

2008年岩手宮城内陸地震による地殻変動と 滑り分布インバージョン解析

深畑幸俊

要 旨

2008年岩手宮城内陸地震について、その発生した原因と顕著な特徴についてまとめ、滑り分布を推定した。この地震は、活火山近傍で発生したことを除けば、ほぼ東西方向の圧縮軸を持ち火山フロント付近で発生するという、ある意味で東北日本における典型的な内陸地震と言える。観測史上最大の加速度が記録され、多くの地滑りが発生し、緊急地震速報の正式運用開始以降最初の本格的な被害地震となった。最近著者らによって開発された ABIC に基づく弱非線形インバージョン手法を用いて SAR の地殻変動データからこの地震の滑り分布を求めた。4 km 以浅に 8 m を越える滑りが推定され、この地域が火山地域で温度が高いことと調和的な結果が得られた。

キーワード：2008年岩手宮城内陸地震、インバージョン解析、SAR、震源過程、滑り分布、東西圧縮

1. はじめに

2008年6月14日午前8時43分頃に、岩手・宮城・秋田の県境付近で2008年岩手宮城内陸地震が発生した。気象庁によると、最大震度は6強、北海道から甲信越に至る広い範囲で揺れが感じられ、震源の深さは約8 km、マグニチュードは7.2で、ほぼ東西の方向に圧縮軸を持つ逆断層型の地震だった。Fig. 1に、地形、活断層、活火山分布と共に震源の位置を示す。震源のすぐ近くの活火山は栗駒山である。

岩手宮城内陸地震の震源や断層面は山岳地域に位置したため、地震の規模や激しさに比して人的・物的被害は比較的になかったが、荒砥沢の大崩壊を初めとする地滑りが多数発生し山岳地域の道路が寸断されたことに加え、地滑りに誘発された土石流によって駒ノ湯温泉の旅館が流されるなど死者行方不明は合わせて23人に達した。本稿では、まず、この地震の発生原因を理解するためのテクトニクな背景についてかいつまんで説明した後、巨大土石流などこの地震の特徴として3つのトピックを取り上げる。そして後半では、この地震がどのような滑り分布を持つ地震だったのか、その数学的な推定手法と共に紹介する。

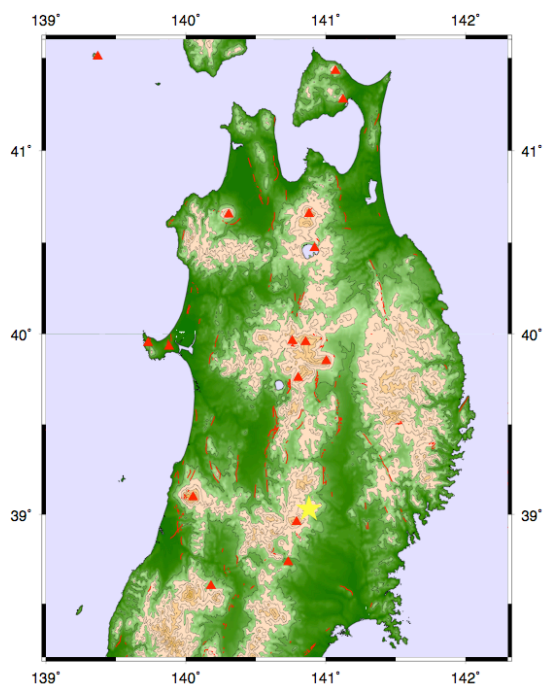


Fig. 1 Location of the epicenter (star) of 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake. Topography (GSI, 2002) is also shown with active volcanoes (triangles; Sibert and Simkin, 2002) and active faults (red lines; Research Group for Active Faults of Japan, 1980).

2. 東北日本の東西圧縮場と熱的構造

本章では、2008年岩手宮城内陸地震の発生に至る背景について、簡単に考えてみたい。

地震は、地殻内に溜まった応力を解放するために発生する。では、なぜ応力が溜まるのかというと、地震の大半がプレート境界領域に局在していることなどから、プレート運動が主因であることには疑いの余地がない。

東北日本では、地震データの解析（例えば、寺川・松浦，2009）や活断層の走向と運動方向などから、ほぼ東西の方向に強い圧縮応力がかかっていると推測されている。2008年岩手宮城内陸地震も東南東-西北西に圧縮軸を持ち、この推測と調和的だった。それでは、なぜ東北日本は東西圧縮場となっているのが問題となる。ちなみに、東北日本以西の本州でも基本的に東西圧縮であり、その強度は西に行くに従って次第に弱くなる傾向を示す。

東北日本は、太平洋プレートが北米（もしくはユーラシア）プレートの下に沈み込んでいる収束型のプレート境界に位置し、沈み込む太平洋プレートが東北地方を押すことによって、東西方向の圧縮場が形成されると考えられることが多かった。しかし、その考えは実は単純に過ぎる。例えば、世界には数多くの沈み込み型のプレート境界があるが、応力場が圧縮的なのはその半分に過ぎない。日本列島を考えてみても、マリアナや琉球弧では、圧縮とは逆に背弧海盆の拡大が起こっており、強い伸張場となっている。また、太平洋プレートは、ここ4300万年間ほぼ一定の運動をしていると考えられるが、日本海の拡大（約1500万年前）以降、東北日本の応力場は、弱伸張場（～約800万年前）、弱圧縮場（～約300万年前）、強圧縮場（～現在）と大きく変遷していることが知られている（例えば、鎮西・小疇，1995）。

東北日本の東西圧縮場の原因として最近になって提出された有力な説は、房総沖に存在する太平洋プレート・フィリピン海プレート・ユーラシアプレートの三重会合点が、プレート運動に対し幾何学的に不安定なため、各プレート間の収束運動に伴ってこの三重会合点も北西に移動しなければ辻褄が合わないというものである。三重会合点の移動が起これば、日本海溝から日本海（もしくはユーラシア大陸）までの距離が短くならざるを得ないので、東北日本で質量の過剰が生じて圧縮場になる（高橋，2006）。この説の魅力的な点は、本州を西に行くに従い東西圧縮の応力が漸減することや、若干の仮定を置くだけで前述の東北日本の応力場の変遷を見事に説明できることで、三重会合点の移動がプレートテクトニクスの幾何学に基づき必然的に生じることからも、

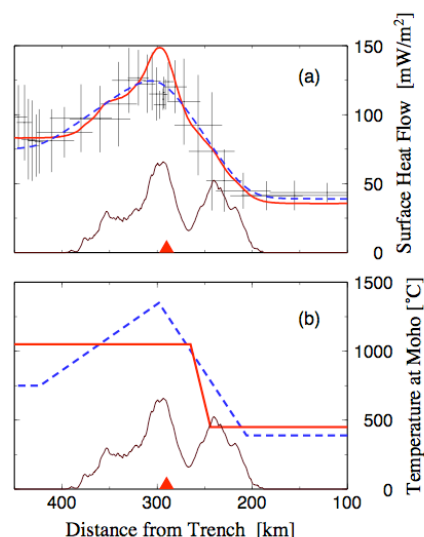


Fig. 2 (a) Surface heat flow data (crosses; Yamano 1995) together with theoretical calculation (red and blue lines) of heat flow across northeastern Japan. Surface heat flow data are taken by five-point running averages. The effects of erosion and sedimentation are considered for the red line. The cross section of topography and the location of the volcanic front (red triangle) are also shown. (b) Estimated thermal structure at the depth of 30 km. Modified from Fukahata and Matsu'ura (2001).

非常に蓋然性が高いと言える。

地震発生を考える上で次なる問題は、そのような東西圧縮応力場でどこに応力蓄積の集中が起こり易いかということである。東北地方では奥羽山脈と火山フロントの位置がほぼ一致しているが、そこでは地殻内の温度が周囲よりも高くなっている（Yamano, 1995）。特に、火山フロントの海溝側（東側）と比べた場合、その差は顕著である。Fig. 2に、地殻熱流量データから侵食や堆積の効果も加味して推定した東北地方を横断する方向の熱構造を示す（Fukahata and Matsu'ura, 2001）。

深さ約15 km以内の上部地殻では、主に地震つまり脆性破壊によって溜まった応力を解放する。一方、およそ15 km以深の下部地殻では、主に塑性的な流動によって応力を解放していると考えられる。ところで、そのように塑性流動をする物体で温度構造に違いがある時には、高温部の方が相対的に柔らかいため、通常そこに変形が集中する。下部地殻の変形が進行すると、その上部の地殻に歪みと応力が蓄積すると考えるのは自然であろう。実際、Fig. 1に示したように、活断層は火山フロント付近で最も密度が高く、次いで出羽丘陵などその背弧側に多く分布している。地殻の温度が低い前弧側の北上山地などでは、

活断層は少なくなっている。

2008年岩手宮城内陸地震は、ほぼ東西の圧縮軸を持つことに加え、震源域が火山フロント付近に位置しており、そういった意味で、東北日本で発生する典型的な内陸地震と言える。しかし、より細かく見ると、活火山のごく周辺では、南北方向に連なる活断層が途切れがちになっていることが見て取れる (Fig. 1)。この観察事実は、活火山周辺では火山フロントの中でも特に温度が高いために、上部地殻においても脆性破壊によってではなくむしろ塑性流動によって多くの応力を解放するためであると考えられる。そのように、活断層が分布することが希な活火山のごく近傍で起こった地震という意味で、今回の地震はやや変わった、予期せぬ地震であったと言えることができる。この問題については、更に4章で、求めたこの地震の滑り分布を基に議論する。

3. 岩手宮城内陸地震の顕著な特徴

本章では、岩手宮城内陸地震で観測・観察された顕著な特徴について述べる。

3.1 観測史上最大の加速度

まず特筆すべきは、鉛直成分で3866 gal、3成分の合計で実に4 Gを越える観測史上最大の加速度が、防災科学技術研究所の強震計ネットワーク (KiK-net) の観測点で観測されたことである。つまり、この地震は、観測された加速度の世界記録を塗り替えたのである。なお、地球表面における重力加速度は、およそ1 G = 980 galである。

このように非常に大きな加速度が観測された理由としては、地震自体が大きく (マグニチュード7.2) 滑りが浅い領域に局在する地震だったことに加え、当該観測点 (IWTH25) が、地震破壊の進展方向である震源の南側に位置していたこと、および地震動が大きくなる上盤側に位置していたことが強く寄与しているものと考えられる。

しかし、“観測史上最大”の加速度が、“史上最大”を意味する訳では決してない。もっと規模や被害のずっと大きな地震も過去に幾度も起きている。今回は、実際に加速度が大きかったということもさることながら、強震計のネットワークが整備されて観測点が比較的密に分布しその観測点のすぐ近傍で地震が発生したこと、更に強震計自体が非常に大きな加速度が加わっても振り切れてしまわないように改良されていたことが、観測史上最大の加速度となった陰の原因と考えられる (Yamada et al., 2009)。



Fig. 3 Gigantic land slide at Aratozawa dam. After Chigira (2008).

3.2 巨大地滑り

岩手宮城内陸地震のもう一つの重要な特徴は、大規模な地滑りが多数発生したことである。その最も大きなものはTVなどでも繰り返し放映され有名となった荒砥沢ダムの巨大地滑りである (Fig. 3)。宮城県土木部 (2008) の見積もりによれば、移動した土塊は、幅810m×長さ1400m×厚さ55m、体積にして4500万 m³で、およそ東京ドーム36杯分にあたる。この地滑りがダムに流れ込むことにより、ダムの水位は2.3m上昇した。

駒ノ湯温泉では、地滑りが引き金となって発生した土石流が4~5 kmほど流れ下って押し寄せ温泉旅館が飲み込まれ、多数の死者行方不明が出るという被害も発生した。

このように地滑りが多発した原因は、前述のように加速度の大きな地震であったことに加え、地震が山岳地域の急傾斜地で発生したこと、火山フロントに近く固着度の弱い第四紀の火山性堆積物が比較的広く分布していたことなどが挙げられる。また、雪解け期で山地斜面に豊富な水分が含まれていたこと、加えて荒砥沢ダムではダムの湛水により地下水位が大きく上昇したことも重要な原因の一つと言えるだろう。

3.3 緊急地震速報

2007年10月1日から緊急地震速報の正式な運用が開始された。地震の際には、まず初期微動 (P波) が感じられた後、揺れの大きな主要動 (S波) が到達する。S波速度は地殻浅部で大ざっぱに言って3 km/s程度であり、P波速度は通常S波速度の約1.7倍である。つまり、震源から10 km離れた地点では、P波とS波の時間差は1.5秒程度となる。この僅かな時間差を利用して、強いS波が来る前に、P波の観測からそれを予測し注意を呼びかけるというのが、緊



Fig. 4 Reaction of mass communication to the early warning system. After Yamada (2008).

急地震速報の行っていることである。

岩手宮城内陸地震は、緊急地震速報の正式運用開始以降、最初の本格的な被害地震となった。

緊急地震速報に対するマスコミの主な対応をまとめたものがFig. 4である (Yamada, 2008)。予想に難くないが、少なくとも見出しに関してはかなり辛口の論評となっている。確かに、震源地に近く最も揺れの強かった奥州市 (震度6強) では全く間に合わず、同じく震度6強だった栗原市では、S波到達と緊急地震速報の発令がほぼ同時だった。しかし、例えば震度5強を観測した仙台市では10秒以上も前に発令されており、明らかに有用と言えるレベルに達している。正式運用開始以降わずか半年で、これだけの成果を挙げたのは立派なことと言えるだろう。内陸で発生する直下型地震の場合に、通常最も揺れの強い震源地近傍で緊急地震速報が間に合わないのは、この手法の原理から考えて止むを得ないところがある。しかし、新たに登場した技術の欠点をあげつらうよりもむしろ、如何にしてこの技術を有効に用いるか考えるべきであろう。適切に利用すれば、被害の軽減に大いに役立つものと期待される。

4. 地震滑り分布の推定

4.1 SARデータ

日本の人工衛星「だいち」が2006年1月に打ち上げられた。「だいち」にはLバンドのPALSARが搭載されており、日本のように植生の豊かな地域でも地表面の地殻変動を面的に捉えられるという特長を持つ。

Fig. 5は、防災研地震予知研究センターの福島洋氏によって作成されたSARデータの干渉画像である (Fukushima, 2008)。2008年岩手宮城内陸地震をまたぐ

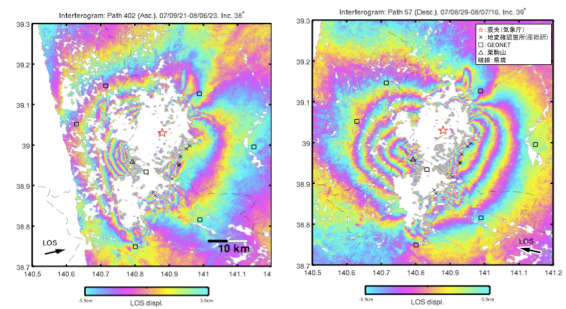


Fig. 5 InSAR data of ascending path 402 (left) and descending path 057 (right) for the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, made by Fukushima (2008). One cycle of phase change corresponds to 11.8 cm of line of sight crustal displacement from the satellite.

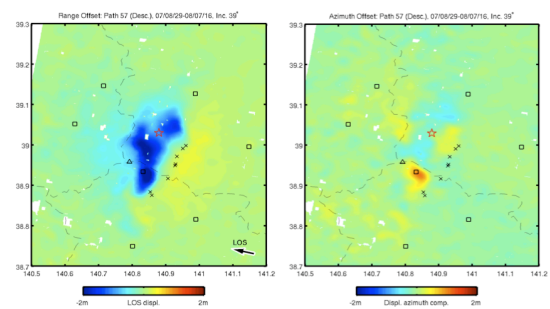


Fig. 6 SAR range offset data (left) and azimuth offset data (right), made by Fukushima (2008). Range offset data shows line of sight displacement from the satellite, while azimuth offset data shows displacement components parallel to the satellite orbit.

期間の2つのSARデータを干渉させて得られたもので、基本的に地震時の地殻変動を表している。SARデータはJAXA (宇宙航空研究開発機構) によって打ち上げられた衛星「だいち」により得られたものである。Fig. 5で、赤い星は震央を、図中の×印はToda et al. (2008) によって報告された地表変状の確認箇所を表している。干渉縞1つが衛星の視線方向に対して11.8 cmの地殻変動を示しており、左の図が当該地域を西南西から、右の図が東南東から見たものである (図中の矢印を参照)。衛星の仰角は共に50度強である。地表変状からも推測されるように地震は北北東-南南西の走向を持つ断層面上で発生したと考えられ、Fig. 5より、地殻変動量は、衛星から遠ざかる向きを正として、左図では断層の上盤 (西側) で約 +1 m, 右図では上盤で約 -1 m, 下盤で約 +50 cmである。

干渉SARは、かなり正確に地殻変動が得られるという特長があるが、Fig. 5でも見てとれるように、最も変動が激しかったと推測される断層近傍では、おそらく変動量が大き過ぎるためうまく干渉せずデ

ータが得られない。そこで、そのような大変動領域でも地殻変動データを得るためにSAR画像マッチングの手法も併用した。同じくFukushima (2008)の結果をFig. 6に示す。SAR画像マッチングによる地殻変動データは、誤差は大きいものの(数10cmから1 m程度と考えられる)、干渉が不可能な領域でもデータが得られるという得難い利点があり、二つのテクニックは相補的なものと言える。Fig. 6左より、上盤では2 mに達する変位が生じていること、Fig. 6右より南北方向の変位は小さいことが分かる。

4.2 弱非線形インバージョン解析

地震は基本的に、ある断層面を境として二つの岩盤が相互にずれ動くことによって発生する(Maruyama, 1963)。そこで、その断層面上におけるずれの分布(滑り分布)が、各地震を特徴付ける重要なパラメタとなる。本節では、前節で得られた地殻変動データから地震の滑り分布を推定する方法について述べる。なお、観測データを基に地震の滑り分布などのモデルを推定することをインバージョン解析(逆解析)と呼ぶ。

内陸で発生した地震の滑り分布を推定する上での主要な困難は、断層面の位置や向きが未知であるために、インバージョン解析が非線形になってしまうことである。非線形のインバージョン解析は線形の場合と比べずっと難しい。そのため、まず矩形断層上の一様滑りを仮定して最適な断層面の位置や角度を定めた上で、通常の線形インバージョン解析により滑り分布を求めることが普通だった(例えば、Árnadóttir and Segall, 1994; Jónsson *et al.*, 2002; Wright *et al.* 2003)。しかし、一様滑りの仮定の下で得られた断層面が最適の断層面である保証はない上、方法としても煩雑である。そこで本研究では、Fukahata and Wright (2008)によって開発された弱非線形のインバージョン解析手法を用いた。この方法のエッセンスは下記の通りである。

地球科学のデータは、通常不十分かつ不正確である。このような悪条件下でモデル推定を行うには、最小二乗法ではうまくいかず、先験的情報を利用する必要がある。先験的情報とは、我々がそのモデルに関して予め知っている事柄のことで、地震の滑り分布を求める問題では、滑り分布がある程度なめらかであるという条件が通常用いられる。インバージョン解析でまず問題となるのは、観測データと先験的情報の重みをどのようにして定めるかということだが、これについてはABIC(赤池のベイズ情報量規準: Akaike, 1980)がその解答を与えてくれる。

断層面が未知の場合その滑り分布を求めるインバージョン解析は前述のとおり非線形だが、通常行わ

れているように1枚の平面断層を仮定するならば、断層の位置や向きを定めるためには僅か3つのパラメタを与えれば十分である。つまり非線形逆問題といても、その非線形性は弱いのである。

ところで、線形のインバージョン解析でも、実は観測データと先験的情報の重みを規定するパラメタ(超パラメタと呼ばれる)と、滑り分布を定める通常のモデルパラメタは非線形の関係になっている。そして、その超パラメタの値をABICによって定めているのである。そこで、断層の位置や向きも新たに超パラメタとみなして、それらの最適値をABICによって定めることで弱非線形のインバース問題を解くことができる。この方法により、断層面の位置や向きと、断層面上の滑り分布が整合的かつ同時に推定できる。

数式を用いて簡単に説明すると、例えば断層面の傾斜角 δ が未知の場合、地表変位 \mathbf{d} と地震滑り \mathbf{a} を結び付ける観測方程式は、非線形の関数 f を用いて

$$\mathbf{d} = f(\mathbf{a}, \delta) + \mathbf{e} \quad (1)$$

と表されるが、式(1)の代わりに非線形性を生み出す δ を分離して係数行列 \mathbf{H} の方に押し付けてしまう

$$\mathbf{d} = \mathbf{H}(\delta)\mathbf{a} + \mathbf{e} \quad (2)$$

ことにより線形の問題と同じ枠組みにし、断層の傾斜角 δ を新たに超パラメタとみなして先験的拘束条件の重みと共にその最適値をABICによって定めるということを行っている。

4.3 結果と考察

前節で述べた方法によって得られた滑り分布をFig. 7に示す。誤差(標準偏差)と解像度も滑り分布と一緒に得られることがこの方法の特長の一つである。この図に示されるとおり、4 km以浅という地下のごく浅部に、8 mを越える非常に大きい滑りが生じたことがこの地震の特徴である。Fig. 7では簡単のため純粋逆断層を仮定しているが、走向方向の滑り成分も入れてインバージョン解析した場合でも、4 km以浅に8 mを越える大きな滑りという特徴は変わらない。このような結果が得られたのは、上盤側でSARの視線方向に2 mを越える大きな変位が生じている一方、そこからほど近い栗駒山付近では逆に沈降が起こっているという、地表の変位勾配が大きいためであろう。なお、Fig. 7から計算される歪みの解放量は 10^{-3} を越え常識的な値よりも1桁以上大きい。滑りがごく浅部に限られることも併せ、活火山の近くで地温勾配が非常に高いことが、このような

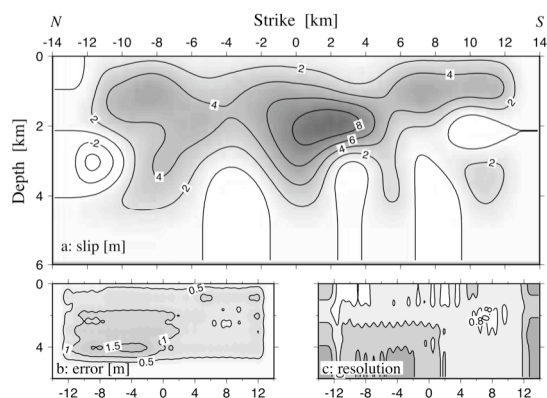


Fig. 7 Slip distribution (a) of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake projected onto a vertical fault plane. The standard deviation (b) and resolution (c) of the slip are also shown. The optimal fault parameters (dip: 203°, strike: 203, center of the fault: 140.90E, 38.97N) determined by ABIC were used.

特異な滑り分布の物理的原因と考えられる。

Fig. 8にInSARの観測データとインバージョン結果から計算される地殻変動との残差を示す。広い範囲で1フリンジ(約12cm)以上、場所によっては2フリンジの残差が残っており、データとのフィッティングは必ずしも十分ではない。また図7から、滑り分布の誤差が小さくない一方で解像度は必ずしも良くない。これらの結果は、1枚の平面断層という仮定が必ずしも良くはないことを示唆している。従って、より真の解に近い滑り分布を得るためには更なる検討が必要である。

5. おわりに

SARの地殻変動データから、岩手宮城内陸地震の滑り分布をABICに基づく弱非線形インバージョン解析法により推定した。その結果、4 km以浅というごく浅部に8 mを越える大きな滑りが得られた。このような特異な滑り分布は、地震が地温勾配の高い活火山近傍で起こったためと考えられる。おそらくそのような場の特性が関係して、この地震では4 Gを越える史上最高の加速度が観測され多くの地滑りが引き起こされた。また、この地震のそもそもの原因は、プレート運動により東北日本が強い東西圧縮場になっていることにある。

謝 辞

本稿の作成にあたり、山田真澄さん、千木良雅弘さんにお世話になりました。PALSAR データは、PIXEL および JAXA と国土地理院による衛星リモートセン

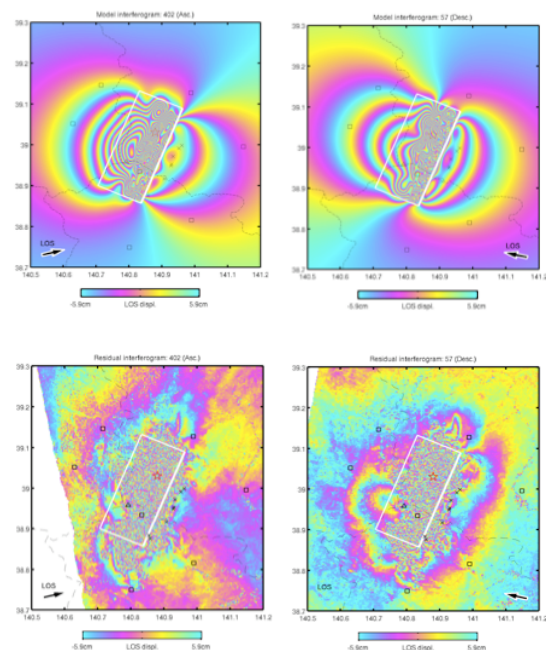


Fig. 8 (top) Synthetic interferograms computed from the optimal slip distribution model shown in Fig. 8(a) for both of ascending (left) and descending (right) paths. (bottom) Residual interferograms generated by subtracting the model interferogram (top diagrams of Fig. 8) from the observed data (Fig. 5).

シングによる防災検証実験研究(地震 WG)の一環として提供されました。PALSAR データの所有権は経済産業省及びJAXAにあります。

参考文献

- 活断層研究会 (1980) : 日本の活断層, 東京大学出版会 363p.
- 国土地理院 (2002) : 数値地図50mメッシュ(標高), CD-ROM.
- 高橋雅紀 (2006) : フィリピン海がプレートが支配する日本列島のテクトニクス, 地学雑誌, 第115巻, pp. 116-123.
- 千木良雅弘 (2008) : 2008年岩手・宮城地震による地すべり調査結果報告, http://www.slope.dpri.kyoto-u.ac.jp/mountain/miyagi_2008eq.pdf.
- 鎮西清高・小疇尚 (1995) : 北海道と東北の山, 日本の山, 貝塚爽平・鎮西清高編, 岩波書店, 東京, pp. 29-78.
- 寺川寿子・松浦充宏 (2008) : 地震学における応力インバージョンの新展開—CMT データインバージョン法による応力場の推定—, 地震2, 印刷中.
- 宮城県土木部 (2008) : 平成20年岩手・宮城内陸地震公共土木施設の被害状況,

- http://www.pref.miyagi.jp/doboku/080614dbk_taiou/0080723pamph1.pdf.
- Akaïke, H. (1980): Likelihood and the Bayes procedure, in Bayesian Statistics, edited by J. M. Bernardo, M. H. DeGroot, D. V. Lindley and A. F. M. Smith, University Press, Valencia, pp. 143-166.
- Árnadóttir, T. and Segall, P. (1994): The 1989 Loma Prieta earthquake imaged from inversion of geodetic data, *J. Geophys. Res.*, Vol. 99, pp. 21835-21855.
- Fukahata, Y. and Matsu'ura, M. (2001): Correlation between surface heat flow and elevation and its geophysical implication, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 28, pp. 2703-2706.
- Fukahata, Y. and Wright, T.J. (2008): A non-linear geodetic data inversion using ABIC for slip distribution on a fault with an unknown dip angle, *Geophys. J. Int.*, Vol. 173, pp. 353-364.
- Fukushima, Y. (2008): SAR offset-tracking analysis on ALOS/PALSAR data for obtaining the three-dimensional ground displacements caused by the 2008 Mw 7.0 Iwate-Miyagi earthquake, northeast Japan, *EOS Trans. AGU*, Vol. 89, No. 53, Fall Meet. Suppl. Abstract G51A-0603.
- Jónsson, S., Zebker, H., Segall, P. and Amelung, F. (2002): Fault slip distribution of the 1999 Mw 7.1 Hector Mine, California, earthquake, estimated from satellite radar and GPS measurements, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 92, pp. 1377-1389.
- Maruyama, T. (1963): On the force equivalents of dynamical elastic dislocations with reference to the earthquake mechanism, *Bull. Earthquake Res. Inst., University of Tokyo*, Vol. 41, pp. 467-486.
- Sibert, L. and Simkin, T. (2002): Volcanoes of the world: an illustrated catalog of Holocene volcanoes and their eruptions, Smithsonian Institution Digital Information Series GVP-3, <http://www.volcano.si.edu/gvp/world>.
- Toda, S., Maruyama, T., Yoshimi, M., Awata, Y., Kaneda, H., Yoshioka, T. and Ando, R. (2008): Surface rupture associated with the Mw 6.9 14 June 2008 Iwate-Miyagi Nairiku, Japan, earthquake, Abstracts of the 7th General Assembly of Asian Seismological Commission, A22-09.
- Wright, T.J., Lu, Z. and Wicks, C. (2003): Source model for the Mw 6.7, 23 October 2002, Nenana Mountain Earthquake (Alaska) from InSAR, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 30, 1974 doi:10.1029/2003GL018014.
- Yamada, M. (2008): Real-time Seismology, ASC lecture series in Kyoto University.
- Yamada, M., J. Mori, and T. Heaton (2009): The slapdown phase in high acceleration records of large earthquakes. *Seism. Res. Lett.*, in press.
- Yamano, M. (1995): Recent heat flow studies in and around Japan, in *Terrestrial Heat Flow and Geothermal energy in Asia*, edited by M.L. Gupta and M. Yamano, pp. 173-201, Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi.

Crustal Displacements and Inversion Analysis for Slip Distribution on 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake

Yukitoshi FUKAHATA

Synopsis

The Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, occurred 14 June 2008, recorded the highest acceleration in the world and caused many land slides. The early warning system of earthquakes, launched October 2007, was shown to be useful. The slip distribution of the earthquake was estimated by a non-linear inversion method based on ABIC from InSAR and SAR offset data. The estimated maximum slip was more than 8 m and most slips concentrated at shallow depths less than 4 km, which is consistent with high heat flow in this area.

Keywords: 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, inversion analysis, InSAR, earthquake process, slip distribution