

光格子時計の精密周波数比較による相対論的測地

(福岡大理) ○大前宣昭

Relativistic geodesy by frequency comparison of optical lattice clocks
(Fukuoka Univ.) Noriaki Ohmae

State-of-the-art optical atomic clocks with an uncertainty of 10^{-18} allow measuring height differences of a centimeter on the Earth via the gravitational redshift. We demonstrated 18-digit-precision clock comparison experiments between remote labs at RIKEN and The University of Tokyo [1], and between the observatory floor and ground floor in the Tokyo SKYTREE [2, 3] by connecting two clocks with the optical fiber link. Our experiments show optical clocks resolving centimeters are technically ready for geodetic applications.

原子の光学遷移に基づく光格子時計や単一イオン時計の精度は 18 桁に到達しており、秒の再定義や、高精度な周波数情報による通信の大容量化やモビリティへの応用、光格子時計を重力ポテンシャルセンサとして用いる相対論的測地への応用などが期待されている。

光格子時計の相対論的測地応用に向けて、我々はまず、東京大学と理化学研究所で開発した光格子時計の周波数比較実験を行った。離れた場所に設置された光格子時計を 18 桁精度で比較し、従来の測量結果から重力赤方偏移で予想される時計周波数差を算出し、これらが不確かさの範囲で一致することを確認した[1]。次に、フィールド実験に向けて、光格子時計の小型化・可搬化の研究を進めた[2]。可搬型の光格子時計を東京スカイツリーの展望台と地上階に設置し、その間を光ファイバで接続し、標高差の違いによる時計周波数差の精密測定を行った。これも GNSS や水準測量、レーザー測距を用いた標高差の測定と重力加速度の測定結果を用いて重力赤方偏移から予想される時計周波数差と比較したところ、5 桁目まで一致することを確認した[3]。このように、精密な時計周波数比較は、重力赤方偏移の検証実験になっている[4]。今後は、逆に正確な時計を、重力赤方偏移を介して標高や重力ポテンシャルを決定するツールとして用いることになる。標高の測定だけでなく、地殻変動のモニターなど地震・地球科学に応用する相対論的測地技術への応用が期待されており、光ファイバ網の整備による光格子時計ネットワークの構築を進めている[5]。発表では、これら実験結果や現在の取り組み、今後の展望について紹介する。

- [1] T. Takano, M. Takamoto, I. Ushijima, N. Ohmae, T. Akatsuka, A. Yamaguchi, Y. Kuroishi, H. Munekane, B. Miyahara, and H. Katori, *Nat. Photon.* **10**, 662 (2016)
- [2] N. Ohmae, M. Takamoto, Y. Takahashi, M. Kokubun, K. Araki, A. Hinton, I. Ushijima, T. Muramatsu, T. Furumiya, Y. Sakai, N. Moriya, N. Kamiya, K. Fujii, R. Muramatsu, T. Shiimado, and H. Katori, *Adv. Quantum Technol.* **4**, 2100015 (2021)
- [3] M. Takamoto, I. Ushijima, N. Ohmae, T. Yahagi, K. Kokado, H. Shinkai, and H. Katori, *Nat. Photon.* **14**, 411 (2020)
- [4] 大前宣昭, 高本将男, 牛島一朗, 香取秀俊, *レーザー研究* **8**, 506 (2023)
- [5] T. Akatsuka, T. Goh, H. Imai, K. Oguri, A. Ishizawa, I. Ushijima, N. Ohmae, M. Takamoto, H. Katori, T. Hashimoto, H. Gotoh, and T. Sogawa, *Opt. Express* **28** 9186 (2020)