

令和元年 11月22日

第225回 地震予知連絡会

記者会見資料

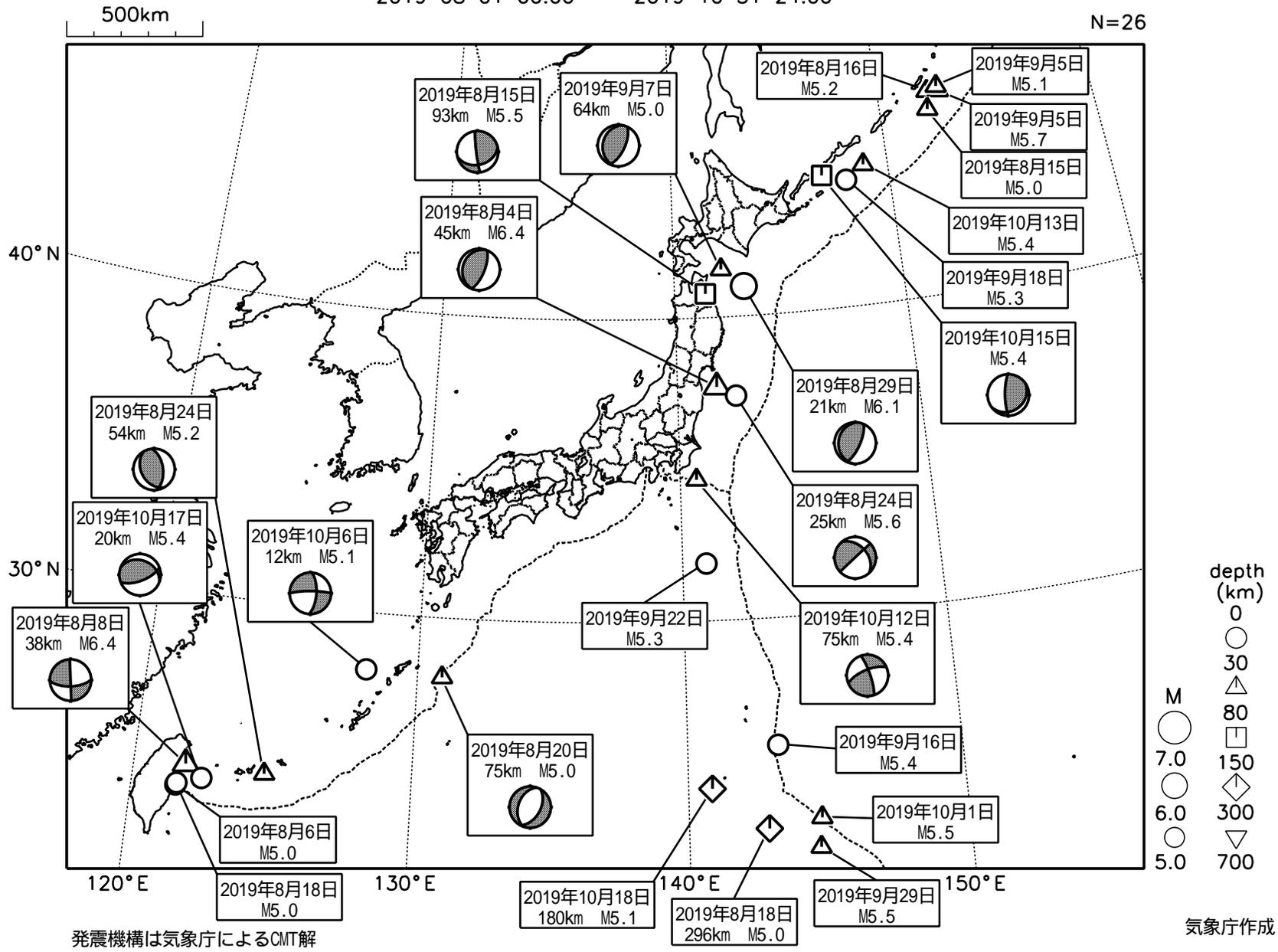
事務局：国土地理院

地殻活動モニタリングに 関する検討

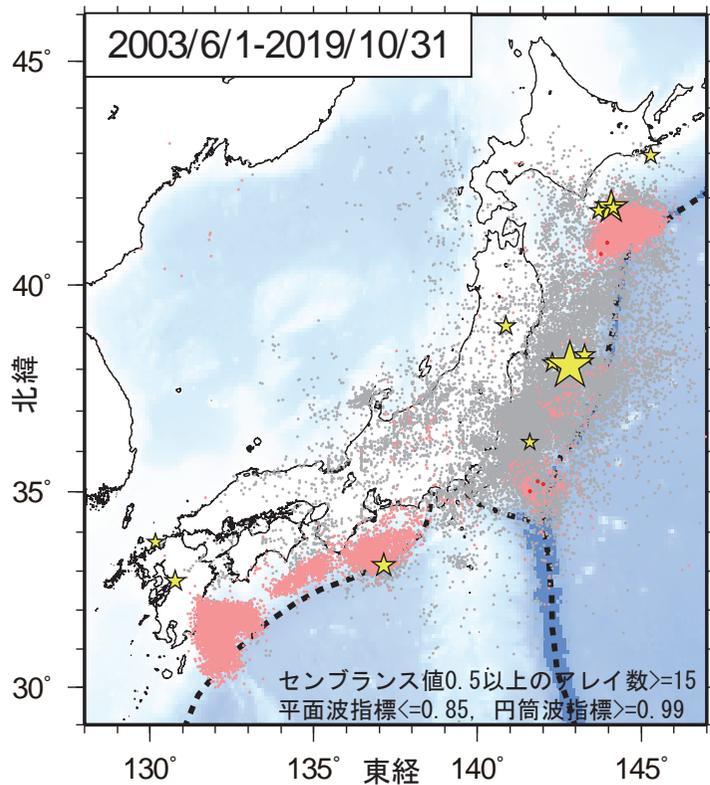
日本とその周辺の地震活動（2019年8月～10月、M 5.0）

2019 08 01 00:00 -- 2019 10 31 24:00

N=26

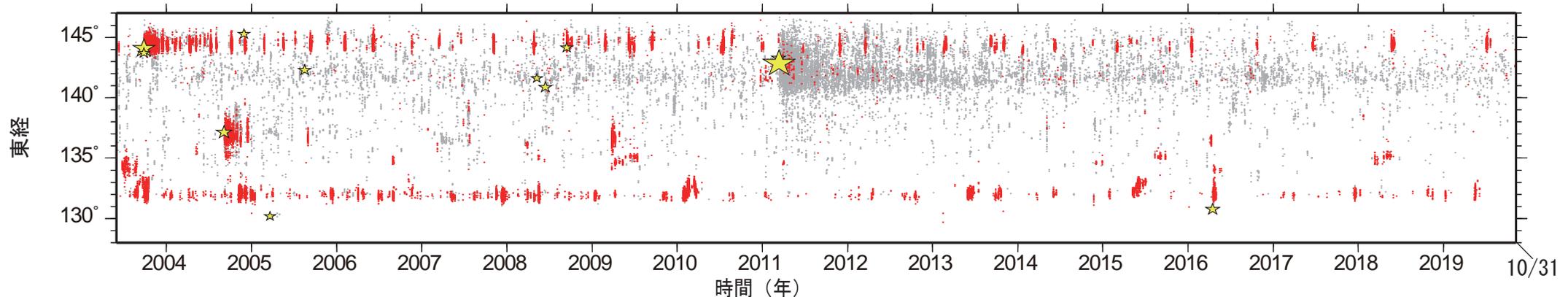


日本周辺における浅部超低周波地震活動（2019年8月～10月）



● 期間内に本解析では目立った活動は検出されなかった。

第1図. 2003年6月1日から2019年10月31日までの期間にアレイ解析によって検出されたイベントの震央分布. 検出イベントを防災科研 Hi-net の手動または自動検測震源と照合し, 対応する地震が見出されたイベントを灰色で, それ以外を桃色 (2018年7月31日以前), および赤色 (8月1日以降) の点でそれぞれ示す. これらは主として周期10秒以上に卓越する超低周波地震を表すが, 東北地方太平洋沖地震の発生以降は, 除去しきれない通常地震を含む. 期間内に発生した $M7$ 以上の地震 (ただし, 2011年～2015年の期間は東北地方太平洋沖地震の本震のみ) の震央を黄色星印で示す.



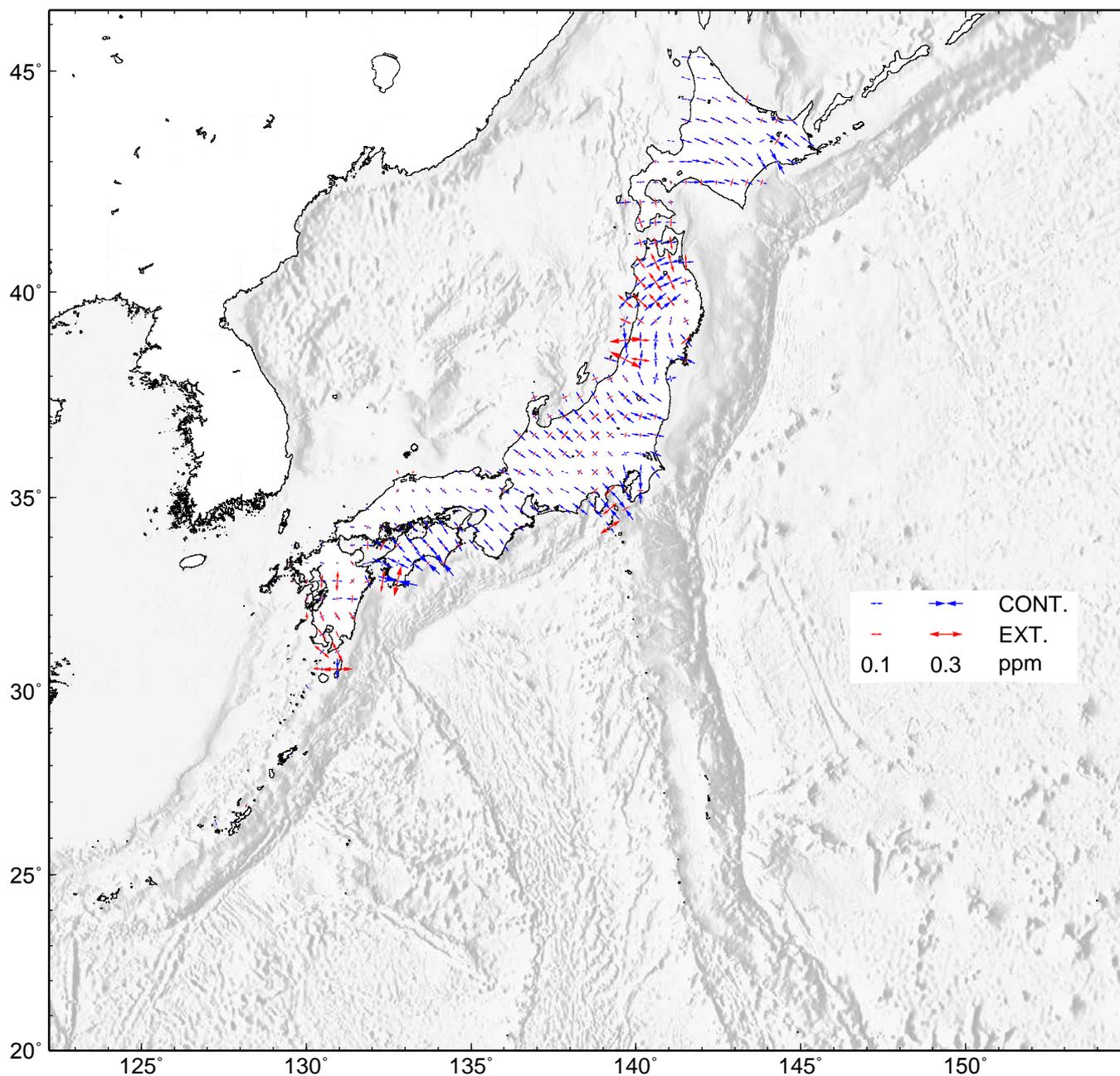
第2図. 2003年6月1日から2019年10月31日までの期間に検出されたイベントの時空間分布. 検出されたイベントを防災科研 Hi-net 手動または自動検測震源と照合し, 対応する地震が見出されたイベントを灰色で, それ以外を赤色の点でそれぞれ示す. その他は第1図に同じ.

GNSS 連続観測から推定した日本列島のひずみ変化

- 2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響によるひずみが見られる。
- 2016年4月の熊本地震の余効変動の影響によるひずみが見られる。
- 九州北部・四国西部では、2018年春頃から始まったプレート間のゆっくりすべり（スロースリップ現象）の影響によるひずみが見られる。
- 2019年1月の種子島近海の地震の影響によるひずみが見られる。
- 2019年6月18日の山形県沖の地震の影響によるひずみが見られる。

基準期間：2018/09/28 – 2018/10/12 [F 3：最終解]

比較期間：2019/09/28 – 2019/10/12 [F 3：最終解]



- GNSS 連続観測による変位ベクトルからひずみ変化図を作成した。
- 海底地形データは ETOPO1 (Amante, C. & B. W. Eakins(2009)) を使用した。

西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況 (2019年8月～10月) その1

- 短期的スロースリップイベントを伴う顕著な微動活動：
四国東部から中部，9月12日～19日．四国西部から中部，8月10日～18日．
- 上記以外の主な微動活動：
東海地方，8月3日～7日．紀伊半島南部，8月4～6日．

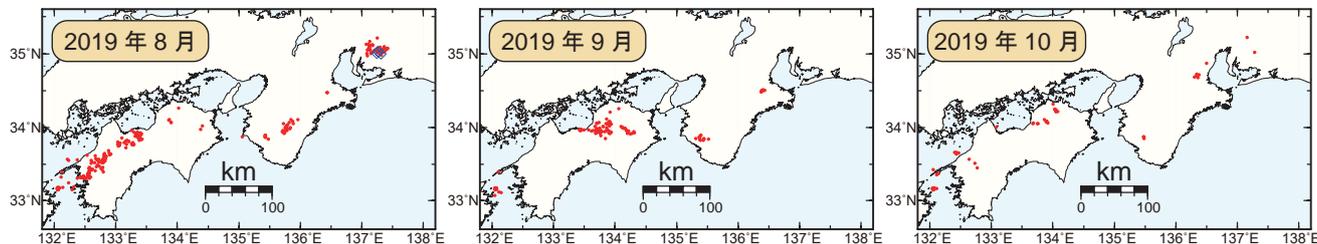


図1. 西南日本における2019年8月～10月の月毎の深部低周波微動活動. 赤丸はエンベロープ相関・振幅ハイブリッド法 (Maeda and Obara, 2009) およびクラスター処理 (Obara et al., 2010) において，1時間毎に自動処理された微動分布の重心である. 青菱形は周期20秒に卓越する深部超低周波地震 (Ito et al., 2007) である.

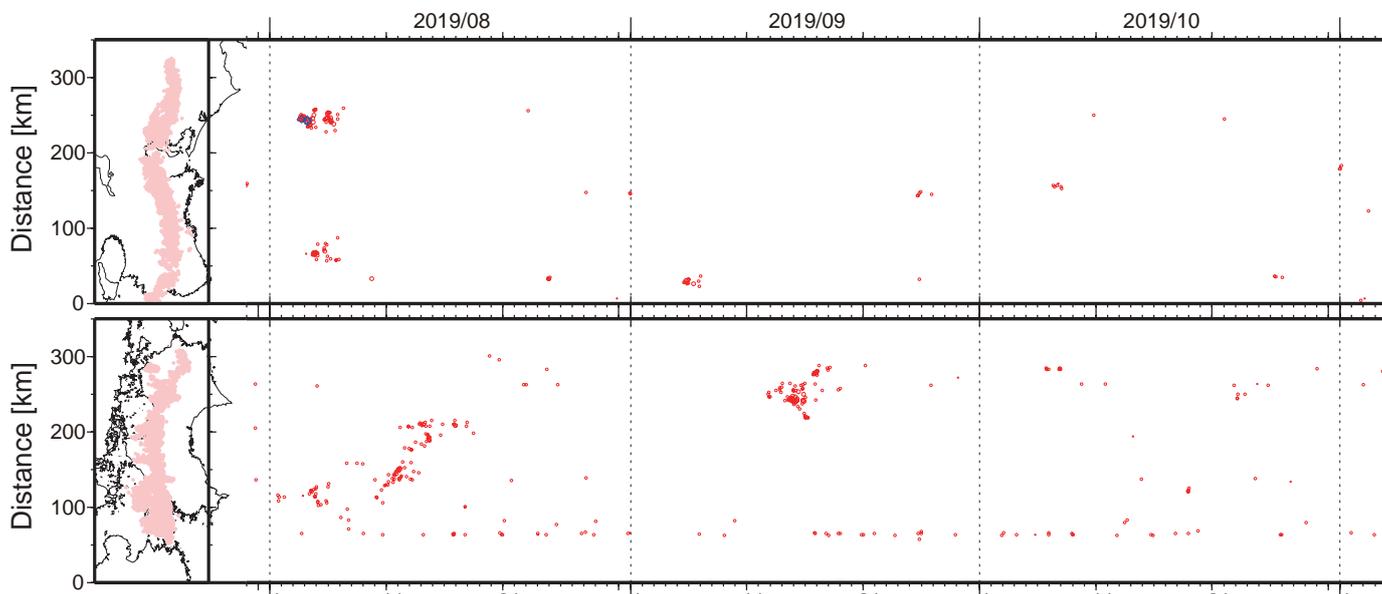


図2. 2019年7月30日～11月4日の深部低周波微動 (赤) および，深部超低周波地震 (青菱形) の時空間分布.

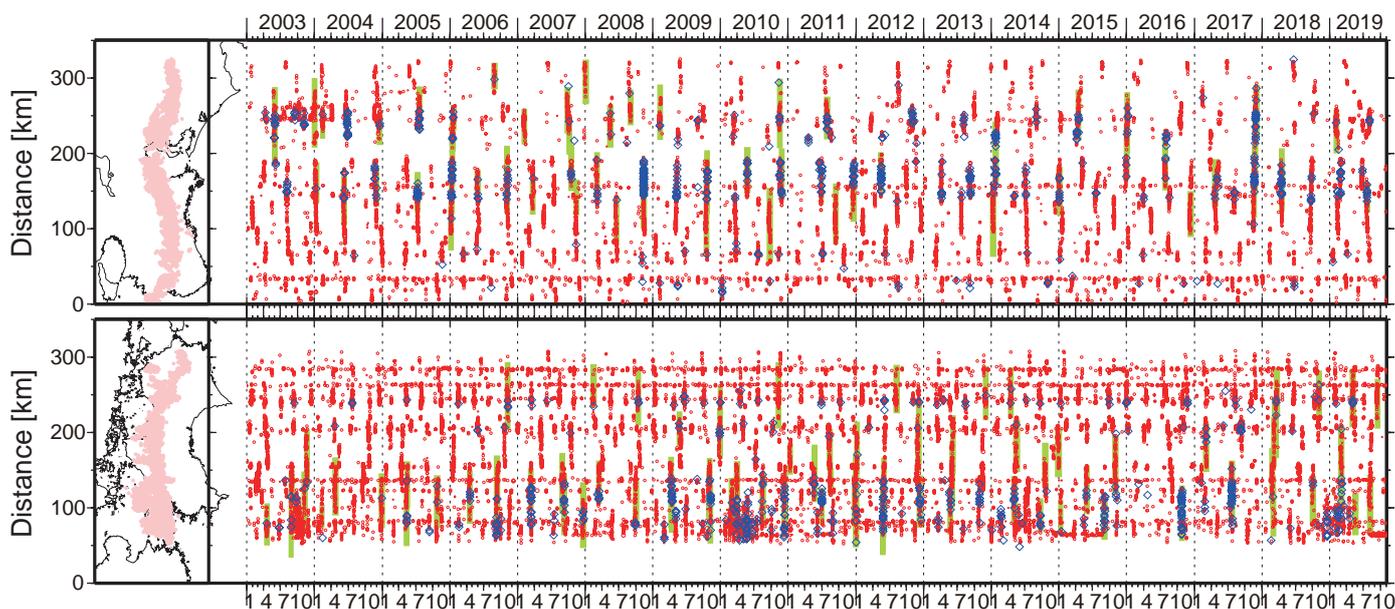


図3. 2003年1月～2019年11月4日までの深部低周波微動 (赤) および，深部超低周波地震 (青菱形) の時空間分布. 緑太線は，傾斜変動から検出された短期的スロースリップイベント.

西南日本の深部低周波微動・短期的スロースリップ活動状況（2019年8月～10月）その2

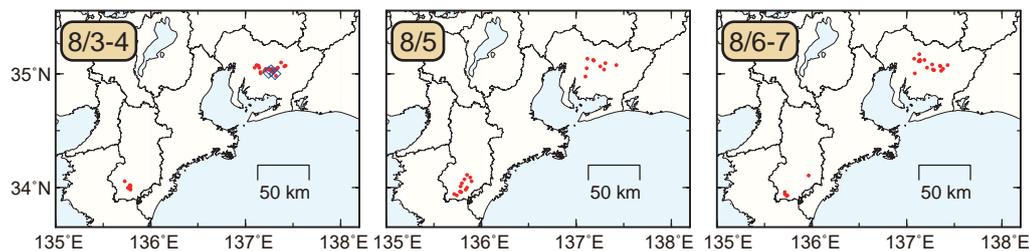


図1. 紀伊半島・東海地域で活発化した微動活動（赤丸）と深部超低周波地震（青菱形）の期間毎の分布. 8月3日～7日頃の愛知県中部における微動活動では、活動開始後の8月5日頃に一時的に活動が低調になったのち再開し、やや北側への活動域の移動がみられた. 8月4～6日頃の奈良県南部における活動では、北東および南西方向への活動域の移動がみられた.

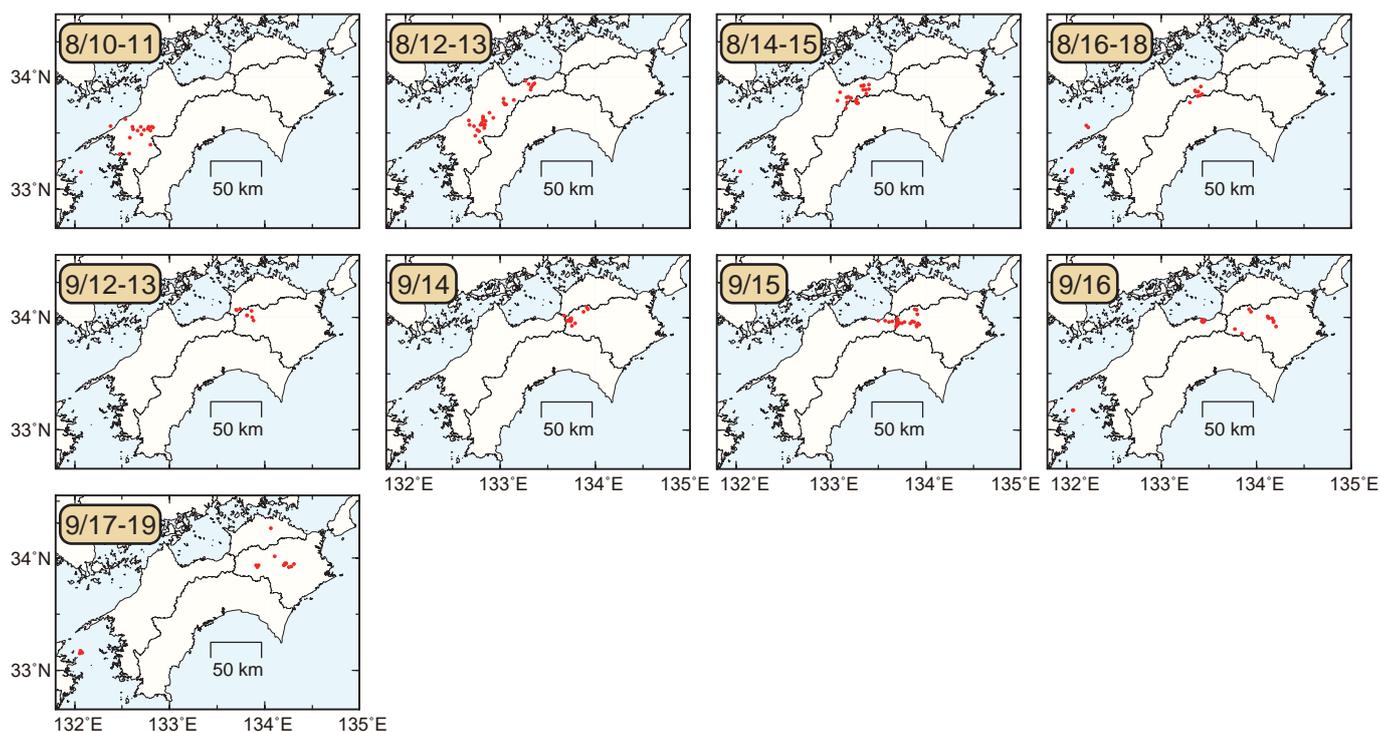


図2. 四国地域で活発化した微動活動（赤丸）と深部超低周波地震（青菱形）の期間毎の分布. 8月10～18日頃の愛媛県西部から愛媛県東部における微動活動では、愛媛県西部での活動開始後、13日頃にかけて東方向への活動域の移動がみられた. その後、18日頃まで活動がみられた. 9月12～19日頃の徳島県中部から愛媛県東部における活動では、徳島・香川県境付近で活動が開始した後、東西両方向への活動域の拡大がみられた. 17日頃からは活動が低調となりつつも、徳島県において活動がみられた.

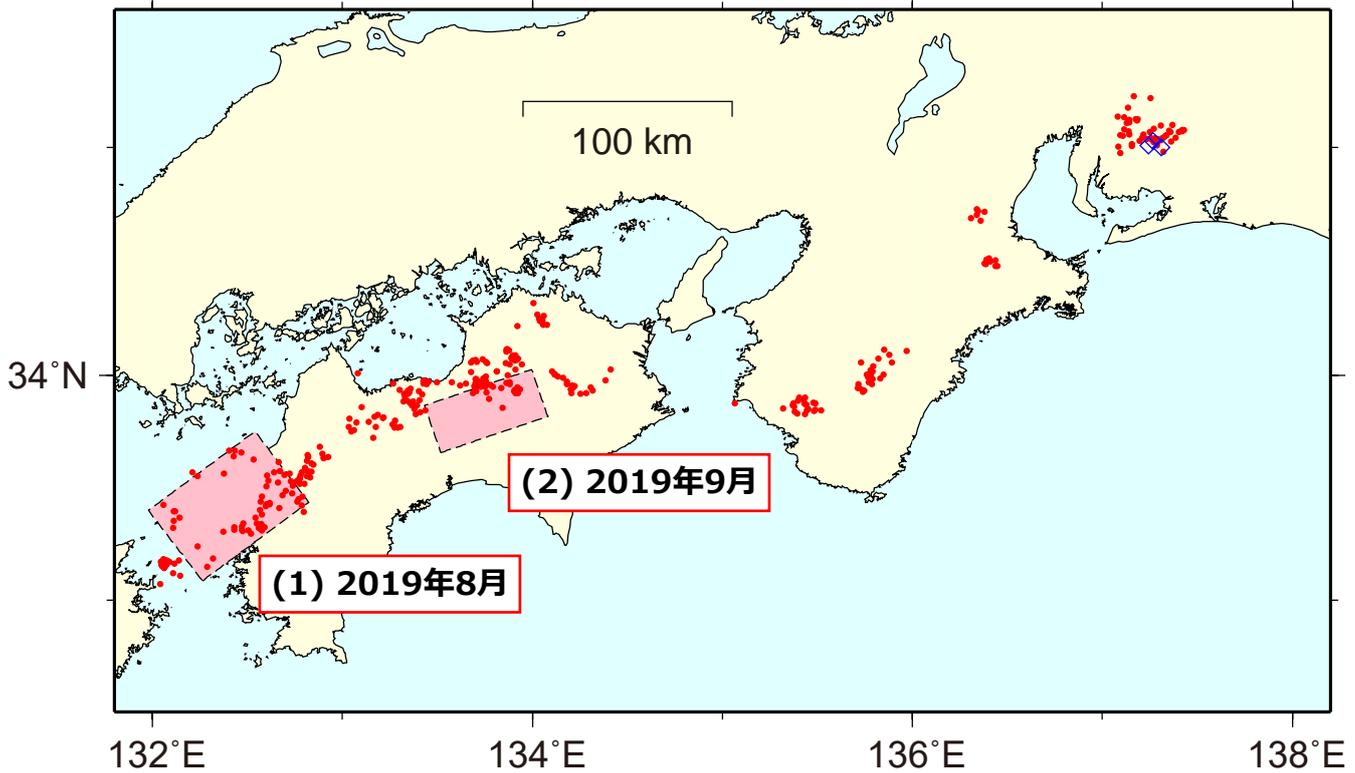


図1：2019年8月1日～2019年10月31日の深部低周波微動（赤点），深部超低周波地震（青菱形），短期的スロースリップイベント（SSE：ピンク四角）。

1. 2019年8月 四国西部（Mw 6.0）

2019年3月（Mw6.2）以来約5ヶ月ぶり

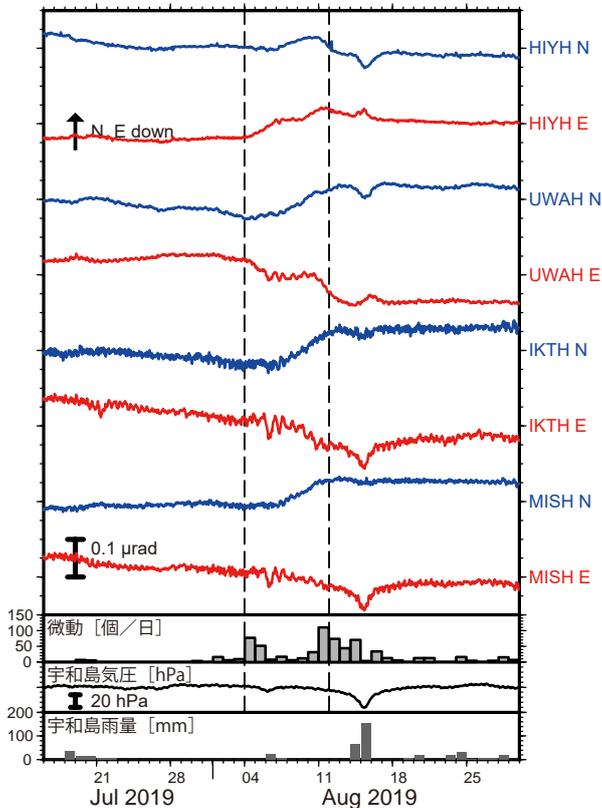


図2：2019年7月16日～8月29日の傾斜時系列。上方への変化が北・東下がりの傾斜変動を表し、BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答成分を除去した。8月4日～11日の傾斜変化ベクトルを図3に示す。四国西部での微動活動度・気象庁宇和島観測点の気圧・雨量をあわせて示す。

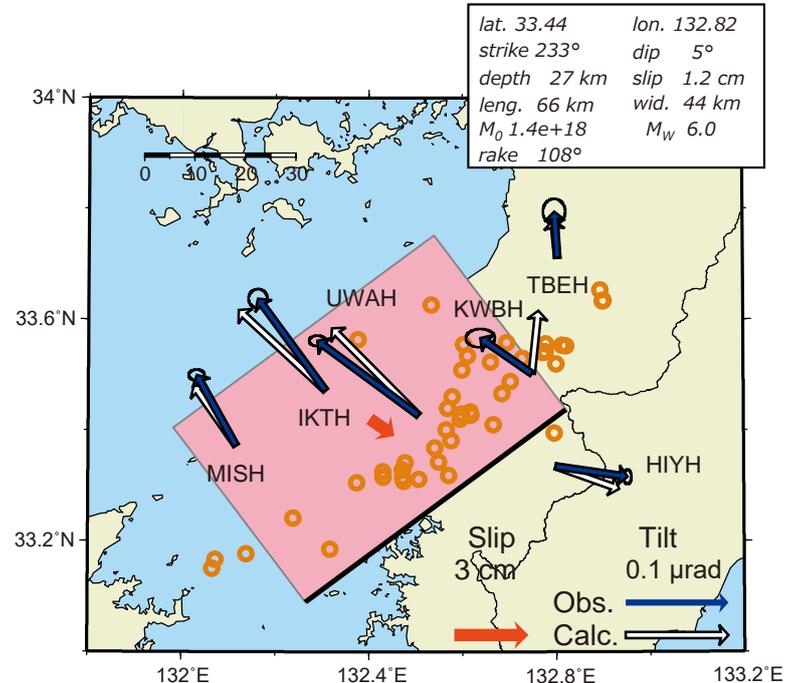


図3：8月4日～11日に観測された傾斜変化ベクトル（青矢印），推定されたスロースリップイベントの断層モデル（赤矩形・矢印），モデルから計算される傾斜変化ベクトル（白抜き矢印）を示す。1時間ごとの微動エネルギーの重心位置（橙丸）もあわせて示す。すべり角はプレート相対運動方向に固定している。

謝辞
 気象庁のWEBページで公開されている気象データを使用させて頂きました。記して感謝いたします。

2. 2019年9月 四国東部 (Mw 5.8)

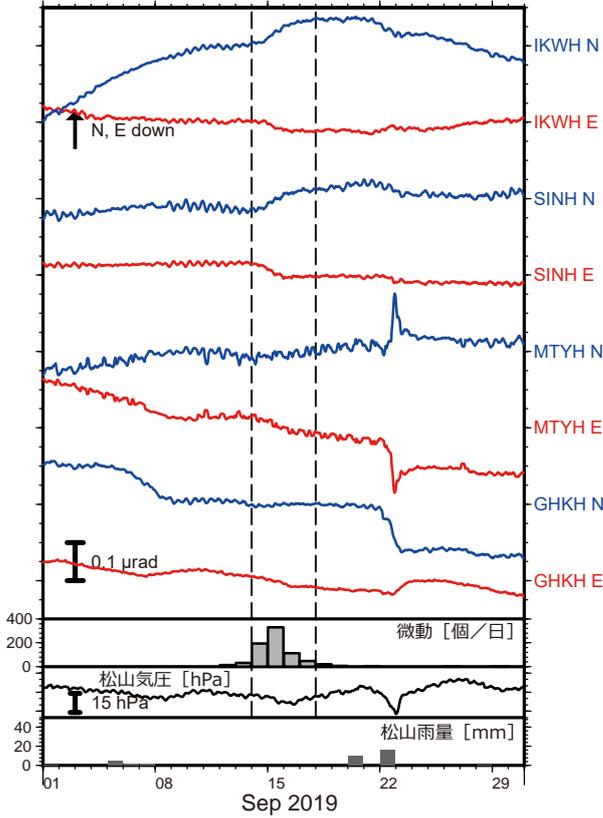


図4: 2019年9月1日~30日の傾斜時系列。上方向への変化が北・東下りの傾斜変動を表し、BAYTAP-Gにより潮汐・気圧応答成分を除去した。9月14日~17日の傾斜変化ベクトルを図5に示す。四国中東部での微動活動度・気象庁松山観測点の気圧・雨量をあわせて示す。

2019年5月 (Mw5.8) 以来約4ヶ月ぶり

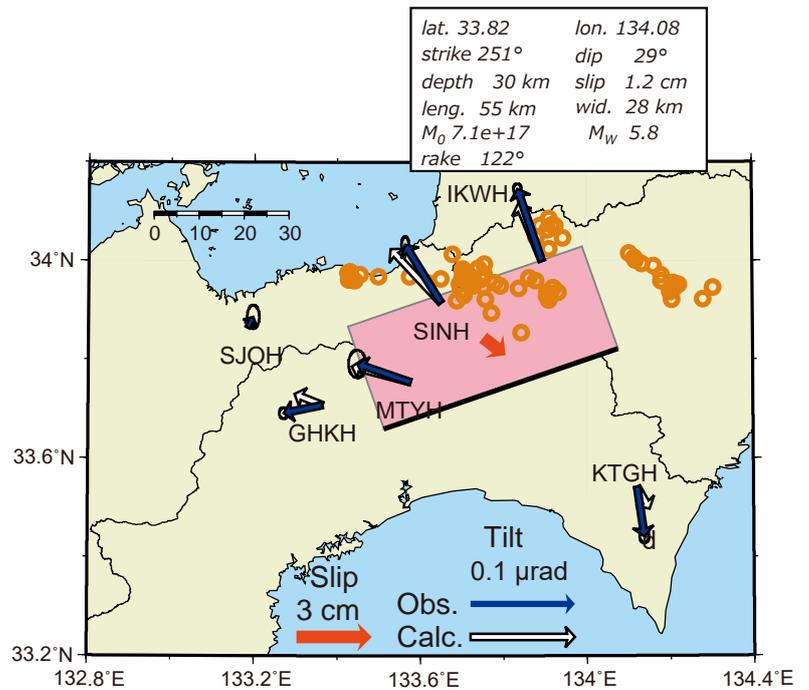
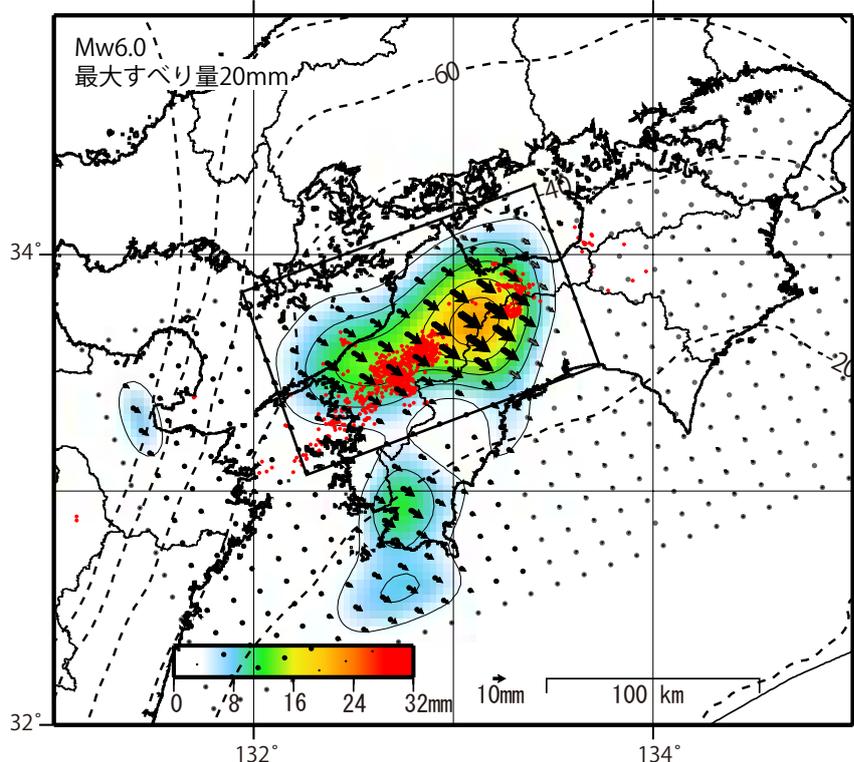


図5: 9月14日~17日に観測された傾斜変化ベクトル (青矢印), 推定されたスロースリップイベントの断層モデル (赤矩形・矢印), モデルから計算される傾斜変化ベクトル (白抜き矢印) を示す。1時間ごとの微動エネルギーの重心位置 (橙丸) もあわせて示す。すべり角はプレート相対運動方向に固定している。

GNSSデータから推定された
四国中部・西部の深部低周波微動と同期したスロースリップ(暫定)

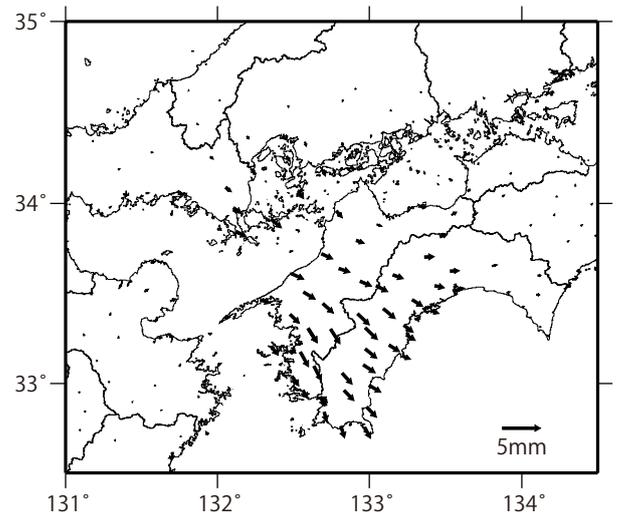
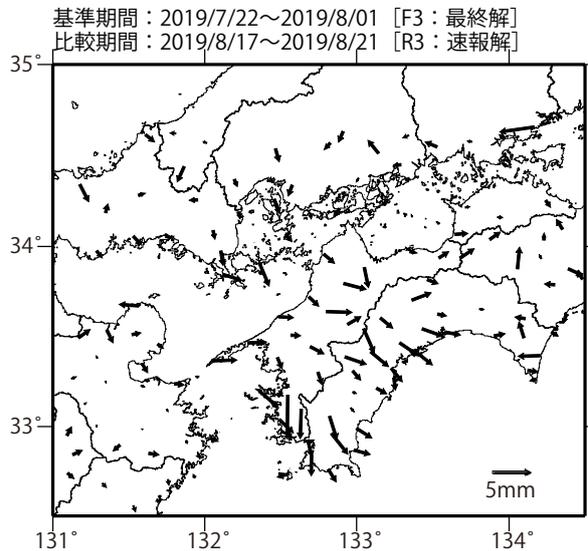
2019/8/3 ~ 2019/8/21



推定したすべり量が標準偏差(σ)の3倍以上のグリッドを黒色表示している。

観測

計算

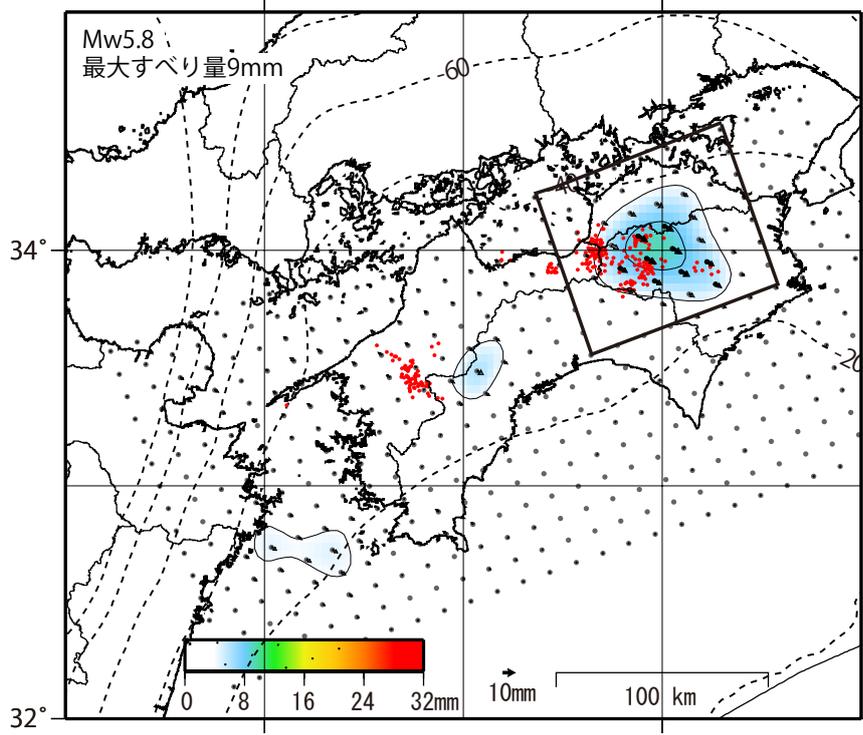


解析に使用した全観測点の座標時系列から
共通に含まれる時間変化成分は取り除いている。

解析に使用した観測点の範囲：概ね北緯32~34.6°、東経131~134.8°
データ：F3解(2019/7/1 - 8/3)+R3解(2019/8/4 - 8/21)
トレンド期間：2006/1/1 - 2009/1/1
モーメント計算範囲：上段の図の黒枠内側
黒破線：フィリピン海プレート上面の等深線(弘瀬・他、2007)
赤丸：低周波地震(気象庁一元化震源)
コンター間隔：4mm
固定局：三隅

GNSSデータから推定された
四国東部の深部低周波微動と同期したスロースリップ(暫定)

2019/9/10 ~ 2019/9/24

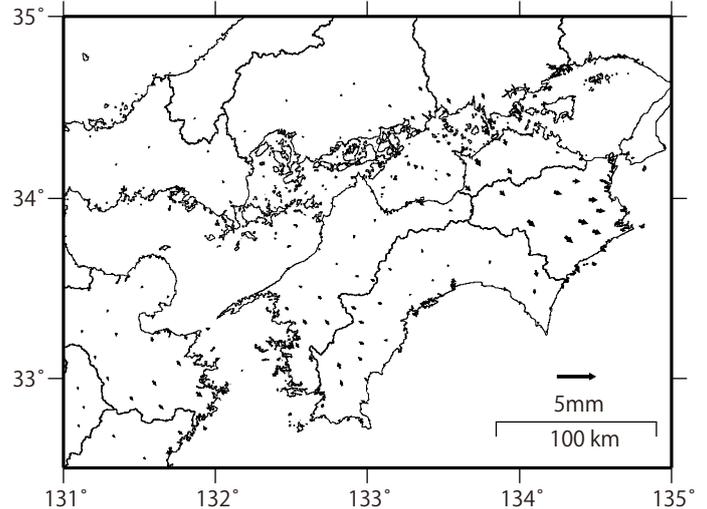
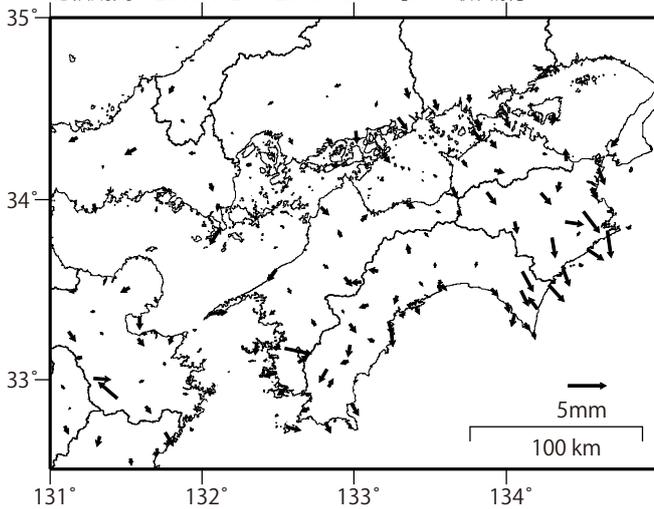


推定したすべり量が標準偏差(σ)の3倍以上のグリッドを黒色表示している。

観測

計算

基準期間：2019/8/27~2019/09/10 [F3：最終解]
比較期間：2019/9/24~2019/10/04 [F3：最終解]

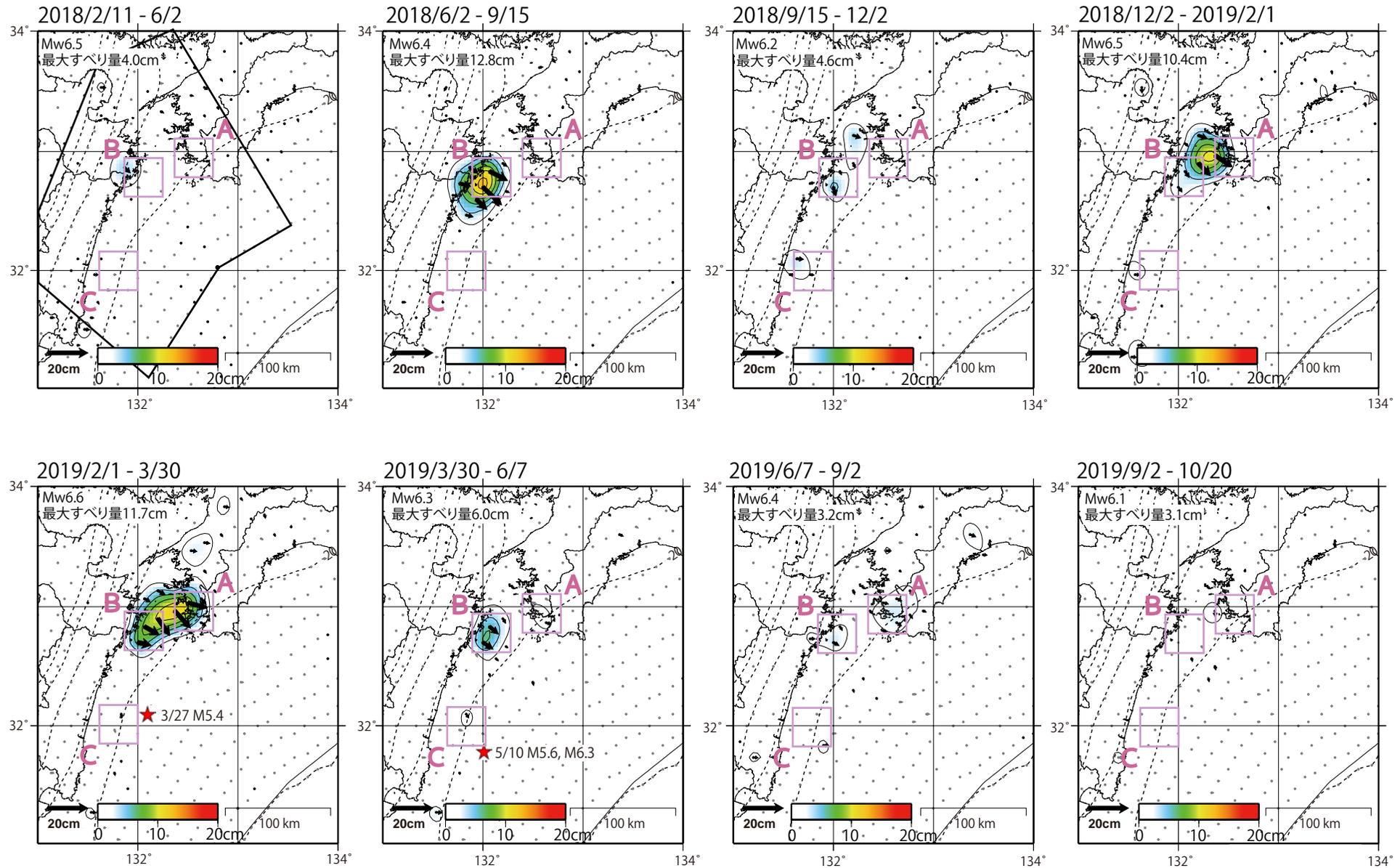


解析に使用した全観測点の座標時系列から
共通に含まれる時間変化成分は取り除いている。

解析に使用した観測点の範囲：概ね北緯32~34.6°、東経131~134.8°
データ：F3解(2019/8/1 - 10/15)
トレンド期間：2006/1/1 - 2009/1/1
モーメント計算範囲：上段の図の黒枠内側
黒破線：フィリピン海プレート上面の等深線(弘瀬・他, 2007)
赤丸：低周波地震(気象庁一元化震源)
コンター間隔：4mm
固定局：三隅

GNSSデータから推定された日向灘・豊後水道の長期的ゆっくりすべり(暫定)

推定すべり分布

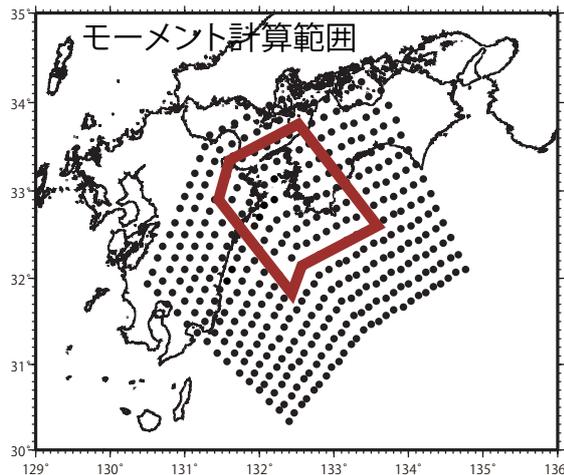
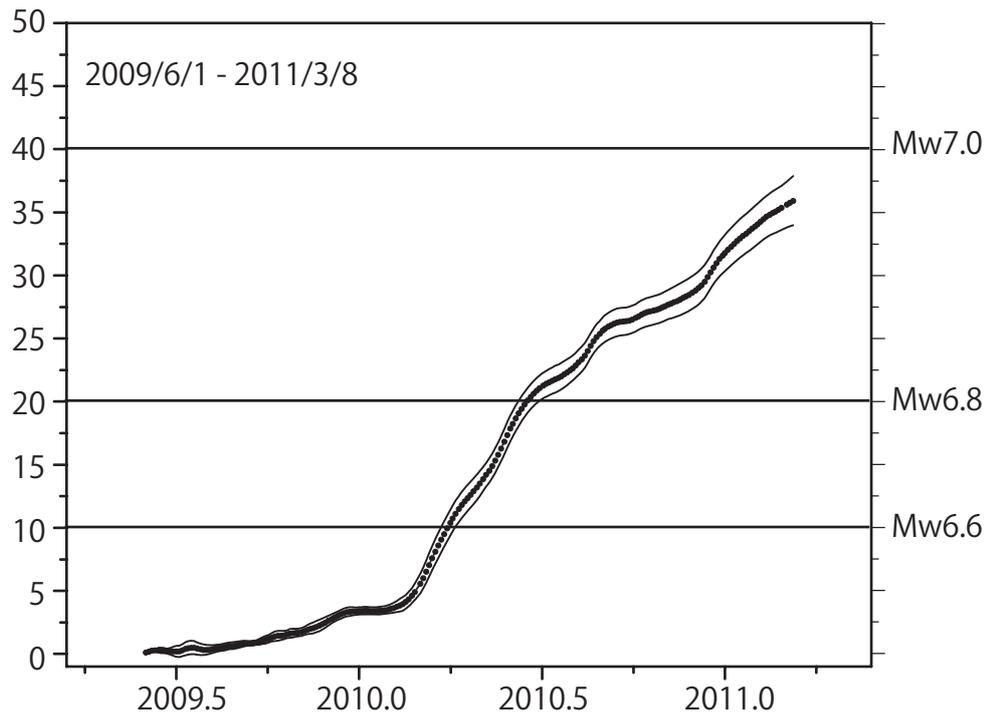
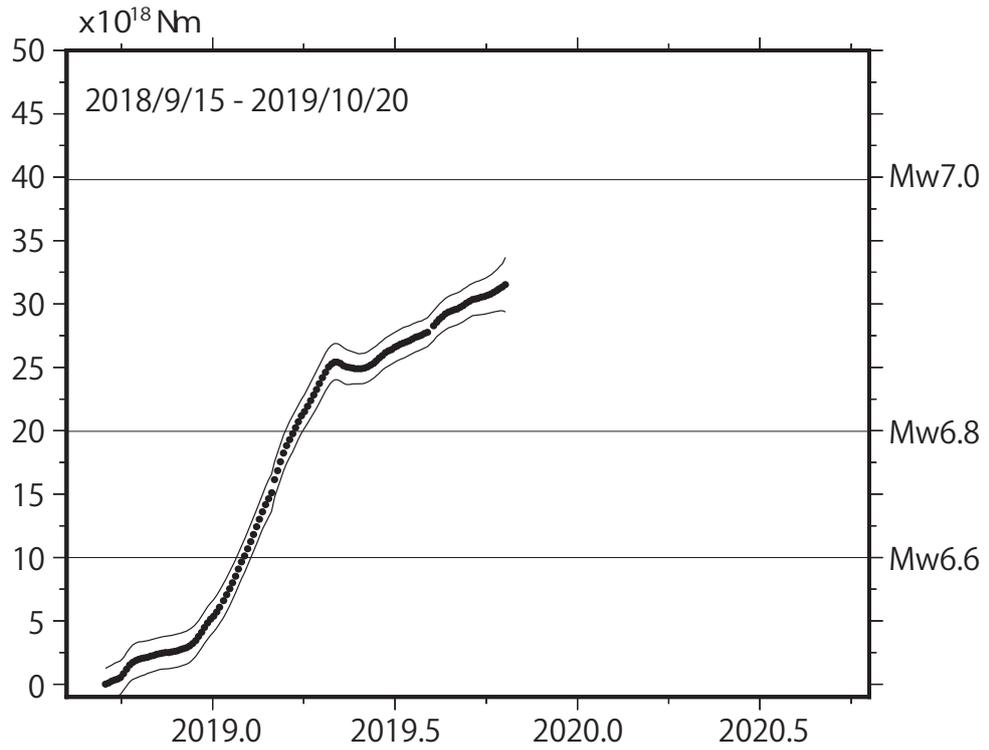


推定したすべり量が標準偏差(σ)の3倍以上のグリッドを黒で表示している。

モーメント計算範囲: 左上図の黒枠内側
 黒破線: フィリピン海プレート上面の等深線(弘瀬・他, 2007)
 コンター間隔: 2cm
 固定局: 福江

データ: F3解(~2019/10/12)+R3解(2019/10/13~10/20)
 (日向灘の地震(5/10, M6.3)の地震時変動を除去)
 トレンド期間: 2017/1/1 - 2018/1/1

モーメント^{*} 積算図(試算)



- モーメント積算図には、標準偏差 (σ) の3倍を誤差として表示している。
- 短期的SSEの影響を取り除いていない。

※モーメント
断層運動のエネルギーの目安となる量。
地震の場合のMw (モーメント・マグニチュード) に換算できる。

8月4日 福島県沖の地震

震央分布図

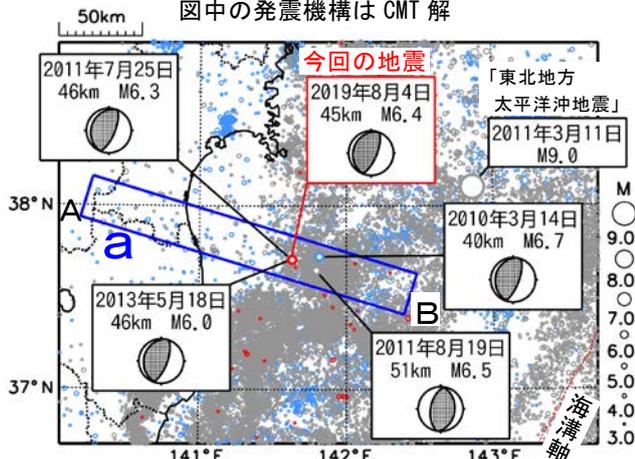
(1997年10月1日～2019年8月31日、
深さ0～150km、 $M \geq 3.0$)

2011年3月10日以前の地震を○、

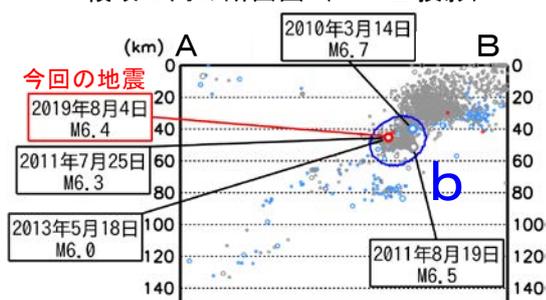
2011年3月11日以降の地震を○、

2019年8月の地震を●で表示

図中の発震機構はCMT解



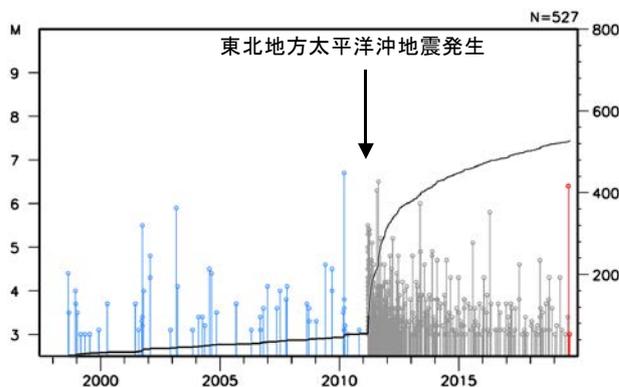
領域a内の断面図 (A-B投影)



2019年8月4日19時23分に福島県沖の深さ45kmでM6.4の地震 (最大震度5弱) が発生した。この地震は、発震機構 (CMT解) が西北西-東南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、太平洋プレートと陸のプレートの境界で発生した。この地震により軽傷者1人の被害が生じた (8月13日現在、総務省消防庁による)。

1997年10月以降の活動をみると、今回の地震の震源付近 (領域b) では、2011年7月25日にM6.3の地震 (最大震度5弱) が発生するなど、「平成23年 (2011年) 東北地方太平洋沖地震」の発生以降、地震活動が活発化し、M5.0を超える地震がしばしば発生している。

領域b内のM-T図及び回数積算図



震央分布図

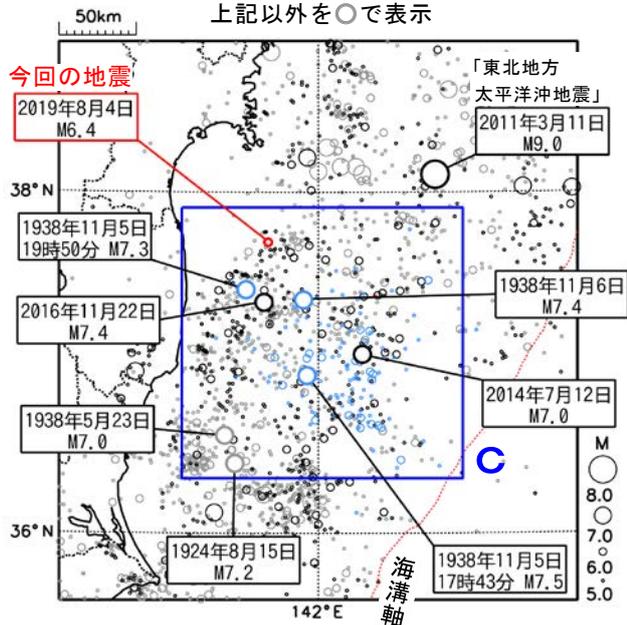
(1922年1月1日～2019年8月31日、
深さ0～150km、 $M \geq 5.0$)

1938年11月5日～11月30日の地震を○、

2011年3月11日以降の地震を○、

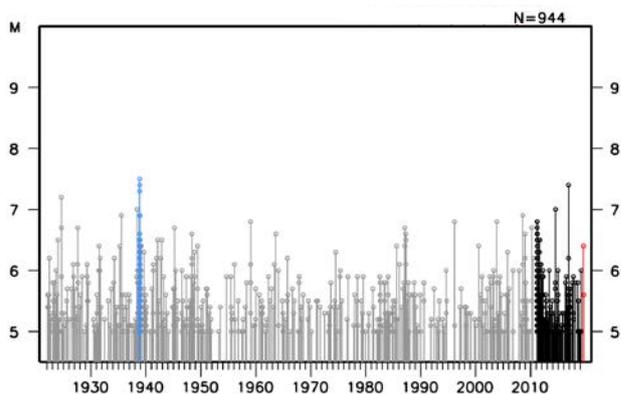
2019年8月の地震を●、

上記以外を○で表示



1922年以降の活動をみると、今回の地震の震央周辺 (領域c) では、1938年11月5日17時43分にM7.5の地震 (最大震度5) が発生した。この地震により、宮城県花巻で113cm (全振幅) の津波を観測した。この地震の後、福島県沖で地震活動が活発となった。この地震を含め、同年11月30日までにM6.0以上の地震が26回発生し、このうち7回は津波を観測した。これらの地震により、死者1人、負傷者9人、住家全壊4棟、半壊29棟などの被害が生じた (「日本被害地震総覧」による)。

領域c内のM-T図



重点検討課題の検討

「予測実験の試行06」

第 225 回地震予知連絡会重点検討課題「予測実験の試行 06」の検討

リアルタイム短期予測の実施と評価について

統計数理研究所 尾形良彦

地震の被害軽減に備えるために参考となるべき情報には、各地域での長期・中期・短期の様々な確率予測と、それらの合わせ技（多重確率予測）が考えられるが、地震の発生記録などの各種データが、リアルタイムで得られる現在、最も要請されるのは短期予測であろう。しかし「危険性が平時よりも高くなった」などの定性的な説明だけでは、現状に十分応えられたものと言えなくなってきた。起こりうる各シナリオに対して危険度を数量的に見積もった確率的予測を提示することが要請される。そのような予測能力の向上を目指すためには「予測実験の試行」を重ねて、予測結果を付加し、確率利得や情報量利得などを求め、有効性の評価や成績比較を行うことが肝心である。

今回の検討課題は、前震の確率予測、本震直後の余震の確率予測や最大震度予測、そして時間・空間の地震活動予測や異常検出など、短期予測について以下の課題の試行、結果の評価など現状報告講演を企画した。

(A) 前震予測.

或る地域で中規模の地震が起き始めたとき、順次、これが余震を伴って無事終焉するのか、より大きな地震が起きるのかを、統計的に識別することである。確率予測の試行と評価について報告していただく。

1) 前田憲二氏には伊豆地域などの特定地域に対して現在まで実行中のリアルタイム前震予測結果をまとめていただく。とくに ETAS モデルによる合成データと実際の JMA データとのもとで、予知率および的中率に関して比較する。

2) 野村俊一氏には全日本や全世界の前震予測の結果とその予測の評価のまとめを報告していただく。

(B) リアルタイム余震予測.

大地震の直後には余震が多発するため、地震計記録上で波形が互いに重なり合い、震源決定を行うことが困難である。しかし実際には本震直後の最初の 1 日のうちに、大きな余震は全体の半数ほど、連鎖する大地震も半分ほどの確率で起きる。したがって、地震発生 24 時間以内のできるだけ早い機会に、より大きな地震発生の可能性を含む、確率予報をすることが重要である。

3) 近江崇弘氏には、最近 3 年間の被害地震について、防災科学技術研究所と協力して Hi-net の自動処理震源データを用いた余震活動予測の、本震直後からのリアルタイム確率予報の試行と結果の評価について報告していただく。

4) 澤崎 郁氏は震災地域と周辺部の各地点で、本震直後から経時的に最大震度の確率予

測を算出するため、地震計の連続地震動記録を直接的に使う局所的な最大振幅から大きな余震の震度予測を考えた。Hi-net 地震計の連続モニタリングを基に時空間的なリアルタイム震度予測の可能性についてお話しいただく。

(C) 時・空間 ETAS モデルまたは非定常 ETAS モデルによる地震活動予測。

リアルタイムに得られる広域の地震活動度の推移について ETAS モデルが短期・中期・長期の確率予測にどう関わるかの現状について検討する。また、GNSS やひずみ計傾斜計データなどを使った地殻変動と地震活動予測との関係の研究は極めて重要と考えている。

5) 西川友章氏は日本列島のプレート境界の地震活動に、各地域の標準 ETAS モデルをあてはめ、群発地震をリアルタイムで自動検出している。この試行を継続することで、スロー地震やそれが大地震の前兆に繋がる可能性の経験確率を求めることを狙っている。

6) 熊澤貴雄氏は非定常 ETAS モデルの時変パラメータ $\mu(t)$ がスロー地震時に伴う群発地震に対応し、GNSS や体積歪みなどの測地学的異常変化と $\mu(t)$ との因果関係を考慮し、その予測の可能性について報告する。

資料の提出) コンビーナから、CSEP日本で予測実験されている時空間 ETAS モデルによる余震の時空間予測の結果や、3次元・時空間ETASモデルによる関東地域直下100km 深までの地震活動の予測結果を示した資料が提出された。

話題提供者〔敬称略〕と話題タイトル：

- 1) 前田憲二 (気象研究所)
「群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法(5): 最近の活動事例による検証と ETAS モデルとの比較」
- 2) 野村俊一 (統計数理研究所)
「多様な予測方式に対する前震識別モデルとその予測性能評価」
- 3) 近江崇弘 (東京大学生産技術研究所)
「日本における余震活動のリアルタイム確率予測」
- 4) 澤崎 郁 (防災科学技術研究所)
「連続地震計記録を用いた余震による最大振幅の予測について」
- 5) 西川友章 (京都大学防災研究所)
「日本周辺の海溝における準リアルタイム群発地震モニタリング」
- 6) 熊澤貴雄 (東京大学地震研究所)
「群発地震活動の非定常 ETAS モデルによる検出と測地学データに基づく予測可能性について」

資料提出) 尾形良彦

「階層的時空間 ETAS モデルによる短期・中期予測と結果」

群発的地震活動を前震活動と仮定して行う本震の発生予測手法(5): 最近の活動事例による検証と ETAS モデルとの比較

#前田憲二*・弘瀬冬樹・溜瀧功史 (気象研) [*気象庁地震予知情報課から併任]

- 前震活動に基づく予測モデルの成績 (過去1年間と通算) (図1)
 - 過去1年では長野県北中部と九州中部で成績が若干下がった
 - 通算では日本海溝3領域と長野県北中部の成績が特に下がった
- ETAS モデルによる予測結果との比較 (図2)
 - 特に集中的に地震が発生する場合を除き、定常時間 ETAS モデルより前震活動に基づく予測モデルの方が予測確率は高い
- ETAS による合成カタログと自然地震カタログとの比較 (図3, 4)
 - 定常時空間 ETAS では本震前の前震活動の加速を十分に再現していない
→前震活動の特徴に基づく予測の方が定常時空間 ETAS より予測に有効

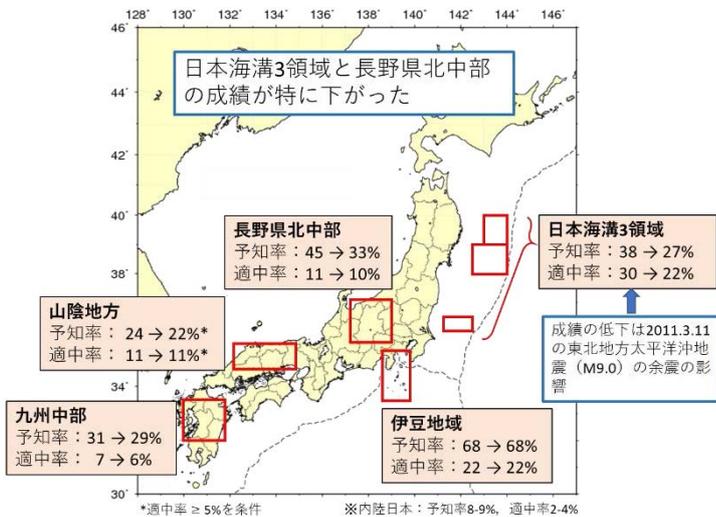
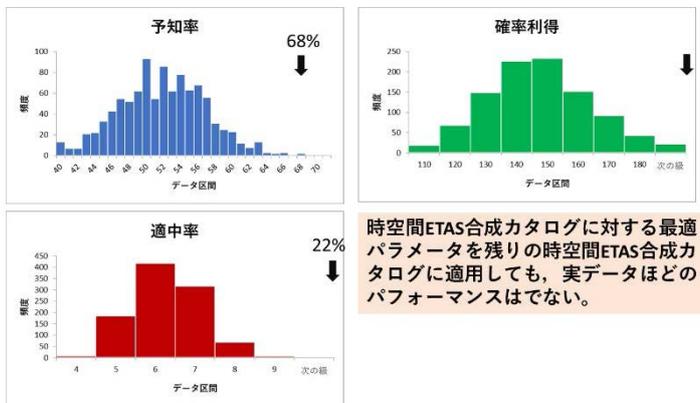


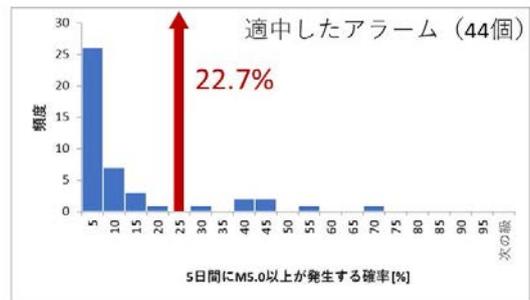
図1. 前震活動に基づく予測モデルの成績の変化
矢印左: 最適パラメータ推定時の値
矢印右: 2019年10月31日時点の値



※矢印は実データの前震に基づく予測モデルの最適化期間における値

図3. 時空間 ETAS 合成カタログを用いた場合の成績
矢印: 実データの前震に基づく最適パラメータ推定時の値

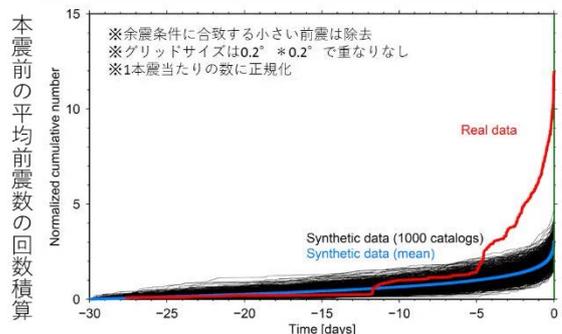
伊豆地域



ETASモデルから期待されるターゲット地震の発生率は5%以下が大半
⇒本モデルの方が平均的に高い値を示す

図2. ETAS モデルによる予測結果との比較
赤矢印: 前震活動に基づく予測モデルによる本震発生確率
青棒: 定常時間 ETAS モデルによる本震発生確率 (前震予測モデルがアラームを出した直後の値)

両カタログとも本震前に明確な加速はみられるが、実カタログの方が加速はより大きい



・定常時空間ETASでは本震前の前震活動の加速を十分に再現していない
→前震活動の加速の特徴を用いた予測の方が予測は有利

図4. 本震前の前震の回数積算比較 (1本震当たりの地震数に正規化)

赤: 実カタログ
黒: 時空間 ETAS カタログ 1000 個
青: 時空間 ETAS カタログ 1000 個の平均

多様な予測方式に対する前震識別モデルとその予測性能評価

野村 俊一 (統計数理研究所)

ポイント

- 地震群ベース (図1) の前震識別モデルを予測方式に応じて調整し、予測性能を評価する。
- 30日以内本震発生確率を6掛けすると7日以内、3掛けすると1日以内の確率となる (図2)。
- 本震マグニチュード基準を変えても、クロス集計表で高い識別性能が確認される (表1, 2)。
- マグニチュード分布をG-R則と比較すると全日本と全世界のいずれも良い予測性能を示す。特に、全世界では先行研究よりも良い予測性能を示している (図3)。

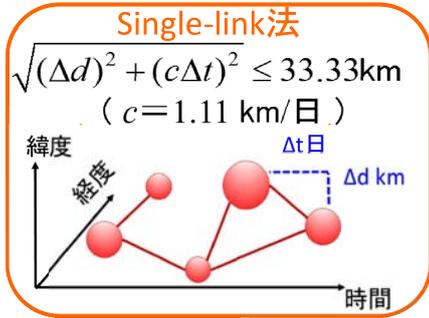


図1: 地震群の構成方法

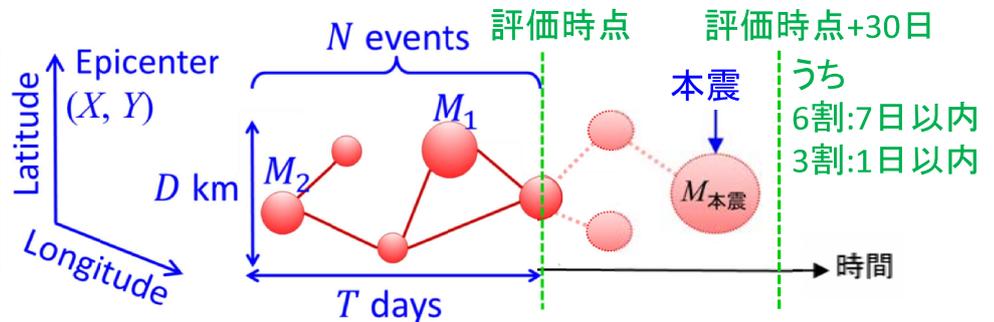


図2: 前震群の定義と前震識別のための特徴量

表1: 前震確率の予測成績評価

前震確率評価値		0-10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	合計	AIC
N≤10	全地震群数	1410	884	443	161	77	37	13	9	3034	AIC0=2435
	前震群数	92	134	86	50	24	17	6	9	418	AIC1=2244
	適中率	7%	15%	19%	31%	31%	46%	46%	100%	14%	dAIC=190

表2: 前震確率 (M6以上本震発生確率) の予測成績評価

前震確率評価値		0-5%	5-10%	10-15%	15-20%	合計	AIC
N≤10	全地震群数	2779	203	41	11	3,034	AIC0=1167
	前震群数	110	25	7	3	145	AIC1=1133
	適中率	4%	12%	17%	27%	5%	dAIC=34

$$\log \frac{\Psi(M_{n+1} | M_1, \dots, M_n)}{\Psi_{GR}(M_{n+1})} : \text{Information gain score per earthquake (v.s. G-R law)}$$

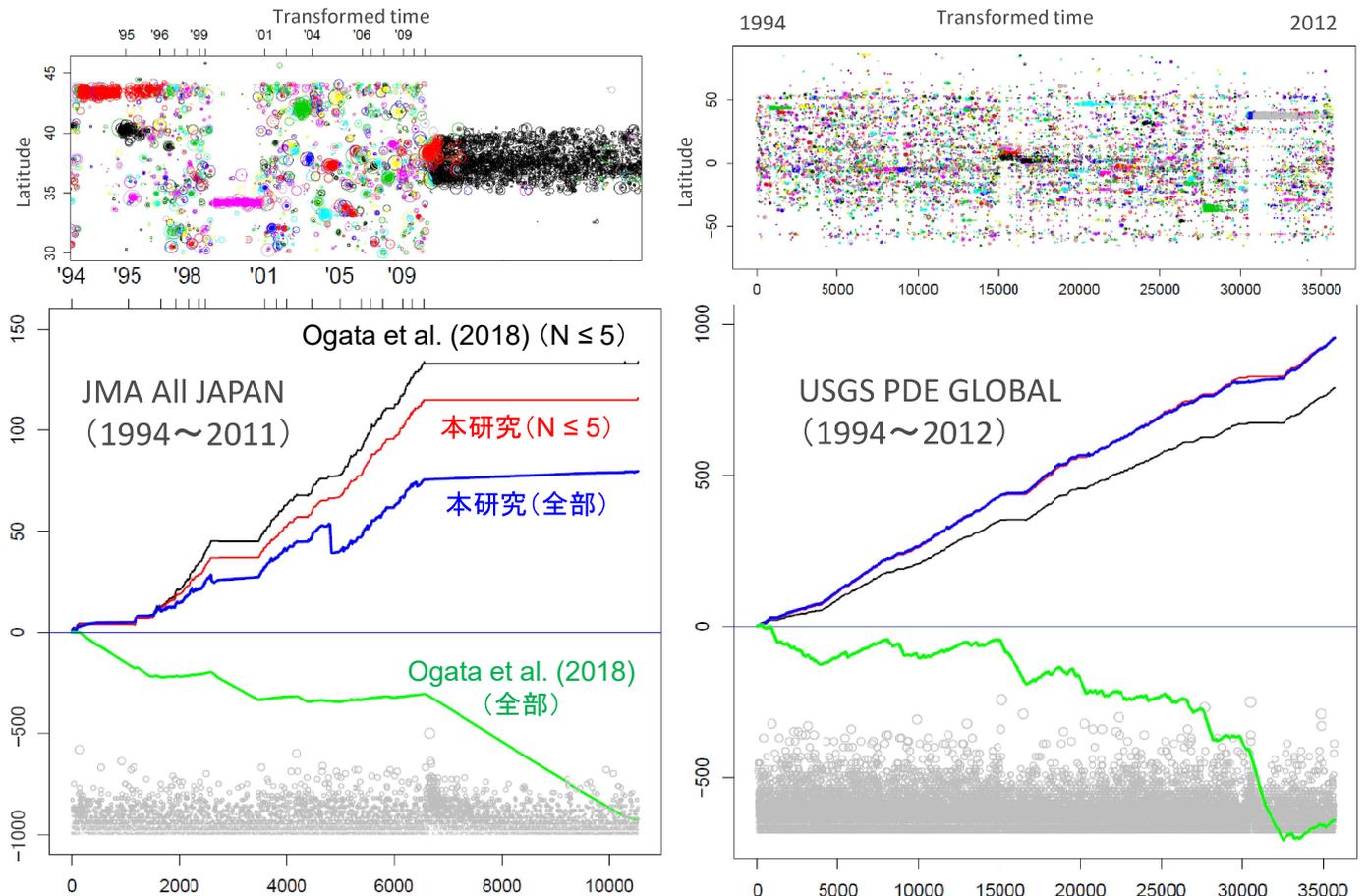


図3: 全日本と全世界におけるマグニチュード予測の予測性能評価

余震活動のリアルタイム確率予測

近江崇宏（東京大学生産技術研究所）

ポイント

- 余震活動の確率予測をリアルタイムに行うシステムを開発し、防災科学技術研究所にて試験運用を行なっている。
- 自動処理によって生成される震源カタログ（Hi-net 自動震源処理カタログ）を用いた場合でも有効な予測を行うことができる。
- 熊本地震のデータを用いて行なった予測実験で、前震中に最大前震よりも大きな地震が発生する確率は比較的大きな値（1日確率で～30%）をとっていた。

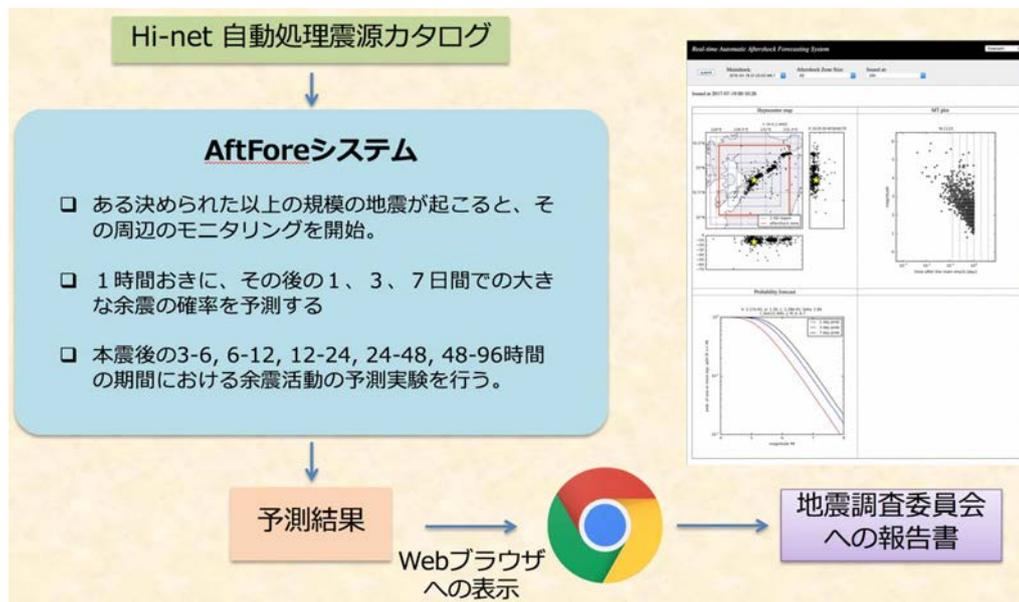


図1：リアルタイムシステムの概要

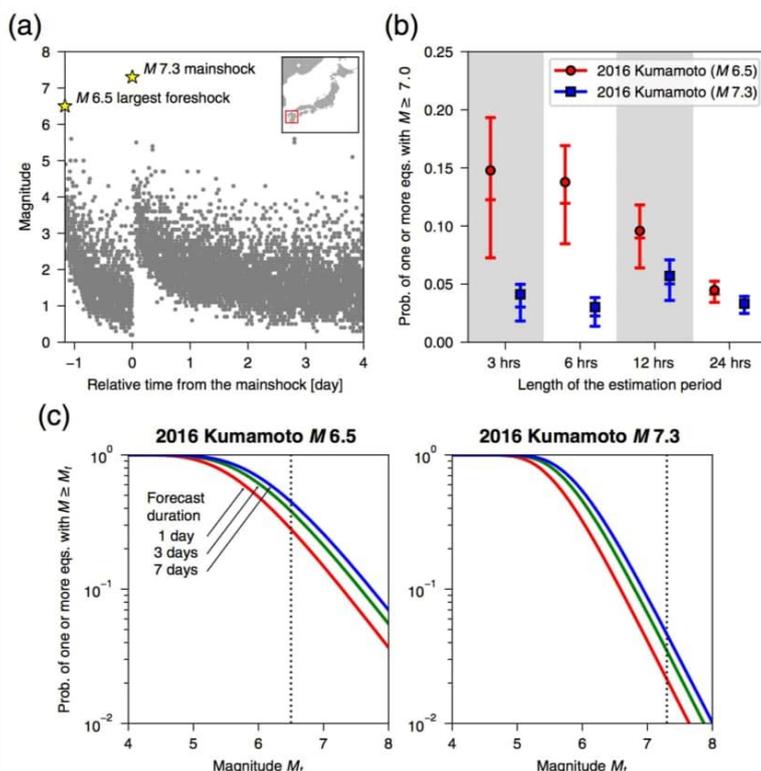


図2：熊本地震のデータを用いた予測実験（Taken from Omi et al., SRL 2018.）

連続地震計記録を用いた余震による最大振幅の予測について

澤崎 郁 (防災科学技術研究所)

ポイント

- 余震による連続地震波形記録の区間最大振幅 (IMA) は、非定常 Frechet 分布にしたがう
- 各観測点で得られた IMA に非定常 Frechet 分布を当てはめ、パラメータ A , p , m を観測点ごとに推定
- 推定したパラメータをもとに、今後の最大振幅の発生確率分布を計算
- 二次余震を考慮していないことと、機械的・物理的な地震動の飽和のため、現時点では予測最大振幅を過大評価する傾向
- 近い将来、二次余震を考慮するアルゴリズムの導入などにより過大評価の問題を解決し、実用化を目指す

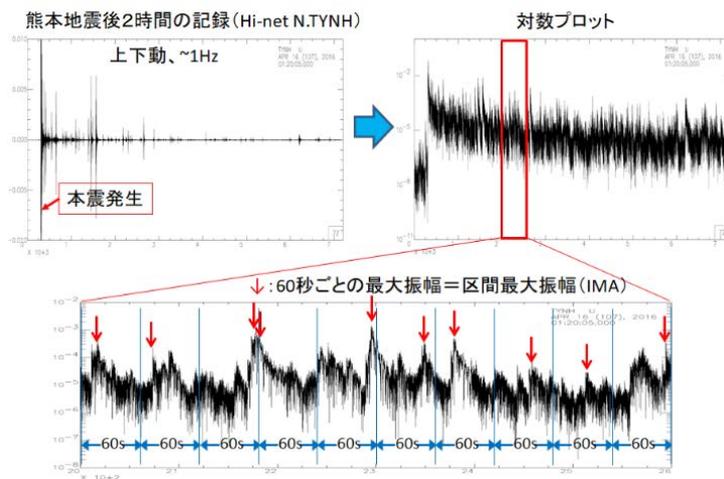


図1 連続地震波形記録の区間最大振幅のとり方

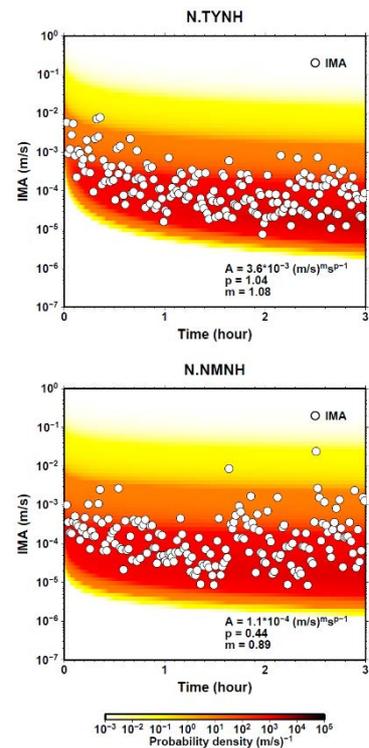


図2 (上) 熊本地震の本震の震源に近い観測点 N. TYNH および (下) M6 級の余震の震源に近い観測点 N. NMNH における区間最大振幅の推移

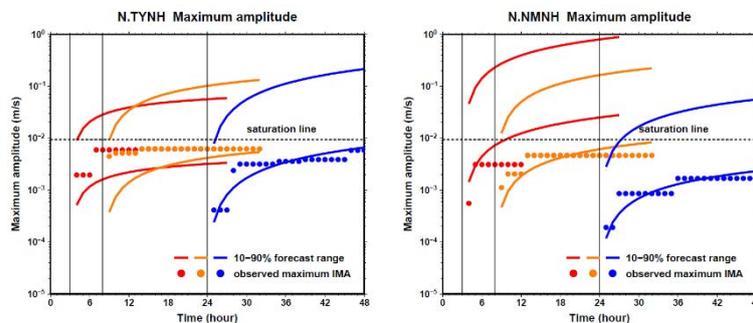


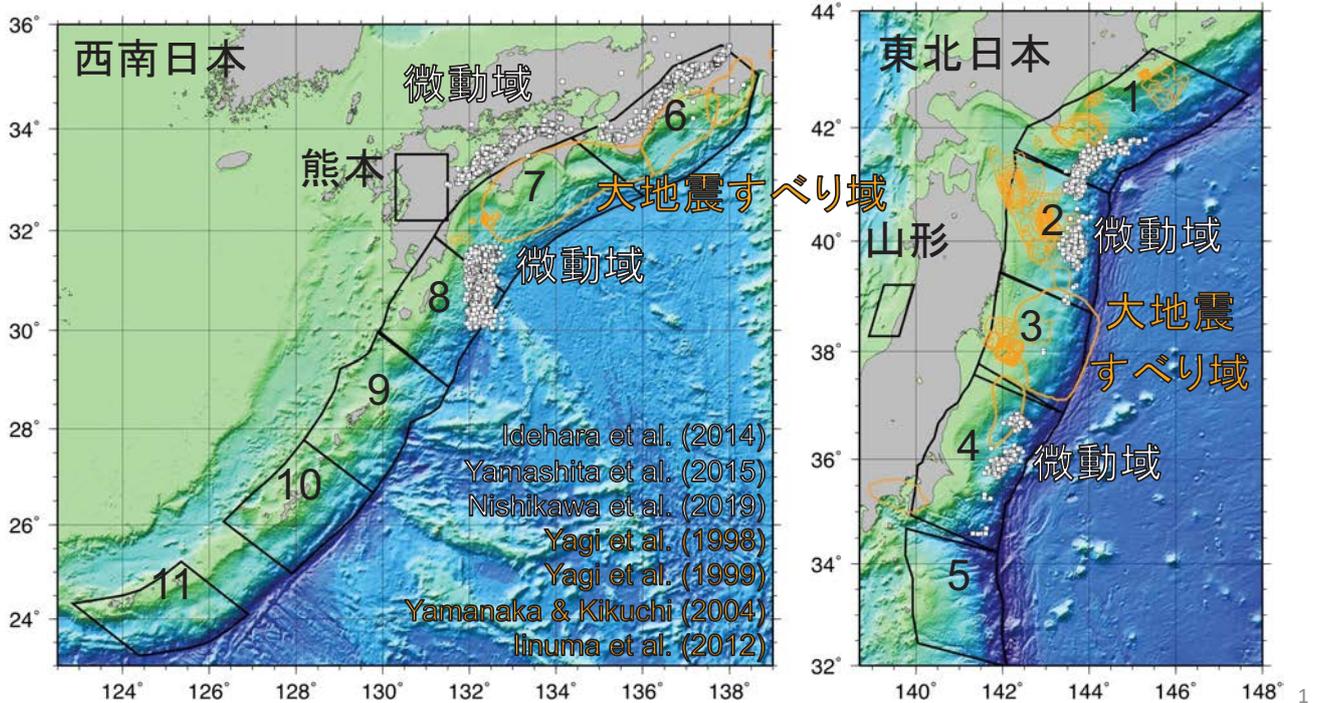
図3 (左) 熊本地震の本震の震源に近い観測点 N. TYNH および (右) M6 級の余震の震源に近い観測点 N. NMNH における、3, 8, 24 時間後における最大振幅発生確率予測

日本周辺の海溝における 準リアルタイム群発地震モニタリング

西川 友章 (京都大学防災研究所)

<対象領域>

- 日本周辺の5つの海溝、11領域
- 近年、大きな地殻内地震があった2つの領域
 - 熊本、山形



データ・手法

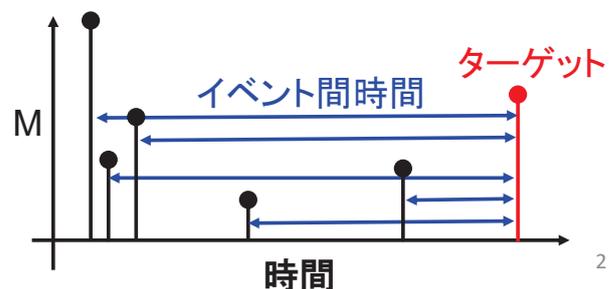
- データ
 - 気象庁一元化震源、今日の地震活動(速報値)
 - 過去3年間のM3以上の地震 (日本海溝は1年)
- 手法
 1. 時間ETASモデルのパラメータを領域ごとに推定
 2. ある地震(ターゲット地震)から20個前までの地震に対して、各地震からターゲット地震までのイベント間時間にETASモデルで実現される地震数の確率分布をポアソン分布から計算
 3. 実際に観測された地震数以上の地震数がETASモデルで実現される確率を計算
 4. 20個の確率から最小のものをターゲット地震に割り当てる

時間ETASモデル (Ogata, 1988)

$$\lambda(t) = \mu + \sum_{t_i < t} \frac{Ke^{\alpha(M_i - M_c)}}{(t - t_i + c)^p}$$

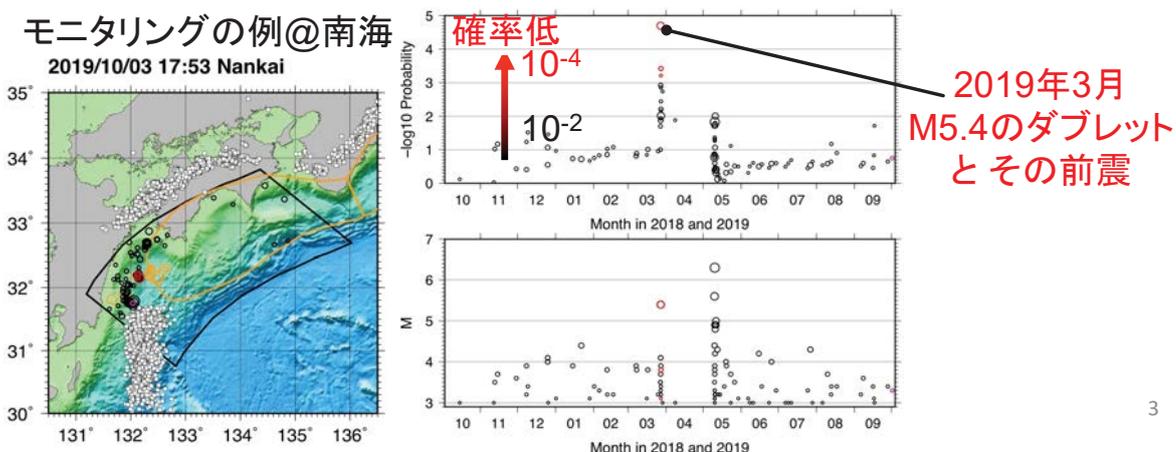
地震発生 レート
定常背景 レート

余震発生
レート



準リアルタイムモニタリングの実施

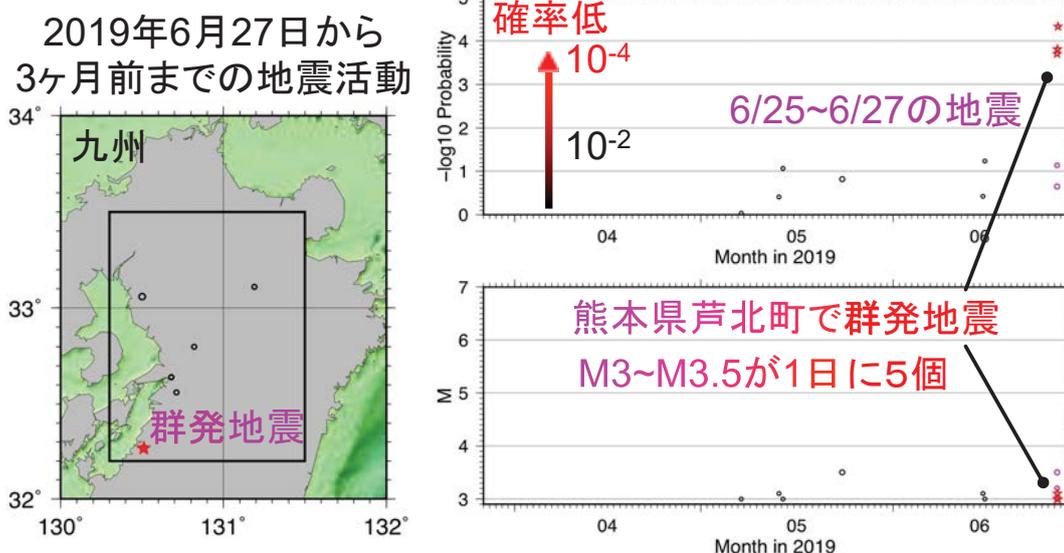
- 以上のような大規模な非地震性現象や大地震の前駆的活動を即時にみつきたい
- 2019年4月からモニタリング開始
 - 4時間ごとに日本周辺(13領域)を繰り返し解析
- 2019年4月から現在(2019年10月)までにM7以上の大地震は発生していない
 - 前駆的活動もみつかっていない



3

群発地震モニタリングの半年間の成績

- 2019年4月から9月までの6ヶ月
 - 異常(ETASモデルで実現できる可能性が 10^{-3} 以下)がみられた回数: 6回
 - 6回中、震央が数10kmの範囲でクラスタリングしたもの(典型的な群発地震): 2回 (熊本、種子島沖)
 - 6回中、M7以上の大地震の前震であったもの: 0回



4

非定常ETASモデル： $\hat{\lambda}(t | H_t) = \hat{\mu}(t) + \sum_{\{i: t_i < t\}} \hat{K}_0(t) e^{\hat{\alpha}(M_i - M_c)} / (t - t_i + \hat{c})^{\hat{p}}$

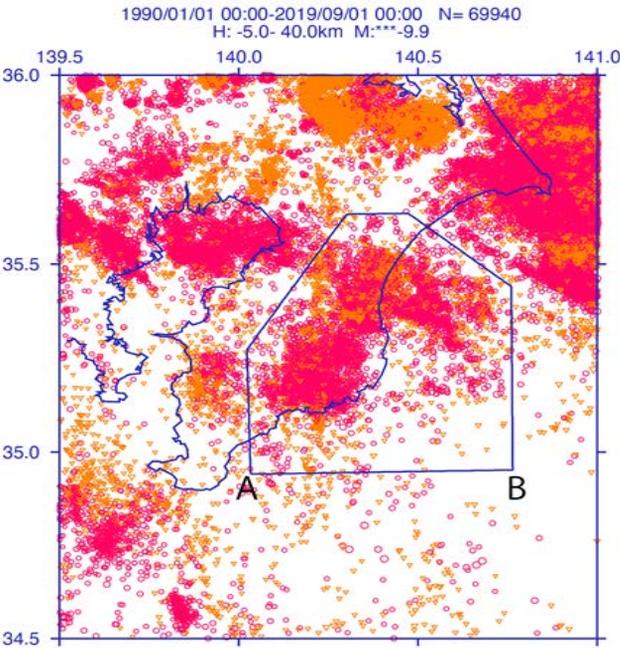


図1：スロー地震と常時地震活動のピークが対応する。

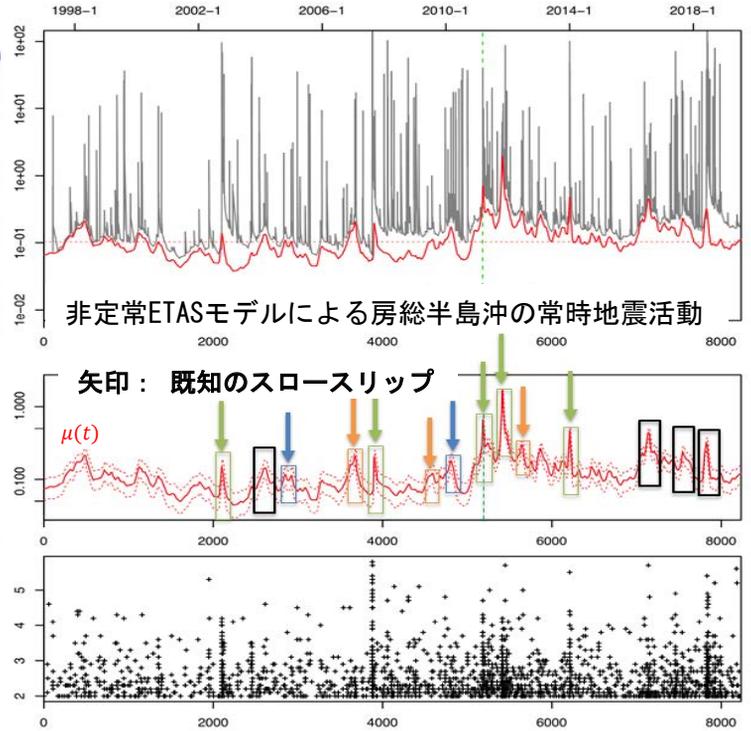
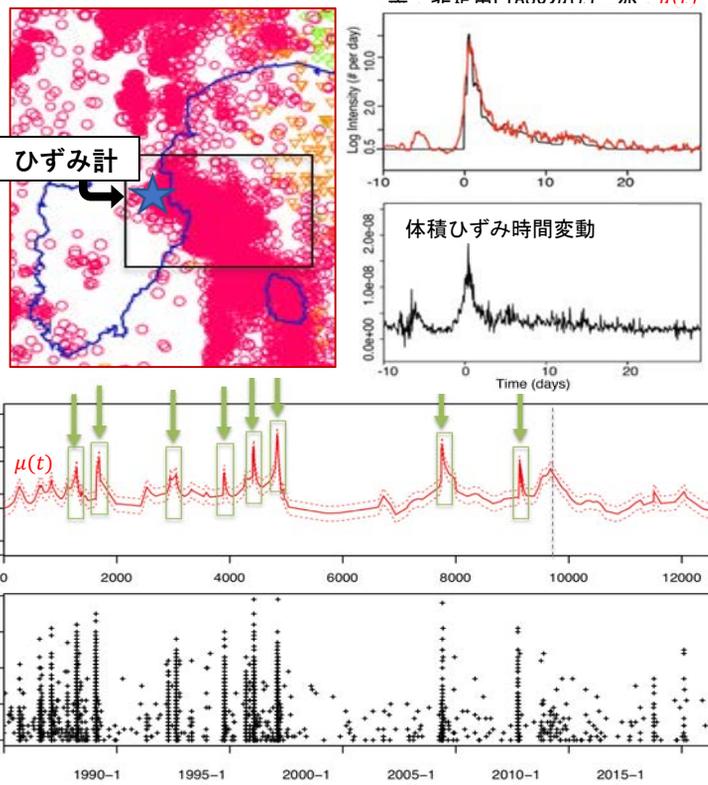
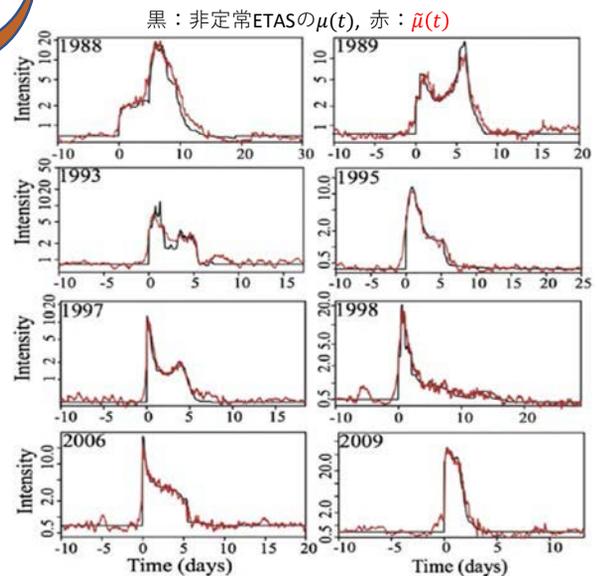


図2：伊豆東方沖の体積ひずみから常時地震活動が予測できる。

$$\tilde{\mu}(t) = \left(q_1 + \frac{q_2}{q_3 + d(x, y)} \right) \sum_{k=0}^K e^{-k\sigma} z_{t-k}$$

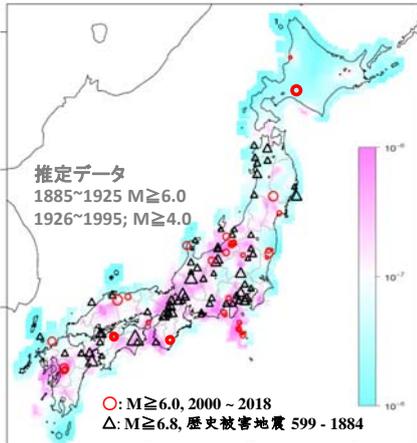


ポイント

1. 非定常ETASモデルで群発地震が検出できる (常時地震活動の上昇として検出される。)
2. 今回調べた房総半島沖、茨城沖において、検出された群発地震の多くはスローリップの発生時期と対応する (図1)。
3. スローリップを観測する測地学データから群発地震の予測が可能である。
4. 典型的な例として、伊豆東方沖において体積ひずみ計の較正済み変化値から群発地震活動の推移の予測が可能であることをKumazawa et al. (2016, EPSL)で示した (図2)。

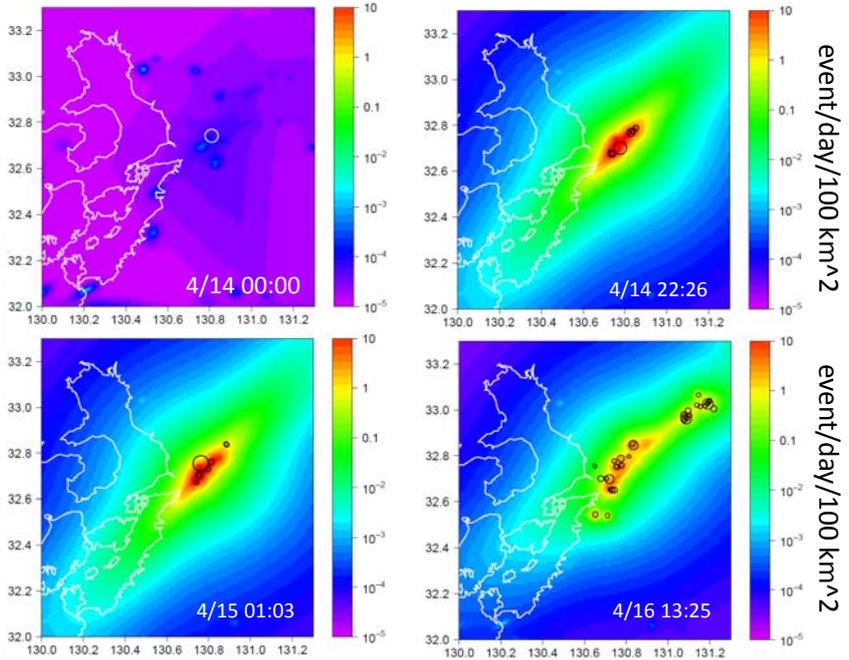
階層的時空間ETASモデルによる短期・中期予測と結果

尾形良彦(統計数理研究所)



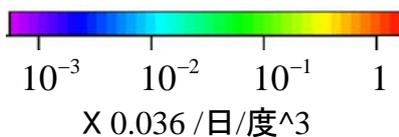
$$\lambda(t, x, y | H_t) = \mu(x, y) + \sum_{\{j: t_j < t\}} \frac{K(x_j, y_j)}{(t - t_j + c)^p} \left[\frac{(x - x_j, y - y_j) S_j(x - x_j, y - y_j)^q}{e^{\alpha(M_j - M_c)}} + d \right]^{-q}$$

2016 M7.3熊本地震前後のM \geq 4 発生率: $\lambda(t, x, y | H_t)$

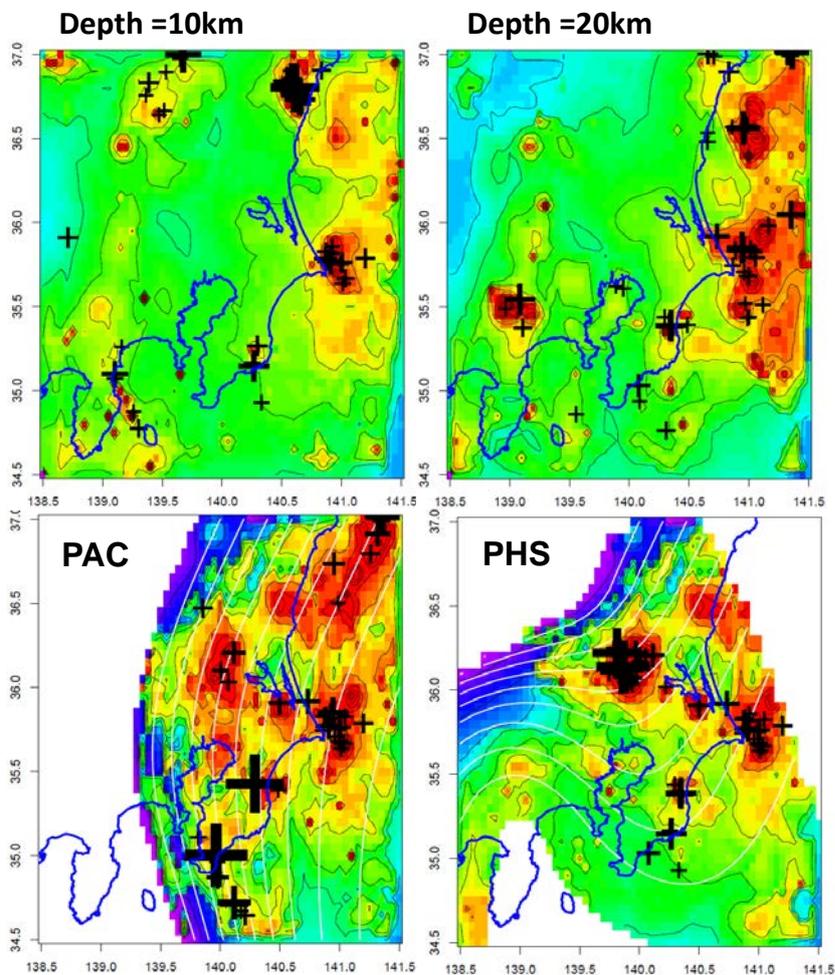
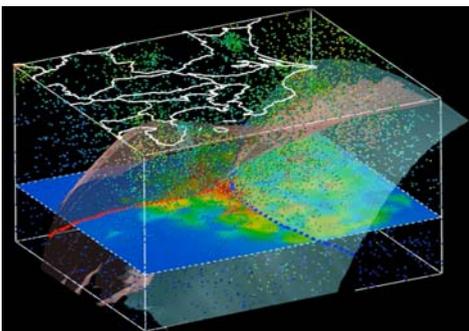


M \geq 4 event $\lambda(t, x, y, z | F_t)$

予測日 2018.06.22



+: その後1年間の M \geq 3 地震
10km深さ面: 0 ~ 15 km
20km深さ面: 16 ~ 30 km
PAC & PHS面: 上面から5km
浅および10km深の範囲



第 226 回地震予知連絡会 重点検討課題 趣旨説明

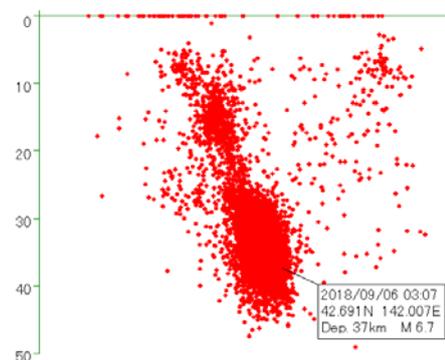
「地表に痕跡を残さない地震」について

コンビーナ 北海道大学 高橋浩晃

1. 背景

2000 年鳥取県西部地震など、地表では明瞭な活断層が見られない場所でも被害地震が発生している。M7 クラスの内陸地震でも地表に地震断層が出現しない事例がある。2018 年北海道胆振東部地震など、中規模かつ震源が深いが強震動で被害が発生する地震もある。内陸地震の発生ポテンシャル評価の高度化のためには、これら地表に明瞭な痕跡を残さない地震の特徴を整理するとともに、被害に直結する強震動特性を検討することが必要である。

震源が深く地表地震断層が出現しなかったが大きな被害となった北海道胆振東部地震の余震分布



2. 課題

これまでに発生した地表に痕跡を残さない地震、明瞭な活断層がない場所で発生した地震の特徴の整理が必要である。活断層は長い活動間隔を持つ。都市が形成されている沖積平野など、様々な地質・堆積・浸食環境などを考慮して活断層の地形形成プロセスの検討が必要である。被害想定立場から、震源断層が地表に現れる場合と現れない場合の強震動特性の違いを明らかにする必要がある。これらの知見を整理するとともに、地下構造探査等の現状を踏まえ、震源断層の長期評価・地震動予測の高度化に向けた戦略を考える必要がある。

3. 報告 (予定)

- ①北海道胆振東部地震など地表に痕跡を残さない内陸地震の事例
- ②活断層の定義の再考：痕跡を残さない地震，痕跡を消される地震，地震を起こさず痕跡だけを残す
- ③力学モデルに立脚した第 2 ステージの地震による強震動予測のための震源モデル
- ④震源断層の長期評価に向けて

4. 論点 (予定)

- 地表に痕跡が出ない地震の余震分布や震源過程、地下構造に共通点や相違はあるか？
- 活断層として認知可能な地形の形成プロセスでは何が支配的か？
- 地表地震断層が現れない地震の強震動特性とそれを支配する要因は何か？
- 内陸地震の長期評価の現状と課題・展望、今後実施すべき研究や調査は何か？