を含む）について、現在から順に発表年次をさかのぼり、図表などを用いて研究項目毎に計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。

計画研究 A01

A01 計画研究班では、重力波源の X 線対応天体監視のための新しい観測装置の開発と、現在稼働中のミッション（MAXI、Fermi 等）による重力波源関連天体の観測の 2 面から研究を進めている。

(1) 広天域突発天体監視装置の開発

5 年以内に観測を開始する KAGRA、Advanced LIGO などの次世代重力波望遠鏡が検出する重力波天体現象の X 線対応天体を探索し、その位置を決定するため、広天域 X 線短時間突発天体監視装置 Wide Field MAXI (WF-MAXI)の開発を開始した。早期の運用開始が可能な ISS（国際宇宙ステーション）搭載を想定した開発を行っている。主検出器である SLC（軟 X 線大天域カメラ）は、CCD と符号化マスクを組み合わせたカメラ 4 台によって 0.7—10keV のエネルギー範囲で常に全天の 25%の天域を監視し、突発的な X 線放射源を検出してその位置を精度 0.1 度以下で決定することができる。CCD は ASTRO-H のために開発された素子にパッケージなどの改良を加えた物で試作品を製作中である。カメラ筐体と信号処理回路も MAXI/SSC の開発経験を生かして設計、試作し、宇宙環境での CCD 冷却性能の試験を行っている。副検出器である HXM（硬 X 線モニター）は常に SLC と同じ天域をカバーし、10keV を超える硬 X 線から 1MeV 線までのエネルギー帯域でのスペクトルと強度変動を測定する。シンチレーターを APD（アヴァランシェ・フォトダイオード）で読み出す検出器は超小型衛星用に初めて我々が開発し、ASTRO-H にも採用されているが、HXM のためには、さらに専用の信号処理用 VLSI を開発して、現在、試作品の性能を試験している。ISS に搭載するための基盤であるバス部も、構造と電力、熱制御に関する基本的な設計検討を行って成立性を確認し、平成 26 年に JAXA 宇宙科学研究所の小規模プロジェクトに ISS 搭載ミッションとして応募した。

(2) 重力波関連天体現象の観測研究

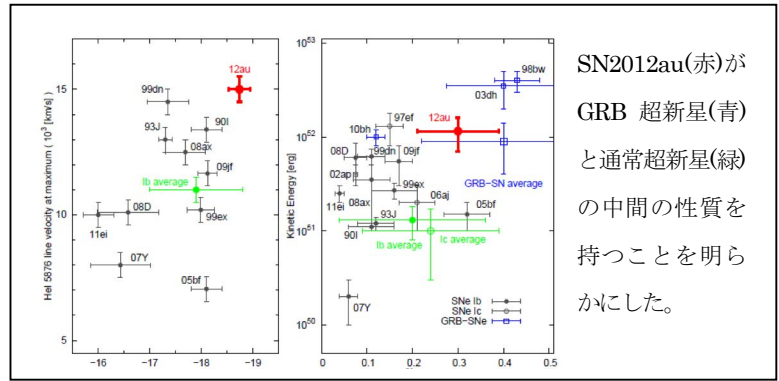
宇宙ステーション「きぼう」船外モジュールに搭載された全天 X 線監視装置”MAXI”を用いて、突発的現象の監視を行い、重力波発生源と関連の深い天体であるガンマ線バースト、超新星、X 線連星、中性子星連星等の研究を行った。“はくちょう座スーパーバブル”の MAXI による観測で、これが「極超新星」である可能性を示唆する結果を得たり、MAXI と海外の衛星、地上望遠鏡との協力による観測史上最大級のガンマ線バーストの観測などの成果を得た。また、MAXI によって LIGO/VIRGO による重力波の X 線対応天体を探索するための、協定を進めた。

公募研究では、将来の衛星搭載を目指し、符号化マスクと組み合わせた X 線撮像検出器の開発として、シリコンストリップ検出器の試作と、それから 1.5 keV X 線でも読み出せる高増幅率集積回路の設計試作を行った。

計画研究 A02

計画研究 A02 では、重力波天体の即時フォローアップ体制の構築に向けて、基礎的機能の整備と開発を行っている。超広視野近赤外線カメラ OAOWFC 及びそのデータ解析システムの整備(SPIE2014 で発表)、木曾観測所 1.05m シュミット望遠鏡の駆動系の更新を行い、即時観測体制を整備した。超広視野 CMOS カメラ、面分光システムの基礎実験を進めた。50cm 望遠鏡を製作した（下左図）。この望遠鏡に搭載する可視三色同時カメラの製作を行った。また、50cm 望遠鏡の設置サイト候補地であるチベット阿里地区のサイト調査を行った。

こうした開発と並行して重力波対応天体候補として期待される各種突発天体の観測的研究を進めた。主なトピックスとして、超新星爆発時期の正確な推定(ApJ, 782, L35 (2014))、超新星によるダスト形成過程の解明(ApJ, 776, 1 (2013))、ガンマ線バーストを伴う超新星と通常の超新星を繋ぐミッシングリンク天体の発見(ApJ, 772, L17 (2013);下右図)などがある。



また、本計画研究が中心となり、我が国の重力波天体追跡ネットワーク **J-GEM** を立ち上げ、**LIGO/Virgo** グループとの重力波対応天体追跡観測に関する協定書 (**MOU**) を結んだ。

公募研究

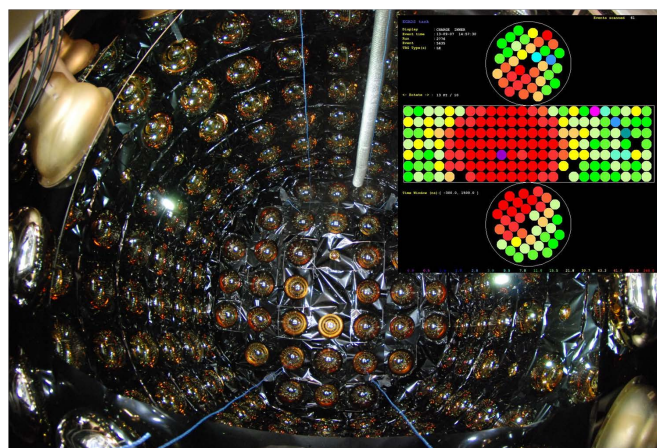
木曾観測所シュミット望遠鏡を用いて年間約 100 晩の超新星サーベイ観測を行い、年間約 40 天体の超新星(+超新星候補天体)を発見した。また、重力波検出後のサーベイ戦略を決定するため、連星中性子星合体における詳細な輻射輸送シミュレーションを行い(研究計画 A05 との共同研究)、重力波の検出後に期待される可視赤外放射の性質(明るさ、継続時間、スペクトル)を明らかにした(**ApJ**, 789, 31 (2014), **ApJ**, 775, 113 (2013))。

計画研究 A03

研究計画 A03 では、ガドリニウム水チェレンコフ検出器 **EGADS** を用いた超新星爆発ニュートリノの観測を研究課題としている。これまでに検出器開発は完了し、基本データの取得にも成功している。(下図) 今後は、計画の後半に向けて、特にベテルギウスなど極近傍の超新星爆発ニュートリノの観測に対応できる電子回路の導入が中心課題となるが、電子回路の開発および納入はすでに完了しており、現在是对応するソフトウェアの開発を進めている。この研究においては2名の研究員を雇用し、大学院生を含む若手研究者にも活躍の場を与えている。

領域内の共同研究としては、計画研究 A04, A05 と協力して、超新星爆発からのニュートリノと重力波の相関研究を進めている。(後述 A04 の項)

公募研究に関しては、まずガドリニウム原子核による中性子捕獲反応により発生するガンマ線スペクトルの測定に成功しており、また **KamLAND** 検出器における近傍超新星爆発の予知についても研究が進んでいる。今後はこれらの結果を計画研究にフィードバックさせる予定である。



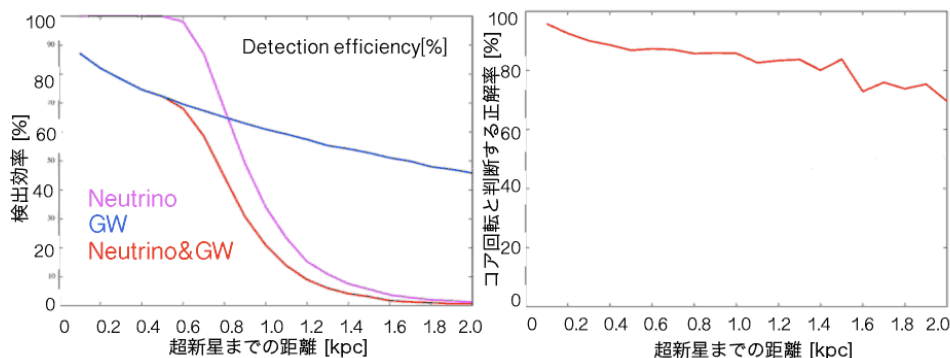
完成した検出器内部と取得した宇宙線事象

研究計画 A04

研究計画 A04 は、重力波実験の観測データの解析を研究し、計画後半では実際に **KAGRA** の観測データを解析、イベント探索をすることを目的としている。現在までのところ、データ解析のために、計算機環境を整備しながらソフトウェア開発を順調に進めている。**KAGARI** と呼称するソフトウェアライブラリを構築中で、連星合体、

バースト重力波、連続波についての作業が進んでいる。また 2013 年度から 4 名の研究員を雇用し、大学院生など 20 名程度を組織して若手の育成も進んでいる。

超新星爆発からの重力波を想定した研究では、領域内の他の計画研究 A03, A05 および公募研究で協力している。特徴的な重力波放出と、中性子化バーストによりニュートリノの時間的集中が期待できるコアバウンスに着目し、重力波とニュートリノの時間的前後により、コアの回転の有無を検証できることを示した（下図）。



また A04 に関連する公募研究と連携した研究会を 2013 年 6 月に開いた。公募研究では、時間—周波数空間での信号の扱いについての研究や、非ガウス雑音についての理論、実験両面からの取り組みがなされ、重力波の解析にフィードバックが期待できる。

計画研究 A05

○ ショートガンマ線バースト(SGRB)に関して、ピークエネルギーと最高光度の間に強い相関を発見した。この関係を用いて BATSE の約 100 の SGRB イベントの赤方偏移を見積もり、SGRB が NS-NS 連星の場合に重力波イベントレートを年間 4 イベント以上、SGRB が BH-NS 連星の場合は約 150 イベントと推定した。これは確実な重力波検出を示唆する。(ApJ accepted)

○ BH-BH 連星の生成機構は明らかでない。金属汚染のない初代星の連星進化を考えることで、重力波イベントレートで年間 140 程度という評価を得た。連星 BH 合体で生じる BH は重く、準固有振動の検出ができ、科学的に大きな成果が期待される。(MNRAS accepted)

○ 二つの計量をもつ重力理論が既存の観測と矛盾せずニュートリノ振動に類似の重力波振動と呼ぶべき現象が起ることを示した。(PTEP 2014, 043E01(2014)) A04 と連携して観測可能性と手法に関する研究を進めている。

○ 連星中性子星合体における放出物質が周りの星間物質と衝突した際の放射スペクトルを電波からガンマ線まで求めた。(PRD, 89, 063006 (2014)) また、放出物質以外のジェット成分が放出物質を突き破る際に細く絞られガンマ線バーストになれることを示した。(ApJL 784, L28 (2014))

○ 重力崩壊型超新星の爆発は、近年、数値計算でも再現されつつある。爆発の機構の基礎的理解として、ニュートリノ加熱による停滞衝撃波の復活を、定常近似で準解析的にモデル化することに成功し、爆発に至る条件を明らかにした。(ApJ 771, 27(2013))

○ 重力波のデータ解析におけるパラメータ空間上で最尤値のもつ幾何学的特性に注目した解析手法を展開し、背景重力波の相関解析の新しい手法を開発した。(PRD86, 042002 (2012))

また、公募研究より以下の成果があげられる。

○ 京を用いた高精度の 3 次元数値計算で、ニュートリノ加熱による重力崩壊型超新星爆発が起こることを明らかにし、プレスリリースをおこなった。(ApJ 786(2) 83(2014)) 重力波波形とニュートリノフラックスを読み取り、計画研究 A03, A04 と連携して同時観測の手法の研究も進めている。

8. 研究成果の公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）（5 ページ程度）

現在実施している新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。論文の場合、現在から順に発表年次をさかのぼり、計画研究・公募研究毎に順に記載し、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付し、corresponding author には左に*印を付してください。また、一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

主な論文（計画研究）

1. Daisuke Yonetoku, Takashi Nakamura, Tatsuya Sawano, Keitaro Takahashi and Asuka Toyanago, “Short Gamma Ray Burst Formation Rate from BATSE data using E_p-L_p correlation and the minimum gravitational wave event rate of coalescing compact binary”, *Astrophys.J.* (in press) , (2014), 査読有
2. Tomoya Kinugawa, Kohei Inayoshi, Kenta Hotokezaka, Daisuke Nakauchi and Takashi Nakamura, “Possible Indirect Confirmation of the Existence of Pop III Massive Stars by Gravitational Wave”, *MNRAS* (in press) ,(2014), 査読有
3. De Felice, A., Nakamura, T., Tanaka, T., “Possible existence of viable models of bi-gravity with detectable graviton oscillations by gravitational wave detectors”, *PTEP*, (2014), 043E01, 査読有
4. Maselli, A.; Melandri, A.; Nava, L.; Mundell, C. G.; Kawai, N.; Campana, S.; Covino, S.; Cummings, J. R.; Cusumano, G.; Evans, P. A.; Ghirlanda, G.; Ghisellini, G.; Guidorzi, C.; Kobayashi, S.; Kuin, P.; La Parola, V.; Mangano, V.; Oates, S.; Sakamoto, T.; Serino, M.; Virgili, F.; Zhang, B.-B.; Barthelmy, S.; Beardmore, A.; Bernardini, M. G.; Bersier, D.; Burrows, D.; Calderone, G.; Capalbi, M.; Chiang, J.; D'Avanzo, P.; D'Elia, V.; De Pasquale, M.; Fugazza, D.; Gehrels, N.; Gomboc, A.; Harrison, R.; Hanayama, H.; Japelj, J.; Kennea, J.; Kopac, D.; Kouveliotou, C.; Kuroda, D.; Levan, A.; Malesani, D.; Marshall, F.; Nousek, J.; O'Brien, P.; Osborne, J. P.; Pagani, C.; Page, K. L.; Page, M.; Perri, M.; Pritchard, T.; Romano, P.; Saito, Y.; Sbarufatti, B.; Salvaterra, R.; Steele, I.; Tanvir, N.; Vianello, G.; Weigand, B.; Wiersema, K.; Yatsu, Y.; Yoshii, T.; Tagliaferri, G., “GRB 130427A: A Nearby Ordinary Monster”, *Science*, 343, (2014), 48-51, 査読有
5. Yamanaka, M., Maeda, K., Kawabata, M., Tanaka, M., Takaki, K., Ueno, I., Masumoto, K., Kawabata, K.~S., Itoh, R., Moritani, Y., Akitaya, H., Arai, A., Honda, S., Nishiyama, K., Kabashima, F., Matsumoto, K., Nogami, D., and Yoshida, M., “Early-phase Photometry and Spectroscopy of Transitional Type Ia SN 2012ht: Direct Constraint on the Rise Time”, *The Astrophysical Journal*, 782, 2, (2014), L35, 査読有
6. Hirotaka Yuzurihara, Nobuyuki Kanda, “Detectability and parameter estimation of gravitational waves from cosmic string with ground-based detectors”, *JPS Conference proceedings*, JPSCP.1.013117, (2014), 013117 (4 pages), 査読有
7. T.Yakamoto, N. Kanda, CLIO Collaboration and KAGRA Collaboration, “Calibration and reconstruction in time-series of strain of gravitational wave detector”, *Proceedings of the 12th Asia Pacific Physics Conference*, JPSCP.1.013119, (2014), 013119-1, 013119-4, 査読有
8. Masato Kaneyama, Ken-ichi Oohara, Hirotaka Takahashi, Yuta Hiranuma, Takashi Wakamatsu, Jordan B. Camp, “Towards constructing an Alert System with the Hilbert-Huang Transform -Search for signals in noisy data-“, *Innovative Computing, Information and Control, Express Letters Part B : Applications*, 5, (2014), 285-292, 査読有
9. Masaaki Morita, Hirotaka Takahashi, “Reconstructing $f(R)$ modified gravity with dark energy parametrization”, *Journal of Physics: Conference Series*, 490, (2014), 012087-1-4, 査読有
10. Sakamoto, T.; Troja, E.; Aoki, K.; Guiriec, N.Kawai et al., “Identifying the Location in the Host Galaxy of the Short GRB 111117A with the Chandra Subarcsecond Position”, *The Astrophysical Journal*, 766, (2013), 41- 53, 査読有
11. Yatsu, Yoichi; Asano, Katsuaki; Kawai, Nobuyuki; Yano, Yuki; Nakamori, Takeshi, “Spatially Resolved Spectroscopy of a Pulsar Wind Nebula in MSH 15-56”, *The Astrophysical Journal*, 773, (2013), 25 (14 pages), 査読有

12. Maeda, K., Nozawa, T., Sahu, D.~K., Minowa, Y., Motohara, K., Ueno, I., Folatelli, G., Pyo, T.-S., Kitagawa, Y., Kawabata, K.~S., Anupama, G.~C., Kozasa, T., Moriya, T.~J., Yamanaka, M., Nomoto, K., Bersten, M., Quimby, R., and Iye, M., “Properties of Newly Formed Dust Grains in the Luminous Type II In Supernova 2010jl”, *The Astrophysical Journal*, 776, 1, (2013), 5 (16pp), 査読有
13. Takaki, K., Kawabata, K.~S., Yamanaka, M., Maeda, K., Tanaka, M., Akitaya, H., Fukazawa, Y., Itoh, R., Kinugasa, K., Moritani, Y., Ohsugi, T., Sasada, M., Uemura, M., Ueno, I., Ui, T., Urano, T., Yoshida, M., and Nomoto, K., “A Luminous and Fast-expanding Type Ib Supernova SN 2012au”, *The Astrophysical Journal*, 772, 2, (2013), L17, 査読有
14. Gandhi, P., Yamanaka, M., Tanaka, M., Nozawa, T., Kawabata, K.~S., Saviane, I., Maeda, K., Moriya, T.~J., Hattori, T., Sasada, M., and Itoh, R., “SN 2009js at the Crossroads between Normal and Subluminous Type IIP Supernovae: Optical and Mid-infrared Evolution”, *The Astrophysical Journal*, 767, (2013), 166 (15pages), 査読有
15. S. Adams, C. Kochanek, J. Beacom, M. Vagins, K. Stanek, “Observing the Next Galactic Supernova”, *The Astrophysical Journal*, 778, 2, (2013), 164 (15 pp), 査読有
16. Hirotaka Takahashi, Ken-ichi Oohara, Masato Kaneyama, Yuta Hiranuma, Jordan B. Camp, “On Investigating EMD Parameters to Search for Gravitational Waves, *Advances in Adaptive Data Analysis*”, 5, (2013), 1350010-1-20, 査読有
17. 高橋弘毅, 「重力波初検出および重力波天文学創成に向けたデータ解析方法の研究」, 山梨科学アカデミー会報, 36, (2013), 25-33, 査読無
18. K. Eda, Y. Itoh, S. Kuroyanagi and J. Silk, “New Probe of Dark-Matter Properties: Gravitational Waves from an Intermediate-Mass Black Hole Embedded in a Dark-Matter Minispike”, *Physical Review Letters*, 110, (2013), 221101-1-5, 査読有
19. Tsutsui, Ryo; Yonetoku, Daisuke; Nakamura, Takashi; Takahashi, Keitaro; Morihara, Yoshiyuki, “Possible existence of the E_p - L_p and E_p - E_{iso} correlations for short gamma- ray bursts with a factor 5- 100 dimmer than those for long gamma- ray bursts” , *MNRAS*, 431, (2013), 1394-1404, 査読有
20. Tsutsui, Ryo; Nakamura, Takashi; Yonetoku, Daisuke; Takahashi, Keitaro; Morihara, Yoshiyuki , “Identifying Subclasses of Long Gamma- Ray Bursts with Cumulative Light-Curve Morphology of Prompt Emissions”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 65, (2013), 3-13, 査読有
21. Soichiro Isoyama, Ryuichi Fujita, Norichika Sago, Hideyuki Tagoshi, Takahiro Tanaka, “Impact of the second order self- forces on the dephasing of the gravitational waves from quasi- circular extreme mass- ratio inspirals”, *Phys.Rev. D*, 87, (2013), 024010 1- 14, 査読有
22. Sugumi Kanno, Misao Sasaki, Takahiro Tanaka, “A viable explanation of the CMB dipolar statistical anisotropy”, *PTEP*, 2013 11, (2013), 111E01 (6 ページ), 査読有
23. Takahiro Tanaka, Yuko Urakawa, “Loops in inflationary correlation functions”, *Class. Quant. Grav.* , 30, (2013), 233001 (40 ページ), 査読有
24. Jaume Garriga, Sugumi Kanno, Takahiro Tanaka, “Rest frame of bubble nucleation” , *JCAP*, 1306, (2013), 034 (26 ページ), 査読有
25. Soichiro Isoyama, Ryuichi Fujita, Hiroyuki Nakano, Norichika Sago, Takahiro Tanaka , “Evolution of the Carter constant for resonant inspirals into a Kerr black hole: I. The scalar case” , *PTEP*, 2013 6, (2013), 063E01 (23 ページ), 査読有
26. Kent Yagi, Leo C. Stein, Nicolas Yunes, Takahiro Tanaka, “Isolated and Binary Neutron Stars in Dynamical Chern-Simons Gravity”, *Phys. Rev.*, D87 , (2013), 84058 (27 ページ), 査読有
27. K. Kashiyama, D. Nakauchi, Y. Suwa, H. Yajima, T. Nakamura, “Luminous supernova-like UV/optical/infrared transients associated with ultra-long gamma-ray bursts from metal-poor blue supergiants ” , *Astrophys.J.* 770(2013) :8-16 査読有
28. Nakauchi, D. , Kashiyama, K., Suwa, Y. Nakamura, T., “Blue Supergiant Model for Ultra-long Gamma-Ray Burst with Superluminous-supernova-like Bump ”, *Astrophys.J.* 778(2013) 67-88 査読有

29. Takahiro Tanaka, Yuko Urakawa, “Strong restriction on inflationary vacua from the local gauge invariance II: Infrared regularity and absence of secular growth in the Euclidean vacuum”, PTEP, 2013 6, (2013), 063E02 (30 ページ), 査読有
30. Kataoka, J.; Yatsu, Y.; Kawai et al., “Toward Identifying the Unassociated Gamma- Ray Source 1FGL J1311.7- 3429 with X- Ray and Optical Observations”, The Astrophysical Journal, 757, (2012), 176- 185, 査読有
31. Yagi, M., Komiyama, Y. and Yoshida, M., “Candidates of $H\alpha$ Emitting Regions in the Magellanic Stream IV Cloud”, The Astrophysical Journal Letters, 749, (2012), L2-L6, 査読有
32. Uehara, T., Toma, K., Yoshida, M., et al., “GRB 091208B: First Detection of the Optical Polarization in Early Forward Shock Emission of a Gamma- Ray Burst Afterglow”, The Astrophysical Journal Letters, 752, (2012), L6- L10, 査読有
33. M. Vagins, “Detection of Supernova Neutrinos”, Nuclear Physics Proceedings Supplement, 229- 232, (2012), 325- 331, 査読有
34. Yuta Okada, Nobuyuki Kanda, Sanjeev Dhurandhar, Hideyuki Tagoshi and Hiroataka Takahashi, “The cross- correlation search for a hot spot of gravitational waves : Numerical study for point spread function”, Journal of Physics : Conference Series, 363, (2012), 012040- 1- 9, 査読有
35. Nobuyuki Kanda and the LCGT collaboration, “LCGT and the global network of gravitational wave detectors”, Proceedings of 11th Asian- Pacific Regional IAU Meeting,, 1, (2012), 27- 32, 査読無
36. Nakauchi, Daisuke; Suwa, Yudai; Sakamoto, Takanori; Kashiya, Kazumi; Nakamura, Takashi, “Long- duration X- Ray Flash and X- Ray- rich Gamma- Ray Bursts from Low- mass Population III Stars”, Astrphys. J., 759, (2012), 128-137, 査読有
37. Kent Yagi, Nicolas Yunes, Takahiro Tanaka, “Gravitational Waves from Quasi- Circular Black Hole Binaries in Dynamical Chern- Simons Gravity”, Phys.Rev.Lett., 109, (2012), 251105 1- 5, 査読有

主な論文 (公募研究)

1. Iwa Ou, Yoshiyuki Yamada, Takatomi Yano, Takaaki Mori, Tsubasa Kayano, Makoto Sakuda, Atsushi Kimura, and Hideo Harada, “Measurement of the Energy, Multiplicity and Angular Correlation of Gamma-rays from the Thermal Neutron Capture Reaction $Gd(n,\gamma)$ Using JPARC-ANNRI”, AIP Conf. Proc., 1594, (2014), 352-356 , 査読有
2. Tsutomu Kobayashi, Hayato Motohashi, Teruaki Suyama, “Black hole perturbation in the most general scalar-tensor theory with second-order field equations. II. The even-parity sector”, Physical Review D, 89, (2014), 41651, 査読有
3. Kenta Hotokezaka, Koutarou Kyutoku, Masaomi Tanaka, Kenta Kiuchi, Yuichiro Sekiguchi, Masaru Shibata, Shinya Wanajo, “Progenitor Models of the Electromagnetic Transient Associated with the Short Gamma Ray Burst 130603B”, The Astrophysical Journal, 778, (2014), L16-1, L16-5, 査読有
4. Suzuki, D., et al., “MOA-2008-BLG-379Lb: A Massive Planet from a High Magnification Event with a Faint Source”, The Astrophysical Journal, 780, (2014), 123, 1-9, 査読有
5. Tanaka, M., Hotokezaka, K., Kyutoku, K., Wanajo, S., Kiuchi, K., Sekiguchi, Y., & Shibata, M. , “Radioactively Powered Emission from Black Hole-Neutron Star Mergers”, The Astrophysical Journal, 780, (2014), 31 (9pp), 査読有
6. T. Takiwaki, K. Kotake, and Y. Suwa, “A Comparison of Two- and Three-dimensional Neutrino-hydrodynamics simulations of Core-collapse Supernovae”, The Astrophysical Journal, 786, (2014), 83, 1--8, 査読有
7. Tamura, Y., Saito, T., Tsuru, T. G., Uchida, H., Iono, D., Yun, M. S., Espada, D., Kawabe, R., “Serendipitous ALMA Detection of a Distant CO-emitting X-Ray Bright Galaxy”, The Astrophysical Journal Letters, 781, (2014), 39-43, 査読有
8. Kojima, Yasufumi; Kato, Yugo E, “Numerical simulation of oscillating magnetospheres with resistive electrodynamics”, , 2, (2014), id.023E01, 査読有
9. Wanajo et al., “Nucleosynthesis in the ejecta of neutron star mergers”, AIP Conference

Proceedings, 1594, (2014), 266271, 査読無

10. Daisuke Yonetoku, Tatsuya Sawano, Shunsuke Takata, Kazuki Yoshida, Hiroki Seta, Asuka Toyanago, Yudai Wakashima, Hajime Yonemochi, and Hirokazu Ikeda, “Establish of Gravitational Wave Astronomy with Gamma-Ray Burst and X-ray Transient Monitor”, UNISEC Space Takumi Journal, 5, (2014), 19-27, 査読有
11. Abe, Fumio, et al., “Extending the planetary mass function to Earth mass by microlensing at moderately high magnification”, MNRAS, 431, (2013), 2975-2985, 査読有
12. Kenta Hotokezaka, Kenta Kiuchi, Koutarou Kyutoku, Takayuki Muranushi, Yuichiro Sekiguchi, Masaru Shibata and Keisuke Taniguchi, “Remnant massive neutron stars of binary neutron star mergers: Evolution process and gravitational waveform”, Phys.Rev.D, 88, (2013), 044026-1, 044026-30, 査読有
13. Eda, Kazunari and Itoh, Yousuke and Kuroyanagi, Sachiko and Silk, Joseph, “New Probe of Dark-Matter Properties: Gravitational Waves from an Intermediate-Mass Black Hole Embedded in a Dark Matter minispikes”, Physical Review Letters, 110, (2013), 221101(1-4pages), 査読有
14. Y. Suwa, T. Takiwaki, K. Kotake, T. Fischer, M. Liebendoerfer, and K. Sato, “On the Importance of the Equation of State for the Neutrino-driven Supernova Explosions”, The Astrophysical Journal, 764, (2013), 99, 1--19, 査読有
15. Tanaka, M. & Hotokezaka, K., “Radiative Transfer Simulations of Neutron Star Merger Ejecta”, The Astrophysical Journal, 775, (2013), 113 (16pp), 査読有
16. T. Ueda, K. Fujii, S. Hirobayashi, T. Yoshizawa, T. Misawa, “Motion Analysis Using 3D High-Resolution Frequency Analysis”, IEEE Transactions on Image Processing, 22, (2013), 2946-2959, 査読有
17. M. Hasegawa, T. Kako, S. Hirobayashi, T. Misawa, T. Yoshizawa, Y. Inazumi, “Image Inpainting on the Basis of Spectral Structure from 2-D Nonharmonic Analysis”, IEEE Transactions on Image Processing, 22, (2013), 3008-3017, 査読有
18. Tamura, Y., Tatamitani, Y., Takahashi, S., Horigome, O., Maekawa, J., Kohno, K., Sakai, T., Taniguchi, A., “A New “Off-point-less” Method for Mm/submm Spectroscopy with a Frequency-Modulating Local Oscillator”, Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 476, (2013), 401-402, 査読無

国内学会発表。

2012 年 計画研究 64 件, 2013 年 計画研究 178 件、 公募研究 58 件

国際会議発表。

2012 年 計画研究 32 件, 2013 年 計画研究 105 件、 公募研究 48 件

領域ホームページ

<http://www.gw.hep.osaka-cu.ac.jp/gwastro/>

計画研究 A03 http://www.ipmu.jp/webfm_send/555

計画研究 A04 <https://yukimura.hep.osaka-cu.ac.jp/wiki/projects/>

計画研究 A05 <http://www2.yukawa.kyoto-u.ac.jp/~juryokuha/>

主催シンポジウムなど () は登録参加者数

第2回領域シンポジウム 2014 年 1 月 13~15 日 東京工業大学 (78 名)

第1回領域シンポジウム 2013 年 3 月 1, 2 日 大阪市立大学 (87 名)

キックオフミーティング 8 月 28 日 11:00~17:30 京都大学基礎物理学研究所 (55 名)

領域研究会

第6回 2014年4月15日 9:00~13:00 Kavli IPMU-カブリ数物連携宇宙研究機構、ほか TV 会議によるリモート会場

第5回 2013年10月19日 10:00~17:00 大阪市立大学、ほか TV 会議によるリモート会場 (42名)

第4回 2013年7月26日 10:30~17:00 京都大学基礎物理学研究所、ほか TV 会議によるリモート会場 (59名)

第3回 2013年5月24日 10:30~17:00 東京工業大学 (67名)

第2回 2012年12月27、28日 広島大学、および東広島天文台見学 (48名)

第1回 2012年10月21日 9:00~16:00 富山大学、および東大宇宙線研究所神岡実験施設見学 (43名)

KAGRA データ解析スクール @ NAOJ 2013 日時：2013年2月20-22日

場所：国立天文台すばる棟大セミナー室 (約60名)

受賞

計画研究 9件、 公募研究 6件

特に大きな賞としては、理論の計画研究代表者の田中貴浩と連携研究者の柴田大が国際一般相対論と重力学会(I SGRG)のフェローにSchutz,Ellis,Newman等の世界的に有名な学者と伴に選出されたことが挙げられる。領域代表者の中村卓史が国際一般相対論と重力学会(ISGRG)の国際委員に選出された。さらに、データ解析の分担者の高橋弘毅が山梨科学アカデミー奨励賞を受賞した。連携研究者の横山順一は井上學術賞を、公募研究に採択された関口雄一郎が日本物理学会若手奨励賞を受賞した事等が挙げられる。本研究で採用しているポスドクの中野寛之が2013年11月7日に Outstanding Presentation Award Gold Prize (JGRG23)、田中貴浩の大学院生の山下康穂が、2013年6月に京都大学竹越賞、中村卓史の大学院生の衣川智弥は京都大学理学部グローバルGCOE poster awardを2013年2月13日に、公募研究に採択された関口雄一郎が2013年3月20日に日本物理学会若手奨励賞を受賞した。新沼浩太郎と杉山孝一郎は2013年9月4日にAsia-Pacific Radio Science Conference, YOUNG SCIENTIST AWARD を、木村匡志は(学振受入れ：田中貴浩)アジア太平洋研究会 "Gravitation and Cosmology"で2013年2月に優秀プレゼンテーション賞を受賞した。

一般向けアウトリーチ

市民講演	計画研究	15件、	公募研究	10件
一般向け雑誌	計画研究	7件、	公募研究	2件
新聞記事	計画研究	8件		
出張授業	計画研究	6件、	公募研究	1件

9. 今後の研究領域の推進方策（2 ページ程度）

今後どのように領域研究を推進していく予定であるか、研究領域の推進方策について記述してください。また、領域研究を推進する上での問題点がある場合は、その問題点と今後の対応策についても記述してください。また、目標達成に向け、不足していると考えているスキルを有する研究者の公募班での重点的な補充や国内外の研究者との連携による組織の強化についても記述してください。

- 1) 総括班の指導・助言の下で5 ページのような組織で領域を今後も運営して行く方針である。総括班の中の計画研究代表者からなる代表者会議を毎月第1 金曜日の9 時から開催し、領域の各研究計画の進行状況の check、予算使用状況についての検討、bi-monthly に行う各計画研究が回り持ちで行う1 日から2 日間のTV 会議または face to face での workshop の内容の検討を行う。2014 年度の第1 回は既に4 月14 日に IPMU で行った。また、年に1 回の領域シンポジウムについては2014 年度には広島大学、2015 年度は IPMU、2016 年度は京都大学で行う事を決めている。領域シンポジウムには総括班の評価委員、学術調査官の出席もお願いして、有益な助言をもとめる。すでに、述べたようにこれらの会議での公用語は英語である。
- 2) KAGRA のトンネル掘削は2014 年3 月に予定通り終了したので、2015 年12 月に常温で1 ヶ月運転することになっている。この期間はまさに、本領域の目標の実現可能性があるときであるので、いかなる体制をとるかを、今年度から総括班として検討を進めたい。KAGRA グループとの密接な連絡を今まで以上に維持する。
- 3) 2 年に1 回開かれる GPPAW (Gravitational Wave Physics and Astronomy Workshop) の次回は日本で開かれる事が昨年のインドでの GPPAW で決定された。Scientific Organizing Committee の委員長は領域代表者の中村卓史、現地組織委員長は計画研究代表者の神田展行が選出された。従って、本領域として総員体制で GPPAW in Japan の準備を行う。GPPAW は可能な限り予算的にも26 年度に行いたい、Scientific Organizing Committee の議論によっては27 年度になることが起こり得るので、その場合は26 年度の総括班の予算の一部を27 年度に繰越す可能性がある。
- 4) 年に1 回のシンポジウムは、26 年度は広島大学で、27 年度は IPMU で28 年度は京大で行う事を決めている。内容・方法等についての詳細は総括班で検討するが、今年度同様、会議の公用語は英語とし、若手のセッションも設ける。また、公募研究の研究代表者にも必ず発表をしてもらおう。シンポジウムは2 ヶ月に1 回の bi-monthly workshop とは異なり、face to face で行うことにし、その為の旅費は確保する。
- 5) 事務局は今まで通り大阪市立大学に置き、専属の秘書を雇うので、その為の費用が必要である。
- 6) 現在、異なった計画研究間ないしは、計画研究と公募研究、または公募研究間の共同研究が7 つ程ある。これらは、既に学会で発表をしたり、論文を投稿中であったりするが、このような共同研究の数を2 倍以上に増やし、領域としての広がりを持たせるようにする。
- 7) データ解析スクールのような若手養成活動も続けることにし、今まで通り総括班で費用の一部を負担する。
- 8) 毎週金曜の10 時半から行っている理論とデータ解析グループのTV 会議の合同セミナーは継続する。これは大学院生やポスドク等の若手育成にも役立っているので続ける。
- 9) 計画研究 A01 では今までに開発したWF-MAXI 搭載観測装置（軟X線大天域カメラと硬X線モニター）の試作品の性能試験を進め、熱的条件を確定して搭載品の詳細設計に反映させる。WF-MAXI の今回の公募の搭載採用は JAXA での財政状況等に左右されるが、今年度採用されない場合も、次回のチャンス、あるいは、米国との協力による ISS 搭載や、衛星の相乗りも含めて、開発は継続する。また、

iKAGRA や海外の LIGO/VIRGO の運転開始後は、現行の MAXI による重力波に対応 X 線突発天体の探査を行う。

1 0) 計画研究 A02 内の各サブプロジェクトで開発中のシステムにつき、完成したものから順次試験観測・試験運用を行っていき、平成 27 年度末には本格運用に移行することを目指す。こうした新規開発装置と既存の国内望遠鏡群を用いて、多波長・多地点観測による突発天体研究を継続していく。特に、Fermi ガンマ線宇宙望遠鏡の GBM アラートに対応した追跡観測を実施し、位置決定誤差の大きなアラートに対応した電磁波対応天体の検出システム、大量データ解析パイプラインの整備と充実を図る。また、LIGO/Virgo と結んだ MOU を基に、新規開発装置群を重力波天体追跡ネットワーク J-GEM に順次組み込み、平成 27 年度からは LIGO/Virgo からの重力波アラートに対応したフォローアップ観測を開始する。平成 28 年度には、さらに iKAGRA からの重力波アラートを受けて、J-GEM によってフォローアップ観測を実施し、重力波天体の電磁波対応現象の世界初の検出を目指す。

1 1) 計画研究 A03 では、EGADS 検出器における超新星爆発ニュートリノ検出の鍵となる電子回路の導入を本年度中に行う。その後、リアルタイムでの信号の再構成ツールの開発を行い、超新星爆発ニュートリノが検出器に到達して 1 秒以内に自動で他の観測装置に知らせるシステムを平成 27 年度までに完成させる。

1 2) 計画研究 A04 では、後半は、いよいよ 2015 年末に予定されている KAGRA 実験の最初の観測データを解析する。そのため、特に 3、4 年目において、計算能力とデータ貯蔵容量を整備し、KAGRA 運転開始に備える必要が有る。100TB 程度のデータ容量と、探索当初に必要な計算能力をもつよう、初年度に導入した計算機システムを増強する。また、最終年度には解析の進展やパイプラインの改良に合わせて、計算能力を増強する。最初の観測において必須の探索パイプラインは、「コンパクト連星合体（とくに中性子星の質量範囲）」、および「バースト重力波」を対象とするものである。3 年目には、それまでに開発した解析パイプラインの実装や試験をおこなう。検出器自体が最初の観測から優れた感度をもてるかは難しい点であるが、KAGRA のデータについて典型的な重力波探索がなされ、上限値や性能評価に結びつく解析結果を出すことは大変重要である。もちろん、地球に近い場所でイベントが発生する幸運な可能性も無いわけではない。また、重力波速報の技術的な整備、すなわち、速報データベースの作成、データ形式、配送の仕組み、実際に配送する計算機サーバーの動作、などをおこなう。これは同時観測や相互フォローアップを目的とする、領域内の他の計画研究との横断的な事項である。公募研究においては、検出器雑音についてや観測速報の知見を活かす研究があり得る。また、大量のデータ処理についての数学的なアプローチの研究なども、本領域に相乗的な効果をもたらしてくれると期待する。

1 3) A05 は以下のように研究代表者と()内の分担者が中心となり推進する。a) 様々な重力波源の探査と重力波波形の解明(中村):多様な現象を視野に新しい重力波源の可能性を見出す。数値相対論に関しては連携研究者(柴田)が参加する。b) 超新星爆発の物理(山田):重力波とニュートリノの同時観測から爆発機構を連携研究者(固武)と協力し研究する。より精密なシミュレーションで、首尾一貫した予言を行う。c) 他の観測手段との同時観測から得られる物理(井岡):様々な重力波源に対して、同時観測可能な電磁・ニュートリノ放射の可能性について徹底的に議論を詰める。d) 新しい重力波観測・データ解析法の提案(瀬戸):データ解析の手法を確立し、実際のデータ解析に応用し、A04 と協力し先駆的成果を発信する準備をする。e) 宇宙論・修正重力理論の観点からの重力波研究(田中):修正重力理論が重力波波形に与える影響、宇宙初期の重力波源を連携研究者(横山, 川崎)とともに明らかにする。

研究の連携強化のため、定例テレビ会議を引き続き行う。新しい物理のあらゆる可能性を検討するため研究会を開催・支援する。合宿を企画しテーマを絞り課題に取り組む。