

GEONETによる津波予測支援の ための情報提供システムの開発

国土地理院測地観測センター
平成25年2月13日

地殻変動 解析手法の高度化

従前

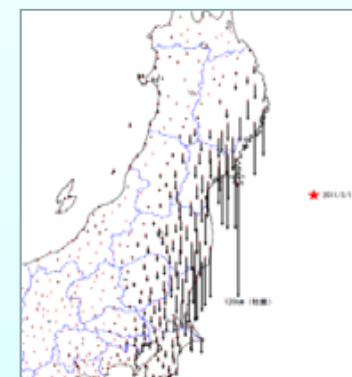
正確な情報を時間をかけて提供
(1cm精度の変動量 5時間後)

目標

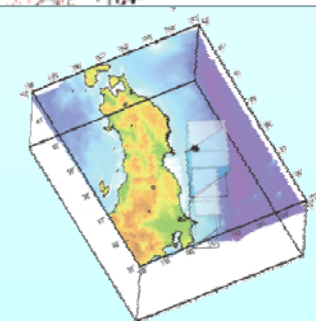
概略の情報を即時に推定(10cm精度の変動量)

アウトプット

地震時の変動を
即時把握



断層モデルの即
時推定



情報

防災関係機関に提供

*開発にあたっては東北大学と共同研究協定を締結(筆頭:太田雄策助教)

GEONETによる津波予測支援のための情報提供システム (プロトタイプ)の実装機能

(GNSSリアルタイム解析機能)

- ・150点程度のリアルタイム解析

(地殻変動(永久変位)自動検知機能)

- ・RAPiD(Ohta et al., 2012)による自動検知
- ・補助観測点を用いた相互チェック(RAPiD誤検知低減)機能(小林他, 2012)
- ・緊急地震速報による変動検知機能

(震源断層モデル計算機能)

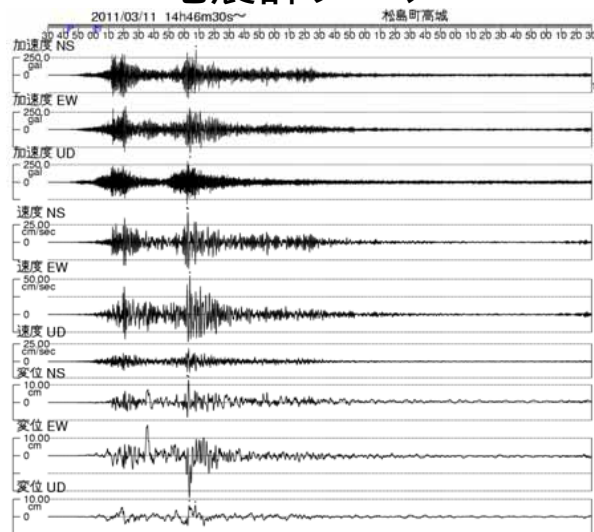
- ・矩形断層(1枚)近似による断層モデル(Mw)計算
- ・逆計算初期値への緊急地震速報取り込み

(メール通知機能)

- ・地殻変動検知結果通知
- ・震源断層モデルパラメータ推定結果通知

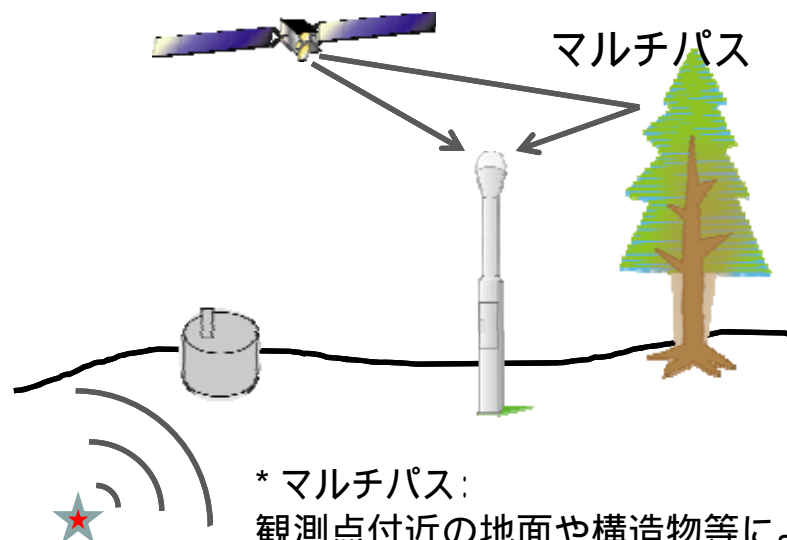
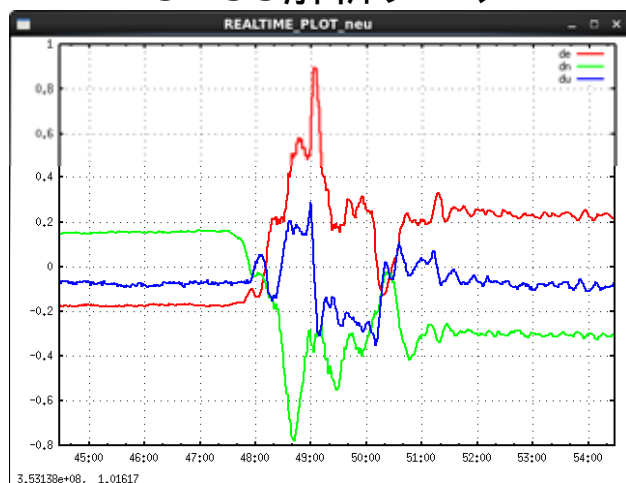
* 赤字で示した部分が平成24年度後半(第8回勉強会以降)に実装した機能

地震計データ



気象庁HPより
http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/jishin/110311_tohokuchiho-taiheiyououki/index.html

GNSS解析データ



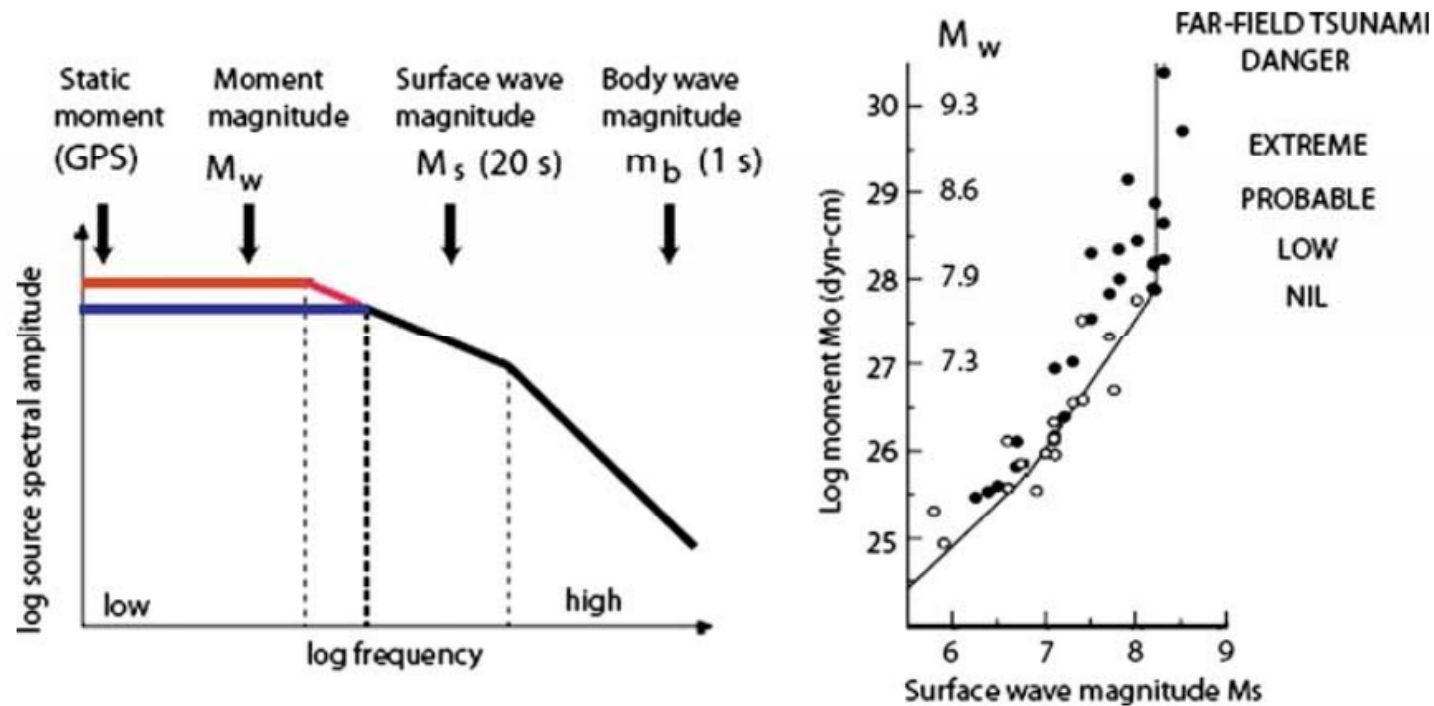
* マルチパス:
観測点付近の地面や構造物等によって反射された電波が衛星から直接届く電波に混入する現象

○ 地震計

- ・直接の地面の揺れから、
相対的な変動(加速度)を観測
- ・短周期の波も高精度に観測

○ GNSS

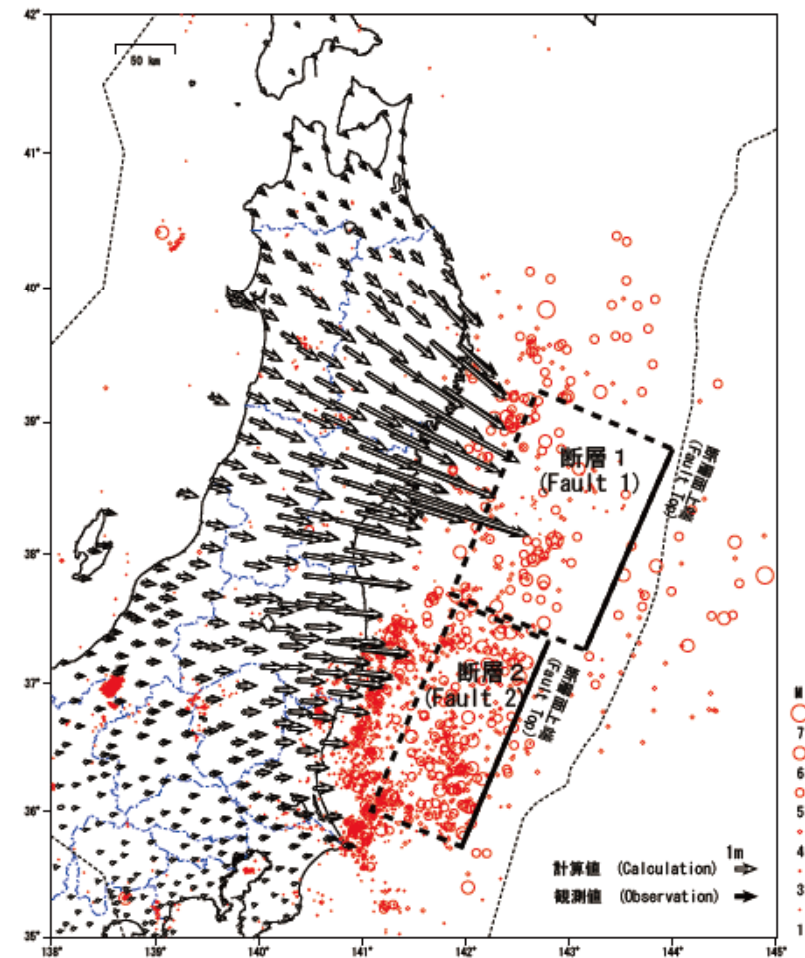
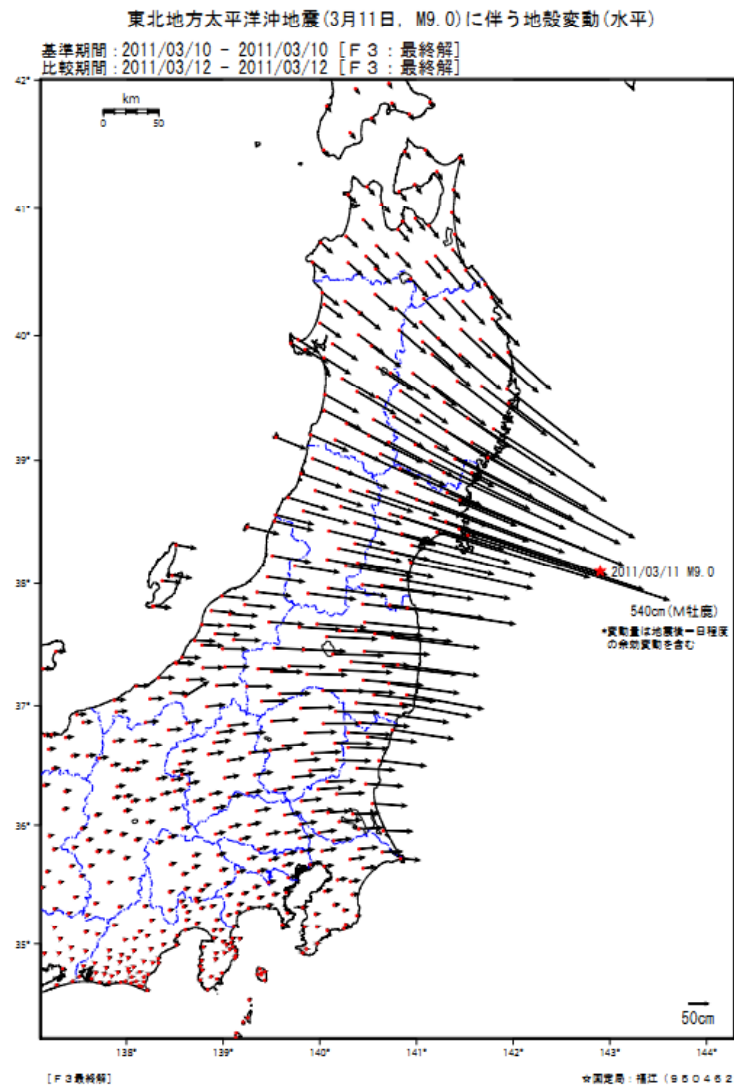
- ・衛星からの電波を取得し、
絶対的な変動(永久変位)を観測
- ・マルチパスなど、周辺環境が影響



(Blewitt et al. 2009)

- ・大規模な地震の M_w の計算には長周期の波を捉える必要がある
- ・短周期地震計のデータから計算をすると、大規模な地震の際は理論上マグニチュードが飽和する
- ・GNSS観測は M_w 計算に必要な長周期の動きをダイレクトに捉えることが可能

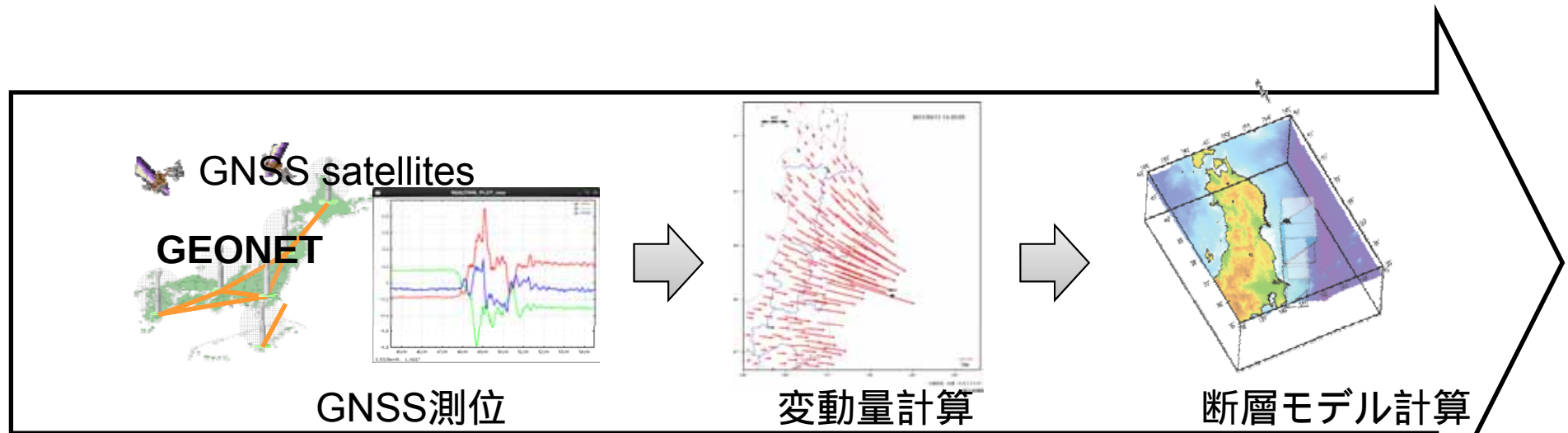
GNSS観測からのマグニチュード算出



永久変位場(地殻変動)の抽出

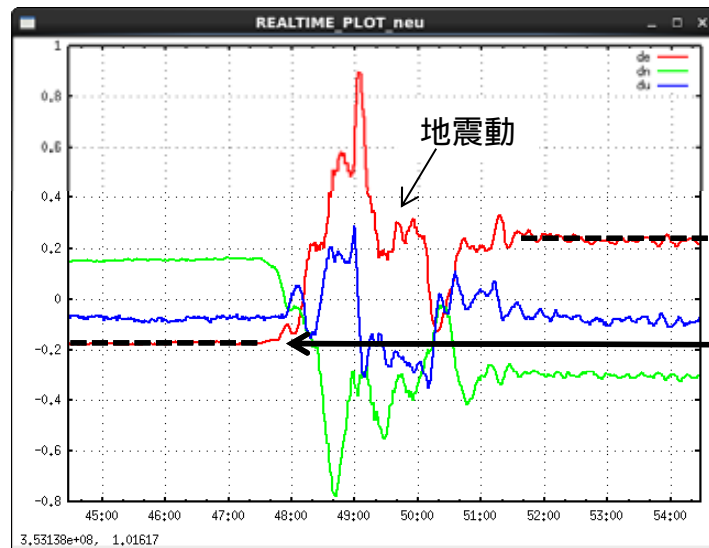
- ・震源断層の計算・マグニチュード算出
- ・この結果ではMw8.9が得られている

*ただし、この結果は地震後数週間たって手動で解析を行ったもの

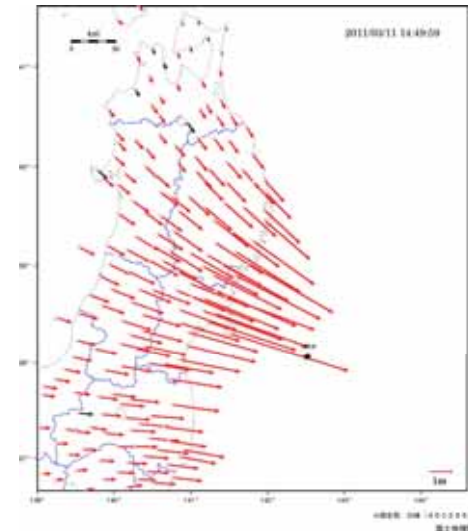


GNSS測位	変動時刻検知 (変動量計算)	断層モデル計 算(+Mw)	結果
常時解析 (RTKLIB v2.4.1)	・緊急地震速報(気象庁)により変動を検知 ・局位置時系列の監視結果から変動を検知 (Ohta et al., 2012)	・自動矩形断層モデル計算(西村他, 2010) (緊急地震速報の震源、又は最大変位量が観測された位置を初期値とする)	・メールによる通知 ~ 5分

○これら全てのステップを自動化することによって、断層破壊に数分かかる超巨大地震の場合であっても、遅くとも5分以内に断層モデル計算を実施し、マグニチュード(Mw)を算出



変位場
地震による永久変位



RAPiDアルゴリズム(Ohta et al. 2012)

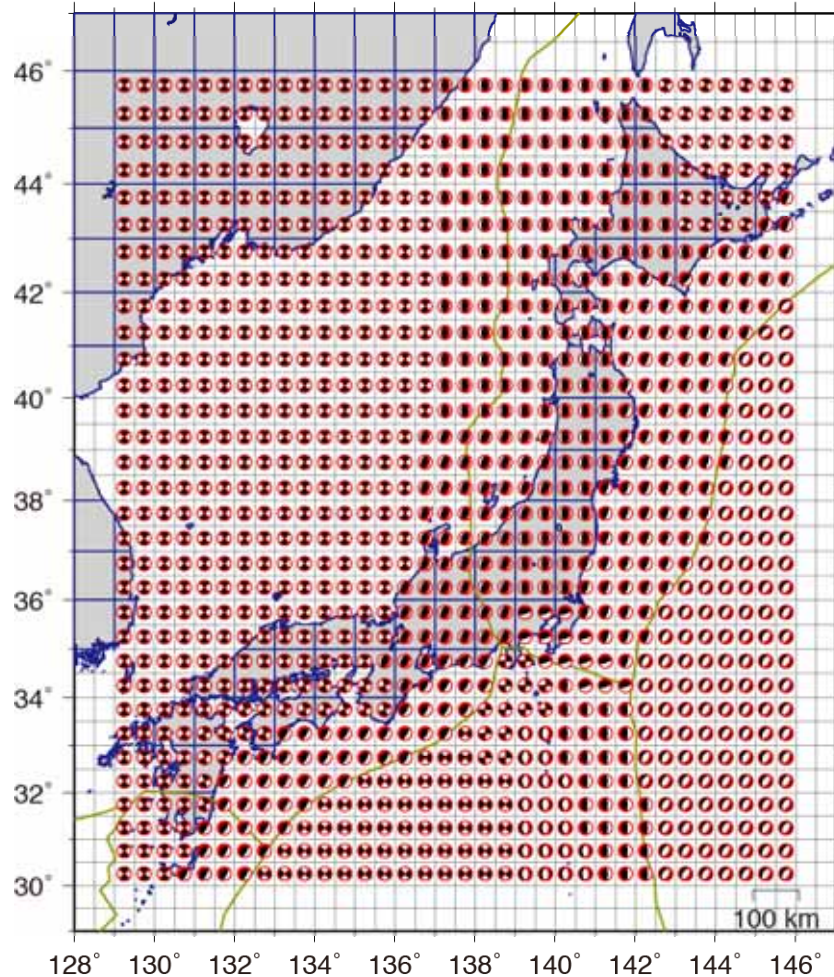
- 観測点変位時系列のみから永久変位を検知する
- 座標時系列のSTA(短期間平均), LTA(長期間平均)の差分を監視するアルゴリズム

緊急地震速報

- GNSS観測と独立した外部情報として使用
- 数年の運用実績、地震計から求めたものとして高い信頼性

の二種類でそれぞれ独立して検知、検知後一定時間ごとにMw計算を実施

津波システム震源断層即時推定 初期メカニズム解 (赤節面)



初期モデル

- 西村(2010)の計算手法を組み込み
- 矩形断層1枚での近似
- 初期値には
 - 緊急地震速報(緯度, 経度, 深さ) + グリッドの初期モデルを使用
- パラメータ推定は (Matsu'ura and Hasegawa, 1987)の手法(最尤推定)をもとにしたもの
- 弾性定数(剛性率)は 30GPa、均質媒質を仮定

	変位検知タイミング	断層モデル計算初期値
○ 緊急地震速報による検知 (条件) 緊急地震速報で閾値以上のマグニチュード、又は震度の地震が通知される	地震発生予想時刻から30秒間待ち、変位場計算時刻とする →その後60秒毎に算出	・震源位置: 緊急地震速報
○ RAPIDによる検知 (条件) RAPIDで閾値以上の永久変位が検出される	RAPIDによる検出時刻を変位場計算時刻とする →その後60秒毎に算出	(付近を震源とする緊急地震速報が発令中である場合) ・震源位置: 緊急地震速報 (緊急地震速報無し) ・震源位置: 最大変位が発生した観測点位置

*地震発生予想時刻からの待ち時間、Mw算出間隔は変更可能

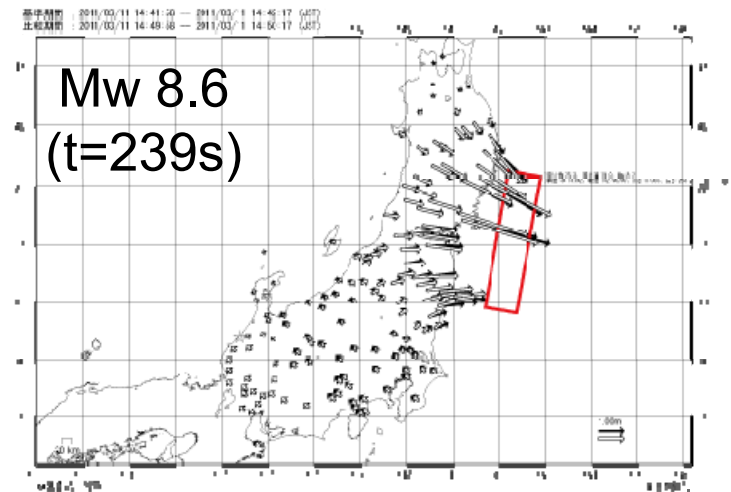
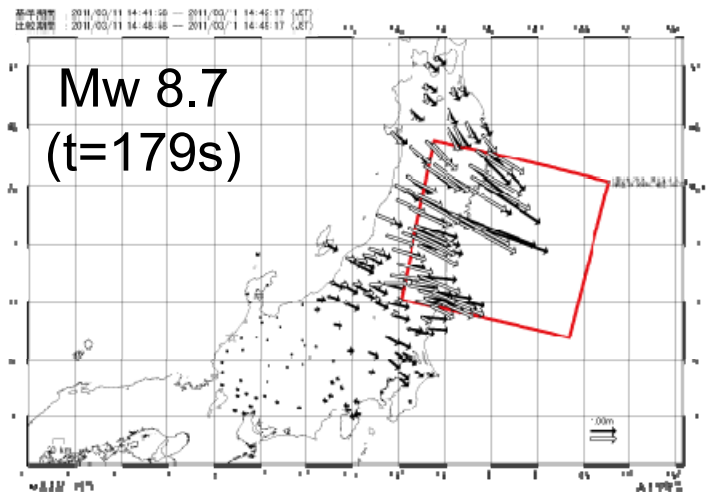
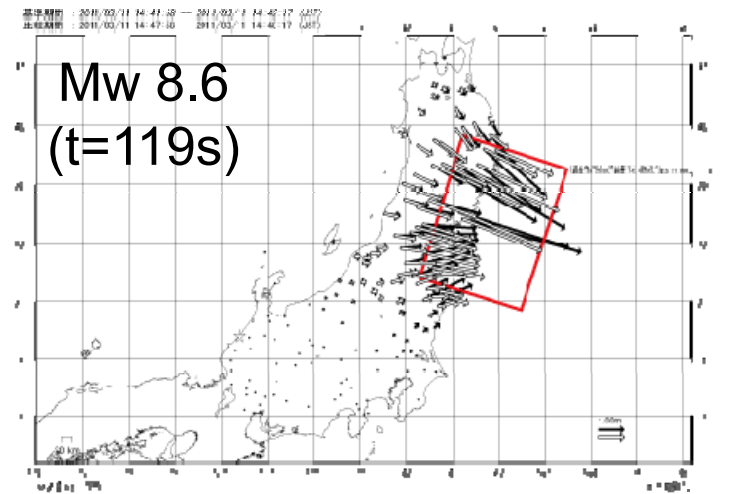
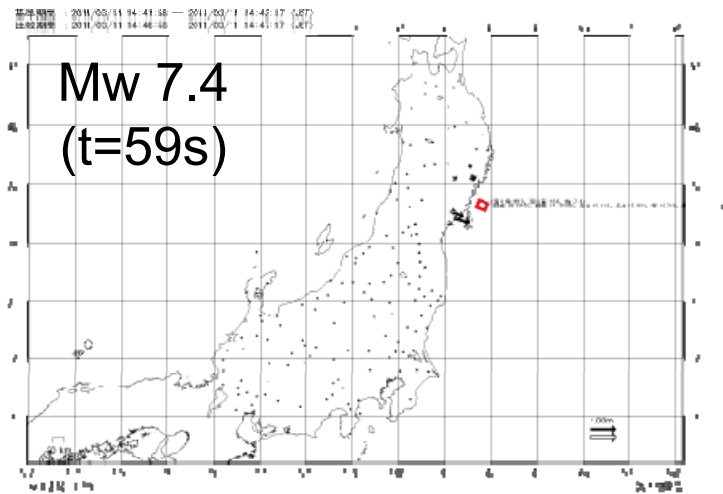
過去のデータを用いたシステムの検証



GNSS解析ソフトウェア	RTKLIB2.4.1 (Takasu, 2011)
解析方法	1点固定の放射状基線解析 (GNSSはGPSのみ使用)
固定点	小松
解析点数	143点(東日本)
変動しきい値	0.03m
衛星軌道暦	IGS 超速報暦(予測部分)
推定パラメータ	座標値(時計誤差含む) 電離層遅延 対流圏遅延
仰角マスク (観測データ) (ambiguity整数化) (ambiguity固定)	10° 30° 35°

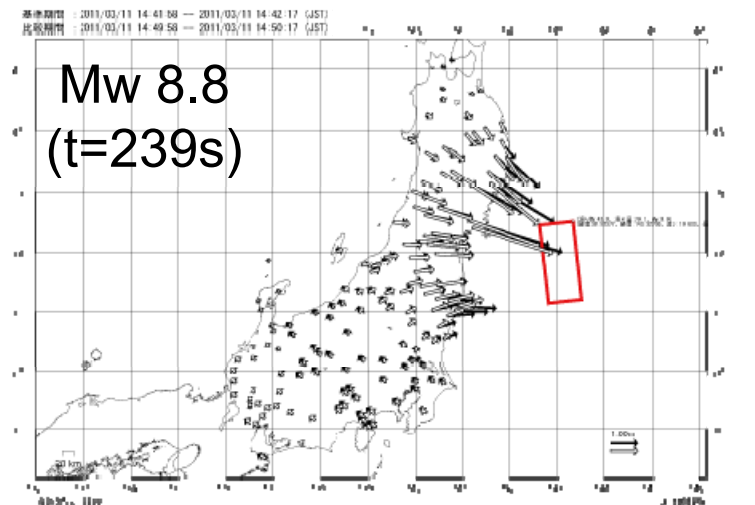
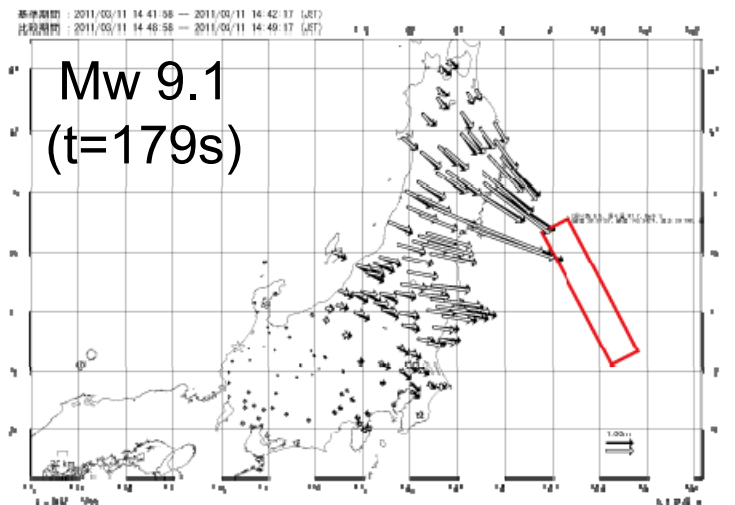
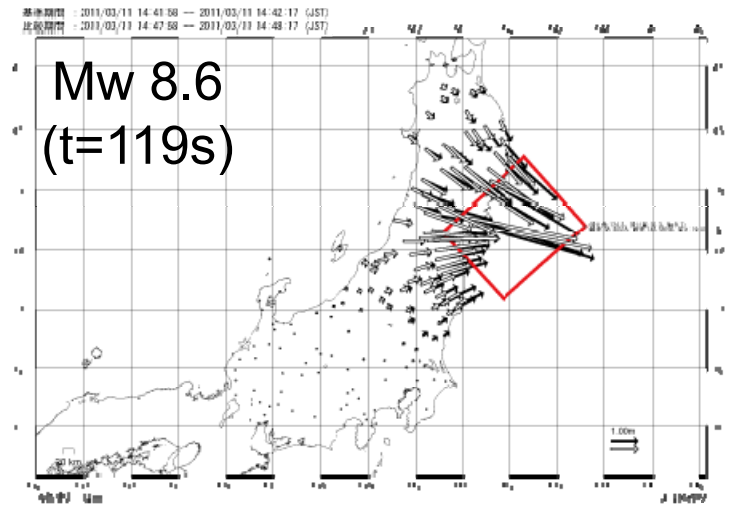
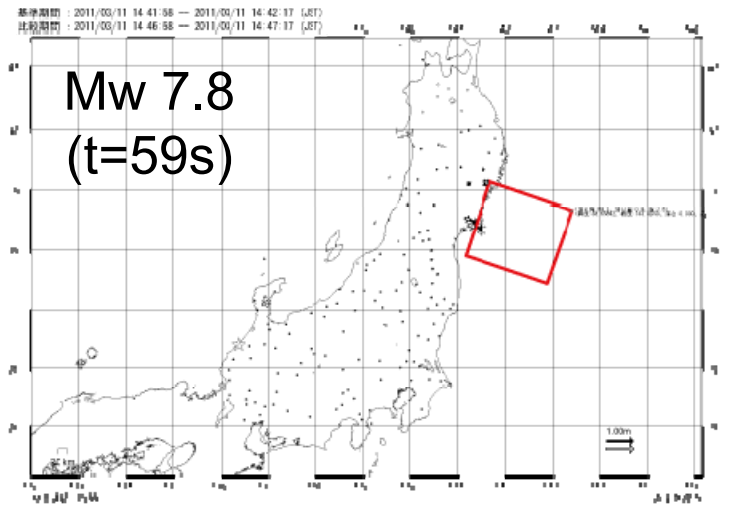
- ・東北地方で発生した二つの地震に適用してシステムの検証
 - 2005年8月16日 宮城県沖の地震(M7.2)
 - 2011年3月11日 東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)
- ・検知する変動閾値は3cmに設定

東北地方太平洋沖地震 Mw9.0 (緊急地震速報無し)

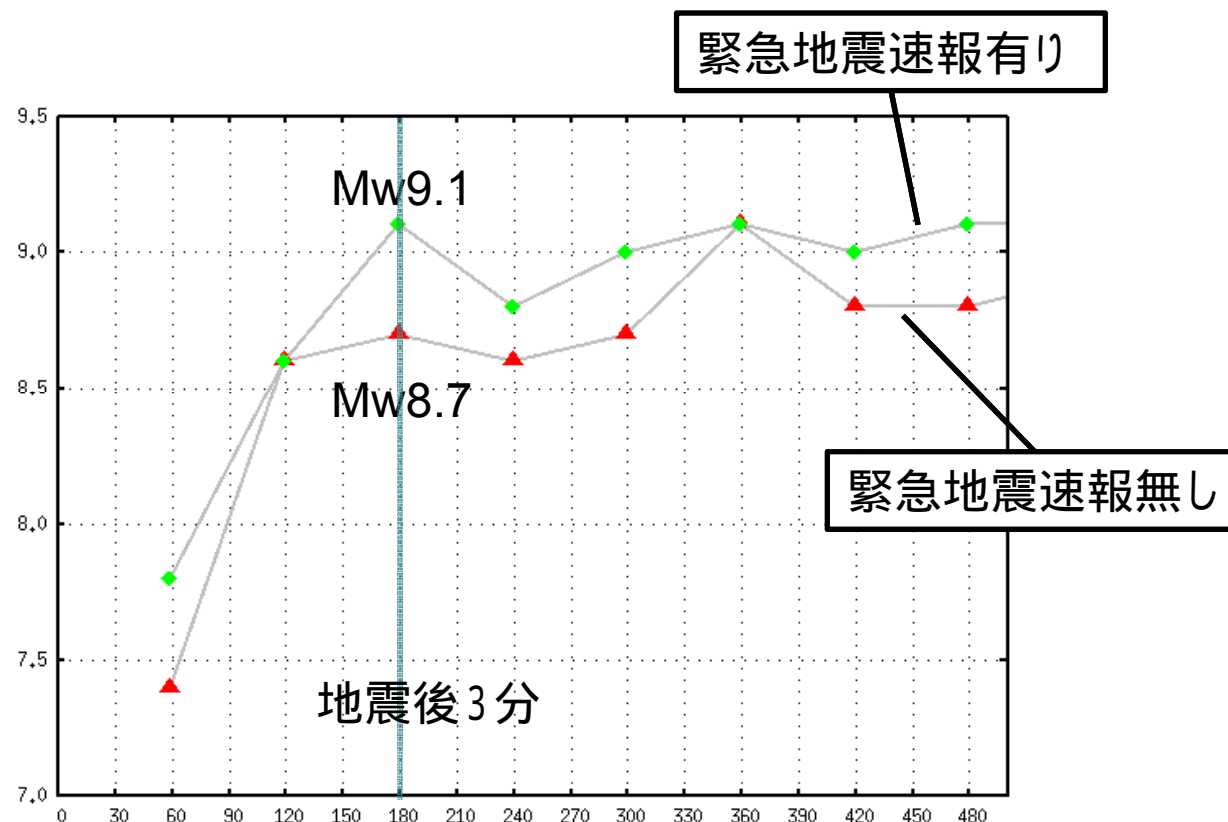


- ・2分程度でMw8.6を算出
- ・陸側を初期値としているため、震源の位置が不安定
- ・Mwの計算値は安定

東北地方太平洋沖地震 Mw9.0 (緊急地震速報有り)



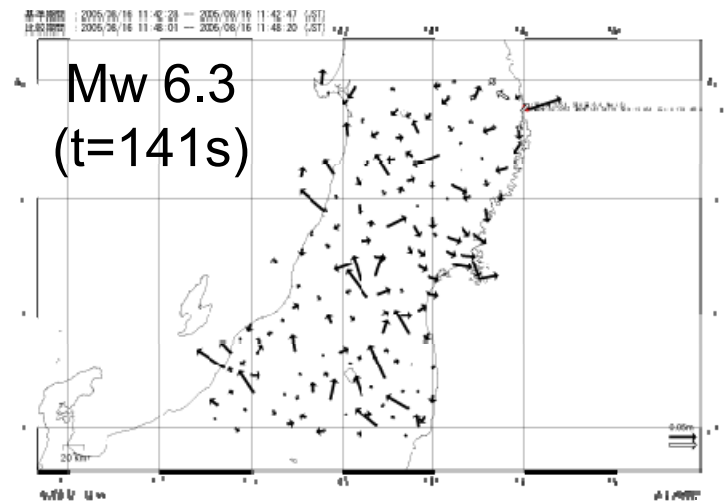
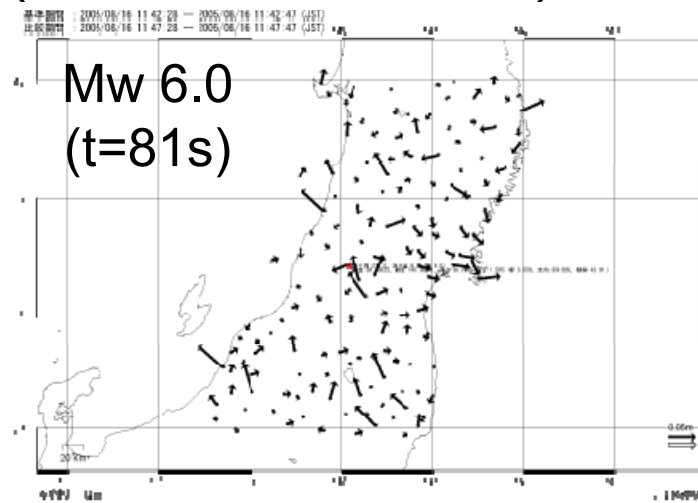
- ・2分程度でM8.6を算出
- ・初期値の精度が良かったため、震源の位置は安定
- ・断層の北側、南側でモデル誤差が大きい(断層1枚による近似の影響)



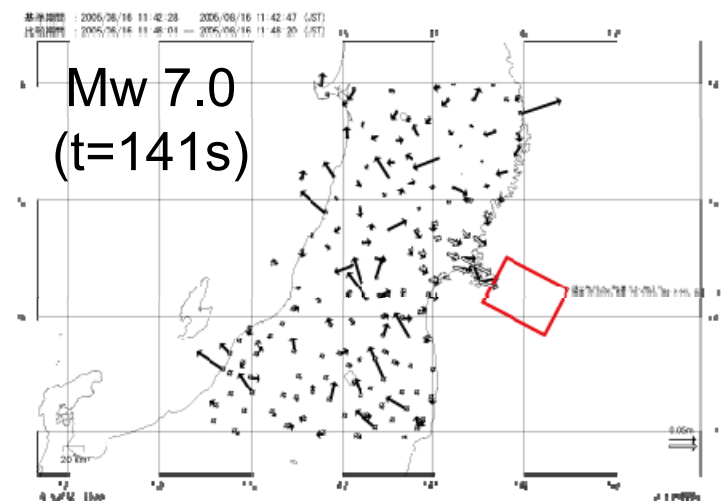
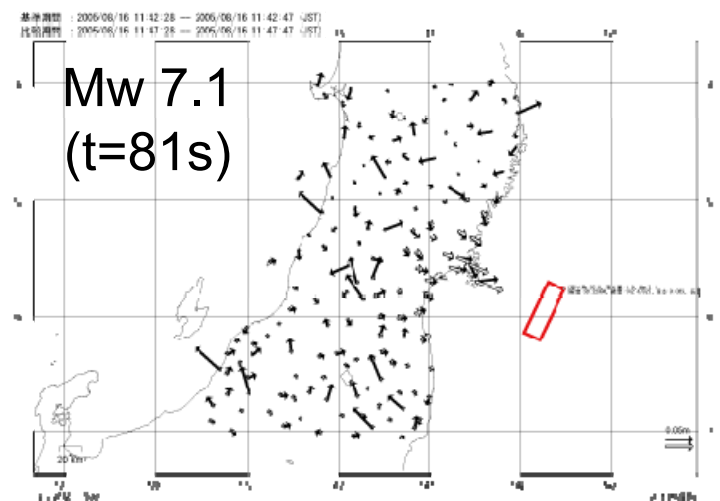
- GNSSデータ観測からMw計算までにかかる時間は約6秒
- 地震後2分でMw8.6, 3分でMw9.1 (緊急地震速報有り)を算出
- Mwの計算は3分程度でほぼ安定
- 緊急地震速報を用いた方が早くMw9.0に近い値に達する
→緊急地震速報が無い場合、断層モデル推定結果が陸側に寄ってしまうため

2005年8月16日 宮城県沖の地震(M7.2)

(緊急地震速報無し)



(緊急地震速報有り)



- 緊急地震速報が使用可能であれば、おおよそ正しいMwの算出が可能
- 地殻変動データのみからではM7.2に近い解は得られず、検出限界ぎりぎりか

平成24年度後半に新たに実装

(地殻変動 (永久変位) 自動検知機能)

- ・補助観測点を用いた相互チェック機能 (小林他, 2012)
- ・緊急地震速報による変動検知機能

(震源断層モデル計算機能)

- ・矩形断層 (1枚) 近似による断層モデル (Mw) 計算
- ・逆計算初期値への緊急地震速報取り込み

(メール通知機能)

- ・震源断層モデルパラメータ推定結果通知

過去データを用いた検証結果

- ・東北地方太平洋沖地震の場合、地震発生後3分程度でMw9.1 (緊急地震速報が無い場合はMw8.7) を算出
- ・緊急地震速報を初期値として用いた方が計算が安定
→2005年8月16日 宮城県沖の地震 (M7.2) でもおおよそ気象庁解に近いMw計算結果を得ることが可能
- ・断層形状の計算結果が安定しないため、より信頼性を高めてゆく必要あり

来年度以降

(規模の増強)

- モニタリング対象を全国(約1,240点)に拡大

(信頼性の向上)

- システムの二重化
- 測位精度の向上
- 震源断層モデル計算機能の信頼性向上