

重力波天文学の夜明け

Opening of Gravitational-Wave Astronomy

三尾 典克

東京大学 大学院理学系研究科附属フォトンサイエンス研究機構

重力波の直接検出が全世界に向けて発表されたのが、2016年2月であった。この世界初の重力波検出は、大変大きなインパクトがあり、2017年度のノーベル物理学賞は、この発見に大きな貢献のあった3名の米国の物理学者に与えられた。初検出のイベントは2015年9月14日のことであり、GW150914という名前と呼ばれている。連星系をなしていた2つのブラックホールが衝突・合体した時に発生した重力波であった。それ以来、これまでに、6個のイベント(+未確認のイベント1個)が観測されている(これまでに観測され重力波のイベントのリストは https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_gravitational_wave_observations にまとめられている)。そのうちの5個は、ブラックホール連星の合体で、1個は中性子星連星の合体である。ブラックホール連星の合体の場合には重力波以外の信号が見えないが、中性子星連星の合体では、ガンマ線がほぼ同時刻に観測され、また、多くの天文観測で発生源の観測が進められており、まさに新しい天文学が始まったという状況である。

重力波は、空間のひずみとして検出される(その振幅は普通 h を用いて表す)。重力波の典型的な振動数は数10Hzから1kHzくらいで、振幅は 10^{-21} くらいである。重力波の検出には、巨大なレーザー干渉計を用いる。干渉計のサイズは、米国のLIGOでは4km、欧州のVIRGOや日本のKAGRAでは3kmである。 $h = 10^{-21}$ とすれば、ひずみで生じる変位は、 10^{-18} mくらいで、原子核の大きさの約1000分の1であり、極めて小さな変動を検出しなければならない。そのため、多くの先端的な技術が導入されている。レーザー、鏡などの光学素子、振動を抑えるための防振技術、制御技術など、極めて高精度なものが必要とされている。これらの技術が成熟したことで、初めて重力波検出が可能になった。

日本では、KAGRAと呼ばれる検出器が、岐阜県飛騨市にある神岡鉱山の地下に建設されている。すでに、LIGOやVIRGOは重力波の検出に成功しているが、これらの装置は1990年代から建設が進められてきた装置である。KAGRAは2010年から建設が始まった装置で、残念ながらまだ完成していない。しかし、地下の静粛な環境を利用し、また、熱揺らぎを抑えるために30K程度の低温環境を実現する装置を導入するなど、外国の装置にはない特色を備えている。あと、2年くらいで完成の予定であり、日本での重力波検出を目指す。

本講演では、重力波天文学の現状、検出技術などを中心に報告する予定である。