

令和元年6月12日現在

機関番号：14301

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2014～2018

課題番号：26109001

研究課題名（和文）地殻ダイナミクス－東北沖地震後の内陸変動の統一的理解－

研究課題名（英文）Crustal Dynamics

研究代表者

飯尾 能久（Iio, Yoshihisa）

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：50159547

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 38,600,000円

研究成果の概要（和文）：日本列島の歪集中帯で発生する大地震を引き起こす力の大きさは、従来言われている値の半分以下であること、東北沖地震の後に普段地震が起こらないところで発生した群発地震は、深部からの高圧の水の上昇によることが分かった。東北沖地震後の地殻変動の解析から、弾性変形（バネ的な変形）と非弾性変形（粘土的な変形）を分離することに成功した。東北日本後に太平洋沿岸は隆起する一方、中央部の山脈は沈降する原因は、山脈の地下に柔らかい領域が存在するためであること、太平洋岸沿いでの隆起は東北沖地震サイクルの中盤で沈降に変わり、地震発生の100年前は沈降速度が増加することが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大地震を引き起こす力の大きさは、約半世紀の間、世界的に大きな論争となっていたが、一つの答えが提出された学術的な意義は大きい。群発地震と水の関係は、なんとなく予想されていたが、その関係がデータから初めて定量的に示された意義も大きい。東北沖地震前後の地殻変動について、そのメカニズムや時空間変化の理解が進んだことは、今後の地殻変動の予測を可能とするもので、次の超巨大地震への備えを進める上でも社会的意義は非常に大きい。

研究成果の概要（英文）：We estimated that the magnitude of the differential stress that causes large earthquakes in the concentrated deformation zone in Japanese Islands is less than half of the value that has been believed so far. We estimated that high pore pressure water upwelling from the mantle causes earthquake swarms that occurred in the regions of little seismicity. From the analysis of crustal deformation after the Tohoku-Oki earthquake, we succeeded in separating elastic deformation (spring-like deformation) and inelastic deformation (clay-like deformation). We found that the reason why the Pacific coast rises after the Tohoku-Oki earthquake, while the mountain range settles down in the central part is the presence of a soft region in the basement of the mountain range. We found that the uplift along the Pacific coast is settled in the middle of the Tohoku-oki earthquake cycle and that the subsiding rate increased 100 years before the earthquake occurrence.

研究分野：地震学

キーワード：応力 歪 強度 非弾性変形 媒質特性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

東北沖地震は、稠密な観測網下で起こった世界初の超巨大地震であり、全世界の科学者の注目を集め、既に星の数ほどの論文が出版されているが、未だ多くの謎に包まれている。その理由として、そもそも我々が、日本列島のような島弧地殻のダイナミクスを根本的には理解していなかったことが挙げられる。

媒質の変形を記述する基本的な式は、応力と歪や歪速度との関係式である。媒質が弾性体とみなせる場合は、 $\text{応力} = \text{弾性定数} \times (\text{弾性})\text{歪}$ となり、非弾性変形する場合は、応力はさらに粘性係数や歪速度にも依存する。したがって、日本列島の内陸地殻において、 $\text{応力} \cdot \text{歪} \cdot \text{歪速度}$ と弾性定数や粘性係数等の媒質特性との関係およびその時空間分布を知ることにより、内陸の変形を統一的に理解することが可能となる。このことを、地殻ダイナミクスの解明と本研究領域では呼ぶことにする。本研究の関係者はこれまで、内陸の不均質な応力場、歪速度場、断層帯の構造や変形特性、地震波速度・電気伝導度構造、地殻流体の分布、これらの相互関係を説明可能な変形モデルやシミュレーション等、島弧地殻のダイナミクスに関して世界をリードする重要な成果を多数挙げてきた(主要研究業績参照)。しかしながら、島弧地殻のダイナミクスを解明する上で、非常に重要な問題がほぼ手つかずのまま残されてきた。一つは、応力の絶対値(絶対応力)の問題であり、もう一つは、非弾性変形とそれに関係する媒質の応答特性の問題である。応力を推定することは大変難しく、これまで、絶対応力は岩石の摩擦実験から類推されていたが、サンアンドレアス断層において、絶対応力は岩石摩擦強度よりはるかに小さいと主張する研究があらわれた。この実験結果と観測結果との相違は「地殻応力問題」とよばれ、今もなお未解決な問題のままである。歪=弾性歪+非弾性歪であるが、地震発生域では非弾性歪(非弾性変形)が無視されることが多かった。

### 2. 研究の目的

日本列島の内陸地殻において、これまで不明だった応力と歪の関係や媒質特性の時空間分布を明らかにすることにより、東北沖地震後に生起している諸現象を統一的に理解することが、本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

本研究領域は、日本列島の内陸地殻において、応力と歪・歪速度と弾性定数や粘性係数等の媒質特性との関係およびその時空間分布を明らかにし、東北沖地震後に日本列島の内陸地殻で生起している諸現象を統一的に理解することである。そのため、(a)応力・歪・歪速度を観測データに基づき推定、(b)流体を含む媒質の応答特性とその時空間変化を観察・観測・実験等により推定、(c)これらの知見に基づき数値モデルを構築して観測データを再現し、モデルの検証を行う。そのために、下記の6つの計画班を置いている。

A01 内陸地殻の強度と応力の解明

A02 異なる時空間スケールにおける日本列島の変形場の解明

B01 観察・観測による断層帯の発達過程とミクロからマクロまでの地殻構造の解明

B02 岩石変形実験による地殻の力学物性の解明：流体の影響

B03 地殻流体の実態と島弧ダイナミクスに対する役割の解明

C01 島弧地殻における変形・断層すべり過程のモデル構築

さらに、以下の2つの融合研究課題を設定して研究を進める。

融合研究(1) 応力場の理解

地震学的な手法により応力の絶対値、および間隙水圧と摩擦係数の関係を推定 (A01)、観察と観測により断層帯の構造や変形特性を推定 (B01)、岩石変形実験より断層の摩擦や断層岩の変形特性を推定 (B02)、トモグラフィーデータ等から推定された地殻流体の分布、地殻流体の観測等 (B03) に基づき媒質の特性を推定(B)、これらの知見に基づく断層帯の数値モデルを構築して、観測された応力場を再現する (C01)。

融合研究(2) 歪速度場の理解

測地学的・地質・地形学的な手法により短期・長期的な歪・歪速度場を推定 (A02)、天然の変形岩の観察および岩石変形実験により下部地殻・上部マントルの変形特性を推定 (B01, B02)、トモグラフィーデータ等から岩質や地殻流体の分布を推定、数値シミュレーション等により地殻流体の分布と温度構造を推定 (B03)、(1)により推定された絶対応力場を参照、温度や水圧依存性および過渡的応答を考慮した変形シミュレーションにより、観測された歪・歪速度場を再現する (C01)。

このように、本研究では、これまで基本的に別々に行われていた、応力、歪・歪速度、地殻の構造・変形特性、地殻流体等の島弧地殻の変形に関係する重要な研究を漏れなく取り込み、地殻ダイナミクスの解明という統一的な視点により有機的に組み合わせ共同研究等を推進するので、新たな研究の創造が期待できる。

総括班では以下の研究マネジメントを行う。

(1) 総括班の役割、研究組織及び活動内容

広範な専門分野や研究手法を持つ研究組織において、全体の研究方針を適切かつ迅速に策定するため、各分野のベテラン・若手をバランス良く含んだ総括班を組織し、連絡を密にして企画調整等を行う。

各研究項目、計画研究で行われる多様な観測・野外調査・実験・数値シミュレーション等の進捗状態を正確に把握する。公募研究の適切な審査・採択により、より強力な研究体制を構築する。個別の研究成果を定期的に評価し、他の研究成果も参照しながら、期間内に当初の目的を達成出来るように適切な助言やサポート等を行う。得られた研究成果を総合して、島弧地殻のダイナミクス像の構築を試み、その結果を個別の研究にフィードバックする。

からのサイクルを回して、目標達成を強力に推進する。

より広く助言等を得るため、内外の研究集会を開催する。第3年度と最終年度には国際集会を行う。効果的なアウトリーチ活動により、領域の存在や研究結果を広く内外に広報する。「災害軽減のための地震・火山噴火観測研究計画」JSAFOD(サンアンドレアス断層掘削)、JBBP、ICDP(6ページに解説)などとの連絡調整を行う。以上のために、総括班の構成員は各計画研究に対する責任とともに総括班としての役割も担う。総括班構成員と役割を下記に示す。

#### (2) 研究支援活動について

情報共有体制の構築：本領域の3つの研究項目の下におかれる6つの計画研究、公募研究、関連するプロジェクトとの間で、お互いの進捗状況の把握やデータや解析結果等の情報交換のために、使い勝手の良い情報共有体制を構築することが重要である。大規模地震観測の分野においては、満点計画データベースシステムなど、観測・研究支援のシステムの実績があり、その経験を生かして、使い勝手の良いWebベースのシステムを構築する。

関連研究機関との研究協力：本研究を推進するためには、東京大学地震研究所地震・火山噴火予知研究協議会、防災科学技術研究所、海洋開発研究機構、産業技術総合研究所との密接な研究協力が必要である。これらの研究機関の研究者や出身者が本領域研究の研究分担者・連携研究者に多数含まれており、関連研究者(大学院生を含む)の相互訪問を容易にするなど、より一層の研究協力を進めたい。「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」との連携は、長年内陸地震グループのとりまとめを行ってきた連携研究者の岩崎貴哉が中心となって進める。

## 4. 研究成果

研究の進展状況、新たに得られた知見は下記のとおりである。

大地震の前後における応力場の空間変化の解析から、差応力(最大と最小の圧縮応力の差)の大きさが従来言われていた値の半分から1/10程度であることが推定された。2011年東北地方太平洋沖地震(東北沖地震)の発生後に、深部からの高圧の流体の上昇により発生したと考えられる群発地震活動において、一時的に低下した断層の強度が時間とともに回復したことが推定された。東北沖地震に対する変形応答を利用して、弾性変形と非弾性変形を分離することに成功し、非弾性歪速度が地質学的な見積もりと調和的なことが示された。西南日本における測地・地質間の歪速度の不一致を埋める可能性のある知見として、活断層の存在が知られていない地域における地質調査により、現在の応力場に調和的な向きを持つ多数の小規模断層が見出された。1000台の地震計からなる超稠密地震観測網により、M2クラスの余震の多くにおいて、断層面がずれるとほぼ同時に直交方向に開くことが見出された。東北日本における地下深部の対流、熱・水輸送、岩石-流体反応の数値シミュレーションに基づいて岩石物性-構造モデルを構築し、東北沖地震の余効変動や超巨大地震サイクル間における地殻変動をモデル化し、太平洋沿岸は隆起する一方、脊梁山脈は沈降する原因は火山列の地下に柔らかい(低粘性)領域が存在するためであること、および、太平洋岸沿いでの隆起は東北沖地震サイクルの中盤で沈降に変わり、地震発生の100年前は沈降速度が増加することが分かった。

総括班においては、情報共有用のシステムおよび広報用ホームページを運用して、公募研究の担当者も含めて、相互の研究連絡を密にした。毎年ニュースレターを編集するとともに、一般向け講演会等で成果等を広く内外に広報した。研究領域内の有機的な連携や各計画研究との連携を強化するために、年1回3日間の全体集会以外に、年間5回程度、融合研究集会等を頻繁に開催した。2017年度と2018年度においては、2日間の融合集会を4回、1日のみを5回開催している。2017年7月15,16日の集会では、携帯電波が届きにくい辺鄙な山の中の下界から半ば遮断された環境において缶詰めになってつこんだ議論を行った。日本地球惑星科学連合の大会、日本地震学会や日本地質学会に加えて、IASPEI、AOS等国際学会において、本領域のメンバーが中心となってセッションを開催するとともに、夜間小集会等を開催し議論を深めた。期間中2回の地殻ダイナミクス国際集会“The Second International Symposium on Crustal Dynamics -Toward integrated view of island arc seismogenesis-”を開催し、様々な分野の最新の成果や今後の共同研究に関する議論を行った。世界のトップレベルの研究者との交流は、若手にとって大きな刺激となった。

## 5. 主な発表論文等

各計画研究の報告書を参照。

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://cd.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：深畑 幸俊

ローマ字氏名：FUKAHATA, Yukitoshi

所属研究機関名：京都大学

部局名：防災研究所

職名：准教授

研究者番号(8桁)：10313206

研究分担者氏名：松澤 暢

ローマ字氏名：MATSUZAWA, Toru

所属研究機関名：東北大学

部局名：理学研究科

職名：教授

研究者番号(8桁)：20190449

研究分担者氏名：芝崎 文一郎

ローマ字氏名：SHIBAZAKI, Bunichiro

所属研究機関名：国立研究開発法人建築研究所

部局名：国際地震工学センター

職名：上席研究員

研究者番号(8桁)：20344012

研究分担者氏名：竹下 徹

ローマ字氏名：TAKESHITA, Toru

所属研究機関名：北海道大学  
部局名：理学研究院  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：30216882

研究分担者氏名：清水 以知子  
ローマ字氏名：SHIMIZU, Ichiko  
所属研究機関名：京都大学  
部局名：理学研究科  
職名：准教授  
研究者番号（8桁）：40211966

研究分担者氏名：武藤 潤  
ローマ字氏名：MUTO, Jun  
所属研究機関名：東北大学  
部局名：理学研究科  
職名：准教授  
研究者番号（8桁）：40545787

研究分担者氏名：鷺谷 威  
ローマ字氏名：SAGIYA, Takeshi  
所属研究機関名：名古屋大学  
部局名：減災連携研究センター  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：50362299

研究分担者氏名：野田 博之  
ローマ字氏名：NODA, Hiroyuki  
所属研究機関名：京都大学  
部局名：防災研究所  
職名：准教授  
研究者番号（8桁）：50619640

研究分担者氏名：岩森 光  
ローマ字氏名：IWAMORI, Hikaru  
所属研究機関名：東京大学  
部局名：地震研究所  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：80221795

研究分担者氏名：松本 則夫  
ローマ字氏名：MATSUMOTO, Norio  
所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所  
部局名：地質調査総合センター  
職名：研究グループ長

研究者番号 (8桁): 80358051

研究分担者氏名: 高田 陽一郎

ローマ字氏名: TAKADA, Youichiro

所属研究機関名: 北海道大学

部局名: 理学研究院

職名: 准教授

研究者番号 (8桁): 80466458

研究分担者氏名: 西村 卓也

ローマ字氏名: NISHIMURA, Takuya

所属研究機関名: 京都大学

部局名: 防災研究所

職名: 准教授

研究者番号 (8桁): 90370808

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 土屋 範芳

ローマ字氏名: TSUCHIYA, Noriyoshi

研究協力者氏名: 岩崎 貴哉

ローマ字氏名: IWASAKI, Takaya

研究協力者氏名: 重松 紀生

ローマ字氏名: SHIGEMATSU, Norio

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。