

生きる、を支える科学技術



防災科研

地震本部30周年特別シンポジウム

日時：2025年10月14日

場所：文部科学省講堂

「南海トラフのスロー地震
～稠密観測網の成果～」

小原一成

防災科学技術研究所

地震調査委員会委員長代理

地震本部30年の成果(観測地震学の立場から)

日本列島の**海陸**に及ぶ**広域・稠密**観測網の構築と運用

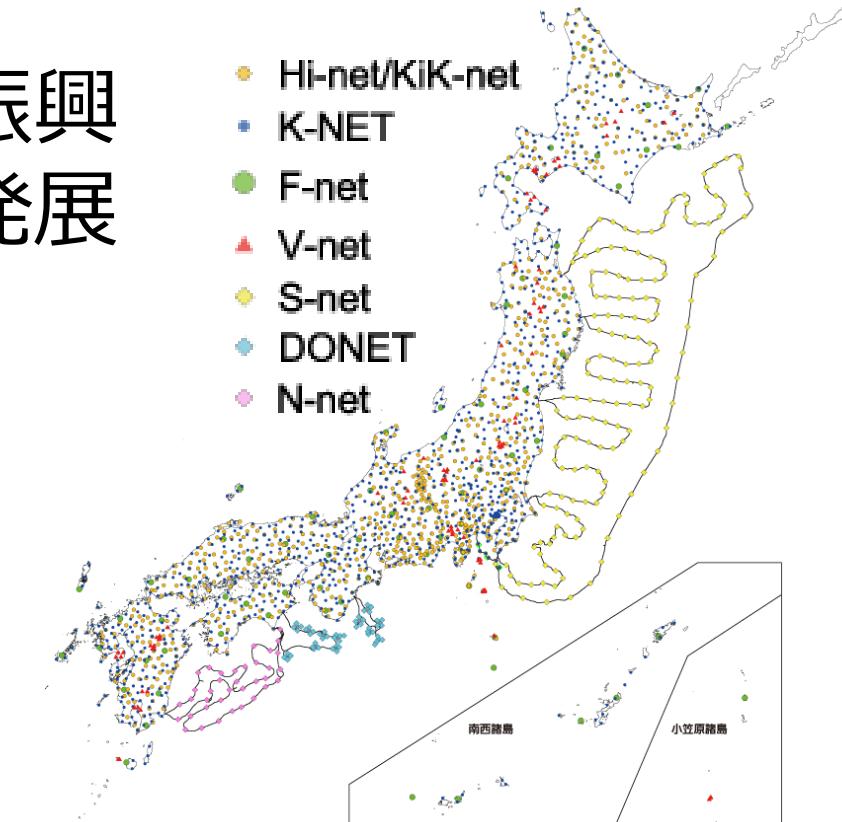
(防災科研**MOWLAS**：世界最高峰の観測網)

【学術的な成果】

- ・高品質データの公開による学術の振興
- ・国内外の多様な地震研究の飛躍的発展
 - ・スロー地震の発見

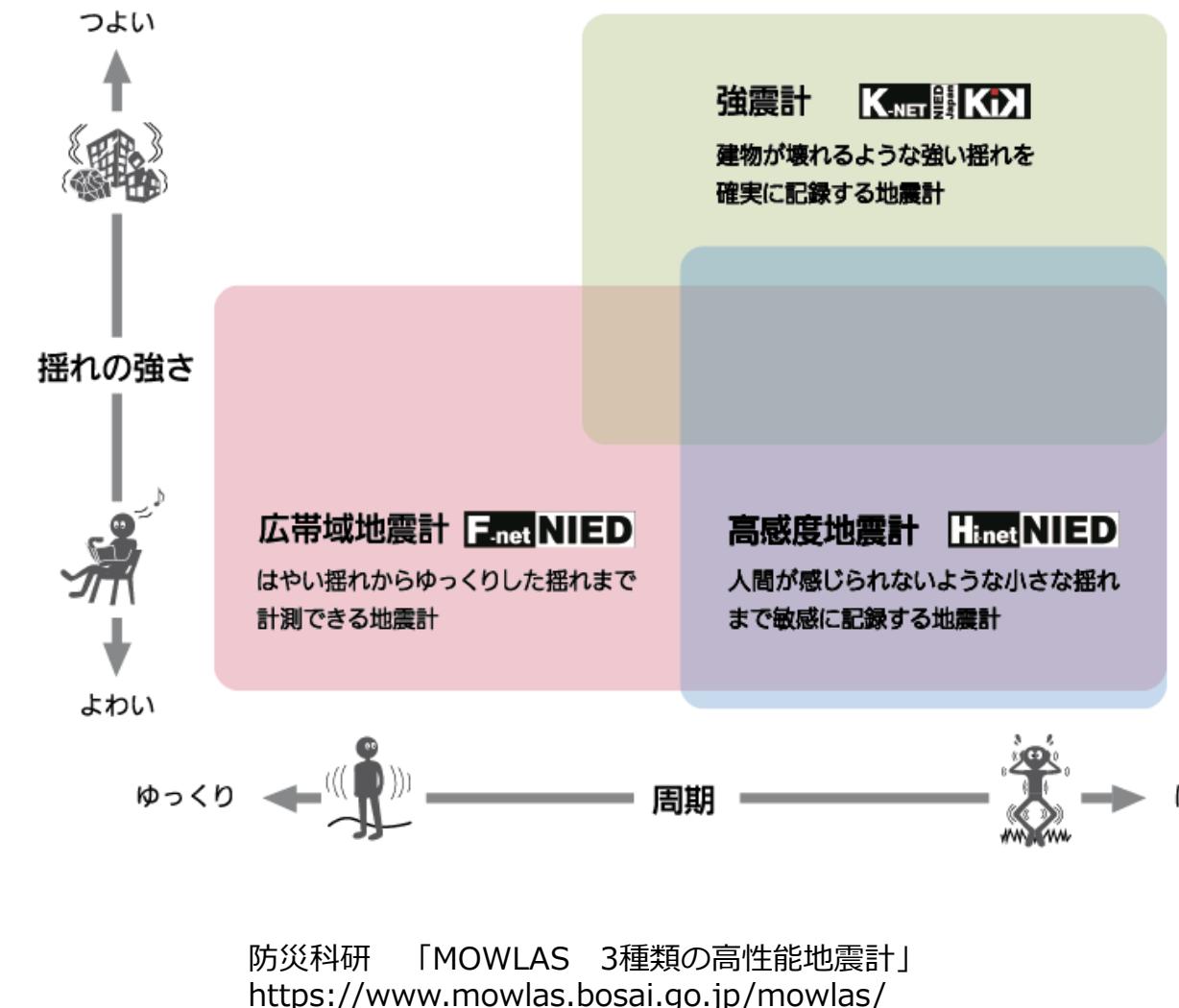
【社会への貢献】

- ・地震活動の現状評価
- ・地震発生直後の即時情報
- ・地震発生前の臨時情報



<https://www.mowlas.bosai.go.jp/mowlas/>

地震に関する基盤的調査観測計画(1997年8月29日)



■ 高感度地震觀測 (約20 km間隔)

- ・地殻内地震の深さの下限を把握し、その地域における内陸地震の最大規模を評価

■ 広域地震観測（約100 km間隔）

- ・地震の直達波を利用できる範囲内で震源を取り囲み、地震の規模と断層の破壊方向を即時的に把握

■ 地震動(強震)観測 (約20 km間隔, 地表と地中)

- ・ 稠密な強震動把握に基づく耐震設計や防災対策
 - ・ 震源や表層地盤特性を把握するための基盤における入力地震動測定

※観測の安定性：

観測は、業務的に長期間（少なくとも数十年間程度）にわたり安定して行うものとする。

地震に関する基盤的調査観測計画(1997年8月29日)

■ 地殼變動觀測(GPS連續觀測)(20~25 km間隔)

- ・地震発生後の地殻変動を即時に捕捉し、地震発生過程の基礎的知見を得ることを期待
 - ・海域における地殻歪の時間的・空間的变化の把握に資するため、離島（設置可能な岩礁を含む）等への設置も考慮

国土地理院

GNSS連続観測システム GEONET

【準基盤的調查觀測】

■ケーブル式海底地震計による地震観測

- ・津波計を併設し、津波現象の解明と津波予測高度化に期待

→ 東日本大震災後に実現

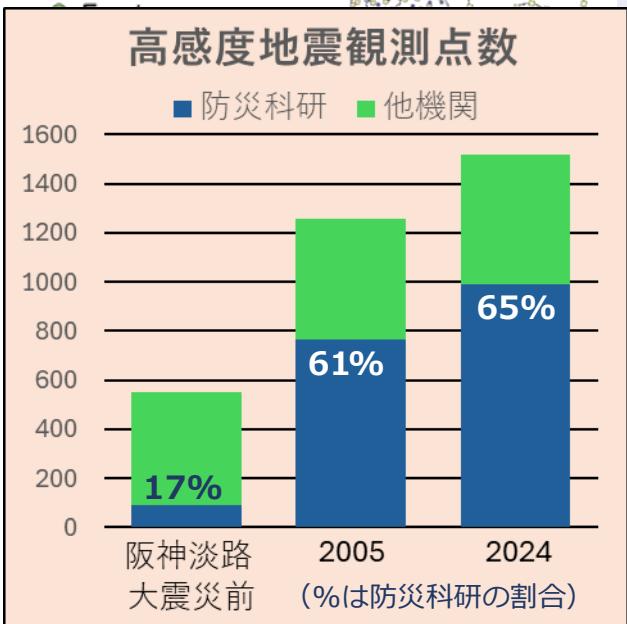
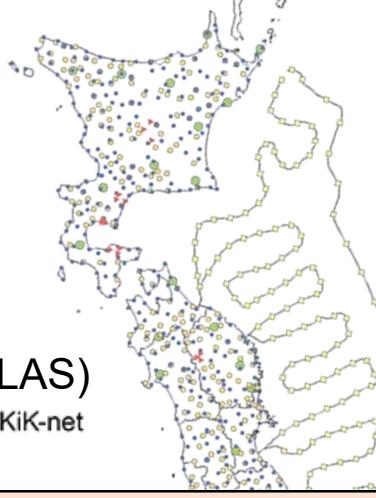
地震本部「地震に関する基礎的調査観測計画」https://www.jishin.go.jp/about/hokoku97_s8kei/

生きる、を支える科学技術



https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi_about_GEONET-CORS.html

MOWLASへの発展(防災科研地震等観測網の系譜)



| | 阪神淡路大震災前 | 阪神淡路大震災後 | 東日本大震災後 |
|--------|---|--|--------------------------|
| 高感度地震 | 首都圏深層観測施設 4点(3000m級) (1979~95) 首都圏中層観測施設 14点(2000m級) (1994~97) 関東東海地殻活動観測網 90点(1984頃概成) | Hi-net 800点(1997~) 合流 | 合流 |
| 強震 | 深層観測鉛直アレイ 江東アレイ | KiK-net 800点(1997~) 合流 K-NET 1000点(1996) | 併設 |
| 広域火山 | Freesia (1994~) | 合流 | F-net 70点(2001) |
| 海底ケーブル | 硫黄島・伊豆大島 富士山・那須岳 (1981~) | | V-net 44火山 89点(2024) |
| | 相模湾(平塚沖) 6点(1996) | | |
| | | DONET1(熊野灘沖) 22点 (2011) by JAMSTEC | 2016 防災科研 に移管 |
| | | DONET2(紀伊水道沖) 29点 (2016) by JAMSTEC | 2017 2017 防災 科研に移管 |
| | | S-net(日本海溝) 150点(2016) | 2017 |
| | | N-net(南海トラフ) 36点(2024) | |
| | | 首都圏地震観測網MeSO-net 約300点 (2007) by 東大地震研 | 2017 防災 科研に移管 |

MOWLAS

陸海統合地震津波火山観測網

基盤観測網における革新(高感度地震観測の場合)

| | 阪神淡路大震災前 | 阪神淡路大震災後(Hi-net) |
|----------|-----------------------|--|
| 観測点分布 | 疎（一部で密） 全国的に不均質 | 密 20~30 km間隔の均質分布 |
| 地震計設置方式 | 主に地表設置方式 (一部で坑井式) | 坑井式 |
| データ流通・処理 | 機関毎（一部で隣接観測網間でのデータ交換） | リアルタイムデータ流通（気象庁・大学・防災科研の三者間） 気象庁での一元化処理 |
| データ収録・蓄積 | イベントトリガー方式 | 連続データ収録方式 |
| データ公開 | なし（または限定的） | Hi-netデータセンターにて全機関データをアーカイブ・WEB公開 |

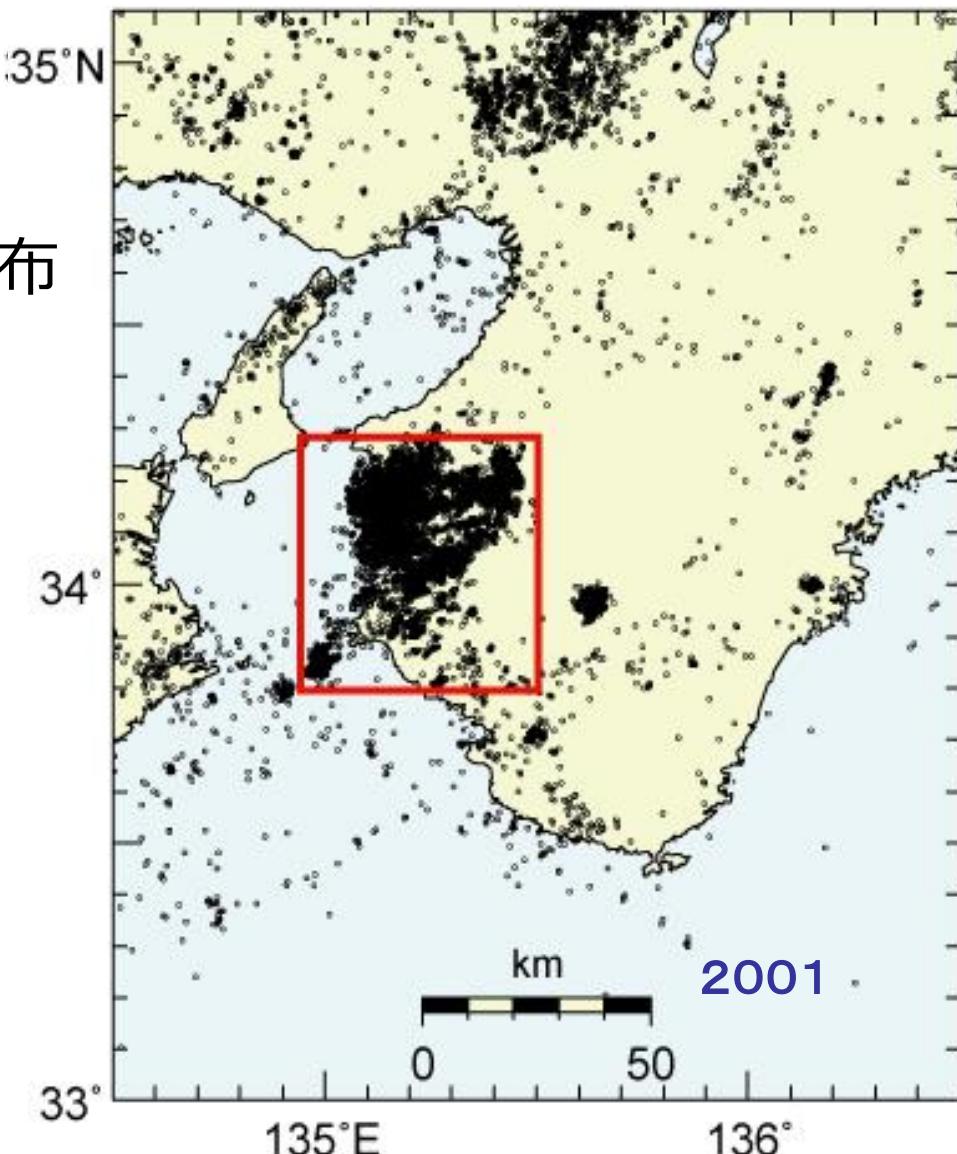
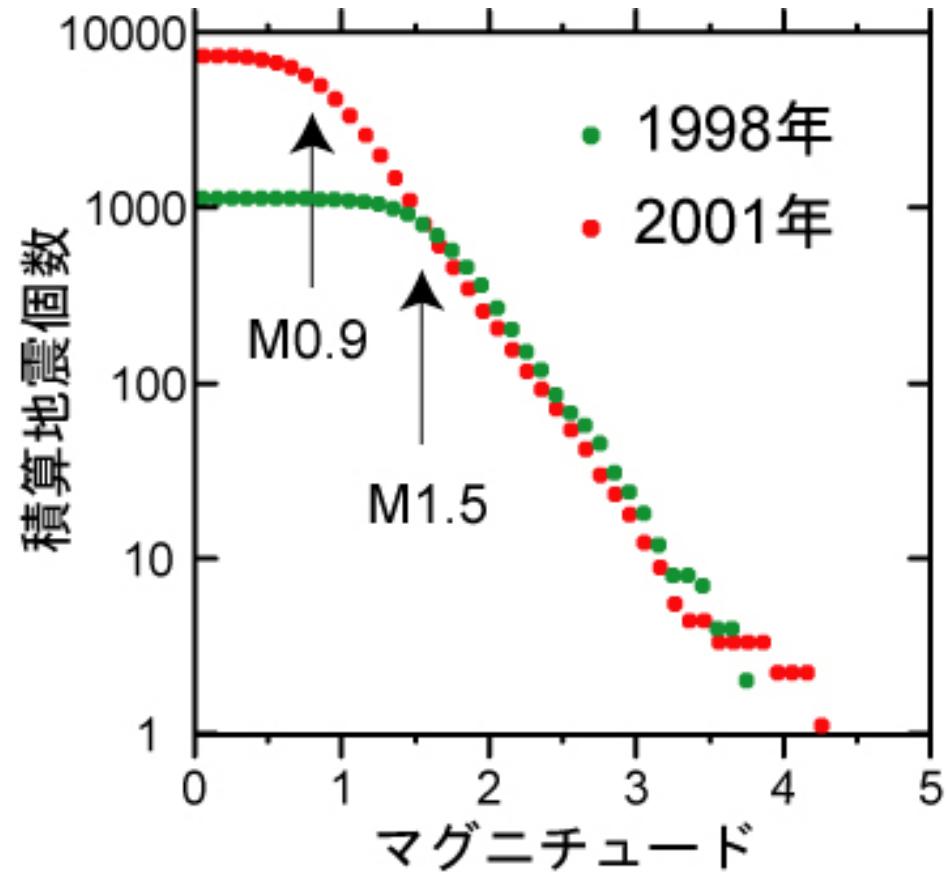


ICTやGPS等の最新技術を導入

観測網の効果(震源決定の高精度化)

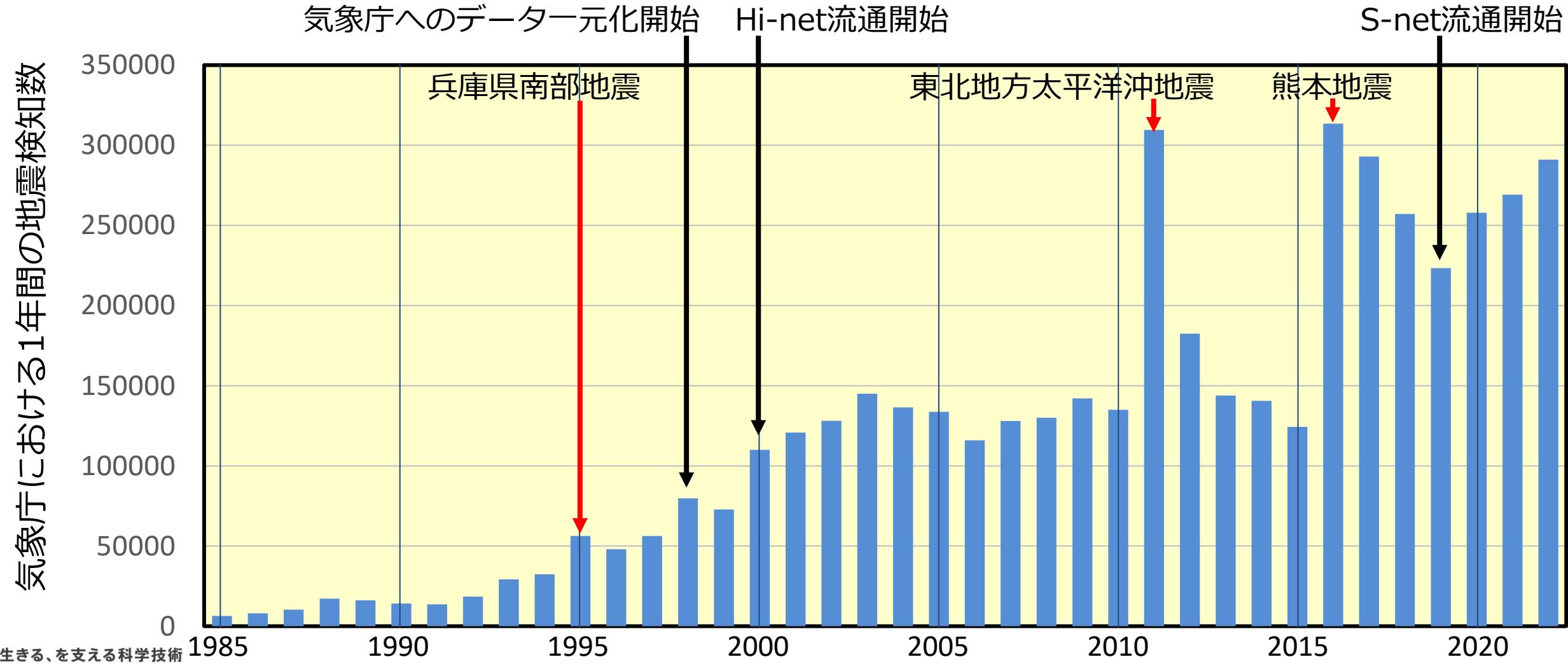
Hi-netによる微小地震検知能力の向上 (和歌山県北西部の例)

右図□領域で1年間に検知された地震の規模別頻度分布



地震観測網の効果(検知能力向上)

気象庁カタログにおける地震数の経年変化

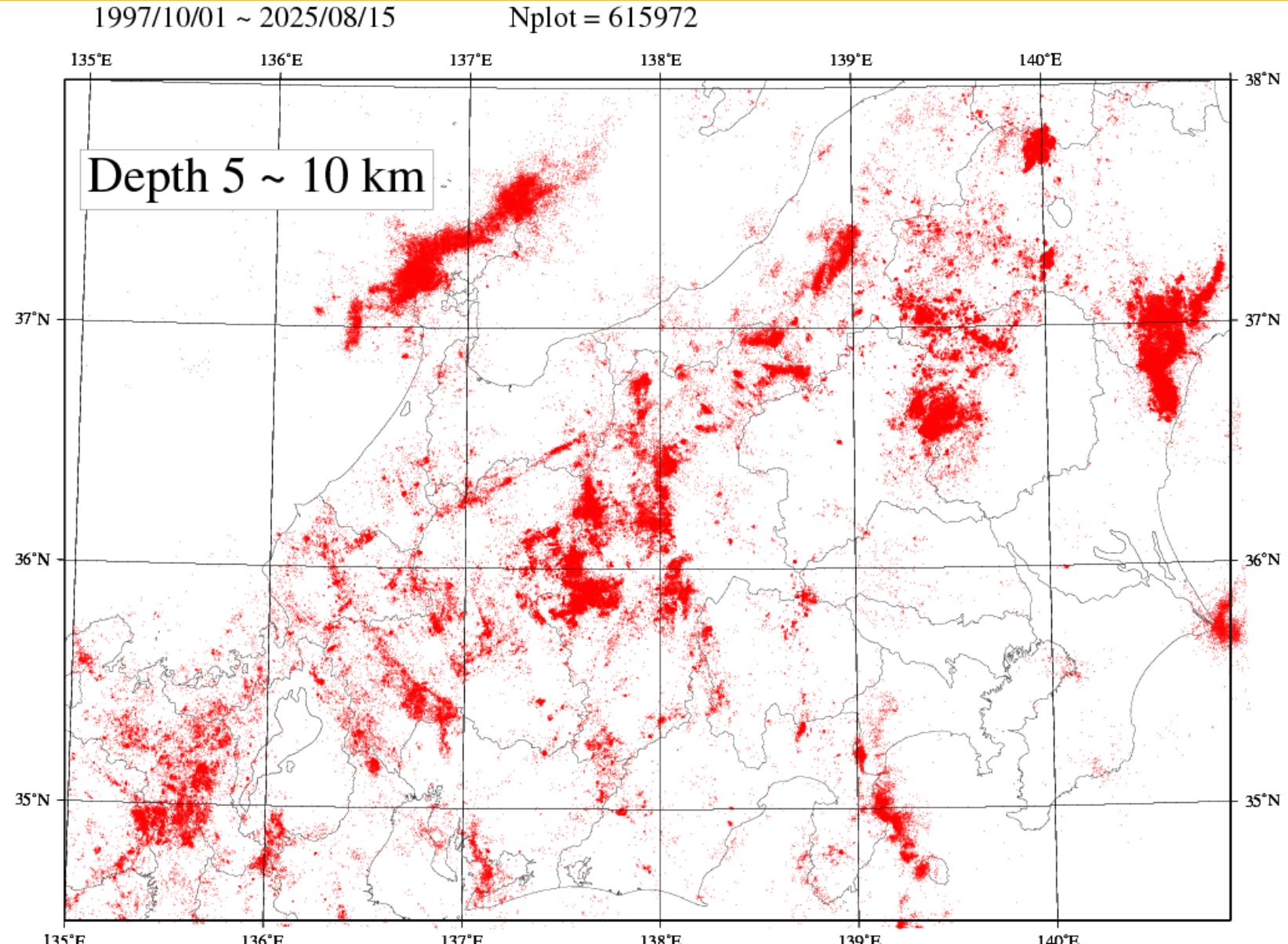


観測網の効果(震源分布の鮮明化)

気象庁力タログによる震源分布

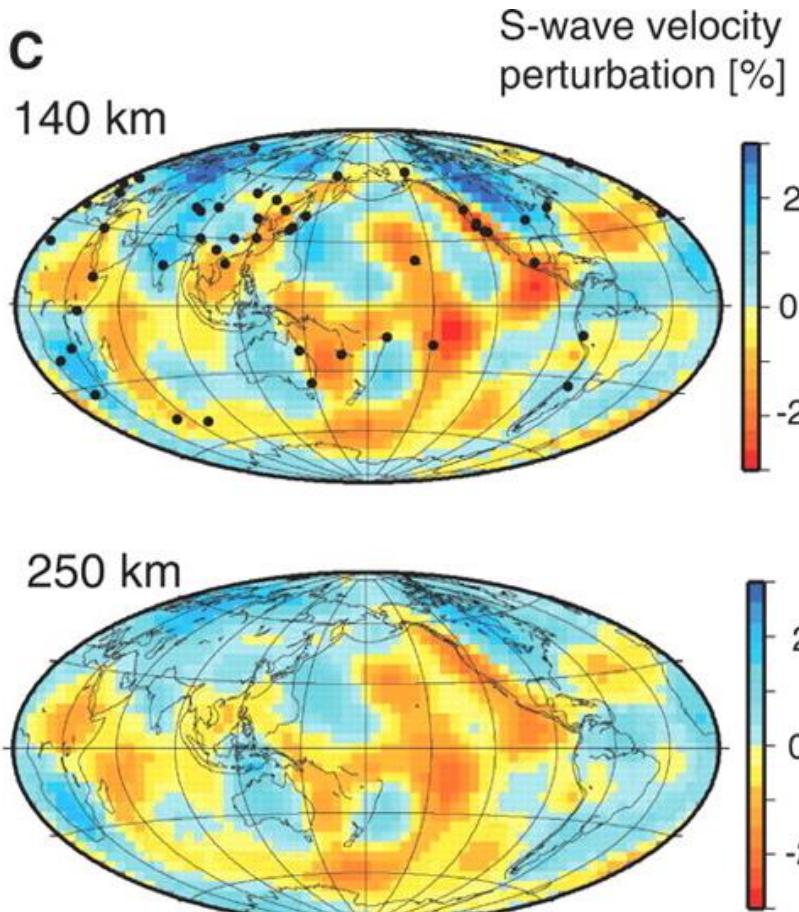
浅発地震
(深さ5~10 km)

線状配列が明瞭
・活断層
・過去の大地震の余震



観測網の成果(地球内部の透視による地下構造イメージング)

地球スケール

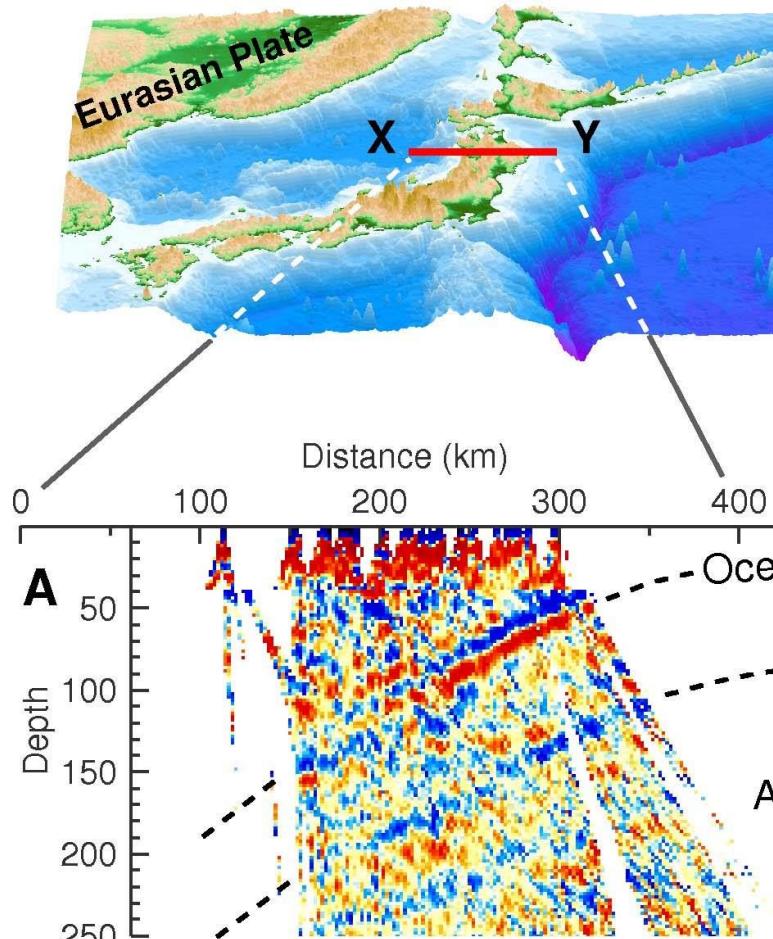


Nishida et al., Science, 2009

生きる、を支える科学技術



列島スケール

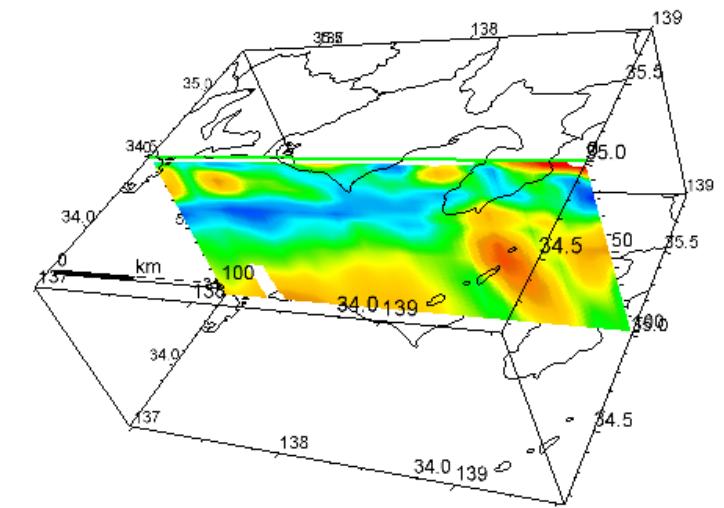


Kawakatsu et al., Science, 2009

https://www.hinet.bosai.go.jp/topics/sokudo_kozo/software.php?LANG=ja

権利の都合上、
非表示としております。

地域スケール

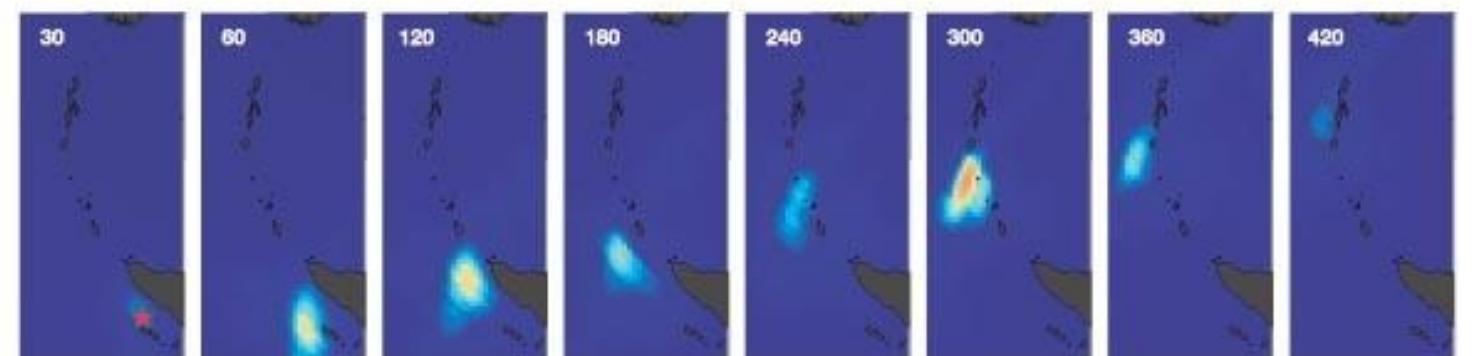


観測網の成果(望遠鏡として多様な地球現象のトラッキング)

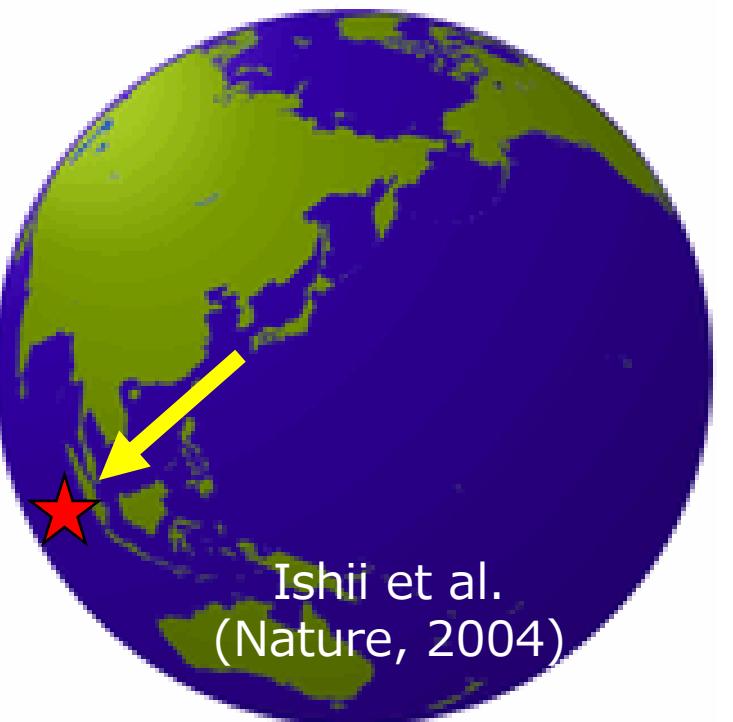
権利の都合上、

非表示としております。

スマトラ地震 (2004/12/26)の 破壊過程



生きる、を支える科学技術



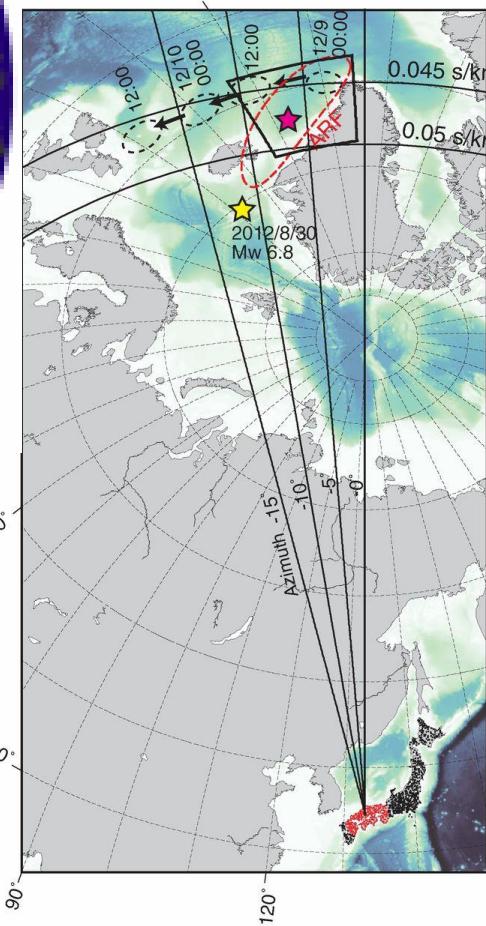
Ishii et al.
(Nature, 2004)



Nishida & Takagi
(Science, 2018)



北大西洋の爆弾低気圧



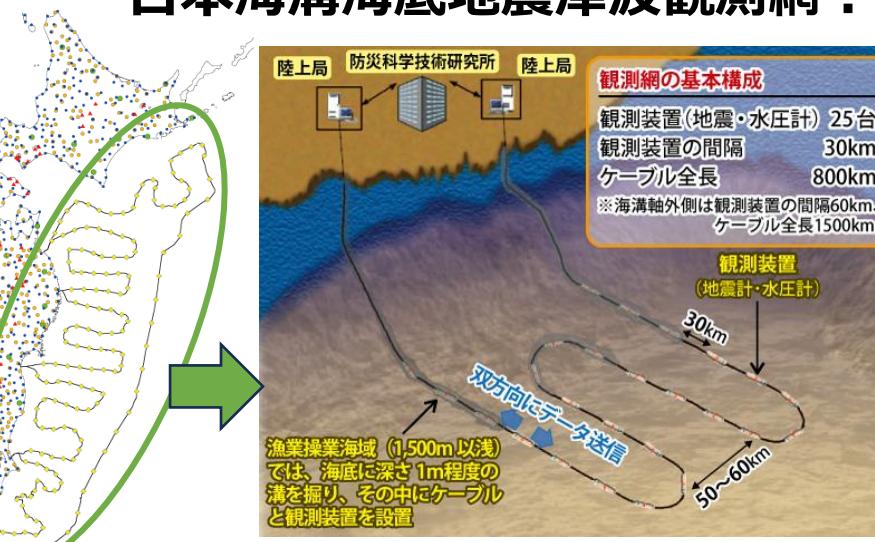
海域観測網の整備

南海トラフ海底地震津波観測網：N-net



2019着手
2024沖合システム完成
2025沿岸システム完成
今秋 MOWLASへの統合・
全データ公開開始

日本海溝海底地震津波観測網：S-net(2016完成)



新幹線安全対策にも活用

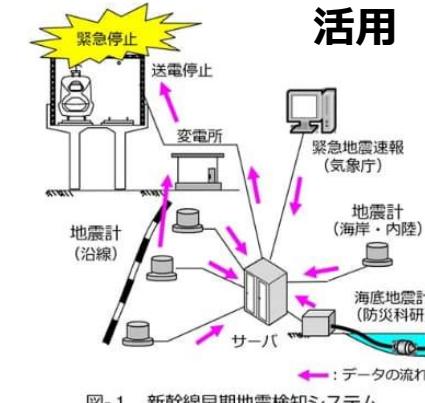


図-1 新幹線早期地震検知システム
https://www.watch.impress.co.jp/img/ipw/docs/1552/116/html/jr01_o.jpg.html

地震・津波観測監視システム：DONET



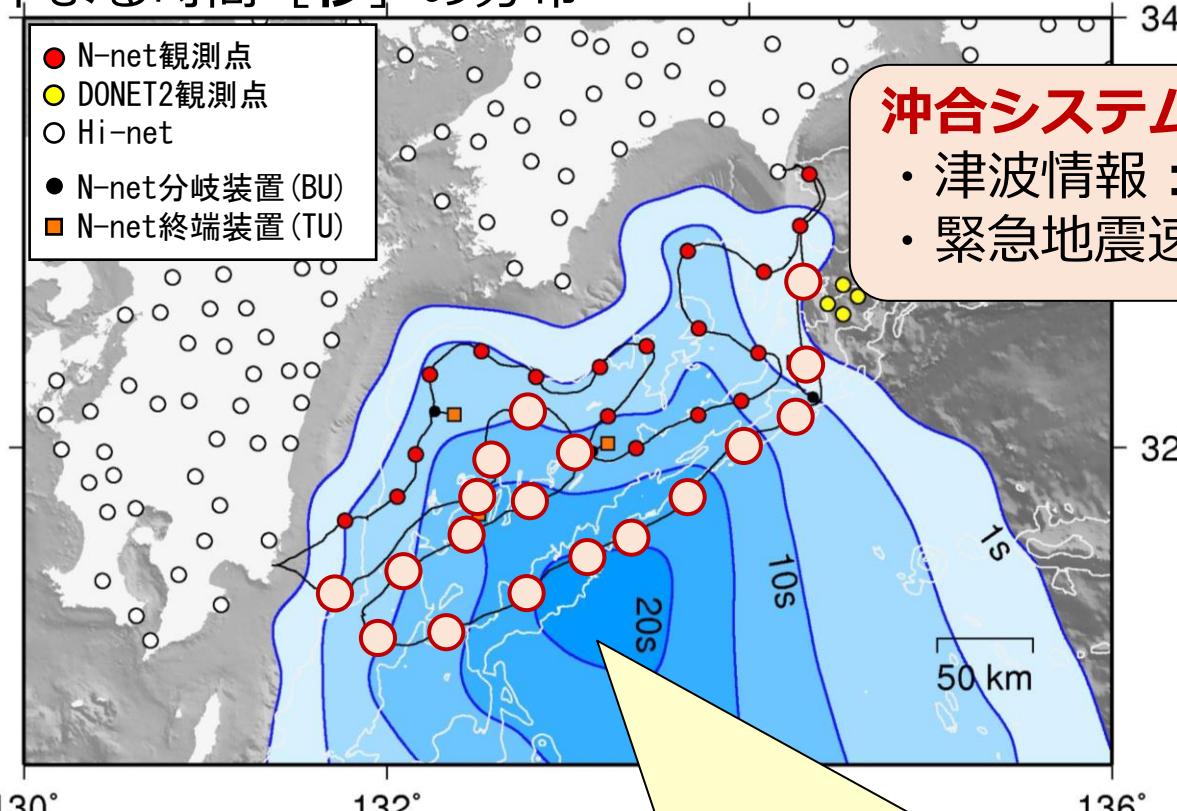
DONET1
(熊野灘沖
2011完成)

DONET2
(紀伊水道沖
2016完成)

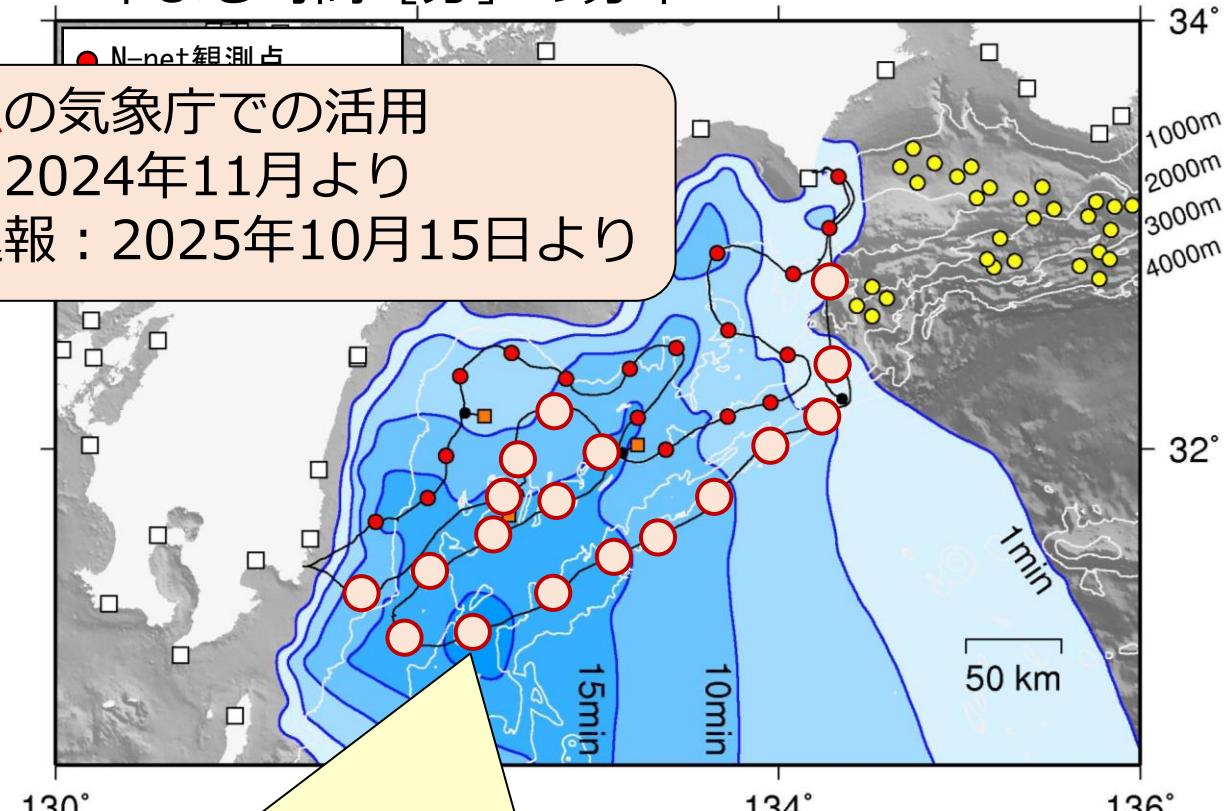
2016に海洋機
構から防災科研
に移管

海域観測網の効果(N-netによる地震動・津波の早期検知)

N-netによって各地点で発生した**地震**の検知が
早まる時間 [秒] の分布



N-netによって各地点で発生した**津波**の検知が
早まる時間 [分] の分布



沖合システムの気象庁での活用

- ・津波情報：2024年11月より
- ・緊急地震速報：2025年10月15日より

この地点で**地震**が起きると**約20秒も早く**
検知できる

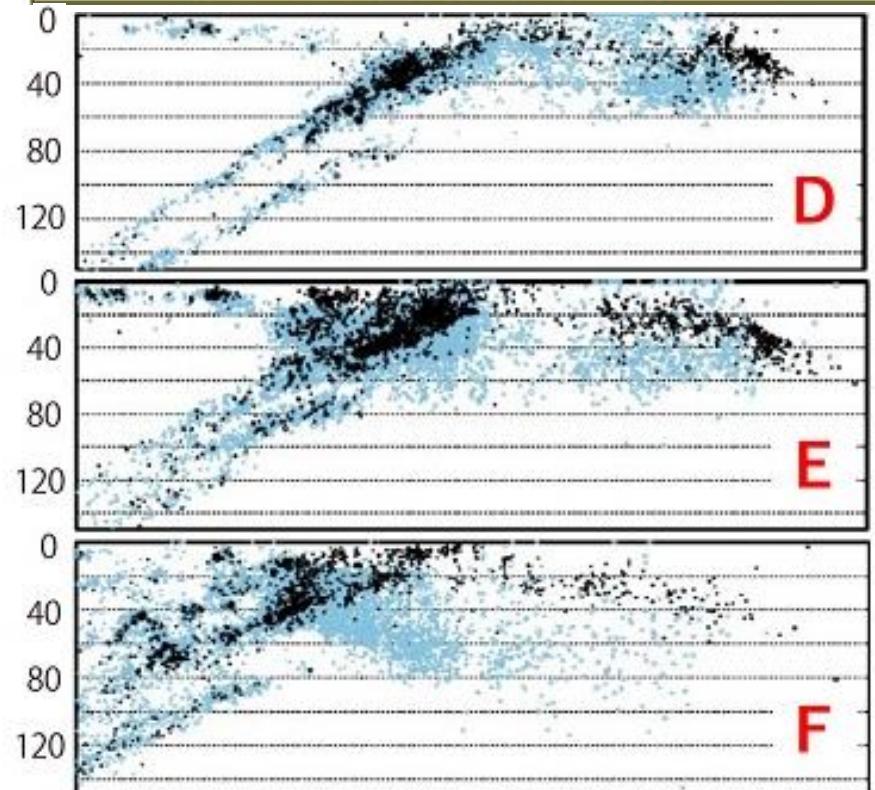
この地点で**津波**が起きると**約20分も早く**
検知できる

海域観測網の効果(S-netによる震源決定の高精度化)

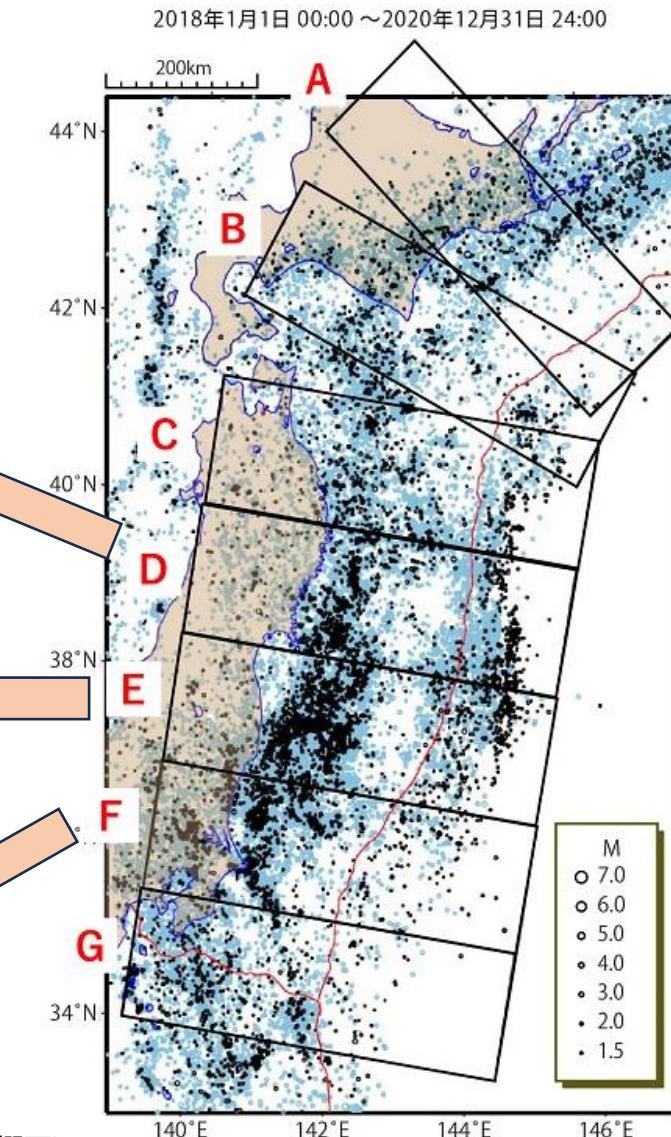


<https://www.seafloor.bosai.go.jp/S-net/>

●: 2018年1月～2020年8月
●: 2020年9月～2020年12月 (S-net導入後)
一元化震源、 $M \geq 1.5$ 深さ $\leq 150\text{km}$



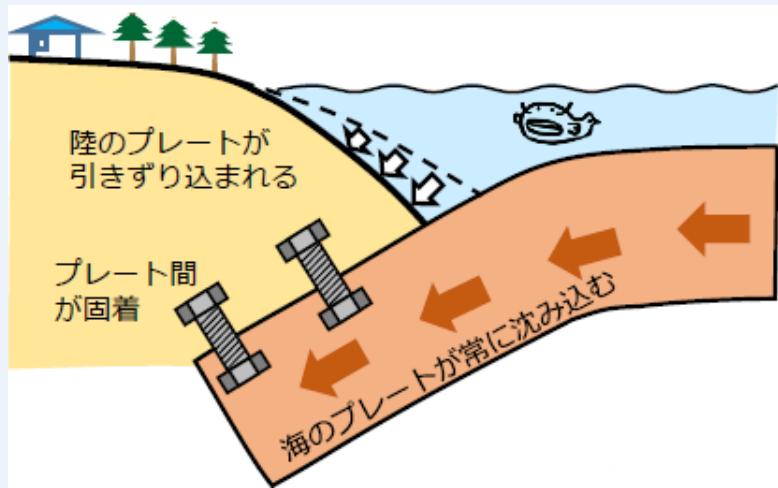
プレート沈み込みに伴う震源分布が明瞭



文部科学省「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)」令和2年度年次報告(成果の概要) P.40

https://www.mext.go.jp/content/20210930-mxt_jishin01-000018169_3.pdf

スロー地震とは



平常時

- ・プレート間が固着
- ・海のプレートの沈み込み



プレート間でひずみ蓄積



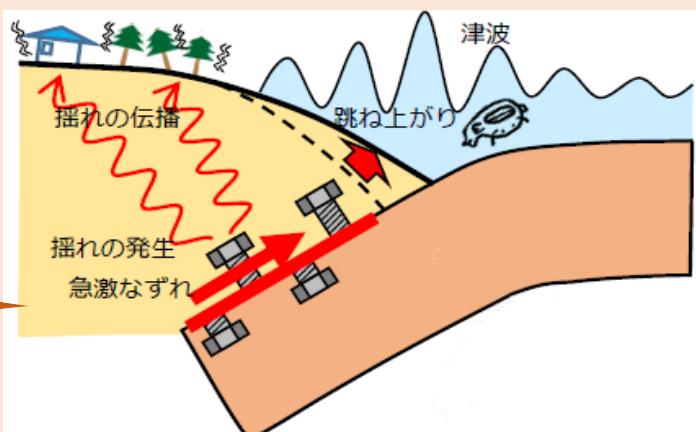
ひずみが限界に達すると



地震発生

通常の地震

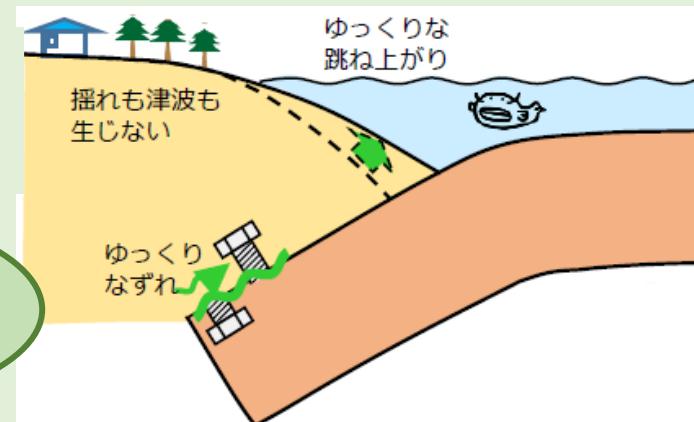
瞬間的なすべり
(数秒～数百秒)



スロー地震

ゆっくりなすべり
(～数日～数年)

わずかな揺れ
or 全く揺れない

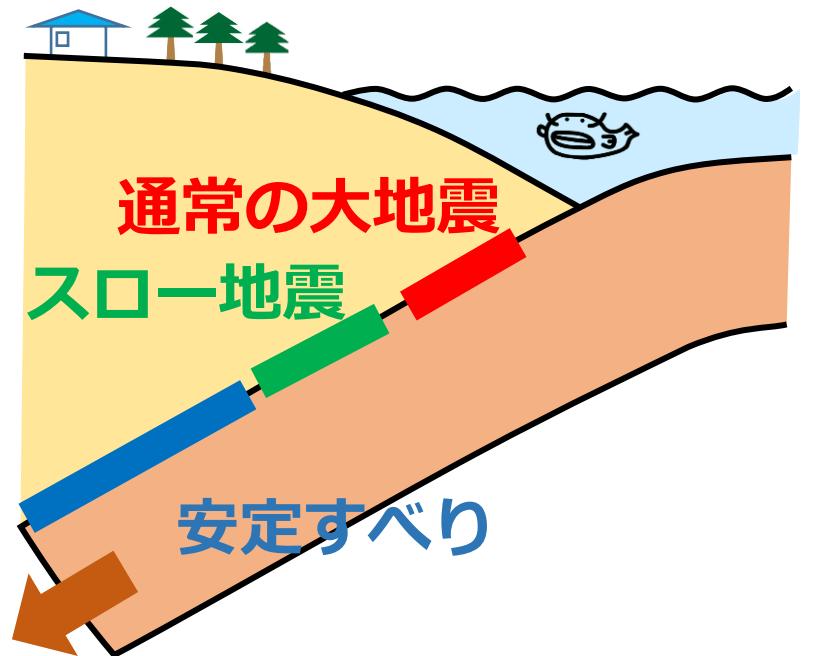


どちらも岩盤のずれ（すべり）が発生してひずみを解放

通常の地震と スロー地震

どちらも固着した断層面のひずみが限界に達して岩盤がずれ動く現象

スロー地震とは



通常の
大地震

安定
すべり

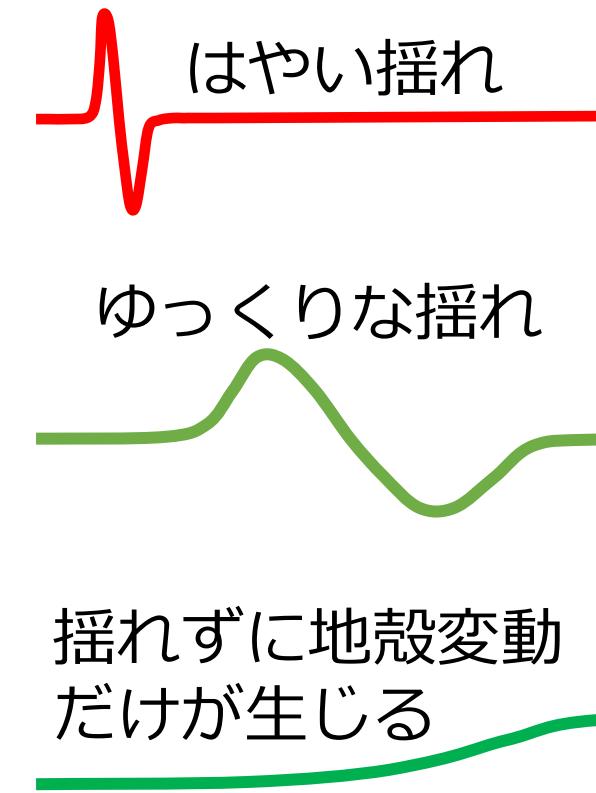
スロー地震
通常の大地震と安定すべりとの
ギャップ[®]（空間とすべり速度）を
埋める遷移的な現象

すべり速度が通常の地震よりゆっくりで、その度合いには幅がある

断層すべり



観測記録

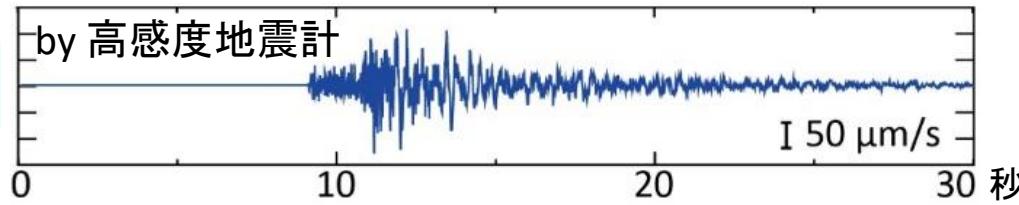


揺れずに地殻変動
だけが生じる

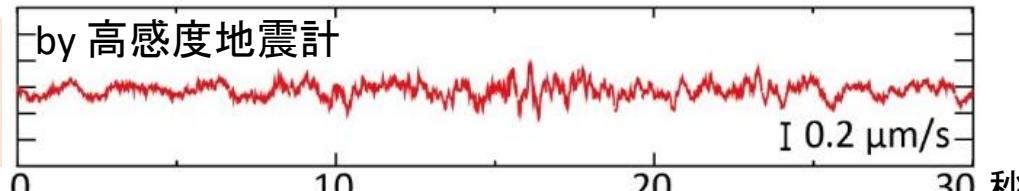
何も記録されない

スロー地震の特徴と発見の背景

通常の地震

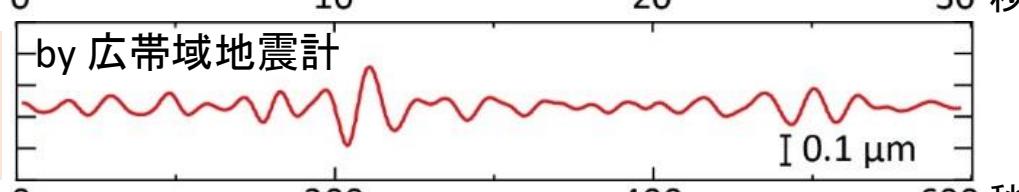


多様なスロー地震



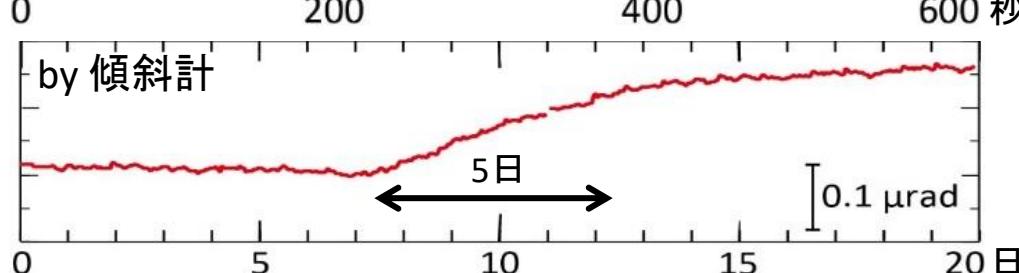
短い

低周波
微動

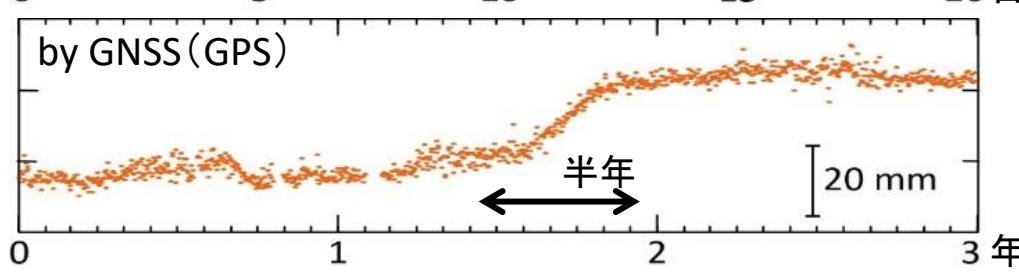


時定数

超低周
波地震



短期的
SSE



長い

長期的
SSE

スロー地震の共通的特徴

- ・シグナルがとても微弱
- ・ノイズに埋もれやすい

(低周波微動)

- ・通常の地震にみられるP波・S波が不明瞭で、地震として認識できない

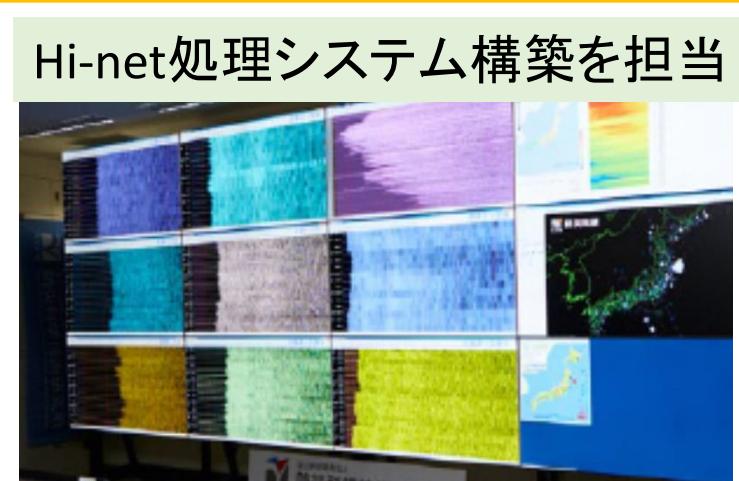
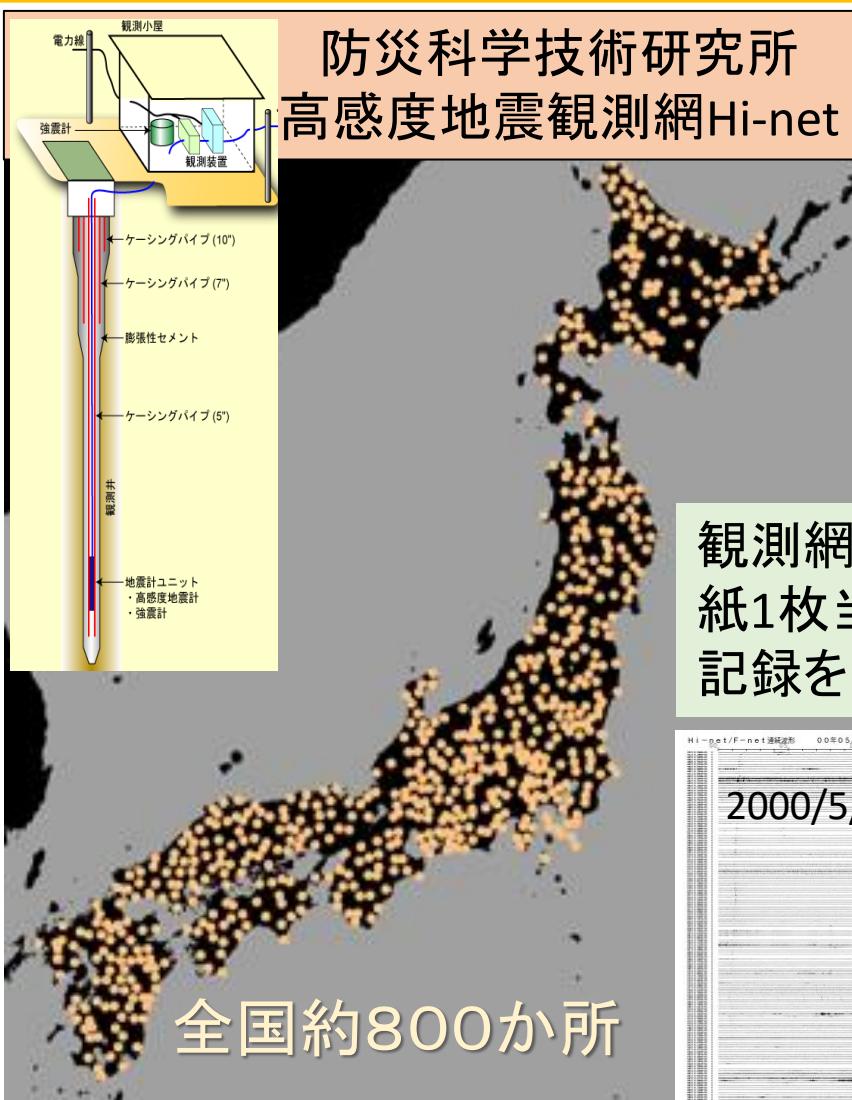
→従来の観測網では検出困難

阪神淡路大震災以降の稠密観測網

- ・データ品質向上
(高密度・高感度・高SN比)
- ・データ解析環境の整備
(連続データ保存・再生可能)

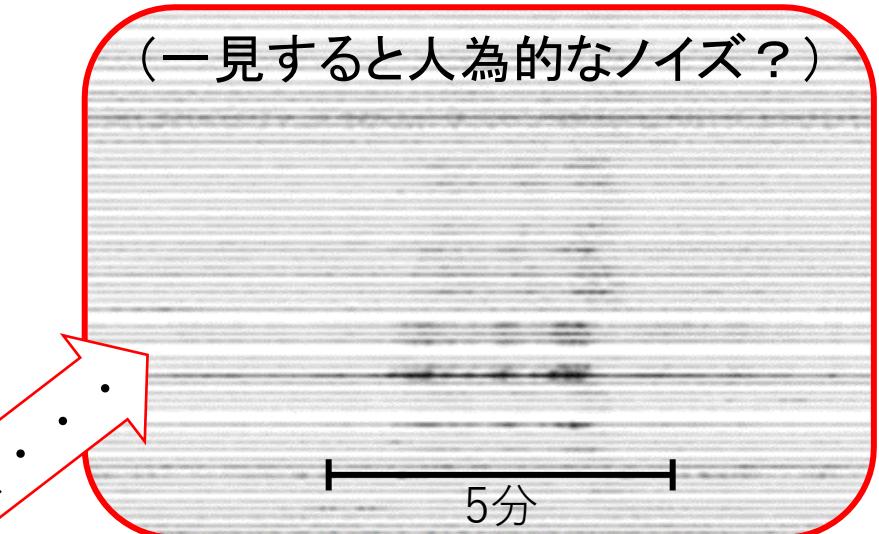
→スロー地震発見の背景

深部低周波微動発見の経緯



ゆっくりした揺れが長時間継続する
奇妙な現象を発見

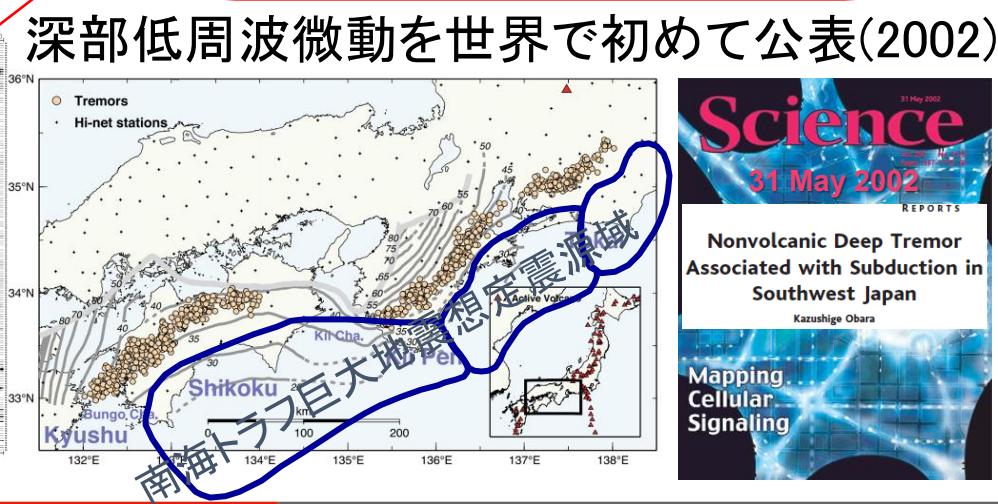
(一見すると人為的なノイズ?)



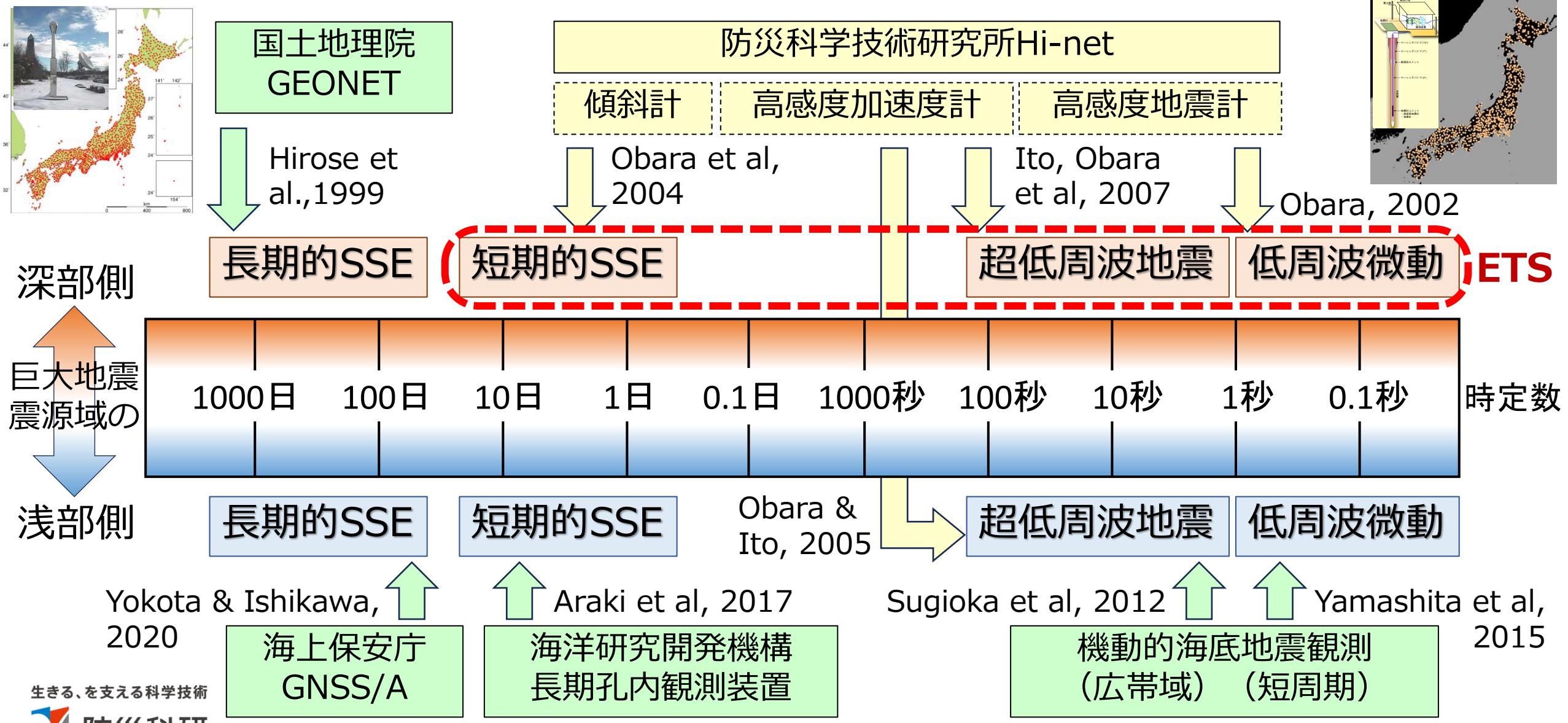
観測網の稼働状況監視のため、A3用
紙1枚当たり200観測点の1時間連続
記録を毎日チェック(1日96枚)



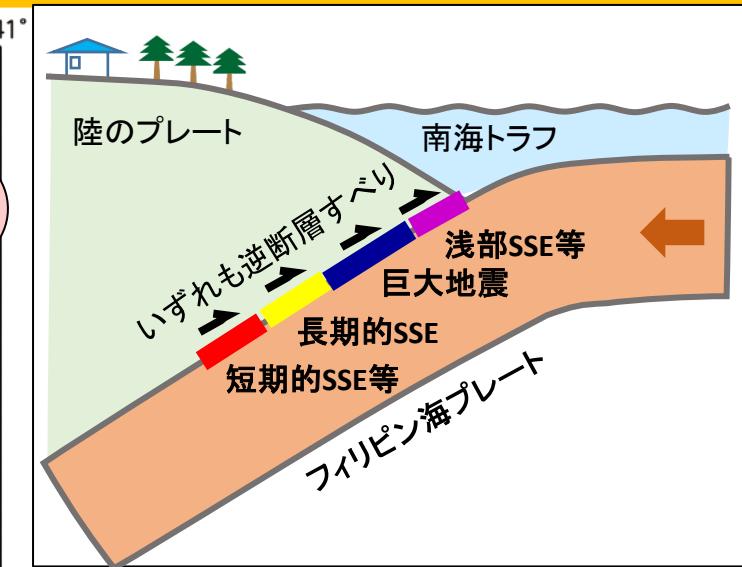
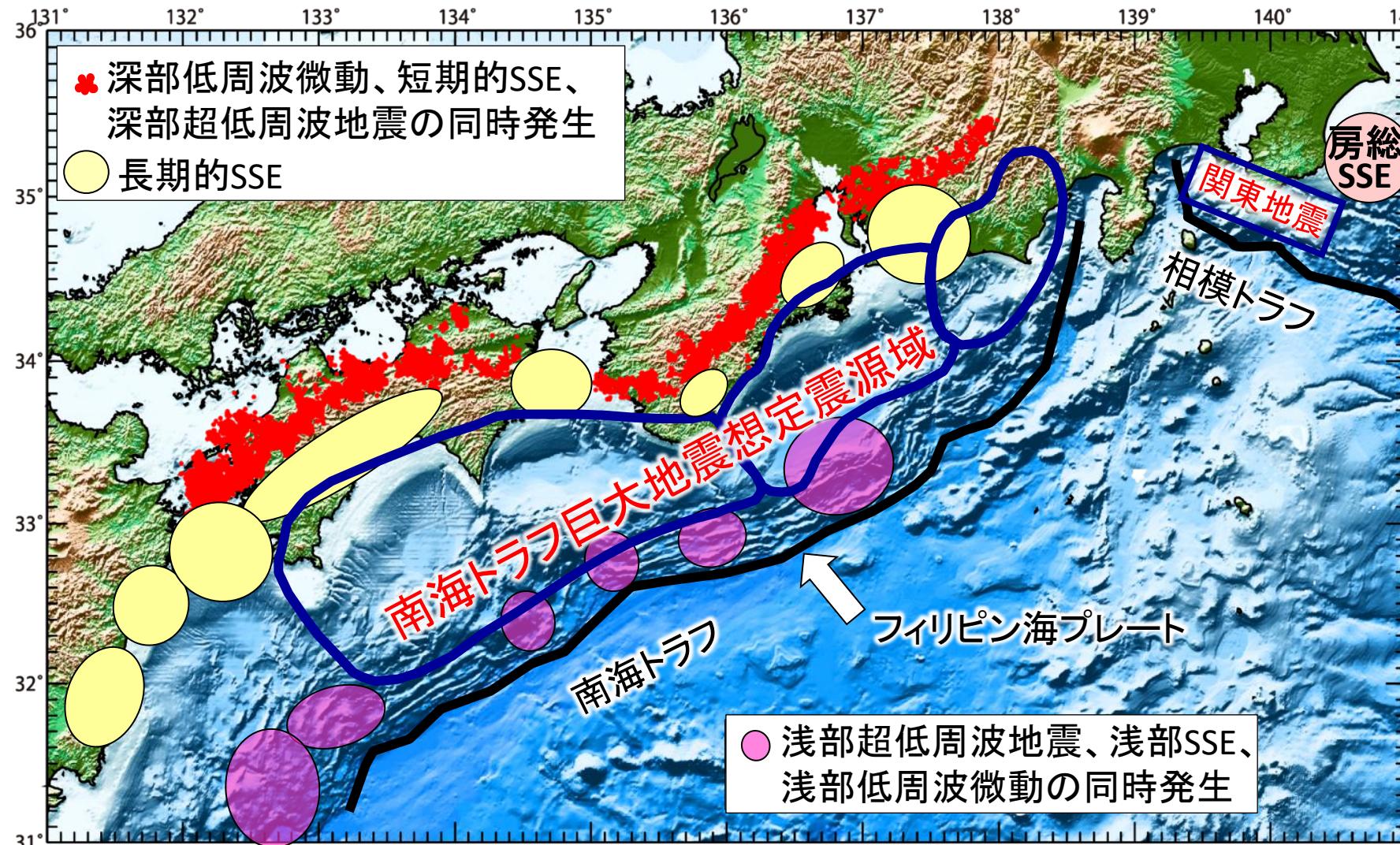
拡大すると



各観測網によるスロー地震の発見



南海トラフのスロー地震



スロー地震の分類

| 1回あたりの 断層すべり 継続時間 | 巨大地震震源域の 深部側 ← → 浅部側 | |
|-------------------------|-------------------------|--------------|
| 半年～5年 | 長期的 SSE | 浅部 SSE |
| 1～10日 | 短期的 SSE | |
| 10～100秒 | 深部 超低周波地震 | 浅部 超低周波地震 |
| 0.1～1秒 | 深部低周波微動 | 浅部低周波微動 |

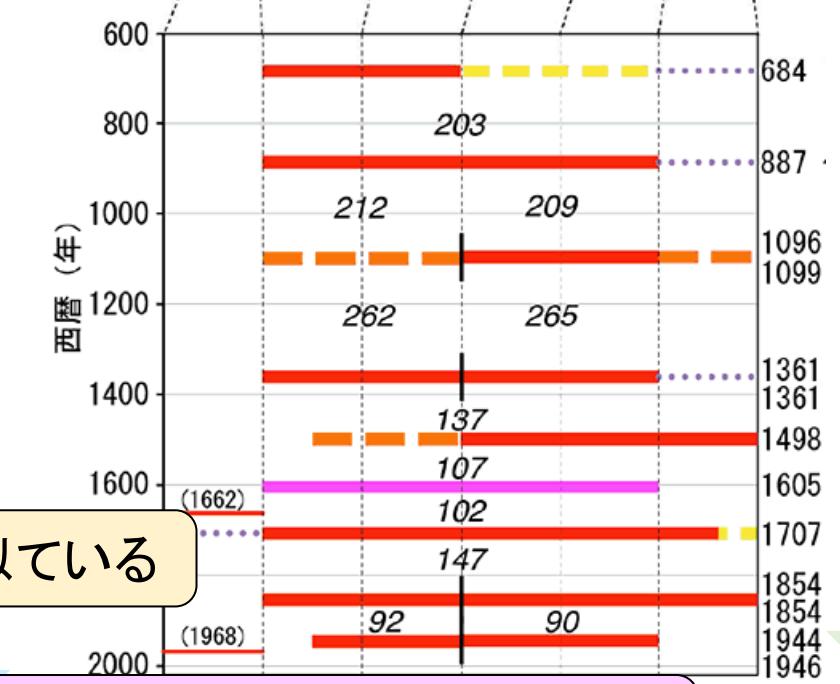
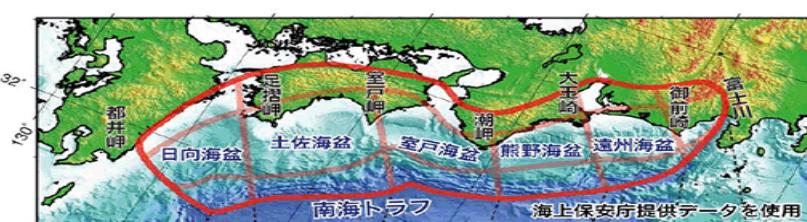
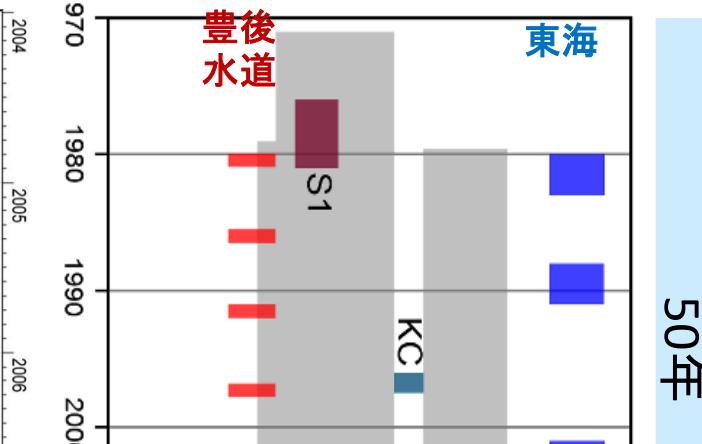
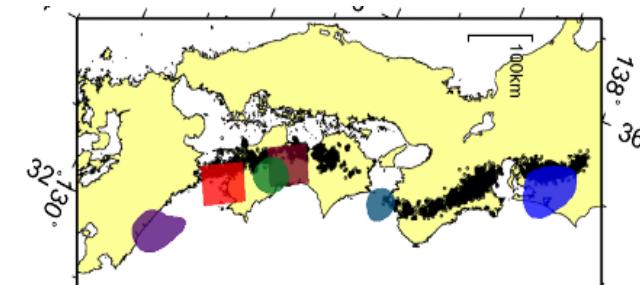
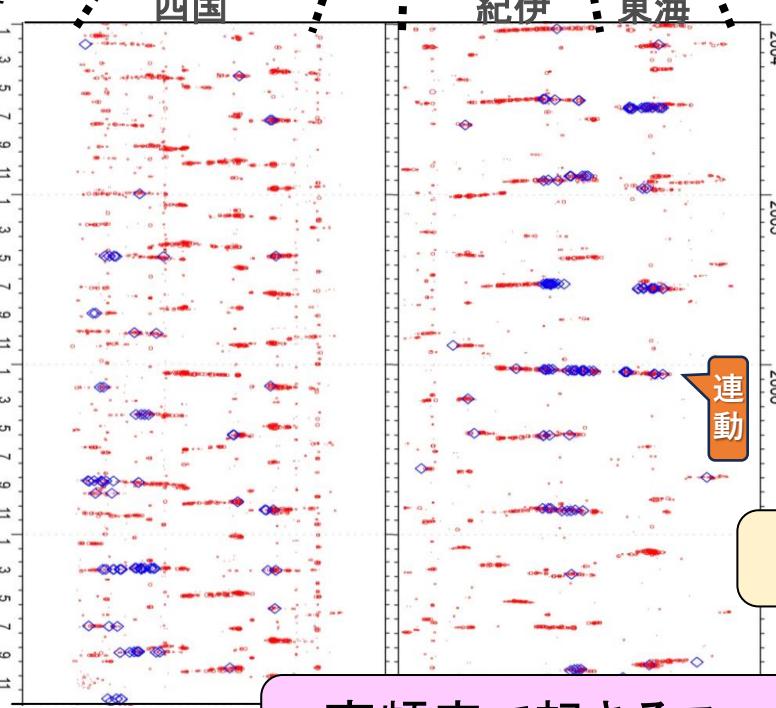
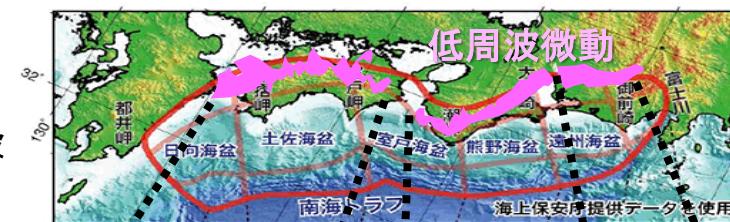
スロー地震と巨大地震との類似性(多様性を含む活動様式)

深部低周波微動 : 0.2~0.5 年

長期的SSE : 5~10 年

南海トラフ巨大地震 : 100~200 年

- 低周波微動
- ◆ 超低周波地震

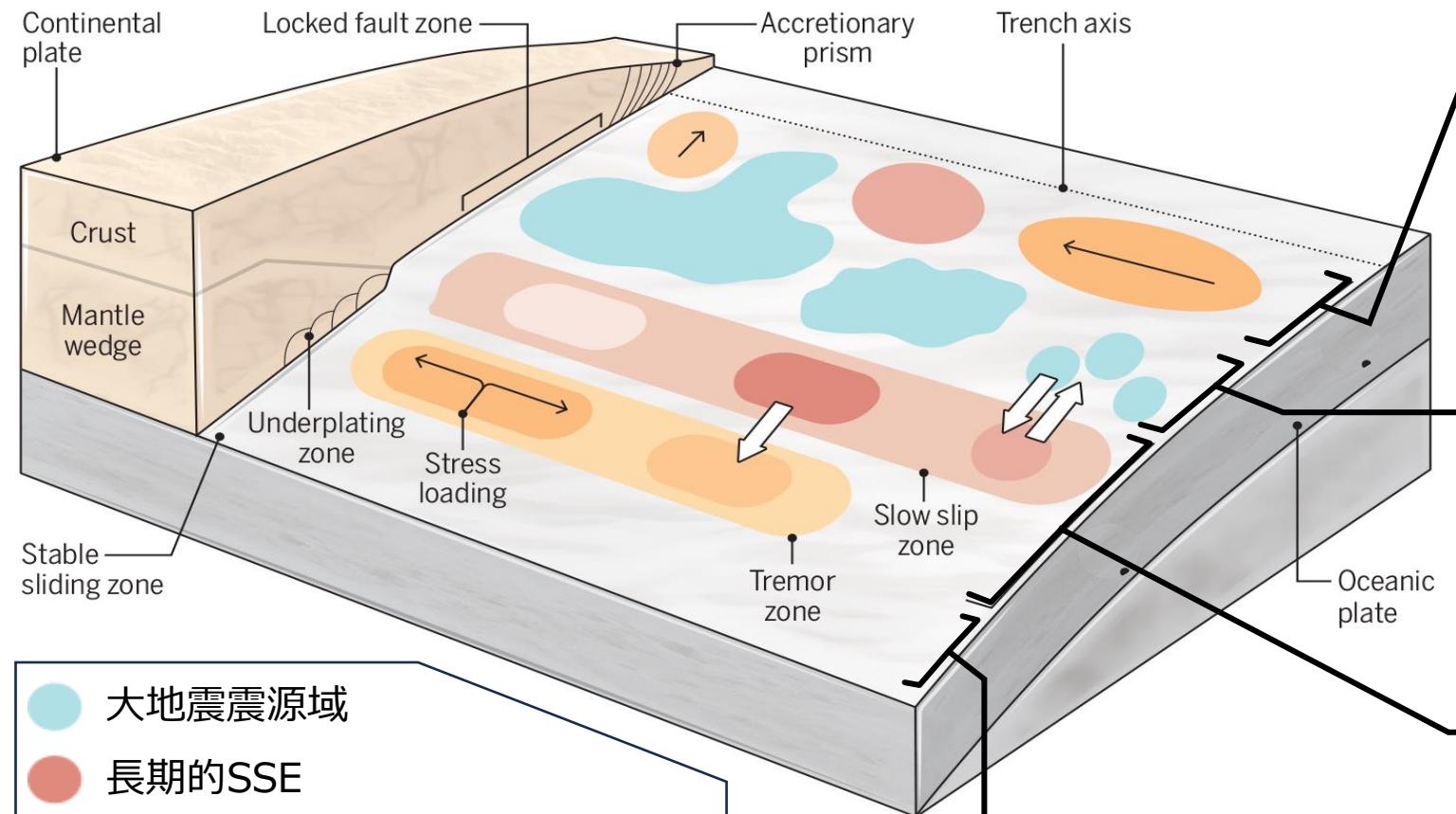


生きる、を支える科学技術
高頻度で起きるスロー地震の活動様式を解明できれば、巨大地震の理解に貢献

(Kobayashi, 2014)

南海トラフの長期
詳解」 https://www.jishin.go.jp/resource/column/konyo07_kohyo_07/

巨大地震震源域を縁取るスロー地震の特徴



- 大地震震源域
- 長期的SSE
- ETS（短期的SSE + 低周波微動 + 超低周波地震）

Obara (2025, Science)に加筆修正

● ● ● 浅部スロー地震発生域

- ・ 同様の深さで多様なすべり現象が混在
- ・ スロー地震の発生間隔は不規則

浅部は不均質性が強く活動が複雑

● 固着域（大地震震源域）

- ・ 固着域の大きさは場所によって異なる
- ・ 日向灘では複数のM7級アスペリティが存在

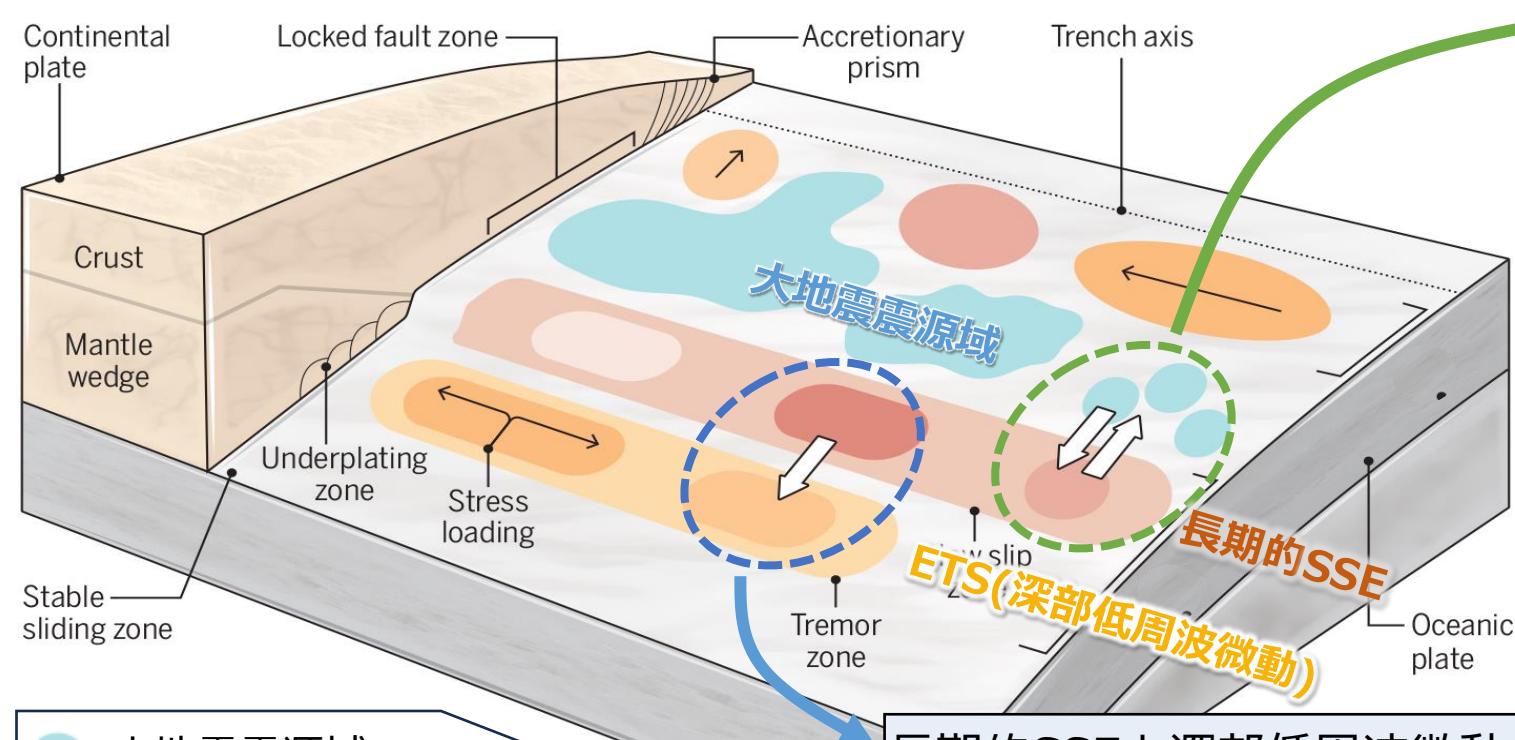
● ● 深部スロー地震域

- ・ 長期的SSEとETSは深さで棲み分け、走向方向に広がる
- ・ 複数のセグメントに分かれ、各セグメント固有の周期で発生

深部は不均質が弱く概ね規則的

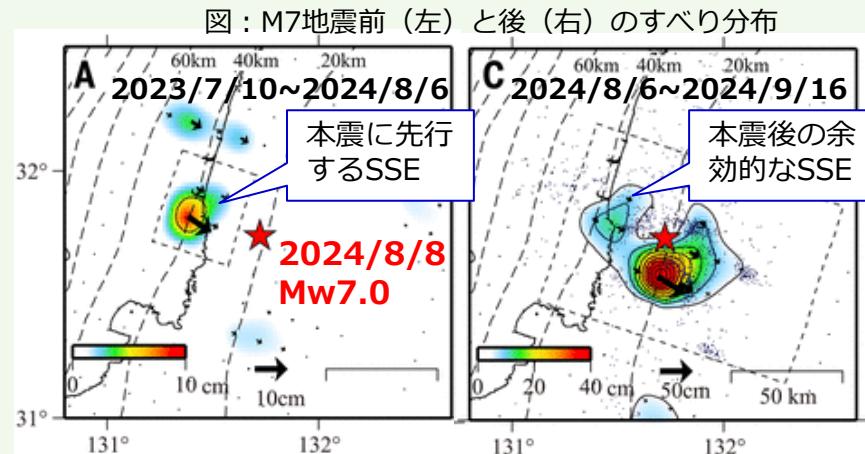
安定すべり域

スロー地震間およびスロー地震と大地震との相互作用



Obara (2025, Science)に加筆修正

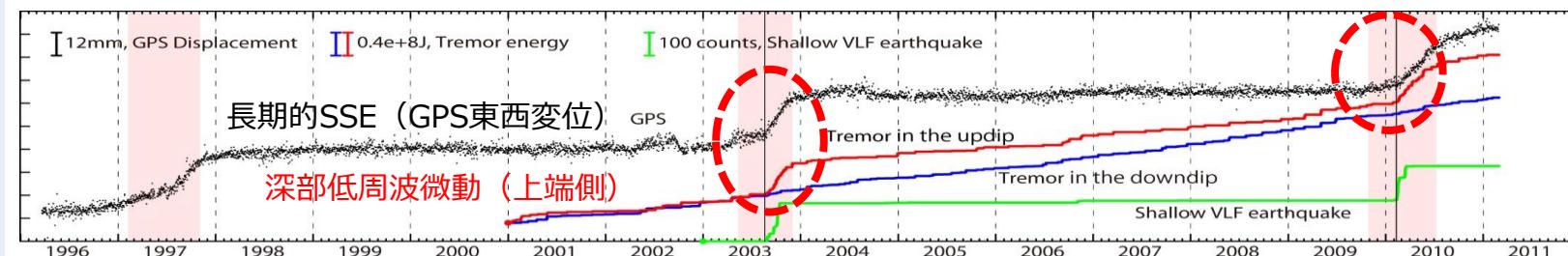
長期的SSEとM7地震との双方向の相互作用 (日向灘) Ozawa et al.(2025, Science)



- ・深部側の長期的SSEによる応力載荷でM7地震が発生
- ・M7地震による応力再配分で深部側の長期的SSEを誘発

長期的SSEと深部低周波微動の相互作用 (豊後水道) Hirose et al.(2010, Science)

図：豊後水道周辺域における15年間のスロー地震活動時系列



2003年と2010年に長期的SSEが発生 → 隣接する深部低周波微動を誘発 → 巨大地震にも影響？

南海トラフにおけるスロー地震の意義

スロー地震の役割

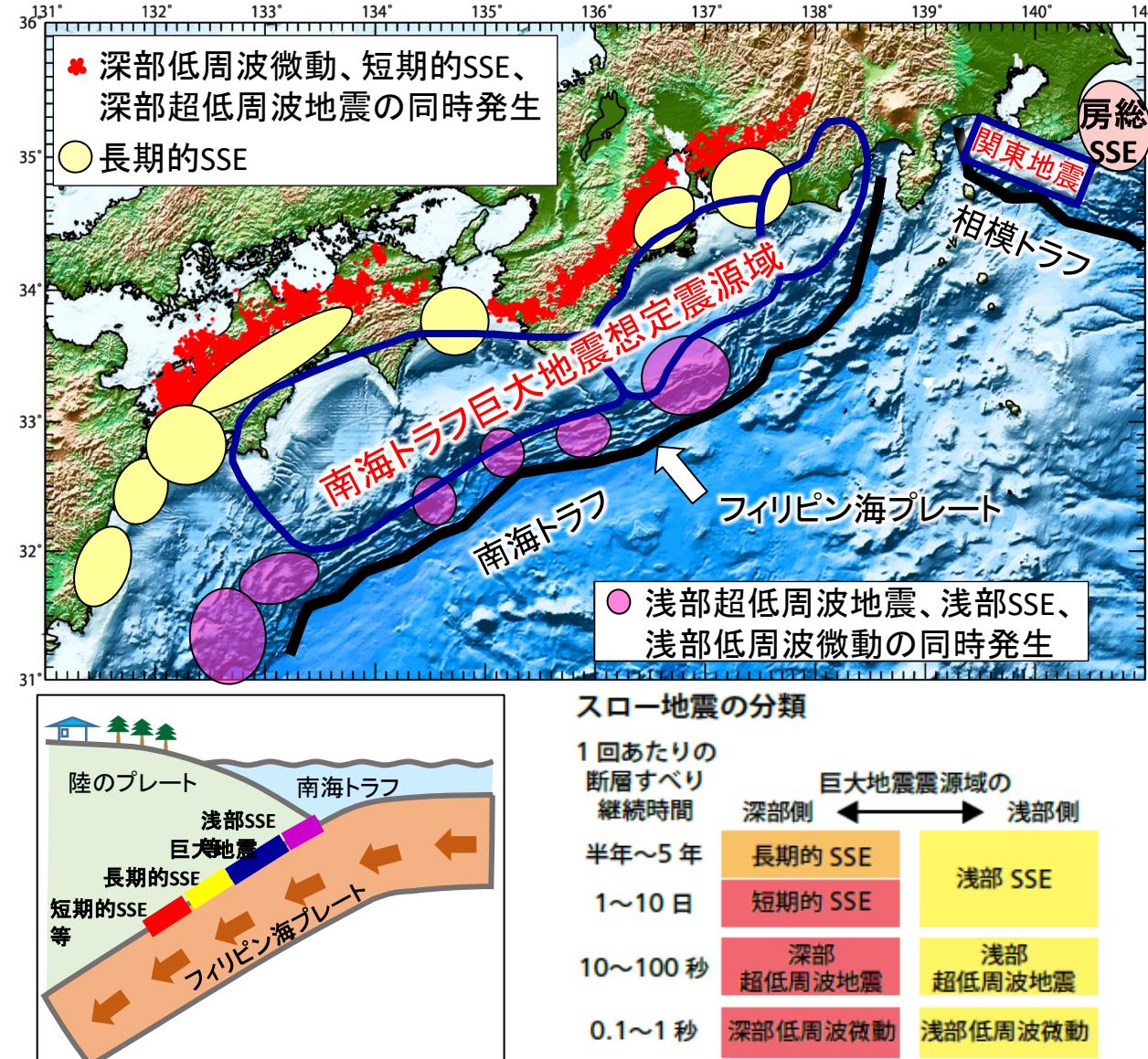
- プレート境界すべりのインディケーター
- 応力載荷によって巨大地震発生を促進

◎ **長期的・短期的SSEは測地学的モニタリングによる直接計測が可能**

※ 小規模の短期的SSEは傾斜計等での検出も困難

◎ **低周波微動などの地震学的モニタリングによる短期的SSEの間接的把握が可能**

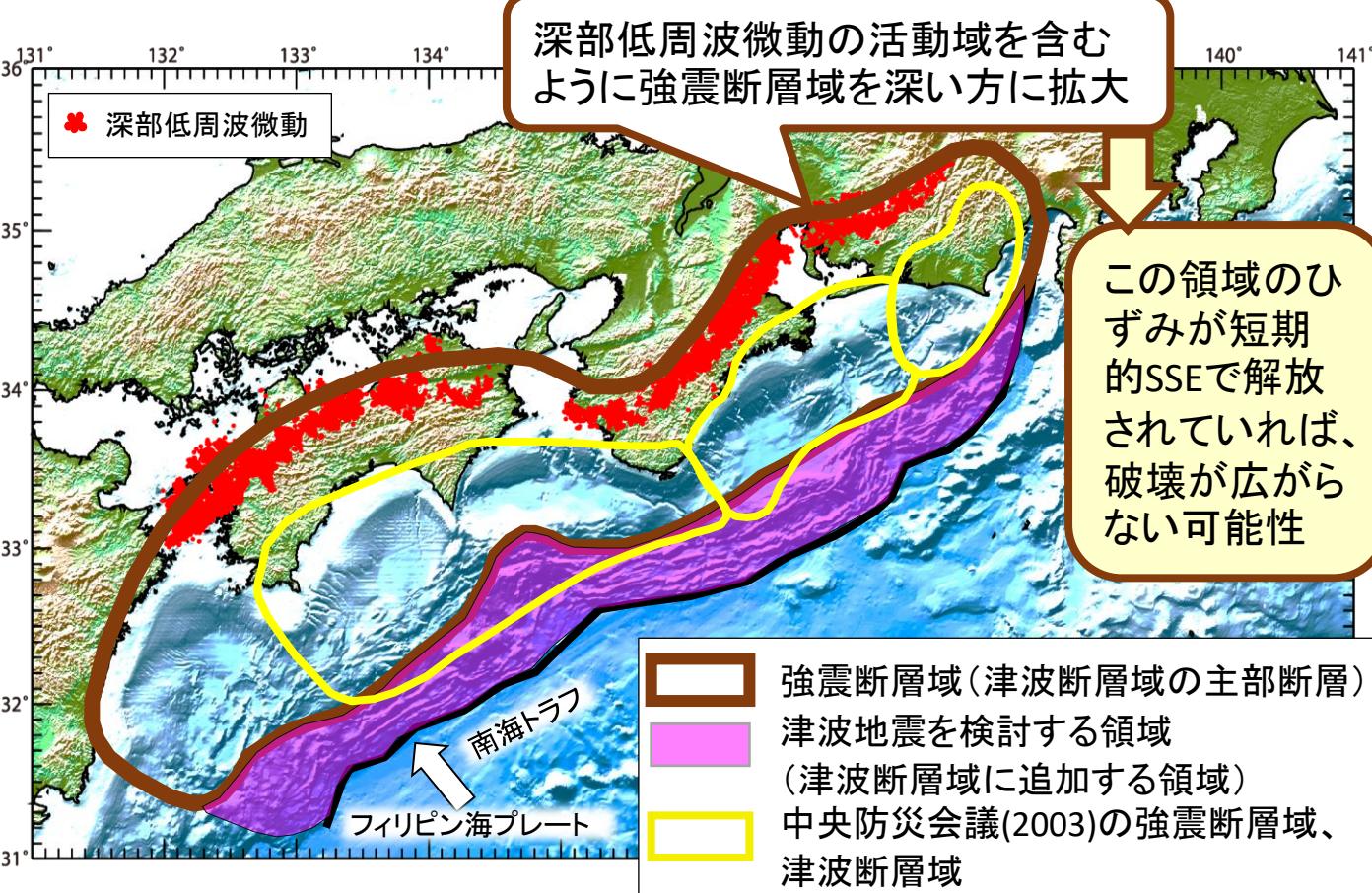
スロー地震と巨大地震との相互作用の観点からすべてのスロー地震の把握が特に重要



日経サイエンス2024年11月号「スロー地震を監視せよ」より

南海トラフ巨大地震対策へのスロー地震研究の貢献

強震断層域最大クラス想定への活用



南海トラフ地震臨時情報への活用



「「南海トラフ地震に関する情報」の情報発表の流れ（気象庁）」に加筆



南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会(気象庁)

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/jishin/nteq/info_criterion.html

まとめ(今後の展望と課題)

【スロー地震】

- ・スロー地震はプレート境界遷移域でのすべりを示す現象
- ・地震現象そのものの理解のため、その解明は学術的にも重要
- ・巨大地震の切迫性の評価のため、その解明は社会的にも重要

【観測網】

- ・学術と社会貢献の基盤として、今後の維持・発展は必要不可欠
- ・観測技術の継承が課題、新たな観測技術の開発にも期待
- ・特に、海域観測網の充実・発展に期待（光ファイバの活用等）

生きる、を支える科学技術

SCIENCE FOR RESILIENCE



防災科研