課題番号：　６００６

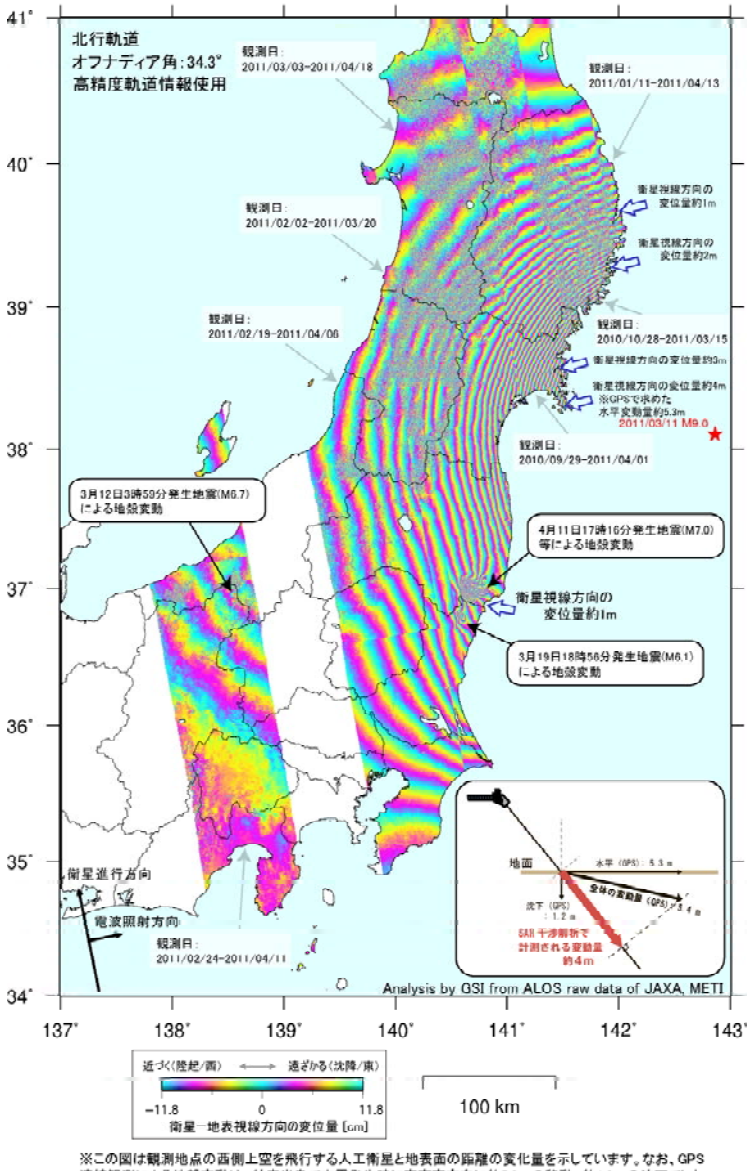
〇実施機関名：国土地理院

〇研究課題（または観測項目）名：合成開口レーダー

〇この研究課題（または観測項目）の連絡担当者：飛田　幹男

〇平成 23 年度のこれまでの成果の概要：

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震（2011/03/11、M9.0）について「だいち」のデータの緊急解析を実施し、その地殻変動の様相を明らかにするとともに、解析結果を HP で迅速に公開し、地震調査委員会、地震予知連絡会に報告した。(図 1)



※この図は観測地点の西側上空を飛行する人工衛星と地表面の距離の変化量を示しています。なお、GPS連続観測による地殻変動は、牡鹿半島で本震発生時に東南東方向に約5.3mの移動、約1.2mの沈下でした。

図１　合成開口レーダー（SAR）と電子基準点（GPS 連続観測点）の融合解析による平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動

課題番号：　６０１３

〇実施機関名：国土地理院

〇研究課題（または観測項目）名：広域地殻変動監視

〇この研究課題（または観測項目）の連絡担当者：飛田　幹男

〇平成 23 年度のこれまでの成果の概要：

平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震前後のつくばVLBI 観測局の国際地球基準座標系(ITRF2008)における位置を比較することで、地震に伴う変動量を求めた。

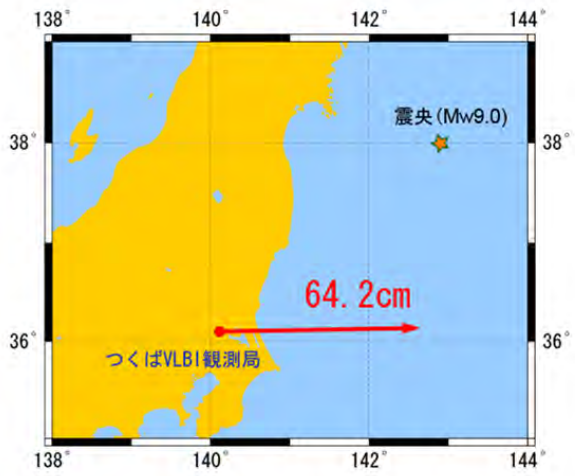


図 1　VLBI データ解析から求められた日本列島及び周辺地域のプレート運動

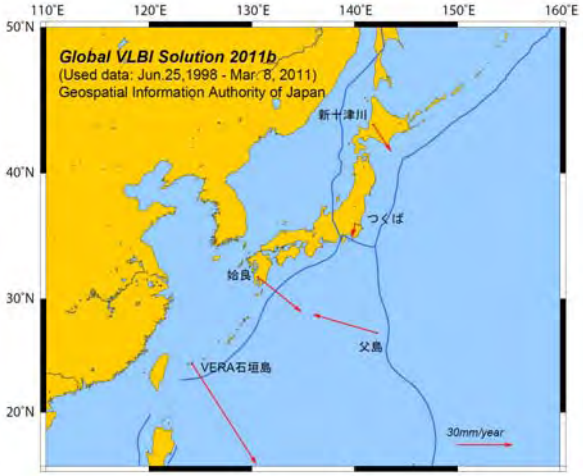


図 2　東北地方太平洋沖地震に伴うつくばVLBI観測局の変動ベクトル（ITRF座標系）

課題番号：　６０１４

〇実施機関名：国土地理院

〇研究課題（または観測項目）名：プレート境界面上の滑りと固着の時空間変化の把握

〇この研究課題（または観測項目）の連絡担当者：飛田　幹男

〇平成 23 年度のこれまでの成果の概要：

日本海溝沿いのプレート境界で発生した2005年宮城県沖の地震、2008年茨城県沖の地震、2008年福島県沖の地震、2010年福島県沖の地震、それぞれの地震の地震時および地震後の地殻変動および推定されたモーメントの大きさを比べると、2005年宮城県沖の地震に関しては、地震時と地震後でほぼ同程度であるのに対して、2008年および2010年の地震では、地震後の変動およびモーメントが地震時に比べはるかに大きいことが分かった（図１）。そして、これらの地震の地震時および地震後のすべり領域は東北地方太平洋沖地震の震源を取り囲む場所で発生していたことが分かった（図２）。

東北地方太平洋岸のGPS連続観測点における長期の時系列から、2000年前後から福島県・茨城県の観測点において東向きの非定常成分の増加が見られ、2003年頃からは宮城県の観測点においても東向きの非定常成分の増加が見られていたことが分かった（図３）。一方、岩手県の観測点では、1994年三陸はるか沖地震の余効変動が小さくなったことにより、西向きの成分の増加が見られる。

東北地方太平洋沖地震の余効変動は地震発生後３カ月間で60cmを超える水平変動が観測されている。推定されたプレート境界面上のすべり（余効すべり）は、地震時の大きなすべり領域よりも深部で発生しており（図４）、その最大すべり量は２mを超え、モーメントマグニチュードはMw8.5に達していることが分かった。

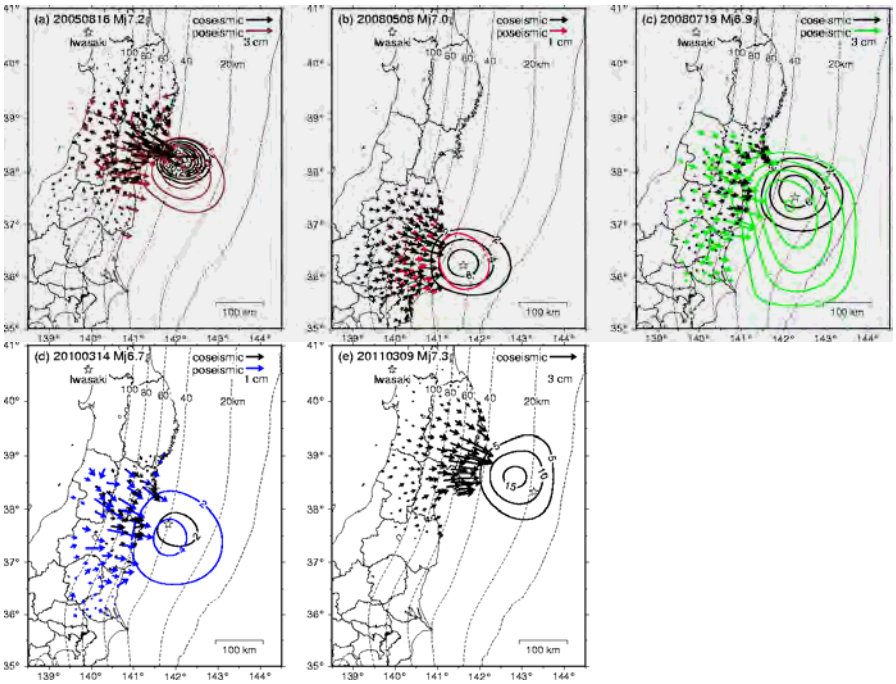


図１　日本海溝沿いで発生した地震の地震時および地震後の地殻変動とすべり分布の比較。(a)2005年宮城県沖の地震、(b)2008年茨城県沖の地震、(c)2008年福島県沖の地震、(d)2010年福島県沖の地震、(e)2011年三陸沖の地震。2011年三陸沖の地震のみ地震時の地殻変動とすべり分布のみを表示している。

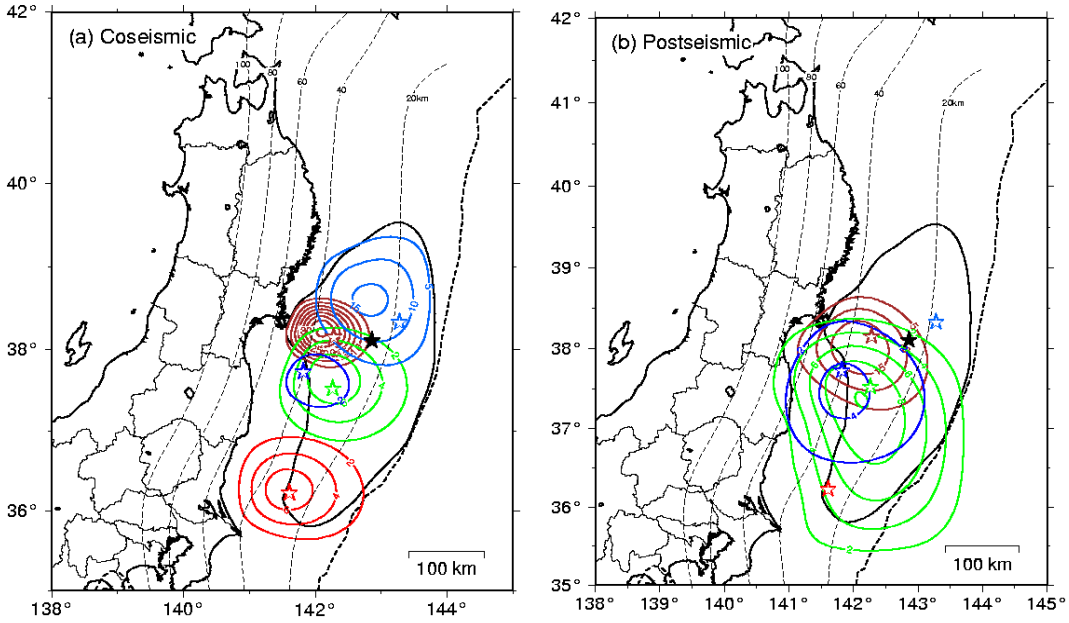


図２．図１に示した５つの地震の地震時および地震後（2011 年三陸沖の地震波除く）のすべり分布と東北地方太平洋沖地震の震源域の比較。(a) 地震時のすべり分布、(b) 地震後のすべり分布。

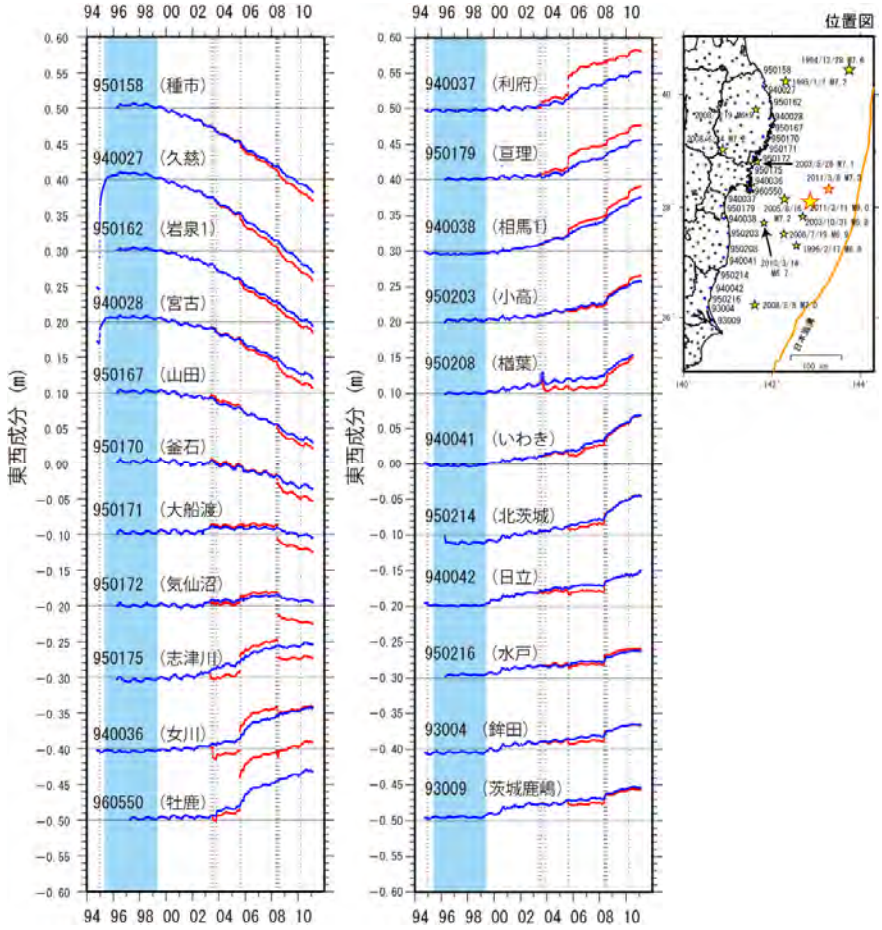


図３．東北地方太平洋岸の観測点の非定常地殻変動時系列（東西成分）。水色の期間（1995 年 4 月～1999 年 3 月）でトレンドを推定し、除去している。赤はトレンドのみを除去した時系列。青は地震に伴うオフセットを除去した時系列。それぞれの時系列は 30 日間の移動中央値をとって平滑化している。

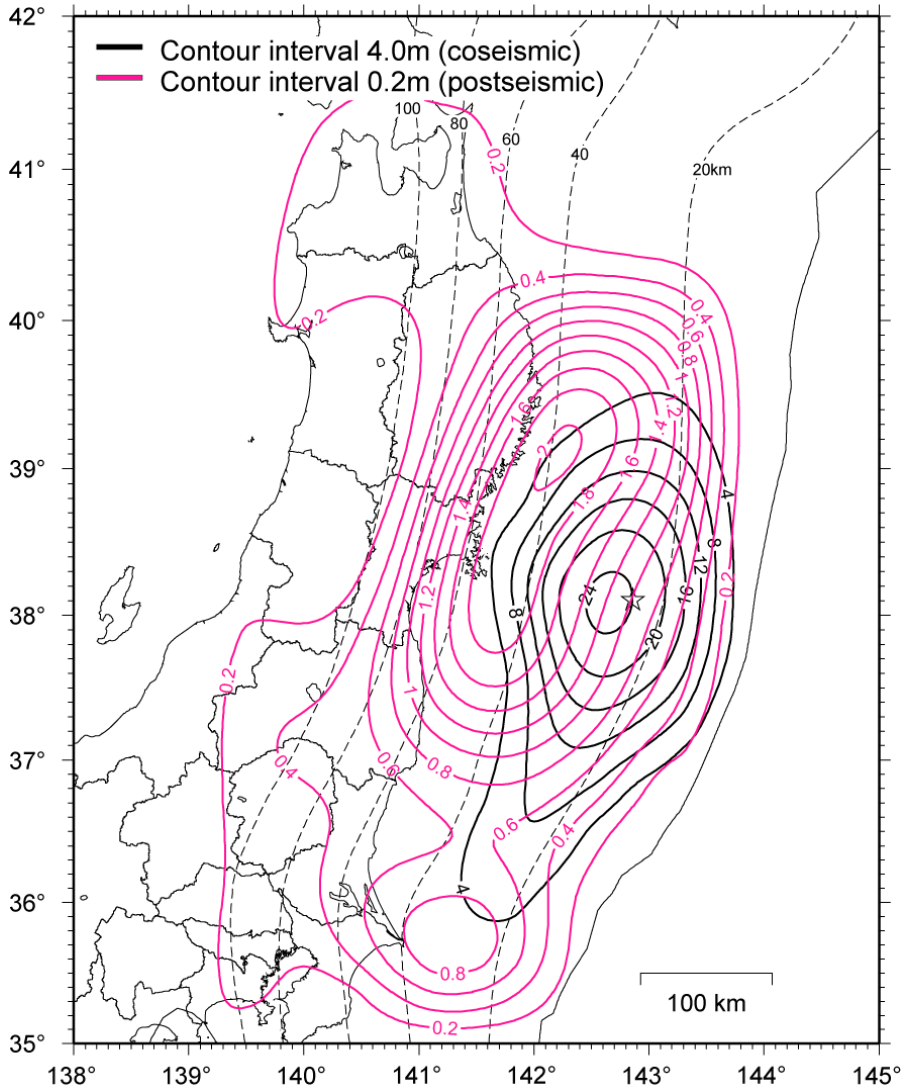


図４．東北地方太平洋沖地震の地震時と地震後のすべり分布の比較。地震後のすべりのデータ期間は 2011 年 3 月 11 日 18 時～2011 年 6 月 26 日 18 時。

課題番号：　６０１８

〇実施機関名：国土地理院

〇研究課題（または観測項目）名：SAR 解析技術の高度化

〇この研究課題（または観測項目）の連絡担当者：飛田　幹男

〇平成 23 年度のこれまでの成果の概要：

東北地方太平洋沖地震(2011/3/11)に関して、GPSデータとの統合解析手法を適用することにより、精度が低い速報的な軌道情報（RARR）を用いたSAR干渉処理においても正確かつ迅速に地殻変動を検出した。また、内陸での誘発地震(福島県浜通りの地震(M7.0)など)に伴う地殻変動を面的に検出し、震源断層モデルを構築した。（地殻変動研究室）

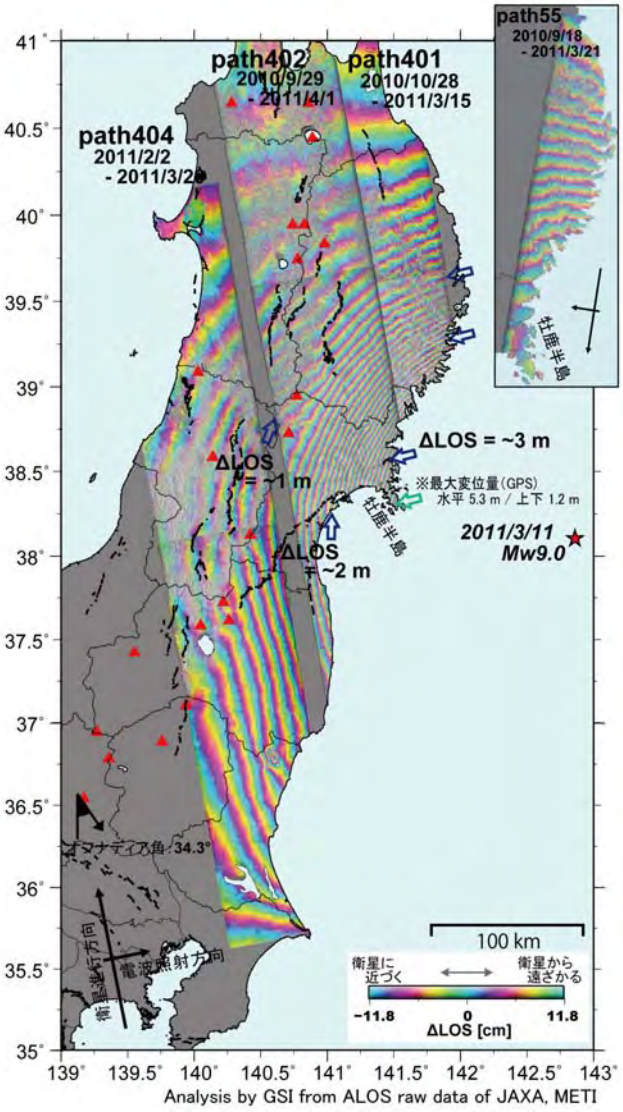


図１　GEONET データを統合した SAR 干渉解析により得られた平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動（Kobayashi *et al.*、(2011)の Fig. 1 を改変）.

課題番号：　９１００

〇実施機関名：国土地理院

〇研究課題（または観測項目）名：航空レーザ測量による標高データ整備

〇この研究課題（または観測項目）の連絡担当者：飛田　幹男

〇平成 23 年度のこれまでの成果の概要：

地震によって地盤が大きく沈下し、また津波により地形が大きく変化した。このため、航空レーザ測量によって高精度な標高データを取得し復旧・復興及び防災対策に必要となるデジタル標高地形図を作成中。

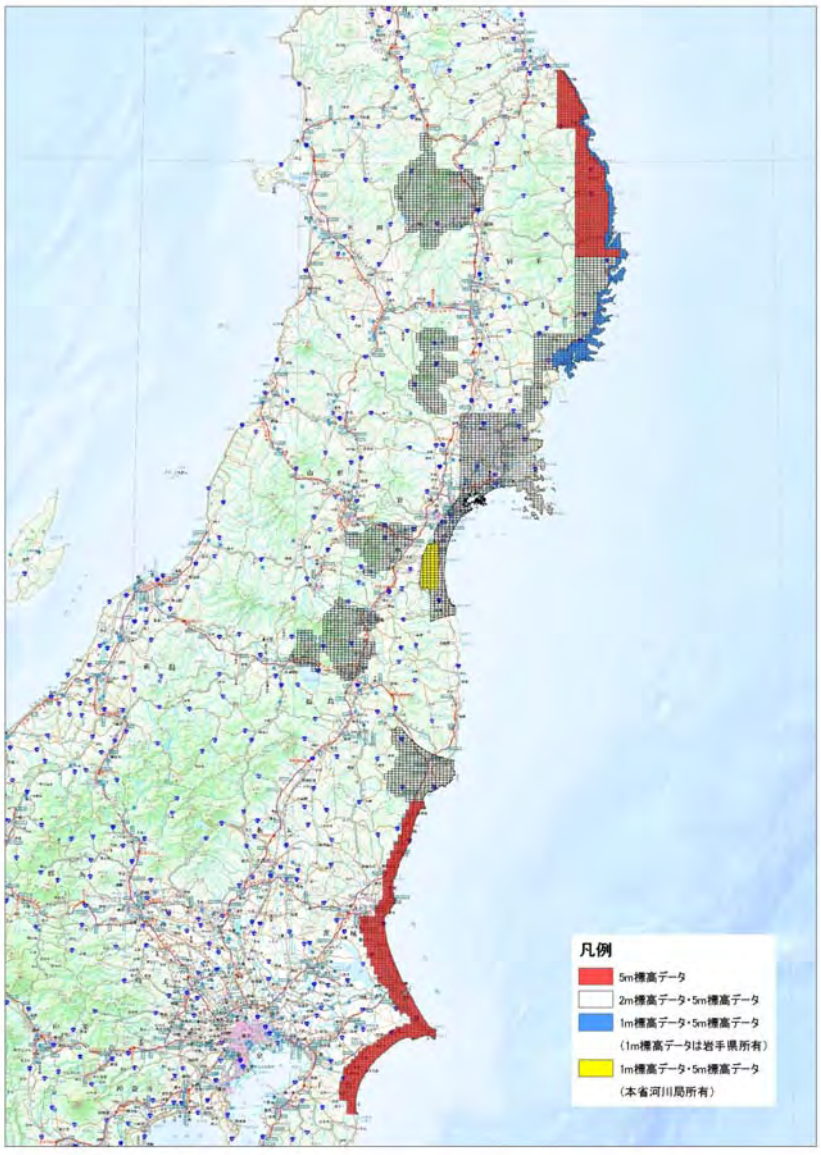


図　標高データ整備地域及び整備データの種類

課題番号：　９１００

〇実施機関名：国土地理院

〇研究課題（または観測項目）名：浸水範囲概況図

〇この研究課題（または観測項目）の連絡担当者：飛田　幹男

〇平成 23 年度のこれまでの成果の概要：

地震後に撮影した青森県下北八戸沿岸（物見崎以南）から千葉県九十九里浜沿岸の空中写真及び観測された衛星画像を使用して、津波により浸水した範囲を判読した結果を浸水範囲概況図としてとりまとめた。

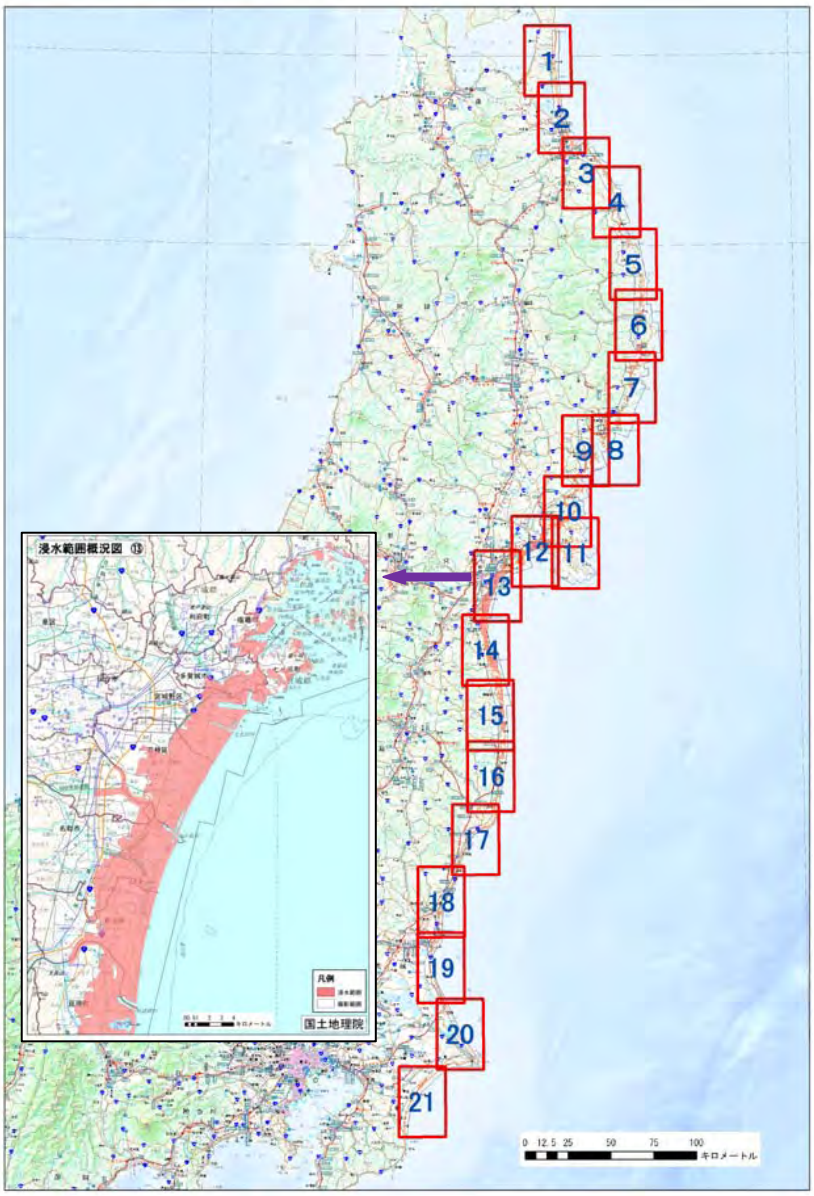


図１　浸水範囲概況図の整備区域と表示例

課題番号：９１００

〇実施機関名：国土地理院

〇研究課題（または観測項目）名：
GEONET と SAR による平成 23 年東北地方太平洋沖地震に伴う地殻変動

〇この研究課題（または観測項目）の連絡担当者：飛田　幹男

〇平成 23 年度のこれまでの成果の概要：

陸域のGPS連続観測のデータから推定した地震時の滑り分布では、宮城県沖の深さ20～30kmの領域で最大30m弱の滑りが推定された（図１）。それに対して、震央付近の海域に設置された海底地殻変動観測点５点のデータを加えて推定した結果では、海溝寄りの深さ10～20kmの領域で最大60m弱の滑りが推定された（図２）。陸域の観測データのみから推定した滑り分布に比べると、滑りの中心がより海溝側に推定された。これらの結果は、海溝軸付近でも歪エネルギーが蓄積されていたことを示唆しているとともに、常時海域での観測がより稠密に実施されることにより、陸域の観測だけでは見えなかった海溝軸付近の歪みの蓄積・解放の分解能の向上が期待されることを示すものである。

陸域および海域の地殻変動データから、地震を引き起こした断層滑り域は、岩手県沖から茨城県沖までの南北に長さ400km以上、幅およそ200kmにおよぶ長大なものであり、宮城県沖の海溝軸付近の領域では最大60mに達する滑りが推定された。相対的に宮城県沖の沿岸寄りの滑りは小さいが、その滑り量は少なくとも５m以上推定されており、沿岸寄りの領域で発生すると想定されている宮城県沖地震等がM7.5程度だと考えると、今回の地震により数回分の歪エネルギーが解放されたと考えられる。

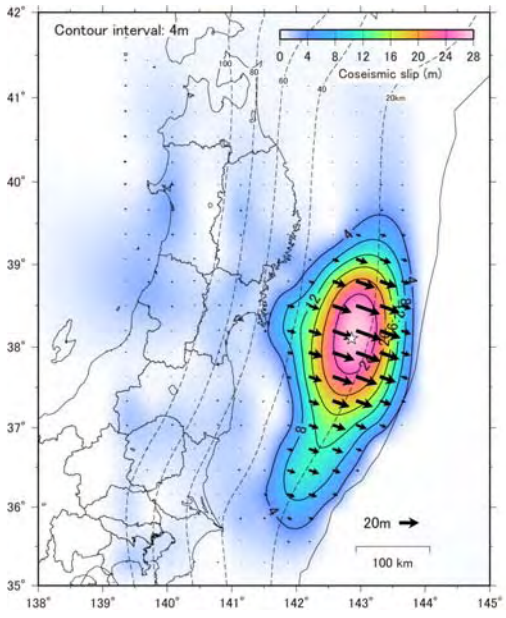


図１．陸域の GPS 連続観測データから推定した本震時の滑り分布。
http://www.gsi.go.jp/cais/chikakuhendo40007.html
http://www.gsi.go.jp/common/000060400.pdf

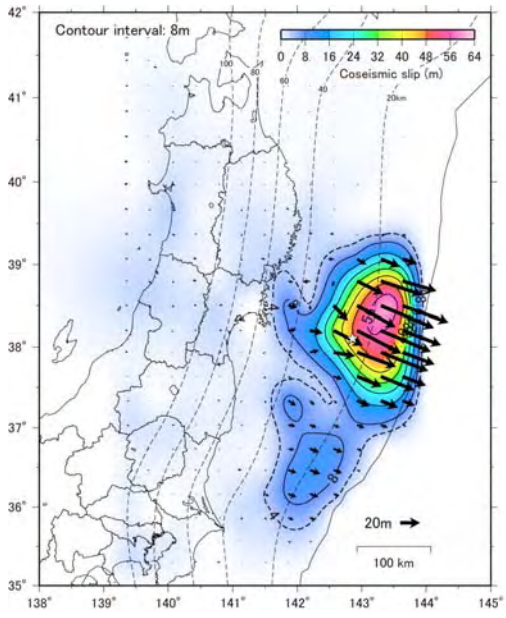


図２．陸域の GPS 連続観測データと海上保安庁による海域の海底地殻変動観測点５点分のデータから推定した本震時の滑り分布。
http://www.gsi.go.jp/cais/topic110520-index.html
http://www.gsi.go.jp/common/000060854.pdf

課題番号：　７００２

〇実施機関名：気象庁

〇研究課題（または観測項目）名：震源決定精度の向上

〇この研究課題（または観測項目）の連絡担当者：足達　晋平

〇平成 23 年度のこれまでの成果の概要：

平成22 年度までに開発した地震多発時の震源自動決定アルゴリズムを、平成23 年3 月12 日に発生した長野県・新潟県境付近の地震活動（M 6.7）、同15 日に発生した静岡県東部の地震活動（M 6.4）など、2011 年（平成23 年）東北地方太平洋沖地震後に発生したいくつかの内陸の地震活動に適用し、その有効性と問題点について検討を行った。

例えば静岡県東部の事例では、地震回数の推移や、震源の移動が準リアルタイムで把握できるなど、地震活動の監視に一定の役割を果たした。一方で長野県・新潟県境付近の地震活動では、地震回数の推移の把握はできたものの、余震域の広がりに必ずしも対応できておらず、余震域が広域に及んだ場合でも対応ができる自動震源決定アルゴリズムの開発が課題となる。

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の発生以降、東日本の各地で地震が多発している。これらの地震活動を把握するために、本自動処理を適用し、地震活動の推移の監視を行った。図１、図２に、2事例を抜粋して掲載する。

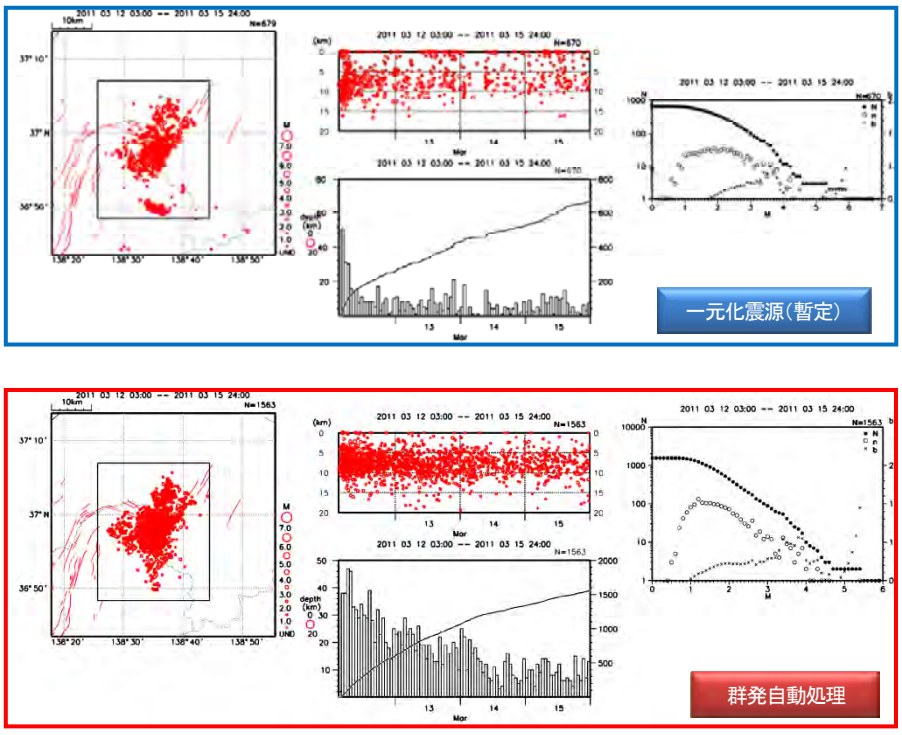


図１　3月12日 長野県・新潟県県境付近の地震活動（最大震度6強）　上図：一元化震源（暫定）　下図：群発自動処理
〇 一元化震源との比較
・ 一致した地震数（一元化〇、群発自動〇）・・・463　　・ 見逃し地震数　（一元化〇、群発自動×）・・・207
・ 空振り＋未処理（一元化×、群発自動〇）・・・1100
・ 水平位置の比較　　緯度平均：1.12km（標準偏差2.93km）、経度平均：0.12km（標準偏差1.02km）、
M平均：-0.01　（標準偏差0.22）　※一元化M－自動M
ポイント：２つのクラスターがあるが、群発自動では分離できていない。

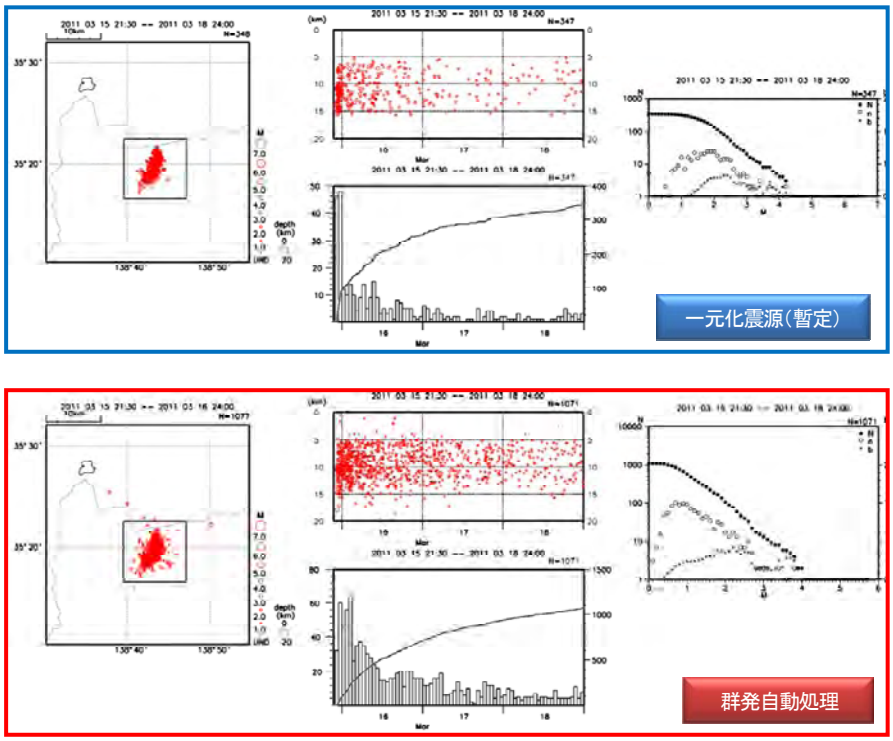


図２　3月15日 静岡県東部の地震活動（最大震度6強）　上図：一元化震源（暫定）　下図：群発自動処理

○ 一元化震源との比較

・ 一致した地震数（一元化○、群発自動○）・・・288、　　見逃し地震数　（一元化○、群発自動×）・・・60

・ 空振り＋未処理（一元化×、群発自動○）・・・747

・ 水平位置の比較　　緯度平均：-0.15km（標準偏差0.64km）、経度平均：-0.01km（標準偏差0.36km）、
M平均：0.04　（標準偏差0.35）　※一元化M－自動M

ポイント：10km程度の余震域の広がりには対応できている。
本震から浅いところで余震が発生していることをとらえられている。

課題番号：　７００４

〇実施機関名：気象庁

〇研究課題（または観測項目）名：発震機構解析の高度化

〇この研究課題（または観測項目）の連絡担当者：碓井　勇二

〇平成 23 年度のこれまでの成果の概要：

平成 23 年 3 月 11 日に発生した「東北地方太平洋沖地震」で実際に観測された波形データを用いて、巨大地震の CMT 解を速やかに求めるための観測機器、観測点配置、解析に使用するフィルター等について検討を進めている。

また、国内および海外の地震を対象としたリアルタイム波形データを用いた Wphase 解析の試行を開始するための準備を進めている。

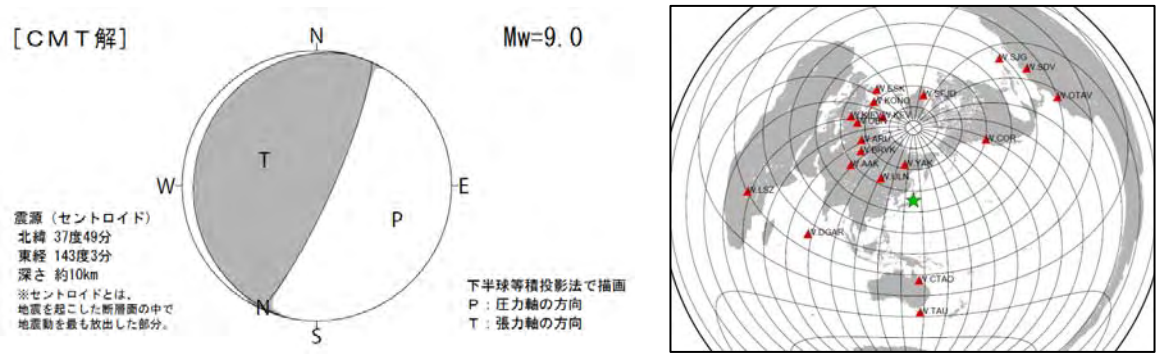


図１　東北地方太平洋沖地震のCMT解析結果

左図：CMT解。使用観測点数：19観測点、データ長：地震発生から50分、バンドパスフィルター：200～1000秒。

右図：解析に使用した観測点。

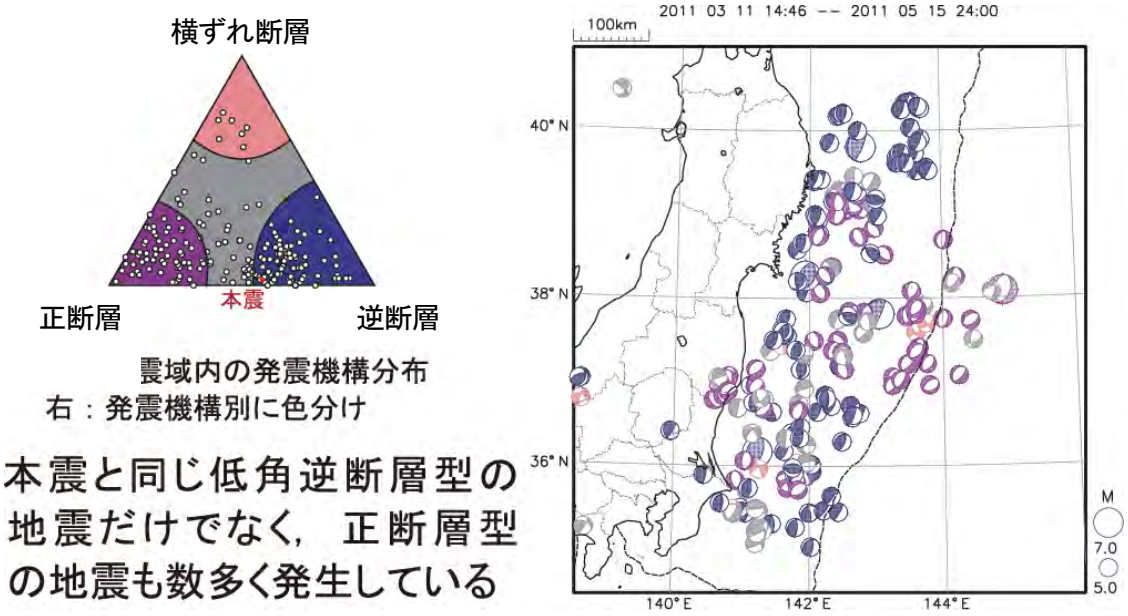


図２　東北地方太平洋沖地震の余震のメカニズム解

課題番号：　７００５

〇実施機関名：気象庁

〇研究課題（または観測項目）名：震源過程解析の実施と高度化

〇この研究課題（または観測項目）の連絡担当者：上野　寛

〇平成 23 年度のこれまでの成果の概要：

○遠地実体波を用いた震源過程解析

現在、世界で発生した概ねMw7.0以上の地震を対象に解析を行うこととしており、以下の地震について解析を行い、解析した結果は地震調査委員会及び地震予知連絡会等に提出するとともに、気象庁HP(国外の地震：http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/world/index.html、国内の地震：http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/sourceproceでも公開している。

・2011/03/09 三陸沖Mw7.3
・2011/03/11 東北地方太平洋沖地震Mw9.0
・2011/04/07 宮城県沖Mw7.1
・2011/04/11 福島県浜通りMw6.7

○近地強震波形を用いた震源過程解析

現在、日本内陸部で概ねMw6.5 程度以上の地震を対象に解析を行うこととしており、以下の地震について解析を行い、解析した結果は地震調査委員会及び地震予知連絡会等に提出するとともに、気象庁HP(http://www.seisvol.jkishou.go.jp/eq/sourceprocess/index.html) でも公開している。

・2011/03/09 三陸沖Mw7.3
・2011/03/11 14:46 東北地方太平洋沖地震Mw9.0
・2011/03/11 15:08 岩手県沖Mw7.4
・2011/03/15 静岡県東部Mw6.0
・2011/03/23 07:12、07:36 福島県浜通りMw5.7、Mw5.4
・2011/04/07 宮城県沖Mw7.1
・2011/04/11 福島県浜通りMw6.7
・2011/04/12 福島県浜通りMw5.9
・2011/06/23 岩手県沖Mw6.7

○現在､遠地実体波を用いた震源過程解析プログラムはIRIS のオフラインデータしか対応していないため、LISS 経由のリアルタイムデータに対応すべく、プログラムを改修中である。

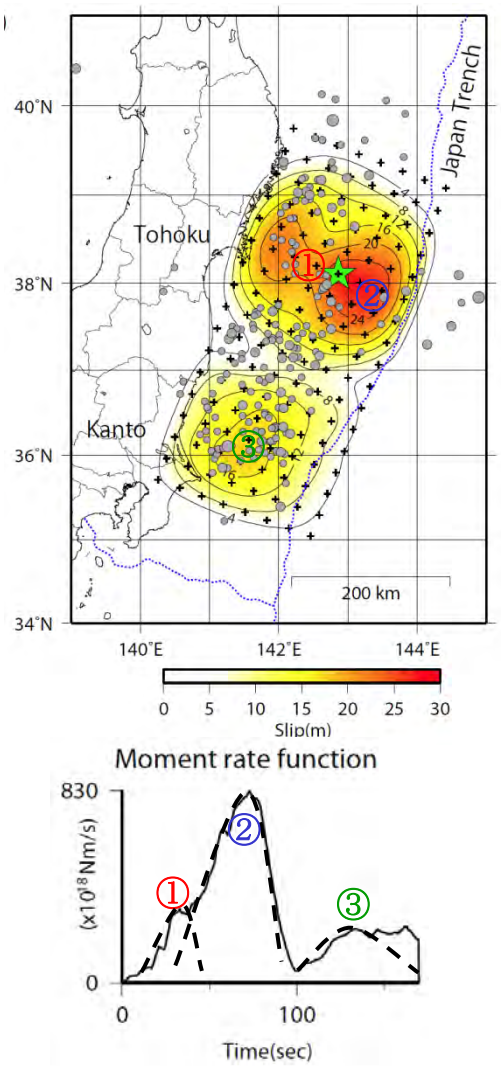


図１　東北地方太平洋沖地震の震源過程解析（遠地実体波を用いた解析）

大きく３つの破壊

断層面積：約450km×250km

最大すべり量　約28m

M0=4.3E+22Nm　(Mw9.00)

※後続波の影響で、約140秒以降の解析精度は低い