

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA 計画 (略称: KAGRA)

① ビジョンの概要

重力波を用いた学術は始まったばかりで全貌が明らかではないが、文明は予想もしなかった気付きから発展してきている。電磁波でしか宇宙を見ることができなかった基礎学術が、新たな重力波というメッセンジャーによりその幅が広がり、人類に与えられた宿題を解き明かす一歩を進めるとともに、限られた物理量のなかで生きている我々の存在意義や、多様な考え方を尊重しあうための礎となることを希求している。

② ビジョンの内容

重力波は、宇宙スケールでおきている遙か遠方の極限下の現象を、何にも遮られることなく観測できるメッセンジャーとして、その観測は新たな天文学、物理学や関連する分野を融合する研究手段となっている。検出が極めて困難であったが故にその初検出にはアインシュタインの予言から 100 年も要したが、ひとたび手が届けば、観測対象の数は感度の 3 乗として飛躍的に増大し、いずれは、電磁波も届かないような天体の深い部分や、宇宙の果て、あるいは開闢直後に到達できる可能性を秘める。地球近傍では決して見ることができない事象を継続的かつ地道に観測、解明していくことは、学術の発展には欠かせない。

重力波を用いた学術はまだ始まったばかりで、今後どうなっていくかわからない。これまでの歴史が示すように、科学や技術は、我々が全く予想もしなかった気付きや失敗から発展してきている。この自然界に対する好奇心と探求心という、人類の固有の文明を発展させる原動力たる学術に、改めて注目してよいのではないだろうか。

③ 学術研究構想の名称

地上の重力波望遠鏡によるマルチメッセンジャー天文学の展開

④ 学術研究構想の概要

本構想は、地下と低温というこれまでにない方法で重力波検出を目指し 2010 年度に最先端研究基盤事業として採択された大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の高感度化を達成し、更に高周波数帯でアップグレードすることで、中性子星連星合体事象など近年創生したばかりのマルチメッセンジャー天文学に必要な国際重力波観測ネットワークにおける重要拠点として基礎学術を推進し、ビジョンの実現を目指す研究計画である。

アジア圏で唯一稼働している検出器としての KAGRA の役割は、短時間で波源方向を高精度で特定し、重力波解析に必要な情報を提供することによって、地球規模の重力波望遠鏡の重要な一翼を担うのみならず、我が国のマルチメッセンジャー重力波天文学の礎となり、関連した物理、天文学や関連する近隣分野にも大きな貢献をする。

重力波による時空のわずかな歪みを検出するため、欧米では、装置の大型化を目指す次世代 (第 3 世代) の新規施設計画が検討されているが、我が国では、あくまで 3 km の地下トンネルに設置された KAGRA を有効かつ戦略的に活用する構想に基づいた研究計画を推進する。主な理由は、KAGRA が既に第 3 世代で検討されている地下と低温技術を取った 2.5 世代検出器であることと、それ故に、高周波数帯域 (kHz 帯) に絞れば第 3 世代にひけをとらない感度で観測に貢献できるとともに、これまで地道に築いてきたノウハウを海外や次の世代に継承することができるからである。

⑤ 学術的な意義

重力波は物質との相互作用が微弱であり、アインシュタインの予言から 100 年かかるほど検出が困難だが、それは透過性が非常に良いということを意味し、電磁波では到達できない深奥の物理現象に迫ることができる。これまではビッグバン後 38 万年の晴れ上がり後の姿しか観測できなかった宇宙が、重力波によりインフレーションが起きたとされる開闢後わずか 10 のマイナス 38 乗秒程度の初期まで探索できる可能性が拓けた。到達距離が検出感度に比例するため、検出器の向上に対して観測できる波源数は 3 乗で増え、ブラッ



図 1 大型低温重力波望遠鏡 KAGRA 全体図

クホールや中性子星からなる連星合体など地球上では到底見ることはできない現象の観測数は今後飛躍的に伸びてゆく。これにより、力のしくみをこれまでに無い方法で検証することや、宇宙の成り立ちを理解し、ひとびとの世界観を広げることが可能になる。また、重力波天文学によって、修正重力理論の検証、原始重力波による宇宙最初期の観測、ハッブル定数の独立な測定、重元素合成、及び相対論的ジェットの解明など、宇宙論的なブレークスルーの貢献が期待される。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

重力波は1916年にアインシュタインが提唱した一般相対論によって予想されてから、存在そのものを問う実験が進められてきたが、LIGOを中心とした欧米のプロジェクトにより2015年に初検出がなされ、2017年に米国の3人にノーベル賞が授与された。それまでは、いかに感度の高い装置を建設するかという視点において国際的に競争がなされてきた。しかし現在では、世界の重力波望遠鏡が協力して成果を出すことのメリットが大きいため、LIGO(米)、Virgo(欧)とKAGRAが一体の組織として科学成果を出す方向で議論が進められている。加えて、欧州及び米国では次世代(第三世代)重力波望遠鏡の計画が検討中である。

国内では地上のKAGRAに加えて宇宙における重力波観測の構想があるが、まずは地上の観測においてKAGRAの実績が必須であり、それによって国内外のコミュニティの理解と幅を広げることは、重力波のみならず、多くの関連分野のビジョン達成にも貢献することになる。

⑦ 社会的価値

基礎学術という性質上、当該構想によって得られる重力波物理学・天文学の成果による経済的・産業的価値への直接的な貢献を目指すものではない。しかし、重力波望遠鏡の感度を極限まで高める最先端の技術の開拓がもたらす産業的価値は高い。また、最先端研究施設への国内外からの多数の訪問者によって地域の経済と生活の活性化だけでなく、全国の中高大学生に知的な刺激を与え、教育に貢献している。このように、未来を担う子どもたちに夢を与え、次世代の科学技術を発展させるための好循環を生み出すと期待される。

⑧ 実施計画等について

<実施計画・スケジュール>

KAGRAは東アジアの重力波観測拠点として、今後世界の重力波天文学に貢献していく予定である。具体的には、LIGO(米)、Virgo(欧)、KAGRAの3者が中心となり、世界の地上の重力波望遠鏡の組織化を進めており、2027年頃には世界中でまとまった組織となることが想定されている。この組織の下で、2028年頃から3年間程度の次期観測(Observation 5, O5)が想定されており、KAGRAはこの時の中性子連星合体観測感度として25-128Mpcの到達レンジを想定している。

その後数年間のアップグレード期間を経て、次々期観測(Observation 6, O6)が想定されており、その時にKAGRAはkHz周波数帯に高い感度を持つ重力波望遠鏡に改造し、とりわけ中性子星連星合体や超新星爆発事象などの観測を通して、重元素合成現場の特定、中性子星の状態方程式の理解等、マルチメッセンジャー天文学に大きな貢献をしていく。

なお、10年以降も更に感度を高めて上記のような貢献を続けることを想定している。

<実施機関と実施体制>

KAGRAは東京大学宇宙線研究所が主推進機関として運用に責任をもち、宇宙線研究所の国際共同利用・共同研究体制の下で運用されている。加えて自然科学研究機構国立天文台、および高エネルギー加速器研究機構も加わり、プロジェクトを共同で進めることが3者で合意されている。東アジアを中心にし、ヨーロッパやアメリカからも参加者があるKAGRA collaborationが組織され共同で研究を進めている。なお、コラボレーターは総勢400人規模で、KAGRAの論文に名前を連ねる貢献度の高い共同研究者は150人程度である。

<総経費> 180億円

<所要経費>

KAGRAの運用費として総額90億円(10年間)、これにKAGRAアップグレードを加えた合計180億円が必要である。なお、海外からの貢献も増えていくと予想されるため、国内で全額を負担するということではない。

⑨ 連絡先

梶田 隆章(東京大学宇宙線研究所)