



地震調査研究推進本部

周年 特別シンポジウム

地震に挑む、30年の歩みとこれから

講演

「測地データを用いた内陸地震の長期予測」

西村 卓也

京都大学防災研究所教授

地震調査委員会委員・海溝型分科会（第二期）主査



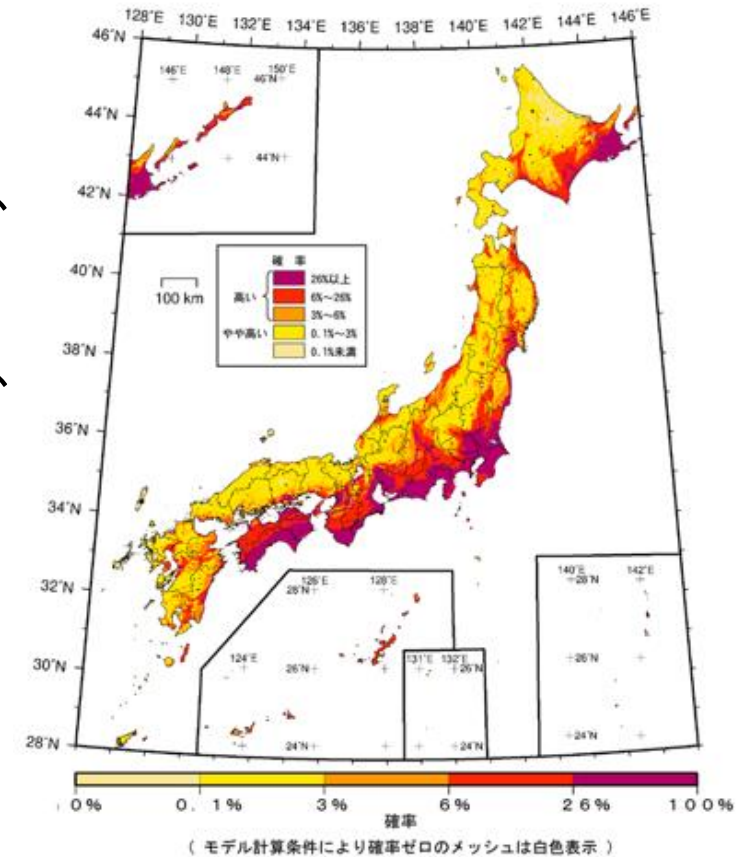
測地データを用いた 内陸地震の長期予測

京都大学 防災研究所 地震災害研究センター
地震調査委員会委員・海溝型分科会（第二期）主査
西村 卓也

謝辞：本研究は文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）（第3次）」の支援を受けました。国土地理院GEONETデータ，気象庁一元化地震カタログ，宇津地震カタログ (<http://iisee.kenken.go.jp/utsu/index.html>) を利用しました。尾形良彦博士に提供いただいた背景地震活動のデータを利用しています。また，東日本の解析に用いたGNSS速度場は，上田拓博士の計算によるものです。

地震本部による地震の長期評価（長期予測）

- 阪神淡路大震災の教訓を受けて設立された地震本部において、地震による被害の軽減に資する地震調査研究の一環として、地震に関する調査結果等の収集、整理、分析及び総合的な評価が行われてきた。
- 主要な活断層で発生する地震や海溝型地震を対象に、地震の規模や一定期間内に地震が発生する確率を予測する「地震発生可能性の長期評価」（長期評価）も総合的な評価の1つ。
- 一方で、Geller(2011)に代表されるように、長期評価に対する批判もあり、評価手法の技術的問題点や妥当性の定量的な検証がなされていないという指摘もある。



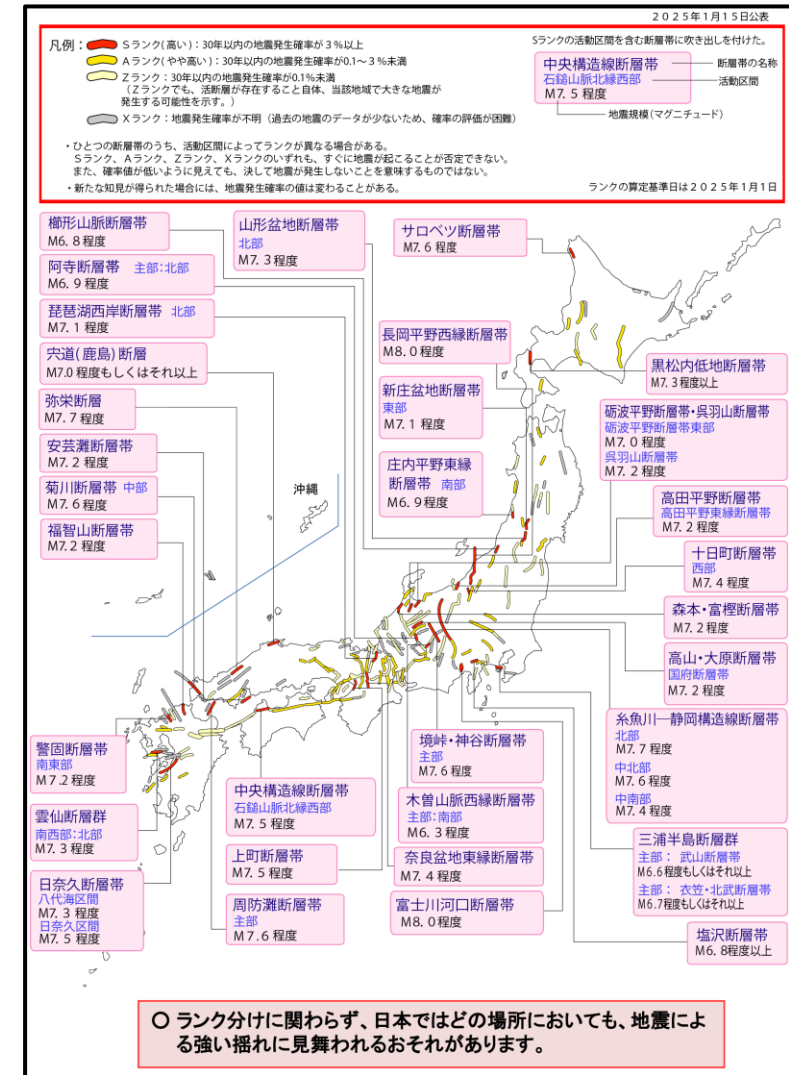
全国地震動予測地図2020年版

地震本部による内陸地震に関する長期評価(1)

主要活断層帯の長期評価

- 主要活断層帯※で発生する将来の地震について、規模・場所・発生可能性を評価したもの

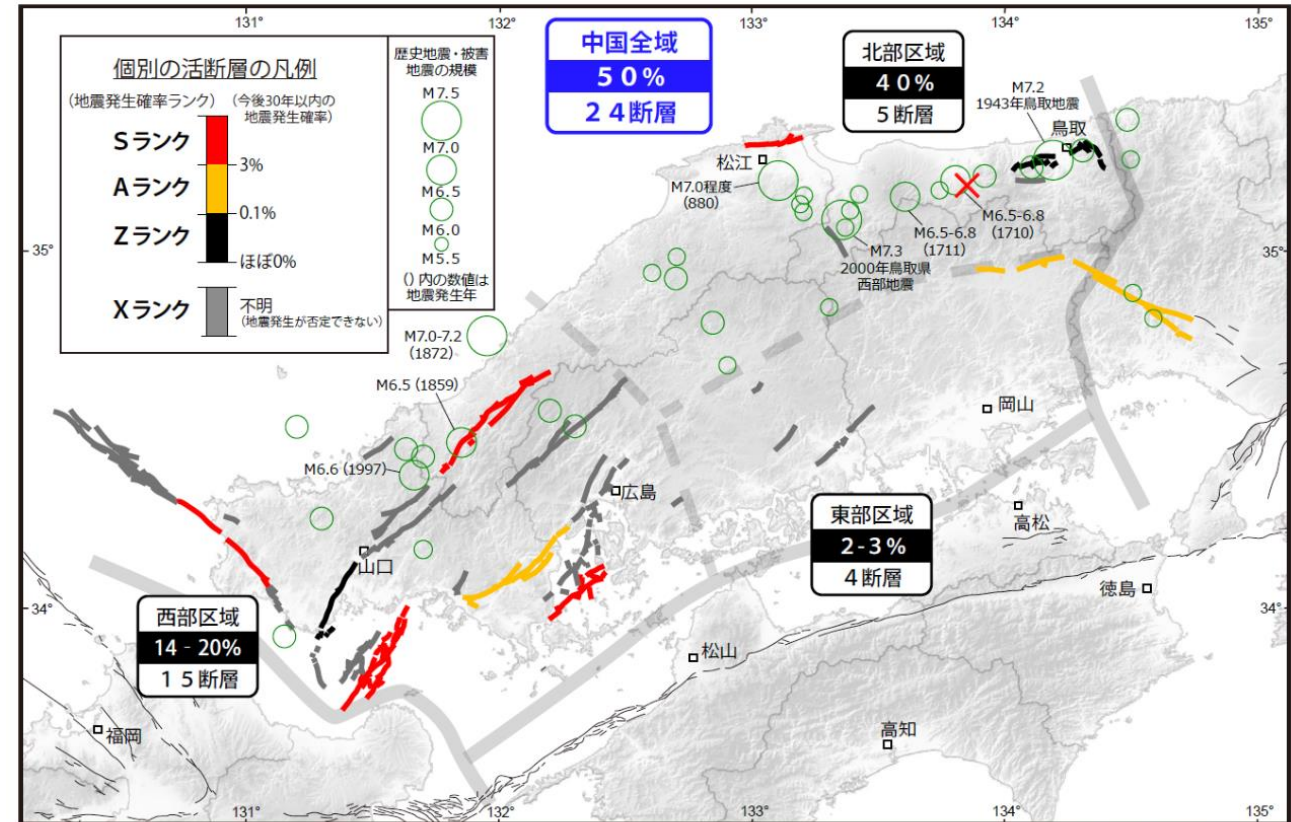
※長さ20km以上の活断層帯(**M7.0以上**の地震に対応)。全国に**114断層帯**。



地震本部による内陸地震に関する長期評価(2)

活断層の地域評価

- 対象活断層の拡大
 - 20km以上→20km未満のものも対象にすることで**M6.8以上**の地震を発生させる活断層に拡大
 - 陸域→陸域と沿岸海域
- 評価方法の追加
 - 個別の活断層の評価に加えて、地域単位の活断層を評価

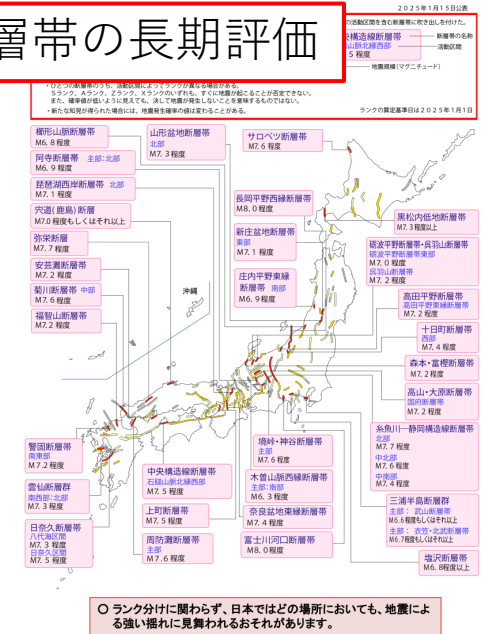


中国地域の活断層の長期評価(2016年7月公表)より

内陸地震の長期予測の現状と問題点

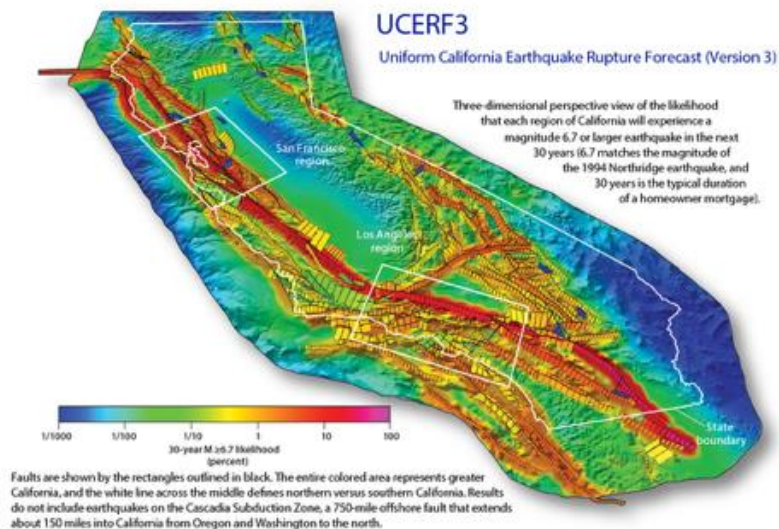
- 地震本部による **主要活断層帯の長期評価** では、内陸地震全般が対象になっていない。
 - M7以上の地震を起こす主要活断層が対象
 - 活断層の固有地震以外の地震は評価されていない。
- M6.8以上を対象にした **活断層の地域評価** では、 **地震データも併用** した評価が行われているが・・・
 - 研究者の合意に基づく活断層評価は時間がかかる。
 - テクトニクスに基づいた地域分割に基づく評価
 - 発生確率は地域の面積にも依存するので、等間隔グリッドを用いた予測の方が使いやすいのでは？
 - M6.8未満の地震でも 2018年大阪府北部地震(M6.1)のように大きな被害が生じる。
- 国内の **測地（GNSS）データ** を用いた予測モデルに関する研究は少ない（Triyoso and Shimazaki, 2012; 高橋・篠原, 2015; 鷺谷, 2015）。

主要活断層帯の長期評価



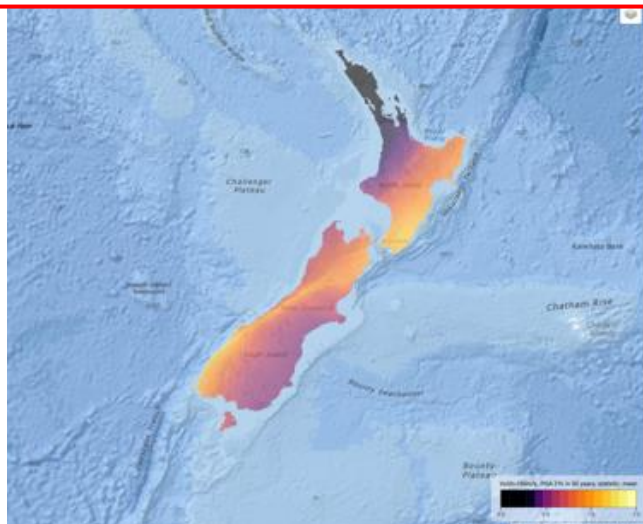
地域評価が行われた地域





<https://wgcep.org/UCERF3> (Field et al., 2014)

ニュージーランド2022年全国地震モデル



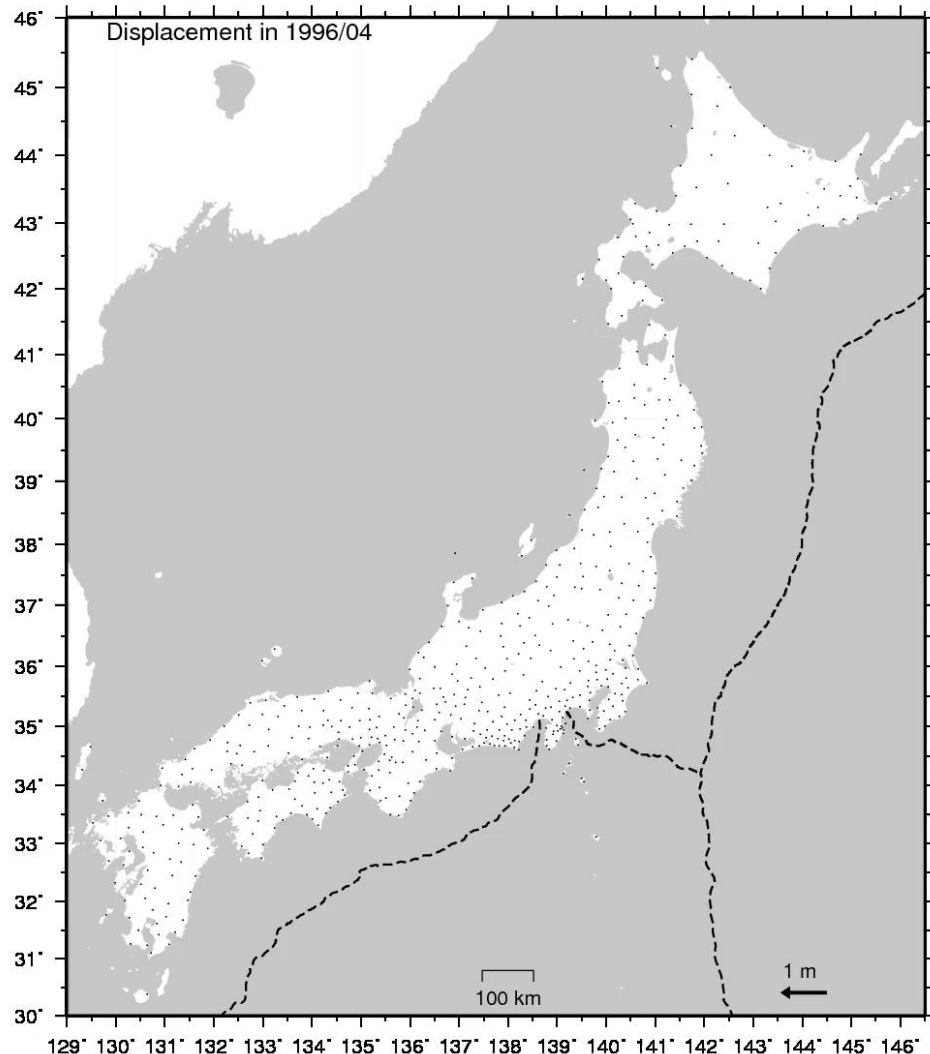
GNS Science report: 2022/57 (<https://nshm.gns.cri.nz/HazardMaps>)


諸外国の長期予測

- 海外の地震長期予測モデルでは、**地震・活断層・測地**の3つのデータを組み合わせることが一般的
 - 米国カリフォルニア州 (UCERF3)
 - 測地データは、活断層のすべり速度の推定や震源を特定しにくい地震の評価のために積極的に利用
 - ニュージーランドの全国地震ハザードモデル2022年版の活用事例
- 異なるデータを組み合わせたモデルの方が単一のデータのモデルよりも実際の地震活動をより良く説明できる (Rhoades et al., 2017; Strader et al., 2018)。

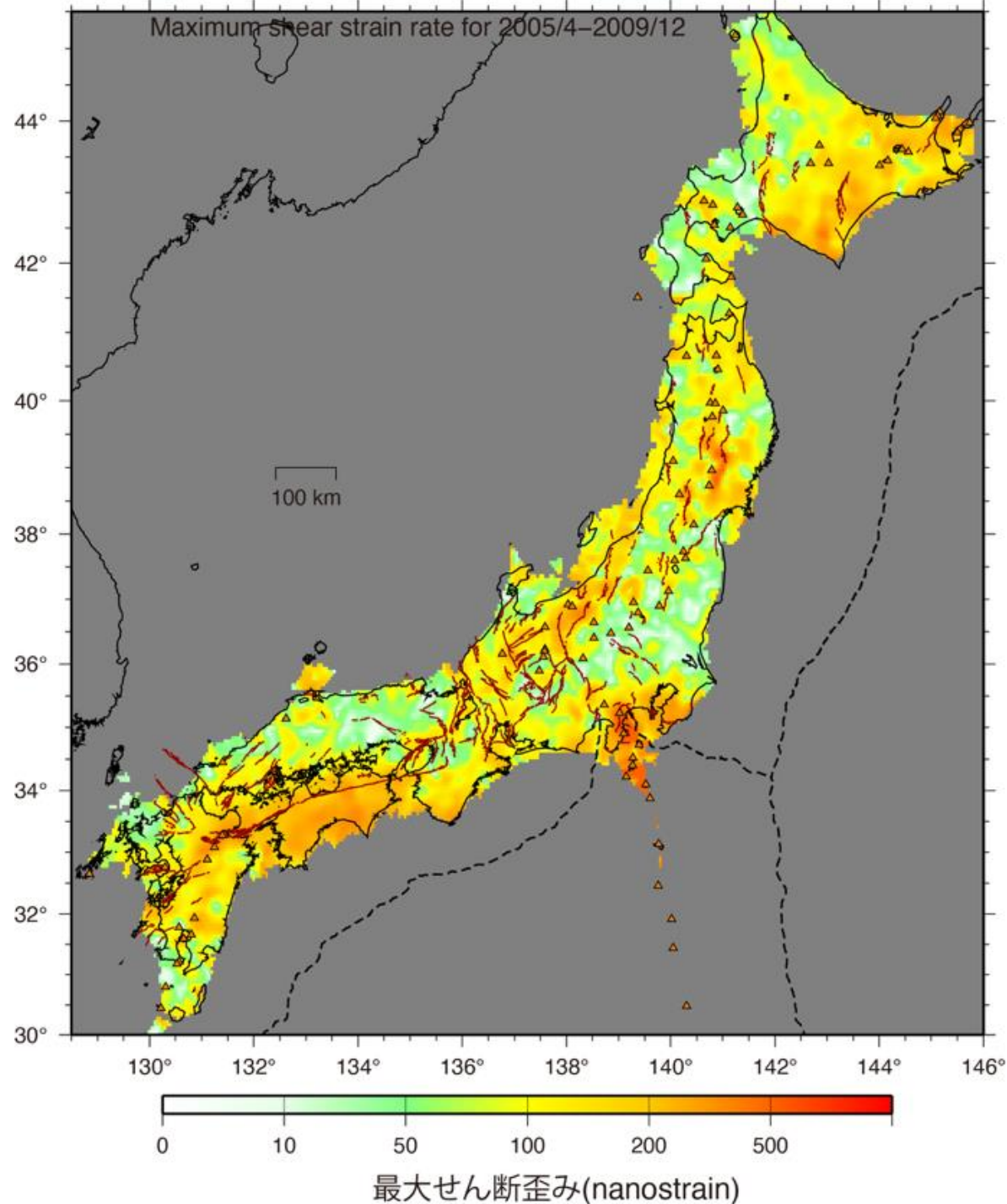
GNSS観測による日本列島の地殻変動

GEONETによる1996年4月からの
水平方向の地殻変動



- GNSS（GPS）観測網の整備
 - 国土地理院GEONET
 - 1994年頃から整備開始。1996年には660点、2002年には約1,200点の連続観測点。現在約1,400点。
 - 稠密な観測網の整備から30年間が経過した。
 - 大学、海上保安庁、気象庁、産総研、防災科研などの観測網
 - 特定地域や火山など 数百点程度
 - 民間基準点
 - ソフトバンク独自基準点 3,300点
 - 平均密度10kmで地殻変動観測が実現
 - コンソーシアム  GNSS加入機関には研究目的のデータ無償提供も

プレート運動、地震による地殻変動、地震に至るひずみ蓄積過程における地殻変動、火山性の地殻変動などが数mm程度の精度で観測されている。



ひずみ速度場と内陸地震の発生場所

- 2005-2009年の最大せん断ひずみ速度分布と2010年以降の内陸地震の発生場所を比較
 - 2014年長野県北部地震(M6.7)
 - 2016年熊本地震(M7.3)
 - 2018年大阪府北部地震(M6.1)
 - 2018年北海道胆振東部地震(M7.0)
- 例外（2011年福島県浜通りの地震など）もあるが、多くはひずみ速度の大きな場所で発生している。

地殻内地震発生確率の計算手順

前提条件

- 測地観測による地震間のひずみ速度 \propto 地震によって解放されるひずみ速度

Nishimura(2022)

ひずみ速度分布

- GNSS観測点の速度データから平滑化したひずみ速度を計算 (Okazaki et al., 2020)

地震モーメント速度

- Savage and Simpson(1997)の変換式を利用
- 地震発生層厚さ, 平均剛性率, 用いるひずみ成分がパラメータ
- 歴史地震の平均モーメント速度と一致させるための係数 β を導入

地震発生率

- 1年あたりの特定M以上の地震発生回数を計算
- 切断Gutenberg-Richter則を使用
- a値は地震モーメント速度より計算
- b値は0.9, M_{\max} は8.0

地震発生確率

- 定常ポアソン仮定
- M6以上 30年確率
- M6.8以上 30年確率

β : 非地震性(非弾性)/地震性(弾性)の歪みの割合

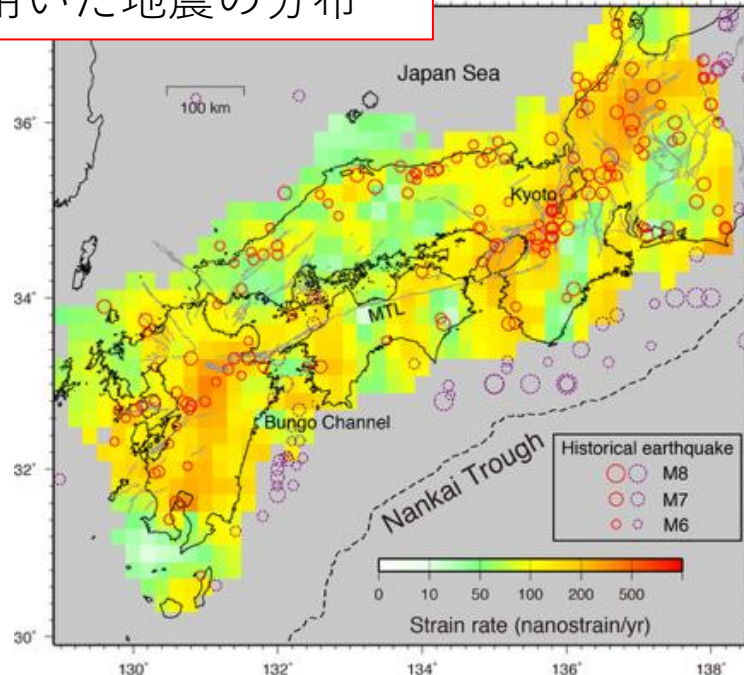
プレート間固着による弾性変形を除去

cf. Savage and Simpson(1997), Bird and Liu(2007), Triyoso and Shimazaki (2012)

過去の地震活動を用いて検証

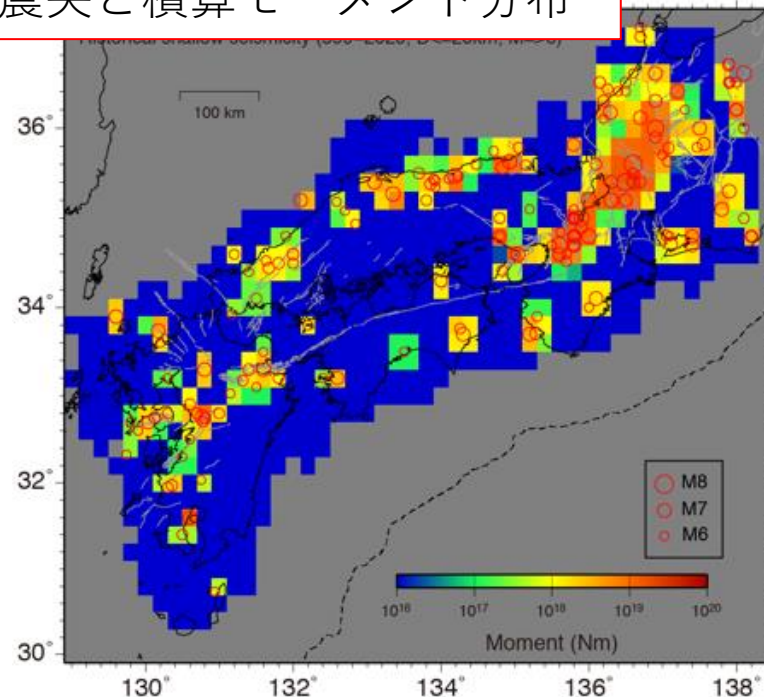
- 実際に発生したM6以上の1421年間の地殻内地震の分布と比較
 - 590-1918年 宇津カタログ 深さ不明, Shallow, Very Shallow
 - 1919-2020年 気象庁カタログ 深さ20km以浅
- 震央分布と地震の震源域を直径 L の円で近似した地震モーメント分布でも評価。
- 測地データから計算した分布が, 日本全国一様に地震が発生しているという分布よりも, 過去の地震活動の分布をより良く説明することを統計的に確認。

用いた地震の分布

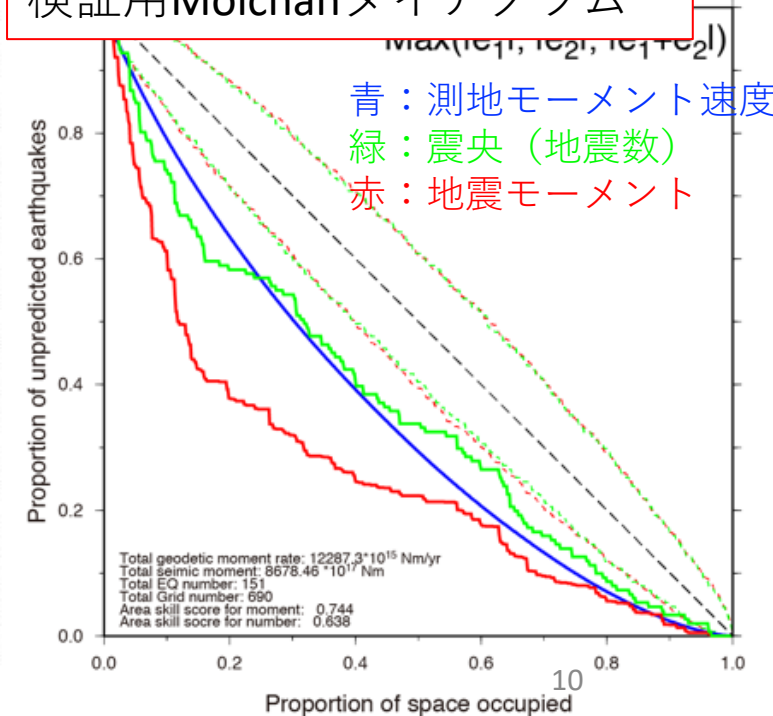


赤丸：地殻内地震、紫：それ以外の地震

震央と積算モーメント分布

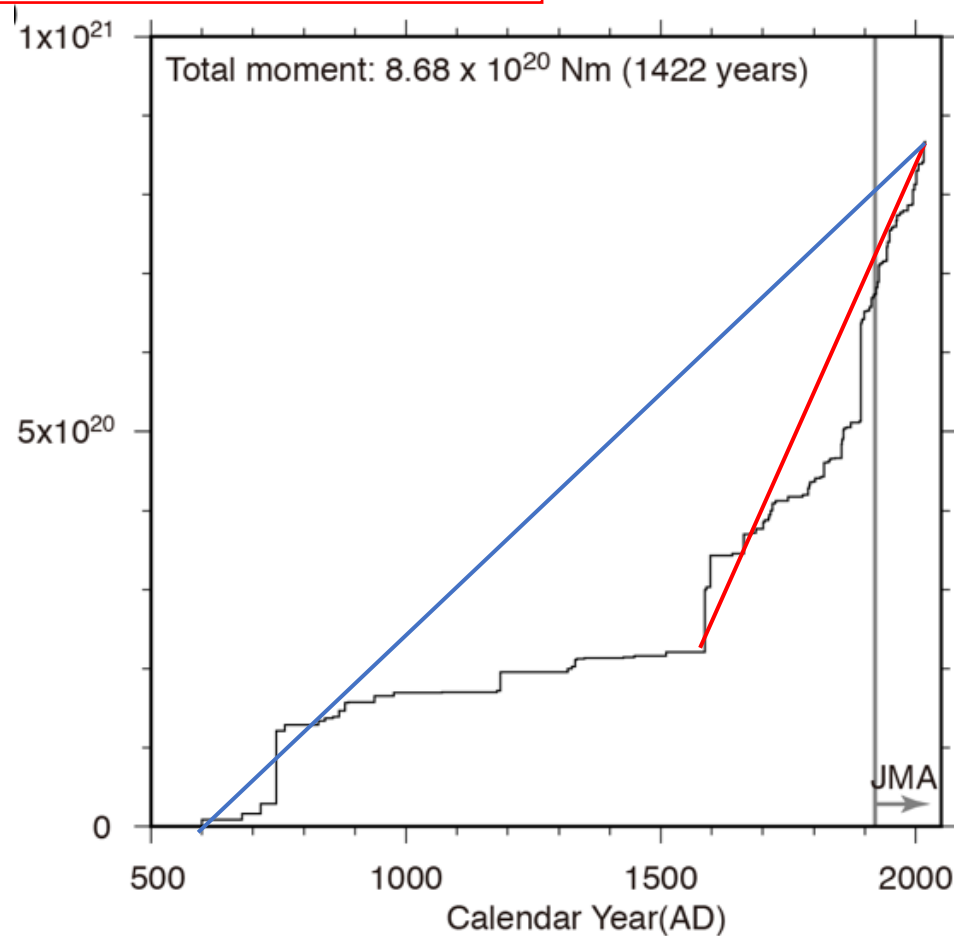


検証用Molchanダイアグラム



測地ひずみと地震で解放されるひずみの割合（西日本）

歴史地震の積算モーメント



β （測地ひずみに対して地震で解放されるひずみの割合）=1としたときの測地モーメント速度： $0.8-1.2 \times 10^{19}$ Nm/yr

西日本の歴史地震のモーメント速度

- 全期間 測地の5-8%
 6.1×10^{17} Nm/yr
- 1586年以降 測地の12-20%
 1.5×10^{18} Nm/yr

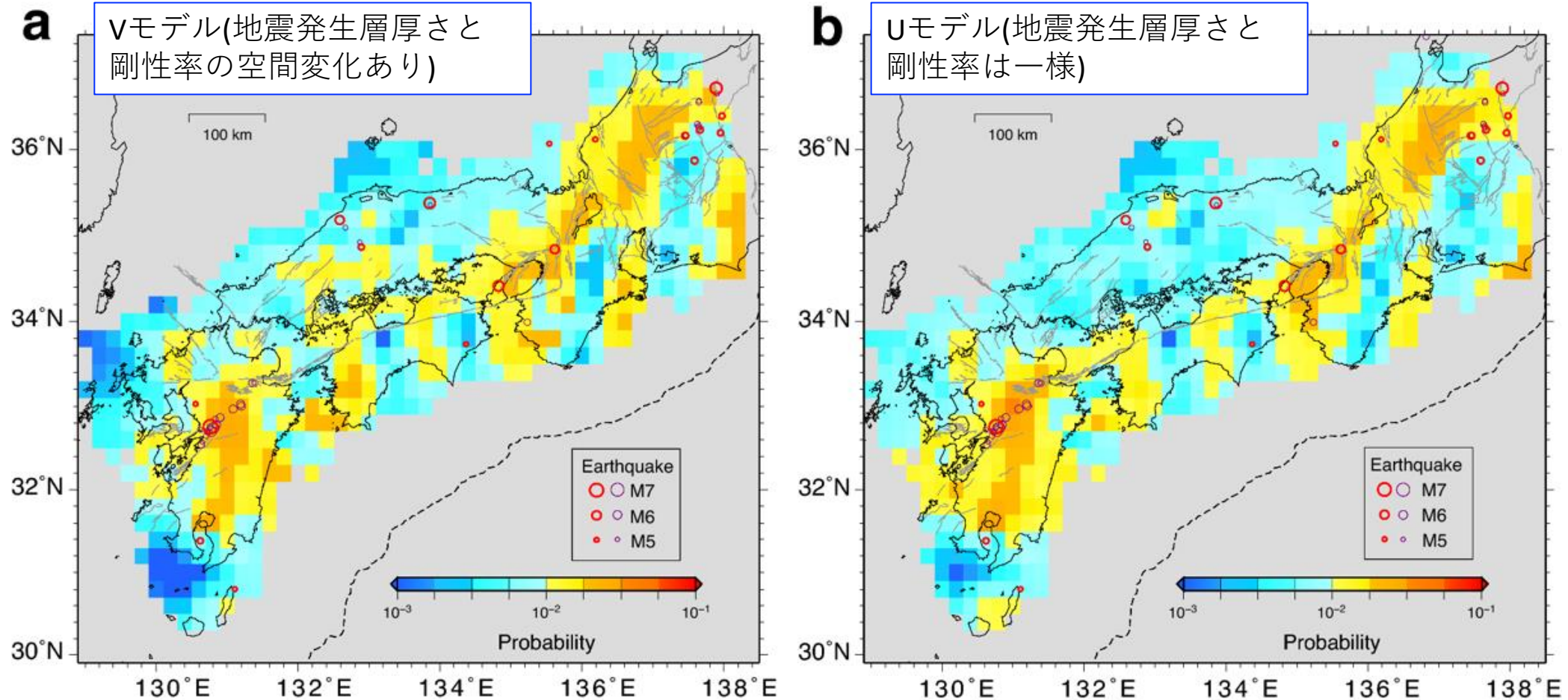
測地から推定されるモーメント速度に対して、実際に発生している地震のモーメント速度は小さい。



1586年以降の地震の平均モーメント速度にあわせて、 β を0.20とする。

西日本の地震発生確率分布

30年間にM6以上の地震が発生する確率



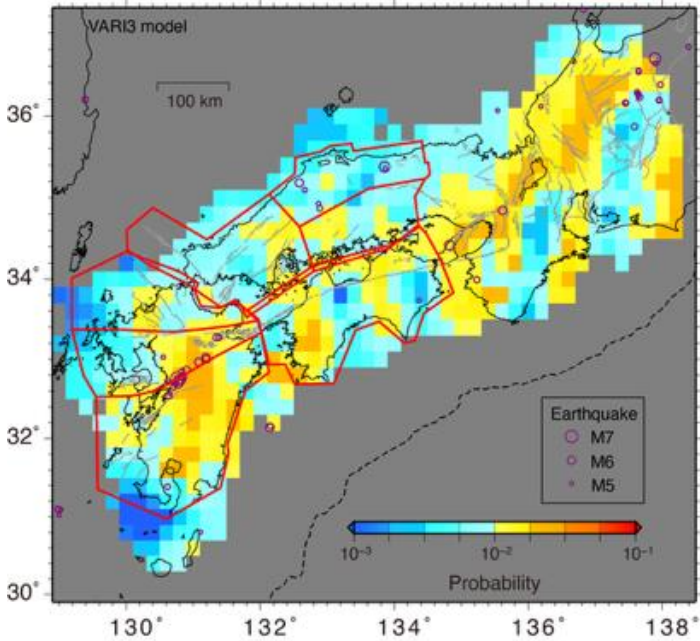
1%を超える場所（黄色）半分を超える。
新潟-神戸ひずみ集中帯，九州中部での確率が特に高い。最大で2.9-3.7%

赤・紫丸：2010-2020年の震央分布(20km以浅)
紫丸：デクラスタリング処理で除外されるもの

地震本部地域評価との比較

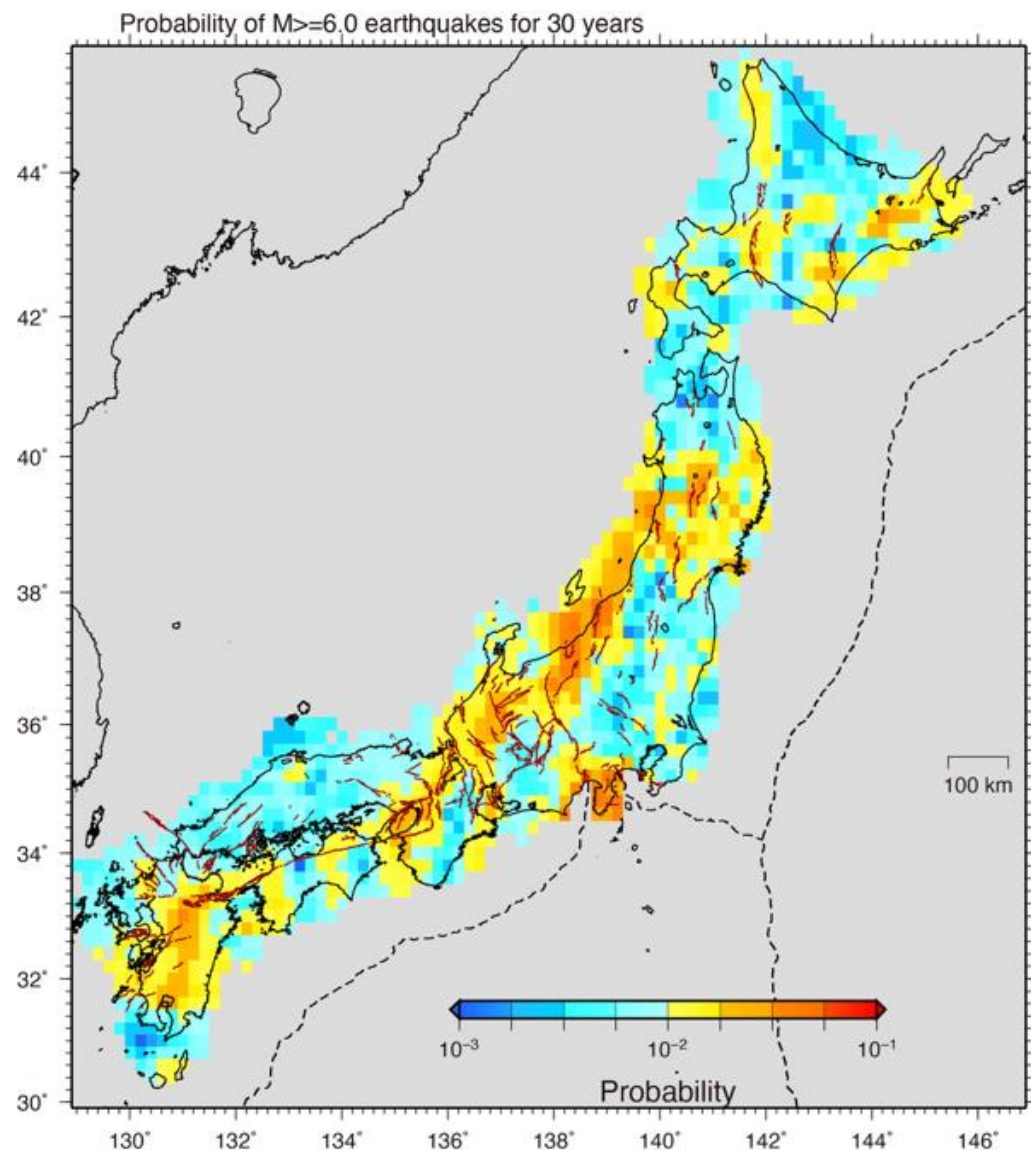
倍半分程度で整合している。

30年間にM6.8以上の地震が発生する確率



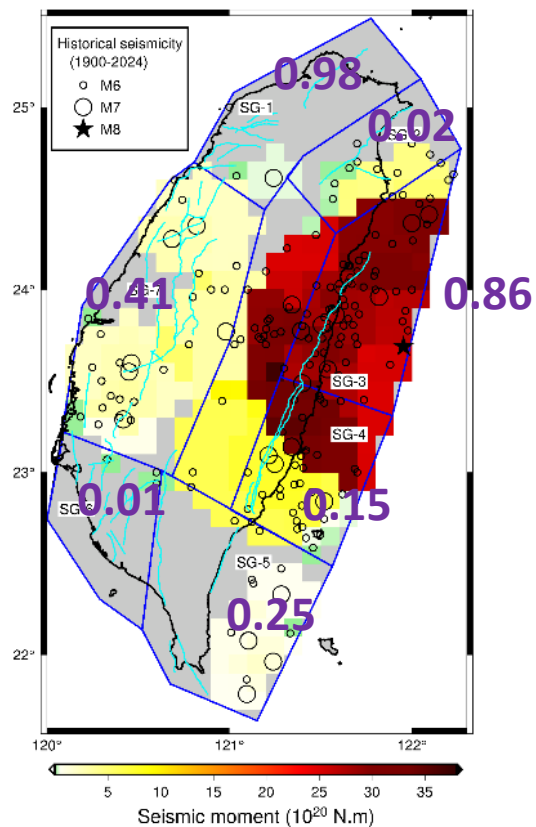
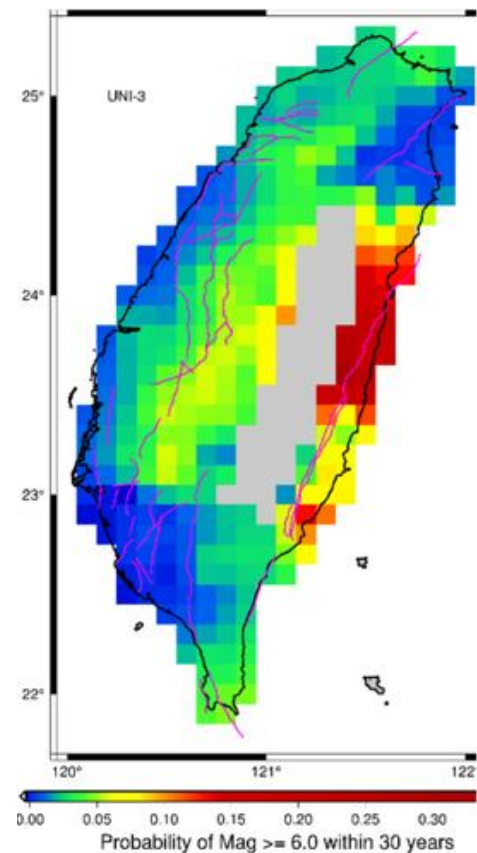
	活断層より (中央値)	地震活動より	Vモデル (本研究)	Uモデル (本研究)
九州北部	9%	8%	5.3%	6.5%
九州中部	21%	11%	6.6%	8.2%
九州南部	8%	19%	16.2%	17.3%
中国地域北部	5%	40%	3.8%	4.1%
中国地域東部	2%	0.3%	4.7%	2.9%
中国地域西部	17%	6%	7.3%	5.6%
四国地域	10%	10%	13.0%	11.8%

測地データによる全国の内陸地震発生確率



- 北海道，東日本でも西日本と同様の計算手法により地震発生確率を試算し，3地域のUモデルを結合
 - GNSS観測データ期間
 - 北海道 2019年10月-2022年9月
 - 東日本 2006年1月-2009年12月
 - 西日本 2005年4月-2009年12月
- 地震発生確率（30年間， $M6$ 以上）の高い場所
 - 新潟-神戸ひずみ集中帯
 - 伊豆半島
 - 九州中央部
 - 東北脊梁山地

台湾での地震発生確率(30年M6以上)と
弾性ひずみ係数 β の分布



Neha et al., (2025)

海外を対象にした計算例

- Nishimura(2022)と同じ測地データを用いた予測手法により，東南チベット(Wei et al., 2023)や台湾(Neha et al., 2025)，トルコのM6以上の30年地震発生確率を計算。
- 係数 β は，チベットで0.12-0.2程度。台湾では0.01-0.98。トルコでは0.45-0.78。大きな地域性があることがわかる。

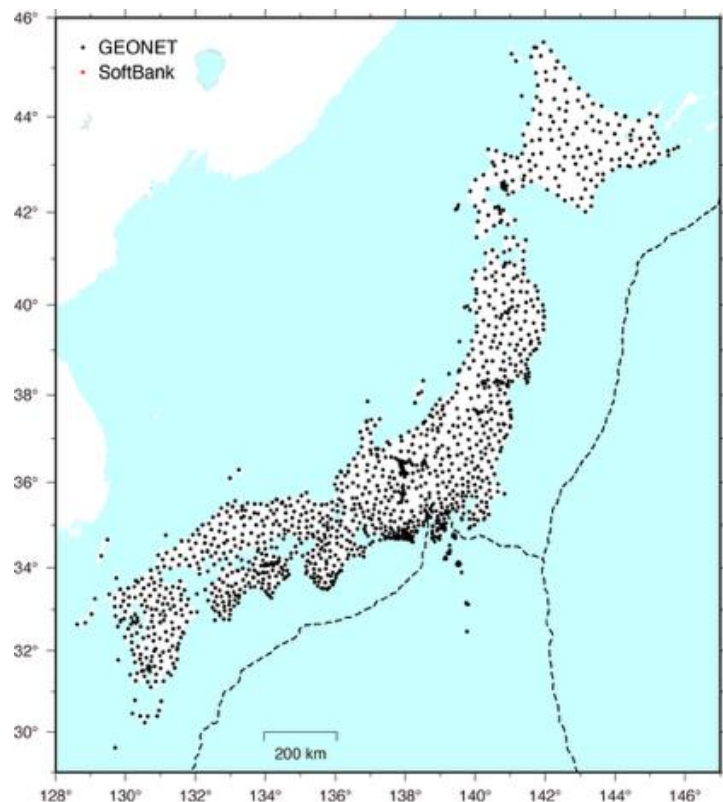
当面推進すべき「内陸で発生する地震の新たな調査観測」

- 2024年8月9日に地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会の「内陸で発生する地震の調査観測に関する検討ワーキンググループ」（以下「WG」）において決定
- 被害をもたらす可能性のある未評価の地震も含めた内陸で発生する地震を総合的に評価できるよう、内陸で発生する地震の長期予測手法の高度化が必要であり、具体的には、
 - ①地震観測網により得られた地震活動データ
 - ②歴史・考古資料の調査に基づく地震活動履歴等の情報
 - ③活断層調査で得られる地震の発生履歴等の情報
 - ④測地観測・測量データ（GNSS、InSAR等）といった情報を活用して評価を行うことが必要である。
- 「活断層等内陸で発生する地震の評価手法の高度化に関する調査研究」として、2025年8月より地震本部からの委託研究を開始

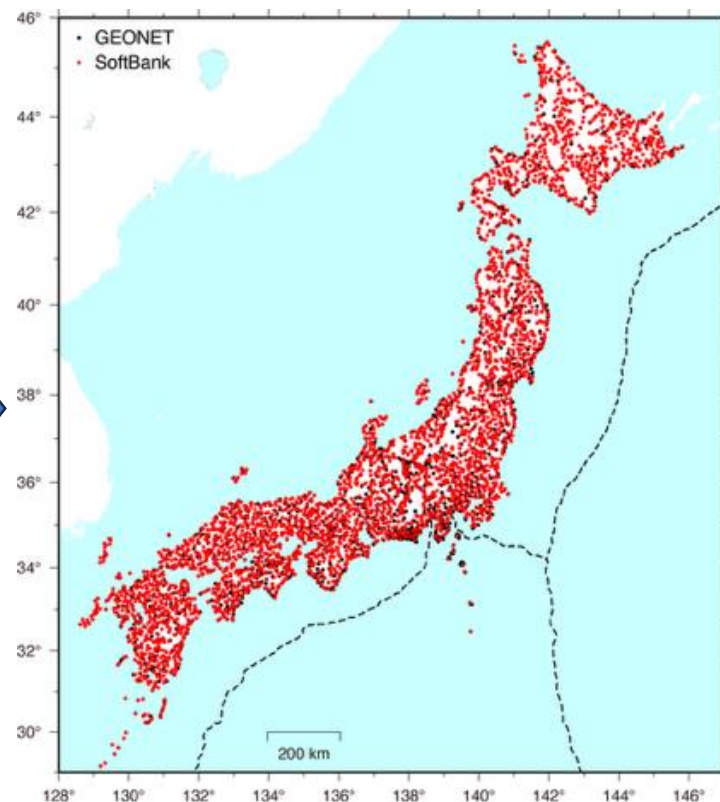
測地データの高密度化

- 近年は、民間GNSS観測点の地殻変動解析への活用やInSARデータの時系列解析による地殻変動分布の解析が進められており、地震長期予測への活用も期待される。

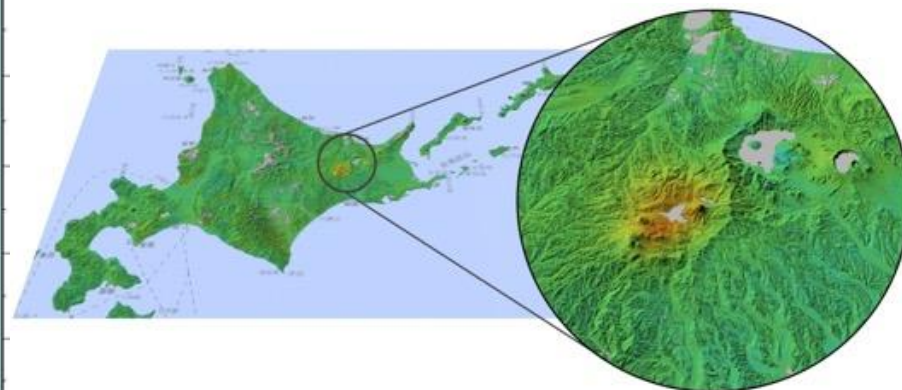
GNSS観測点分布 GEONETのみ



GEONET+SoftBank



InSARデータに基づく
地殻変動分布



国土地理院Webページより
(https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/gsi_sar.html)
解析：国土地理院 原初データ所有：JAXA

測地データを用いた長期予測手法の現状での課題

- GNSSデータの期間の取り方
 - 長期間のデータが好ましいが、東日本はどうする？
- 測地ひずみデータの補正方法
 - 沈み込み帯の地震による弾性変形の補正，過去の大地震の粘弾性の補正
- 地域性のあるパラメータ（ β 値:地震で解放されるひずみの割合， b 値:切断G-R則， M_{\max} :切断G-R則の最大マグニチュード）の推定方法
- 地表でのひずみ速度を使う以外の解析手法の高度化
 - 弾性エネルギー，クーロン応力などを用いた評価

まとめ

- GNSSなどの現在の測地データから観測される日本列島のひずみ速度は、地震発生の弾性反発説から予想されるように過去の内陸地震の発生場所と相関していることが示された。測地データを用いた長期予測を活断層や地震データを用いた予測と組み合わせることにより、長期予測の精度向上が期待される。
- 一方、測地ひずみ速度から変換したモーメント速度は、**1586**年以降の地殻内地震のモーメント速度の**20%**程度であり、測地学的ひずみ速度が地震学的ひずみ速度に比べてかなり大きいという先行研究と調和的である。
- GNSS観測に基づく測地ひずみ速度を用いて、日本列島の地殻内（内陸）地震の長期発生確率を試算した。**0.2度**グリッドにおける**M6**以上の内陸地震の**30**年発生確率は、半分以上のグリッドで**1%**を越え、新潟ー神戸ひずみ集中帯、伊豆半島周辺、九州中央部、東北脊梁山地などで確率が高い。
- 測地データを用いた地震の長期予測を高度化するためには、ひずみ速度の補正方法やひずみ速度以外のパラメータの地域性について検討していく必要がある。今年度から地震本部の委託研究も開始され、さらなる研究の進展と実用化が期待される。