

《ハイテクとおめがね事情(1)》

100 m レーザー干渉計 (TENKO-100) と宇宙への展開

20世紀は、電磁波の天文学が、大きな華を咲かせた。電波、X-線、赤外線など、光の天文学しかなかった19世紀には予想もされなかった展開をしてきた。そこから、中性子星などを軸とした新しい宇宙の世界と星の進化、ビッグバンに始まる宇宙論をめぐる観測が中核をなしている。そこは、加速器を軸に発展した物理学が支えてきた。いや、加速器でできない物理学の世界が期待され、展開されてきた。しかし、最近の米国での大型加速器 SSC 建設のキャンセルなどをみていると、21世紀の物理学や天文学の発展が、20世紀のその延長線上でよいのかと問いかけられているように思える。

20世紀の物理学において、加速器の大型化が新しい物理学の世界を広げてきた。そのうちにその規模は巨大科学へと発展し、そこでは物理学の世界にとどまらず、一国の政治、さらにはソ連の崩壊のような国際社会の動きにも無縁ではなくなってきた。このような背景で SSC のキャンセルが純粋に科学的な理由ではないものに支配されていることは確かである。しかし、一方では、現代の物理学を支配する電磁力と核力の弱い相互作用の統一（電弱統一理論）が検証された現在、SSC を建設しても次の核力の強い相互作用を含めた大統一理論検証には足下にも及ばないという現実のなかで、兆円を単位とする巨額の金を使って果たしてどれだけの寄与をするのかも問われている。

さて、ビッグバンから出発した宇宙論の世界は、力の統一理論の大活躍する場である。しかし、現実には、電磁波で宇宙を見る限り、われわれは、その現場を見ているわけではない。ビッグバンから宇宙が電磁波でみて晴れ上がる数十万年以上経過したところである。一秒のさらに何桁も下のビッグバン直後、力の統一理論の活躍する世界

を、ある意味では考古学的に検証しているのである。その宇宙観測の世界も、地上の望遠鏡や宇宙軌道からの観測で、巨大科学の一翼を担っている。

このように20世紀の科学の発展を支えた巨大科学も、しかし、いまや、冬の時代といわれている。巨大化が王道ではなくなったのである。そのような環境のなかで、宇宙観測の方法として、これまでの電磁波の枠を越えた新しい観測手段に熱い視線が注がれている。ニュートリノと重力波である。

ニュートリノは、スーパーカミオカンデですでに新しい天文学を築きはじめた（本シリーズ掲載予定）。加速器がとてつもない領域（大統一理論）の検証の一つ、陽子崩壊に加速器の1/100以下の経費で到達できるかもしれないという期待に夢が膨らんでいる。

一方、重力波は、アインシュタインの一般相対論から帰結されるもので、質量の非等方的な加速度運動から励起されるものである。重力波が観測できるようになると超新星の爆発でできる中性子の生成過程やブラックホールのごく近傍の 1cm^3 が1億トンの世界に、また、宇宙の進化のなかで、ビッグバンの直後の世界に迫るということで期待がたかまってきた。ここ数年、重力波の観測手段のなかでも、レーザー干渉計に期待が集まっている。レーザー干渉計は、2組のミラーを直交して配置し、その間の距離の差を計測するものであるが、重力波到来による空間の歪の伝播をこの距離の差の変化として計測するものである。

連星パルサーの合体や超新星の爆発で期待される50 Hz—1 kHz 領域の重力波を計測対象とするが、装置の感度は高周波領域では、干渉計内の光の強度から決まるショットノイズ、また、低周波は地面からの機械雑音に支配される。ただし、一年に何回か重力波を観測するためには、太陽と地球の距離を水素原子一個の精度で計測する（相対変位 $=10^{21}$ ）必要があると予測されており、技術的には、決して甘いものではない。レーザー光の

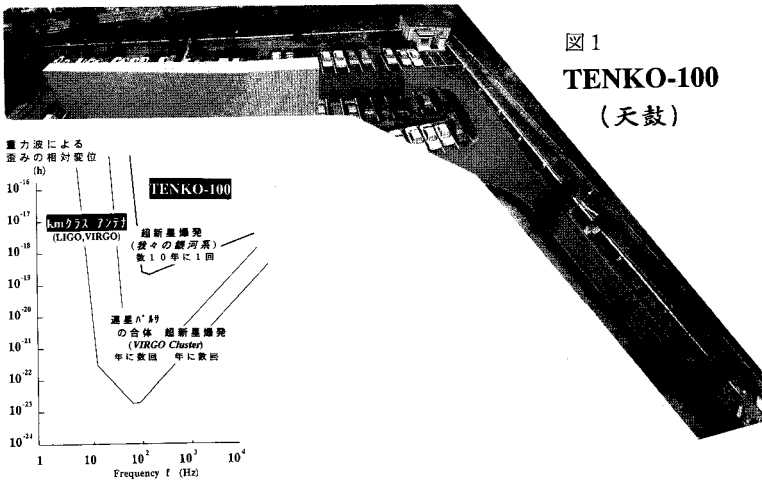


図1
TENKO-100
(天鼓)

を隔離するためにワイヤ懸架されている。

現在、目標感度(図1)にもう一息のところまできており、感度向上のために散乱光除去、レーザー周波数安定化改良、防振対策追加、電気系雑音除去などを行い、来年3月までには長時間観測を開始する。

世界的には、上記空間の相対変位 10^{21} 実現を目指して米国で4 km 2基、仏・伊共同で3 km 建設計画が始まっており、2,000年頃には稼働する。それまでの数年間、TENKO-100は、世界最長のレーザー干渉計重力波検出器として、安定な作動を主眼をおき、確率は少ないながらも我が銀河系周辺での大きな天体

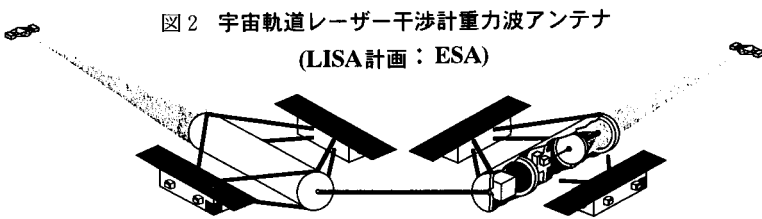


図2 宇宙軌道レーザー干渉計重力波アンテナ
(LISA計画: ESA)

周波数雑音、散乱光、機械性雑音、熱雑音などとの戦いである。レーザー干渉計の場合、アーム長を増やし、レーザー光の強度をあげることによって感度が向上することが、レーザー技術のめざましい発展に支えられて実現に大きな期待が寄せられている。

宇宙科学研究所の100 mレーザー干渉計(TENKO-100)は、平成3年度から進められてきた科研費(重点:重力波天文学)のなかで天文台の20 mレーザー干渉計(ファブリー・ペロー型)と2本柱をなすもので、相模原キャンパス北東の角に配置されている。波長514.5 nmの単一波長、単一縦/横モード、強度ならび周波数を安定化した最高8 W出力可能なアルゴン・レーザをビームスプリッターで西ならびに南方向に二分し、それぞれ2個の直径35 cm厚さ8 cmのミラーの間をミラーの円周に沿って100回折り返して戻ってきた実質的に10 kmのアーム長をもった干渉計である。ミラーは、低周波領域の地面から機械振動

現象に備えるとともに、将来の大型装置(含天文台300 m計画(次号参照))の技術開発のテストベンチとしての役割も果たす。

また、ESA(ヨーロッパ宇宙開発機構)を中心にアーム長500万 kmの宇宙軌道アンテナを2010年頃を目標に建設する気運が高まってきた(図2)。地上のアンテナではじめて重力波が検出されても、本当の天文学となるまでさらに時間を要しようが、宇宙のアンテナは、対象とする天体が多く意外に早く天文学になる可能性が期待されている。TENKO-100が踏台になって、雄大な宇宙重力波アンテナが実現することを期待する。

河島信樹(宇宙研)