

## 天文観測技術の最前線 (12)

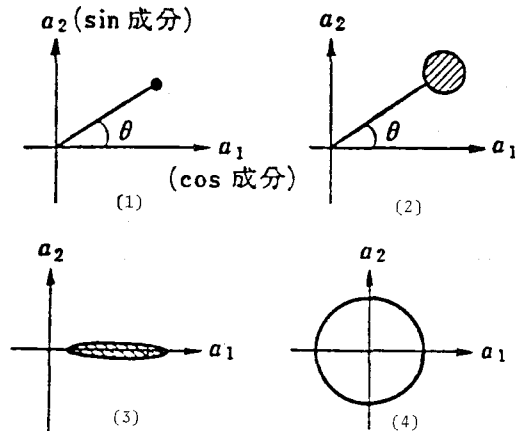
### 重力波検出用レーザー干渉計の光源

今や天文学は電磁波の全ての波長域をカバーし、さらにはニュートリノによる観測まで行なわれるようになってきた。そこで最後のフロンティアとして重力波による天文観測への期待が高まって来ている。重力波が一般相対性理論によって予言されて70年以上になるのに、いまだに重力波が検出されていないのは、その効果が極めて微弱なためである。このため重力波検出は超精密計測の最前線といえる。

重力波は横波であり伝播方向に垂直な面内で潮汐的な歪みを引き起こす。レーザー干渉計型の重力波アンテナはこの歪みによる光路長の変化を干渉縞の変化として観測するものである。天体現象から発生する重力波の地球上での歪みは極めて小さいものと予想される。我々の銀河内で起きる超新星爆発から発生する重力波に予想される歪みの大きさは  $10^{-19}$  であり、乙女座銀河団の距離にある超新星からは  $10^{-21}$  の大きさの歪みが重力波によってもたらされる。 $10^{-21}$  の歪みが検出できる重力波アンテナがあれば、月に一回程度の重力波バーストが観測できることが期待されるため、このレベルの検出器開発が当面の目標とされている。

干渉計の光路長を 1 kHz 帯の重力波に対して感度が最大になる 100 km にとると、 $10^{-21}$  の歪みは  $10^{-19}$  m の光路変化に相当し、波長  $1 \mu\text{m}$  のレーザー光の  $10^{-10}$  波長分の変化、位相にして  $10^{-9}$  ラジアンに対応する。この僅かな干渉縞の変化を測定するには、干渉計各部分の振動の抑制や光路ゆらぎの減少が大幅に必要なのは無論であるが、最終的には光自体のゆらぎの影響を減少させることが必要になる。

干渉計の光源としての光はその波としての性質が使われる。理想的な単色光は振幅も位相も一定の正弦波で記述され、その場合には干渉縞の位相変化は無限小の精度まで測定可能である。しかしながら、量子論によれば不確定性原理のため振幅と位相のどちらも確定した状態は存在しない。レーザー光で実現されるコヒーレント状態とは振幅と位相が等しいゆらぎを持つ古典的な単色光に最も近い状態に他ならない。この時の位相のゆらぎは光子数の平方根の逆数に等しいから、 $10^{-9}$  ラジアン



光の量子状態

(1) ゆらぎの無い古典的な単色光 (2) コヒーレント状態 (3) 位相ゆらぎの小さいスクイズド状態 (4) 振幅ゆらぎの無い光子数状態

を検出するために必要な光子数は  $10^{18}$  個以上ということになる。これは kW 級のレーザーが必要ということである。

現実のレーザーは種々の原因で不確定性関係よりはるかに大きい周波数ゆらぎを持っている。これを抑制してコヒーレント状態に近付けるにはゆらぎを検出する必要があるが、この検出精度がまた不確定性関係によるため全出力光を用いてゆらぎの検出と抑制を行わなければならない。こうした高出力で超高安定化されたレーザー光源の開発が重力波検出の鍵を握っている。

レーザーの出力不足を補う方法として光リサイクル法が提案されている。これは干渉計の干渉縞を観測する箇所を殆ど波が打ち消し合う状態で行えば強めあった光は光源の方へ戻ることを利用して、その光を再利用することで干渉計に入射する光のパワーを増してやるものである。光損失が少ないほど増幅度は大きくできる。

別の方法はコヒーレント状態でない量子状態の光の利用である。不確定性関係を壊さずに振幅(光子数)のゆらぎを増して位相のゆらぎを減少した状態の光を用いれば、細かい位相変化が検出可能である。スクイズド状態と呼ばれるものがそれで、状態はすでに実現されているが非常に壊れやすく、干渉計に応用できるためにはまだまだ研究を必要とする。

藤本眞克 (国立天文台)

平成2年11月20日

発行人 〒181 東京都三鷹市国立天文台内

社団法人 日本天文学会

印刷発行

印刷所 〒162 東京都新宿区早稲田鶴巻町565-12

啓文堂 松本印刷

定価 470円(本体 457円)

発行所 〒181 東京都三鷹市国立天文台内

社団法人 日本天文学会

電話 (0422) 31-1359

振替口座 東京 6-13595