

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

内陸地震発生過程の解明

(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

イ．上部マントルとマグマの発生場

ウ．広域の地殻構造と地殻流体の分布

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

ア．アスペリティの実体

(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

(4) 地震発生・火山噴火素過程

イ．地殻・上部マントルの物性の環境依存性

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究においては，東北地方内陸部を主な対象とし，地震・地殻変動観測の稠密化・解析手法の高精度化により，地殻流体の分布・3次元的な断層の形態・アスペリティまたは非アスペリティの可能性を持つ領域の分布やひずみ・応力分布を高い分解能で明らかにする．更にそれらを説明するモデルを構築することで，ひずみ集中帯の原因を明らかにするとともに，内陸地震に対するアスペリティモデルの検証と拡張を試みる．このようにして，これまでの研究成果から得られた内陸地震発生モデルの検証・高度化を行い，上記方針を実現化し，地震・火山噴火予知研究上不可欠である，内陸地震の発生過程の理解を深めることを目的とする．

東北地方脊梁山地や宮城県北部等のひずみ集中帯において臨時観測を行い，地下の構造を高分解能で推定する．併せて，稠密 GPS 観測を実施して詳細なひずみの時空間分布を推定し，ひずみ蓄積過程

のモデリングの基礎資料とする。さらに、ボーリングコア資料やメカニズム解・S波スプリテッティング等の情報から応力の推定を行う。

得られた結果から、火山を含む領域での流体の分布・3次元的な断層の形態・アスペリティまたは非アスペリティの可能性を持つ領域の分布の推定を行い、これを元に、ひずみ・応力分布を説明するモデルを構築し、内陸の地震発生に至る過程をより詳細に解明する。

これまでの研究においては、主に東北地方脊梁山地ひずみ集中帯を対象とする理解・モデル化がされているが、本研究ではその成果を踏まえ、地下構造、ひずみ・応力分布の高分解能・高精度化を図るとともに、東北地方前弧側の東西短縮の大きい領域（宮城県北部）や日本海沿岸のひずみ集中帯についても研究を進める、それらの比較により、ひずみ集中帯及び地震発生過程モデルの一般化・高度化を図るとともに、東北日本沈み込み帯の前弧側から日本海東縁にいたる陸域全体にわたる地殻変形過程の解明をも目指す。

これらの研究を下記のような研究項目により実施する。

1. 稠密 GPS 観測によるひずみ集中帯の詳細なひずみ分布の推定。
2. 稠密地震観測による、地震波速度構造・震源分布の高精度推定。
3. ボーリングコア試料を用いた地殻応力測定、及び稠密地震観測による応力テンソルインバージョン・地震波異方性による応力の時空間変化の推定。
4. 上記の1～3の結果に基づく、内陸地震のひずみ集中機構・地震発生過程のモデル化。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

本年度(21年度)は、特に、昨年(2008年)に発生した岩手・宮城内陸地震に関する研究観測を進める。

1. 稠密 GPS 観測によるひずみ集中帯の詳細なひずみ分布の推定。

山形県新庄市から宮城県南三陸町に至る東西測線を設定し、新しい11点のGPS連続観測点と既存のGPS連続観測点からなる稠密観測網を構築する。この測線においては、既往の研究により、詳細な地殻・上部マントル構造が分かっており、また、奥羽脊梁山地のひずみ集中帯とその前弧域にも東西短縮の大きい領域が存在することが分かっている。前者では、1996年に鬼首地震が、後者では、1900年、1962年、2003年の宮城県北部地震が発生するなど、地震活動も活発な地域であり、2008年岩手・宮城内陸地震の震源域南部でもある。このような特徴的な地域において詳細なひずみ分布を明らかにする。また、近年大地震が発生していない地域との比較を行うため、2000年に国土地理院が仙台市内に設置した稠密観測網で得られるデータを用いて、国土地理院と共同研究を行う。

2. 稠密地震観測による、地震波速度構造・震源分布の高精度推定。

2008年岩手・宮城内陸地震の観測データの整理・解析を継続し、震源域及びその周辺域の地震波速度構造を求める。特に断層に対応する構造・地殻流体分布に関する構造・アスペリティ領域/非アスペリティ領域に対応する構造についての検討を行う。

また、余震活動の時空間変化の把握や構造推定の精度向上のために、2008年岩手・宮城内陸地震震源域及びその周囲に臨時地震観測点を設置する。

3. ボーリングコア試料を用いた地殻応力測定、及び稠密地震観測による応力テンソルインバージョン・地震波異方性による応力の時空間変化の推定。

既存のボーリングコア試料を収集し、その試料を用いて地殻応力の測定を行う。また、2008年岩手・宮城内陸地震の稠密余震観測データを利用し、震源域及びその周囲での起震応力場の空間変化の推定を行う。

4. 上記の1～3の結果に基づく、内陸地震のひずみ集中機構・地震発生過程のモデル化。

2008年岩手・宮城内陸地震について、上記の観測研究結果及び庄内地域などの隣接する他の領域での研究結果を相互比較検討し、同地震の発生機構の理解を進める。特にこの領域における地震発生に至るひずみ蓄積・解放機構について検討を行う。

平成 22 年度以降は平成 21 年度に設置・整備した GPS・地震観測点などにより順次蓄積されたデータを使用し、対象領域における同様の研究を進める。

(7) 平成 24 年度成果の概要：

1) PS-InSAR 時系列解析による 2008 年岩手・宮城内陸地震後余効変動(大下・他, 2012a, 2012b, 2012c, 大下, 2012)

2008 年岩手・宮城内陸地震震源域の ALOS/PALSAR データに PS-InSAR (Permanent Scatterer, 恒久散乱体) 時系列解析を適用することによって、震源域周辺の地震後余効変動を時空間的に詳細に捉えた。H23 年度に実施した InSAR SBAS 法による解析によって震源域周辺の大局的な余効変動場の特徴は明らかになっていたが、特に震源断層上盤側の変位場は山間部の低干渉領域にあたりその詳細な地殻変動場は不明であった。そこで PS-InSAR 時系列解析を適用したところ、断層上盤側に 2 箇所、明瞭な短波長の変動域(雨田森及び高松岳付近) が存在することが明らかになった。雨田森付近の短波長変動は非地震性の断層滑り、高松岳付近の変動は火山性の膨張源を仮定することでそれぞれ定性的に説明が可能であることが分かった。

2) 東北地方中央部の電気伝導度構造(市来・他, 2012, Ichiki et al., 2012)

山形県北部・宮城県北部・秋田県南部・岩手県南部の MT データ周期 100-7000 秒の位相テンソル解析により電気伝導度構造の複雑さを解析したところ、栗駒・鳴子や鳥海山の火山地帯と庄内平野での電磁波の伝搬方向が非常に複雑になっていることが分かった。一方秋田・岩手県南部では電気伝導度構造が単純な 2 次元的な傾向を示すような解析結果を得られ、山形・宮城県北部の複雑な構造とは非常に対照的である。

3) 東北地方中央部の地震波速度構造

3 - 1) 日本海沿岸地域における地震波速度構造と地震活動(岡田・他, 2012)

本研究課題により設置した地震観測点に加え、日本海沿岸の庄内平野東縁断層帯及びその周辺の臨時観測、2011 年東北地方太平洋沖地震合同余震 観測や鳴子火山周辺の稠密地震観測など、周辺の定常観測点・臨時観測点のデータを使用し、震源決定及び地震波速度構造の推定を行った。震源決定の結果、この領域の震源は、全体として、気象庁一元化震源に比べ数 km 程度浅くなる傾向にある。地震波速度トモグラフィによる速度構造からは、断層周辺域の地表付近から地殻浅部に低速度域が見られ、リフト期に形成された堆積盆を見ていると考えられる。また、地殻中深部にも地震波速度低速度域が見られる。庄内平野東縁断層帯付近では、断層の地表トレス付近から東に傾斜した低速度帯として見ることができる。震源の多くはこれらの低速度帯の周囲に分布している。一方、2011 年東北地方太平洋沖地震後にもいくつかの領域で地震活動の活発化が見られている。例えば、山形県中央部の月山付近では、5km 程度の広がりを持つクラスターが見られる。このクラスターにおいては、時間に伴う地震活動域の拡大が見られる。このクラスターの深部に地震波速度低速度域が分布することを考えると、この時間発展は流体の拡散によるものとして説明することができる。

3 - 2) 日本海沿岸地域における常時微動トモグラフィ(米川, 2012)

東北地方中央部日本海沿岸地域において、常時微動トモグラフィにより地殻浅部の地震波速度構造を推定した。その結果、秋田県沿岸に厚さ 5km を超えると推定される堆積層と思われる低速度域の分布を推定した。また、鳥海山直下の深さ 3km 程度に、冷却・固化したマグマと思われる高速度域を確認した。

3 - 3) 岩手・宮城内陸地震震源域における地震波速度構造と地震活動(Okada et al., 2012)

合同余震観測グループによる稠密臨時地震観測点のデータを利用し、2008 年岩手宮城内陸地震の前震・本震・余震分布と周辺の詳細な速度構造について求めた。1) 本震震源周辺では余震は西に傾斜した分布と東に傾斜した分布が交差したような分布となる。その内本震直後の余震分布を見ると西に傾斜した余震の並びのほうが顕著であることから、主な断層面は西に傾斜したものであると考えられる。2) 直前の前震は本震の震源付近に位置する。1999 年頃からの先駆的活動域は西に傾斜した余震の並びの浅部に対応する。3) 本震震源周辺では、西に傾斜した余震の並びに対し、上盤側は低速度、

下盤側は高速度となる．この傾向は 2003 年宮城県北部地震などのインバージョンテクトニクスによる
と考える地震の特徴と一致する．地震時に大きく滑った領域は高速度域に対応する．4) 震源域の深
部には地震波速度低速度域が分布する．この低速度域の震源域の走向方向の広がり
は震源域の広がり
に対応することから，地殻下部での弱い領域の広がりが，地殻上部での震源域の広がりを規定してい
た可能性が考えられる．

4) 東北地方の応力場とその原因 (1444, 1214 参照, Yoshida et al., 2013)

東北地方の東西 (あるいは西北西 - 東南東) 圧縮の応力場は，脊梁から背弧側のみに見られること
が分かった．一方，前弧域では，島弧方向に変化があり，北上山地と阿武隈山地では，1 軸がプレ
ート収束方向を向いていない傾向にある．従って，内陸域の東西圧縮の応力場は，太平洋プレートの沈
み込みでつくられるのではなく，北米プレートとユーラシアプレートの衝突に起因すると考えられる．

5) 2011 年東北地方太平洋沖地震による東北日本弧における地殻の応答シミュレーション (芝崎)

2011 年東北地方太平洋沖地震による東北日本弧における地殻の応答を調べるために，これまで行っ
てきた不均質レオロジーを考慮した短縮変形のシミュレーションに対して，瞬間的に伸長させるモデ
ル化を行った．生じるひずみの変化は不均質で，背弧側で大きいことが示された．

(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) :

Okada T., Umino, T., Hasegawa A., and Group for the aftershock observations of the Iwate-Miyagi Nairiku
Earthquake in 2008, 2012, Hypocenter distribution and heterogeneous seismic velocity structure in
and around the focal area of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake, NE Japan Possible seismo-
logical evidence for a fluid driven compressional inversion earthquake, Earth Planets Space, 64, doi:
10.5047/eps.2012.03.005.

岡田知己・米川真紀・吉田圭佑・高木涼太・松澤暢・2011 年東北地方太平洋沖地震合同余震観測グル
ープ, 2012, 東北地方西部地域の地殻構造と地震活動, 日本地震学会 2012 年大会, B12-04.

大下祐也, 2012, 干渉 SAR 時系列解析による 2008 年岩手・宮城内陸地震の余効変動に関する研究,
東北大学修士論文.

大下祐也, 太田雄策, 2012, InSAR 時系列解析による 2008 年岩手・宮城内陸地震震源域における地
震後非地震性すべりの検出とその特徴, -京都大学防災研究所一般研究集会「SAR 研究の新時代
に向けて」.

大下祐也, 太田雄策, 三浦哲, 出町知嗣, 立花憲司, 海野徳仁, 2012, PS-InSAR 時系列解析から
求めた 2008 年岩手・宮城内陸地震後の地殻変動, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会.

大下祐也・太田雄策・海野徳仁・三浦哲, 2012, PS-InSAR 時系列解析による 2008 年岩手・宮城内陸
地震後の長期的非正常地殻変動, 日本地震学会 2012 年度秋季大会.

芝崎文一郎, 2013, 不均質レオロジー構造を考慮した島弧地殻における断層形成と応力蓄積過程のモ
デル化, 地質学雑誌, 印刷中.

Shibazaki, B., 2013, Tectonic loading processes affected by volcanoes for the 2008 Iwate-Miyagi intraplate
earthquake in northeastern Japan, Journal of Geodynamics, in press.

米川真紀, 2012, 東北地方日本海沿岸地域における常時微動トモグラフィ, 東北大学修士論文.

Yoshida, K., T. Okada, and A. Hasegawa, 2013, Crustal stress field formed by plate convergence and topog-
raphy in northeastern Japan, Geophys. Res. Lett., Submitted.

(9) 平成 25 年度実施計画の概要 :

平成 25 年度は, 平成 21 年度に設置・整備した GPS・地震観測点などにより順次蓄積されたデータ
を使用し, 対象領域における同様の研究を進める．得られた結果を総合し, 東北地方中央部のひずみ
集中機構・内陸地震発生に至る過程について検討を行う．

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

矢部康男・中島淳一・内田直希・岡田知己・他 計8名程度
他機関との共同研究の有無：有
東京大学地震研究所 三浦哲、建築研究所 芝崎文一郎

(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：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター
電話：022-225-1950
e-mail：zisin-yoti@aob.gp.tohoku.ac.jp
URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：岡田知己
所属：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

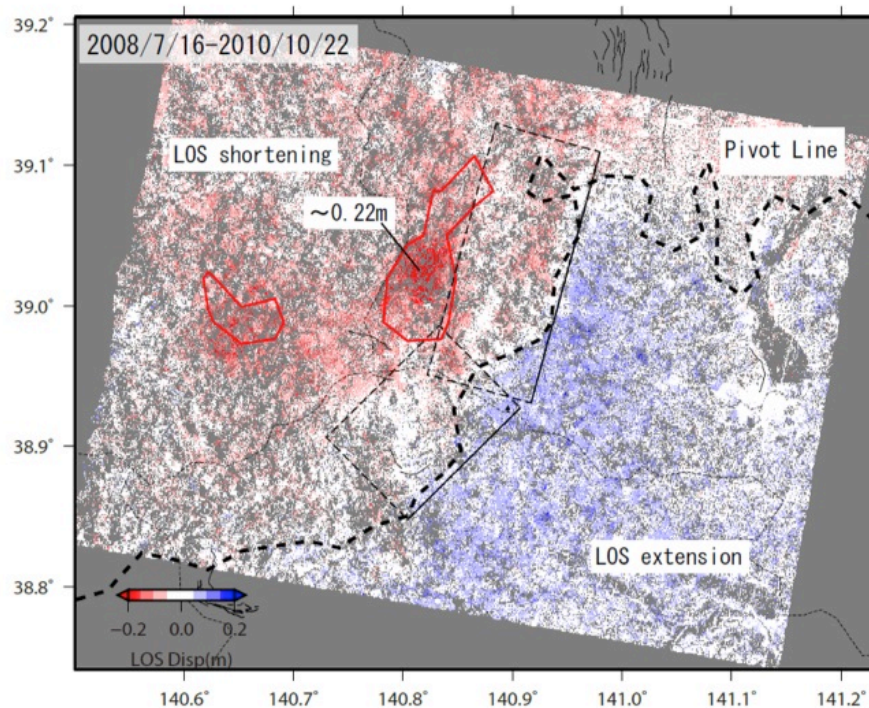
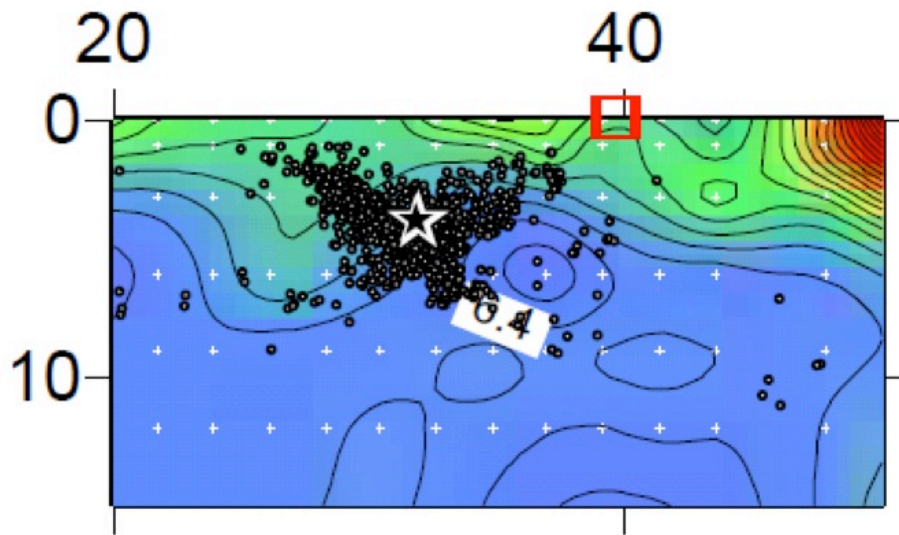


図1 .

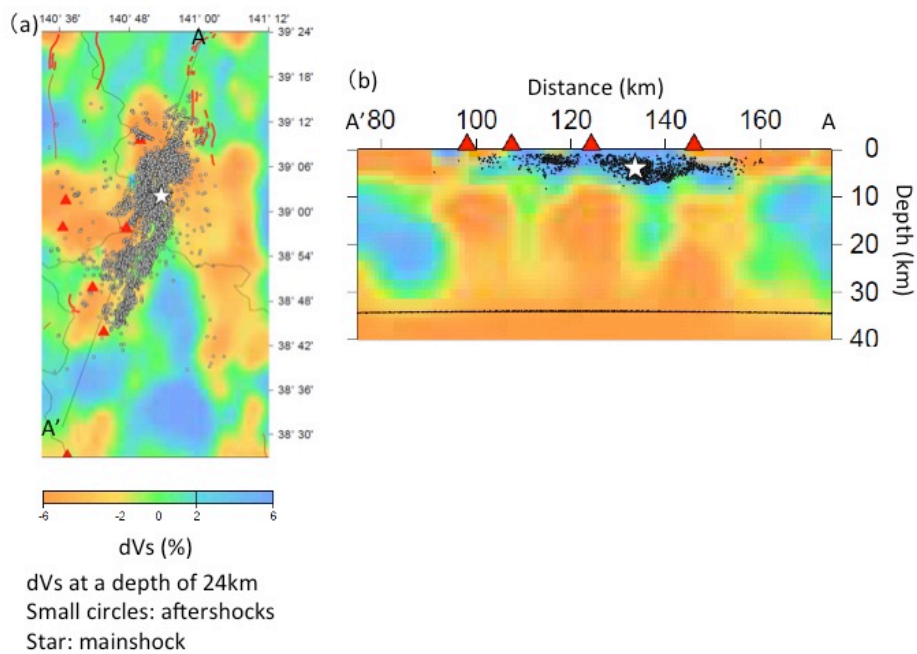
PS-InSAR 時系列解析によって得られた 2008 年 7 月 16 日から 2010 年 10 月 22 日までの累積変位 (南行軌道) . LOS 変位 0.1m ごとに等値線を引き、伸長、短縮の境界を太破線で示す . また、県境を細破線、活断層を黒線で示す . 断層上盤側に 2 か所顕著な LOS 短縮域が確認できる .



2

図 2 .

岩手・宮城内陸地震震源を通る P 波速度の東西鉛直断面図．黒 は前震を，白 は本震を，小 は余震を示す．赤 は地表変状の位置を示す．(Okada et al., 2012).



3

図 3 .

岩手・宮城内陸地震震源域周辺の S 波速度偏差分布．(a) 深さ 24km における平面図．白 は本震を，小 は余震を示す．赤 は第四紀火山の位置を示す．(b) 図 (a) 中 A-A' に沿う鉛直断面図．深さ 35km 付近の線はモホ面を示す．(Okada et al., 2012).