

光格子時計を利用した上下変動のモニタリングー相対論的測地学の応用

Monitoring vertical deformation with optical lattice clock –an application of relativistic geodesy

*田中 愛幸¹、今西 祐一²、田村 良明³

*Yoshiyuki Tanaka¹, Yuichi Imanishi², Yoshiaki Tamura³

1. 東京大学理学系研究科、2. 東京大学地震研究所、3. 国立天文台水沢VLBI観測所

1. Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 3. Mizusawa VLBI Observatory, National Astronomical Observatory of Japan

地震、火山活動に伴う地殻上下変動が、測地的手法により捉えられている。得られた変動は水平変動と合わせて解析され、それらを生じさせるメカニズム（断層すべりなど）が調べられてきた。代表的な上下変動の計測手法に、地上測量である水準測量と宇宙測地技術であるGlobal Navigation Satellite System (GNSS)がある。いわゆるGlobal Positioning System (GPS)は後者に含まれる。

水準測量は歴史が長く、短い路線を測量する場合では今でも最も高精度な手法である（例えば4 km間で5 mm未満）。しかし路線長とともに誤差が累積し、また測量を実施する領域が大きくなると多大な時間を要する。一方、GNSSは歴史が短いものの、長距離に対しては水準測量よりも高精度である。24時間の計測で標準偏差1 cm程度の精度が達成でき、平均点間距離20 kmの稠密ネットワークも整備されている。しかしながら、大気遅延によるノイズの影響を大きく受けるために、より短い時間に対しては精度がより低く（3時間で3 cm）、季節的な時間スケールの変動が捉えにくいといった問題がある。

最近、原子時計の精度が飛躍的に上がってきた。現在の1秒の国際単位はセシウム時計によって約10~15の相対精度で決定されているが、日本で提案された光格子時計（Katori 2002; 香取 2017）は、これを3桁上回る精度を達成できる。原子時計は、一般相対論効果により重力ポテンシャルの影響を受け、標高により1秒の長さが変化する（重力赤法偏移）。2点間の標高差を光ファイバーで接続された2台の光格子時計を用いることで、3時間の計測で標高差に換算して5 mmの精度を達成することができる。テクニクなジオイドの変化はM9地震の場合でも最大数cmであり、ほとんどの場合無視できる。したがって、ポテンシャルの時間変化の大部分は標高の変化を反映する。つまり、光格子時計による標高の時間変化の計測精度、計測時間は、上記のGNSSの精度を上回るため、将来的に上下変動の観測は光格子時計に置き換えられる可能性がある。

2018年11月から、光格子時計に関する科学技術振興機構（JST）の新しいプロジェクトが始まった。本発表では、このプロジェクトの概要と相対論測地グループの目的を紹介するとともに、地殻変動計測への応用可能性について議論する。

キーワード：光格子時計、相対論、地殻変動、重力ポテンシャル、原子時計、相対論的測地学

Keywords: optical lattice clock, relativity theory, crustal deformation, gravity potential, atomic clock, relativistic geodesy