

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）光技術を用いた地下深部・火山近傍における地殻活動の観測

（英文）Observation of crustal activity deep underground and near volcanoes using optical technology

(3) 関連の深い建議の項目：

6 観測基盤と研究推進体制の整備

(1) 観測研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

(4) 火山活動・噴火機構の解明とモデル化

6 観測基盤と研究推進体制の整備

(1) 観測研究基盤の開発・整備

ウ. 地震・火山現象のデータ流通

エ. 地震・火山現象のデータベースの構築と利活用・公開

(5) 本課題の5か年の到達目標：

断層すべりや応力場など地殻内で起こっている現象を定量的に理解するためには、地下深部において複数のセンサによる観測網の展開が必要である。また、火山観測においては火山体を取り囲むようにセンサを配置し観測することが地下監視のために有効である。特に重力観測は地下流体の移動等に伴う密度変化に感度を持ち、断層運動と間隙流体移動との関連性や火山噴火とマグマ移動との関連性を解明する上で重要である。本研究では、地下深部の極限的な環境や火山近傍のインフラの乏しい環境で動作できる地震波・重力場の観測技術として、光学式地震計および小型絶対重力計を光ファイバで接続し、それら複数のセンサの信号を同一の光ファイバで伝送する多重化技術を適用し、これまで困難であった地下深部や火山近傍における地震・重力の観測データを取得・配信し、地震・火山現象の解明のための新たなデータを提供することをめざす。

5年間の研究期間の前半に、複数のセンサを光ファイバで接続した状態での信号取得や長距離伝送の検証と精度評価を行なうとともに、これまで実施してきたセンサ単体での火山観測を継続する。後半の期間に同システムを火山帯のテストサイトに設置し、地震・地殻変動・火山活動の観測を実施する。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

5年間の研究期間において、これまで開発してきた光技術を用いた地震計・重力計のセンサを光ファイバで接続し、テストサイトにおいて地震活動や火山活動の観測を行い、手法の有効性を検証する。計画前半では、光通信分野の研究機関やメーカーと連携し、複数のセンサを光ファイバで接続した状態で信号取得や長距離伝送、精度評価を行なう。並行して、これまで実施してきたセンサ単体での火山観測を継続する。計画後半に同システムをテストサイトに設置し、地震・地殻変動・火山活動の観測を実施する。

令和6年度においては、地震計・小型絶対重力計のセンサに関して、光通信分野の研究機関やメーカー

と連携して、複数のセンサを光ファイバで接続し、信号取得を行なう。また、センサ単体での火山観測を実施する。

令和7年度は、前年度の構成において精度評価を実施する。また、センサ単体での火山観測を継続する。

令和8～10年度には、地震・地殻変動あるいは火山活動が予想されるテストサイトにおいて観測を実施し、その結果から本手法の有効性を検証し研究の総括を行う。

(7) 令和6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和6年度においては、地震計・小型絶対重力計のセンサに関して、複数のセンサを光ファイバで接続し信号取得や長距離伝送を行うための技術開発を光通信分野の研究機関やメーカーと連携して実施した。

地震計に関しては、振動を検知する振り子部分に鏡を取り付け、レーザー干渉計測により高精度に地面振動を測定する光干渉式広帯域地震計の開発を進めた（図1）。遠地地震や低周波微動等を捉えるため、広帯域地震計の特性を持たせる制御を行い、レーザー光源・受光部・制御回路は本体の振り子と光ファイバケーブルで接続され、感震部である振り子・レーザー干渉計は電源が不要で多重化が可能な受動的素子として構成されている。地震研鋸山観測所の地下坑道においてSTS-1型地震計との比較観測を行い、正常に動作していることを確認した。また、干渉計の参照鏡を振動させることにより既知のレーザー波長を基準とした出力校正を行い、所期の精度で「その場校正」ができることが示された。

小型絶対重力計に関しては、複数の絶対重力計を面的に配置し連続観測を行うことで、火山活動に伴う流体移動や地震に伴う地下密度変化の検知などを目指した開発を継続した。落下式絶対重力計は、真空容器中で鏡を自由落下させ、その変位をレーザー干渉計で高精度に計測し、地表の参照鏡を基準に重力加速度を算出する。本研究で開発している小型絶対重力計TAG-1、TAG-2は、レーザー干渉信号の高速サンプリング、参照鏡と一体化した組み込み加速度計を用いた地面振動補正、サイレントドロップ方式の落下機構を特徴としており、レーザー光源を長基線の光ファイバで伝送することにより、寒冷な環境での連続動作に成功している。野外環境の動作において、落下装置の温度変化による落下特性の劣化が問題となっていた。本研究の落下装置で用いられているサイレントドロップ方式は、ピエゾ素子で落体を横方向から挟み保持し、トリガー信号により高速でピエゾ素子を収縮させ落体を解放し、自由落下する落体の変位をレーザー干渉計で計測する。落体の回転を抑えるために高速動作できるピエゾ素子の使用が必須であるが、ストロークが40 μ m程度のため落体とのギャップを数 μ m以内の精度で維持する必要がある。観測環境の温度変化による保持機構の熱変形がギャップに影響し、温度によってはギャップが狭くなり解放が困難となる。そのため、ピエゾ素子の熱膨張係数をほぼ打ち消す保持機構の材料としてチタンを採用し、落下装置の可動温度範囲が大幅に向上することを確認した。低温実験室（極地研究所）や室温の実験室などで、真空容器中の落体保持の状態を容器外からオートコリメータを用いて測定を行った（図2）。その結果5℃～29℃の範囲で適正な精度で保持されていることが確認された。

また、野外の地震観測収録システムをベースとした小型の干渉信号収録装置（図3）をメーカーと共同で開発し、収録装置に起因する系統誤差を周波数特性の測定により評価した。絶対重力計の干渉信号は数kHzから数MHzの周波数で変化し、高い精度で絶対重力値を求めるには干渉信号の収録装置の位相誤差を極めて小さくする必要がある。この微小な位相誤差を評価するために、基準発振器と同期した信号発生器で擬似的な干渉信号波形を生成し、それを収録装置で記録し、通常の計測と同じプログラムで絶対重力値を計算し、元の擬似干渉信号から計算される理論値と比較することで収録装置の位相誤差から生じる系統誤差を評価した。入力回路定数を調整することにより収録装置の系統誤差を1 μ Gal程度にできる見通しが得られた。この小型収録装置は地震観測収録システムと同様に、メモリカードへのデータ記録やネットワークアクセスが可能である。

複数のセンサを光ファイバで接続し信号取得を行なう多重化については、実験方法について検討を進めた。レーザー光源から高精度に時間制御されたパルス光を出力し、複数の出力に一定の遅延を持たせ時間分割して複数の出力を1本の光ファイバで集約し取得する方法を図4に示す。また、光源からの光を複数に分岐し、それらの光をそれぞれ一定周波数シフトさせ同一ファイバに導入することで、複数系統の信号を干渉させずに同時配信することが可能となる。これらの方法を地震計や小型絶対重力計に適用し評価を進める。

センサ単体での火山観測に関しては、レーザー光源の不具合により今年度の実施は見送り、次年度に実施することとした。この部分は当初計画から変更した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

本研究に関連する建議の項目「6.(1)イ.観測・解析技術の開発」、「1.(3)地震発生過程の解明とモデル化」、「1.(4)火山活動・噴火機構の解明とモデル化」に関して、地下深部や火山体への観測網の展開に向けた光干渉計測による広帯域地震計および小型絶対重力計の開発を進めた。その場校正や耐環境性能など、各センサの野外における実用性が向上した。「災害の軽減に貢献する」という目標に対して、今後複数のセンサを光ファイバで接続した状態での信号取得や長距離伝送の検証と精度評価を行なうとともに、センサをテストサイトに設置し、地震・地殻変動・火山活動の観測を実施し、従来観測が困難な地下深部や火山近傍における新たな観測データを提供することをめざす。

(8) 令和6年度の成果に関連の深いもので、令和6年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

・学会・シンポジウム等での発表

新谷昌人，風間卓仁，西島潤，奥野淳一，青山雄一，葛西恵介，吉田真人，坪川恒也，2024, 小型絶対重力計TAG-1の野外観測へ向けた改良と系統誤差評価II, 日本測地学会第142回講演会, P13

(9) 令和6年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 令和7年度実施計画の概要：

令和7年度は、地震計・小型絶対重力計のセンサに関して、光通信分野の研究機関やメーカーと連携し、複数のセンサを光ファイバで接続し信号取得を行なう実験を継続し、精度評価を実施する。また、センサ単体での火山観測を実施する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

新谷昌人（東京大学地震研究所）,高森昭光（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

葛西恵介（東北大学電気通信研究所）,吉田真人（東北大学電気通信研究所）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東京大学地震研究所

電話：03-5841-5821

e-mail：araya@eri.u-tokyo.ac.jp

URL：https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/araya

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：新谷 昌人

所属：東京大学地震研究所

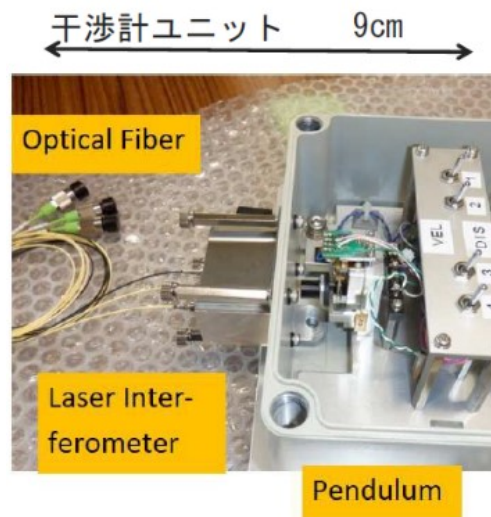


図1 光干渉式広帯域地震計の感震部

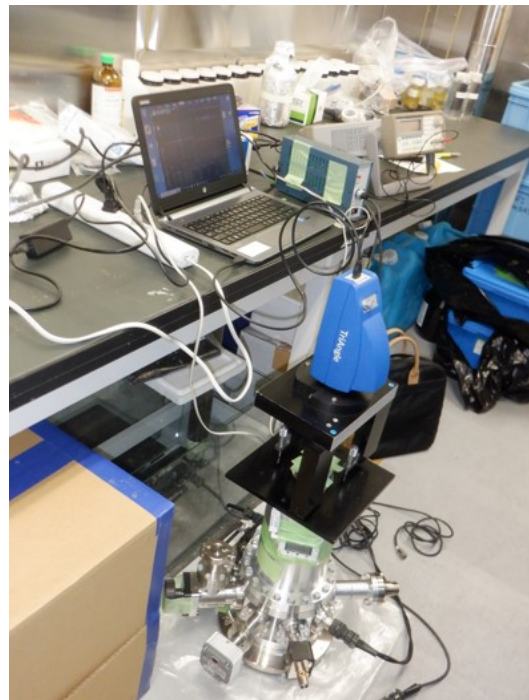


図2 小型絶対重力計の落下装置の特性測定（低温実験室、極地研究所）

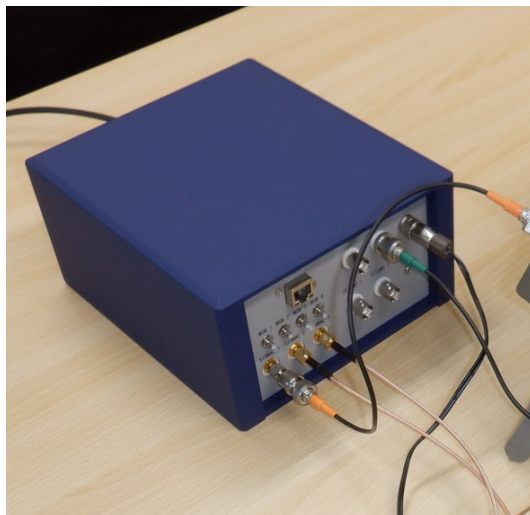


図3 新規開発した小型収録装置

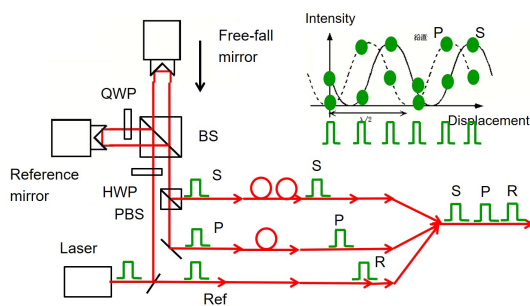


図4 レーザーパルス光による絶対重力計出力信号の集約化のしくみ