

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 30 日現在

機関番号：12301

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2015

課題番号：24684034

研究課題名(和文)火山地域の重力勾配測定

研究課題名(英文) Measurement of gravity gradients in volcanic areas

研究代表者

潮見 幸江 (Shiomi, Sachie)

群馬大学・大学院理工学府・助教

研究者番号：60584266

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,400,000円

研究成果の概要(和文)：重力勾配計は地下構造を検知する装置であり、米国で軍事開発されたロッキードマーチン重力勾配計などが知られている。火山地域や山体斜面で重力勾配観測を行い、火山性流体や地下水の挙動を観測することができれば、噴火や土砂災害の予測精度向上につながる可能性があるが、現在火山地域などの実地で利用できる小型装置は実用化されていない。本研究では、既存のものより高分解能で小型化が可能である新しいタイプの重力勾配計を開発し桜島火山に於いて実地適用試験を行った。その結果、地下水の潮汐擾乱と考えられる現象が観測された。継続的な観測を行うことで地下構造と地下水の挙動をこれまでより正確に把握できる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Measurements of gravity gradients in volcanic regions could provide useful information for prediction of volcanic eruptions. In this research, we have developed a new type of gravity gradiometer that employs the technology developed for gravitational-wave detections. With this gravity gradiometer, we have performed trial measurements on the active volcanic island of Mt. Sakurajima, located in southern Japan. Our preliminary results showed that observed variations in gravity gradients were related to tidal effects. Further measurements could reveal more detailed underground structure and flow of groundwater of the Mt Sakurajima.

研究分野：重力物理学実験

キーワード：重力勾配 火山観測 地下探査

1. 研究開始当初の背景

重力勾配計は地下の局所的な物質分布の相違を検知する装置で、70年代から米国で軍事開発されたロッキードマーチン重力勾配計などが知られているが、既存のものは飛翔体や船舶搭載を前提とした大型のものが多い。本研究では比較的小型で地上観測所でも利用できる干渉計型重力勾配計を開発した。

干渉計型重力勾配計は高分解能でドリフトの少ない測定が期待されており、基本的な測定原理は1970年より米国で特許出願されているが、高精度反復測定が困難でこれまで実用化されていない。そこで本研究では、高精度反復測定を実現するための落下体投げ上げ法を開発した。この投げ上げ法は、ドラッグフリー衛星を用いた等価原理検証実験用落下体の熱膨張率測定のために開発された試料マウント法[1]を応用したものである。この熱膨張率試料マウント法では、振動によって測定試料の位置がずれた場合でも80 nm以下の精度で元の位置に戻すことができる[1]。このマウント法を応用することで、落下体を高精度で制御することが可能であると考え、2009年度より東京大学宇宙線研究所にて投げ上げ式の干渉計型重力勾配計の試作機を製作した[雑誌論文]。この試作機では、数秒間の測定では目標精度である数 μ Gal/mの分解能が期待できるデータが取得された[雑誌論文]が、数秒以上の測定では目標精度を大きく上回る数百 μ Gal/m程度の再現性のないノイズが観測されていた。

2. 研究の目的

火山観測などの地球物理学的観測では、数秒の単発的な測定ではなく、安定した長期連続観測が求められる。本研究では、上述の再現性のないノイズの原因を解明し、改良することで長期的に安定した観測を実現し、投げ上げ式干渉計型重力勾配計の基礎技術を確立することが主たる目的である。

干渉計型重力勾配計が実現し、火山地域などで連続観測を行うことができれば、火山性流体や地下水の流動を捉えることができ、火山噴火の物理過程の解明や噴火予測精度の向上につながる可能性がある。

2. 研究の方法

本研究では、ノイズ源となる可能性のある要因をひとつひとつ実験的に検証することで問題となる要因を特定し、その問題となる要因を取り除く新たな手法を開発して導入することで、観測された数百 μ Gal/mのノイズを削減し、目標精度以下の分解能で長期的に安定した連続観測を行うことが可能となった。下記に主な研究項目を記載する。

(1) 電磁気ノイズの改善

再現性のないノイズの原因として落下体の帯電の影響が考えられるため、落下体を放電した場合としていない場合のデータを取

得して比較したところ、投げ上げ回数に伴い帯電ノイズの影響が大きく現れることがわかった。帯電ノイズが十分に放電できる手法を開発し応用することでノイズを大幅に削減することができた。

(2) ビームと鉛直方向のアライメント

宇宙線研究所での開発時には、落下体の落下方向とビームの方向を一致させる手法が確立されていなかったため、光学的なノイズの寄与を正確に把握できていなかった。本研究では落下方向とビーム方向を十分な精度で一致させる光学系調整法を開発した。

(3) 落下体の重心測定法の開発

落下体の運動を干渉計で追跡するには、落下体の重心と光学中心を十分な精度で一致させる必要があるため、落下体の重心の位置を十分な精度で測定できる手法を開発した。

(4) 耐摩耗性の高い落下体の製作

宇宙線研究所での開発時にはマコールで製作した落下体を利用していましたが、落下の衝撃によって摩耗が進み加速度ノイズを生じている可能性があったため、様々な材質で落下体を製作して投げ上げ試験を行い、長期連続観測に対応できる耐摩耗性の高い落下体を開発した。

(5) 鉛を使った校正

宇宙線研究所での開発時には校正手法が確立されておらず、校正は行われていなかった。本研究では約200 kgの鉛を装置直下に挿入した場合としていない場合の重力勾配値の差を測定し、モンテカルロシミュレーションで求めた理論値と比較することで校正を行った。その結果、目標精度以下の分解能で鉛を検知できることがわかった。

4. 研究成果

前章に記載した研究を実施することで再現性のないノイズ減は大幅に削減され、目標としていた数 μ Gal/m以下の分解能での長期連続観測を実施することが可能となった。

実地適用試験を京都大学防災研究所桜島火山観測所にて行った結果、過去に実施された絶対重力計を用いた観測[2]では検知されていなかった地下水の潮汐擾乱の影響と考えられる現象が検出された。より長期的な観測を行うことで地下構造の不均一性や地下水の挙動をこれまでより正確に把握できる可能性がある。また複数台の重力勾配計を設置し、同時観測を行うことで地下水や火山性流体の動態を面的に捉えることができる可能性がある。

研究開始当初は阿蘇の京都大学火山研究センターにて研究を行う予定であったが、2013年初旬に火山研究センターの耐震工事が急遽行われることとなったため、火山研究センターが利用できなくなった。そこで耐震

工事が実施される約一年の間、実験を行う場所を探していたところ、京都大学防災研究所桜島火山観測所で実験室を利用させて頂けるとこととなり、2013年8月に装置を桜島火山観測所に移設して開発を継続し2014年3月から実地観測を行った。装置の重量が大きいため阿蘇から桜島への移設の際には搬入出が困難であった。また火山観測所では火山灰や火山ガス、突然の豪雨などの影響で機材の腐食が生じやすいことがわかった。これらの実地観測での経験をもとに、耐腐食性の高い材質を用いた搬入出がしやすい小型装置を設計・製作し、現在試運転を行っている。

<引用文献>

1. S. Shiomi, Test mass metrology for tests of the Equivalence Principle, Chapter 7, Ph.D. thesis, University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham, UK(2002).
2. K. Yamamoto, K. Ishihara, S. Okubo, A. Araya, Geophysical Research Letters, Vol. 28, No.9, 1807-1810(2001).

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8件)

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, 第4号 131-139(2012). 査読有

S. Shiomi and T. Tsuda, "Application of an interferometric gravity gradiometer to measurement of soil moisture content", Sustainable Humanosphere, Vol. 11, p17 (2015). 査読無

S. Shiomi, "Seeing underground by a Galilean experiment of free fall", *International Newsletter*, Research Institute for Sustainable Humanosphere, p11-p12, No. 29, March 2015. 査読無

潮見幸江「重力勾配計の小型可搬化開

発」第275回生存圏シンポジウム 生存圏ミッションシンポジウム, p17-p20 (2015). 査読無

潮見幸江「重力勾配計の小型可搬化開発」平成26年度 開放型研究推進部・生存圏学際萌芽研究センター活動報告, p78(2015). 査読無

潮見幸江「自由落下の普遍性検証技術の地球物理学への応用」第190回定例オープンセミナー(2014/12/24)資料 生存圏学際萌芽研究センター オープンセミナー要旨集(平成26年度), 京都大学生存圏研究所, 発行日:平成27年3月, pp 25-27 (2015). 査読無

S. Shiomi, T. Kagiya, Y. Sofyan and Y. Yoshikawa, "Development of a laser-interferometric gravity-gradiometer at the Aso Volcanological Laboratory", *Annual Report FY2012*, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, p23-p24 (2013). 査読無

S. Shiomi, K. Kuroda, T. Kagiya, Y. Sofyan and Y. Yoshikawa, "Development of a laser-interferometric gravity-gradiometer for volcanological studies", *Annual Report FY2011*, Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, p26-p28 (2012). 査読無

[学会発表](計9件)

S. Shiomi, 発表標題: Measuring vertical gravity gradients in volcanic areas

using a interferometric gravity
gradiometer, IAVCEI (International
Association of Volcanology and
Chemistry of the Earth's Interior) 2013,
2013年7月21日, かごしま県民交流セ
ンター (鹿児島県鹿児島市)

潮見幸江, 発表標題: 干渉計型重力勾
配計の小型可搬化開発, 日本地球惑星
科学連合大会 2015 年大会, 2015 年 5 月
27 日, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県
千葉市)

潮見幸江, 発表標題: 重力勾配計の小
型可搬化開発, 第 275 回生存圏シンポ
ジウム「生存圏ミッションシンポジウ
ム」2015 年 2 月 16 日, 京都大学 おう
ばくプラザきはだホール (京都府宇治
市)

潮見幸江, 発表標題: レーザー干渉計
型重力勾配計の開発と桜島火山におけ
る試運転, 日本地球惑星科学連合 2014
年大会, 2014 年 4 月 30 日パシフィコ横
浜会議センター (神奈川県横浜市)

潮見幸江, 発表標題: 火山観測のため
のレーザー干渉計型重力鉛直勾配計の
開発, 日本測地学会第 120 回講演会,
2013 年 10 月 31 日, 国立極地研究所 (東
京都立川市)

潮見幸江, 発表標題: 阿蘇火山に於け
る自由落下干渉計型重力勾配計の開発
日本地球惑星科学連合大会 2013 年大
会, 2013 年 5 月 22 日, 幕張メッセ国際
会議場 (千葉県千葉市)

潮見幸江, 発表標題: 阿蘇火山実地測
定に向けた重力鉛直勾配計の開発, 日

本測地学会第 118 回講演会, 2012 年 10
月 31 日, 仙台市福祉プラザ (宮城県仙
台市)

潮見幸江, 発表標題: 火山計測のため
の重力鉛直勾配計の開発 2012 年日本
火山学会秋季大会, 2012 年 10 月 16 日,
長野県御代田町エコーみよた (長野
県御代田町)

潮見幸江, 発表標題: レーザー干渉計
型重力勾配計の阿蘇火山における適用
試験日本地球惑星科学連合 2012 年大
会, 2012 年 5 月 24 日, 幕張メッセ国際
会議場 (千葉県千葉市)

〔その他〕

京大大学生存圏研究所, 平成 26 (2014) 年
度ミッション専攻研究の紹介「重力勾配計
の小型可搬化開発」
<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/houga/researches/2014m05.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

潮見 幸江 (SHIOMI, Sachie)
群馬大学・理工学府・助教
研究者番号: 60584266

(2) 研究協力者

鍵山 恒臣 (KAGIYAMA, Tsuneomi)
京都大学・理学研究科・教授

山本 圭吾 (YAMAMOTO, Keigo)
京都大学・防災研究所・助教

井口 正人 (IGUCHI, Masato)
京都大学・防災研究所・教授

黒田 和明 (KURODA, Kazuaki)
東京大学・宇宙線研究所・教授

西村 純 (NISHIMURA, Jun)
東京大学・JAXA/ISAS・名誉教授

寺田 聡一 (TELADA, Souichi)
産業技術総合研究所・計測標準研究部門・
研究員

坪川 恒也 (TUBOKAWA, Tsuneya)
真英計測・代表

津田 敏隆 (TSUDA, Toshitaka)
京都大学・生存圏研究所・教授

ヤヤン ソフヤン (SOFYAN, Yayan)
京都大学・理学研究科・研究員

園田 忠臣 (SONODA, Tadaomi)
京都大学・防災研究所・技術職員

関 健次郎 (SEKI, Kenjiro)
京都大学・防災研究所・技術職員

吉川 慎 (YOSHIKAWA, Shin)
京都大学・理学研究科・技術職員

井上 寛之 (INOUE, Hiroyuki)
京都大学・理学研究科・技術職員