

V02a TAMA300 を用いた長基線絶対長測定

高橋竜太郎、寺田聡一 (国立天文台)、河邊径太、朽久保邦治、谷口信介 (東大理)、新谷昌人 (東大地震研)、TAMA グループ

国立天文台では現在レーザー干渉計型重力波検出器 TAMA300 の開発が進められている。この装置は2本の腕の長さが 300 m のマイケルソン干渉計で、光路長を稼ぐために各腕が Fabry-Perot キャビティーとなっている。目標とされている変位感度は $\delta\tilde{x} = 5 \times 10^{-20} \text{m}/\sqrt{\text{Hz}}$ @300 Hz (BW300 Hz) である。このような高感度なアンテナを地殻変動を見るために応用することは以前より検討されていたが、光源の波長を基準とする場合重力波では要求されていない光源の長期安定化が必用であった。ところが我々はハイフィネスの Fabry-Perot キャビティーの性質を利用することにより、光源の周波数安定度によらずに高感度でキャビティーの絶対長を決定できる方法を見出した。

その原理は以下のようなものである。Fabry-Perot キャビティーのキャビティー長を ℓ とすると FSR (Free Spectral Range) は $c/2\ell$ で表される (c は光速)。入射ビームはキャビティーに共振するようにロックされるので、もしキャリアに付加されたサイドバンド周波数がちょうど FSR の整数倍であればサイドバンドもキャリアに共振しキャビティーを透過する。300 m 干渉計の場合 FSR は 500 kHz となるが、例えば光変調器を用いて 500 kHz の 24 倍の周波数 12 MHz で入射ビームを変調した場合、これによって生じるサイドバンドは 300 m のキャビティーを透過することができる。従って常にサイドバンドがキャリアを透過するように制御してやれば変調周波数を正確に読み取るだけでキャビティーの絶対長を決定できる。またキャリア周波数に変動がある場合その変動によってサイドバンドが共振からずれ透過効率が変動するので (FM-AM 変換)、入射ビームに与えた周波数変調によって透過サイドバンドに生じた強度変調が 0 になるように制御をおこなうことにより常にサイドバンドをキャリアに共振させることができる。

我々は実際この方法を用いることにより 300 m の長さに対し $1 \mu\text{m}$ の精度で絶対長を決定し、地下水の汲み上げに起因する約 $25 \mu\text{m}$ の地殻変動を検出した。