

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601  
研究種目：挑戦的研究（開拓）  
研究期間：2017～2019  
課題番号：17H06207  
研究課題名（和文）長基線レーザー伸縮計ネットワークによるサブミリヘルツ帯の固体地球物理現象の探究  
  
研究課題名（英文）Research on solid earth physics in the sub-millihertz band using a long-baseline laser strainmeter network  
  
研究代表者  
新谷 昌人（Araya, Akito）  
  
東京大学・地震研究所・教授  
  
研究者番号：30272503  
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,900,000円

研究成果の概要（和文）：東海・中部地域の3つの観測サイト（神岡、犬山、船明）の長基線レーザー伸縮計の性能向上を図り、歪観測網として統合運用し、サブミリヘルツ帯の地動を高い分解能で観測する体制を構築した。レーザー制御やデータ取得の仕様を揃え、ネットワーク経由で装置の状態をモニターできるようにした。神岡の3年程度の長期記録は周辺の地殻変動データと整合していた。地震時の歪ステップについては、複数の観測点の同時記録と震源モデルとの比較などの解析を進めた。東海地方のスロー地震について、犬山・船明の各レーザー伸縮計および東海地域の多成分ひずみ計のデータを統合的に解析し、1時間程度の時間スケールのスリップ加速を新たに見出した。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、最先端のレーザー技術を用いて地面の動きを複数の地点で正確に捉え、従来よりも周波数領域を広げ分解能を向上させ、さらに観測網を構築することで空間スケールを拡張した。研究期間内では観測網の構築と一部の記録の解析を行なったが、今後も高精度のレーザー干渉計を用いてサブミリヘルツ帯の歪を観測することにより、地震・火山現象と広域の歪蓄積過程との因果関係、地球中心核の密度構造と形状の知見と地球進化理論への制約、スロー地震の規模と継続時間に関するスケージングの検証、など新たな発見や高い精度での仮説検証がもたらされることが期待される。

研究成果の概要（英文）：In this project, we have constructed a new network with laser strainmeters of three sites, Kamioka (Gifu Pref.), Inuyama (Aichi Pref.), and Funagira (Shizuoka Pref.), Japan, to observe accurate crustal deformation especially in the sub-millihertz band. The long-term strain data of Kamioka were consistent with regional tectonic trend observed by GNSS. We analyzed strain steps associated with local and distant earthquakes and found that all the observed amplitudes were the same order with theoretical strain steps calculated from fault models of the earthquakes while strain components of some sites were slightly different from the calculations. For the short-term slow slips which were sometimes observed in the Tokai area, records of Inuyama, Funagira, and borehole strainmeters were comprehensively analyzed and a very short-term, about an hour, acceleration of the slip was newly recognized.

研究分野：固体地球計測

キーワード：歪計 レーザー 干渉計

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

従来、地震計や GNSS などの稠密な観測網で固体地球の地殻活動が観測されてきた。地震計は高分解能であるがミリヘルツ ( $10^{-3}\text{Hz}$ ) 帯が低周波側のほぼ限界であり、GNSS は 10 年以上に及ぶ長期変動の検知能力があるが、分解能は数 mm を下回らない。それらの観測機器のカバーできる周波数帯域や分解能の限界により、サブミリヘルツ帯の地動を高い分解能で観測することは困難であった。一方、レーザー伸縮計は広い時間スケールの地動を高い分解能で検出できる装置であり、性能も実証されている。しかし、コストやメンテナンス、ローカルな地動雑音など、運用・データ解釈の問題によりこれまで試験的に運用されるに過ぎなかった。本研究では、まず既存の 3 つのサイトのレーザー伸縮計の性能向上を実施した上で、メンテナンスを効率化・長期的な運用を行い、各サイトのデータに共通するコヒーレントな地動を検知し、サブミリヘルツ帯において高分解能に地動を観測する手法を確立する。

### 2. 研究の目的

本研究は東海・中部地域の 3 つの観測サイト (神岡、犬山、船明) に独立に建設されている長基線レーザー伸縮計を最新技術の導入により検出分解能や長期安定性などの性能向上を図り、世界最高性能の歪観測網として統合して運用し、ミリヘルツを超える低周波 (サブミリヘルツ帯:  $<10^{-3}\text{Hz}$ ) の地動を高い分解能 ( $1 \sim 100$ ) ピコストレイン:  $10^{-10} \sim 10^{-12}$ ) で観測する手法を確立させる。この時間スケール・分解能の新たな観測領域において、既知の現象の観測の精緻化を行うだけでなく、理論上予測された未検出の現象を抽出し、サブミリヘルツ帯における固体地球物理現象の探究・物理過程の解明を行う。

### 3. 研究の方法

本研究の計画は、レーザー伸縮計の観測網の構築、それを用いた連続観測、データ解析の 3 つの段階より構成される。

最初の段階である観測網の構築については、3 つのサイトの伸縮計を同等の性能に近くようにレーザー光源・光学素子を改良し、観測されたデータをサーバに集約し配信できるように整備する。KAGRA サイトの 1500m レーザー伸縮計が性能面・運用面で優れており、他のサイトはこれに準じるシステムに改善する。H29 年度にこれらを実施し、次の段階として、H30 年度は観測網としての運用を開始する。並行して、既存の地震観測網、GNSS 観測網のデータを取得し、各観測サイトの観測性能評価、観測網として共通イベントの探査など初期解析を実施する。

本研究の最終段階として、H31 年度は、前年度までに取得されたデータを既存の観測網のデータとともに統合的に解析し、上述のさまざまな時空間スケールの現象の抽出を試みる。

様々な時間スケールの現象を含む固体地球観測では長期間の連続観測が重要であり、研究期間終了後にも既存の他の観測網と同様に連続観測やデータ配信が持続してできるシステムを構築する。

### 4. 研究成果

(1) 最初の段階である観測網の構築については、H29 年度に、3 つのサイトの伸縮計を同等の性能に近くようにレーザー光源・光学素子を改良し、観測されたデータをサーバに集約し配信できるように整備した。神岡 KAGRA サイトの 1500m レーザー伸縮計が性能面・運用面で優れており、H29 年度に犬山と船明のレーザー光源を更新し神岡と同等の性能を持つ観測システムを立ち上げた。

(2) 計画に沿って 3 つのサイトの観測網としての運用を開始した。神岡のレーザー伸縮計 (100m、1500m) とともに犬山 (30m) および船明 (400m) の運用を統一するため、レーザー制御やデータ取得の仕様を揃え、ネットワーク経由で装置の動作状態をモニターできるようにした。また、各観測点のデータについて初期解析の波形を表示できるシステムを構築した。

(3) データ解析については、神岡の 1500m レーザー伸縮計について、観測されたひずみ記録と周辺の GNSS 観測網の記録を比較し、3 年程度の長期的な変化について整合していることを確認した。降雨により数時間で急速に地盤が縮み、その後数週間かけて元に戻ることに新たにわかった。同じ山の別の坑道に設置されている 100m レーザー伸縮計の記録と比べると、降雨による影響の度合いや時定数が異なり、設置場所の地表からの深さの違いによるものと考えられる。

(4) 地震時のひずみステップについては、複数のレーザー伸縮計での同時観測記録 (2018 年 6 月 18 日の大阪北部地震など) が得られ、地震観測から求められた震源モデルとの比較など解析を進めた。神岡のひずみステップの記録は解析した地震の震源モデルから計算されるものとほぼ一致している。犬山と船明については、伸縮の符号や大きさが一部異なっていた。大きさのオーダーは一致していたことや、坑道が浅く地質の不均質の影響が予想されることから、局所的な岩盤の異方性がひずみ観測記録の成分に影響している可能性がある。

(5) 2019年2月に発生した東海地方のスロー地震について、犬山・船明の各レーザー伸縮計および東海地域の多成分ひずみ計のデータを統合的に解析し、通常の数日の時間スケールのスロースリップ期間にこれまで知られていない1時間程度の時間スケールのスリップ加速があることを見いだした。レーザー伸縮計の記録は多成分ひずみ計よりも明瞭であり、レーザー伸縮計を多点に展開すれば従来の観測網よりも性能向上が見込まれる。

(6) このように、東海・中部地域の神岡・犬山・船明の長基線レーザー伸縮計を歪観測網として運用し、既存の観測網のデータとともに解析する体制が本研究により構築できた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Araya Akito, Takamori Akiteru, Morii Wataru, Miyo Kouseki, Ohashi Masatake, Hayama Kazuhiro, Uchiyama Takashi, Miyoki Shinji, Saito Yoshio	4. 巻 69
2. 論文標題 Design and operation of a 1500-m laser strainmeter installed at an underground site in Kamioka, Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 77
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-017-0660-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 T. Akutsu, M. Ando, S. Araki, A. Araya, T. Arima et al.	4. 巻 13
2. 論文標題 Construction of KAGRA: an underground gravitational-wave observatory	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 F01
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptx180	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 T. Akutsu, M. Ando, K. Arai, Y. Arai, S. Araki, A. Araya, N. Aritomi, H. Asada, Y. Aso, S. Bae, et al.	4. 巻 2015
2. 論文標題 Overview of KAGRA: Calibration, detector characterization, physical environmental monitors, and the geophysics interferometer	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 1-33
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptab018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 新谷昌人	4. 巻 121
2. 論文標題 大型低温重力波望遠鏡KAGRAと地殻ひずみ計	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地震学会広報誌「なみふる」	6. 最初と最後の頁 4-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Akito Araya
2. 発表標題 Seismic and geodetic observation using a 1500-m laser strainmeter at an underground site in Kamioka
3. 学会等名 International Workshop on Gravitomagnetism and Large-Scale Rotation Measurement, Wuhan Institute of Physics and Mathematics (WIPM), Chinese Academy of Sciences, June 6-10, 2018, Wuhan, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Araya, A. Takamori, W. Morii, K. Miyo, and M. Ohashi
2. 発表標題 Long-baseline laser strainmeter constructed at the underground KAGRA site in Kamioka as a new tool for monitoring crustal dynamics
3. 学会等名 IAG-IASPEI 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akito Araya
2. 発表標題 Broadband observation of crustal activities using a laser-strainmeter network
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akio Katsumata
2. 発表標題 Slow slips with durations between VLF and short-term SSE
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akito Araya
2. 発表標題 Low-frequency ground deformation observed by the geophysics interferometer (GIF) in the KAGRA tunnel
3. 学会等名 GWADW2021 Gravitational Wave Advanced Detector Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akito Araya
2. 発表標題 Construction of a laser-strainmeter network for accurate seismic and geodetic observations
3. 学会等名 The first LARES 2 and fourth LARES International Science Workshop in conjunction with The second International GRM Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高森 昭光 (Takamori Akiteru)  (00372425)	東京大学・地震研究所・助教  (12601)	
研究分担者	小林 昭夫 (Kobayashi Akio)  (20354532)	気象庁気象研究所・地震津波研究部・室長  (82109)	
研究分担者	伊藤 武男 (Ito Takeo)  (40377982)	名古屋大学・環境学研究科・准教授  (13901)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大久保 慎人  (Okubo Mokoto)  (50462940)	高知大学・教育研究部自然科学系理工学部門・准教授    (16401)	
研究分担者	勝間田 明男  (Katsumata Akio)  (80414514)	気象庁気象研究所・地震津波研究部・室長    (82109)	
研究分担者	森井 互  (Morii Wataru)  (30221633)	京都大学・防災研究所・助教    (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関