

「重力波」に挑む

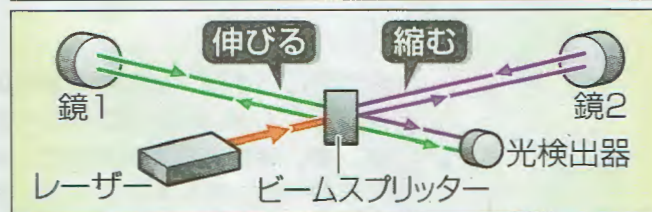
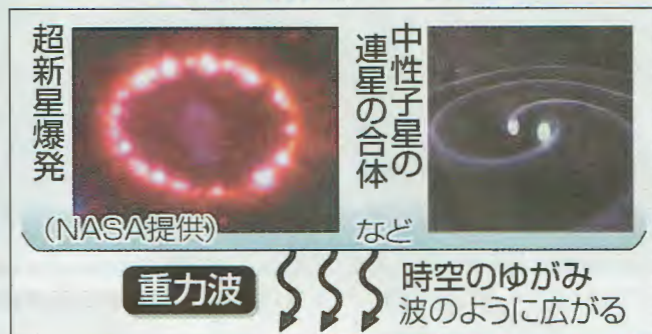
岐阜・飛弾
神岡鉱山

記事 中村秀生
写真 林 行博

ちょうど100年前に提唱された一般相対性理論で予言され、インシュタイン博士からの最後の宿題」と言われる「重力波」。その初検出をめざして、東京大学宇宙線研究所などが岐阜県飛弾市の神岡鉱山に建設を進めている重力波望遠鏡「かぐら」が、いよいよ最終段階に入りました。光では観測できない宇宙の姿を観測する重力波天文学という新しい扉が、いま開かれようとしています。

大型低温重力波望遠鏡「かぐら」 東大宇宙線研、高エネ研、国立天文台を中心に国内外の69研究機関・約250人の研究者が参加して建設が進められている、レーザー干渉計型重力波検出器。2012年から地下空洞の掘削を開始。15年11月には常温鏡による観測に必要な初期施設がほぼ完成。試験観測と高感度化を経て、17年度中に極低温鏡を使った本格観測を開始する計画です。「かぐら」の愛称は公募で選ばれたもので、神岡と重力波を示す英語の頭文字(KA・GRA)からきています。

重力波観測の仕組み



「かぐらトンネル」の入り口。トンネルの総延長は7758mです

このほか、レーザー光の通り道となるパイプ内の高真空環境、物差し目の目盛りとなるレーザー光の波長を安定化する装置などを開発しています。

神岡鉱山の地下は、重力波観測のじやまになる振動が地上の100分の1と小さく、絶好の観測適地。鉱山内には、素粒子ニュートリノの検出器「スーパーカミオカンデ」や未知の暗黒物質を探索する「XMASS」など、世界有数の観測施設もあります。

かぐらの試験観測のため施設がほぼ完成した昨秋、観測装置が報道関係者に公開されました。山腹から掘られた、かぐら専用のトンネルの中は、ひんやり。幅4mほどのトンネルを約500m進むと大きな空洞があり、その奥の中央実験室にはさまざまな装置が並んでいました。ここは観測中、年間を通じて約14度に保たれます。装置の熱膨張を防ぐため、温度変化を0.1度以下に抑えます。装置は汚れると性能が発揮できないため、クリーンルーム内に設置。移動中は人間も入れず、遠隔操作で観測します。

中央実験室から2方向に延びる長さ3kmのトンネル内には、直径80cmの真空パイプがズラリと並べられています。

「重力波は、時空のゆがみが波のように伝わる現象で、人類は直接検出したことがありません」と話すのは、宇宙線研の三代木伸二准教授です。「重力波が天頂から地球を突き抜ける」と、物体の間の距離がほんの少し変化します。かぐらは、その小さな変化をとらえるための装置です。

通常は、どちらの腕を通ったレーザー光も到達時間に差はありません。ところが、重力波が到達して空間がゆがむと、片方の腕が伸びてもう一方の腕が縮み、レーザー光の到達時間に差がでます。検出器に入ってくる光の強度変化を測定することで時間差をとらえ、重力波を検出します。

この究極の感度を実現するには、レーザー光を反射する4枚の鏡のわずかな振動が問題になります。熱による鏡の振動(熱雑音)を抑えるために、鏡をマイナスイオンで冷却する「クライオスタット」は、かぐらの「目玉装置」です。サファイアの鏡を使い、超低温の冷凍機で防振と冷却を両立させます。開発を担う高エネルギー加速器研究機構の木村誠宏准教授は「加速器技術を積み重ねてきた日本ならではの技術だ」と強調します。

初検出へ「かぐら」最終段階

は、宇宙線研の三代木伸二准教授です。「重力波が天頂から地球を突き抜ける」と、物体の間の距離がほんの少し変化します。かぐらは、その小さな変化をとらえるための装置です。

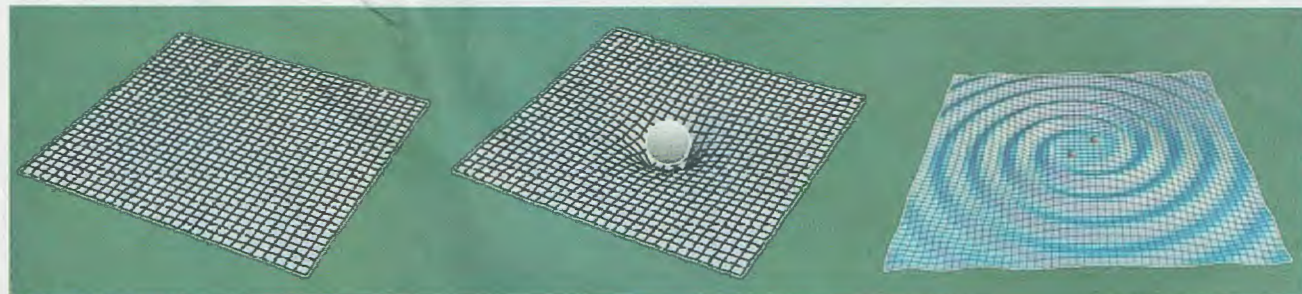
通常は、どちらの腕を通ったレーザー光も到達時間に差はありません。ところが、重力波が到達して空間がゆがむと、片方の腕が伸びてもう一方の腕が縮み、レーザー光の到達時間に差がでます。検出器に入ってくる光の強度変化を測定することで時間差をとらえ、重力波を検出します。

この究極の感度を実現するには、レーザー光を反射する4枚の鏡のわずかな振動が問題になります。熱による鏡の振動(熱雑音)を抑えるために、鏡をマイナスイオンで冷却する「クライオスタット」は、かぐらの「目玉装置」です。サファイアの鏡を使い、超低温の冷凍機で防振と冷却を両立させます。開発を担う高エネルギー加速器研究機構の木村誠宏准教授は「加速器技術を積み重ねてきた日本ならではの技術だ」と強調します。

アインシュタイン最後の宿題



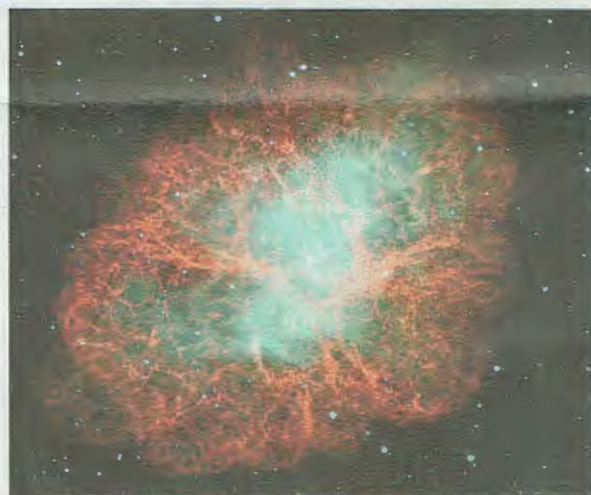
かぐらの目玉装置「クライオスタット」(中央)は、中のサファイア鏡をマイナス253度まで冷却し、鏡の熱振動を抑えます



重力波のイメージ。何もない平たんな空間(左)に、星が存在するとその重さで空間がゆがみます(中央)。重い星が加速度運動すると重力波が発生し光速で広がります。右は、双子の中性子星が互いの周りを回っているときの重力波(東京大学宇宙線研究所の資料をもとに作成)



中性子星連星の合体で発生する重力波の想像図。国立天文台チームは、星の元素組成の研究から、かぐらが本格稼働すれば1~2カ月に1回程度、中性子連星の合体による重力波を検出できると推定しています(国立天文台提供)



すばる望遠鏡が観測した、超新星爆発の残骸「かに星雲M1」。中心では、中性子星が高速で自転しながらX線やガンマ線で点滅しており「かにパルサー」と呼ばれます。パルサーは、重力波を発生させると考えられています(国立天文台提供)

重力波

アインシュタインの一般相対性理論によると、質量の存在によって、物体の周囲の空間にゆがみができます。物体が加速度運動すると、空間のゆがみが波として光速で広がります。この波動現象が重力波です。米国の天文学者ハルスとテイラーは、連星中性子星が放つ周期的な電波を観測し、周期の変化が重力波放射から予想される変化と一致することをつきとめました。それが重力波の存在の間接的証拠とされ、2人は1993年のノーベル物理学賞を受賞しました。

中性子星の合体観測へ期待

かぐらの観測ターゲットの「本命」は、太陽と同程度の重さなのに半径が10キロほどしかない高密度の天体「中性子星」の双子が互いの周りを高速で回りながら、最終的に合体してブラックホールが誕生するとき、重力波が観測されると予想されています。

合体が起こるのは、10万年に1回程度。かぐらは、地球から7億光年の範囲まで見渡せるため、年に数回、観測できると期待されています。ブラックホール同士の合体や超新星爆発も、重力波源の有力候補です。重力波望遠鏡は1基だけでは重力波の到来方向がよくわかりません。現在、同水準の高感度の重力波望遠

鏡の開発が米・欧でも進んでいます。地球上の離れた3カ所で同時に観測することで、三角測量の原理を使い、重力波源の天体を特定することが可能になります。

遠くの天体から放たれた光や電波、X線などの電磁波を観測する望遠鏡を「目」、例えるなら、宇宙に響き渡る重力波をとらえる望遠鏡は「耳」です。いったい宇宙は、どんな音楽を奏でているのか。ブラックホールの産声は、どんなものなのか。新しい観測手段によって、予想もしないような現象がとらえられるかもしれません。宇宙線研の梶田隆章所長は「まだまだ宇宙にはわからないことがたくさんある。世界初の重力波の直接観測と、重力波天文学の創成に向けて進んでいきたい」と、2017年度からの本格観測へ意気込んでいます。