

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 06 月 10 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22360378

研究課題名（和文） 重力テンソル計測を目指した超高精度加速度計の開発研究

研究課題名（英文） Development of ultra-high precision accelerometer for gravity tensor measurement

研究代表者

笠原 順三（KASAHARA JUNZO）

静岡大学・防災総合センター・客員教授

研究者番号：70012953

研究成果の概要（和文）：

重力テンソルを測定できる差分型加速度計を開発試作した。ペンジュラムと燐青銅バネ材を用いた。プルーフマスを使い、これに作用する加速度とそれによって生じる力をレーザー干渉計により変位を検出する。途中に付けたトルカーコイルに電流を流すことにより加速度変化を検出する。加速度計には様々な外気温、レーザー干渉計のドライバー回路の温度、気圧、などの外的要素が影響する。気象庁松代の地下壕を利用し試作加速度計による 1 ヶ月の長期観測を行った結果、変位にして 10nm の差、加速度の差にして 3 $\mu$ gal、重力テンソルにして 30E(エトベス)の分解を得た。

研究成果の概要（英文）：

We have developed a prototype gravity tensor instrument. The displacements applied by acceleration to the proof mass are measured by laser interferometer. We tested this prototype instrument in the tunnel of Matsushiro Earthquake observatory of JMA. Though the measurement is influenced by the air pressure, room temperature and the temperature of laser driver circuit, two units show similar variation with time during one month. The measurements of two units are consistent within 10nm, 3  $\mu$ gal and 30 Etoves.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2011年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2012年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	10,300,000	3,090,000	13,390,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学、地球・資源システム工学

キーワード：重力テンソル、加速度計、密度、フォースバランス、レーザー干渉計

## 1. 研究開始当初の背景

地下資源の探査においては反射法および屈折法地震探査、重力探査、電磁探査が用いられている。地震波探査においては地下の密度と地震波速度の積である音響インピーダンスの変化が用いられているが物性を直接

調べる事は難しい。重力は密度分布を知ることができるが密度が変化している様な境界を明らかにするのは難しい。これに対し重力テンソルは2階のテンソルであり、密度の空間微分である。これを計測し、その逆解析(インバージョン)をすると密度変化の分布を求

める事ができる。

重力テンソルインバージョン法(特許申請中)はこの研究に先立ち開発した。

## 2. 研究の目的

本研究では重力テンソルの計測システムを開発することを行った。重力テンソルを計測する方法としてフォースバランス型加速度計2台を用いその差分を計ることを試みた。2台の加速度計を製作する前段階として1台の加速度計を作り試験をした。その後おなじ設計のものを製作し、各々の出力の差分により重力テンソルの計測を試みた。

## 3. 研究の方法

初年度に製作したプロトタイプに改良を加えながら、主として環境変動の影響、分解能の計測を実験室及び気象庁松代地震観測所地震観測壕で長期試験観測を行った。

- ・レーザー干渉計の分解能に関し、最も影響の大きな要素はレーザー発光のドライバー回路の温度変化であった。これを計測するために0.001Cを計測できるPt100白金温度計を用いた。固定した対象物に対し距離を測定し、発光ドライバー装置内部の温度変化と変位測定値と相関が有ることが分かった。外気温はそれほど目立った影響はない。

- ・しかし、加速度計全体にはいろいろな要素が影響することが分かった。1) 外気温、2) 室温、3) レーザー干渉計ドライバー回路の温度、4) 地球及び海洋潮汐、5) 気圧変動、6) 地動、7) 地震振動、が影響する。3.11地震の後であったので地震振動などが著しく大きな影響を与え、なかなか静かな環境での計測が著しく難しい。

- ・気圧変動が小さな状況の下で観測した結果、東京湾の海洋潮汐がもつ日周変化を検出できた。海洋潮汐の変動は<100nm程度と考えられる。

- ・これに対し、気圧変動の影響が著しいことが分かった。

- ・気象庁松代地震観測所での試験では地動雑音は大きくないが気圧変動が大きな要素であることが分かった。

- ・しかし時々ある有感地震のショックはスパイク状の変動を生じる。

- ・トルカーコイルの電流感度と傾斜変動による加速度変化を調べた結果、<50nmの計測が測定可能であることが分かった。

- ・24年度では気圧変動の計測を取り入れ、 $10^4$ Paのセンサーを追加することをおこなった。

- ・もう一台同じ仕様の加速度計を製作し2台の比較をすることを試みた。



図1：レーザー干渉計ユニット。

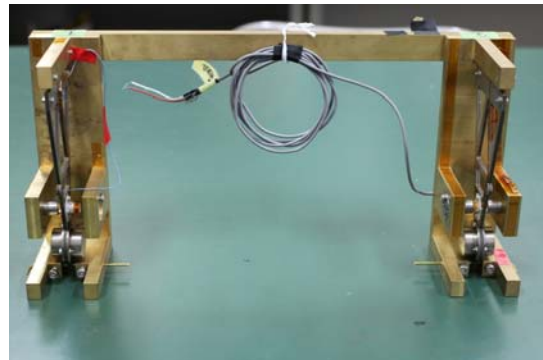


図2：加速度計のユニット1と2。

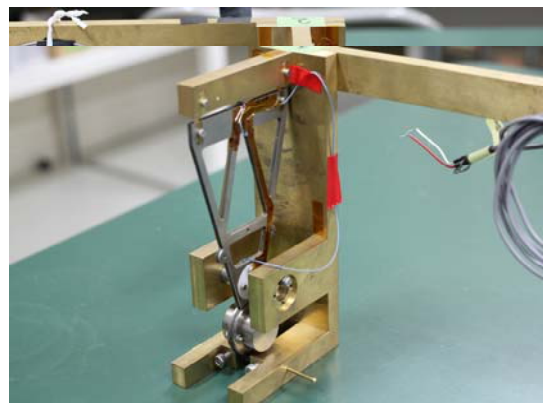


図3：一台の加速度計ユニット。逆三角形の分の上側に板バネ、下の円筒はタングステン製プルーフマス。その上はトルカーコイル。最下部に変位計測のレーザー干渉計ファイバーセンサーを取り付け、変位を計測した。

## 4. 研究成果

一台の加速度計を東京海洋大学越中島校舎の気密室において試験を行った。レーザー干渉計の電子回路は変位の計測に最も影響するので発泡スチロール内に入れた。気温変化は2C程度である。この結果海洋潮汐とおなじ12時間周期の変動を計測できた。

しかし、都内では地動雑音や気密室でも温度変化があるので2台の試作加速度計を用い

気象庁地震観測所観測壕において長期の試験観測を行った。

2台の加速度計を30cm離しおなじ向きの加速度を感じる様に配置した。

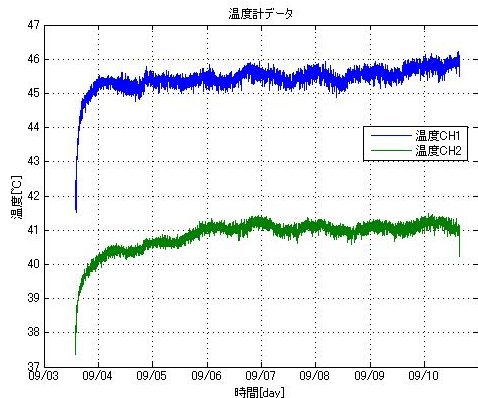


図4：気象庁松代観測壕内での1ヶ月の観測期間によって得られたレーザー干渉計のレーザードライバー回路内の温度変化。3nm/0.001Cの変動分に相当するが、差分を取ることによりその影響を減らせた。

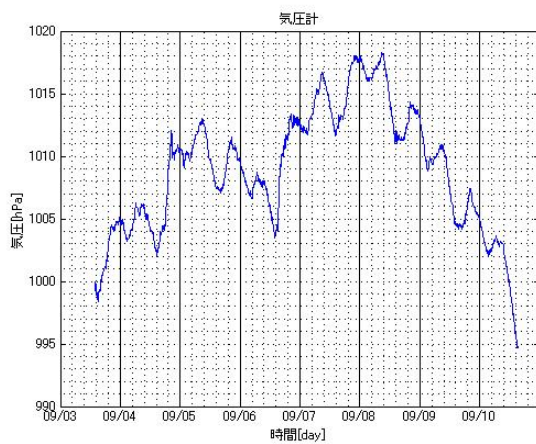


図5：気象庁松代観測壕内での気圧変動実測値。気圧変動は2台の加速度計の計測値の差分を取ることにより影響を取ることができた。

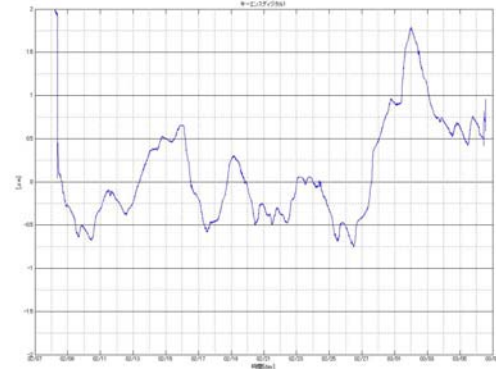
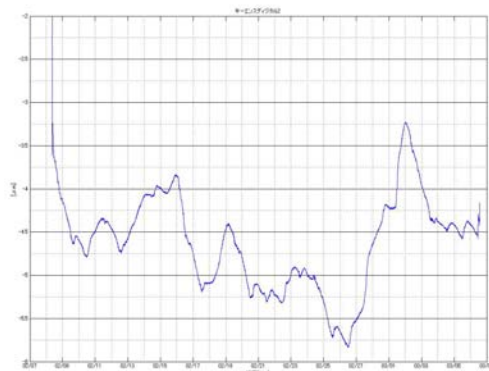


図6：加速度計ユニット1とユニット2の変位計測値。横軸は日にち（1ヶ月間）。縦軸は変位(500nm毎の横線)。

以上、得られた長期の観測結果は観測壕とは言えども気圧変化は観測壕の外と変わらないほど大きい(図5)。また室温の変動によるレーザー干渉計のドライバー回路の温度変化も0.3C程度ある(図4)。ドライバー回路の温度変化は3nm/0.001Cでありこの影響は著しく大きい。

しかし、2台の加速度計出力値の差分を取ることにより気圧変動の影響、温度変化の影響を著しく減らせた。その結果、10nm範囲での計測が可能であった(図5, 6)。この変位を加速度に直すと3 $\mu$ gal程度である。

この結果30エトベス(1エトベスは $10^{-9}$ )の分解能を得ることができたと考える。ロッキード社の重力テンソル計が10エトベス程度の分解能を得られると考えられるので、極めて近い性能を出すことができたことになる。

この精度はまだ十分とは言えないが、資源探査に使える制度に近づいたと言えるだろう。

今後、地震振動によるショックを軽減する方法、可搬できる様な恒温槽ケース、レーザー干渉計センターを恒温槽内への挿入の仕方など実用化へ向けた検討を行う必要がある。



図7：気象庁松代地震観測所観測壕において行った一ヶ月間の観測結果。2台の加速度計の差分波形。観測値には緩やかな変化があるがこれは試作器のドリフトと考えられ、助教できる。また短周期の変動はセンサーのバネ固定部の地震的ショックによるゆるみによって生じたと考えられるので真実の重力テンソル成分変化ではない。これらを除外すると分解能は30 エトバス以下であると考えられる。

#### 謝辞

本研究は静岡大学科学研究費によって遂行できたことに深い感謝を表す。また試作器の開発および試験観測において東京海洋大学海洋科学大学院修士課程竹田氏、同海洋工学部森氏、近藤正樹技官の多大な援助を頂いた。

静岡大学理学部高木技術員、静岡大学防災総合センター増田所長、同三浦事務官に資料準備など多くの支援を頂いた。此処に感謝する。

気象庁松代地震観測所の方々には観測壕の使用をさせていただき誠に貴重なデータを得ることができたことを深く感謝する。

インターテクノ(株)古川代表取締役には技術的助言を頂いた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Kasahara, J., Hasada, Y., Kondo, H., and Tsuruga, K., A new 3D gravitational tensor inversion for imaging of density distribution in the ground, 2011, EAGE Viena, Extended Abstract(CDROM)、査読有、P065、2011、1-4
- ② 笠原順三、羽佐田葉子、近藤逸人、鶴我佳代子、重力テンソルインバージョンによる地下構造探査、物理探査学会123回講演論文集、査読有、123巻、2010、123-126

[学会発表] (計2件)

- ① Kasahara, J.、Development of a new 3D gravitational tensor inversion for imaging of density distribution in the ground、物理探査学会、2013年11月10日～2013年11月13日、会場未定(宮城県)
- ② 竹田克之、笠原順三、近藤逸人、羽佐田葉子(大和探査)、清水悦郎、レーザー干

渉計を用いた重力テンソル計測システムの開発研究、2011、第54回自動制御連合講演会(CDROM)、2011年11月19日、国立大学法人豊橋技術科学大学(愛知県)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

笠原 順三 (KASAHARA JUNZO)  
静岡大学・防災総合センター・客員教授  
研究者番号：70012953

##### (2) 研究分担者

近藤 逸人 (KONDO HAYATO)  
東京海洋大学・海洋工学部・准教授  
研究者番号：40361802  
清水 悦郎 (SHIMIZU ETSURO)  
東京海洋大学・海洋工学部・准教授  
研究者番号：60313384

##### (3) 連携研究者

なし ( )

研究者番号：