

地震・火山噴火予知研究協議会における 地震調査研究推進本部との連携に向けた検討状況

地震・火山噴火予知研究協議会 企画部戦略室

石川直史（海上保安庁）

加藤愛太郎（東大地震研）

第2次計画では、**地震本部との連携**による**学術成果の還元**を目指している

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）の推進について

平成31年1月30日 科学技術・学術審議会建議

序文

計画の推進にあたっては、**政府の地震調査研究推進本部**など、関連する**組織やプロジェクトとの連携**をさらに進めて、**学術研究の成果をもって社会に積極的に貢献**することを目指していく

I. 1-2. 地震火山観測研究計画の位置づけ

本計画による基礎的研究の成果は気象庁による防災情報などにも活かされており、基礎的研究の成果をより有効に活用するために、**地震本部や行政機関等との連携を一層強化**することが重要である。

I. 3-3. 観測研究計画実施体制の整備と計画の推進

災害軽減に着実につながる研究成果を得るためには、研究者の知的好奇心にまかせるだけでなく、地震・火山災害軽減のための課題を整理した上で、研究成果が災害軽減につながるまでの道筋を明確に意識して研究を進める必要がある。そのためには、地震・火山災害軽減のための課題に直面している**地震本部や行政機関等と連携し**、課題の抽出や研究成果についての情報交換を行い、基礎研究の成果を発展させた応用研究・開発研究の可能性や**成果の社会実装について検討**すべきである。

II. 2-5 (1). 推進体制の整備

測地学分科会は行政機関や地震本部等の関係機関との技術的・制度的な連携を進め、本計画による研究成果・技術が災害軽減に貢献できるよう、災害・防災対策に係る社会ニーズを的確に把握することに努める。

第2次計画では、社会実装に向けて**重点的に取り組む課題**を新たに設定

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）の推進について

平成31年1月30日 科学技術・学術審議会建議

I.3-2. 長期的方針に基づく当面の取組の方向性と進め方

観測データを利用した地震発生の新たな長期予測、地殻活動モニタリングと物理モデルに基づく地震発生中短期予測、火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測については、将来の社会実装に向けて着実に研究の進展が期待できることから、本計画の5年間に重点的に取り組む。

②地震・火山噴火の予測のための研究

地震や火山現象の科学的理解を踏まえ、地震発生や火山噴火の長期から短期にわたる予測のための研究を推進。

観測とシミュレーションによるプレート境界地震の予測手法を開発。

噴火事象系統樹に物理・化学過程の理解を導入した火山噴火予測手法を開発。

- ・地震発生の新たな長期予測
- ・地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測
- ・先行現象に基づく地震発生の確率予測
- ・中長期的な火山活動の評価
- ・火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測

重点的な研究

(下線の項目)

II.1. 本計画策定の基本的な考え方

本計画の5年間に、**地震発生の新たな長期予測**、地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測、火山活動推移モデルの構築による火山噴火予測について重点的に研究を実施する。

専ら過去の大地震の発生履歴に頼っていた地震の長期評価手法に、**地震・地殻変動等の観測データと物理・統計モデルを導入することにより、新たな長期予測手法を開発する。**

地震本部第3期総合基本施策における建議との連携強化

地震調査研究の推進について

－地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策（第3期）－

令和元年5月31日 地震調査研究推進本部決定

第2章 3. 地震火山観測研究計画（建議）との連携強化

- 地震本部の取組は、科学技術・学術審議会により建議された観測研究計画のもと、大学や研究開発法人等により生み出された基礎的研究の成果も取り入れながら推進されてきた。地震本部が設置されてから20年以上が経過し、建議に基づく基礎的研究の成果のうち、地震本部において活用できるものについては既にかなり活用が進んでいる中で、**地震本部としても、今後の事業の高度化に向けて、新たな基礎研究成果の創出が期待されている。**
- このような状況を踏まえて、建議の適切な独立性は保ちつつ、**地震本部と建議を担当するコミュニティとの間で組織的な連携体制を構築することが重要である。**具体的には、地震本部と建議を担当するコミュニティの間で対話の場を設定し、建議の最新の研究成果についての情報を共有するとともに、建議を担当するコミュニティにおいても地震本部における課題が共有されることで、**建議の基礎的研究の成果を地震本部で適切に活用していく体制を整えることが重要である。**

地震本部第3期総合基本施策における当面10年間に取り組むべき地震調査研究

地震調査研究の推進について

－地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策（第3期）－

令和元年5月31日 地震調査研究推進本部決定

第3章 1. 当面10年間に取り組むべき地震調査研究

(1) 海域を中心とした地震調査研究

- **海溝型地震の発生予測手法の高度化**
- 津波即時予測及び津波予測（津波の事前想定）の高度化

(2) 陸域を中心とした地震調査研究

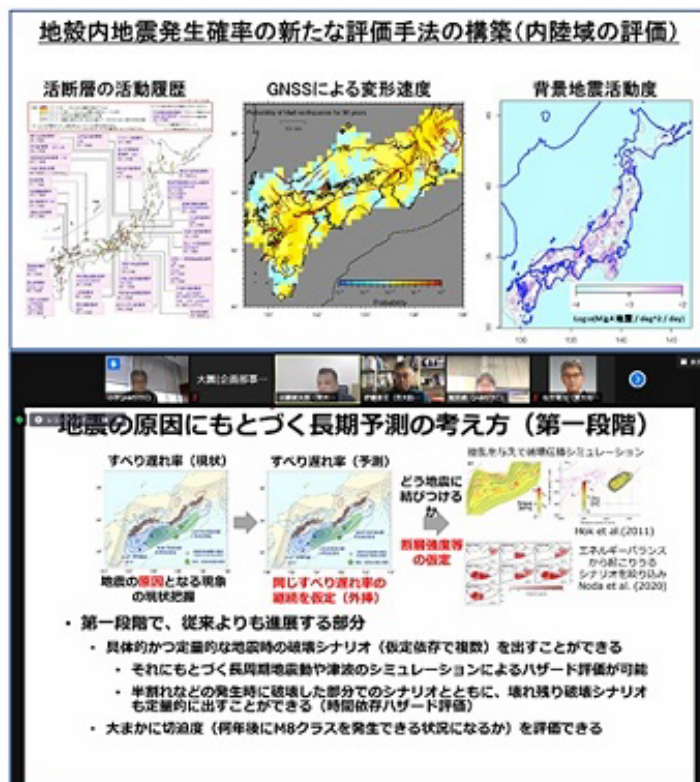
- **内陸で発生する地震の長期予測手法の高度化**
- 大地震後の地震活動に関する予測手法の高度化

(3) 地震動即時予測及び地震動予測の高度化

(4) 社会の期待を踏まえた成果の創出～新たな科学技術の活用～

地震・火山噴火予知協議会 地震長期予測ワークショップの開催

- 建議の**重点課題である長期予測**に関する研究成果を軸に、地震本部との連携に向けた現状と問題意識を共有し、地震本部の成果に繋がる新たな手法や知見について検討するため、ワークショップを開催
- 第3期総合基本施策における当面10年間に取り組むべき地震調査研究のうち、**海溝型地震の発生予測手法の高度化と内陸で発生する地震の長期予測手法の高度化**の2項目に焦点を絞って議論



地震・火山噴火予知協議会 地震長期予測ワークショップ

日時：令和2年12月14日(月) 13:30~16:30

主催：地震(長期予測)部会, 企画部戦略室

趣旨説明 石川直史(海上保安庁, 企画部戦略室)

1. **現在の長期評価手法のレビュー** (司会：石川直史)
現在の長期評価手法のレビュー (過去・現在・将来)
佐竹健治(東大地震研)
2. **地殻内地震の新たな長期予測手法の提案** (司会：石川直史)
GNSS データに基づく地殻内地震の長期予測手法について
-西日本における歴史地震との比較と30年確率の試算-
西村卓也(京大防災研)
背景地震活動度と地殻内大地震の発生確率予測について
尾形良彦(統数研)
3. **海溝型地震の新たな長期予測手法に向けて** (司会：宍倉正展)
どのような巨大地震が起こりえるか?カ学モデルと観測・実験データによる長期予測
齊藤竜彦(防災科研)
固着・すべりの現状把握・推移予測研究の長期予測への活用
堀高峰(JAMSTEC)
4. **総合討論** (司会：加藤愛太郎)

海溝型地震における論点

海溝型地震については、物理モデルやシミュレーション等の研究を進め、将来発生しうる現実的な地震像の具体化によって長期評価に貢献

地震を引き起こす原動力の定量化による地震発生の物理モデルの構築

- 観測データからプレート間の力学的固着域を推定，固着域破壊の連動パターンから様々な巨大地震破壊シナリオを設定，摩擦則等を利用し発生可能性を評価

具体的かつ曖昧さを考慮した定量的な地震時の破壊シナリオの構築とそれにもとづく長周期地震動や津波のシミュレーションによるハザード評価

- ベースとなる3次元地下構造モデルの構築・妥当性検証・更新の仕組みづくり

地殻内地震発生確率評価手法検討ワーキンググループによる具体的な手法の検討

- ワークショップにおける議論において、内陸で発生する地震に関しては、測地データや地震活動データを用いた新たな長期予測手法が提案された
- 内陸地震の新たな長期予測手法の具体的な検討を進めるために、**地殻内地震発生確率評価手法検討ワーキンググループ**を結成
- ワーキンググループは、予知協議会の地震（長期予測）部会や企画部戦略室関係者8名のメンバーから構成され、地震・測地データを活用した内陸で発生する地震の長期予測手法の高度化を検討
- 防災リテラシー部会の研究者と予測モデルの活用方法等について議論

関連する成果

Nishimura, T. “Time-independent forecast model for large crustal earthquakes in southwest Japan using GNSS data.” *Earth Planets Space* **74**, 58 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01622-5>

Ogata, Y. “Prediction and validation of short-to-long-term earthquake probabilities in inland Japan using the hierarchical space–time ETAS and space–time Poisson process models.” *Earth Planets Space* **74**, 110 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40623-022-01669-4>

地震調査研究推進本部との連携に向けて

現状

- 観測データを活かした新たな長期予測手法の研究開発については、重点研究と位置づけ、内陸地震の発生確率の試算を行うなど、地震本部の長期評価での活用に向けた検討を開始
- 史料・考古データや地質データに基づく地震発生履歴の研究は着実に進展し、現行の発生履歴に基づく長期評価に直接貢献
- 次期計画においても、引き続き重点研究として推進

課題

- 建議の観測研究はボトムアップ型であるため、全ての行政ニーズに応えることは困難
 - ボトムアップ型の観測研究の成果をトップダウン型のプロジェクト研究に繋げるなど、学術的な研究成果を地震本部施策に取り入れるための仕組みが重要
- 現状でも様々な研究成果が長期評価で引用されているものの対応はケースバイケース
 - 測地学分科会と地震調査研究推進本部による組織的な連携体制の構築が重要

地殻内地震発生確率評価手法検討WG

・WG構成メンバー

地震(長期予測)部会

西村卓也(京大防災研; 部会長)・宍倉正展(産総研; 副部会長)・尾形良彦(統数研)・近藤久雄(産総研)・
安藤亮輔(東大理)

企画部戦略室

加納靖之(東大地震研)・石川直史(海保)・加藤愛太郎(東大地震研)

・開催日程

第1回:2021年2月4日 第2回:2021年4月2日

第3回:2021年7月16日 第4回:2022年2月14日

第5回:2022年6月6日 第6回:2022年10月3日

第7回:2023年2月13日

検討課題(主要なもの)

- ・内陸地震の長期予測における現状認識
- ・GNSSデータに基づく地殻内地震発生確率評価手法の検討
- ・背景地震活動度に基づく地殻内地震発生確率評価手法の検討
- ・GNSSデータと背景地震活動度による発生確率の比較
- ・予測性能やその不確実性の評価
- ・揺れへの予測に向けて
- ・防災リテラシー部会の研究者との対話
- ・震源断層モデルの精緻化, 分岐断層の考慮⇒コミュニティモデルの構築

内陸地震の長期予測（現状）

- 内陸（地殻内）地震の長期予測は、地震本部における主要活断層帯の長期評価として、**活断層**調査のみに基づいている。
 - M7以上の地震を起こす主要活断層が対象
 - 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。
 - 活断層評価では、研究者の判断が評価に大きく影響する。
 - 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。
- 測地（GNSS）データや地震カタログを用いた地震発生確率評価手法の検討が重要な研究課題の1つ。

主要活断層帯の長期評価



○ ランク分けに問わず、日本ではどの場所においても、地震による強い揺れに見舞われるおそれがあります。

地域評価が行われた地域



GNSSデータに基づく地震発生確率計算手順

前提条件

- 測地によって計測され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

(ただし、この関係が成り立つためには地震の再来間隔よりはるかに長い期間をとる必要がある)

計算手順 (e.g., Savage and Simpson; 1997; Shimazaki and Triyoso, 2012; Bird and Liu, 2007)

1. GNSSデータからひずみ速度分布を計算

- 沈み込みプレート境界の固着に伴う弾性ひずみは、長期的には地殻内地震を発生するひずみに寄与しないと考えて、補正・除去する。

2. ひずみ速度を地震モーメント速度へ変換

- 対応するひずみ速度の成分，剛性率，地震発生層の厚さがパラメータ。
- 測地観測から得られたひずみ速度に対する地震によって解放されるひずみ速度の割合（弾性ひずみ/観測ひずみの割合）を，歴史地震のモーメントに合わせるように決定。
 - 日本列島では，測地学的ひずみ速度は地震学的・地形学的・地質学的ひずみ速度に対して数倍から1桁程度大きいことが指摘されてきた (e.g., Shen-Tu et al., 1995).

3. 地震モーメント速度を地震発生率（年あたりの地震発生個数）へ変換

- 地震の規模別頻度分布は切断グーテンベルグ・リヒター則（G-R則）に従う。パラメータは、 b 値，地殻内地震の最大マグニチュード (M_{max})。

4. 地震発生率よりM6以上の30年発生確率を定常ポアソン過程で計算

$$P(x, M) = A(x)F(M)$$

場所 x ，マグニチュード M の地震の発生確率

測地ひずみ速度に比例する項

G-R則のようなマグニチュード頻度分布を表す項

地震カタログに基づく地震発生確率計算手順

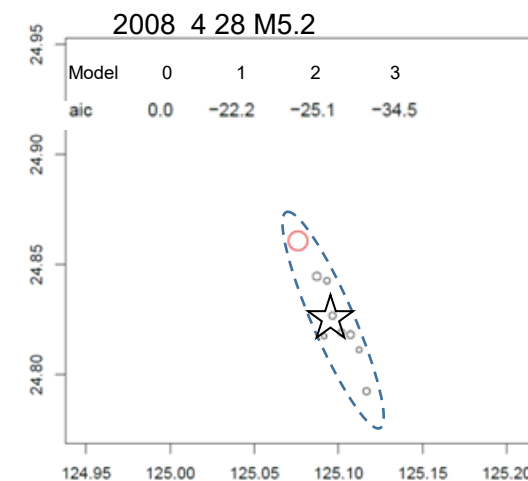
階層的時空間ETASモデル (HIST-ETAS) の適用

地震活動密度 **背景活動密度** **余震発生効率**

$$\lambda(t, x, y | H_t) = \mu(x, y) + \sum_{\{j:t_j < t\}} \frac{K_0(\bar{x}_j, \bar{y}_j)}{(t - t_j + c)^{p(\bar{x}_j, \bar{y}_j)}} \left\{ \frac{(x - \bar{x}_j, y - \bar{y}_j) \bar{S}_j \begin{pmatrix} x - \bar{x}_j \\ y - \bar{y}_j \end{pmatrix}}{e^{\alpha(\bar{x}_j, \bar{y}_j) M_j}} + d \right\}^{-q(\bar{x}_j, \bar{y}_j)}$$

M ≥ 4 地震の予測数 / 日 / 度²
H_t は時刻 t 以前の発生履歴情報

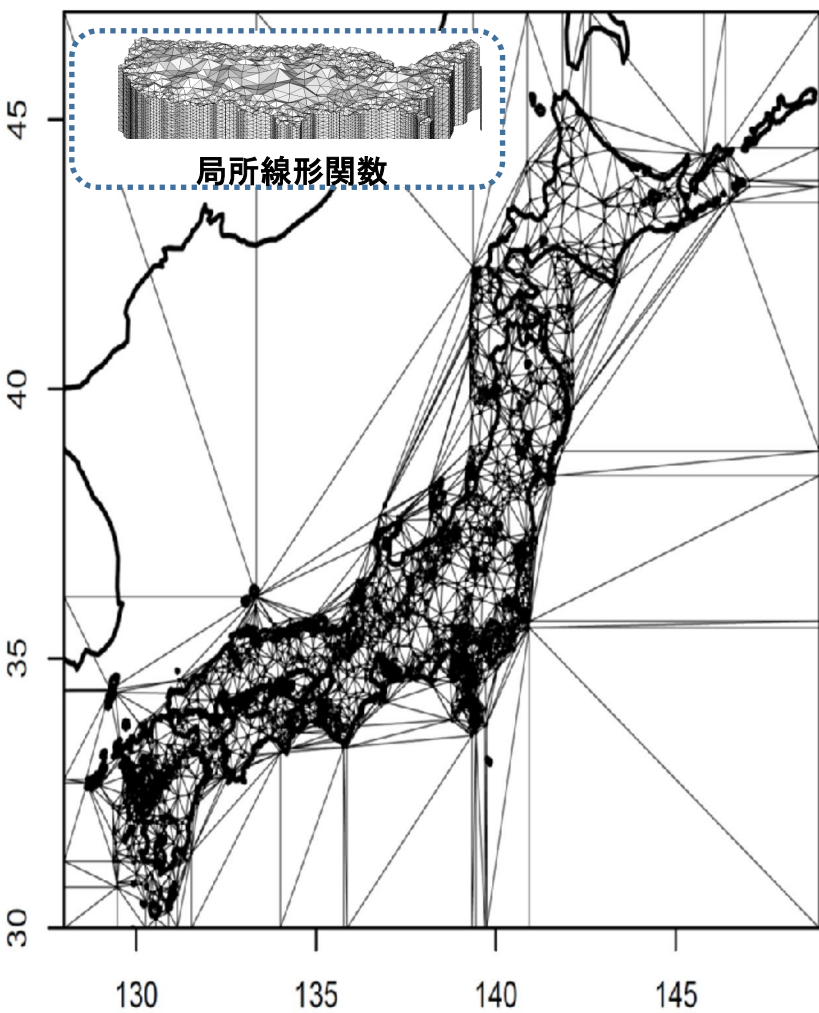
震央座標 (x_j, y_j) や分散共分散行列 S_j は (一定の大きさ (例えば M ≥ 5) 以上の地震について) 全ての検出地震群から, セントロイド型に補正するか否かは AIC で判定。



1885-2018年の地震カタログに階層性時空間ETASモデルを適用して計算した**背景地震活動度** (Ogata, 2022)から, b値(0.9)とポアソン過程を仮定して, M6以上の30年発生確率を計算.

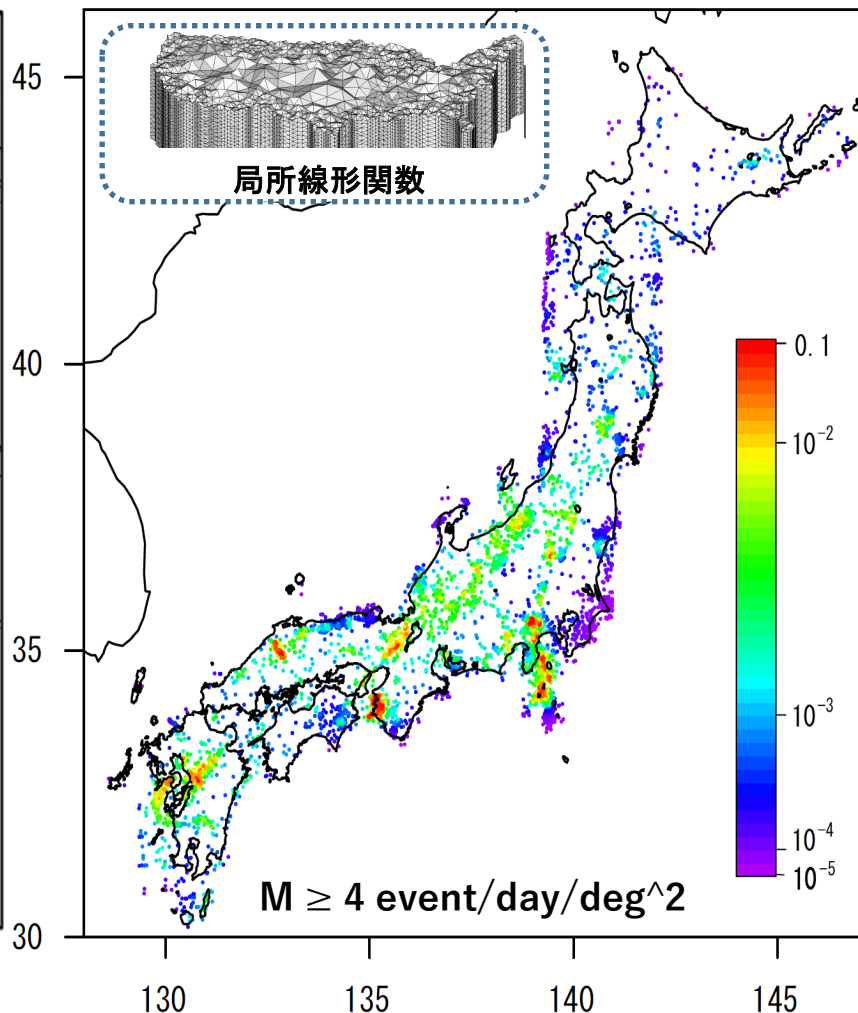
- ・ 準備区間 (発生履歴のみ使用) : 1885-1922年の宇津地震カタログ (明治大正)
- ・ モデル化の区間 : 1923-2018年のM4以上の気象庁地震カタログ

内陸地震 ($M \geq 4$) を繋いだデロネ三角網



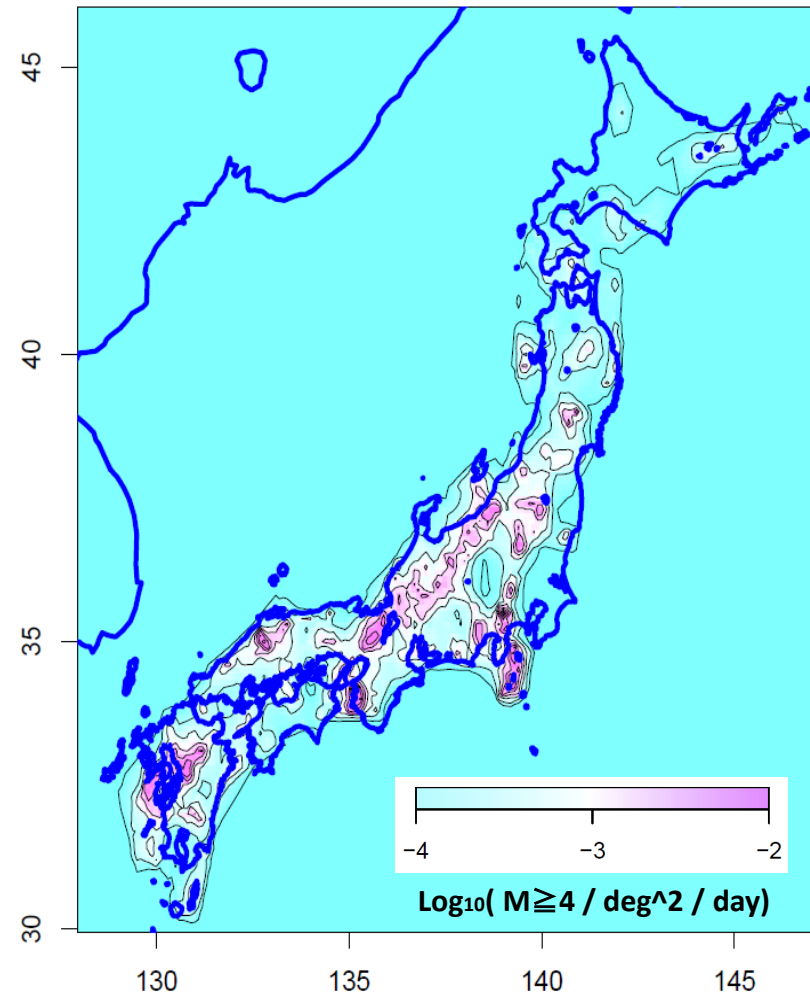
Ogata (2022)

HIST-ETAS-5paモデルの
最大事後確率推定値 (背景地震活動度)



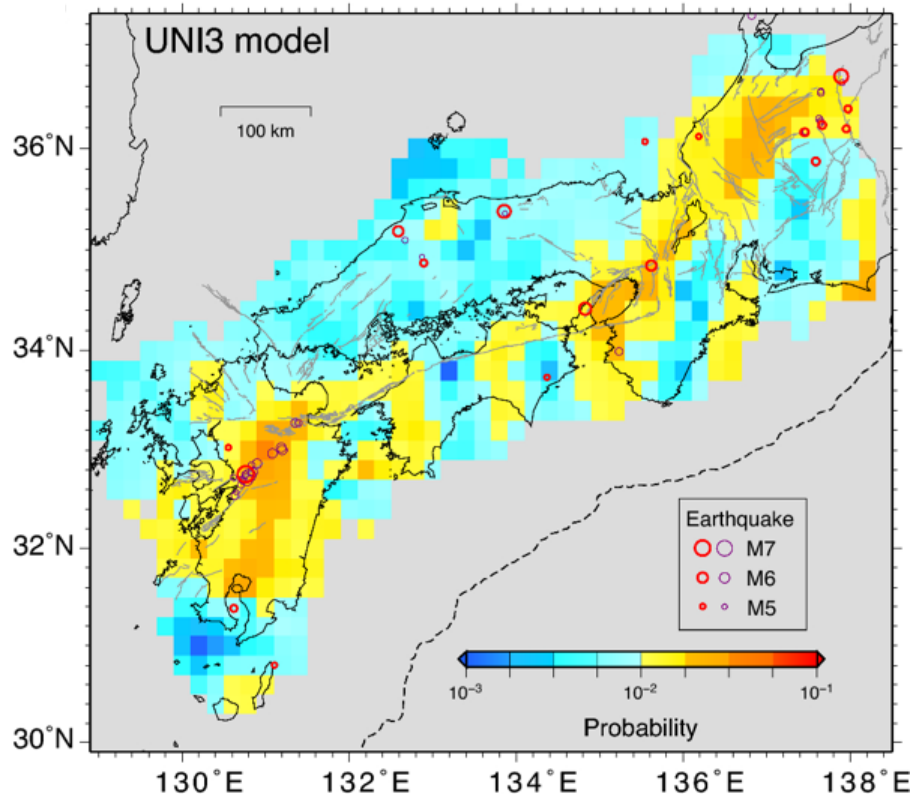
HIST-ETAS-5paモデル
(5つのモデルパラメータが空間変化)

背景地震活動度の線形補間図

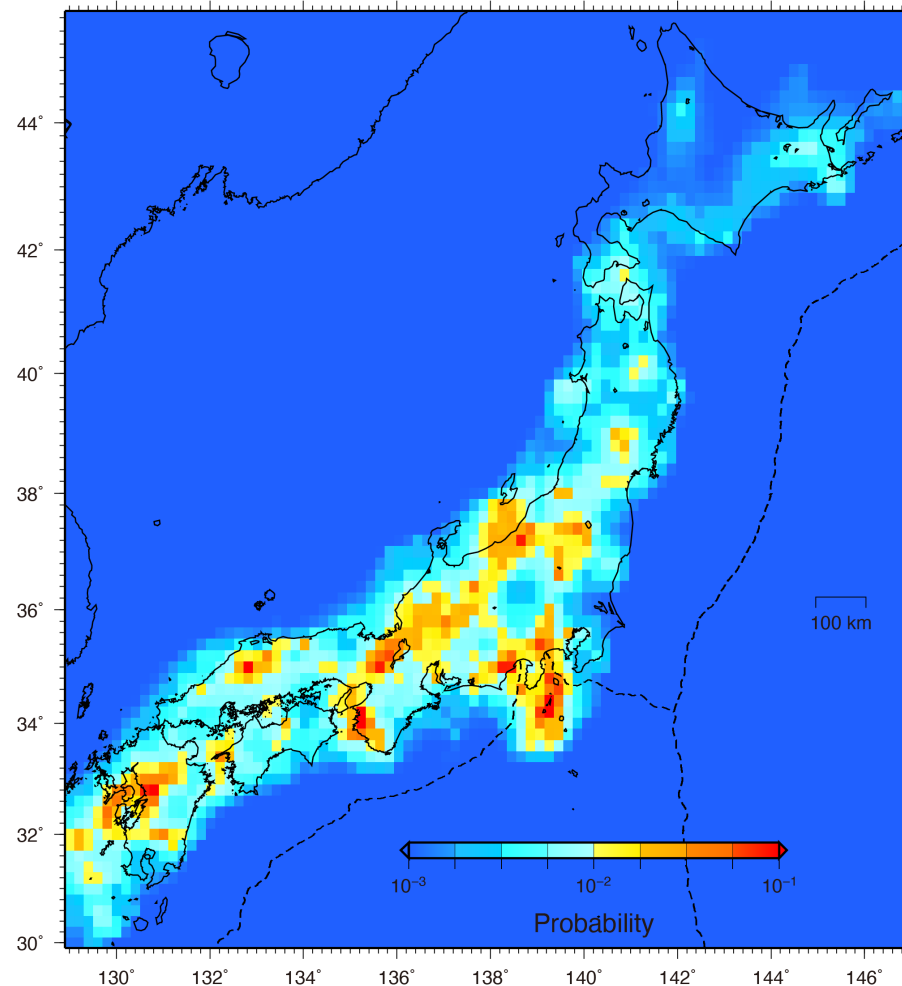


GNSSと背景地震活動に基づく地震発生確率の比較

Probability of a $M \geq 6.0$ earthquake per 30 years based on background seismicity (Ogata, 2022)



Nishimura (2022)



- ◆ 全体的な空間パターンは類似している。
(東北脊梁, 新潟-神戸歪み集中帯, 九州中央部, 伊豆半島周辺などで高い)
- ◆ 全体的なコントラストは地震モデルの方が大きい。
- ◆ 東北北部から北海道にかけては, 測地モデルの発生確率が高い。

まとめと今後の課題

- M6以上の地震発生確率の空間的にシームレスな推定
⇒揺れの計算と組み合わせることで、確率論的地震動予測地図に付加できる新たな情報として活用できる。
- ⇒確率論的地震動予測地図の作成に用いられている「震源を予め特定しにくい地震」による確率と置き換えられる可能性
- ⇒地震本部で実施している地域評価では地域区切りの影響を受けるが、本手法であれば任意の領域における地域評価に適用可能。
- 測地データと地震データから推定される地震発生確率の空間パターンは概ね整合するが、コントラストの違いや、東北北部～北海道における両者の差異などについては今後の検討が必要。