

( 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ダ 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ダ Q の解析を行い、コーダ 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 ) 計画期間中 ( 平成 21 年度 ~ 25 年度 ) の成果の概要 :

##### (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

従来の GPS 観測から、断層を挟んで集中した短縮変形が見られていた糸魚川静岡構造線の神城断層周辺に GPS 観測点を 3 箇所設置し、平成 21 ~ 25 年度にかけて毎年 1 ~ 4 ヶ月程度のキャンペーン観測を実施した。研究開始後 2 年が経過した段階で 2011 年東北地方太平洋沖地震が発生したため、当初予定していた地震間の短縮変形の詳細分布を解明することは困難となったが、外部からの応力変化に対する断層帯の力学応答に注目して観測・解析を実施した。

図 1 は、東北地方太平洋沖地震前と後での地殻変動パターンを比較したものである。いずれも白馬の GEONET 観測点 ( 0266 ) を基準としている。この図から、白馬と戸隠 ( 0983 ) の間は地震前後で変わらず短縮が遅いこと、更埴 ( 0984 ) から大町 ( 0046, R001 ) にかけての地域と白馬との間で顕著な右横ずれのひずみが見られることなどが分かる。また、わずか 1 km 程度しか離れていない白馬村役場 ( HKBA ) とハイランドホテル ( HLND ) の間で短縮変形が生じているように見える。これが事実であれば、神城断層が浅部でクリープしている可能性を示すデータとなるが、地震後の観測期間が短いために測定誤差が大きく、結論を出すには至っていない。

今後、東北地方太平洋沖地震の余効変動が収まるにつれて定常的な地殻変動場が再び見えてくると期待されるが、この余効変動の振る舞いを見ても、白馬周辺と大町付近の挙動は違っているように見えており、合成開口レーダー等空間解像度の高い手法を併用して検討を進める必要がある。

平成 25 年度には、阿寺断層、養老断層および糸魚川静岡構造線断層帯周辺に GPS 観測点を合計 14 か所新設し、観測を開始した。こちらの観測点は今後自助努力で維持してデータを蓄積し、それぞれの断層帯の挙動解明に貢献して行く予定である。

##### (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

跡津川断層帯周辺地域におけるコーダ Q の空間分布を求め、低周波数帯において低コーダ Q 域が跡津川断層帯周辺に広がり、深さ 25km の S 波速度の摂動と良い相関をもつことを示した。また、その空間変化量から同地域の地殻の脆性-延性遷移領域下の応力速度変化量を推定し、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を示唆した。

濃尾地震断層域におけるコーダ Q の空間分布を求めた。同地域では低周波数帯において断層帯に沿うようなコーダ Q の空間変化は見られないが、ひずみ集中帯のトレンド ( 北東-南西方向 ) に低コーダ Q 域が広がる。コーダ Q の空間分布は深さ 25 km の S 波速度の摂動や深さ 10 ~ 15 km の地震活動と良い相関を示す。これらは脆性 - 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という考えで解釈できる。

(c) 潮汐応答による内陸地震発生域の応力状態モニター

キネマティック GPS を用いた潮汐応答の解析に基づいて地殻内の応力状態推定を試みた。北米大陸西部においては、本研究で開発した手法を海洋潮汐応答推定に応用して地球内部構造、特に密度分布の推定に成功し、アセノスフェアに対応する密度異常を検出することができた ( Ito and Simons, 2011 )。一方、日本列島周辺では海洋潮汐の振幅が小さく、信頼度の高い結果を得ることが難しいことが分かった。応力状態をモニターするには、さらに潮汐応答の時間変化を検出することが必要となるため、現状の観測能力では実現は困難と考えられる。

(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

平成 25 年度は、前年度に引き続いてひずみ集中帯のモデルに関する検討を実施した。2004 年中越地震および 2007 年中越沖地震の震源域周辺におけるこれらの地震の発生前後の地殻変動パターンのモデル化を実施し、ひずみ集中帯の生成過程について検討した。2004 年以前には定常的な地殻変動が生じていたと考え、弾性 - 粘弾性の層構造中の断層運動で変形パターンの再現を試みた結果、この地域では、弾性的な上部地殻およびそれを覆う厚い堆積層の大部分を切る断層が定常的に滑って短縮変形を賄っており、観測されたひずみの大部分は非弾性的なものであったと考えられる。また、中越地震や中越沖地震の後には顕著な地殻変動パターンの変化が観測されたが、これは本震で破壊した断層が地震後も滑って短縮変形を賄っていたと解釈された ( 図 2 )。

本研究を通して、内陸地震発生における非弾性変形の寄与の重要性が明らかになった。日本海拡大時に形成された断層が弱面として機能している日本海東縁部は内陸地震の発生帯としてはやや特殊な場所と言えるが、中部日本の横ずれの断層系においても、測地学的なひずみ速度と地質学的なひずみ速度が一致しない事例は数多く見受けられる。今後、島弧地殻の変形を理解する上で、非弾性過程に注目していくことが必要である。

( 8 ) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物 ( 論文・報告書等 ) :

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*, 65, 115-119, 2013.

Hiramatsu, Y., and S. Tsuji, Relation between coda Q, S-wave velocity and seismicity around the Nobi fault zone, central Japan: High stressing rate below the brittle-ductile transition zone, S11A-2295, AGU Fall Meeting, 2013.

Sagiya, T., How elastic is the island arc crust? 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013.

Sagiya, T., Lessons of the 2011 Tohoku-oki earthquake for estimating seismic hazard along plate subduction zones: observation data and modeling perspective, IAG General Assembly, Potsdam, 2013.

Menese, A. and T. Sagiya, Time-dependent crustal deformation associated with the 2004 Chuetsu and the 2007 Chuetsu-oki earthquakes, G41A-0909, AGU Fall Meeting, 2013.

( 9 ) 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 : 鷲谷威 , 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

( 10 ) 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/>

(11) 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

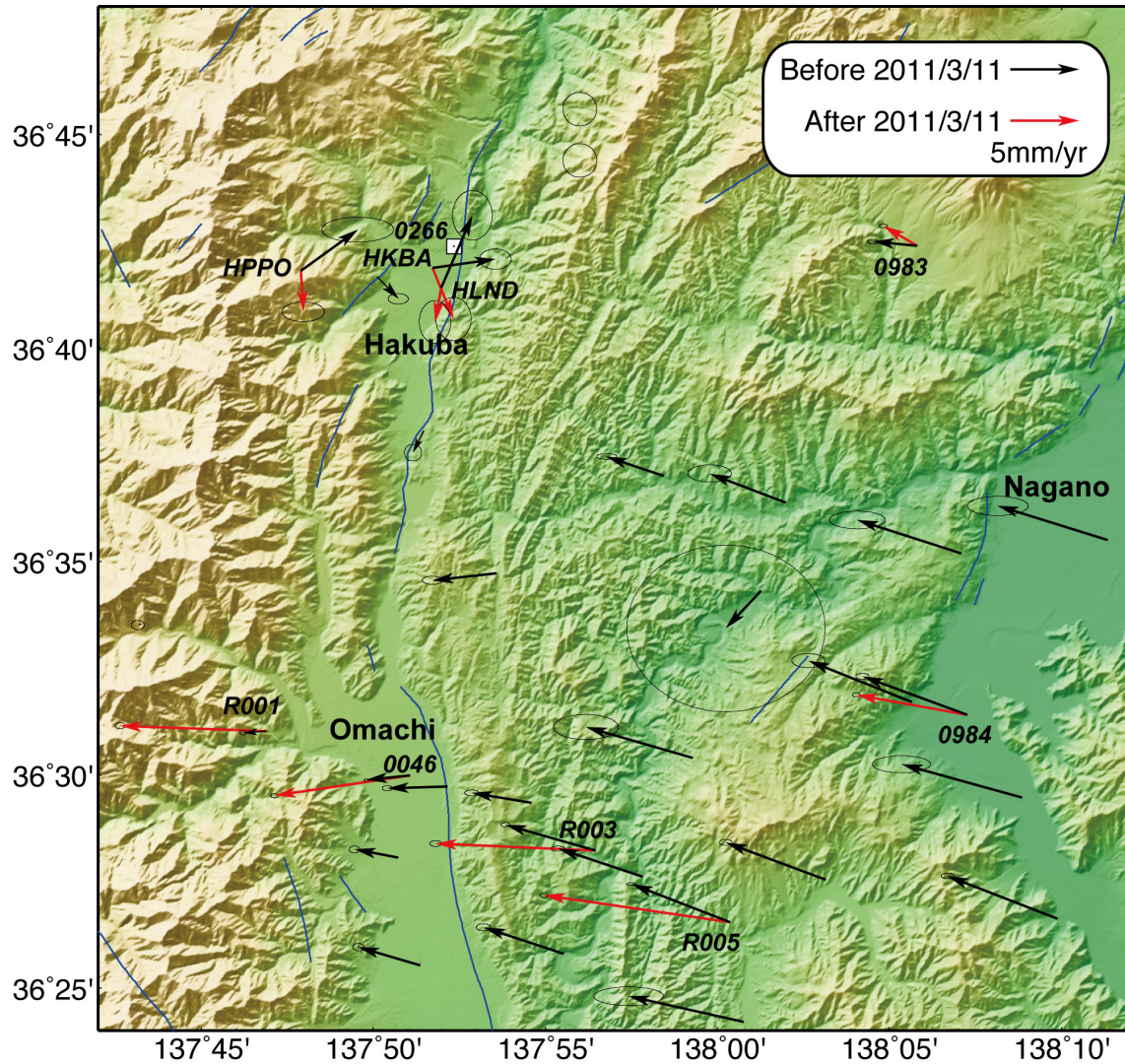


図1 糸魚川-静岡構造線北部周辺における東北地方太平洋沖地震前後の地殻変動速度の比較。  
固定点は白馬電子基準点(0266)、黒矢印は2010年以前、赤矢印は2011年3月以降の変動速度を表す。



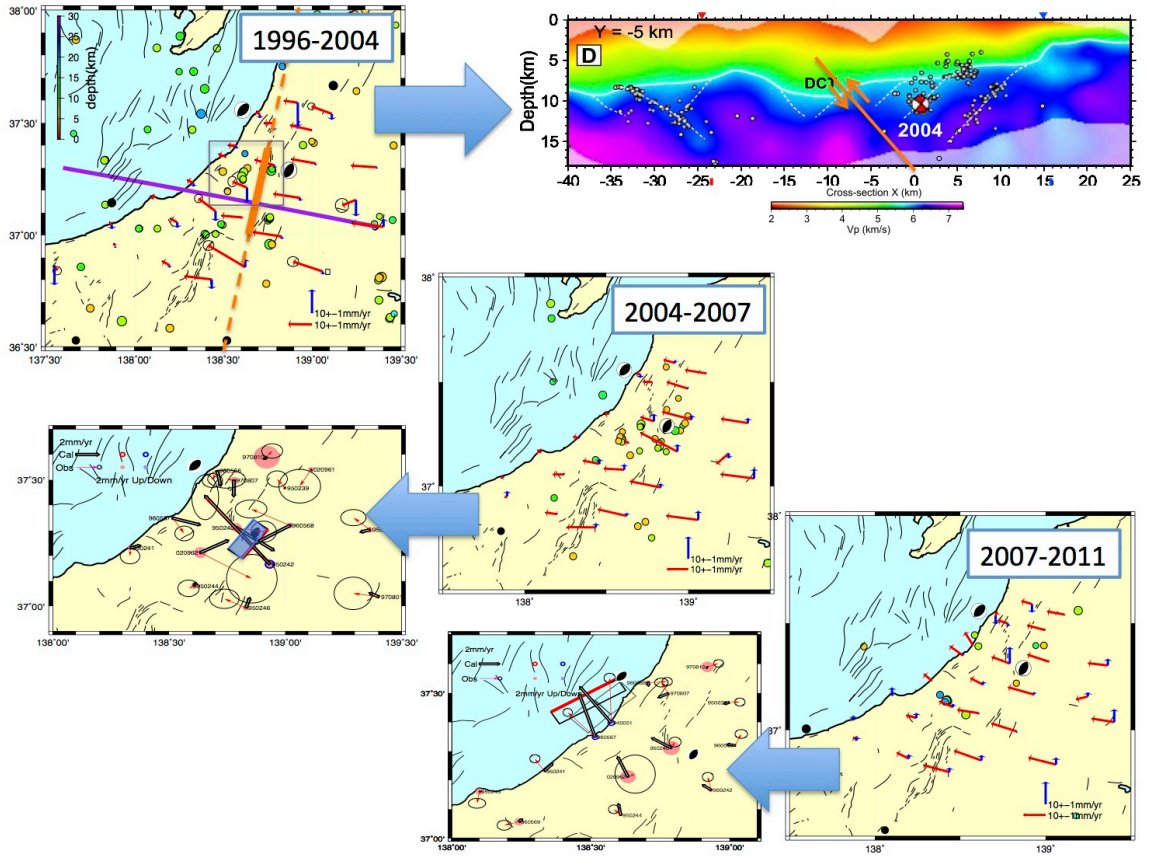


図2 2004年中越地震および2007年中越沖地震前後の地殻変動パターンの変化

1996年～2011年の期間を2つの地震で3つの期間に区切り、地震直後の余効変動を除いた定常的な変化が見られる期間について、両津(950232)に対する速度ベクトル分布と、各時期の変動を説明するモデルを示す。2004年以前の地殻変動は、粘弾性層の上に乗る弾性地殻内の2次元的な断層の衝上運動で説明され、2004年以降のパターンは2004年以前のパターンに対する摂動分として扱い、半無限弾性体中の断層モデルを推定した。