

## 平成 27 年度共同利用研究・研究成果報告書

研究課題名 和文：自由落下型重力勾配計の開発

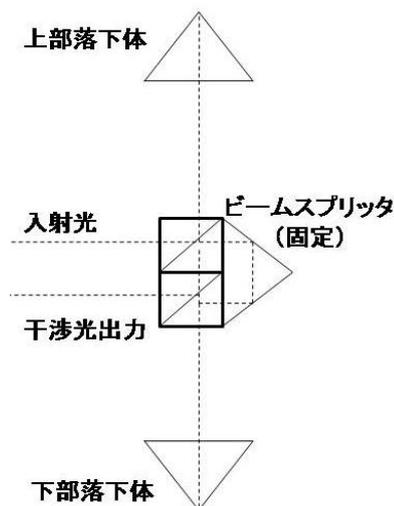
英文：R&D of a free-fall type gradiometer

研究代表者 黒田和明

参加研究者 廣瀬榮一、山元一広

### 研究成果概要

従来開発してきた自由落下型重力勾配計<sup>1)</sup>はマイケルソン干渉計のビームスプリッターと一方の腕の反射鏡（現実にはコーナーキューブプリズム）を一体化して一つの落下体とし、もう一方の反射鏡をもう一方の落下体とし、2つを上下に離して同時に落下させる際の重力加速度の差を干渉信号から読み取るものである。この装置には問題点が2つある。一つは長い可干渉距離が必要のためレーザー光源に高価な安定化レーザーを必要とすることである。これは、装置が周囲温度変化に敏感になることを意味し、フィールドワークなど移動しながらの利用に不向きである。もう一つは、ビームスプリッター側の落下体が大きく重くなり、損傷の観点から落下機構に負担が大きくなることである。ここでは、安定化レーザーを不要とする上図の光学系を考案し、この光学系による誤差要因について検討を加えた。



レーザービームは、ビームの進行方向を  $z$  とし、それに垂直な  $xy$  平面をとることによりその電場を

$$u(x, \tilde{y}, z) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\exp[-jkz + j\psi(z)]}{w(z)} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{w^2(z)} - jk\frac{x^2 + y^2}{2R(z)}\right]$$

のように表すことができる。ここで  $k$  は波数、 $w$  はビーム半径、 $\psi$  は gouy phase、 $R$  は波面の曲率半径であり、ビームは近似的に球面波として伝播することが分かる。このビームをビームスプリッターで分割し、2つの落下体まで導くのであるが、2つの落下体の距離が不均一であると波面の曲率半径が異なり、光軸の横ずれで誤差が発生しやすい。ここで採用する光学系では落下体の落下距離の大きさ以上に不均一性は発生しない利点があり、これに起因する誤差については考えなくて良いことが以下の解析で分かる。2つの落下体から反射されるビームは再度ビームスプリッターで合成されるが、それらの電場は、2つの落下体の反射位置座標（添字 1 及び 2）による横ずれを受けたものとして表現でき、光検出器での強度は以下のように表される。これが誤差解析の基礎式である。

(光検出器の電場強度)

$$\begin{aligned} &= \left\{ \frac{\exp(-jkz(1) + j\psi(z(1)))}{w(z(1))} \exp\left[-\frac{(x(1)^2 + y(1)^2)}{w(z(1))} - jk\frac{(x(1)^2 + y(1)^2)}{2R(z(1))}\right] \right. \\ &+ \left. \frac{\exp[-jkz(2) + j\psi(z(2))]}{w(z(2))} \exp\left[-\frac{x(2)^2 + y(2)^2}{w(z(2))} - jk\frac{x(2)^2 + y(2)^2}{2R(z(2))}\right] \right\} \\ &\left\{ \frac{\exp[jkz(1) - j\psi(z(1))]}{w(z(1))} \exp\left[-\frac{x(1)^2 + y(1)^2}{w(z(1))} + jk\frac{x(1)^2 + y(1)^2}{2R(z(1))}\right] \right. \\ &+ \left. \frac{\exp[jkz(2) - j\psi(z(2))]}{w(z(2))} \exp\left[-\frac{x(2)^2 + y(2)^2}{w(z(2))} + jk\frac{x(2)^2 + y(2)^2}{2R(z(2))}\right] \right\} \\ &= \frac{\exp(-2\frac{x(1)^2 + y(1)^2}{w(z(1))})}{w(z(1))^2} + \frac{\exp(-2\frac{x(2)^2 + y(2)^2}{w(z(2))})}{w(z(2))^2} \\ &+ 2\frac{\exp(-\frac{x(1)^2 + y(1)^2}{w(z(1))} - \frac{x(2)^2 + y(2)^2}{w(z(2))})}{w(z(1))w(z(2))} \\ &\cos\left\{ k[z(1) - z(2)] - [\psi(z(1)) - \psi(z(2))] + \right. \\ &\left. k\left\{ \frac{x(1)^2 + y(1)^2}{2R(z(1))} - \frac{x(2)^2 + y(2)^2}{2R(z(2))} \right\} \right\} \end{aligned}$$

以上の表式で、最後の余弦項が 2 つの落下体の重力加速度の差を反映する部分であり、新たに導入されるビームスプリッターが地面振動により上下に振動する影響は主としてここに現れる。落下体が横ずれを起こす結果として発生する誤差、ビームの球面波としての曲がり依存する誤差等は、従来の解析結果の条件と比較して本機の光学系では無視できるものの、新たに導入されるビームスプリッター振動による誤差は無視できない可能性がある。つまり、落下信号の持続時間が 0.1 秒 (5cm 落下) であるとするると典型的な地面振動の大きさは約 3nm で、1 $\mu$  Gal レベルに影響を及ぼす可能性がある。しかし、本機のビームスプリッターの位置関係は一般的な自由落下型絶対重力計と同じであり、これらの装置ではビームスプリッターに防振などを施しておらずその影響についても発表はないが、もしあれば本機の光学系によりその影響を定量的に計測できると期待される。

参考文献

1. 潮見幸江、黒田和明、寺田聡一、坪川恒也、西村 純、“レーザー干渉計型重力鉛直勾配計の開発”、測地学会誌、第58巻、131-139 (2012)。