

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

内陸地震発生域における応力蓄積状態の解明

(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

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

ウ．ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

ア．列島及び周辺域のプレート運動，広域応力場

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究では、測地観測、地震観測、数値モデリング等の様々な手法を駆使して内陸地震の発生域における応力状態およびその時間的な変化の把握、さらには応力蓄積のメカニズムを解明することを目指す。測地観測では、中部地方に位置する、地震サイクル中のステージや変形様式の異なる複数の活断層の周囲で稠密 GPS 観測を実施し、それぞれの変形様式から応力蓄積過程の違いを明らかにする。地震観測では、内陸地震発生域におけるコーダ Q の時空間変化の検出を試み、その結果から応力状態およびその時間変化を推定する。また、GPS を用いた固体地球の潮汐応答により応力臨界状態の検出を試みる。最後に、これらの観測結果を総合して、内陸地震発生域における応力状態の把握を目指す。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

(a) 詳細な地殻変動分布から見る内陸地震発生域の応力蓄積過程

本課題では、約 400 年前に地震が発生した可能性のある養老-桑名-四日市断層（1586 年天正地震）および阿寺断層南部（1586 年天正地震）、約 150 年前に地震が発生した跡津川断層、顕著な地殻変形が見られる糸魚川-静岡構造線北部を対象として稠密なキャンペーン GPS 観測を実施し、詳細な地殻変動分布を得て、各断層の応力蓄積過程の解明を目指す。平成 21 年度は、阿寺断層周辺に稠密 GPS 観測網を構築し、観測を実施する。また、養老-桑名-四日市断層周辺で選点調査を実施し、観測の計画を立てる。

(b) 散乱構造から見る内陸地震発生域の応力状態とその時間変化

中部地方を中心にした領域で自然地震を利用したコーダ Q の解析をおこない、コーダ Q の空間分布を調べる。特に歪み集中帯に注目しながら、できるだけ観測時間幅を広くした解析をおこない、コーダ Q の時間変化や安定性を検討する。

(c) 活断層の地震サイクルと歪み集中帯の生成に関する物理モデル構築

下部地殻を構成する鉱物のレオロジーを考慮した内陸活断層の地震サイクルモデル構築を開始する。

平成 21 年度は、跡津川断層周辺で従来から継続してきた GPS 観測を実施するとともに、糸魚川 - 静岡構造線北部で観測網を構築し、観測を開始する。また、阿寺断層でも観測点調査を行う。散乱構造については手法の検討を行う。

平成 22 年度は、跡津川断層、糸魚川 - 静岡構造線北部での観測を実施するとともに、阿寺断層で観測網を構築し、観測を実施する。養老 - 桑名 - 断層で観測点調査を行う。散乱構造の解析手法を特定の地域に適用し、三次元的な構造の抽出を試みる。

平成 23 年度は、養老断層系に観測網を構築し、観測を実施するとともに、他の断層でも観測を行う。潮汐応答による応力状態のモニター手法の開発を行う。散乱構造の時間変化を検出する手法の検討を行う。

平成 24 年度は、各断層で観測を実施する。観測結果の暫定的なまとめを行う。特定の断層について、潮汐応答による応力状態モニターを試みる。散乱構造の時間変化に注目し、四次元的な構造変化の抽出を試みる。

平成 25 年度は、観測やデータ解析を継続するとともに研究全体のまとめを行い、内陸地震発生域の応力蓄積状態に関する知見を得る。

(7) 平成 23 年度成果の概要 :

(a) 詳細な地殻変動分布から見る内陸地震発生域の応力蓄積過程

これまで糸魚川 - 静岡構造線北部や跡津川断層などで稠密 GPS 観測を実施してきたが、2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震では、中部地方でも顕著な地殻変動が生じ、余効変動は現在に至るまで継続している。2011 年度も糸静線北部ではキャンペーン GPS 観測を実施したが、これまでのデータとは地殻変動の傾向が明らかに変化しており、従来の目標達成は困難になった。

一方、東北地方太平洋沖地震は、従来短縮変形しか見られていなかった地域に地震時にはステップ的な、また余効変動によって定常的な伸張変形が生じたことにより、内陸断層域の変形特性を知る上では貴重なデータが得られるようになった。図 1 は、日本海東縁部のひずみ集中帯に位置する新潟県上越地域における東西方向の地震時地殻変動および地震後地殻変動の東西方向の分布を示す。この図で影をつけた部分は、地震前に顕著な変形集中が見られていたが、地震後の変化の中では、特にひずみが集中している様子は見られない。このことは、ひずみ集中帯で見られていた変形集中が弾性変形の結果ではなく、非弾性的な変形の結果であることを示している。

(b) 散乱構造から見る内陸地震発生域の応力状態とその時間変化

跡津川合同観測で得られた地震波形データを用いて、コード Q (QC) の再解析を行った。変更点は、これまで上下動成分のみでコード Q 値の推定を行っていたものを 3 成分それぞれの波形を用いてコード Q 値を推定するようにした点である。

解析に用いた地震は 2004 年 11 月から 2006 年 12 月に飛騨地方および北陸地方で発生した M1.8 以上、深さ 30 km 以浅の 186 個の地震である。1.5-24 Hz までの 10 周波数帯において、Sato (1977) の一次等方散乱モデルを適用し、コード Q 値を推定した。得られたコード Q 値を空間的に平滑化した分布図を図 1 上に示す。低周波数帯である 1.5 Hz 帯や 2.0 Hz 帯では、北東 - 南西方向に跡津川断層帯と重なるように低コード Q 域 (高コード Q-1 域) が広がり、跡津川断層帯から離れるにつれ、高コード Q (低コード Q-1) になる。しかし、この低コード Q 域は周波数帯が高くなるにつれて不明瞭となる。すなわち、新潟 - 神戸構造帯に対応するコード Q の空間変化は低周波数帯で顕著である。

低周波数帯のコード Q 値の空間分布について、Nakajima and Hasegawa (2007) による地震波トモグラフィの S 波速度構造と比較すると、上部地殻下部から下部地殻での S 波速度と相関が見られ、低速度では低コード Q、高速度では高コード Q となる傾向がある (図 2 中)。このことから、低周波数帯におけるコード Q 値は地殻の脆性?延性遷移領域を反映したパラメータであると考えられる

Hiramatsu et al. (2010) による方法を用いて、コード Q 値と GPS 観測で得られた差歪速度 (Sagiya et al., 2000) との関係から応力蓄積速度の空間変化量を推定すると (図 1 下)、1.5 Hz 帯で 15 ± 3

kPa/year、2.0 Hz 帯では 18 ± 4 kPa/year と求められる。これらの値は Jin and Aki (2005) の結果から推定された値 (13 ± 3.5 kPa) (Hiramatsu et al., 2010) より若干大きく、跡津川断層帯周辺地域では応力蓄積速度の空間変化量が新潟 神戸構造帯での平均的な値より大きい可能性がある。

地震波干渉法を用いた雑微動の自己相関関数の減衰率 (QACF) とコーダ Q (QC) 値は地下の不均質性を反映するパラメータであるが、その対応関係は明らかではない。本研究では、濃尾地震断層帯合同地震観測で得られた地震波形を用いて、QACF と QC との空間的な対応を調べた。QACF については 2010 年 2 月 1 日から 2010 年 2 月 28 日の期間の 52 観測点の常時微動地震波形の上下動成分を解析した。QC については 2009 年 5 月 1 日から 2010 年 5 月 31 日の期間の震源が 30km 以浅、M 1.8 以上の地震 (50 イベント) について 68 観測点の 3 成分記録を解析した。解析には一次後方散乱モデル (Aki and Chouet, 1975) を適用し、QACF については $n=1/2$ (表面波を想定)、QC については $n=1$ (表面波を想定) とした。

本研究で得られた QACF の空間分布は、1-2, 2-4Hz の周波数帯において濃尾断層帯北西部で低 Q 値領域を示し (図 3)、周波数が高くなるにつれ南東の方で低 Q 値領域を示す。一方、QC の空間分布は 1-2, 2-4Hz の周波数帯において濃尾断層帯南西部で低 Q 値を示し (図 4)、4-8Hz の時北東の領域で低 Q 値を示す。さらに両者の比較から QACF と QC の空間分布は全ての周波数帯で異なり、両者は同じ地殻不均質性を表すパラメータではないことが分かった。また、過去 10 年間に深さ 5-10km、10-15km で発生した地震の空間分布と比較すると、1-2, 2-4Hz のときの QACF の空間分布は深さ 5-10km、QC の空間分布は深さ 10-15km の地震の空間分布と整合的であった。したがって、QACF と QC はそれぞれ異なる指標であり、異なる深さの不均質性を反映していると考えられる。Hiramatsu et al. (2010) で議論されたように、QC は脆性?延性遷移領域の応力蓄積速度を反映したパラメータであると考え、QC が地震発生層深部の地震活動と良い相関を示すことは理解できる。

(c) 潮汐応答による内陸地震発生域の応力状態モニター

潮汐応答による応力状態のモニターの可能性について検討を行った。潮汐応答は固体地球潮汐応答と海洋潮汐応答から構成されているため、各潮汐応答の地殻構造に対する応答感度についてそれぞれ検討した。固体地球潮汐応答の感度は千 km 以上の深さにピークを持ち、地震波トモグラフィーなどから推定される不均質構造を考慮しても日本列島内で最大 0.1mm 程度の振幅差しか生じない (Latychev et al., 2009)。このことは、地震発生層である地殻浅部には構造変化に対する感度が無いと解釈できる。一方、海洋潮汐応答の感度の深さは海洋潮汐の分布と海岸線に依存するが、50km ~ 300km 程度の深さである (Ito and Simons, 2011)。固体地球潮汐応答の感度を持つ深さと比較すると、より浅部に感度があるが、地震発生層に相当する地殻浅部には感度が無い。また、最大のポテンシャルをもつ M2 分潮の海洋潮汐応答は内陸断層付近において約 5mm 程度の振幅が予想される (図 5)。海洋潮汐応答に対する GPS 観測精度は条件の良い観測点で 0.5mm 程度であるが、この観測精度は 1 年間の観測データをスタックして得られる観測精度である。応力状態をモニターするために、地殻構造の時間変化に起因するシグナルを同定するには手法の根本的な改良が必要であるが、解析の前提となる地殻浅部に感度が無いため、応力状態の変化が生じたとしても、検出は困難と予想される。

- (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) :
- Ito, T. and M. Simons, 2011. Probing asthenospheric density, temperature and elastic moduli below the western United States, *Science*, 322, 947-951. 鷲谷威・西村卓也・松多信尚, 2011. GPS 連続観測による北部糸魚川?静岡構造線断層帯周辺の地殻上下変動, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, SSS028-05. Sagiya, T., 2011, Asymmetry between interseismic strain accumulation and coseismic strain release in northeastern Japan associated with the 2011 Tohoku earthquake, AGU Fall Meeting. 辻 清根・平松良浩・濃尾合同観測グループ, 2011, 濃尾断層帯周辺における地震波干渉法から得られた減衰率の推定, 2011 年日本地震学会秋季大会.

- (9) 平成 24 年度実施計画の概要 :

新潟県のひずみ集中帯，糸魚川 - 静岡構造線北部，跡津川断層帯周辺で GPS 観測を実施し，東北地方太平洋沖地震およびその余効変動の影響を評価し，断層帯周辺の力学特性を調べ，それに基づいて内陸地震の発生サイクルモデルについて検討する。

また，23 年度に引き続いて QACF と QC の空間分布の解析を行い，地震活動やその他の地球物理学的データの比較検討を進めるとともに，2011 年東北地方太平洋沖地震前後を中心に時間的変動についても調査する。

潮汐応答については，日本列島における検出可能性について検討を続ける。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

名古屋大学大学院環境学研究科：鷺谷威，古本宗充
他機関との共同研究の有無：有
金沢大学理工研究域自然システム学系：平松良浩

(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：名古屋大学大学院環境学研究科
電話：052-789-3046
e-mail：web-master@seis.nagoya-u.ac.jp
URL：http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鷺谷威
所属：名古屋大学大学院環境学研究科

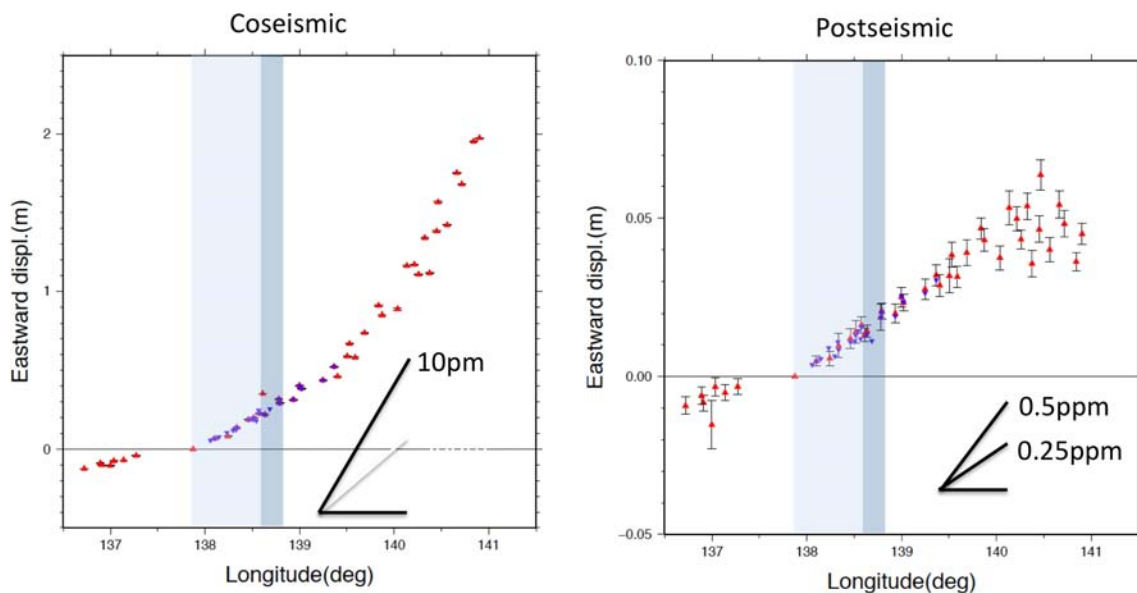


図1 北緯 37 ~ 37.5 度の範囲における東西変位成分の分布。
(左) 東北地方太平洋沖地震時。(b) 地震後。

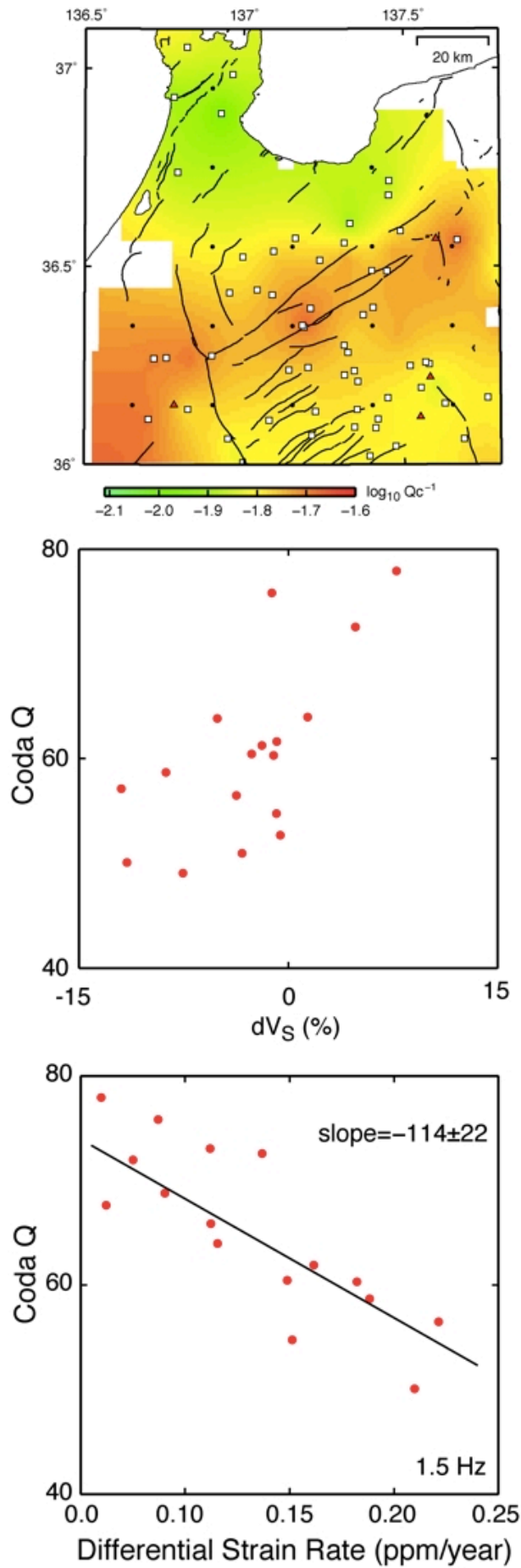


図2 跡津川断層周辺の Qc 推定結果

(上) 1.5 Hz の周波数帯における $\log_{10} Qc^{-1}$ 値の空間分布。白四角は解析に用いた地震観測点、三角は活火山、黒線は活断層、黒丸は S 波速度構造や差歪速度との比較に用いた点を表す。(中) 深さ 25 km における S 波速度の摂動と 1.5 Hz の周波数帯における Qc 値の関係。(下) 差歪速度と 1.5 Hz の周波数帯における Qc 値との関係。

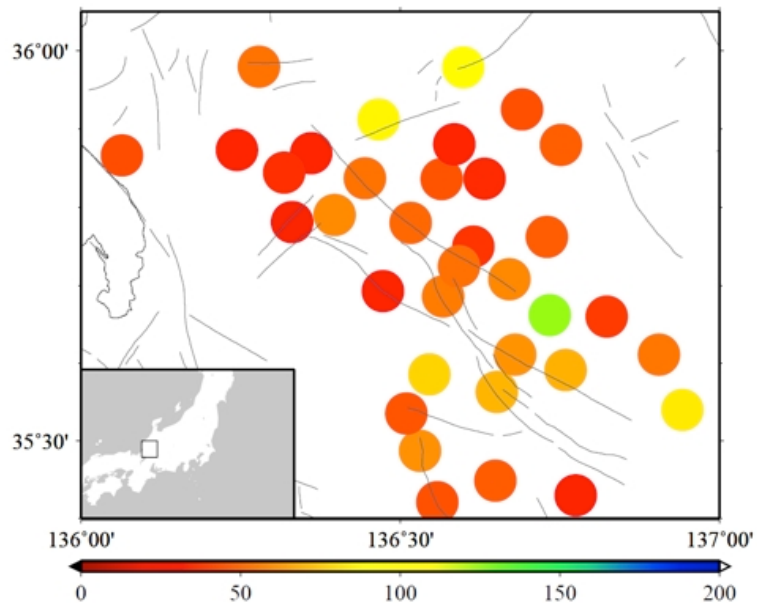


図3 1-2 Hzの周波数帯におけるQACF値の分布

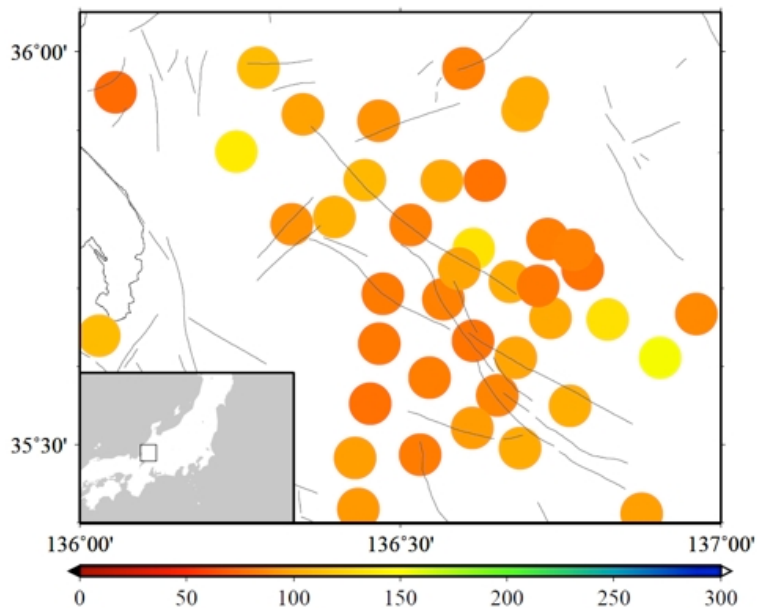


図4 1-2 Hzの周波数帯におけるQC値の分布

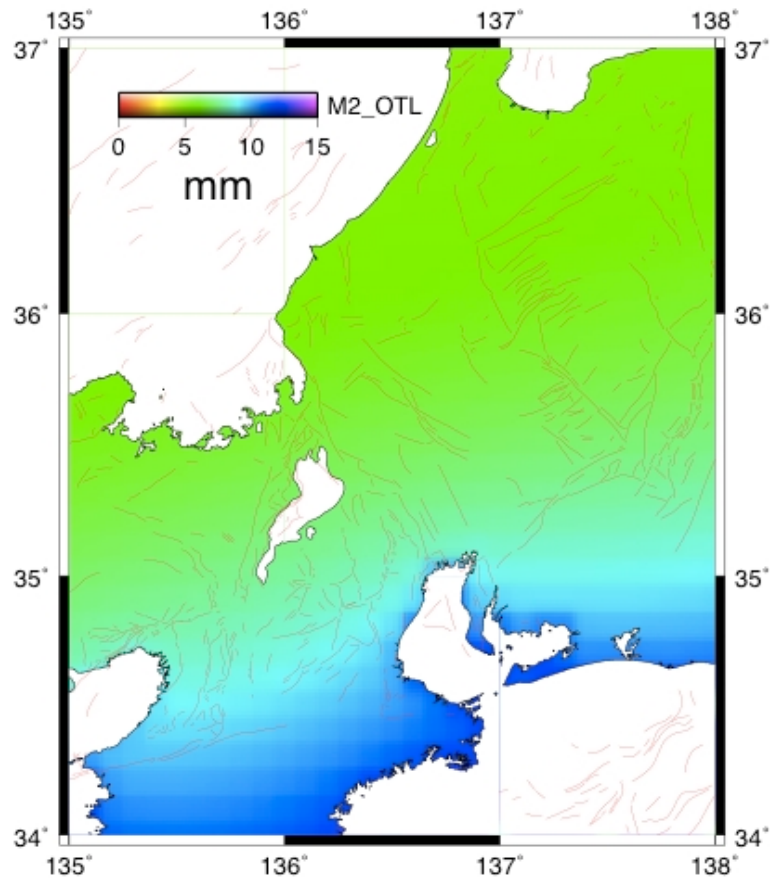


図5 M2分潮の海洋潮汐応答の空間分布(上下動)