

(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：

大地震サイクルと地震活動の関連を説明する物理メカニズムの提案

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-1) 地震発生先行過程

イ. 先行現象の発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

ア. 日本列島域

イ. 地震発生・火山噴火の可能性の高い地域

ウ. 東海・東南海・南海地域

(2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

(2-1) 地震発生予測システム

ア. 地殻活動予測シミュレーションとデータ同化

ウ. 地震活動評価に基づく地震発生予測

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-1) 地震発生先行過程

ア. 観測データによる先行現象の評価

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では、地震活動が大地震のサイクルとの関連をもつためのシナリオをいくつか想定し、物理的なモデルを通してそこから期待される地震活動パターンを提案することで、観測データでのシナリオの検証ポイントをつくることを目標とする。本研究での入力側に想定される大地震サイクル起源のシナリオは、大きくわけて (a) 局所的な滑りもしくは広域的ローディング速度のゆらぎによる応力レベルの変化、(b) 中小の地震の相互作用によって、応力場が均質化し破壊が停止しにくい場が形成する、という本質的にことなるものが考えられ、それぞれの事態の進行に係る物理的メカニズムの理解を進める必要がある。一方で、出力側である地震活動、すなわち中小の地震の発生頻度が、応力等の地殻の物理状態をどう反映するかについてもメカニズムはよくわかっておらず、この面でも根本的な理解を進める必要がある。

(6) 本課題の5か年計画の概要 :

平成 21 年度は、地殻活動のデータセットの信頼性を検討し、過去に先行変化として報告された観測事例やモデル、実験との整合性をどのように評価できるかを検討する。また、地震活動と地殻応力場の関係について、既存の理論の問題点を整理して、地震活動を物理的に理解するための理論的、概念的枠組みについての検討を始める。

平成 22 年度は、具体的な地殻活動の先行変化のパターンについて、定性的な物理モデルをつくり、データでの検証ができる可能性のあるポイントを検討する。

平成 23 年度は、モデルを定量的なものに発展させる。

平成 24 年度は、具体的な事例についてのデータとモデルの定量的比較を行う。

平成 25 年度は、解析例を増やしつつ、成果をとりまとめる。

(7) 平成 23 年度成果の概要 :

昨年度、実験室の摩擦を正しく表現できるよう修正された RSF 摩擦 [Nagata et al., in press] を用いても応力変化から期待される地震活動の変化は、従来の摩擦則を用いた場合とほぼ同じであると報告したが、それが誤りであることがわかった。Dieterich [1994] に倣って、バネブロックモデルのサイクル後半の加速滑りの近似的解析式をつくり、応力擾乱を地震サイクルの時計の進みに換算するという手順で得た結論であったが、数値実験結果の検討から、従来の摩擦則と応力弱化項を取り込んだ Nagata 摩擦則では、応力のステップ擾乱による強度・応力の変化がサイクルに影響する仕方に重要な違いがあることがわかった。前者(図 1a)では、応力ステップによる変化は、定常載荷での地震サイクルのサイクル軌道にほぼ沿っており時計の進みに換算できるが、後者(図 1b)では、ステップ擾乱によって、もとの地震サイクルの軌道から外れた点に移ってしまう。そのため、時計の進みとして解析することはできないと判明し、地震活動度の評価を、様々な初期強度もつ断層の地震サイクルを、応力ステップを含めて数値的に追うことでやりなおした。Nagata 則は、従来の摩擦則に基づく場合よりも二倍程度活発な余震活動を予測する結果となったが、自然の余震の活動度が従来の摩擦則に基づく予想よりも 2 桁高いという大きな食い違いを解消するには程遠く、有効法線応力を被り圧の 1%程度と想定する等の大きな調整が必要な状況は根本的に解決されなかった。

一方、Nagata 則を 2 次元の連続体モデルに組み込んだ震源核破壊形成の数値実験では、従来の aging law と slip law の性質を併せもつ挙動が示唆されたが、個々の震源核形成における修正摩擦則の効果は、従来の 2 種の摩擦則による結果の間でのバリエーションに留まるという見方もできるので一旦棚上げとし、大地震のサイクルにおける小地震の発生とそのサイクルへの寄与をより直接的に調べるために、破壊成長抵抗の分布に階層的な不均質 [Ide and Aochi, 2006] を与えた連続体中の RSF 断層のモデル [Hori&Miyazaki; 2010,2011] を用いるアプローチを開始した。予察的な結果(図 2)では、大地震が準静的な大きな震源核形成を経ておこる回と、小地震の動的破壊によって核形成が代用される(cascade up による大地震)回が 1 回交替になっている。

また、大地震前に応力場が均質化し、破壊が停止しにくい場が形成されるという仮説にもとづく研究も、昨年度に引き続き進めた。本研究では、離散要素法による大規模計算によって、付加体に生じる大小多数の断層運動の数値シミュレーションを行い、応力場の時空間発展を広いスケールレンジにわたって観察している。今年度は、付加体内水平断層よりも上の、応力蓄積が比較的ゆっくり進行する部分で間欠的に発生する逆断層運動に着目した。その結果、比較的大きな断層運動に先行して、応力場の均質化(主応力軸の向きのばらつき減少)が見られた。また、応力場の均質化が進行している間は、規模の大きな断層運動を起こす領域を取り囲む範囲で、体積減少(密度増加)が進行していることがわかった。こうした結果は、大規模な断層運動に先行する準備過程の存在を示唆するものである。ただし、今回の結果から大規模な断層運動前には均質化が生じることが言えるが、逆は必ずしもいえない。そこで、均質化に加えてどのような条件が大規模な断層運動に必要なかを検討する必要がある。

さらに、同一面上での地震間応力作用を検討できるフィールドデータとして、南アフリカ鉱山の既

存断層上で活発に起っている微小地震の面状クラスタ (課題 2402) のなかで、比較的大粒の地震が 2 個隣接しておこった例を見出した (図 3).

- (8) 平成 23 年度の成果に関連の深いもので、平成 23 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
- Hori, T. and S. Miyazaki, 2011, A possible mechanism of M 9 earthquake generation cycles in the area of repeating M 7-8 earthquakes surrounded by aseismic sliding, Earth Planets Space, 63, 773-777.
- Hori, T. and H. Sakaguchi, 2011, Mechanism of decollement formation in subduction zones, Geophys. J. Inter., 187, 1089-1100, doi:10.1111/j.1365-246X.2011.05204.x.
- 堀高峰・阪口秀, 2011, 大きな破壊への準備過程: 数値実験にもとづく考察, 地球惑星科学連合 2011 年度連合大会, SSS029-06.
- 堀高峰・阪口秀, 2011, 大きな破壊への準備過程: 数値実験にもとづく考察, 日本地震学会 2011 年度秋季大会.
- 藤田哲史, 2012, 修正された滑り速度と状態に依存する摩擦則が地震サイクルと応力トリガリングに及ぼす効果, 東京大学大学院理学系研究科修士論文.

- (9) 平成 24 年度実施計画の概要 :

大きなアスペリティの中に小さなアスペリティがある場合の RSF 数値実験は、大小のアスペリティのパラメータを系統的に変化させて行なう。大地震前の応力場の均質化モデルにおいては、均質化に加えてどのような条件が大規模な断層運動に必要なかを検討する。大規模な断層運動が起きるということは、それまでの連続的な変形ができなくなり、変形様式の分岐が起きていると言える。そこで分岐点近傍の変形・破壊の詳細を数値実験で調べることで、大規模な断層運動が起きる場の条件を明らかにすることを旨とする。これらの知見に基づいて、同一領域で、様々なサイズの破壊がおこっている観測例の物理的解釈を検討する。

- (10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

東京大学地震研究所 中谷正生・加藤尚之・加藤照之・加藤愛太郎
他機関との共同研究の有無 : 有
海洋研究開発機構 堀高峰・阪口秀

- (11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名 : 東京大学地震研究所
電話 : 03-5841-5763
e-mail : nakatani@eri.u-tokyo.ac.jp
URL :

- (12) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 中谷正生
所属 : 東京大学地震研究所

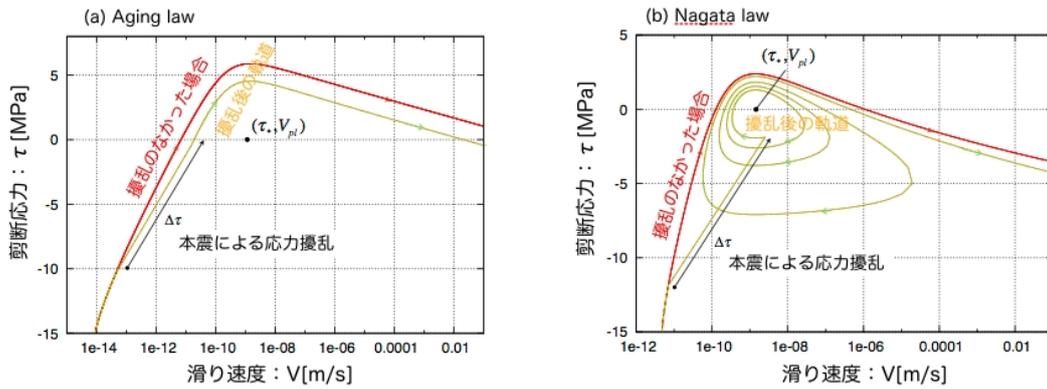


図 1: パネーブロックモデルで interseismic 時期に応力擾乱を受けた後の運動の発展 . (a) 従来の摩擦則 (b) 修正摩擦 .

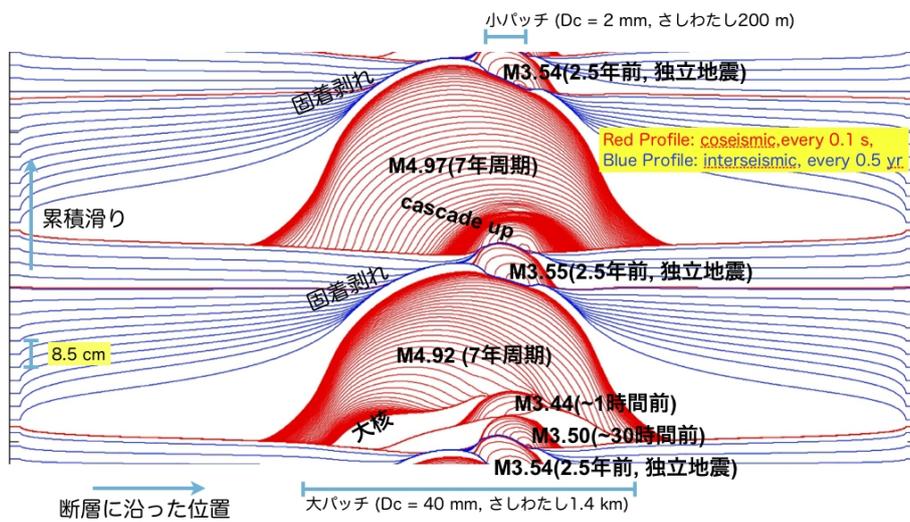


図 2: 滑り分布のスナップショットでみた . 大きなアスペリティのなかに小さなアスペリティがある断層の RSF サイクルシミュレーション結果の例 .

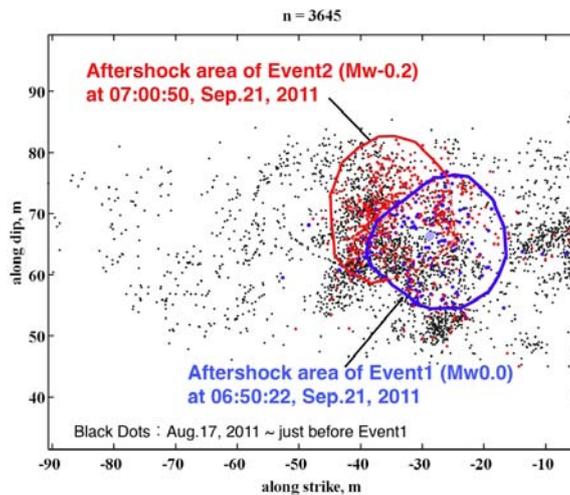


図 3: 地質断層にそった定常的な超微小地震 (Mw-5 から -2) 活動と , そこで 10 分間隔でおこった比較的多きな 2 つの地震 .