

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA 計画

① 計画の概要

KAGRA は連星ブラックホール合体や連星中性子星合体、超新星爆発などで発生する重力波を観測する望遠鏡である。重力波観測は、一般相対性理論を検証するだけでなく、全く新しい宇宙観測を行うという意義を持つ。実際、2015年にLIGOで初めて観測された連星ブラックホール合体は、重力波以外では観測が困難な天体現象であった。また、2017年には連星中性子星合体が観測されたが、それと同時にガンマ線バーストなども観測されて、わずかこの3年間に、複数の観測手段を組み合わせたマルチメッセンジャー天文学の重要性が急速に高まっている。

このような背景の中で KAGRA が国際重力波観測ネットワークに加わることは、重力波源の方向決定精度の向上だけでなく、重力波の偏波や合体するコンパクト連星の軌道傾斜角などの情報も得られることになり、重力波天文学の確立に必須である。2018年度にKAGRAの建設はほぼ完了し、2019年中にLIGOとVirgoが行う国際共同観測03に参加する予定である。その先の04観測以降についても、緊密な国際共同観測を継続することで、重力波天文学およびマルチメッセンジャー天文学の発展に貢献することを目指している。



図1 KAGRAのイメージ

② 学術的な意義

重力波を観測することは、一般相対性理論の検証という基礎科学の重要なテーマであり、ブラックホール時空の解明やコンパクト星の状態方程式などの天体物理、さらにはハッブル定数の精密測定など宇宙論などへも大きな寄与が期待されている。重力波初観測に対して早い時期にノーベル物理学賞が授与されたことからわかるように、その学術的意義は広く認められている。さらにLIGOとVirgoが同時に観測した連星中性子星合体イベントにおいては、ガンマ線観測との連携で重力波源の方向をかなり絞って特定することができ、その後の光赤外線観測につながってマルチメッセンジャー天文学が幕を開けた。そこでは短いガンマ線バーストの源が連星中性子星合体であることが高い確率で正しいことや、重金属などの元素が連星中性子星合体（つまり中性子が豊富に存在する場所）で生成されることを強く示唆するなど、多くの新しく極めて重要な知見が得られている。また、超新星爆発が重力波で観測されれば、ニュートリノ観測などと組み合わせることで、その爆発メカニズムの理解も進むはずである。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

世界の重力波天文台の現状としては、まず、重力波を初観測したLIGOがある。LIGO計画ではアメリカの東西両海岸に基線長4kmのレーザー干渉計を2台建設した。また、ピサにはイタリアとフランスが共同建設した基線長3kmのVirgoがある。つまり、既に3台の巨大レーザー干渉計が稼働しており、2017年には同時観測が実行された。最終的な目標は約100万個の銀河の中で発生する連星中性子星の合体を観測することで、初期観測を終了した後に改造されて、現在は第2世代の重力波検出器と呼ばれている。このような状況の中、国際観測ネットワークの一拠点となるKAGRAの建設を進めてきた。KAGRAは地面振動等の外乱に影響されにくい地下に設置され、熱雑音を低減するためにサファイア製のミラーを極低温（20K）に冷却する先進的な低温レーザー干渉計である。そのため、KAGRAは第2.5世代の重力波望遠鏡と呼ばれている。KAGRAの完成後は試運転と調整を繰り返して、2019年4月に開始されるLIGOとVirgoの国際共同観測03に参加する予定である。KAGRAは、重力波観測ネットワークにとって不可欠である。

④ 実施機関と実施体制

KAGRAは、東京大学宇宙線研究所をホスト機関とし、自然科学研究機構国立天文台、高エネルギー加速器研究機構を共同ホスト機関として建設を進めてきた。主な役割分担は、宇宙線研究所が施設関係を、国立天文台が補助光学・防振関係を、高エネルギー加速器研究機構が真空・低温関係を担当している。これら3機関の包括的な覚書(MOU)と詳細を定めたそれぞれ2機関のMOUをベースに枠組が形成されている。また、KAGRAに最も近い教育研究機関として、富山大学がKAGRAの拠点になりつつある。さらに近年では、台湾がキャリブレーションなどを担当し、韓国の解析グループが活動を始めるなど、海外共同研究者の活躍も活発となってきている。現在、国内外で300名を越える共同利用研究者がKAGRAによる重力波観測の準備に貢献している。

主要な推進機関の代表者で構成される運営組織 KAGRA Executive Office (EO) を中心に KAGRA プロジェクトは推進されており、また、サイエンスを中心に議論を行う共同利用研究者の組織 KAGRA Scientific Congress (KSC) も設立されている。

⑤ 所要経費

本計画は2010年度-2018年度が大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の建設期であり、2019年度に KAGRA の試運転および本格観測を開始する予定で、その後20年以上の運用を考えているが、ここでは20年間分の総経費のみを記載する。

90.6 億円 (2023-2042 年度)

なお、参考として、本計画は後継計画であり、現行計画にかかる総経費は、

9.1 億円 (2021-2022 年度)

である。

⑥ 年次計画

KAGRA の建設は2018年度末にほぼ完了する見込みで、2019年度には試験運転に移行する。2019年中に LIGO と Virgo による国際共同観測 O3 に加わり、重力波観測の一翼を担うことを予定している。O3 観測は2019年度で終了する予定となっているため、KAGRA が実質的に観測に加わるのは数ヶ月程度となる見込みである。その後1年ほどかけて装置の不具合の修正や改造を行い、2021年度には LIGO、Virgo と共に O4 観測を実施する。O4 後は、KAGRA のアップグレードを予定しているが、具体的なアップグレードプランにつ

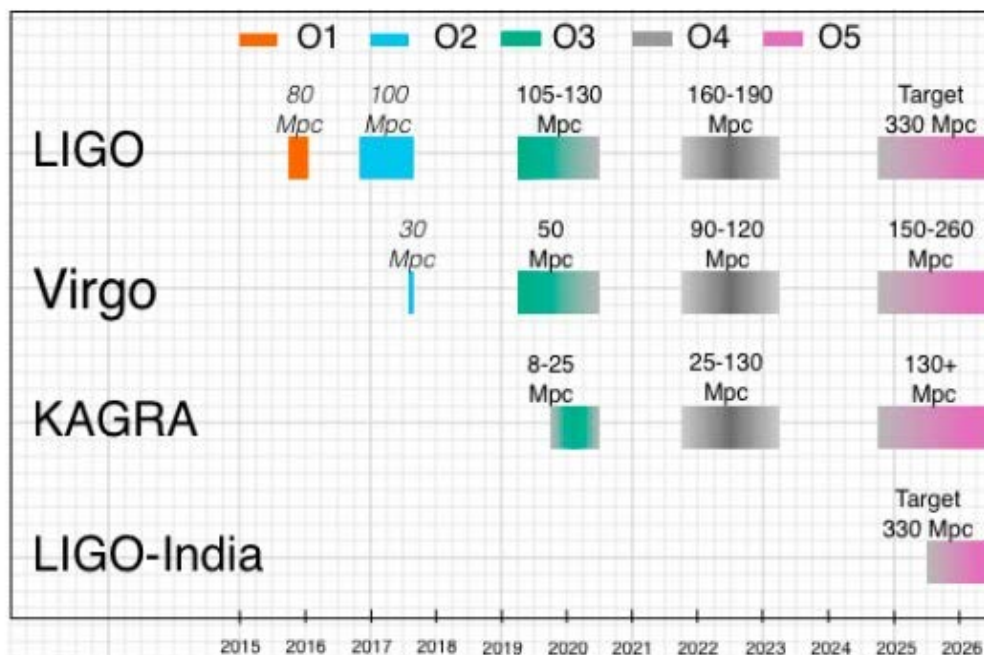


図2 LIGO, Virgo との国際共同観測スケジュール

いては、タスクフォースを設けて検討を進めている段階である。世界の他の重力波望遠鏡でも、同様にアップグレードと観測を繰り返す計画となっており、KAGRA もそれと足並みを揃えた計画立案をしている。このような枠組での国際共同観測は、おおよそ O5 (2024 年度以降) までは予定されている。

KAGRA の観測運転は基本的に特定経費でまかなわれる予定であるが、アップグレードについては、広く国内外での競争的資金の獲得に努力する。

現在 KAGRA には 300 名を越える共同利用研究者が参加しており、日本各地の大学に加え、台湾、韓国、中国などからも多数の参加者がいる。特に台湾では新たな重力波研究グループ立ち上げに成功するなど、順調に KAGRA の国際化が進んでいる。

重力波天文学は全く新しい分野であるため、20 年程度で終息に向かうことはなく、アップグレードと高感度観測が継続していくと考えられる。米国では基線長 40km の Cosmic Explorer、ヨーロッパでは基線長 10km の Einstein Telescope (地下設置) も計画されており、それに向けて今後更に発展と人材雇用・育成が進むと考えられる。

⑦ 社会的価値

重力波は「ブラックホール」や「アインシュタインの一般相対性理論」といった、社会や国民が比較的関心を寄せやすい事柄と密接に関連することから、その関連性等を分かりやすく説明することなどを通して、本計画や科学的重要性について社会・国民の理解を深めてきた。また、重力波への理解を得るための広報活動としては、マスメディア取材への対応、動画配信等を含むインターネットによる広報、地元住民や学生を対象とするイベント、全国各地での講演会等に積極的に取り組んでいる。さらに KAGRA では、地元行政と連携した取り組みに力を入れており、これらの努力が、地元公民館の無償譲渡などの形で還元されている。

重力波のような基礎科学は直接的に経済や産業の振興を目的とはしていないが、その研究過程において開発された先端技術は結果として経済や産業の役に立つ。例えば、KAGRA で開発された極低温技術は、医療分野やリニアモーターカーなどへの応用も期待されている。

⑧ 本計画に関する連絡先

梶田 隆章 (東京大学・宇宙線研究所)