

K7 半導体レーザを用いた 振り子の微小変位計測システムに関する検討

前原進也* 大澤康暁* 佐藤孝 丸山武男 大河正志 水島正喬** 坪川恒也***
新潟大学工学部 *新潟大学大学院自然科学研究科 **Univ. of Colorado ***国立天文台

1. はじめに

重力波の直接検出は新たな天文学的観測手段を与えると期待され近年研究が進められている。現在、世界各国で大型のレーザ干渉計型重力波検出器が建設されており、日本では「TAMA300」計画で検出装置の稼動が開始されている⁽¹⁾。

一方、共著の一人である水島教授は、一般相対性理論から理論計算によって重力波の一種と考えられる「重力放射力」という伝搬する力を導き出した。そして、この検出は静止した振り子の微小変位を観測することでできると報告している⁽²⁾。

そこで、本研究では重力放射力の検証を目的として、これまで、半導体レーザを用いた光計測で振り子の観測を行っている。半導体レーザは、小型で軽量、高効率、安価、長寿命といった特徴を持ち、観測システムの小型化を可能にする。実験は、岩手県に位置する国立天文台・江刺地球潮汐観測所内で行い静止した振り子の微小変位の観測を24時間体制で行っている。

2. 実験方法

図1に実験系を示す。レーザダイオード LD1, LD2 から出たレーザ光はレンズによって平行光にされる。その後これらの光は、天井から吊るされた円柱状の振り子の側面を通過してフォトダイオード PD1, PD2 でそれぞれ受光される。この時、レーザ光の一部は振り子によって遮られ、残りのレーザ光はそのまま直進できるようにしておく。振り子が変位すると遮られるレーザ光の光量が変化し、PDの受光量も変化する。PD1, PD2 で受光された光は I-V amp. により電圧に変換し増幅させる。LD は 1/100℃ に温度コントロールしている。また、LD の駆動電流、PD の出力、LD の温度をコンピュータに取り込み記録している。

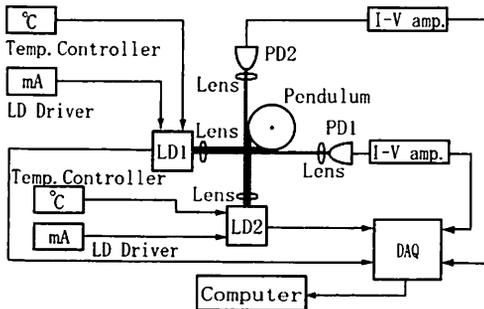


図1 実験系

3. 実験結果

図2, 図3は、東西方向 (LD2) と南北方向 (LD1) の振り子の変位を示す PD 出力のグラフである。横軸は観測時刻、縦軸は測定電圧を表す。ここで、電圧値は光電流を電圧に変換した値を示し、0.1V につき約 50 μm の振り子の変位に相当する。これまで行ってきた観測ではグラフより、5 μm 程度の測定精度が得られている。次に、これらのグラフを2分平均化したグラフを図4, 図5に示す。2分平均化グラフを用いたのは、振り子の固有振動を取り除くことで、数時間におよぶゆっくりとした振り子の変位が観測されるかどうかを検証するためである。

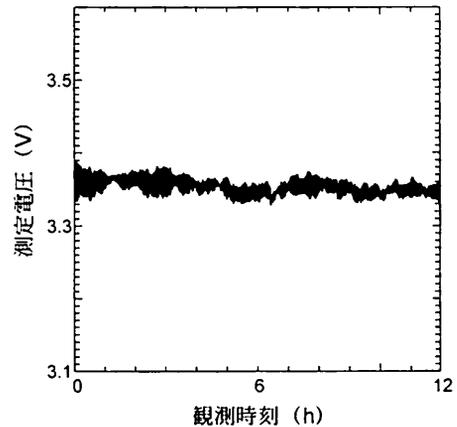


図2 2000年5月15日東西方向変位出力

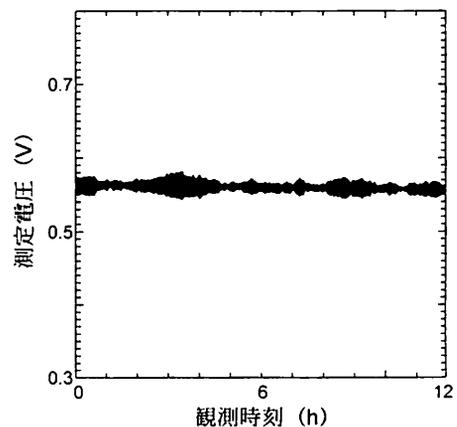


図3 2000年5月15日南北方向変位出力

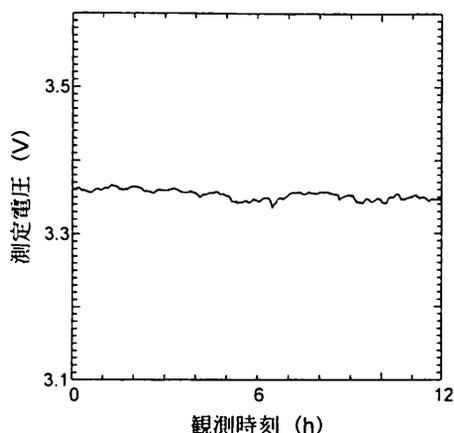


図4 東西方向変位出力の2分平均化グラフ

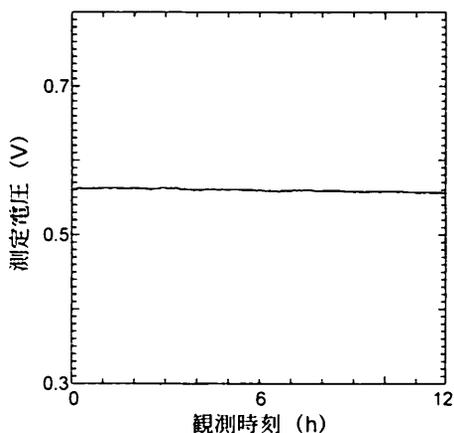


図5 南北方向変位出力の2分平均化グラフ

4. 考察

これまでの観測結果からは重力放射力が原因と考えられる振り子の変位は観測されていない。しかし、信頼性の高い結論を得るには、より精度の高い観測により重力放射力の検証を行う必要がある。そこで、新たな観測システムによって振り子の変位測定を行うことを検討する。

5. 新しい計測システム⁽¹⁾

半導体レーザを用いてより高精度な計測を行う方法として、FM 干渉法または波長掃引干渉法という方法がある。そこで、我々はFM 干渉法を測距技術へ拡張したFMヘテロダイン法の利用を検討している。以下に、その計測方法について述べる。

6. 計測方法と今後の課題

図4にFMヘテロダイン法の装置構成を示す。単一モード発振のLDの周波数を注入電流により三角

波状のFMシフト $\Delta\nu$ を加え、この出力をマイケルソン干渉計を利用した光学系(信号系)に導く。ビームスプリッタ透過光はターゲットに照射され、その後方散乱光は信号光として再びビームスプリッタにより参照光と重ね合わされ、干渉が生じる。LDに直線的にFMシフトを加えると、光検出器出力には準連続的で一定周波数の正弦波ビート信号が発生する。このビート波の位相シフト量をカウンタで測定する。また、LDによるレーザ光はビームスプリッタにより2つに分けられて、安定な光路差をもつマイケルソン干渉計を利用した参照系に入り、同時にビート信号の位相シフト量も測定される。すなわち、2つの位相シフト量を同時測定し、光路差、またはターゲットまでの距離を求めることができる。

今後、このようなより精度の高い計測システムを構築することにより、静止した振り子の定常観測を行う必要がある。

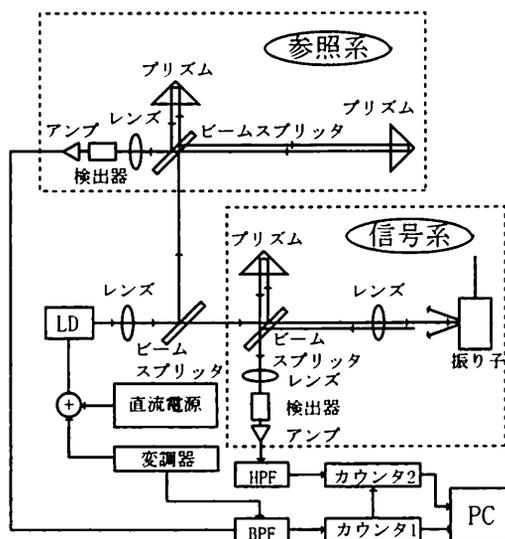


図7 FMヘテロダイン法の装置構成

謝辞

この研究は国立天文台・水沢観測センターの江刺地球潮汐観測所を使用させて頂いて行われている。ここに謝意を表する。

参考文献

- (1) TAMA Project
http://tamago.mtk.nao.ac.jp/tama_j.html
- (2) M.Mizushima and R.W.Zimmerer: "GRAVITO - RADIATIVE FORCE DUE TO GALACTIC NUCLEUS (VERTICITY EXPERIMENT)", HADRONIC JOURNAL2, (1997) 163-171
- (3) 山口 一郎, 角田 義人 編: "日本分光学会・測定法シリーズ 25 半導体レーザと光計測", 学会出版センター, 1992