

地震学講座

地震学の基礎（地震がわかる）04

平原和朗



講義予定

- 4月26日 1. 地球の内部構造と大地の動き
- 5月10日 2. 地震って？
- 5月24日 3. 日本の地震活動
- 6月07日 4. 短・長周期地震動、ゆっくり地震
- 6月21日 5. 東北沖地震 & 南海トラフ巨大地震
- 7月05日 6. 地震予測研究と今後の地震学

2019年6月7日(金)10:30－12:00

@香川大学創造工学部(林町キャンパス)講義棟1階 3101講義室

短・長周期地震動、ゆっくり地震

平原和朗

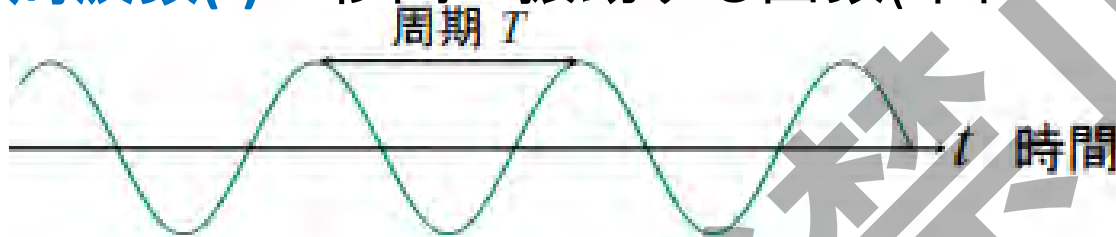


- ・短・長周期地震動
 - ・地震波の周期・周波数・波長
 - ・地震動の周期と被害との関係
 - ・長周期地震動とは
 - ・建物の固有周期
 - ・長周期地震動階級
 - ・長周期地震動被害例
 - ・説明ビデオ
- ・南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動
 - ・強震動生成域
 - ・長周期断層モデル構築
 - ・最大クラス地震：長周期地震動階級分布—震度分布
- ・ゆっくり地震
 - ・スロースリップイベント(SSE) ゆっくりすべり ゆっくり地震
 - ・断層面上での様々なすべり
 - ・GEONETでみるゆっくり地震
 - ・西南日本で発生するスロー地震群分布
 - ・長期的SSE 短期的SSE 超低周波地震 深部低周波微動
 - ・SSE活動が巨大地震発生前に変化する可能性

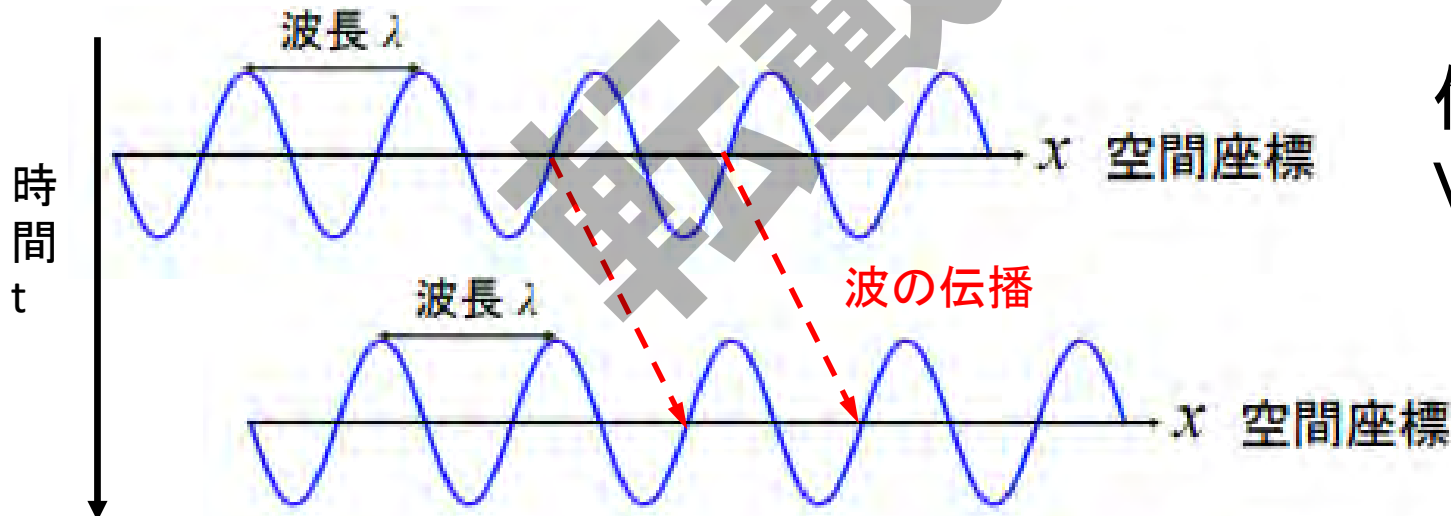
地震波の周期 (T : 秒) ・ 周波数 (f : Hz) ・ 波長 (λ : m)

周期(T): 時間的に繰り返す振動の繰り返し時間(単位: 秒)
揺れが1往復するのにかかる時間

周波数(f): 1秒間に振動する回数(単位: Hzヘルツ(=1/秒))(=1/T)



波長(λ): 空間的に繰り返す波の繰り返し距離(単位: m)



伝播速度 V
 $V = \lambda / T$
 $= \lambda f$

地震動の周期と被害との関係

地震動には、短い周期の波によるガタガタとした揺れと、長い周期の波が伝わって生じるゆっくり繰り返す揺れとが、同時に混ざっている。

短周期のものは、一般に建物、設備等を加振して損傷などの影響を与える。東北地方太平洋沖地震の震源に近い地域における、揺れによる人的被害や住家等の被害の多くは、この短周期の地震動によって生じている。

また、比較的規模の大きな地震が発生すると、**数秒から十数秒の周期**でゆっくりと揺れる地震動が発生することがある。このような地震動のことを**長周期地震動**という。長周期地震動は震源から遠く離れたところまで伝わりやすい性質があるため、震源から離れた地点においても、大きな振幅が観測されることが特徴としてあげられる。東日本大震災においても震源から遠く離れた東京や大阪でも長周期地震動による影響がみられた。

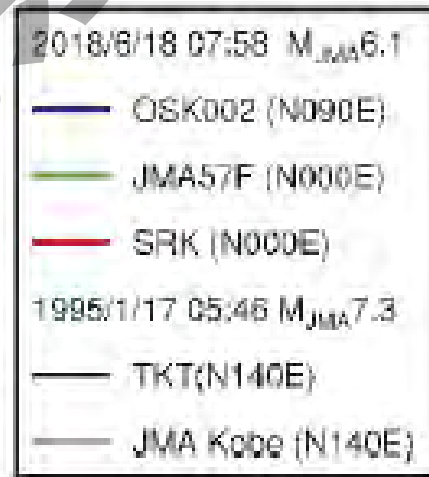
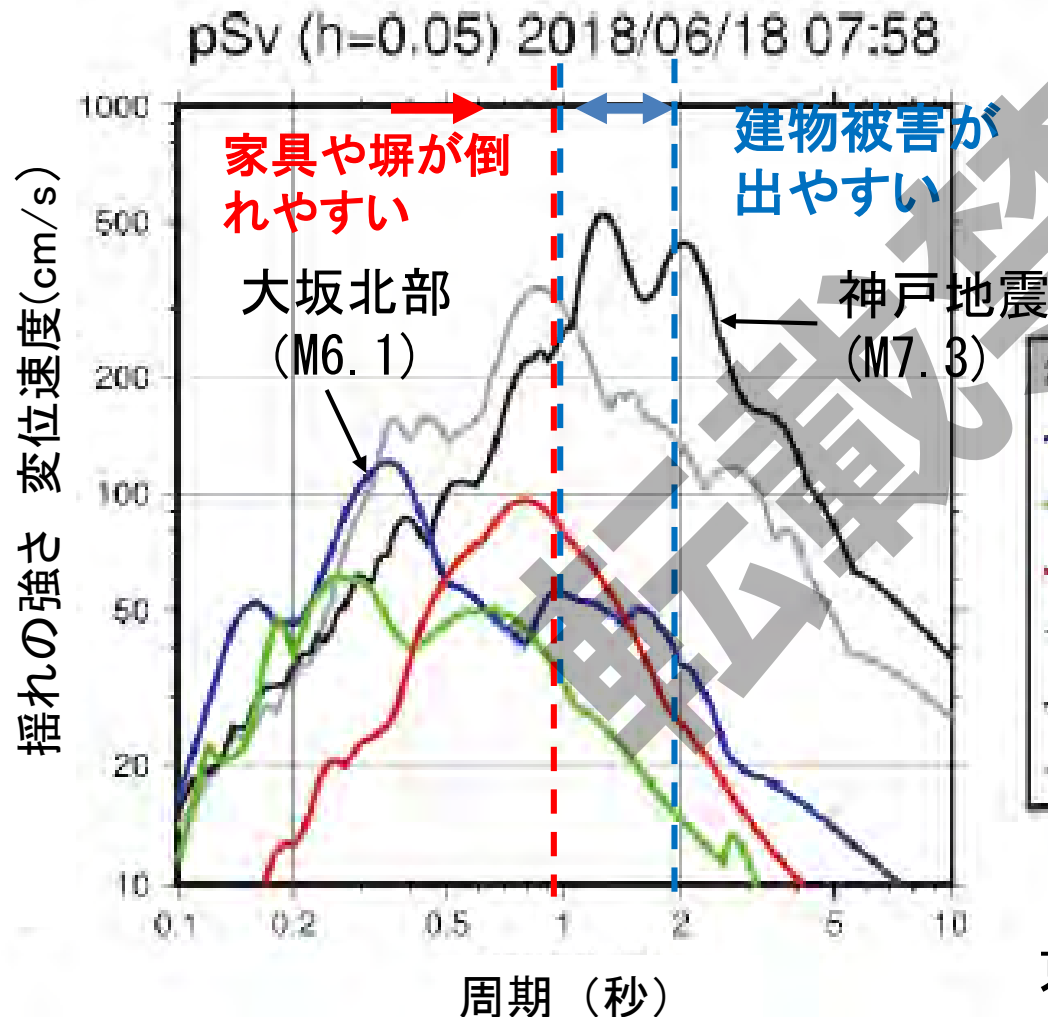
○**短周期地震動**（主成分の周期が2秒以下の振動）による影響
過去には、兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）において、**1秒から2秒の短周期地震動**による建物への被害が大きかった。他に新潟県中越地震及び新潟県中越沖地震も周期1秒から2秒の地震動が観測された。この1秒から2秒の地震動は、**やや短周期地震動**と呼ばれており、比較的低層の建物に大きな被害を及ぼしやすく、「**キラールパルス**」という呼称で報道されることがある。

日本の地震活動

2018年6月18日大阪府北部地震M6.1

短周期の揺れがブロック塀を！

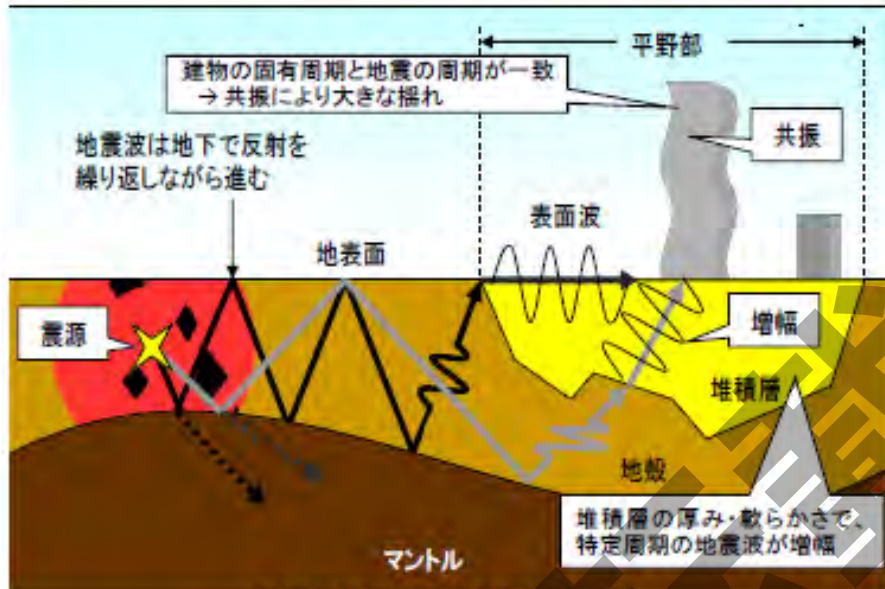
阪神大震災では、891ガル
(cm/s^2) (ガルは揺れの勢いを
示す加速度の単位) が観測され
た。今回は阪神大震災に比べ規
模は小さいが、高槻市では806ガ
ルの非常に強い揺れを記録した。



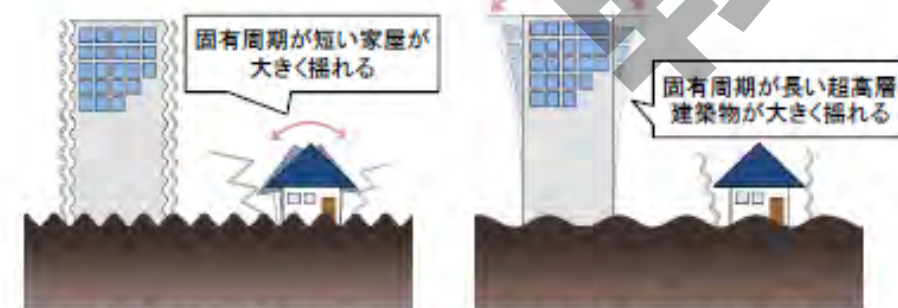
大阪北部
K-net高槻
高槻市役所
茨木白川
神戸地震

長周期地震動とは

- 揺れが1往復するのにかかる時間(周期)が長い地震動を長周期地震動という。
※今回の検討では、周期2～10秒の地震動を対象
- 長周期地震動は、マグニチュード7以上、且つ震源が浅い地震で卓越する。
- 長周期地震動は、厚い堆積層がある大規模平野で励起されやすく、揺れの継続時間が長くなりやすい。
- 建物には、固有の揺れやすい周期(固有周期)があり、地震動の卓越周期と近い場合に大きく揺れる(共振)。
※建物の固有周期: 超高層建築物(高さ60mで1～2秒、高さ300mで5～6秒程度)、石油タンク(4～10秒程度)



長周期地震動が伝播するしくみ



短周期の地震動による建物の揺れ

長周期地震動による建物の揺れ



2階の被害



24階の被害

平成23年東北地方太平洋沖地震における超高層建築物の被害

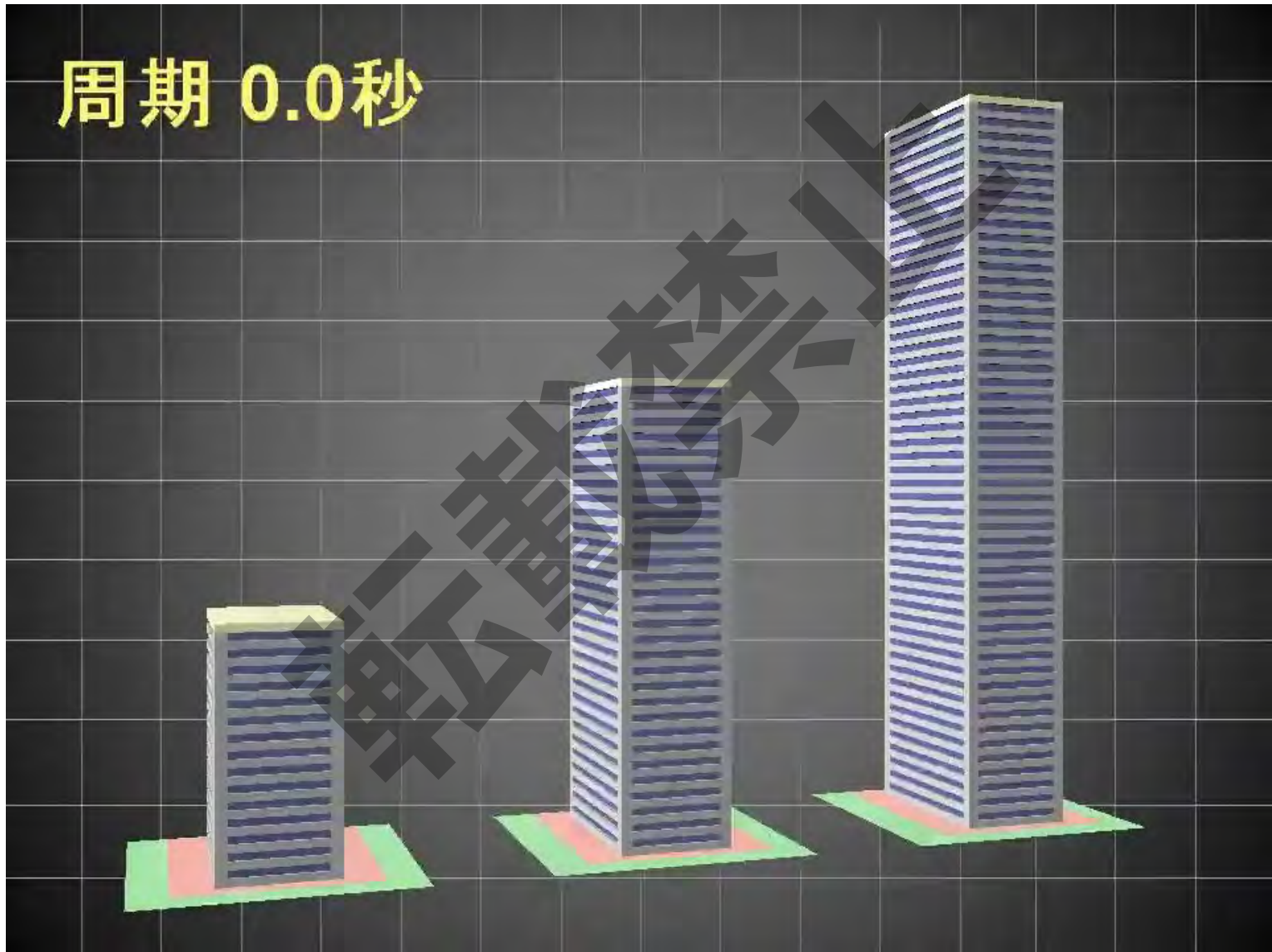


平成15年十勝沖地震による石油タンクの被害

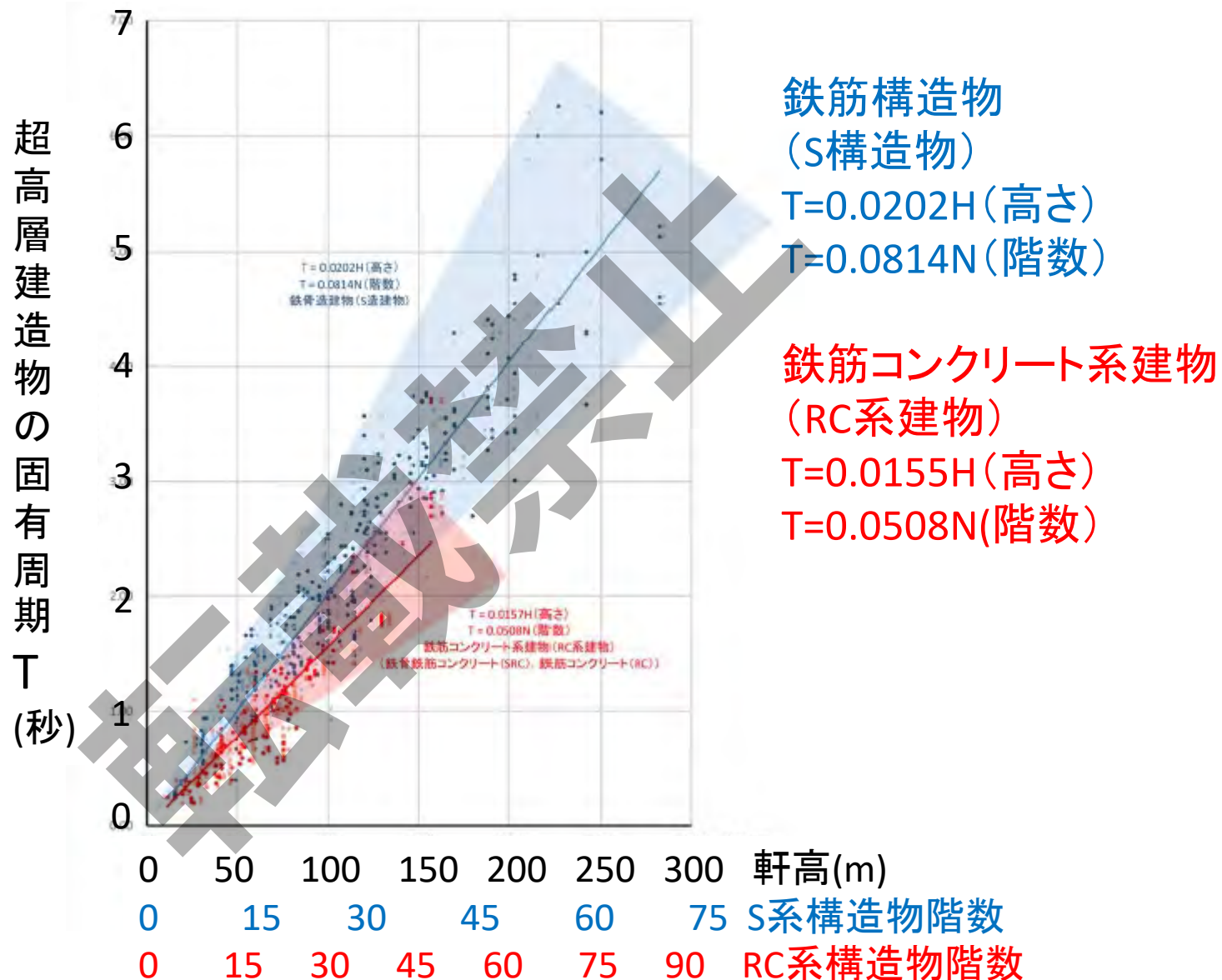
内閣府「南海トラフ沿いの巨大地震による 長周期地震動に関する報告」
H27年12月

ビルの高さによる揺れの違い(T=1,1.5,3,5秒) (気象庁)

http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/choshuki/choshuki_eq1.html



建物の固有周期(固有の揺れやすい周期)



超高層建築物の固有周期と建物の高さ・階数の関係

長周期地震動階級

階級1

- 室内にいたほとんどの人が揺れを感じる。驚く人もいる。
- ブラインドなど吊り下げものが大きく揺れる。



階級2

- 室内で大きな揺れを感じ、物につかまりたいと感じる。物につかまらないう歩くことが難しいなど、行動に支障を感じる。
- キャスター付きの家具類等がわずかに動く。棚にある食器類、書棚の本が落ちることがある。



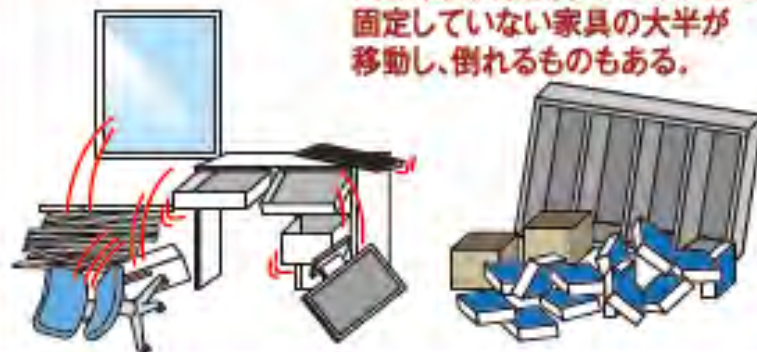
階級3

- 立っていることが困難になる。
- キャスター付きの家具類等が大きく動く。固定していない家具が移動することがあり、不安定なものは倒れることがある。



階級4

- 立っていることができず、はわないと動くことができない。揺れにほんろうされる。
- キャスター付きの家具類等が大きく動き、転倒するものがある。固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある。



長周期地震動階級 気象庁

長周期地震動階級	絶対速度応答スペクトル S_{va} （減衰定数5%）の値 （対象周期 T 1.5秒 $<T<8.0$ 秒）※
長周期地震動階級 1	$5\text{cm/s} \leq S_{va} < 15\text{cm/s}$
長周期地震動階級 2	$15\text{cm/s} \leq S_{va} < 50\text{cm/s}$
長周期地震動階級 3	$50\text{cm/s} \leq S_{va} < 100\text{cm/s}$
長周期地震動階級 4	$100\text{cm/s} \leq S_{va}$

※当面、周期1.6秒から7.8秒において、0.2秒刻みで計算する。

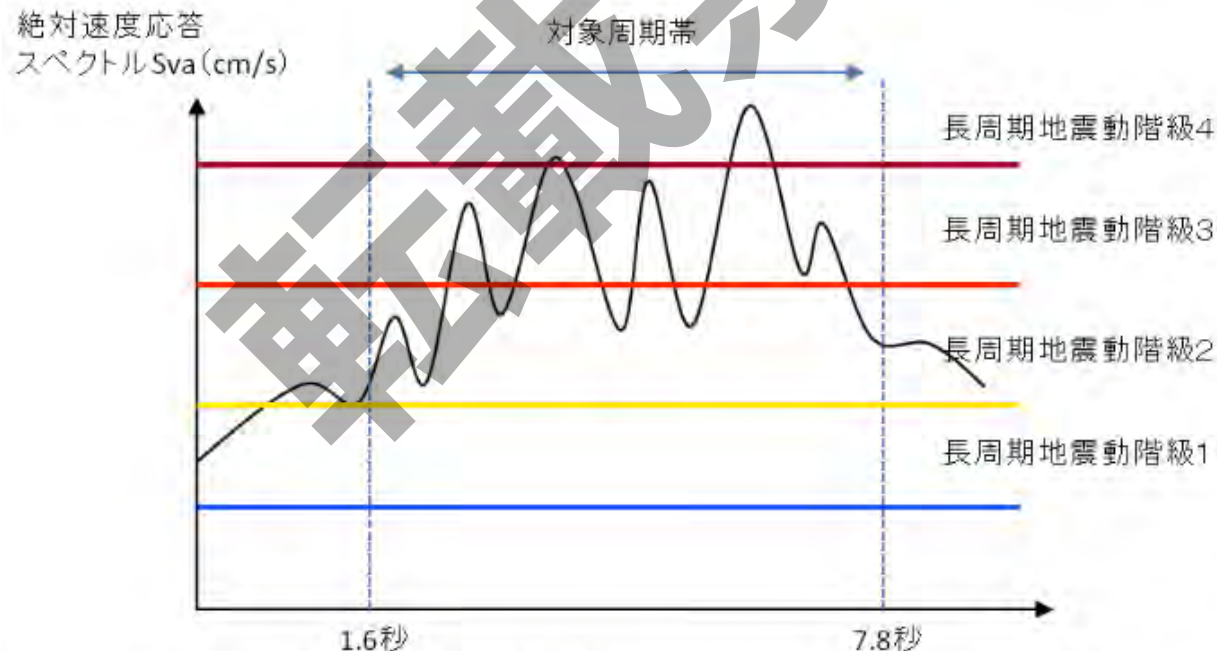
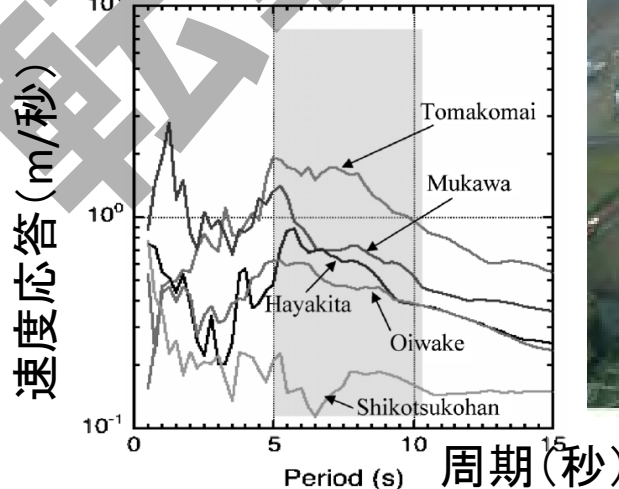
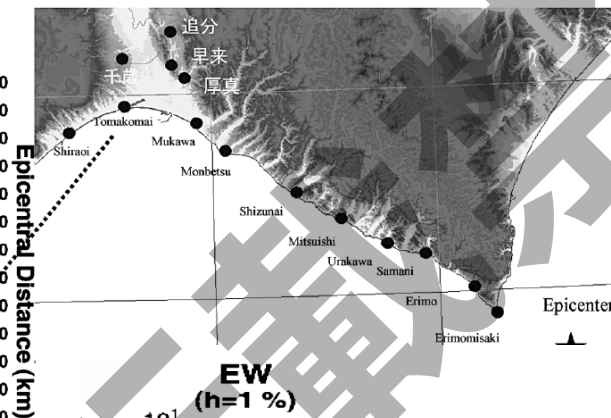
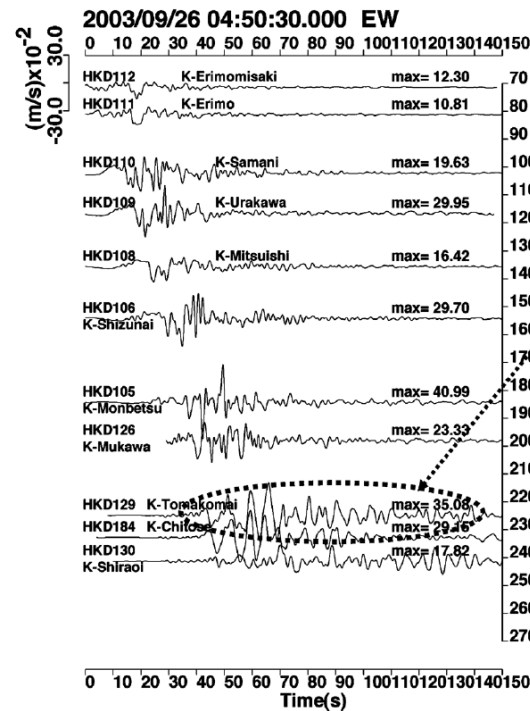


図1 A地震計における絶対速度応答スペクトル S_{va} （減衰定数5%）のグラフ

日本で長周期地震動により被害があった主な事例

○平成15年(2003年) 十勝沖地震(M8.0)

2003年9月26日04時50分に発生した十勝沖地震(M8.0 最大震度6弱)では、長周期地震動により、震源から約250km離れた苫小牧市の石油コンビナートで、**スロッシング**(石油タンク内の石油が揺動する現象)が発生し、浮き屋根が大きく揺動した結果、石油タンクの浮き屋根が沈没し、地震から2日後に 静電気が原因で火災が発生した。



固有周期7秒以上の浮屋根式タンク

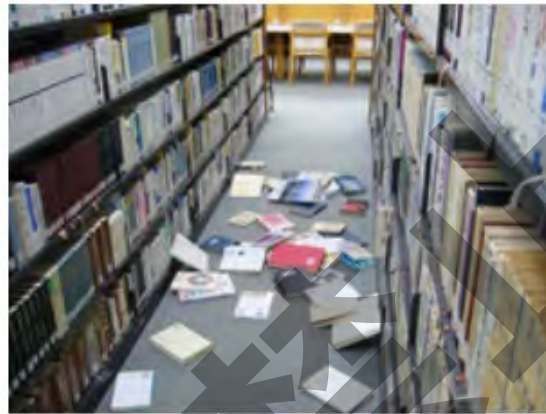


座間(2006)

日本で長周期地震動により被害があった主な事例

○平成23年(2011年) 東北地方太平洋沖地震(M9.0)

2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0 最大震度7)では、長周期地震動により、東京都内の高層ビルで大きな揺れを観測しました。低層階に比べて高層階で大きな揺れとなりました。



低層階(2階)



高層階(24階)

また、震源から約700km離れた大阪市(最大震度3)の高層ビルでエレベーター停止による閉じ込め事故、内装材や防火扉が破損するなどの被害が発生しました。

大阪府咲洲(さきしま)庁舎では、本震時に約10分間の揺れが発生し、最上階である52階では、片側で最大1mを越える揺れとなった。観測された建物の揺れは下表のとおり。

(本震時のデータ:3月11日14時49分到達)

		最上階(52階)	中間階(18階)
最大振幅(片側)	短辺方向	137cm	30cm
	長辺方向	86cm	32cm
最大加速度	短辺方向	131gal	41gal
	長辺方向	88gal	39gal

$$1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2$$

長周期地震動ことはじめ?天災は高いところにやってくる?!?』

説明ビデオ 気象庁(全編6分)

<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/choshuki/index.html>

- ・長周期地震動
 - ・地上が揺れてなくても高層階では大きく揺れる
 - ・遠くで起きた地震でも大きく長く揺れる
 - ・長周期地震動階級
1 2 3 4
- ・長周期地震動から身を守るために
 - ・震災時は、家具や照明機器が
「落ちてこない」
「倒れてこない」
「移動してこない」
空間に身を寄せ、揺れがおさまるまで様子を見ましょう。
 - ・万一の場合に備えて、家具類は固定しておきましょう。

南海トラフ沿いの巨大地震対策に関する経緯

平成15年5月 中央防災会議決定「東海地震対策大綱」

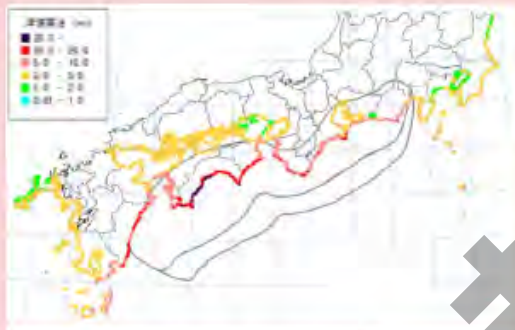
平成15年12月 中央防災会議決定「東南海・南海地震対策大綱」

平成23年3月 東北地方太平洋沖地震

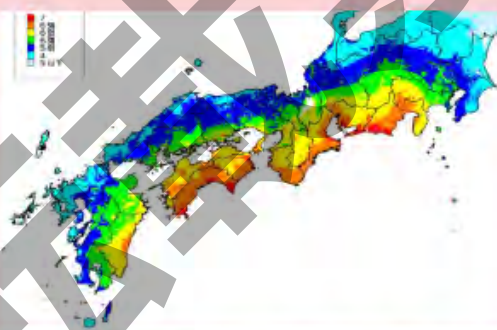
平成23年8月 内閣府に「南海トラフの巨大地震モデル検討会(座長:阿部勝征 東京大学名誉教授)」を設置

平成24年3月 検討会報告「南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について」

→地震動及び津波高の推計結果を公表



津波高の推計結果



震度分布の推計結果

※概ね2～3秒より短い周期の地震動

報告書における長周期地震動の記述
～報告書本文から抜粋～

『VI. 今後のスケジュール

5. 長周期地震動

…長周期地震動についても別途検討
する必要がある。…(中略)…本検討
会でも地震調査委員会と連携して、長周
期地震動の推計に必要な地盤モデルと
強震断層モデルの検討を進める。』

平成24年8月 「南海トラフ巨大地震の被害想定」を公表

平成26年3月 中央防災会議「南海トラフ地震防災対策推進基本計画」

平成24年9月から検討会を31回
開催し、長周期地震動の推計及
び対策の検討を実施

「南海トラフの巨大地震モデル検討会」における検討の流れ

「長周期地震断層モデル」の構築

①②

- ・過去地震の震度分布を再現し、強震動を生成する領域を特定
- ・弾性体の運動方程式を逐次数値計算的に解く三次元差分法を用いて地表の揺れを推計
- ・過去地震の観測記録と推計結果を比較し、推計手法の妥当性を確認

長周期地震動による地表の揺れの推計

③

- ・過去地震※及び最大クラスの地震を対象に地表の揺れを推計
※1707年宝永地震(M8.6)、1854年安政東海地震(M8.4)、
1854年安政南海地震(M8.4)、1944年昭和東南海地震(M7.9)、
1946年昭和南海地震(M8.0)

超高層建築物の揺れの推計

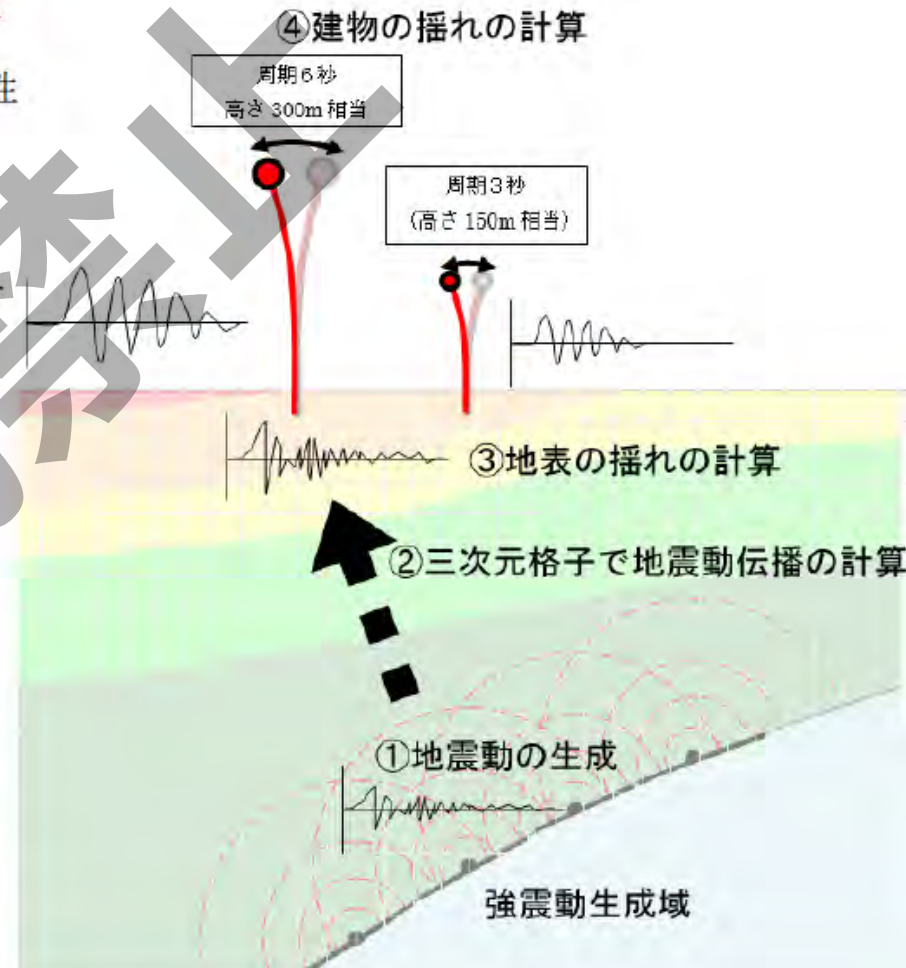
④

- ・地表の揺れを入力波として、建物を1質点系にモデル化して揺らした際の揺れの大きさ(擬似速度応答スペクトル)を推計

超高層建築物の構造躯体への影響を評価

- ・長周期地震動による揺れの大きさと超高層建築物の倒壊までの影響を調査した実証実験を参照
- ・南海トラフ沿いの巨大地震が発生した際の構造躯体への影響を評価

長周期地震動対策の取り纏め



南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動 内閣府 H27年12月 対象とする地震動の周期 検討会

○震度分布

短周期の地震動を推計する手法である統計的グリーン関数法（詳細は例えば、

<http://www.bousai.go.jp/jishin/tokai/senmon/2/1-2-3-01.html>

を参照)を用いて概ね周期2～3秒以下の短周期の地震動を推計し、南海トラフ沿いの地震による震度分をすでに検討

○長周期地震動

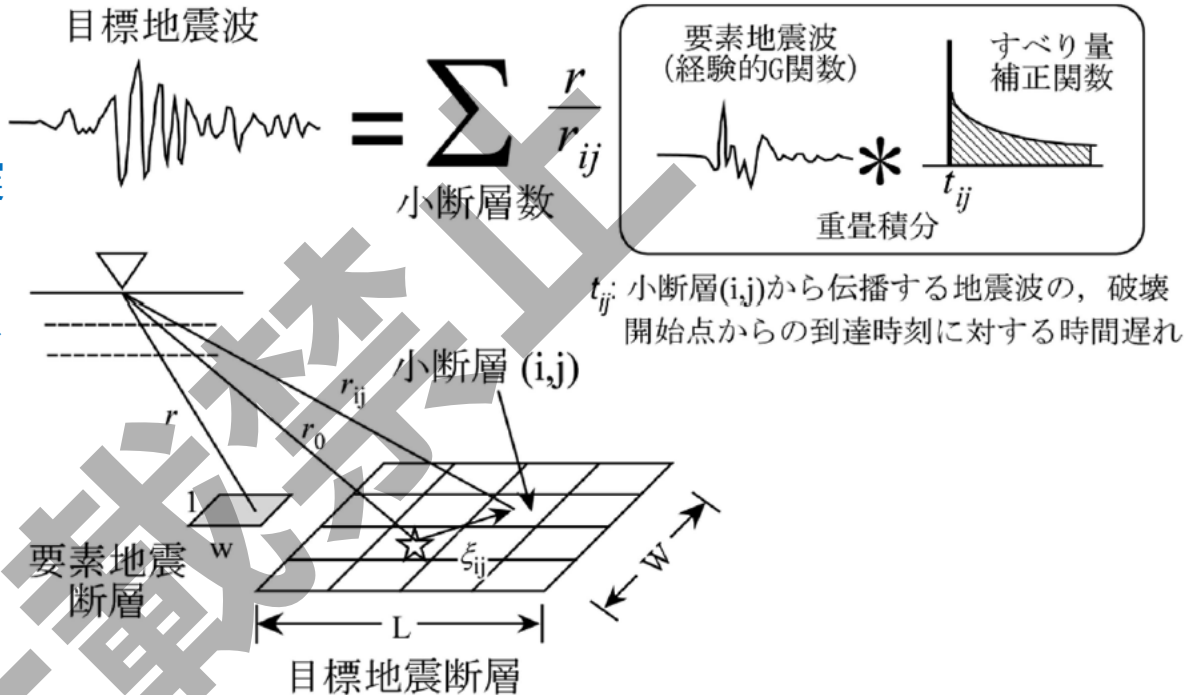
長周期地震動により被害が懸念される超高層建築物の固有周期は長いもので6秒程度、貯蔵されている石油を含む石油タンクのスロッシング固有周期は4～10秒程度のものがほとんどであることから、今回の長周期地震動の検討は、周期2～10秒程度の地震動を対象とし、3次元差分法で計算

経験的・統計的グリーン関数法

地震学会ニュースレター2018年1月号 (NL-5-20～26)

経験的グリーン関数法

モデル化が困難な短周期地震動特性を規定する諸条件のうち、震源から観測点に至る地震波の伝播経路特性に相当するグリーン関数を、余震のような経路をほぼ等しくする小地震の観測記録で「経験的に」代用しようとするものであり、Hartzell(1978)のアイデアに端を発する



経験的グリーン関数法の模式図

統計的グリーン関数法

適切な小地震記録がない場合、小地震記録そのものを人工的に作成し、震源の破壊過程に応じた波形合成を行う手法が統計的グリーン関数法として提案された(釜江・他, 1991). 位相特性はランダムとし、 ω^{-2} モデルに従う振幅スペクトルと経験的に求められた波形の包絡形状を同時に満たすように小地震記録が合成される。さらに経験的グリーン関数では自動的に含まれているQ値などの伝播経路特性や、評価地点の地下構造に基づく地盤応答特性を別途設定し、グリーン関数に反映させる。

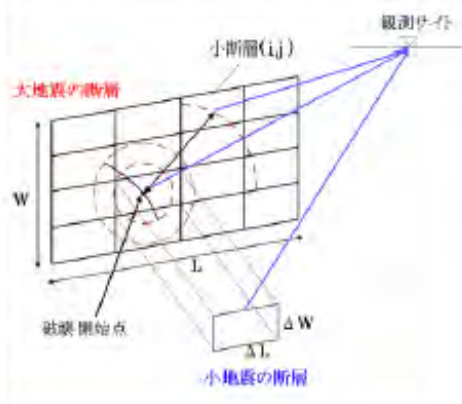
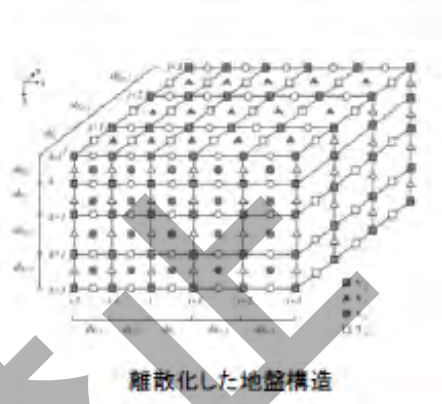
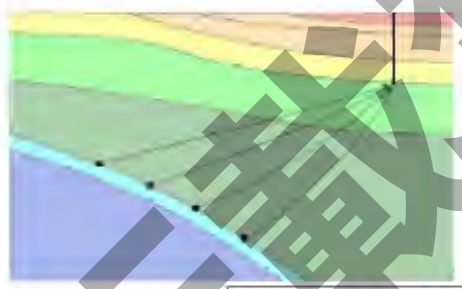
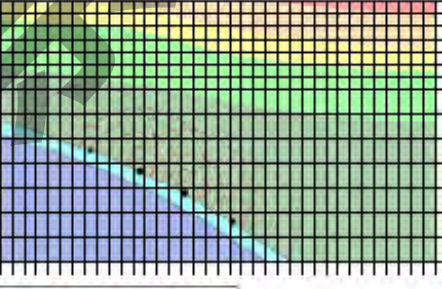
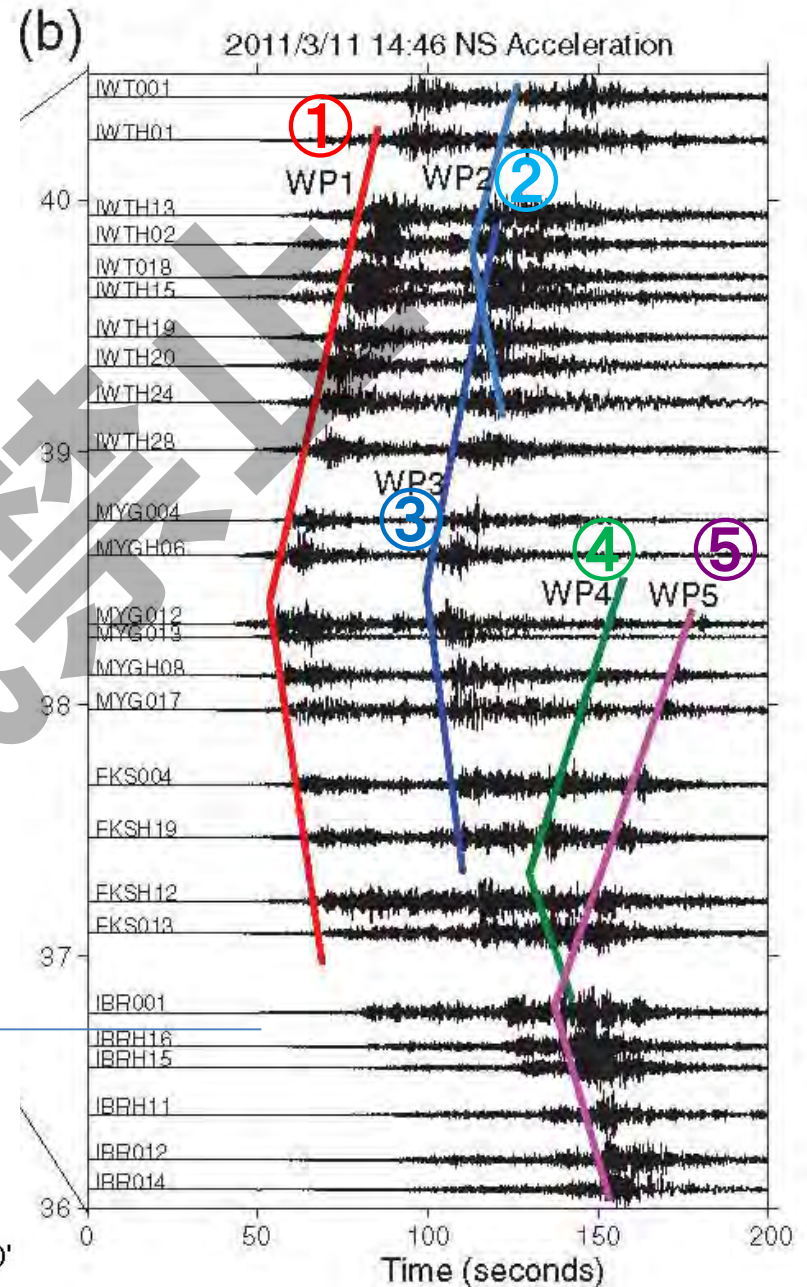
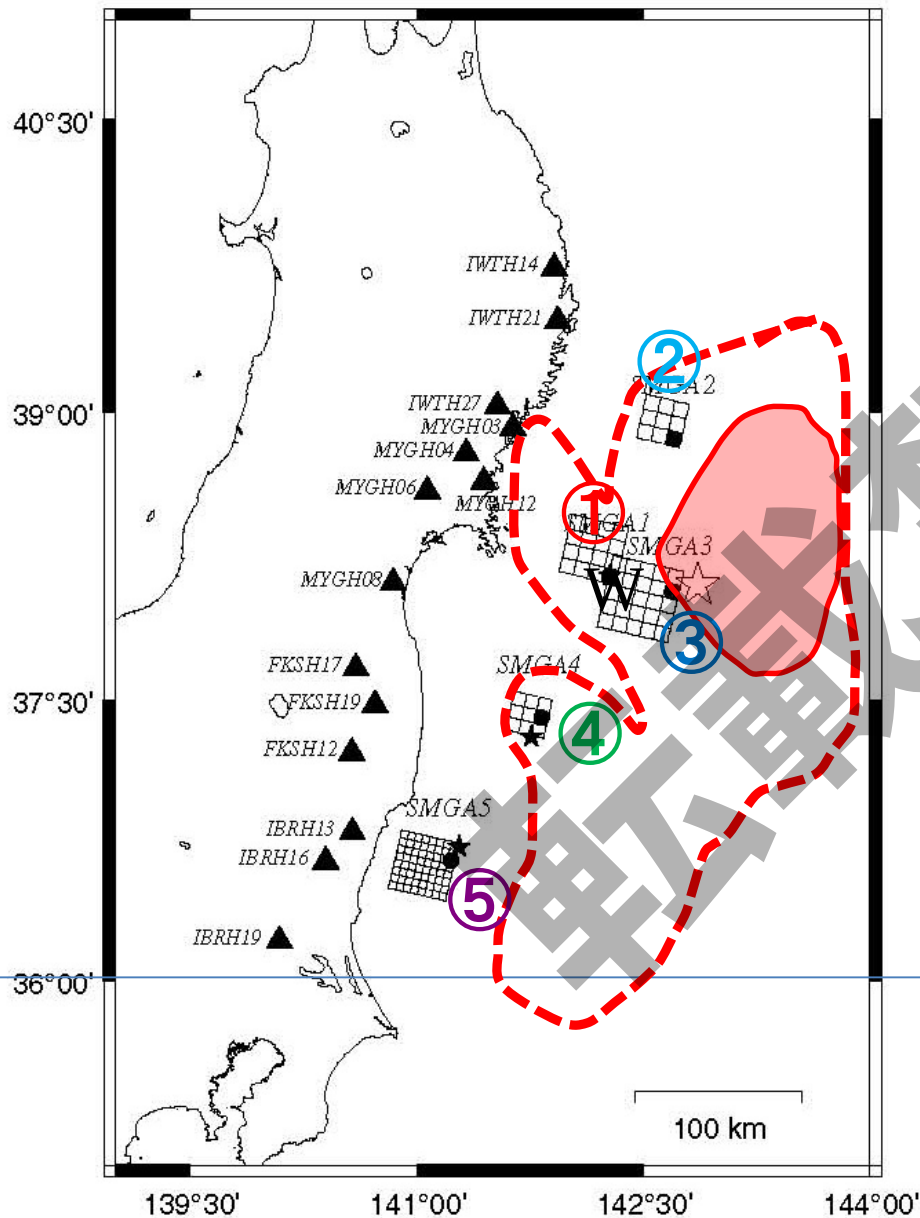
	震度（短周期の地震動）の計算	長周期地震動の計算（本検討）
推計 手法	統計的グリーン関数法	三次元差分法
		
特徴	 地盤モデルと強震動生成域モデルは共通 震源から地殻内を伝播する S 波を小断層毎に統計的に求めてから、地表付近で重ね合わせて求める。 差分法に比べて少ない計算資源で計算が可能である。	 堆積層の厚いところで増幅する表面波等を含めた地震動計算には、地盤構造を三次元的に離散化し、弾性体の運動方程式を逐次数値計算的に解く手法を用いる。本手法で短周期地震動を計算するには、それに応じた詳細な三次元地盤構造モデルを構築する必要があり、また細かなメッシュ分割が必要となるため計算量が増大する。

図 2.2. 統計的グリーン関数法と三次元差分法

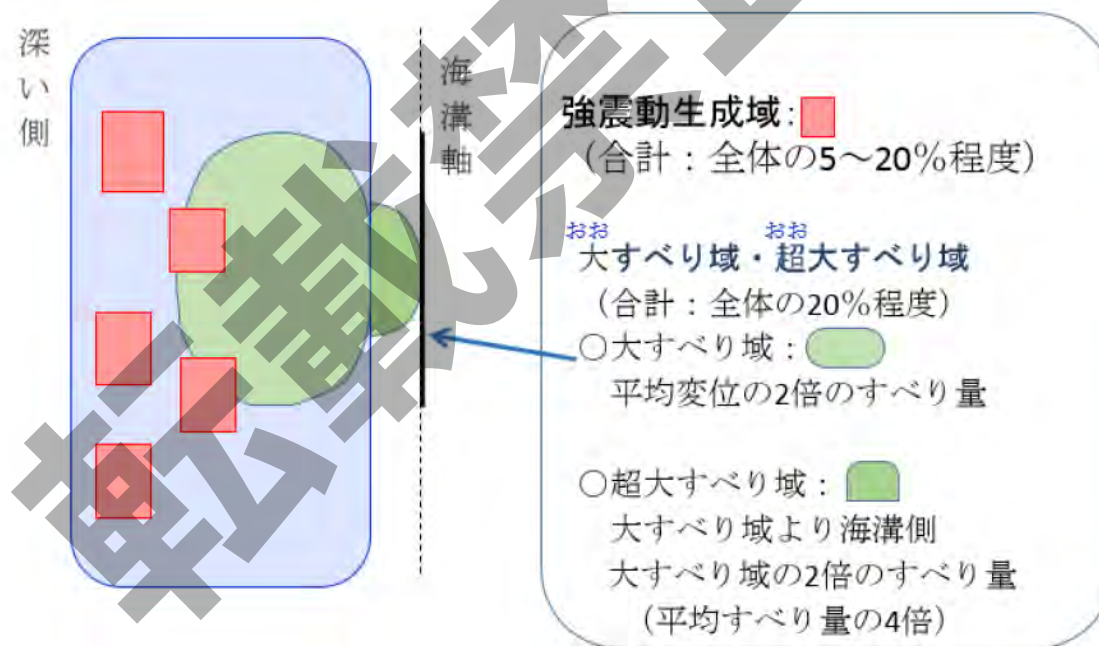
1



南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動 内閣府 H27年12月

東北地方太平洋沖地震からの知見: 強震動性聖域 (SMGA)

周期2～10秒程度までの長周期地震動は、大すべり域や超大すべり域等を含む震源断層全体を表現する断層モデルではなく、**強震動生成域 (SMGA: Strong Motion Generation Areas)**のみから長周期地震動が生成されるとする断層モデルにより観測記録を再現できる(Kurahashi & Irikura (2013) など) → 南海トラフ巨大地震も同様に考える

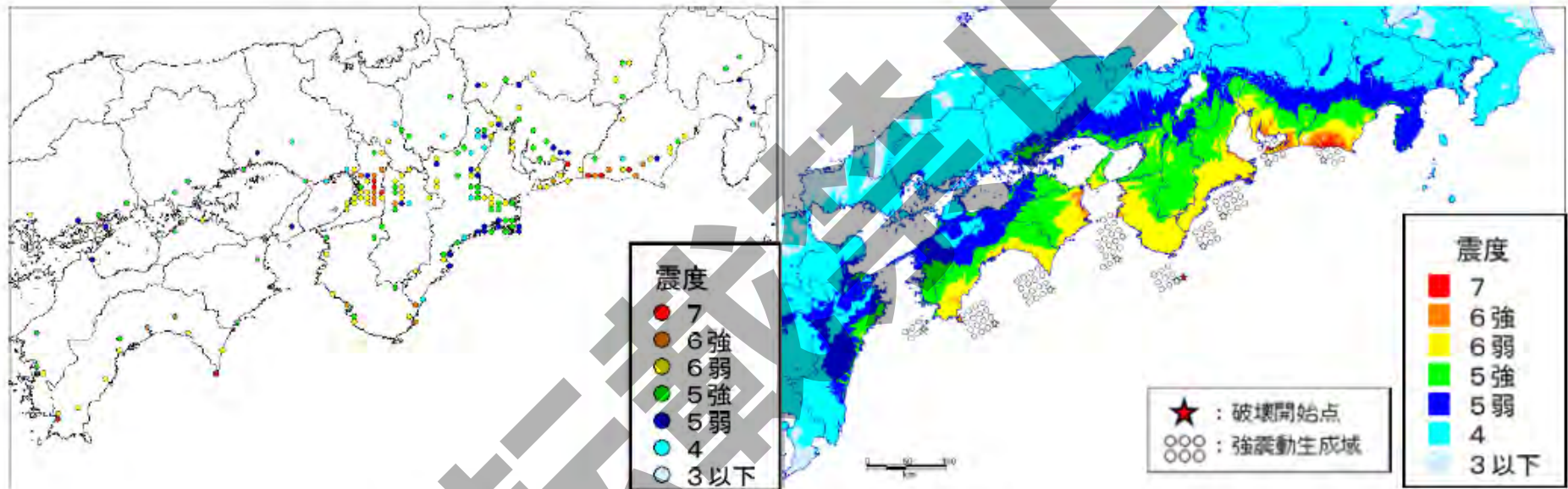


強震動生成域 (SMGA) は、大きな津波を発生させる
大すべり域・超大すべり域よりも陸側に位置する。

図5. 強震動生成域と大すべり域・超大すべり域

南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動 内閣府 H27年12月

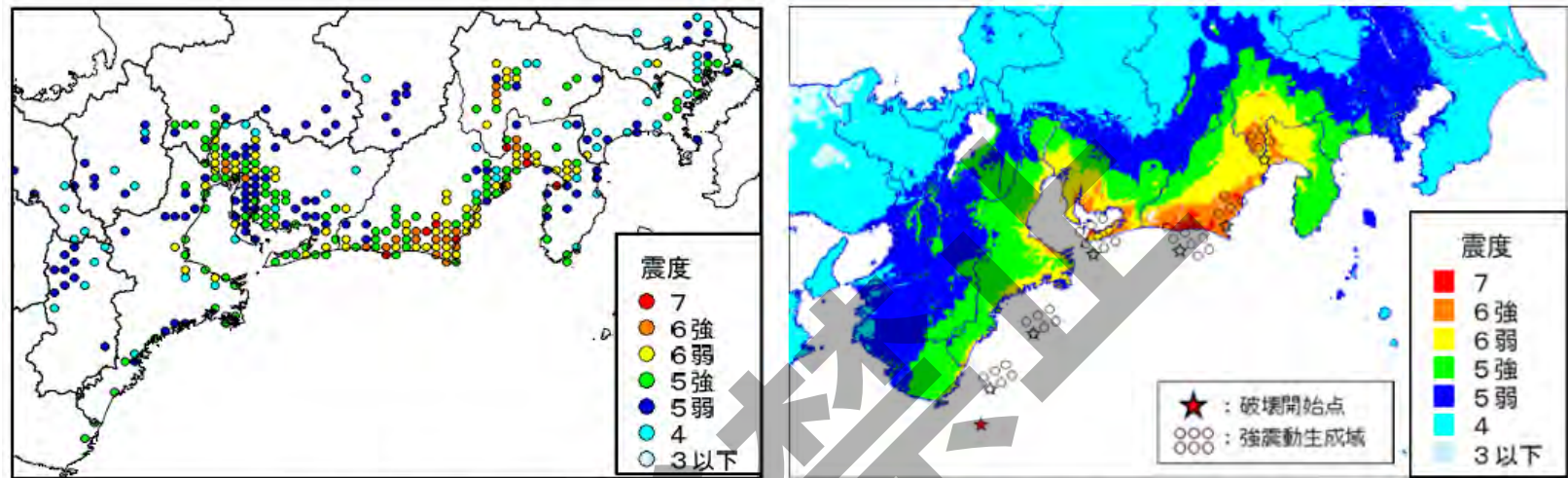
過去の地震の震度分布とSMGA



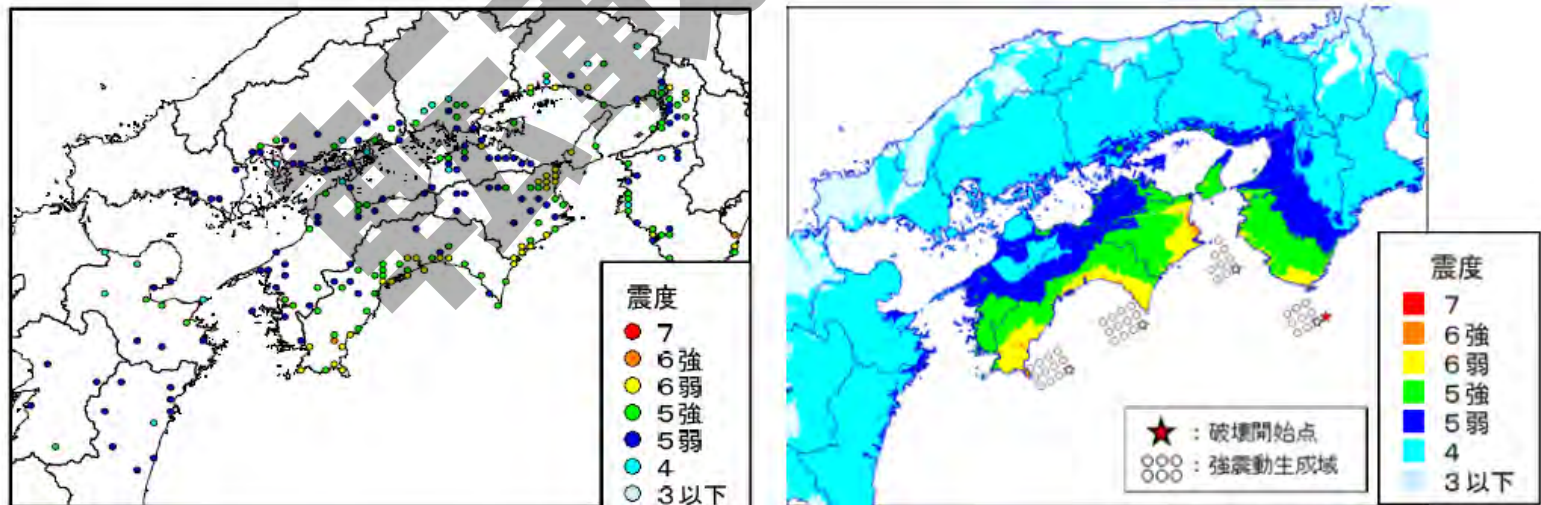
宝永地震 (左：震度分布、右：SMGA の位置と推計震度)

南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動 内閣府 H27年12月

過去の地震の震度分布とSMGA



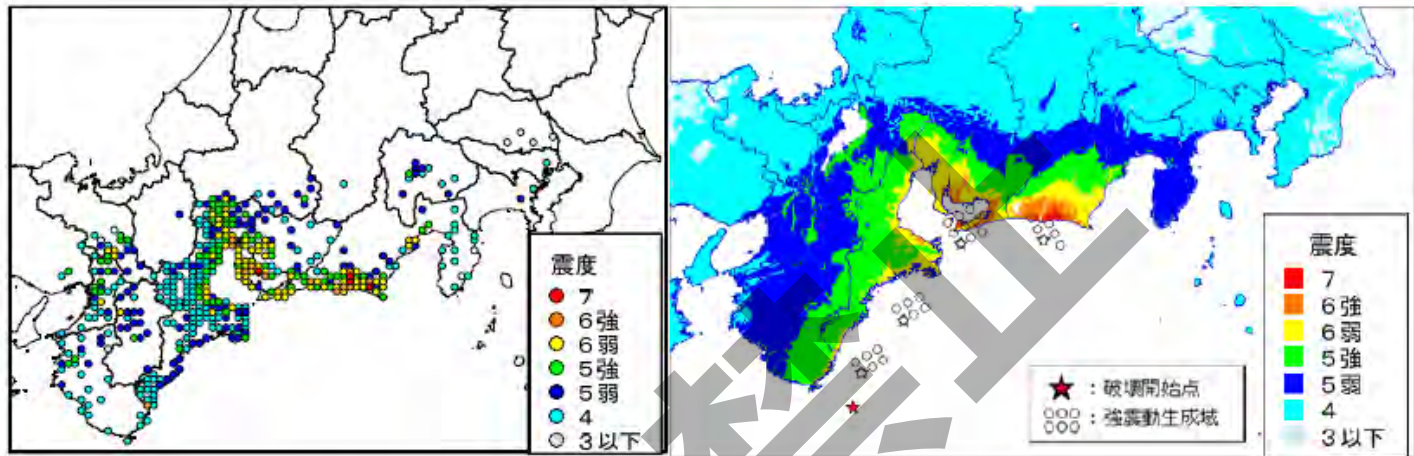
安政東海地震（左：震度分布、右：SMGA の位置と推計震度）



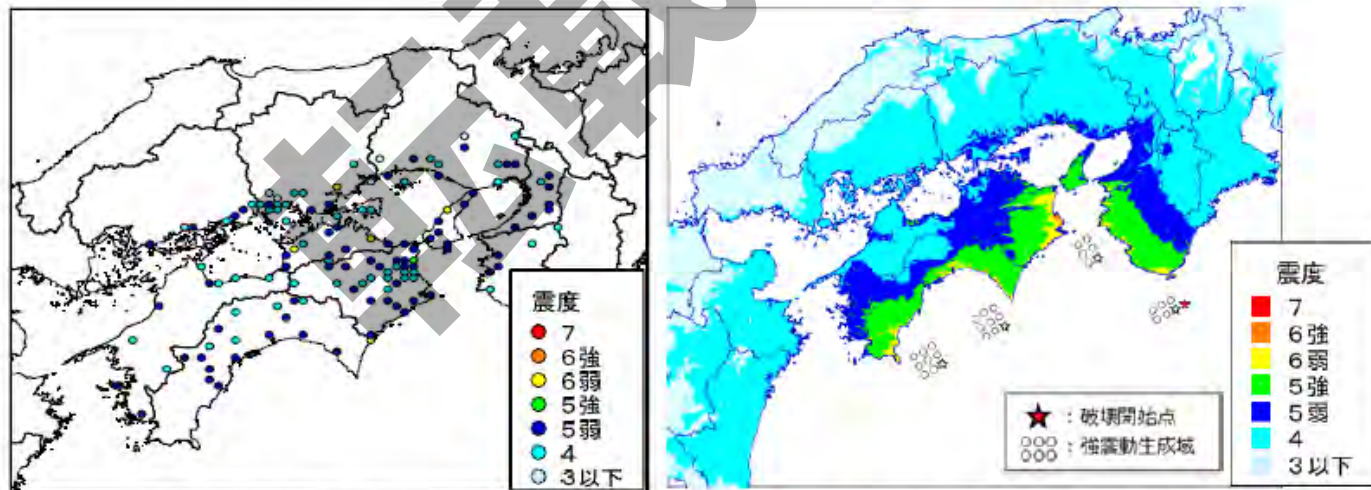
安政南海地震（左：震度分布、右：SMGA の位置と推計震度）

南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動 内閣府 H27年12月

過去の地震の震度分布とSMGA



昭和東南海地震（左：震度分布、右：強震動生成域の位置と推計震度）

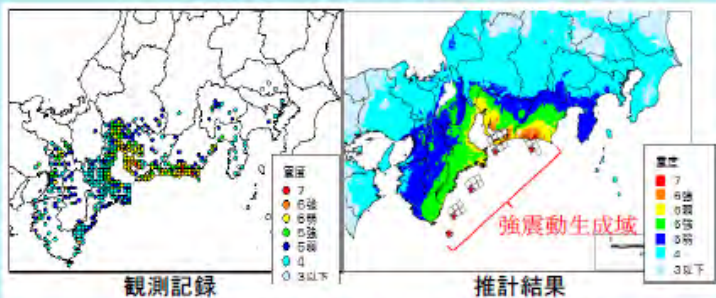


昭和南海地震（左：震度分布、右：強震動生成域の位置と推計震度）

「長周期地震断層モデル」の構築

- ①過去地震の震度分布を再現する場所に「**強震動生成域 (SMGA)**」を設定
- ②三次元差分法により過去地震の長周期地震動を推計し、観測記録との比較から、推計手法の妥当性を確認
- ③**過去地震及び最大クラスの地震による「長周期地震断層モデル」**を構築

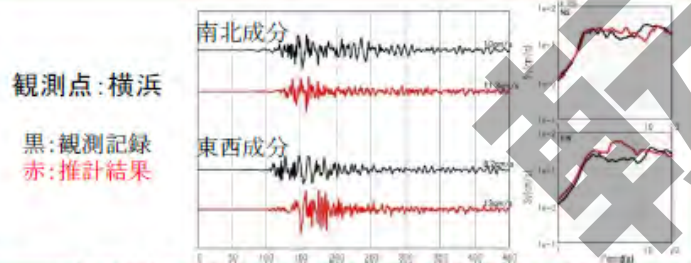
①強震動生成域の設定



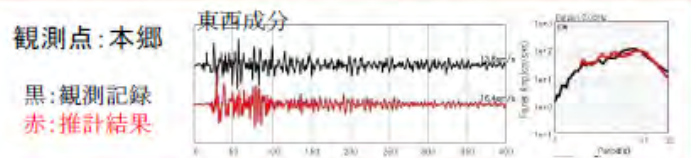
(例) 昭和東南海地震の震度分布の再現

②三次元差分法による推計の妥当性の確認

昭和東南海地震と大正関東地震の推計結果について、観測記録と比較し、推計手法の妥当性を確認

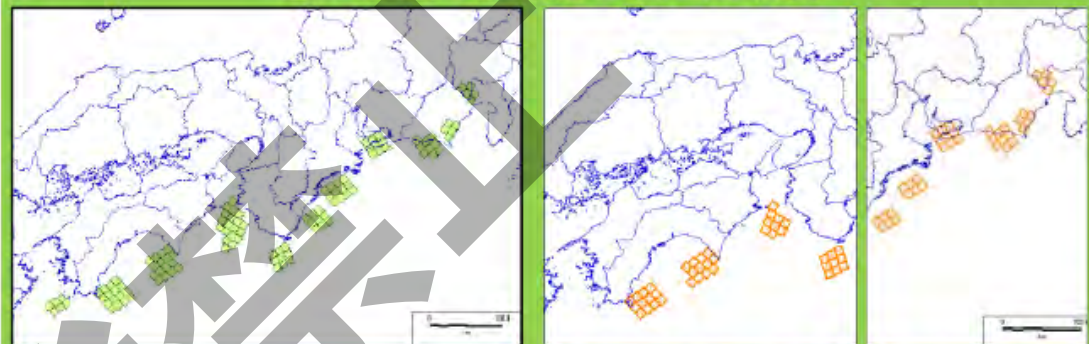


(例) 昭和東南海地震における観測記録の再現



(例) 大正関東地震における観測記録の再現

③「長周期地震断層モデル」の構築



宝永地震
(1707年)

安政南海地震
(1854年)

安政東海地震
(1854年)



昭和南海地震
(1946年)

昭和東南海地震
(1944年)



最大クラスの地震

最大クラスの地震における「長周期地震断層モデル」について

最大クラスの地震に相当する東北地方太平洋沖地震では、過去のM8クラスの地震とほぼ同じ強震動生成域が破壊していたことから、**南海トラフの最大クラスの地震でも、5つの過去地震のSMGAの全てを包絡するモデルを構築**

南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動 内閣府 H27年12月 最大クラスの計算速度波形例(NS成分)

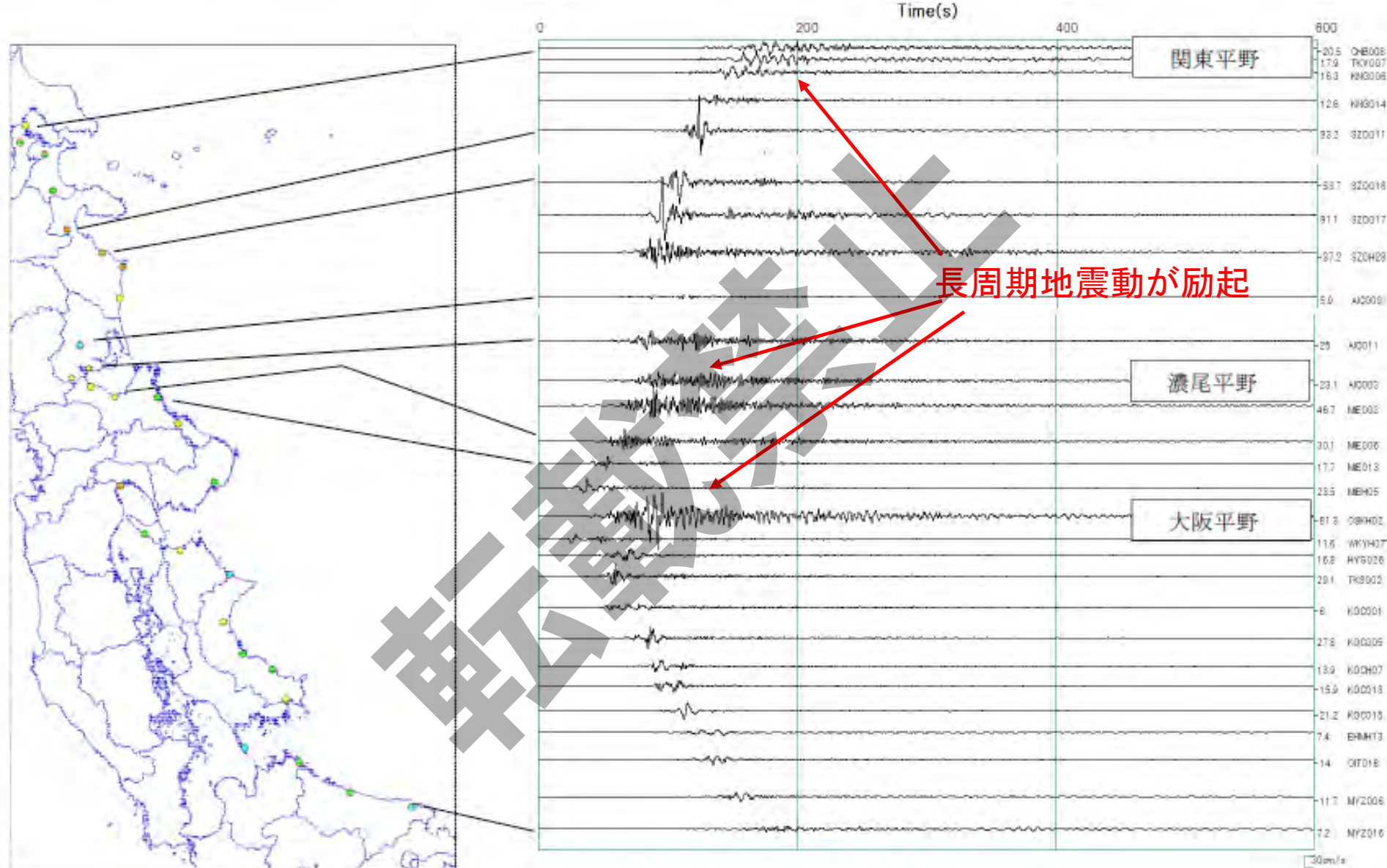


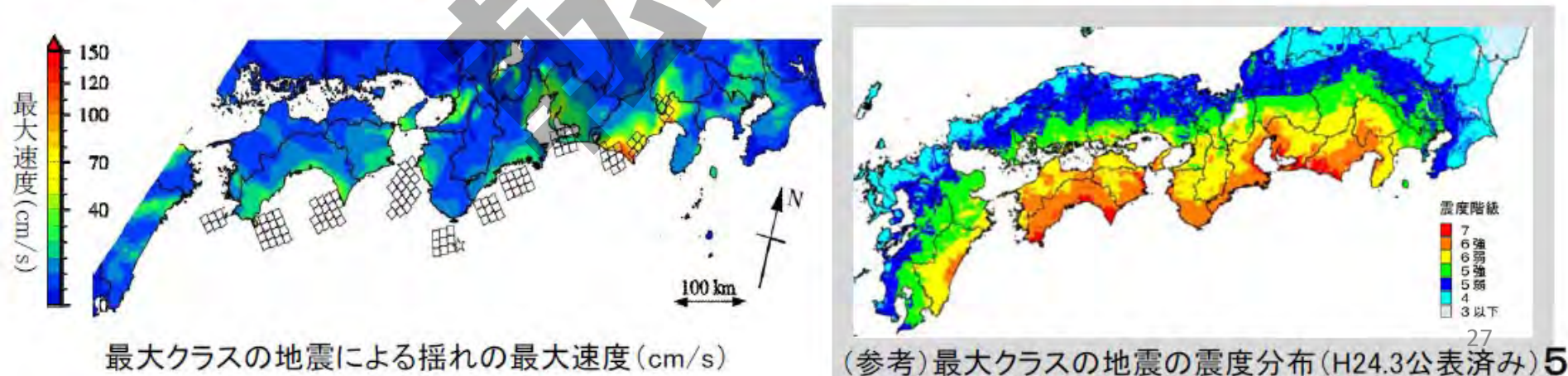
図 29-3. 最大クラスの計算速度波形例 (NS 成分)

地表の揺れの推計結果

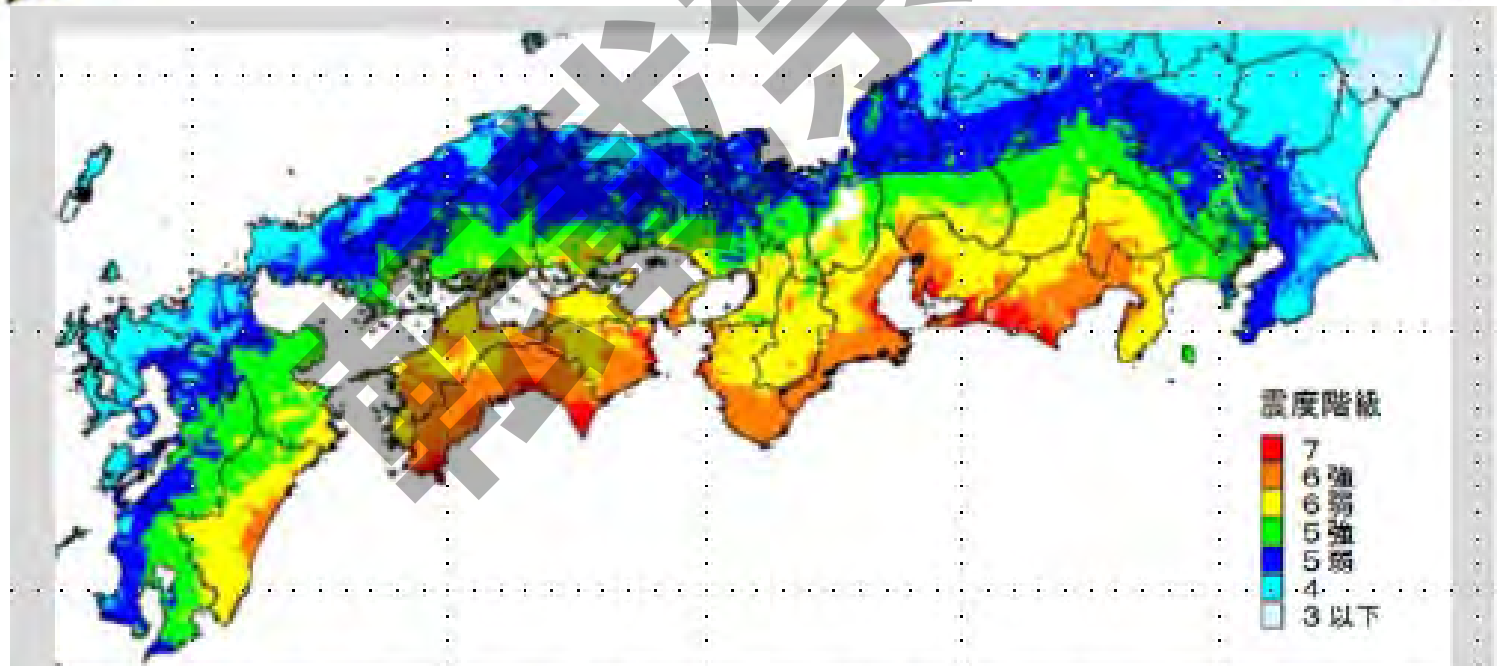
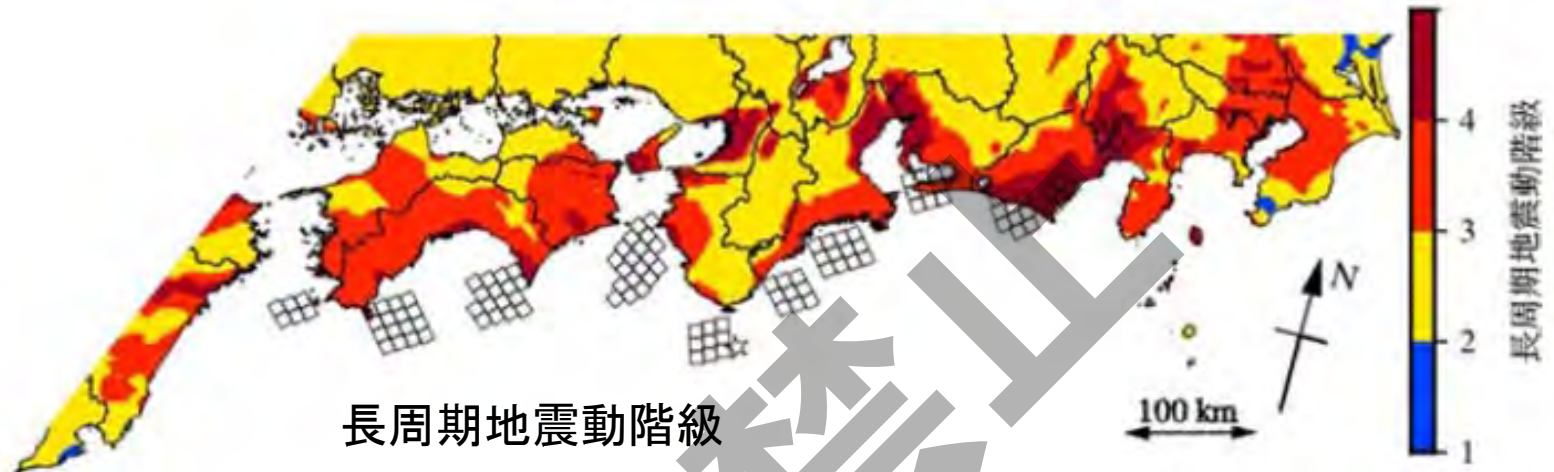
- ・揺れの継続時間からは、三大都市圏で特に長周期地震動が卓越していることが分かる。



- ・揺れの大きさについては、過去に公表した震度分布と同様に強震動生成域の近傍が大きくなる。



南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動 内閣府 H27年12月 最大クラスの地震: 換算した長周期地震動階級と震度分布



(参考) 最大クラスの地震の震度分布 (H24.3公表済み) 528

ゆっくり（スロー）地震

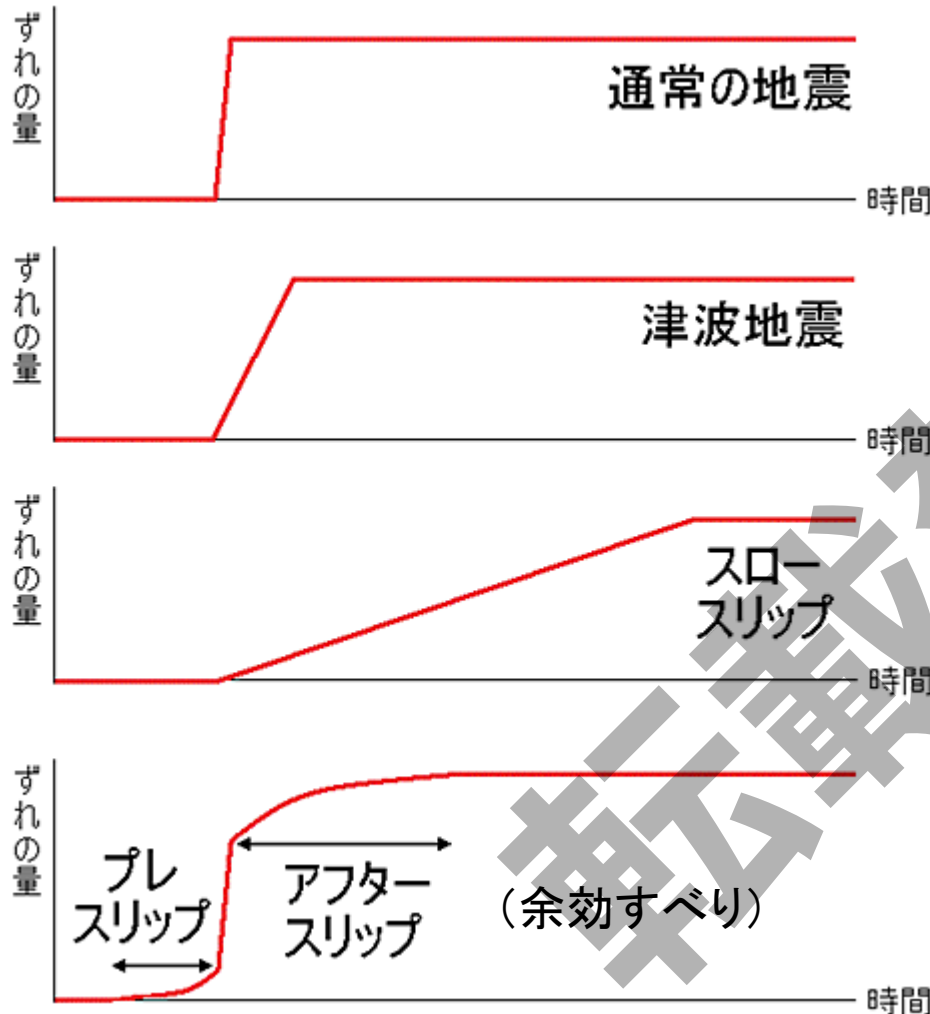
スロースリップイベント(SSE) ゆっくりすべり ゆっくり地震 地震本部(用語集)

通常の地震では、断層が高速(1秒間に約1m)にすべり、地震波を放射します。一方、スロースリップ(ゆっくりすべり)と呼ばれる、ゆっくりと断層が動いて地震波を放射せずにひずみエネルギーを解放する特異な現象が、2000年代初頭から日本で稠密な観測網により検出されるようになりました。その後、日本だけでなく、世界中のプレート境界においてもスロースリップの検出が相次ぎました。現在では、プレート境界の断層では、スロースリップと高速なすべり(通常の地震)の両方が発生していて、お互いに影響を及ぼしあっていると考えられています。

プレート境界で発生するスロースリップは、さらに**短期的スロースリップ(SSSE)**と**長期的スロースリップ(LSSE)**に分けられます。**短期的スロースリップ**は、およそ数日間かけて発生する現象で、東海地方や四国地方では数か月に1回の頻度で発生していることが知られています。また、**長期的スロースリップ**は、数か月から数年かけて、プレート境界がゆっくりすべる現象で、東海地方や四国地方では、過去に繰り返し発生していたと推定されています。また、短期的スロースリップや長期的スロースリップが発生しているときには、**深部低周波地震(LFE)**活動が活発になると言われています。

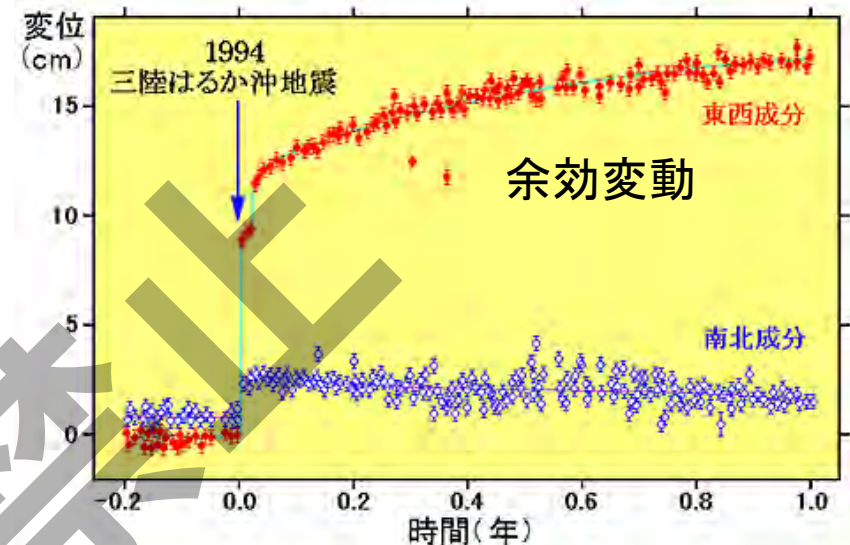
スロースリップイベント(SSE)は、ひずみ計、傾斜計、GNSS観測などで検出することができます。また、水準測量のデータなどから、過去のスロースリップイベントを見付ける試みも行われています。一方で、スロースリップイベントが高速なすべり(通常の地震)に与える影響などを、数値シミュレーションによって明らかにしようとする研究も進められています。

断層面上での様々なすべり



断層面上のずれの時間経過の違いによる様々な「ゆっくり地震」 防災科学技術研究所

http://www.hinet.bosai.go.jp/about_earthquake/sec5.3.html

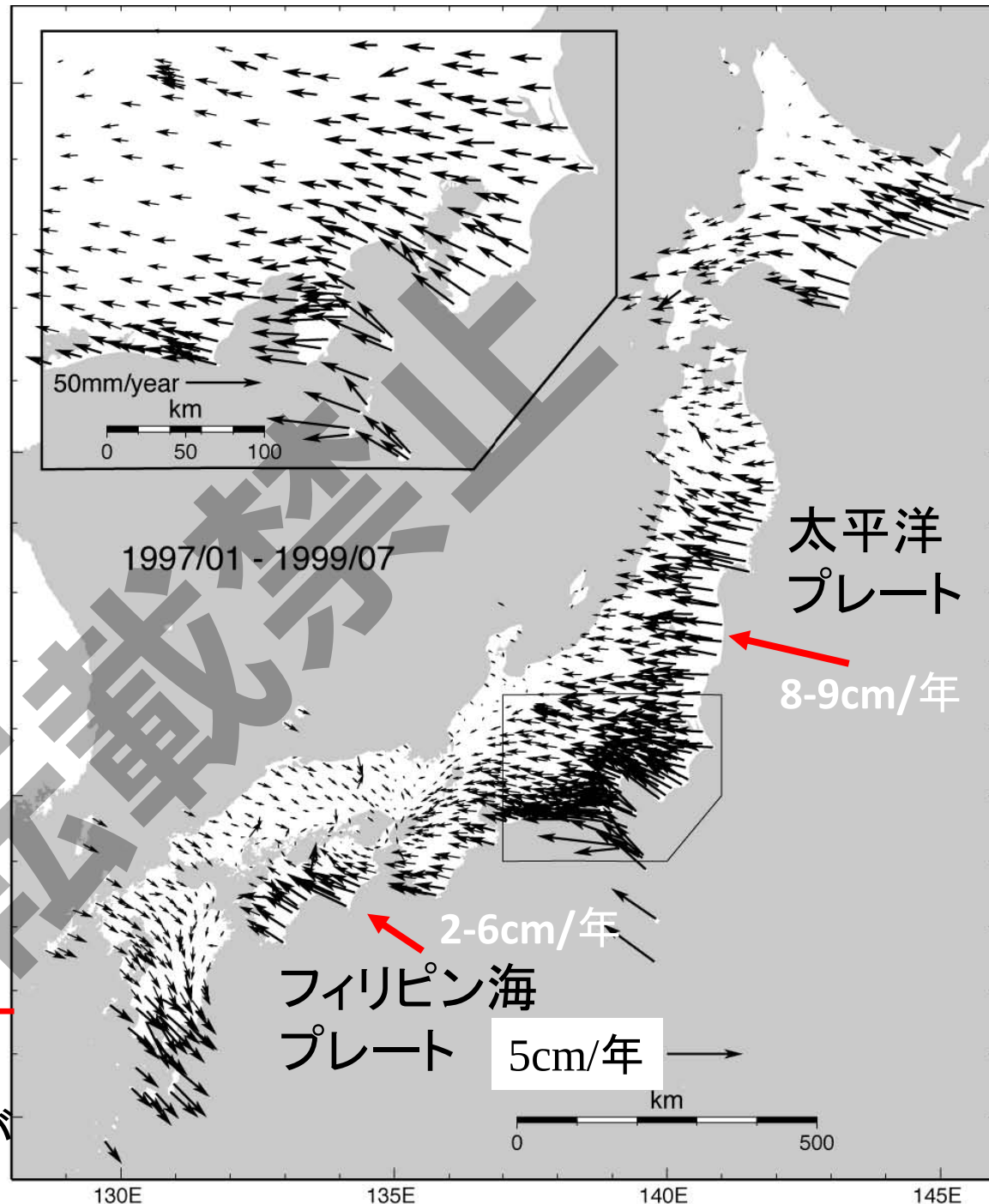
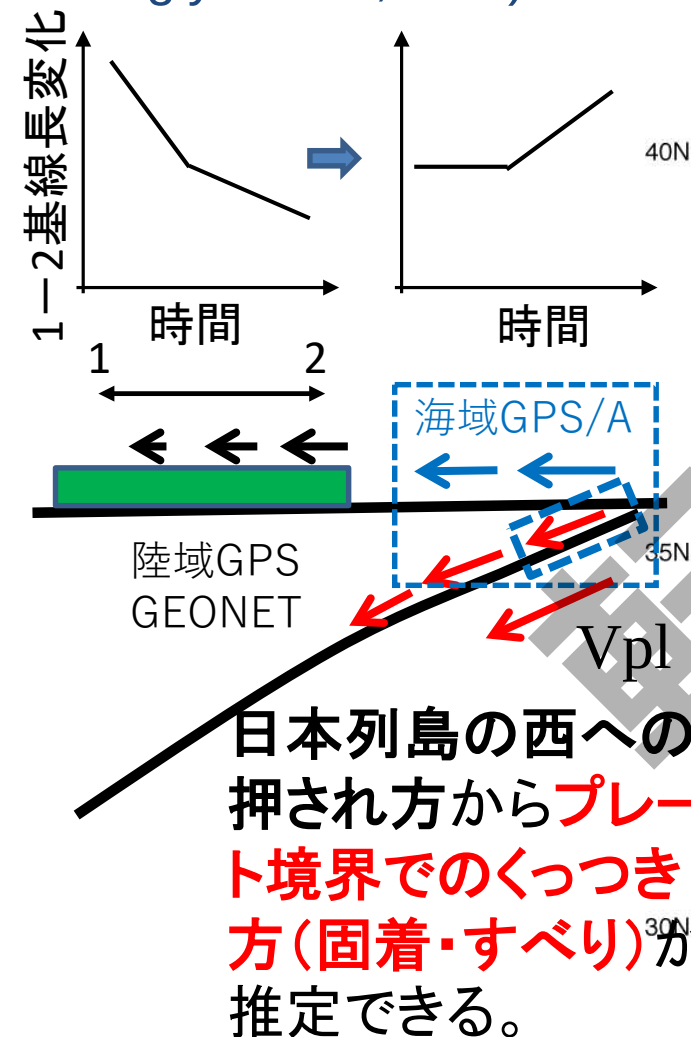


1994年三陸はるか沖地震(M7.5)の前後にGPS観測によってとらえられた、岩手県久慈観測点における変位の時間変化を示しています。地震の発生と同時に約1mの東方向への変位を示したのち、1年以上にわたってだんだんとした同じ向きの動きが見られます。

これは、地震時の高速すべりに続いて、断層面上でゆっくりとした「余効すべり」が継続し、本震とほぼ同じくらいの地震エネルギーを地震後に解放したものと解釈されています。

変動する日本列島

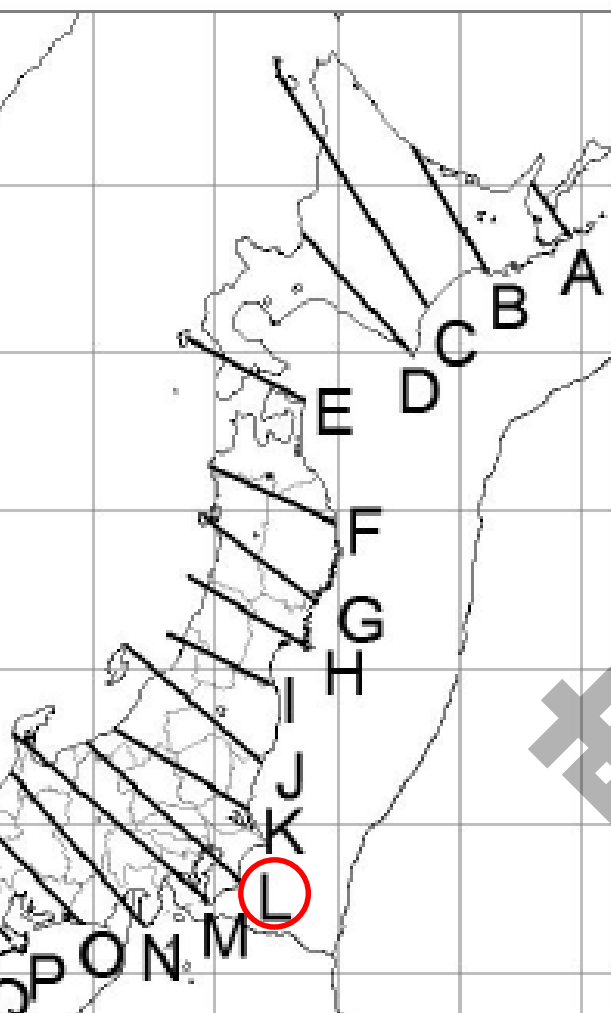
陸域GNSS(全地球航法衛星システム)で捉えられた水平変動 1997/01-1999/07 (Sagiya et al.,2000)



GEONET基線長変化 (1996/1/1-2019/1/1) (気象研:予知連)

東日本 基線長
1996/01/01 00:00 -- 2019/01/01 00:00

地震に伴う変動は除去している



A: 950109-950119

B: 940002-940010

C: 950102-950138

D: 950117-940019

E: 940020-960533

F: 950154-950162

G: 940030-950172

H: 950194-960550

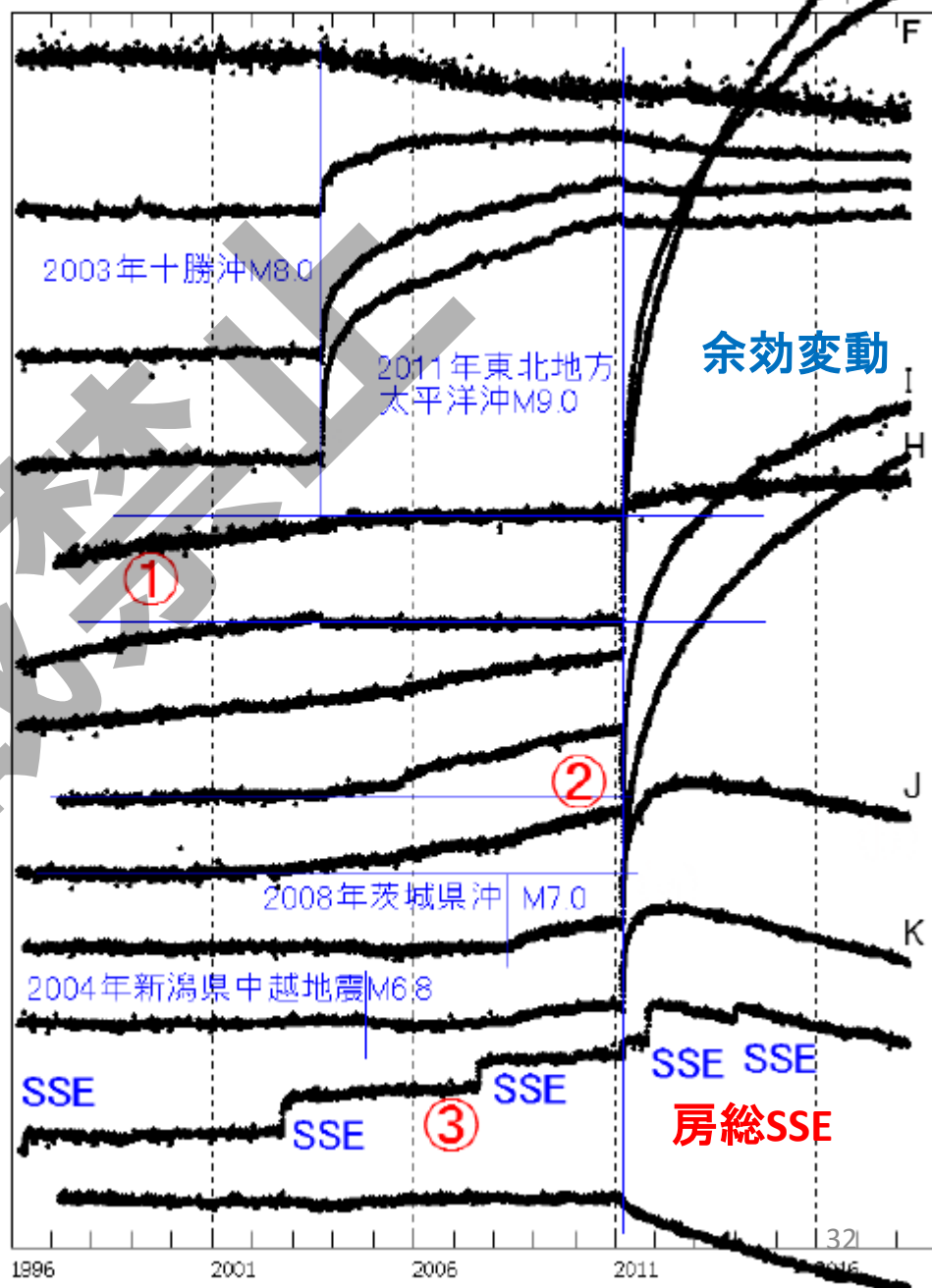
I: 950231-940038

J: 950232-950214

K: 950241-93004

L: 950241-950226

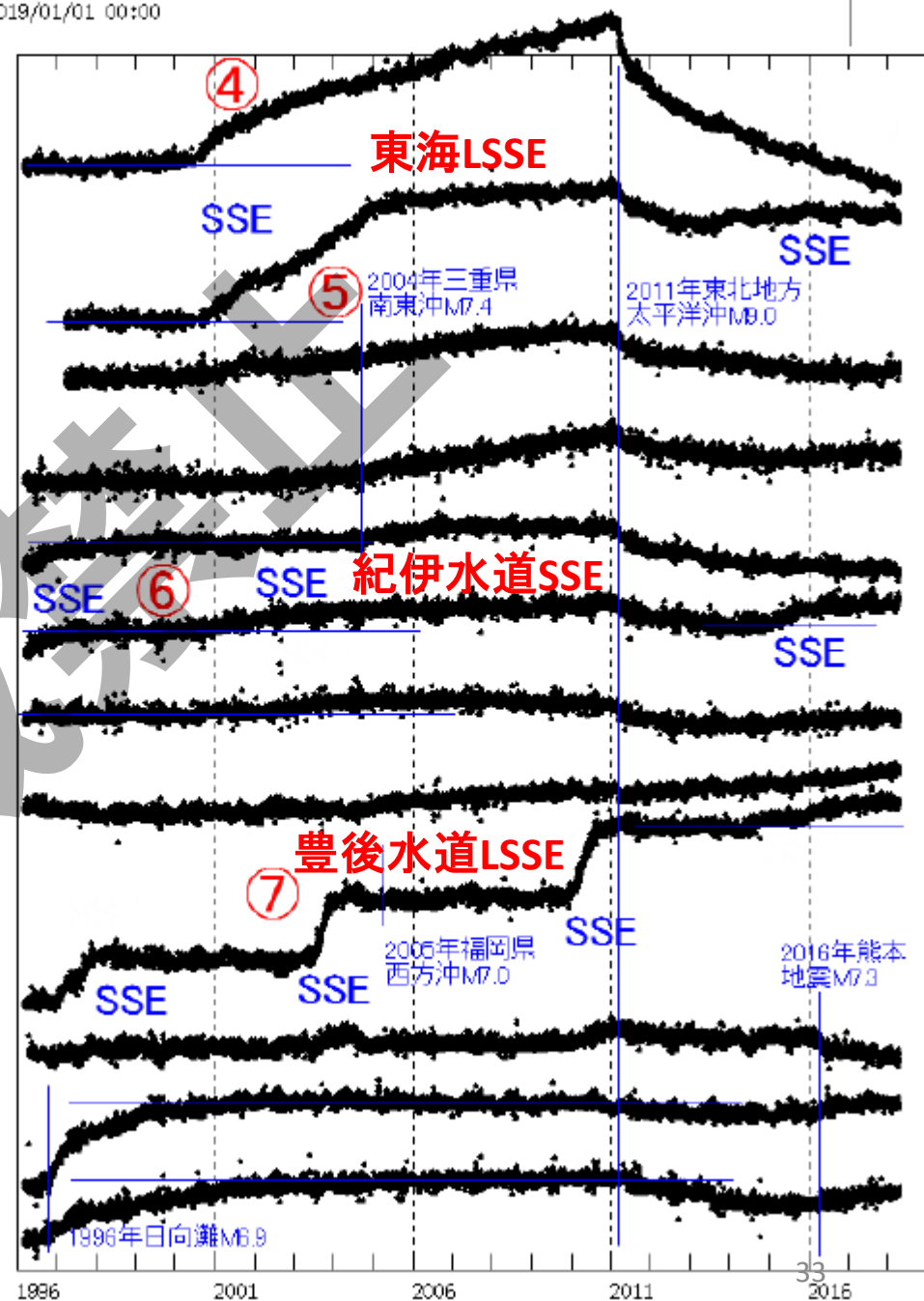
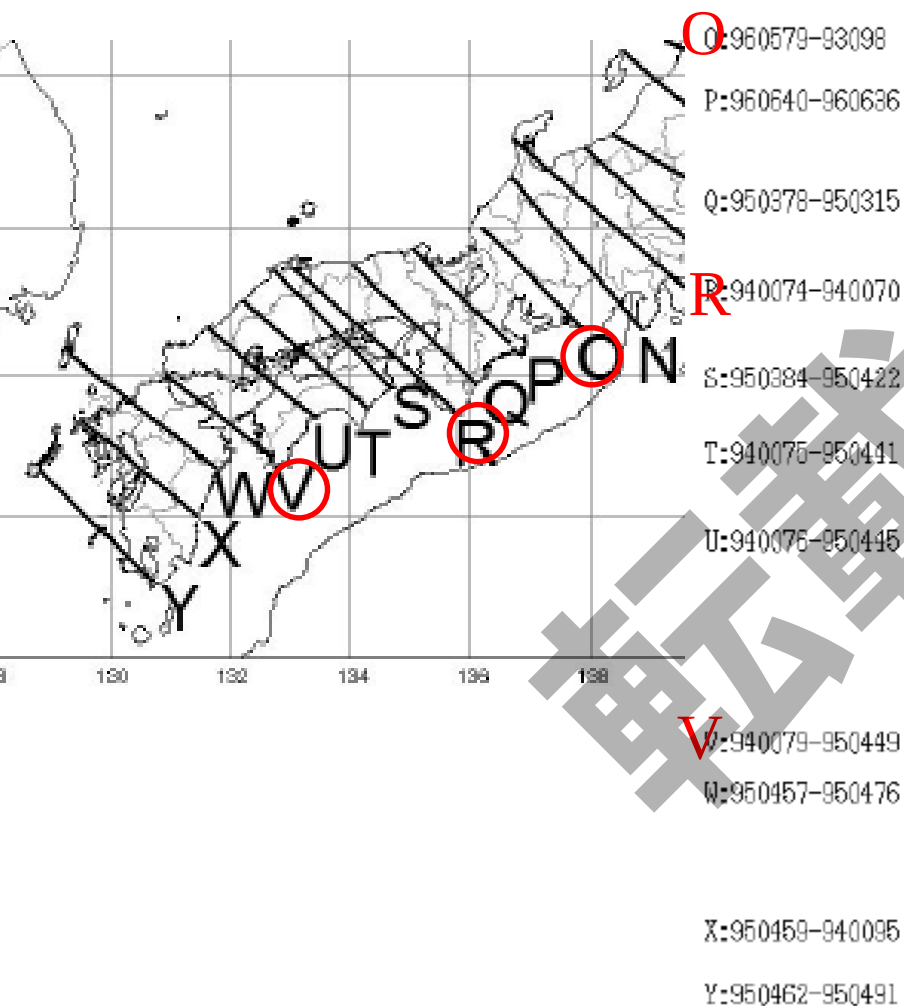
M: 960575-93047



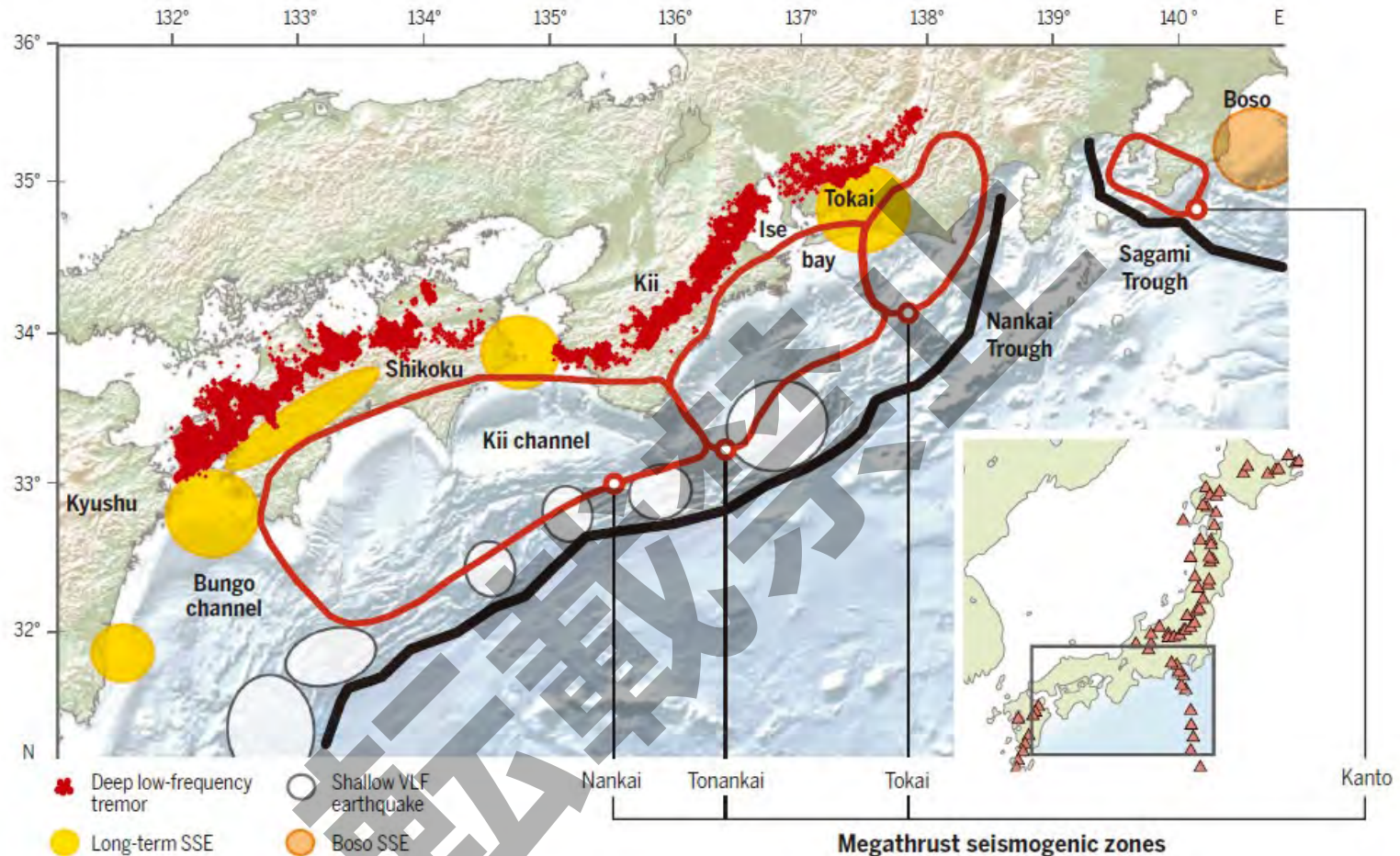
西日本 基線長

1996/01/01 00:00 -- 2019/01/01 00:00

GEONET基線長変化 (1996/1/1-2019/1/1) (気象研:予知連)



西南日本で発生するスロー地震群分布



深部低周波微動
(深部LFT)

長期的SSE (LSSE)

浅部超低周波地震
(浅部VLFE)

房総SSE

[Obara and Kato (2016)]

西南日本で発生するスロー地震分布

LSSE

- ・Mw～7
- ・間隔:6-10年
- ・継続時間: 0.5-5年

浅部VLF・微動

南海トラフ

豊後水道

Megathrust asperity
(Interval: 100 to 150 years)

Long-term SSE

30 to 40 km

40 to 50 km

安定すべり域

深部ETS

(SSSE, VLFE, LFT)

- ・Mw～6
- ・間隔:3-6月
- ・継続時間:1週間

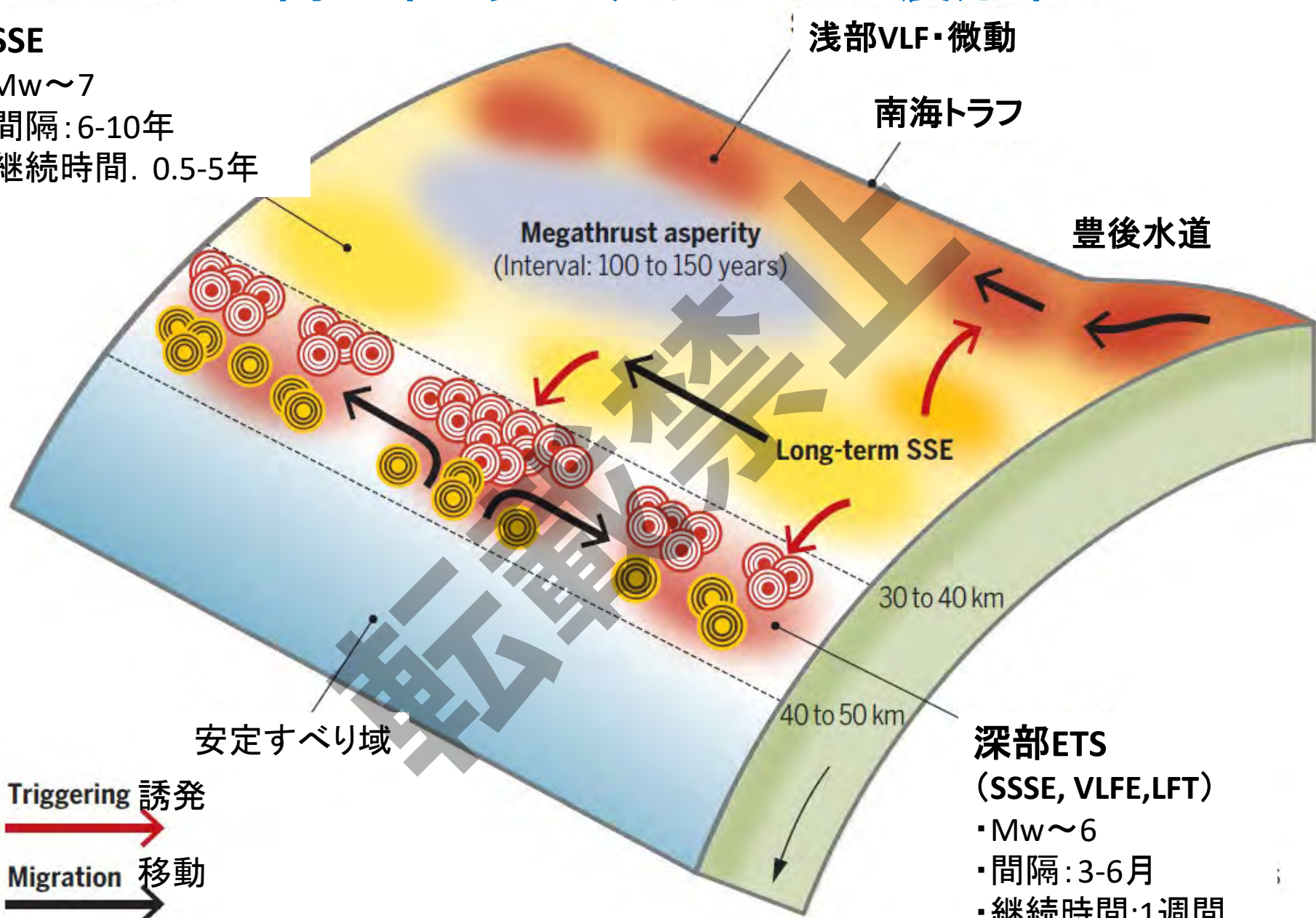
Triggering 誘発



Migration 移動



[Obara and Kato (2016)]



西南日本で発生するスロー地震分布

時定数	深部	巨大地震 発生域	浅部	観測
0.5～5年	長期的SSE (LSSE)			GNSS
2～6日	短期的SSE (SSSE)			傾斜計・歪計 (GNSS)
10～100秒	深部超低周波地震 (深部VLFE)		浅部超低周波地震 (浅部VLFE)	地震計
2～8Hz	深部低周波微動 (深部LFT)		浅部低周波微動 (浅部LFT)	地震計

SSE (Slow Slip Event: ゆっくりすべり)

深部間欠的微動・すべり ETS (Episodic Tremor & Slip)

= SSE, 深部VLFE, 深部LFT

[Obara and Kato (2016)]

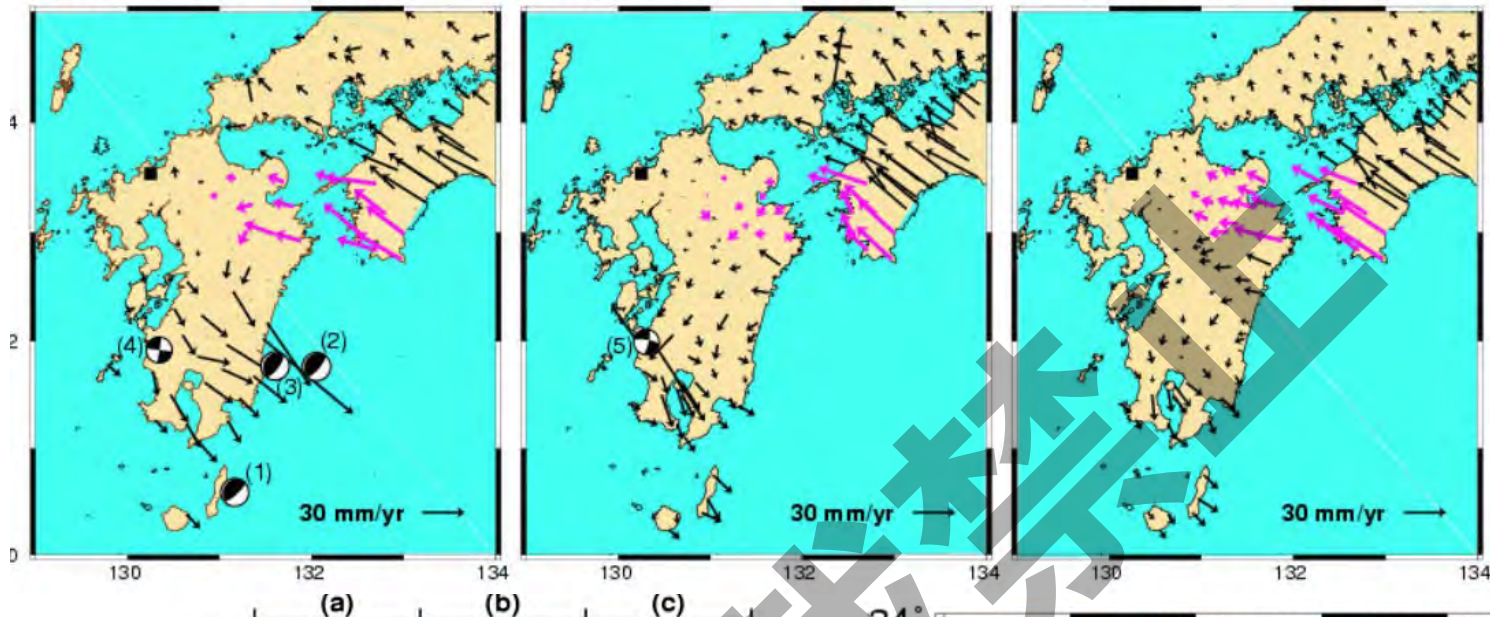
1997年豊後水道LSSE

(a) Apr. 1, 1996 - Apr. 1, 1997

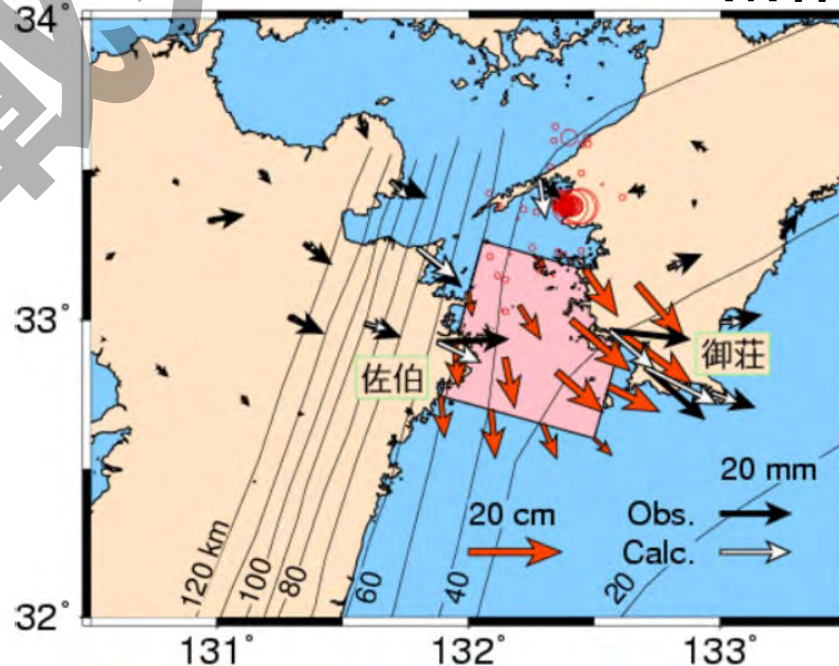
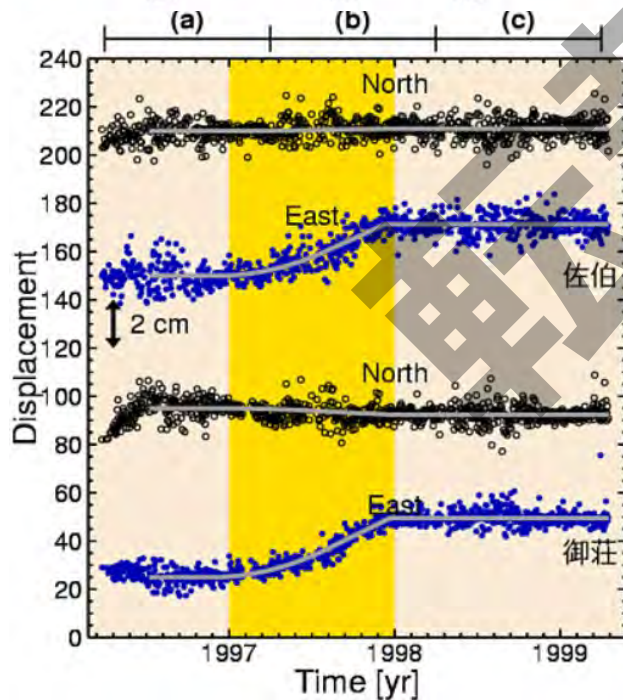
(b) Apr. 1, 1997 - Apr. 1, 1998

(c) Apr. 1, 1998 - Apr. 1, 1999

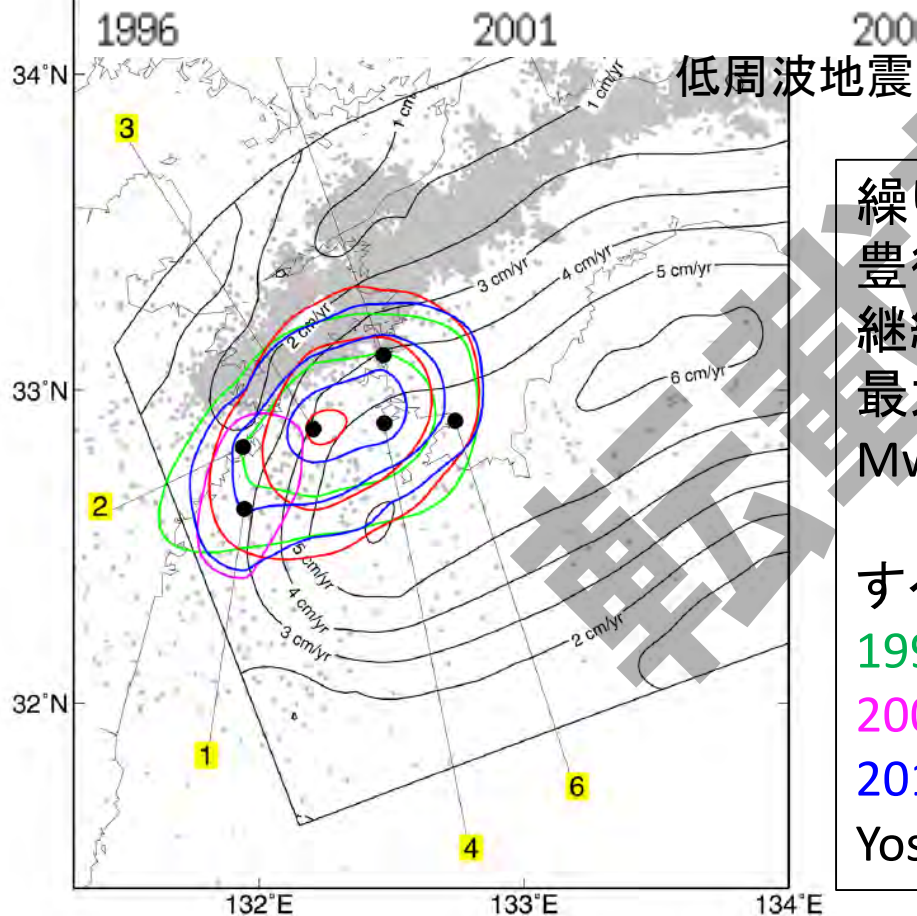
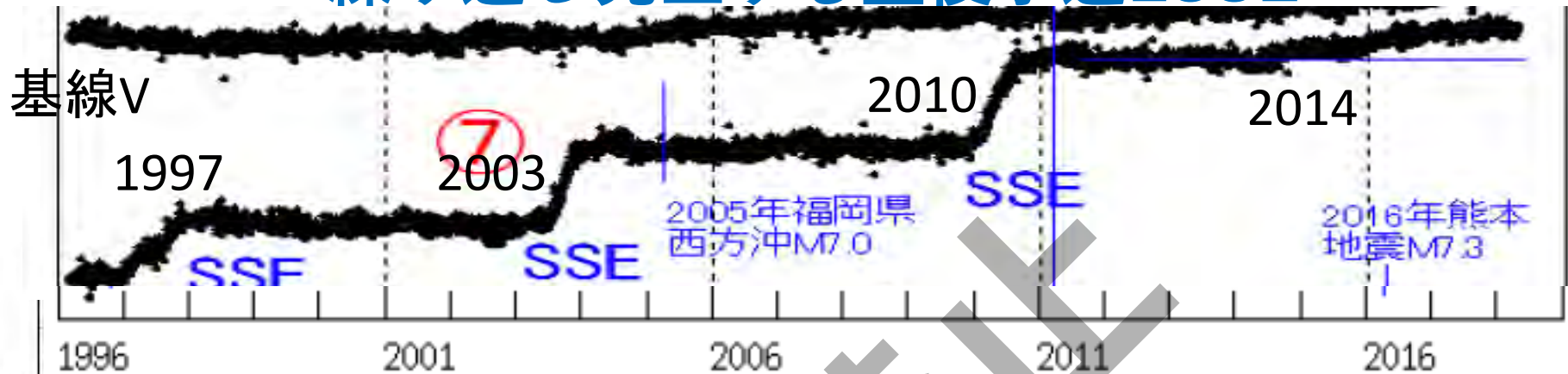
Hirose et al.
(1999)



Mw6.8



繰り返し発生する豊後水道LSSE



繰り返し間隔 ~ 7年

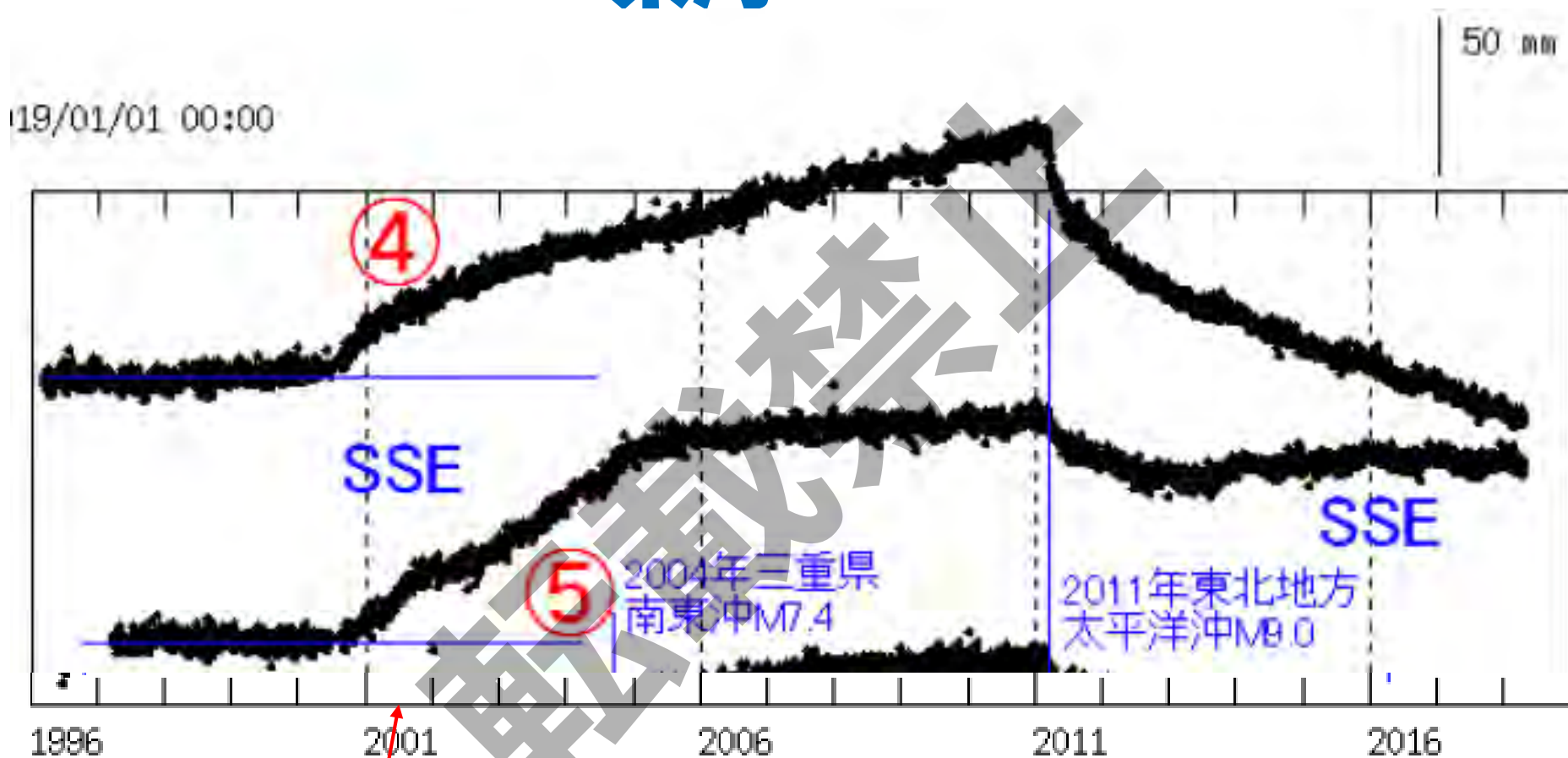
豊後水道LSSE	1997	2003	2010
継続時間	1.3	0.7	1.2
最大すべり量	15	7.3	16
Mw	6.8	6.5	6.8

すべり分布(コンター間隔:5cm)と固着率

1997,
2003 (1st), 2003 (2nd)
2010

Yoshioka et al. (2015)

東海LSSE



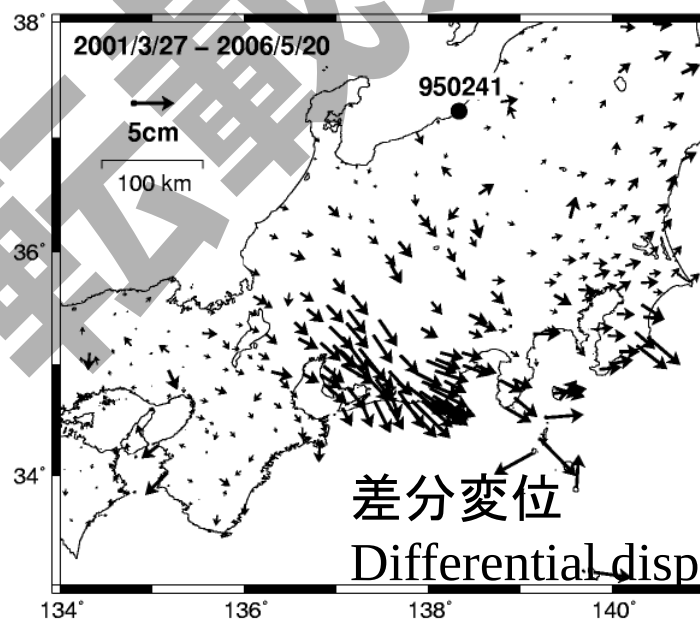
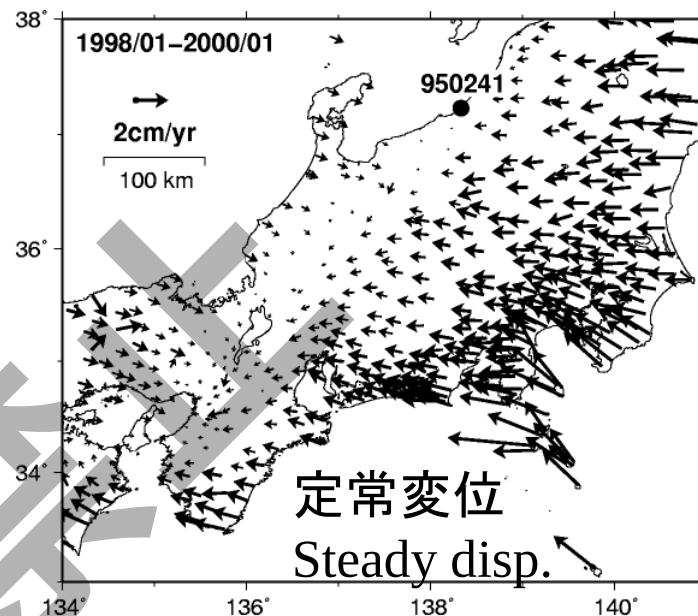
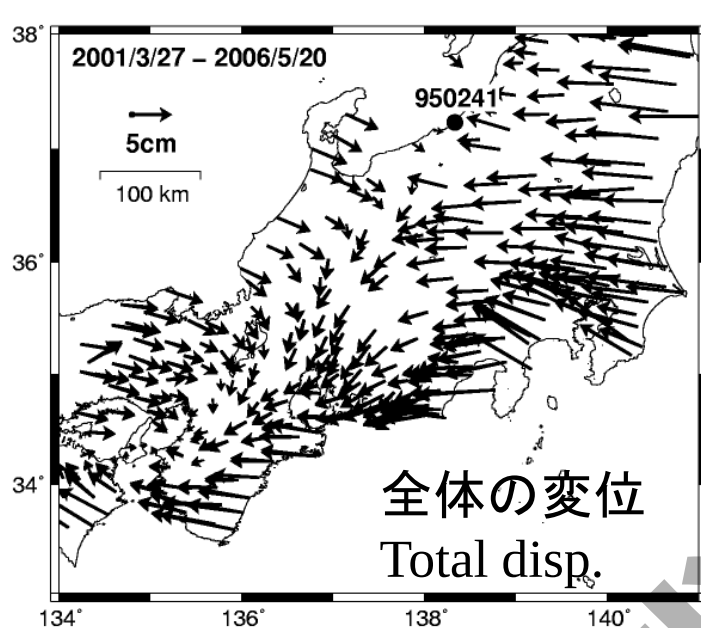
2000/6/26

三宅島噴火

$$\tau_i(t) = \sum_{j=1}^N K_{ij} [v_{pj}(t) - u_j(t)] - \frac{G}{\epsilon_0} v_i(t)$$

$$\tau_i(t) = \sum_{j=1}^N \int_{-\infty}^t \frac{1}{\tau_{ij}} \exp\left(-\frac{t-t'}{\tau_{ij}}\right) dt' - \frac{G}{\epsilon_0} v_i(t)$$

東海LSSE2001



GEONET
大湊(950241)固定
2001/3-2005/5
Fix:Ogata(950241)

1998/1-2000/1

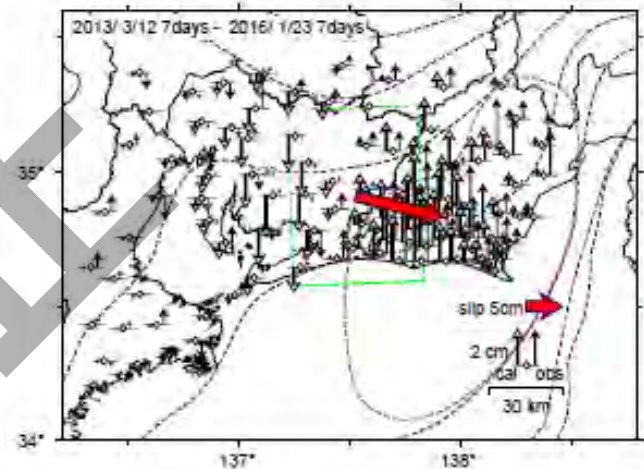
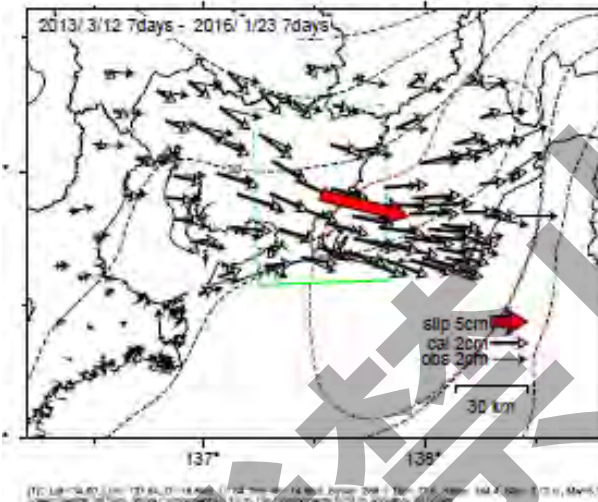
東北地方太平洋沖地震の余効変動除去

GEONET
三隅固定
2013/3-2016/1

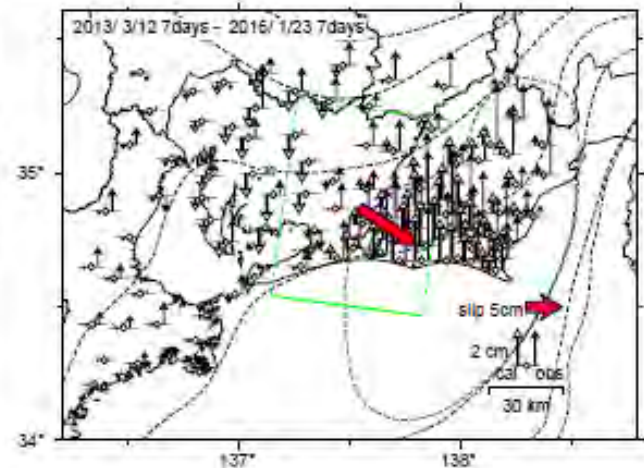
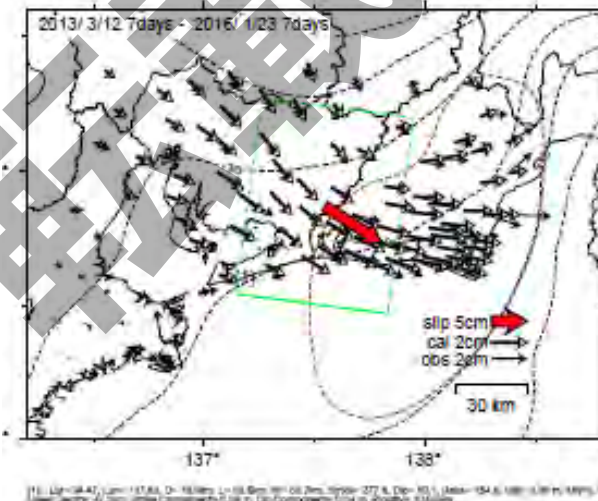
水平変動

上下変動

【(1) 非定常地殻変動（余効変動除去前）】

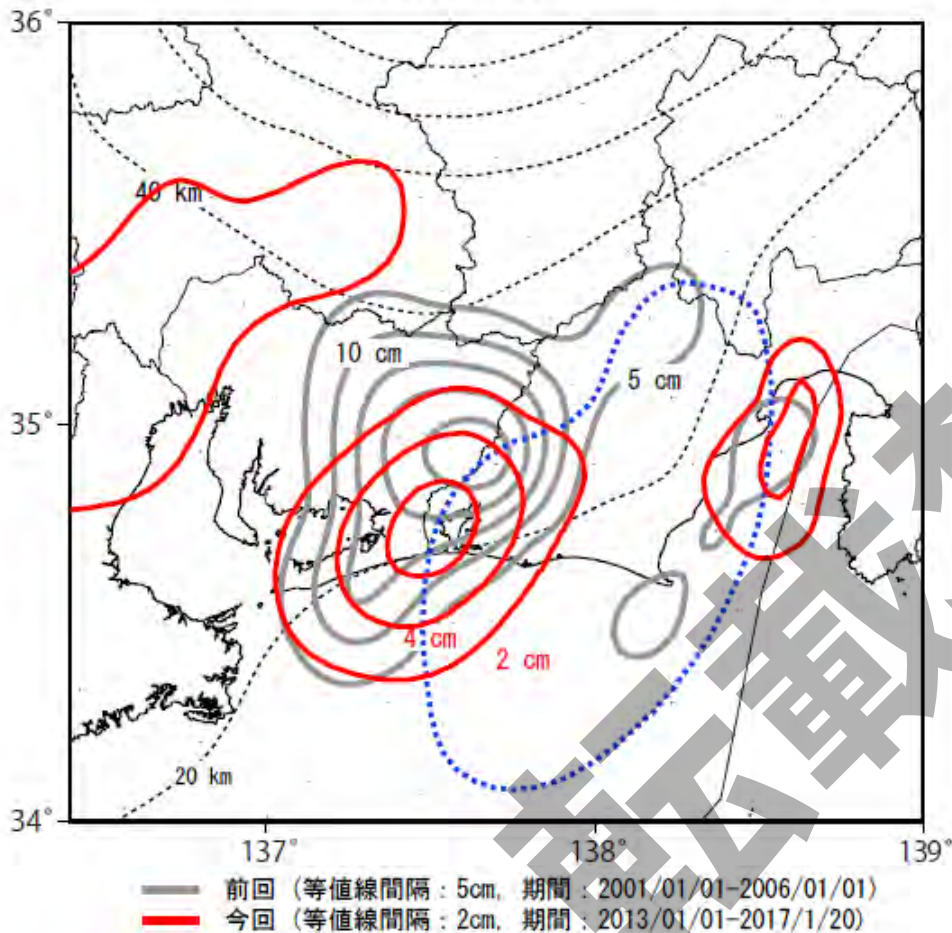


【(2) 余効すべりによる変動のみ除去】



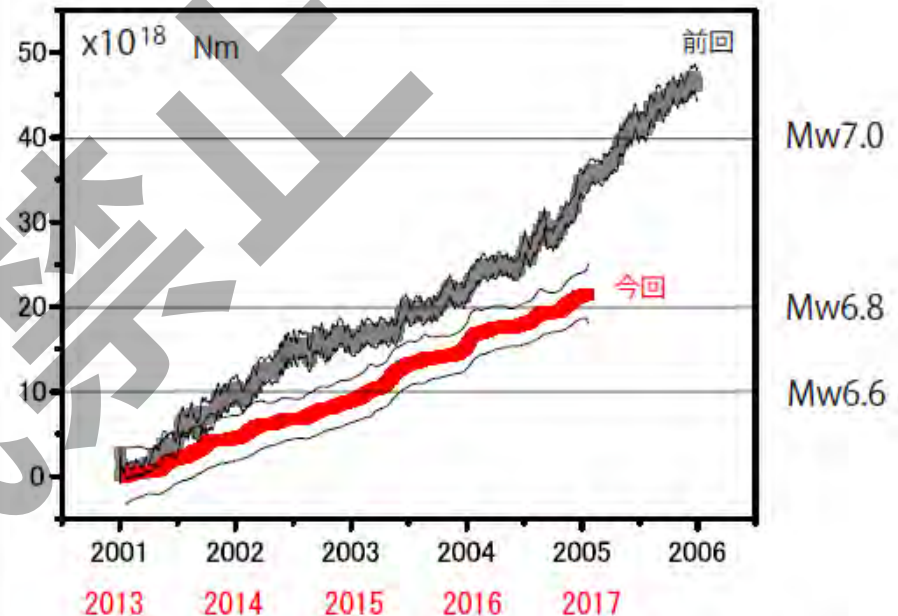
東海LSSE2013

累積すべり分布



- ・それぞれの期間の、累積のすべり量を等値線で示している。
- ・黒破線は、沈み込む海側プレート上面の等深線。
- ・青破線は、東海地震の想定震源域。

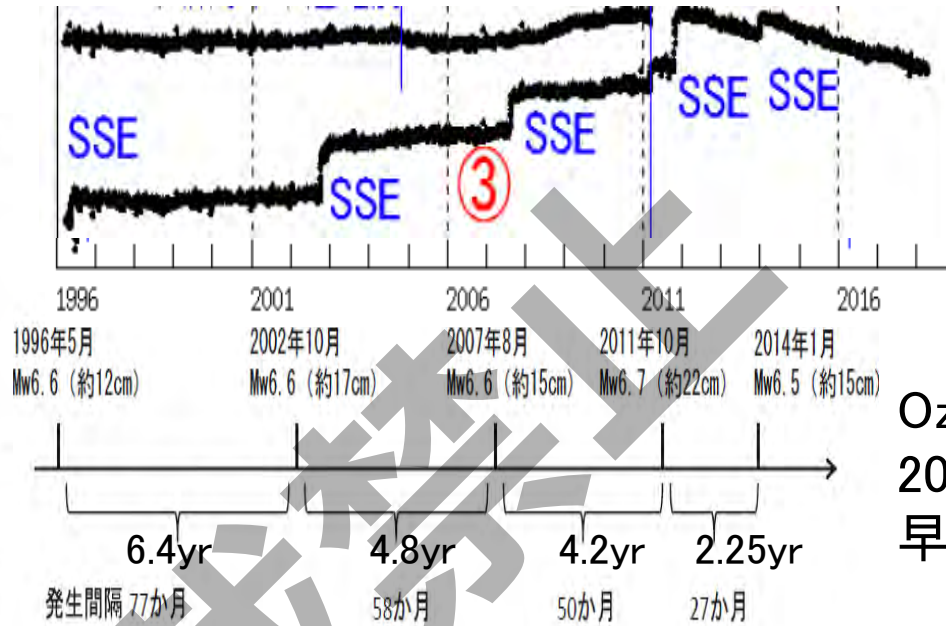
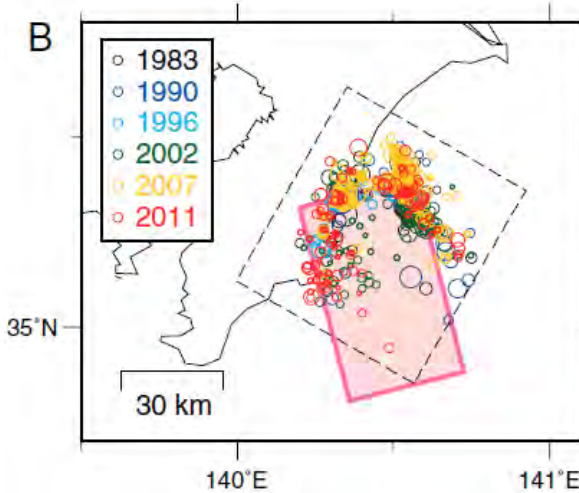
モーメントの時間変化



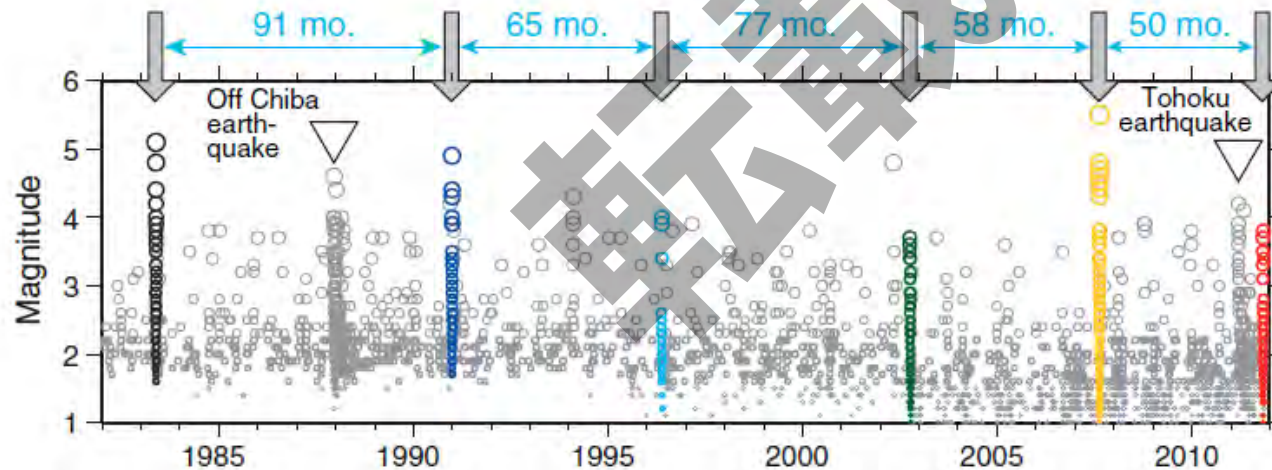
・それぞれの期間のモーメントの時間変化を、横軸を重ねて示している。

房総沖SSE

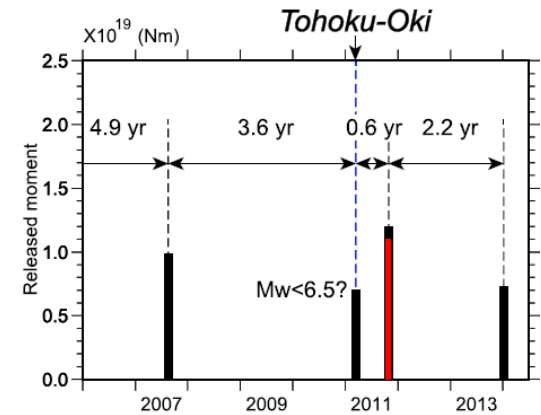
- ・継続時間～10日間
- ・地震発生を伴う



Ozawa(2014)
2014SSE
早く発生



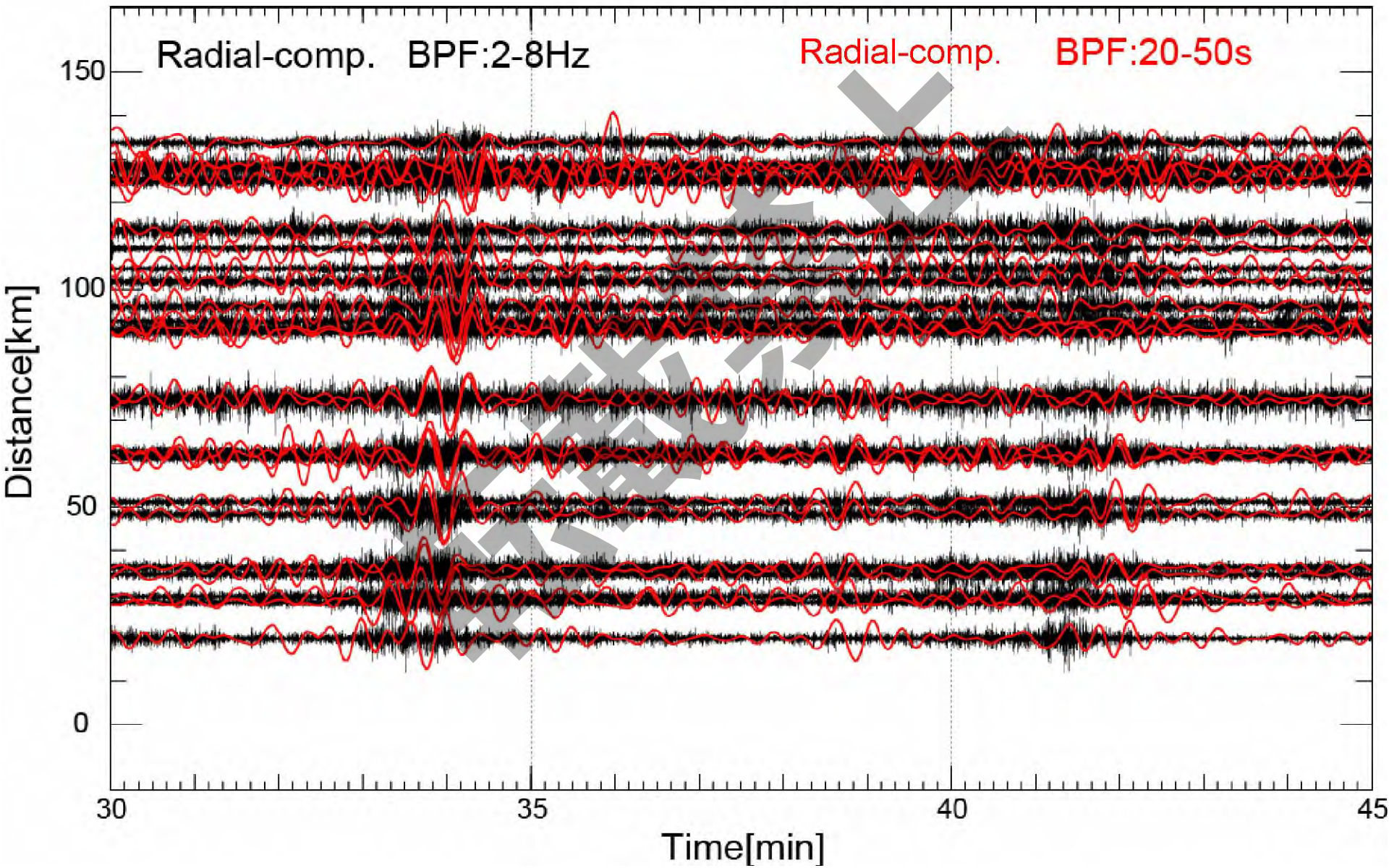
Hirose et al.(2012)



Kato et al.(2012)
地震後にSSE発生
マッチドフィルター⁴³

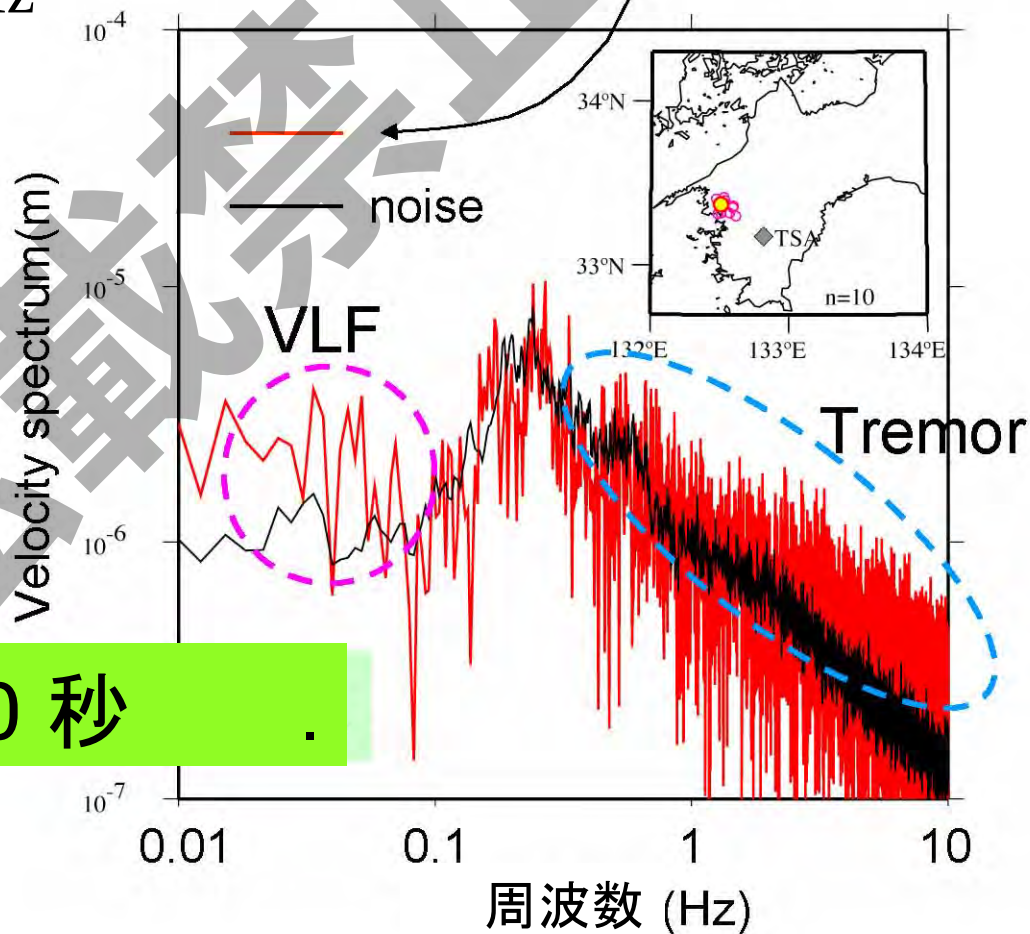
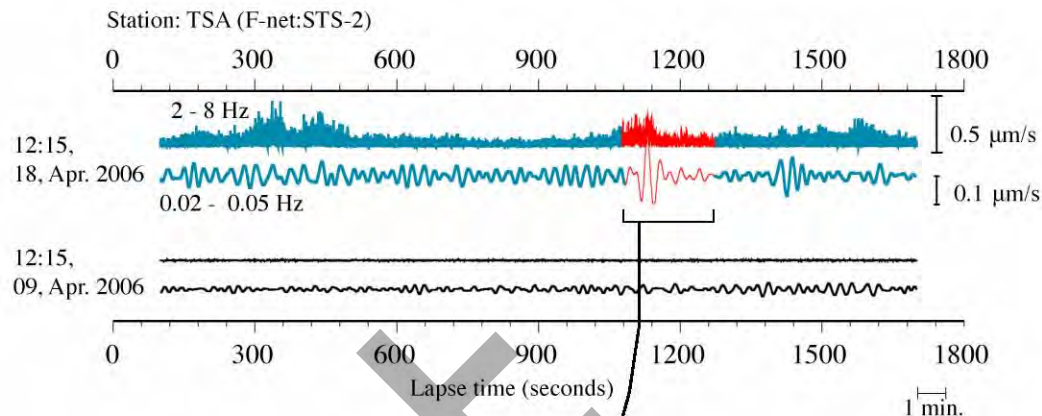
深部低周波微動と超低周波地震 例

2006/04/18_12h



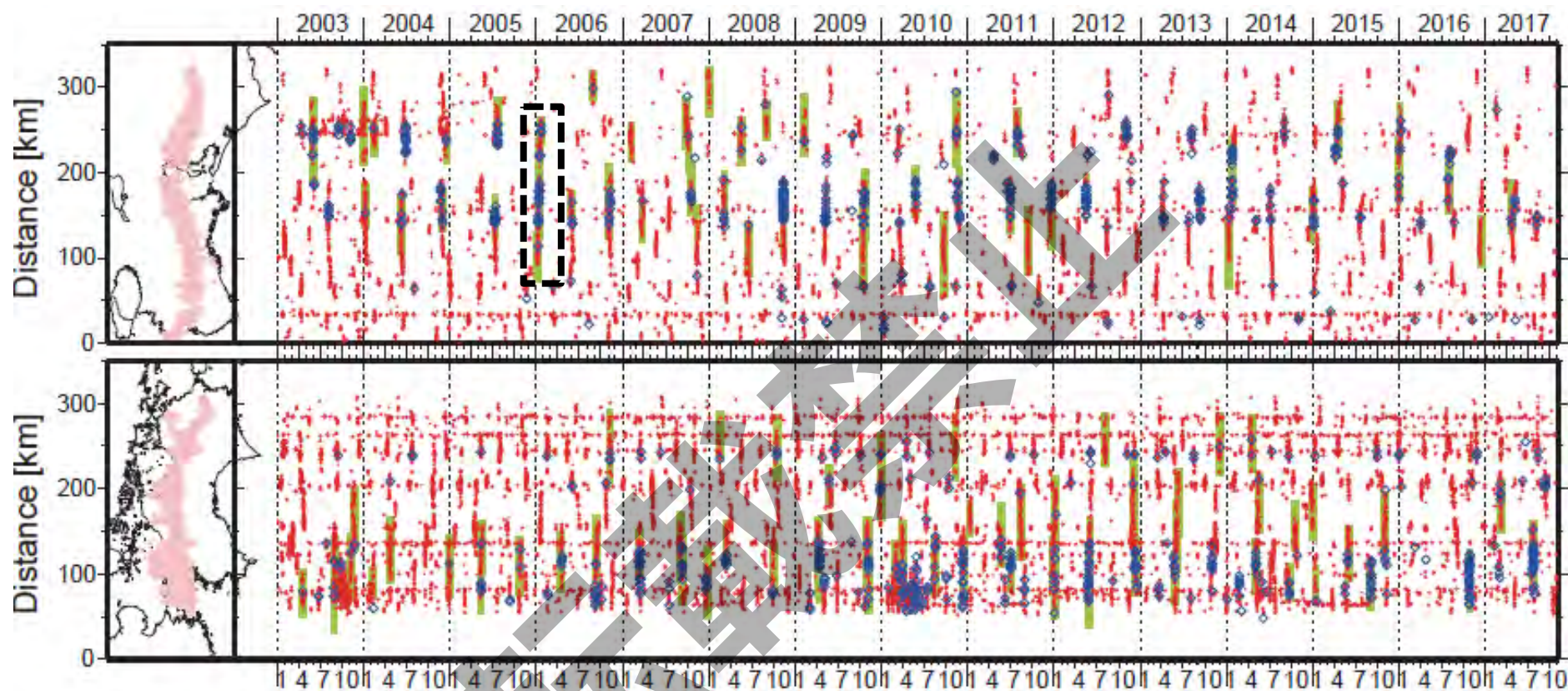
超低周地震 のスペクトル

低周波微動 LFT: 数Hz
超低周波地震 VLF: 0.05Hz



卓越周期=20 秒

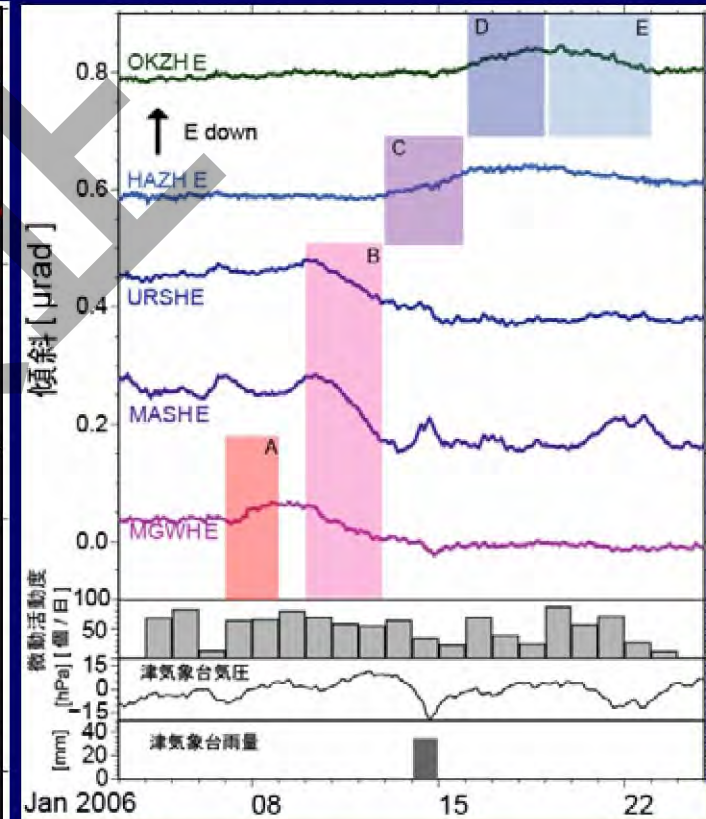
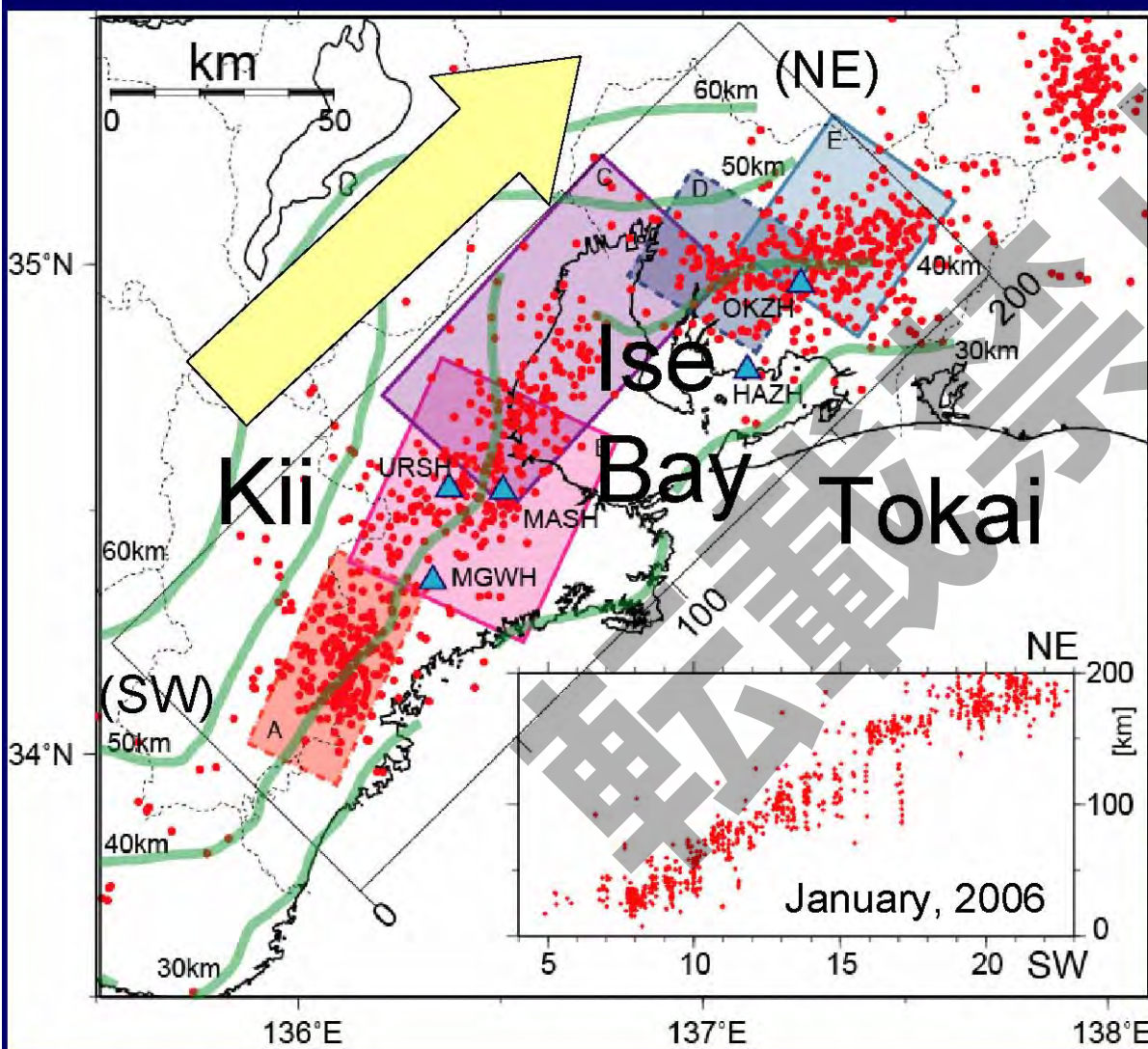
深部低周波微動・深部超低周波地震・短期的SSE活動



西南日本で発生した**深部低周波微動(赤丸)**及び**深部超低周波地震(青菱形)**
時空間分布 黄緑太線は傾斜変動から検出された**短期的SSE**
(2003-2017) 防災科研 予知連会報99巻 2018.3

深部低周波微動と短期スロースリップの移動

紀伊半島・東海 2006年1月

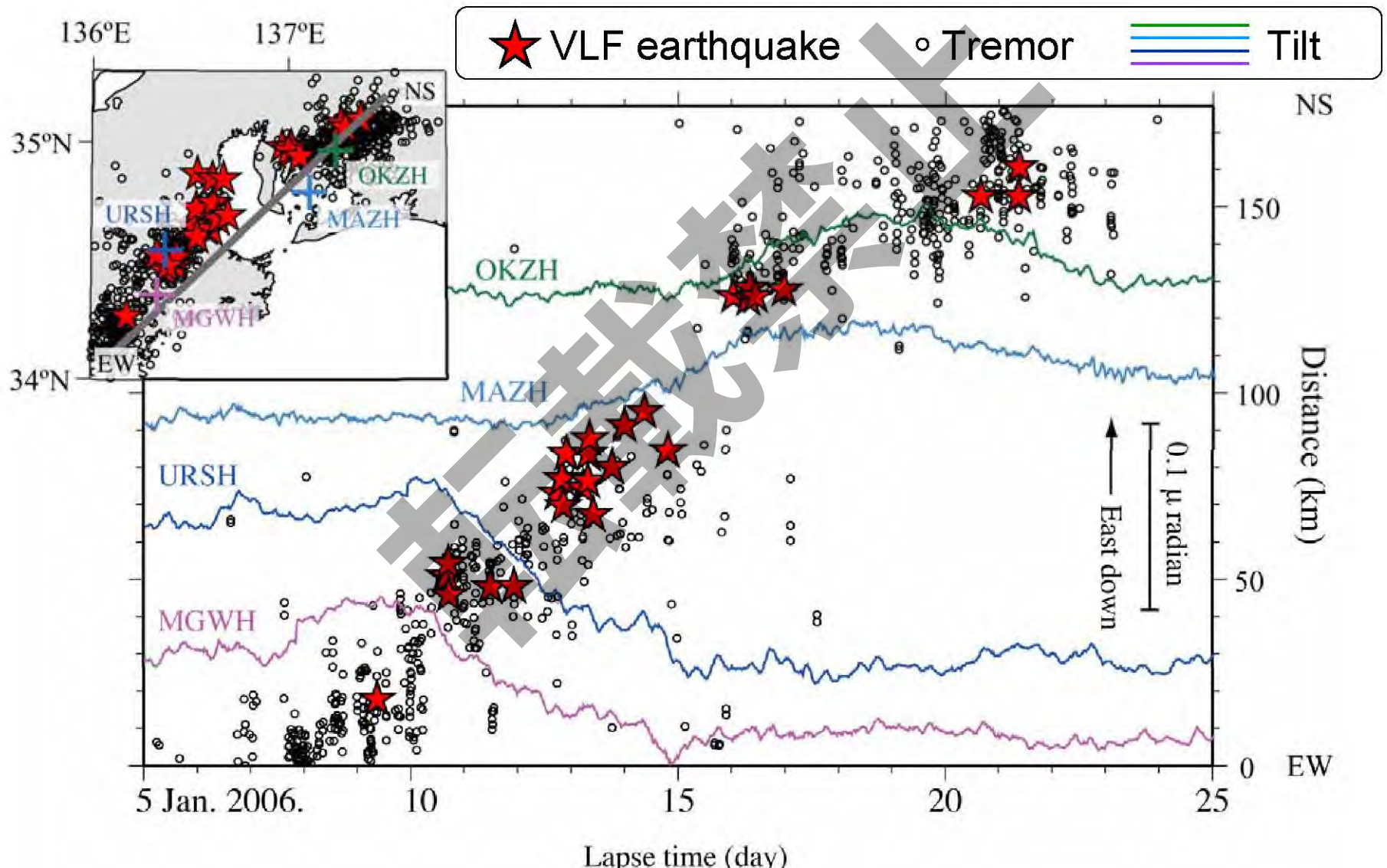


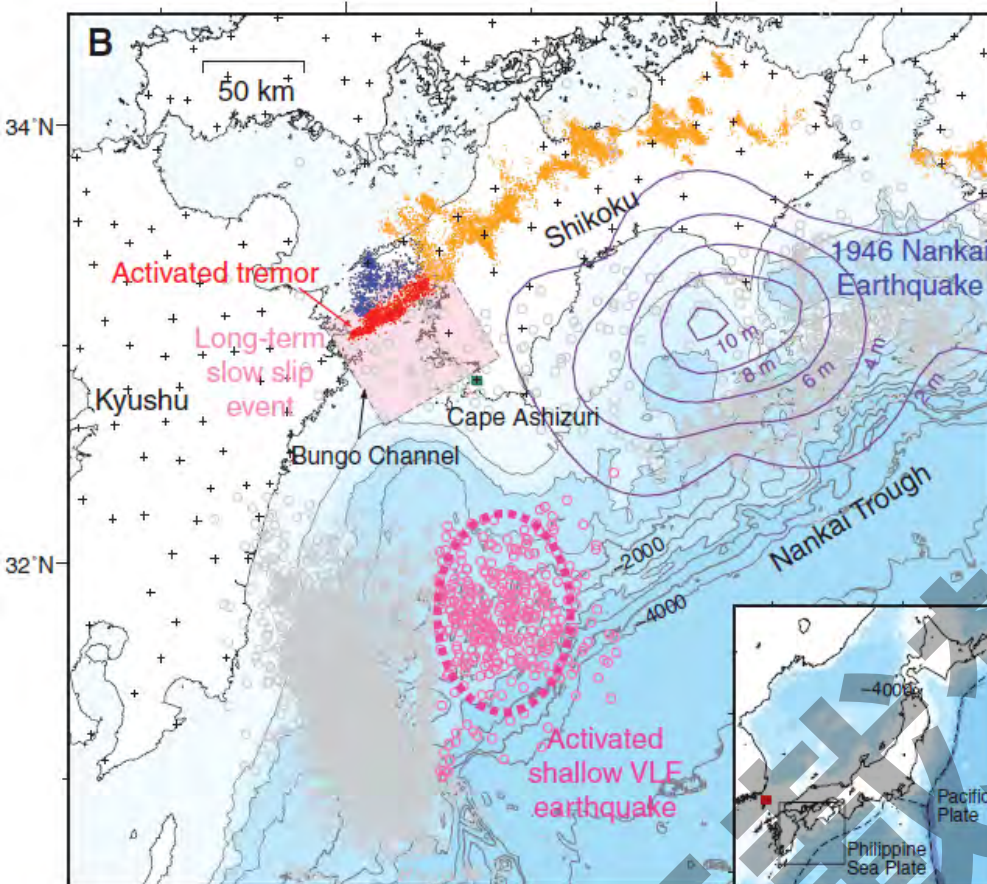
Vel.=10km/day

Total Mw ~ 6.2

深部低周波地震・深部超低周波地震の移動

紀伊半島→東海 2006年1月





浅部 VLFE 活発化

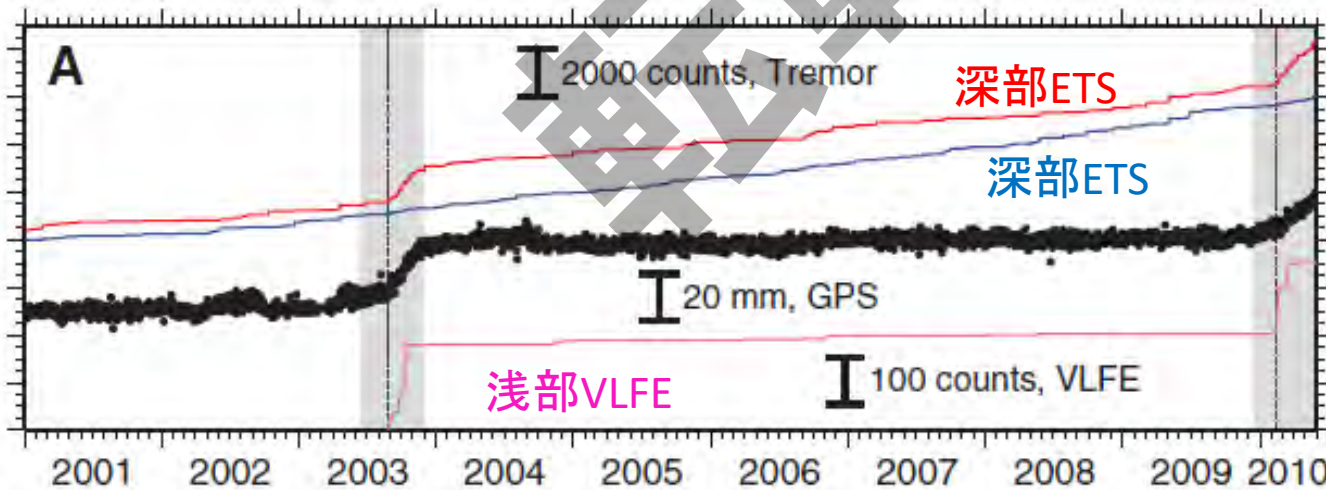
↕ SSE ?

2003・2010豊後水道LSSE

↕

深部 ETS 活発化

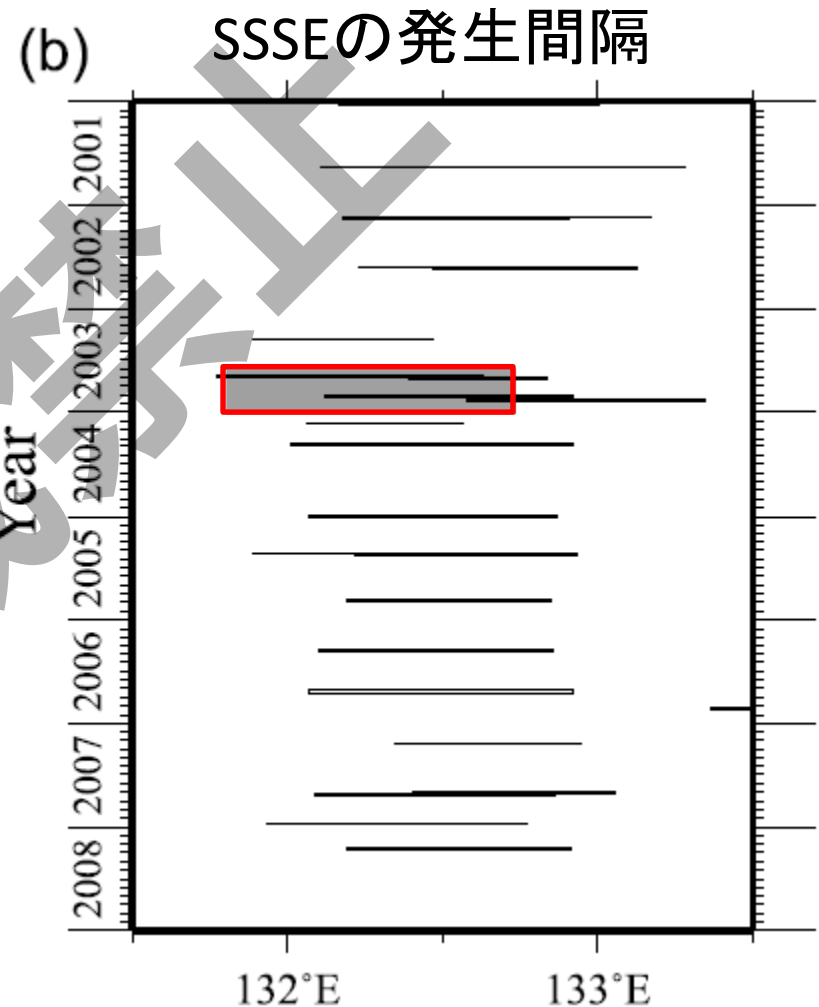
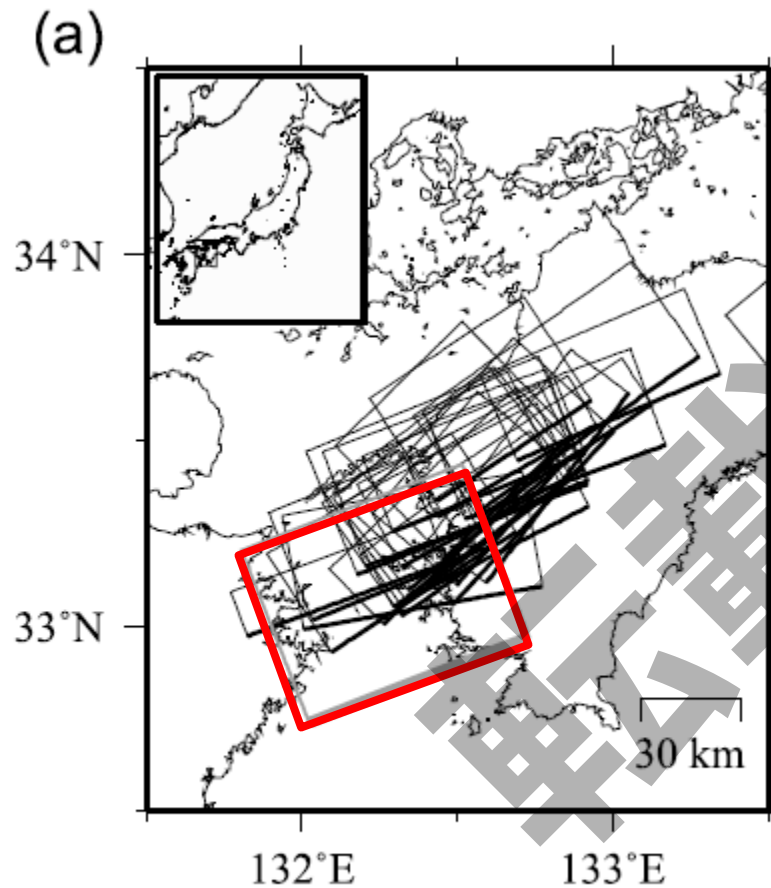
ETS 変化無



Hirose et al.
(2010)

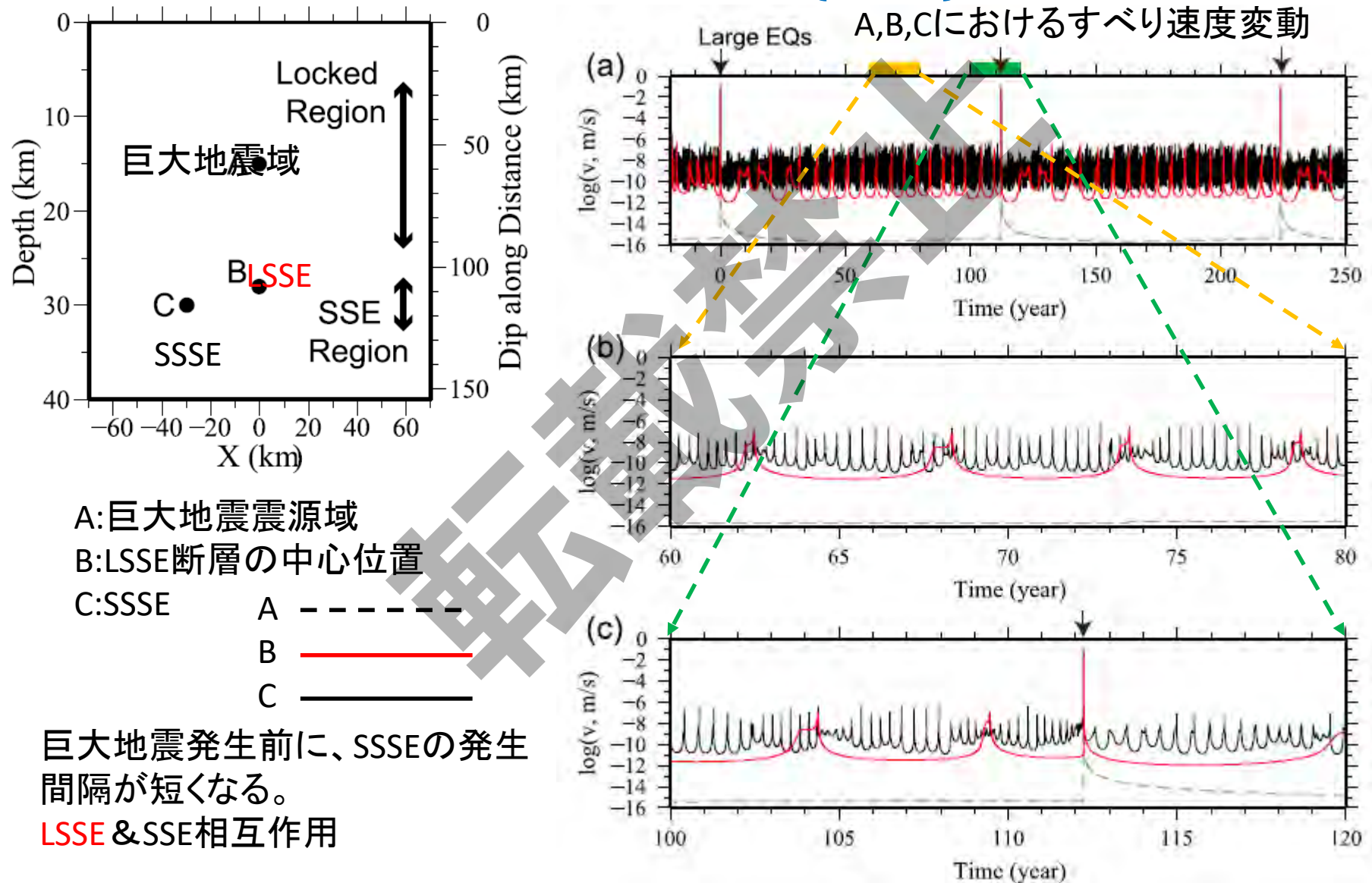
LSSE発生とSSSEの発生間隔

Matsuzawa et al.(2010)



SSE活動が巨大地震発生前に変化する可能性 —数値シミュレーションからの予測—

Matsuzawa et al.(2010)

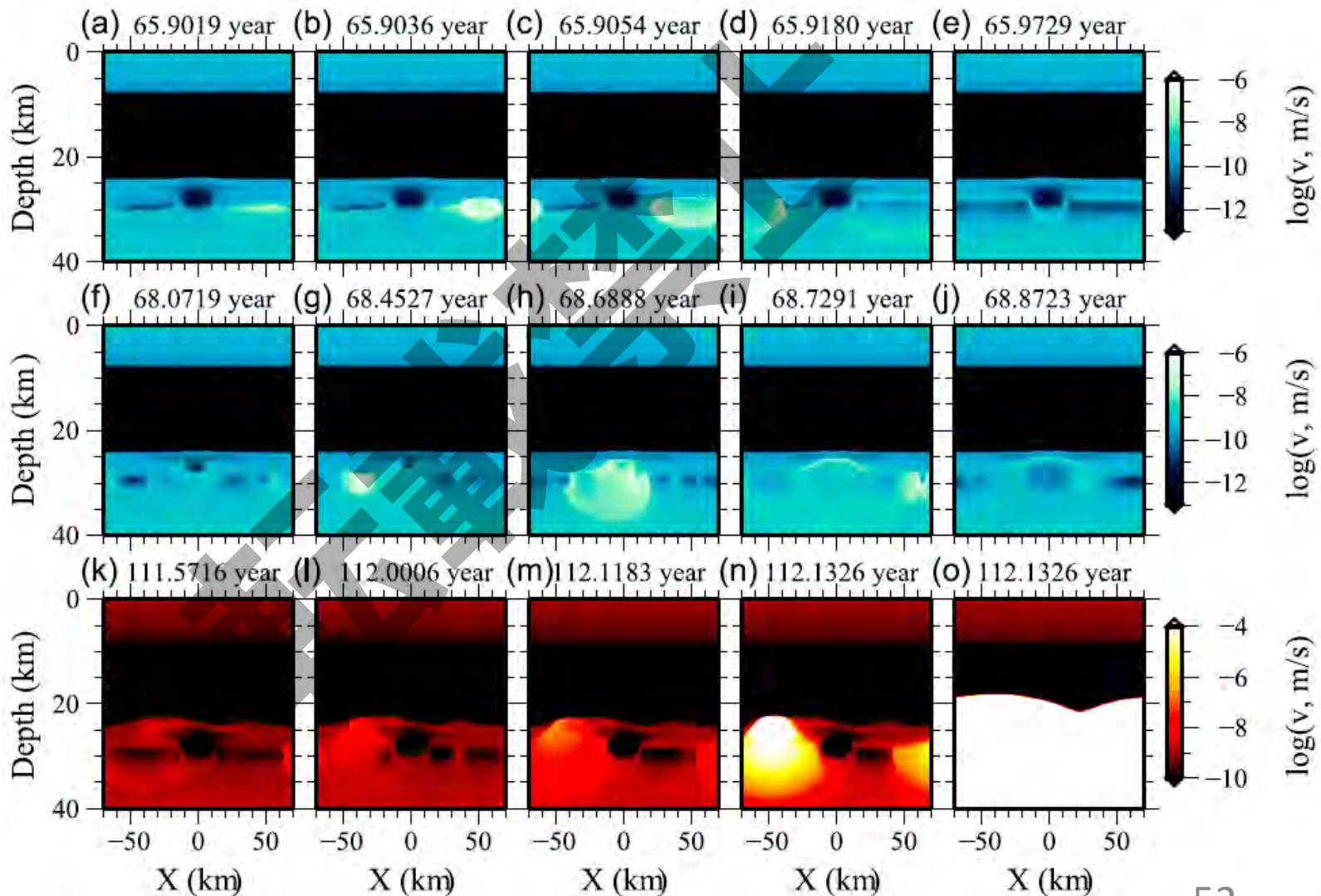


SSE活動が巨大地震発生前に変化する可能性 —数値シミュレーションからの予測— Matsuzawa et al.(2010)

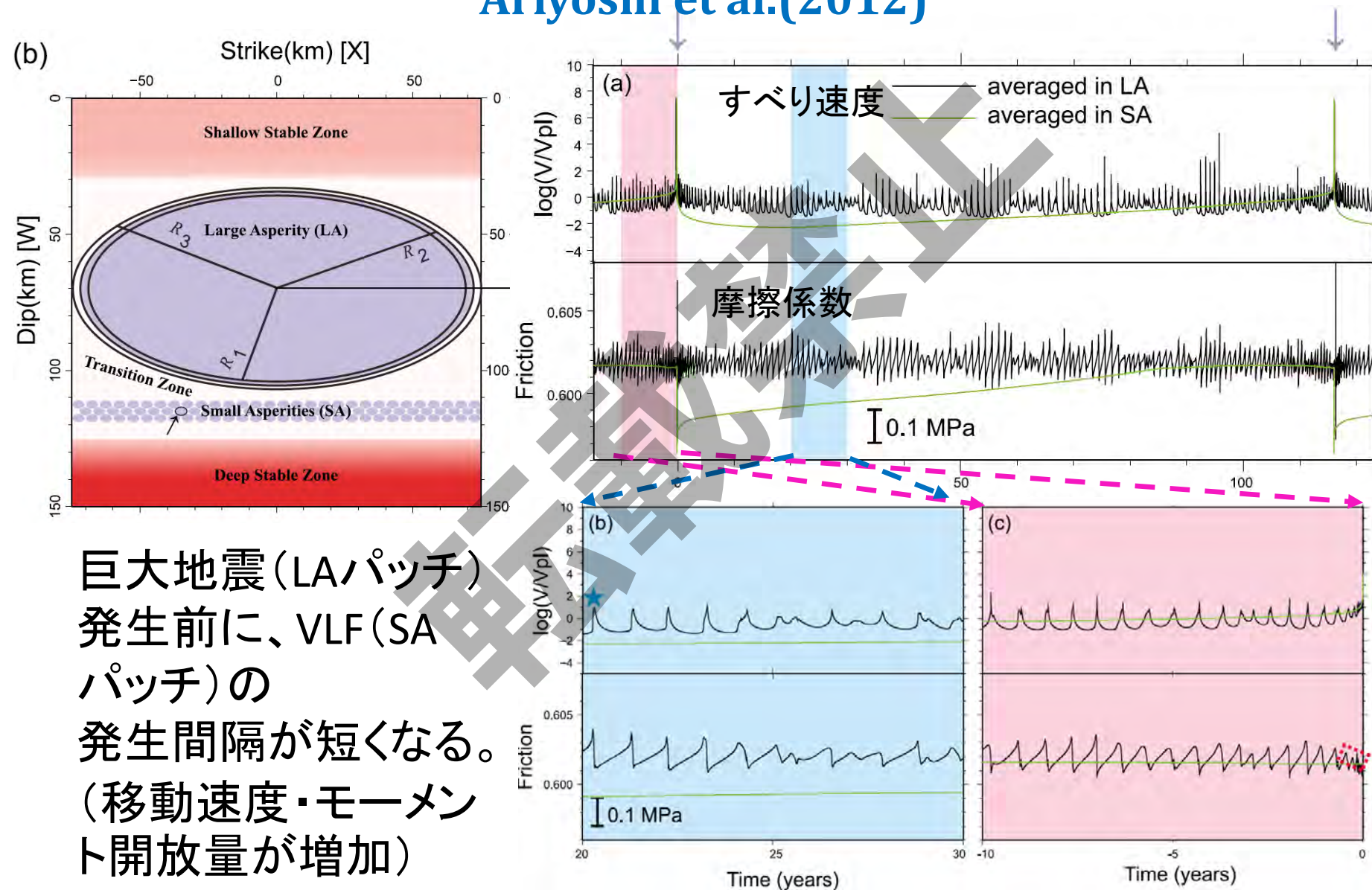
SSE
移動速度
~2-10km/日

LSSE発生時

巨大地震
の震源核
形成

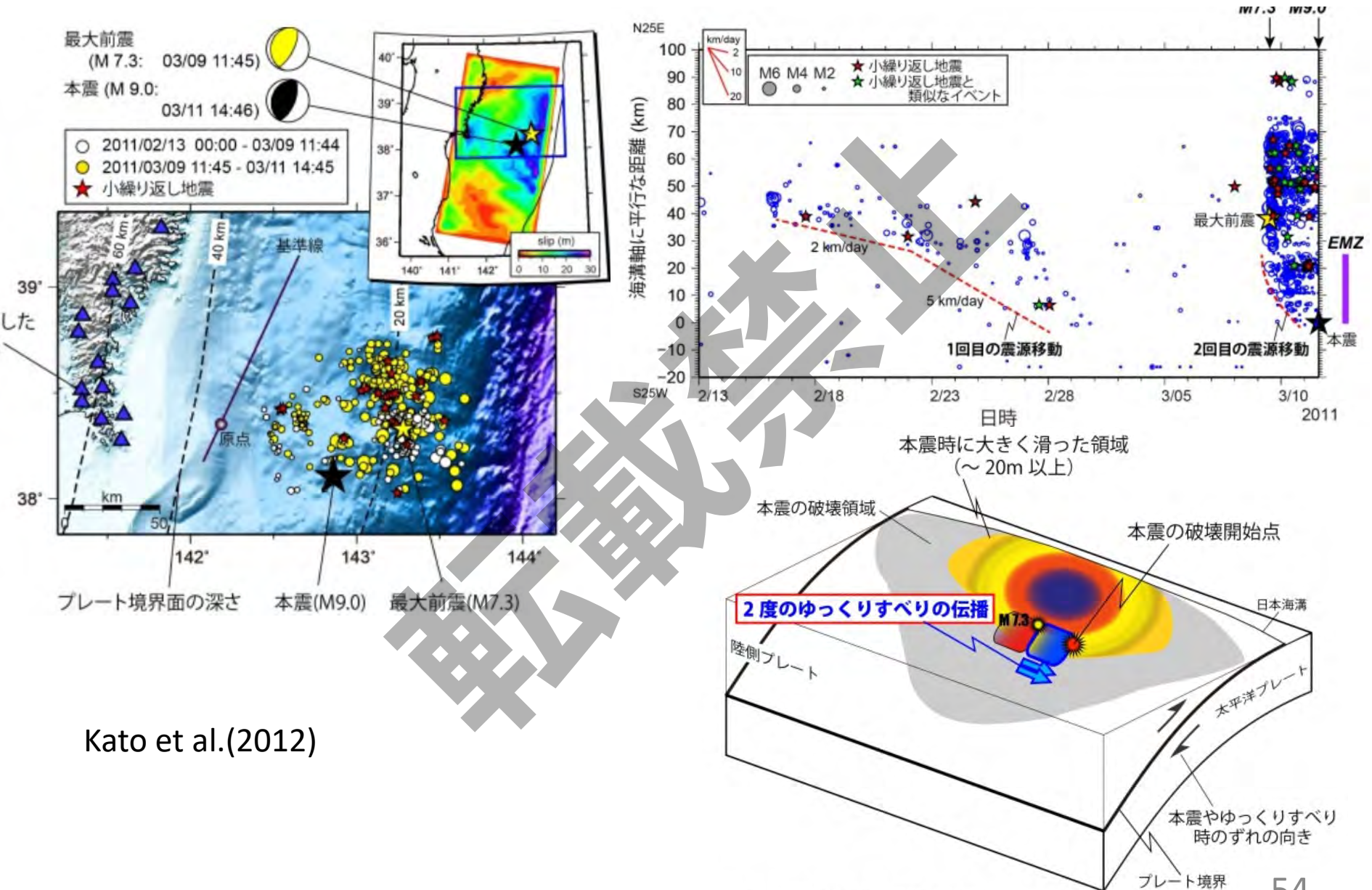


SSE活動が巨大地震発生前に変化する可能性
—数値シミュレーションからの予測—
Ariyoshi et al.(2012)



巨大地震(LAパッチ)
発生前に、VLF(SA
パッチ)の
発生間隔が短くなる。
(移動速度・モーメン
ト開放量が増加)

2011年東北地震前にゆっくりすべりの伝播



Kato et al.(2012)

図3. ゆっくりすべりの伝播の概念図

世界の沈み込み帯で発生するスロー地震分布

