

(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及びその時間的な変化の把握、更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ドQの時空間変化の検出を試み、その結果から応力状態及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）及び阿寺断層南部（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ドQの解析を行い、コードQの空間分布を調べる。特にひず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行い、コード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ひず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 24 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

2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震の発生以降、この巨大地震の余効変動の影響により、日本列島の内陸部の変形場は大きく変化している。本研究では糸魚川-静岡構造線最北部の白馬地域で GPS 観測を実施していたが、この地域における地震前と地震後の地殻変動速度を求めて比較した結果を図 1 に示す。地震後の変動場を見ると、固定点 0266（白馬電子基準点）に対して HPPO は東向きの短縮運動をしていたのが、地震後は東向き成分が見られていない。一方、より固定点に近い HKBA が東向きの変動を示しており、現時点では解釈が困難である。これらの観測点共通に見られる南向き成分の原因は今のところ不明であり、今後も観測を継続して精度を向上させる必要がある。

(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 3 成分それぞれの地震波形データを用いて跡津川断層帯周辺のコード Q 値 (Q_c) の空間分布を求めた。解析に用いた地震は 2004 年 11 月から 2006 年 12 月に飛騨地方及び北陸地方で発生した M1.8 以上、深さ 30 km 以浅の 249 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、 Q_c を推定した。得られた Q_c を空間的に平滑化した分布図を図 2 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 Q_c 域 (高 Q_c^{-1} 域) が広がり、跡津川断層帯から離れるにつれ、高 Q_c (低 Q_c^{-1}) になる。しかし、この低 Q_c 域は周波数帯が高くなるにつれて不明瞭となる。低周波数帯の Q_c 値の空間分布について、Nakajima et al. (2010) による地震波トモグラフィーの 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 Q_c 、高速度では高 Q_c となる傾向がある (図 3 a-c)。このことから、低周波数帯における Q_c 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、 Q_c と GPS 観測で得られた差ひずみ速度 (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 3 d, e)、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 GPS の結果から推定された値 (3 kPa/year) (Hiramatsu et al., 2010) より大きく、脆性-延性遷移領域下での高変形速度が上部地殻での高応力速度すなわち高ひずみ速度を形成していることが考えられる。

濃尾地震断層域の合同地震観測で得られた地震波形を用いて、地震波干渉法を用いた雑微動の自己相関関数の減衰率 (Q_{ACF}) とコード Q 値 (Q_c) との時空間的な対応を調べた。 Q_{ACF} については 2010 年 2 月から 2011 年 10 月の期間の 61 観測点の常時微動地震波形の上下動成分を解析した。 Q_c については 2009 年 5 月から 2012 年 8 月の期間の震源が 30km 以浅、M 1.8 以上の地震 (178 イベント) について 83 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、 Q_{ACF} については表面波を想定、 Q_c については実体波を想定した。 Q_{ACF} の空間分布は、1-2, 2-4 Hz 帯で、濃尾断層帯より南西方向の領域では相対的に高 Q 値を示す領域が存在する (図 4 a)。4 Hz より高周波数帯ではそのような傾向は見られなかった。一方、 Q_c の空間分布は、1-2, 2-4 Hz 帯では濃尾断層帯から南西及び、北東方向の領域で低 Q 値を示す領域が分布する (図 4 b)。4-8, 8-16, 16-32 Hz の周波数帯では、解析領域の北東方向で低 Q 値を示す傾向が見られた。Hiramatsu et al. (2012) では、低周波数帯 (1-4 Hz 帯) において跡津川断層帯に沿うように低 Q 領域が分布する傾向を示した。しかし、濃尾断層帯ではそのような明瞭な空間変化は確認できない。

Q_{ACF} 、 Q_c 共に東北地方太平洋沖地震前後に伴う時間変化について調査を行ったが、どちらのパラメータにも東北地方太平洋沖地震地震に伴う変化は見られなかった (図 5)。しかし、 Q_{ACF} には、7 月前後で Q 値が高くなる変化が見られた。

過去 10 年間に深さ 5-10 km、10-15 km で発生した地震 ($M > 2$) の空間分布と比較すると、1-2 Hz における Q_{ACF} の空間分布はどちらの深度における地震活動とも関係を示さなかったが、 Q_c の空間分布は深さ 10-15 km の地震の空間分布と良い対応を示した。

(c) 潮汐応答による内陸地震発生域の応力状態モニター

GEOENT の 30 秒サンプリングのキネマティック解析を実施し、得られた時系列データを用いて潮汐応答解析を行った。解析に用いたデータは 2011 年 3 月東北地方太平洋沖地震前のデータを用いており、地震発生後は多くの余震と余効変動の影響を受けているため、長期間データを用いる潮汐解析は極めて難しい。図 6 は M2 分潮の GPS 観測によって得られた固体地球潮汐の振幅と理論値との比較であり、内陸部において理論値よりも大きな振幅が系統的に観測された。また、位相については理論値から 0.5 から 0.1 度程度遅れており、時間にして約 1 分から 10 秒ほどの遅れに相当する。この原因としては構造の不均質が考えられるが、固体地球潮汐に 100km 以浅の構造に関する感度はほとんど無いので、更なる検証が必要である。さらに、潮汐応答の時間的な変化を抽出するためには感度が比較的浅い場所にある海洋潮汐の応答に着目する必要があるが、この地域の M2 分潮の海洋潮汐の振幅が 5mm 程度であることから、海洋潮汐自体の振幅は GPS にて観測可能であるが、その変化を抽出するのは困難であると予想される。

(d) 活断層の地震サイクルとひずみ集中帯の生成に関する物理モデル構築

日本海東縁ひずみ集中帯では、顕著な短縮変形と同時に長期的かつ長波長の沈降が生じており、堆積盆形成に寄与している。この地殻変形の運動学的なモデルについて検討した。厚さ 8km の弾性的な上部地殻の上に厚さ 10km の堆積層 (軟らかい弾性層) が、下に粘弾性的な下部地殻 (粘性率 $10^{21} \text{Pa} \cdot \text{s}$) とマントル (粘性率 $3 \times 10^{19} \text{Pa} \cdot \text{s}$) を仮定する。上部地殻全体と堆積層の下半分を切る傾斜 30 度の逆断層を仮定し、断層変位後の完全緩和解を求めた結果を図 7 に示す。この完全緩和解は、断層が一定速度でずれている場合の定常解とみなすことが可能であるが、断層付近で短縮変位の 3 割程度に相当する沈降域が生じること、水平短縮のブロック運動が再現されることが分かる。短縮変形による余剰質量をアイソスタティックに支えるために生じる沈降と考えられ、ひずみ集中帯の変形過程を支配するメカニズムの一つと考えることができる。

(8) 平成 24 年度の成果に関連の深いもので、平成 24 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Hiramatsu, Y., A. Sawada, K. Nishigami, E. Kurasimo, Spatial distribution of coda Q and stressing rate around the Atotsugawa fault zone in a high strain rate zone, Japan, AOGS-AGU (WPGM) 2012, SE57-A002, 2012.

Hiramatsu, Y., A. Sawada, Y. Yamauchi, S. Ueyama, K. Nishigami, E. Kurashimo, and the Japanese University Group of the Joint Seismic Observations at NKTZ, Spatial variation in coda Q and stressing rate around the Atotsugawa fault zone in a high strain rate zone, central Japan, Earth Planets Space, in press, 2013.

平松良浩, 澤田明宏, 山内順公, 上山信吾, 西上欽也, 蔵下英司, 歪集中帯大学合同地震観測グループ, 跡津川断層帯周辺におけるコーダ Q の空間分布, 日本地球惑星科学連合 2012 年度連合大会,

SCG64-P16, 2012.

鷺谷威・歪み集中帯 GPS 観測グループ, GPS 稠密観測から推測される日本海東縁歪み集中帯の変形様式, 日本地震学会 2012 年秋季大会, 2012.

辻 清根・平松良浩・濃尾合同観測グループ, 濃尾断層帯周辺における coda Q と地震波干渉法から得られた減衰率の推定, 日本地震学会 2012 年度秋季大会, P1-18, 2012.

辻 清根・平松良浩・濃尾合同観測グループ, 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空間変化の推定, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, SSS34-P06, 2012.

(9) 平成 25 年度実施計画の概要：

白馬地域、跡津川地域、上越・中越地域で GPS 観測を実施し、東北地方太平洋沖地震後の地殻変動分布と時間変化の把握を進める。濃尾地域の散乱構造については、投稿論文を作成する。また、ひずみ集中帯の変形モデルを更に精緻化する。

(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

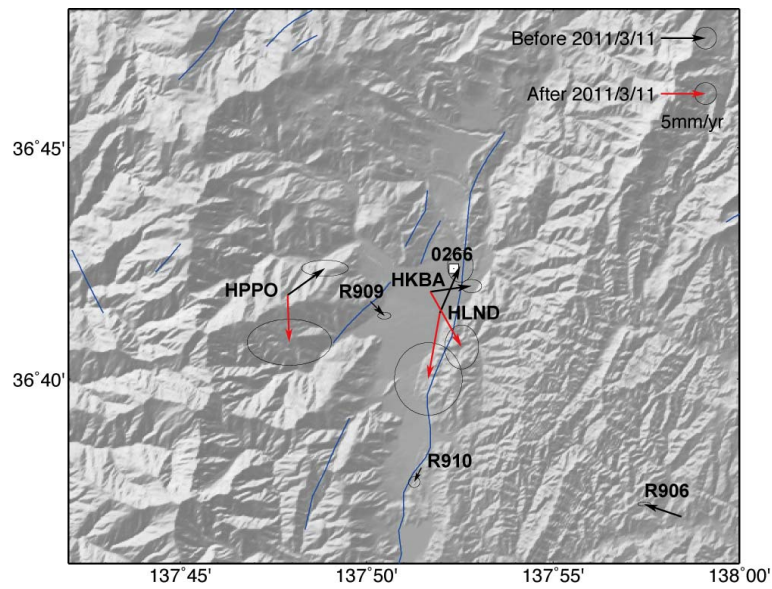


図1 白马地域における東北地方太平洋沖前後の地殻変動速度の比較
固定点は白马電子基準点 (0266)。黒矢印は 2010 年以前、赤矢印は 2011 年 3 月以降の変動速度を表す。

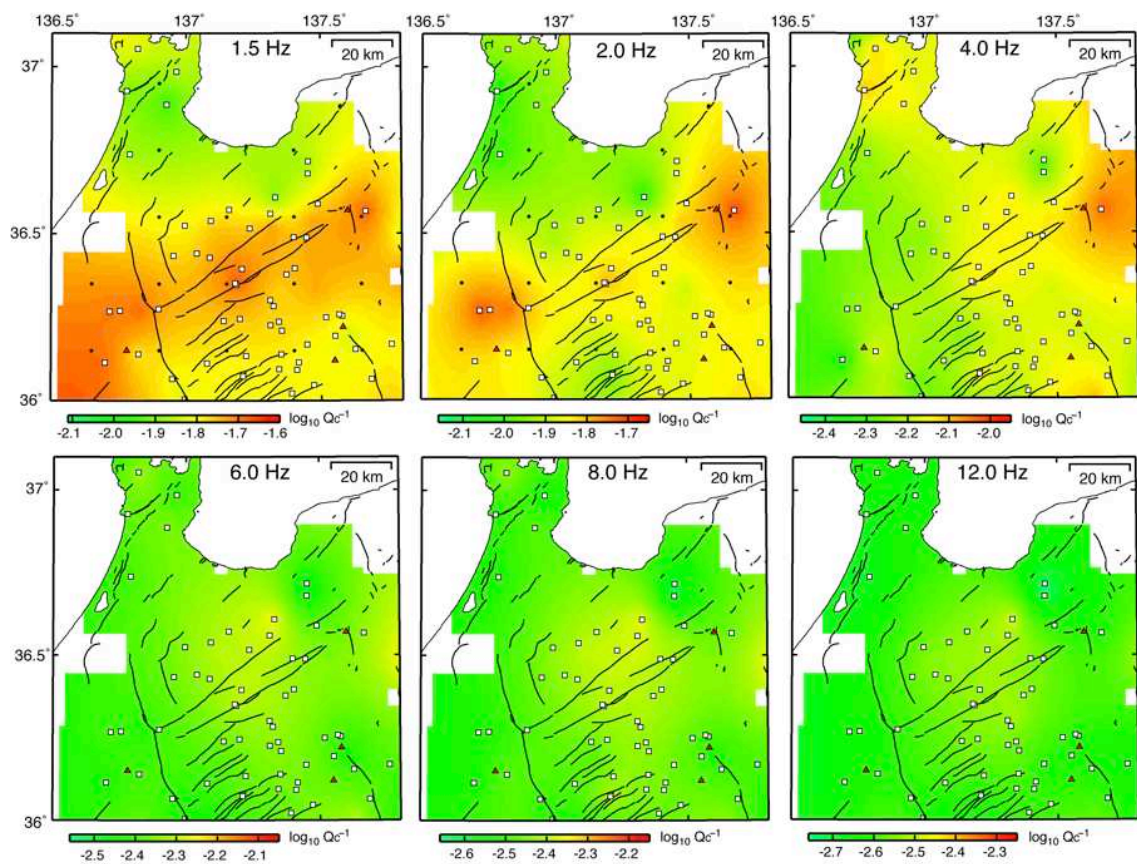


図2 coda Q-1 の空間分布
四角は観測点、実線は第四紀活断層、三角は第四紀活火山を表す。丸は図2において coda Q、 δV_s 、差ひずみ速度のそれぞれの値比較に用いた点を示す。

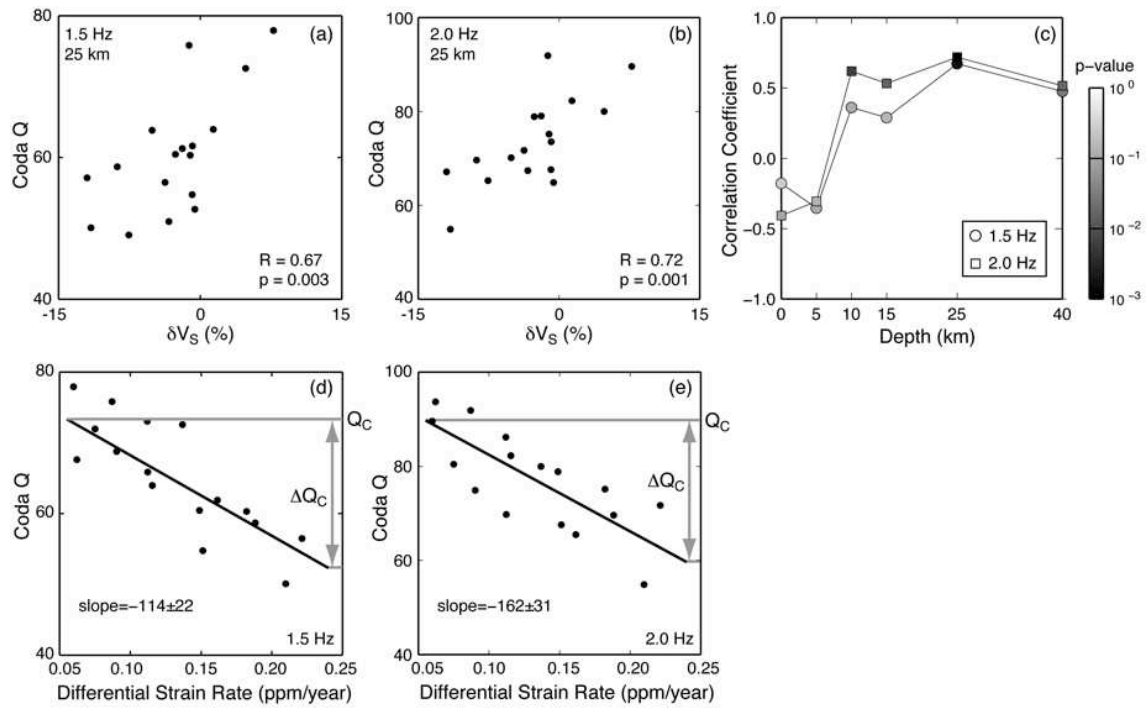


図3 coda Q 値と地震波速度やひずみ速度の関係

(a) 1.5 Hz 帯の coda Q 値と δV_s (Nakajima et al., 2010) の関係。(b) 2.0 Hz 帯の coda Q 値と δV_s (Nakajima et al., 2010) の比較。(c) 各深さにおける δV_s と coda Q 値の相関係数。グレースケールは p 値を表す。(d) 1.5 Hz 帯の coda Q 値と差ひずみ速度 (Sagiya et al., 2000) の関係。(e) 2.0 Hz 帯の coda Q 値と差ひずみ速度 (Sagiya et al., 2000) の関係。

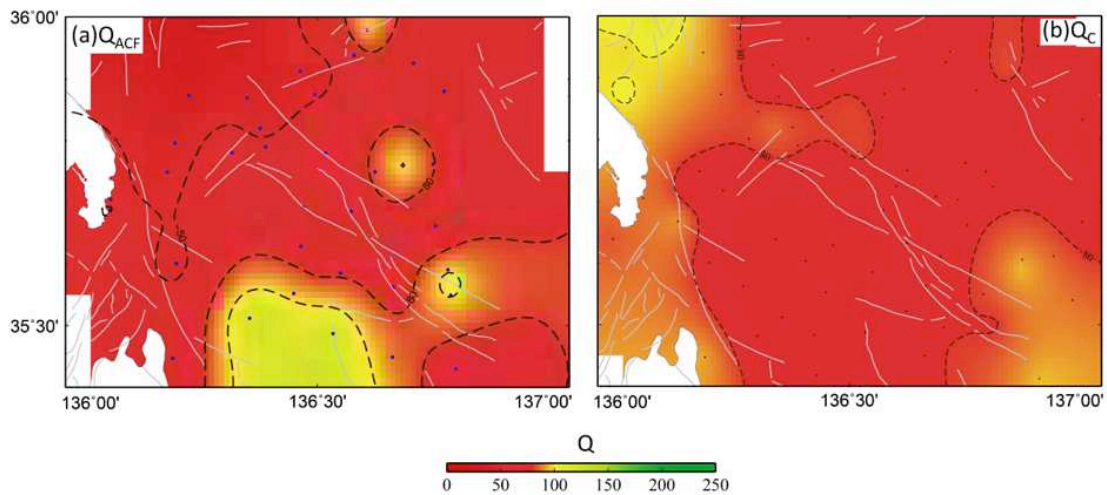


図4 1-2 Hz 帯における散乱構造の空間分布図

(a) Q_{ACF} , (b) Q_C

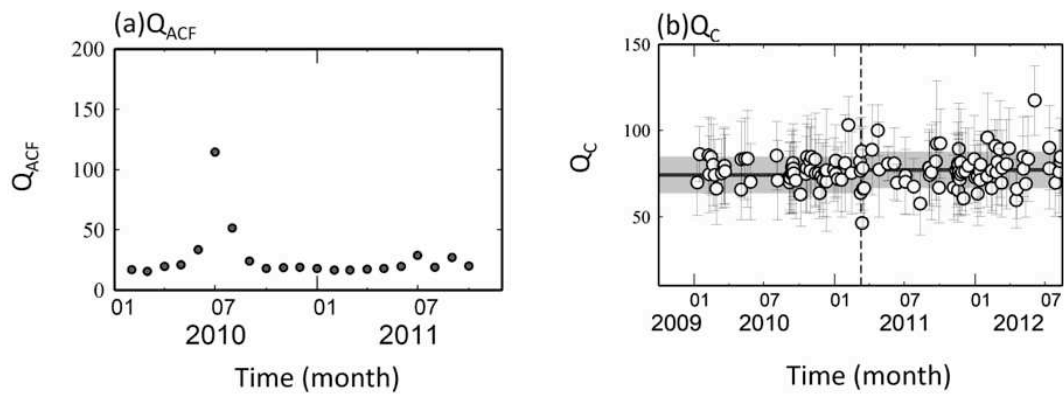


図5 1-2 Hz 帯における散乱構造の時間変化
(a) Q_{ACF} , (b) Q_C

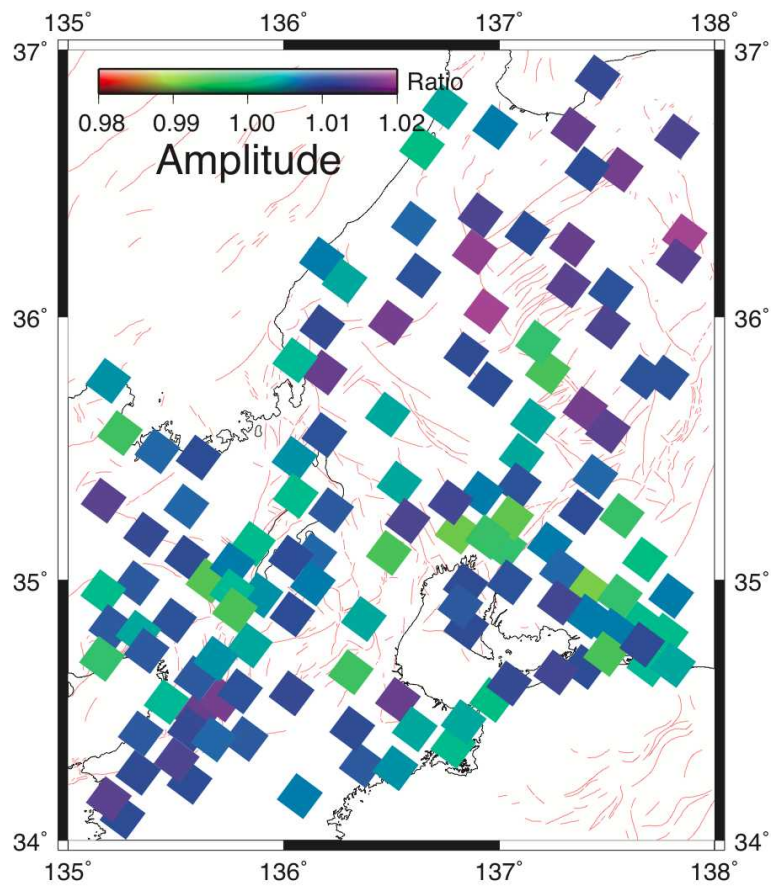


図6 GPS 観測から得られた固体地球潮汐の M2 分潮の理論値との比

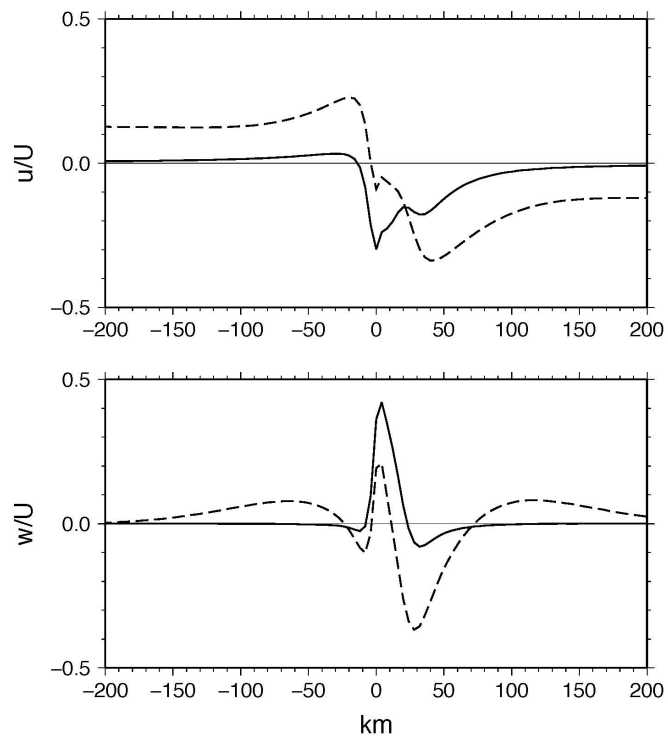


図7 ひずみ集中帯の運動学的モデルによる変形速度分布

(上) 水平変動分布。実線は断層変位に伴う瞬間的な変化。破線は完全緩和解で、一定速度の断層滑りに対する定常解に相当する。(下) 上下変動の分布。