

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20340115

研究課題名（和文）広帯域観測データの精密解析に基づくゆっくり地震の物理過程解明

研究課題名（英文）Study on slow earthquakes by detailed analysis of broadband observation

研究代表者

井出哲（IDE SATOSHI）

東京大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号：90292713

研究成果の概要（和文）：

世界中の沈み込み帯で発生しているゆっくり地震の発生過程を探るため、南海沈み込み帯の低周波地震や低周波微動を中心に広帯域で地震データを観測、詳細に分析した。微動の発生位置を正確に決定し、統計的性質や地域的な違いを明らかにするとともに、微動発生帯が長期のプレート運動によって形成されるというモデルを確立した。また沈み込むフィリピン海プレートの形状について考察を行った。

研究成果の概要（英文）：

To understand slow earthquakes recently discovered in world subduction zones, we observed and investigated broadband seismic data mainly in the Nankai subduction zone. We determined accurate location of tectonic tremor, revealed statistical properties of tremor and slow earthquakes, and presented a model in which tremor zones are formed through long-term plate motion. We also presented a new plate model of the Philippine Sea plate.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	11,400,000	3,420,000	14,820,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：地震現象

## 1. 研究開始当初の背景

西日本の南海トラフ沈み込み帯ではこれらの現象が同時に観察できる。場所はプレートの30-35km等深線近傍、1946年南海地震等の巨大海溝型地震の震源域のすぐ隣であり、関連性が示唆される。また類似の現象は世界各地で観察されている。本研究代表者らによってモーメントと継続時間は単純な比例関

係というスケール法則に従うことが明らかにされた。同時にこれらの現象は単一のゆっくり地震を異なる時定数で見たものと提案された。

ゆっくり地震のスケール法則は新たな研究のフロンティアの最初の一步にすぎず、ゆっくり地震の物理プロセスは未だほとんど謎である。その包括的理解のためには現時点ではまず世界一条件の良い日本で現象の時間

空間的な振る舞いを詳細に分析すること良いと考えられる。

## 2. 研究の目的

近年発見されたゆっくり地震は地震同様のせん断変形だが地震波の放射は少なく、そのメカニズムも多くは謎である。災害を起こすような地震の発生プロセスを理解するには普通の地震だけでなく、ゆっくり地震の性質をも知る必要がある。本研究では地震から地殻変動までの周期の異なるデータの精密解析によって、0.1 秒から数か月という広い帯域でゆっくり地震の時間空間的性質を明らかにする。地震データと地殻変動データを統合的に分析するために広帯域地震計を用いた臨時観測を東海地域を中心に行う。新しい解析手法の開発を行いながらゆっくり地震の運動学的モデルを構築する。さらに運動学的モデルを用いて、背後にある物理メカニズムの解明へつなげる。最終的には普通の地震との比較を通じ包括的に地震現象を理解、巨大地震の発生を予測する上でのゆっくり地震の意義を考察する。

## 3. 研究の方法

研究方法は主に下記の3つに分類される。

(1) 観測データの解析：定常観測によるゆっくり地震のデータを解析するために高感度地震計の連続データを保存、微動活動を簡易モニターするシステムを構築する。また新しい震源決定法「相関総和相対震源決定法」を完成させる。それを日本全国の低周波地震データに適用するとともにその後の高分解能のすべり挙動推定のためのテンプレートとして整備する。推定した震源の分布を汐見の推定した日本列島のモホ面深さ分布と比較し、ゆっくり地震と沈み込むプレートの幾何学的関係を明らかにする。またゆっくり地震と比較するために普通の地震のすべり領域進展速度の推定をマルチスケール断層すべりインバージョン法を用いて行う。特徴的時定数推定インバージョン法を開発し様々な地域の微動活動に適用する。時間・空間的な微動の時間発展と微動の特徴的時定数の比較を行うために連続地震波形データから微動の震源位置を推定する手法を開発し、基礎的データとなる微動震源データベースを作成する。そのデータベースと特徴的時定数インバージョン解析結果の比較を行う。さらにプレート形状および温度・圧力条件、境界面物質の性質を考慮して特徴的時定数の空間変化の原因を考察する。

(2) 臨時地震観測：愛知県内で臨時地震観測を行う。研究開始時に設置済みであった紀伊半島から広帯域地震計を愛知県に移設する。さらに1セットの広帯域地震計と収録装置を購入し観測点を立ち上げる。産業技術総合研究所の豊田観測井と防災科学技術研究所の作手地震観測点を利用する。観測データから長周期イベントの検出を行い、微動の活動度と長周期イベントの活動度の定量的な比較を行う。

(3) ゆっくり地震の物理モデル化：データの分析結果からゆっくり地震の物理モデルに制約を与える。長周期での時間変化特性から典型的なスペクトルの形を考察し、広いスケール範囲、周波数帯域で適用可能なゆっくり地震のモーメントレートスペクトルのスケール法則を提案する。またこのスペクトルモデルを既存の物理法則で説明可能か検討する。ブラウン運動ゆっくり地震モデルを用いて微動活動を説明する。

## 4. 研究成果

世界中の沈み込み帯で発生しているゆっくり地震の発生過程を探るため、南海沈み込み帯の低周波地震や低周波微動を詳細に分析した。そのための大量データを整理するためのデータサーバーを立ち上げ、微動観測のための広帯域地震計購入、愛知県内の2観測点に設置した。これらのデータから微動活動の統計的解析を行った。それらの活動を通じて以下のことを明らかにした。

(1) 微動活動はブラウン運動的な確率プロセスとして表現できることを示した。さらにその特徴的時定数分析方法を開発し日本とカスケード地域のデータに適用した。さらにその推定法の簡略化バージョンも開発し、四国西部の微動に適用した。

(2) 低周波地震を高信頼度かつ高精度に震源決定する方法、相関総和相対震源決定法を開発し、日本全国の低周波地震データへ適用した。東海地方から四国西部までの約2000個の低周波地震の相対震源位置を精密に決定することに成功した。地震はプレート境界に沿って狭い範囲で発生していることを突き止めた

(3) 微動の分布などをもとに過去のプレート方向の運動変化がフィリピン海プレートに断裂を引き起こしていることを発見した(図1)。この断裂の存在は西日本において深部微動震源が紀伊半島と四国の間で途切

れていることの明快な説明となっている。

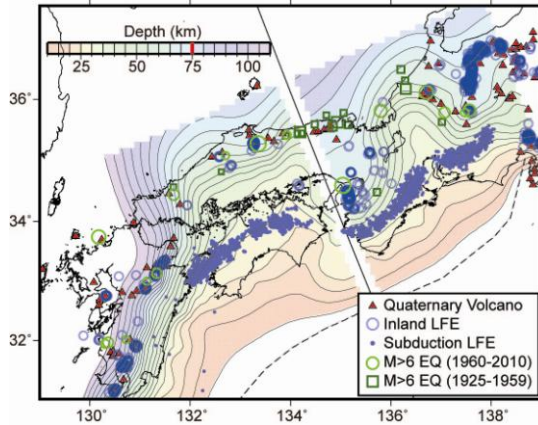


図1：断裂のあるフィリピン海プレートの形状

(4) 四国西部において2004年～2009年までの5年間の高精度の微動震源データベースを作成することに成功した。そのデータベースを用いて四国西部の微動発生過程の特徴を調査したところ、微動の継続時間と微動源の時空間的なパターン、および潮汐応力に対する応答性に明瞭な相関があることがわかった。また微動源は北西南東方向に2種類の線状構造を持っており、これが過去のプレート運動の方向と対応することが明らかになった(図2)。

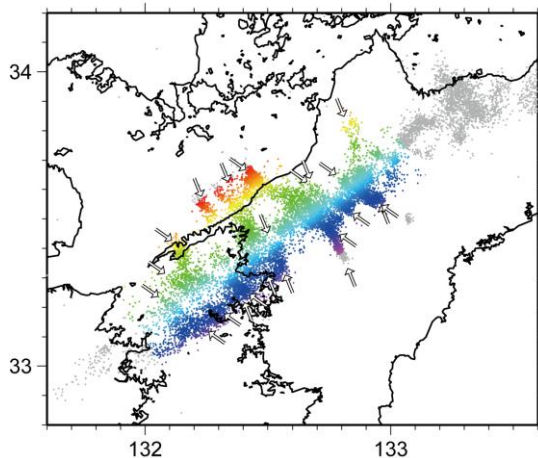


図2：四国西部で決定された深部微動の震源とその線状構造

#### 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10件)

1. Ohta, K., and S. Ide, Precise hypocenter distribution of deep low-frequency earthquakes and its relationship to the local geometry of

the subducting plate in the Nankai subduction zone, Japan, *Journal of Geophysical Research*, 116, B01308, doi:10.1029/2010JB007857, 2011.

2. Ide, S., K. Shiomi, K. Mochizuki, T. Tonegawa, and G. Kimura, Split Philippine Sea plate beneath Japan, *Geophysical Research Letters*, 37, L21304, doi:10.1029/2010GL044585, 2010.
3. Ide, S., Striations, duration, migration and tidal response in deep tremor, *Nature*, 466, 356-359, doi:10.1038/nature09251, 2010.
4. Ide, S., Quantifying the time function of nonvolcanic tremor based on a stochastic model, *Journal of Geophysical Research*, 115, B08313, doi:10.1029/2009JB000829, 2010.
5. Beroza, G. C. and S. Ide, Deep tremors and slow quakes, *Science*, 324, 1025-1026, 2009.
6. Brown, J. R., G. C. Beroza, S. Ide, Ohta, K., Shelly, D. R., Schwartz, S. Y., Rabbel, W., Thorwart, M., and Kao, H. Deep low-frequency earthquakes in tremor localize to the plate interface in multiple subduction zones, *Geophysical Research Letters*, 36, L19306, doi:10.1029/2009GL040027, 2009/10.
7. 井出哲, 地震発生過程のスケール依存性, *地震2*, 61(60周年特集号), S329-S338, 2009.
8. Ide, S., A Brownian walk model for slow earthquakes, *Geophysical Research Letters*, 35, L17301, doi:10.1029/2008GL034821, 2008.
9. Ohta, K., and S. Ide, A precise hypocenter determination method using network correlation coefficients and its application to deep low-frequency earthquakes, *Earth Planets Space*, 60, 877-882, 2008.
10. Ide, S., K. Imanishi, Y. Yoshida, G. C. Beroza, and D. R. Shelly, Bridging the gap between seismically and geodetically detected slow

earthquakes, Geophysical Research Letters, 35, L10305, doi:10.1029/2008GL034014, 2008.

[学会発表] (計 25 件)

1. Aso, N., and S. Ide, Volcanic? Non-Volcanic? Low-Frequency Earthquakes beneath Osaka Bay - Event Search from Continuous Records, AGU 2010 Fall Meeting, 2010 年 12 月 14 日, San Francisco, CA, USA.
2. Ide, S., Striations and tremor duration controlling diverse tremor behavior: from western Shikoku to world tremor zones, AGU 2010 Fall Meeting, 2010 年 12 月 13 日, San Francisco, CA, USA.
3. Tamura, S., and S. Ide, Numerical modeling for branching faults in a subduction system, AGU 2010 Fall Meeting, 2010 年 12 月 13 日, San Francisco, CA, USA.
4. 井出哲, 深部微動の線状構造・継続時間・移動様式・潮汐応答, 日本地震学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月 28 日, 広島市.
5. 麻生 尚文, 井出 哲, 大阪湾の低周波地震は火山性か? ~連続波形データを使った活動の解明~, 日本地震学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月 27 日, 広島市.
6. 井出哲・汐見勝彦・望月公廣・利根川貴志・木村学, 西南日本下の断裂したフィリピン海プレート, 日本地震学会 2010 年度秋季大会, 2010 年 10 月 27 日, 広島市.
7. Ide, S., Striations, duration, migration and tidal response in deep tremor, 8th Joint Meeting of UJNR Panel on Earthquake Research, 2010 年 10 月 22 日, 長岡市.
8. 井出哲・汐見勝彦・望月公廣・利根川貴志・木村学, 西南日本下の断裂したフィリピン海プレート, 日本地質学会第 117 年学術大会, 2010 年 9 月 19 日, 富山市.
9. Ide, S., Time function and spatial migration of non-volcanic tremor, Meeting of Americas, 2010 年 8 月 11 日, Foz do Iguassu, Brasil.
10. 井出哲, 確率過程モデルを用いた深部低周波微動の時間関数の定量化, 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 18 日, 千葉市.
11. Ide, S., What is a characteristic time of nonvolcanic tremor in slow earthquakes? AGU 2009 Fall Meeting, 2009 年 12 月 15 日, San Francisco, CA, USA.
12. Ohta, K. and Ide, S., Precise hypocenter distribution of deep low-frequency earthquakes and its relationship to the local geometry of the subducting plate in Nankai subduction zone, Japan, AGU 2009 Fall Meeting, 2009 年 12 月 14 日, San Francisco, CA, USA.
13. 井出哲, 深部低周波微動の特徴的時定数の推定, 日本地震学会 2009 年秋季大会, 2009 年 10 月 23 日, 京都市.
14. Ide, S., Characteristics and interpretation of slow earthquakes, French-Japanese International Workshop on Earthquake Source, 2009 年 10 月 5 日, Paris-Orleans, France.
15. 太田 和晃, 井出哲, 南海トラフ沈み込み帯における深部低周波地震の精密震源分布と局所的なプレート構造との関係, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 17 日, 千葉市.
16. Ohta, K. and Ide, S., Precise Hypocenter Distribution of Deep Low-Frequency Earthquakes and Its Relationship to the Local Geometry of the Subducting Plate in Nankai Subduction Zone, Japan, SSA 2009 Annual Meeting, 2009 年 4 月 10 日, Monterey, CA, USA.
17. Ide, S., Scaling and Statistics of Moment Rate Functions of Slow Earthquakes., SSA 2009 Annual Meeting, 2009 年 4 月 9 日, Monterey, CA, USA.
18. Uchide, T., and Ide, S., Self-Similarity of Earthquake Rupture Growth in Parkfield Area, SSA 2009 Annual Meeting, 2009 年 4 月 9 日, Monterey, CA, USA.

研究者番号 : 20500375

19. Ide, S., Characteristics & Interpretation of Seismic Slow Earthquakes, Brinson Lecture Series Carnegie Institution of Washington, DTM, 2009/3/4, Washington DC, USA.
20. Ide, S., Characteritics, Scaling & Interpretation of Slow Earthquakes, IASPEI 2009, General Assembly, 2009/1/14, Cape Town, South Africa
21. Ide, S., G. C. Beroza, D. R. Shelly, K. Ohta, J. R. Brown, K. Imanishi, Are slow slip events more than the cumulative sum of slip in tremor? AGU Fall Meeting, 2008/12/18, San Francisco, CA, USA.
22. Ide, S., A Brownian Walk Model for Slow Earthquakes, AGU Fall Meeting, 2008/12/17, San Francisco, CA, USA.
23. Ide, S., A Brownian Walk Model for Slow Earthquakes, ASC-SSJ Meeting 2008, 2008/11/26, つくば市.
24. Ide, S., K. Imanishi, Y. Yoshida, G. C. Beroza, D. R. Shelly, Bridging the gap between seismically and geodetically detected slow earthquakes, SSA 2008 Annual Meeting, 2008/4/18, Santa Fe, NM, USA.
25. Ide, S., Episodic tremor and slip in Japan, 2008 IRIS Workshop, 2008/6/6, Stevenson, WA, USA.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

井出哲 (IDE SATOSHI)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号 : 90292713

### (2) 研究分担者

今西和俊 (IMANISHI KAZUTOSHI)

産業技術総合研究所・研究員

研究者番号 : 70356517

廣瀬仁 (HIROSE HITOSHI)

防災科学技術研究所・研究員

研究者番号 : 00465965

汐見 勝彦 (SHIOMI KATSUHIKO)

防災科学技術研究所・主任研究員

(3) 連携研究者