

SCIENCE FOR RESILIENCE



日本海溝海底地震津波観測網(S-net)の概要と 日本海溝・千島海溝沿いのスロー地震活動

防災科学技術研究所 汐見勝彦

1. 日本海溝海底地震津波観測網 S-net

(Aoi *et al.*, 2020; <https://www.seafloor.bosai.go.jp/>)

- 観測網概要
- 警報への活用
- 微小地震検知率と震源決定精度への貢献

2. 日本海溝・千島海溝沿いで発生するスロー地震活動

- 陸域観測網による検出 (Asano *et al.*, 2008; Matsuzawa *et al.*, 2015; Baba *et al.*, 2020)
- S-netデータを用いた検出と巨大地震震源域との時空間対比
(Tanaka *et al.*, 2019; Nishikawa *et al.*, 2019; Kubo & Nishikawa, 2020)

1. 日本海溝海底地震津波觀測網 S-net

参考文献:

Aoi, S. *et al.* (2020) *Earth, Planets and Space*, 72:126, <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01250-x>

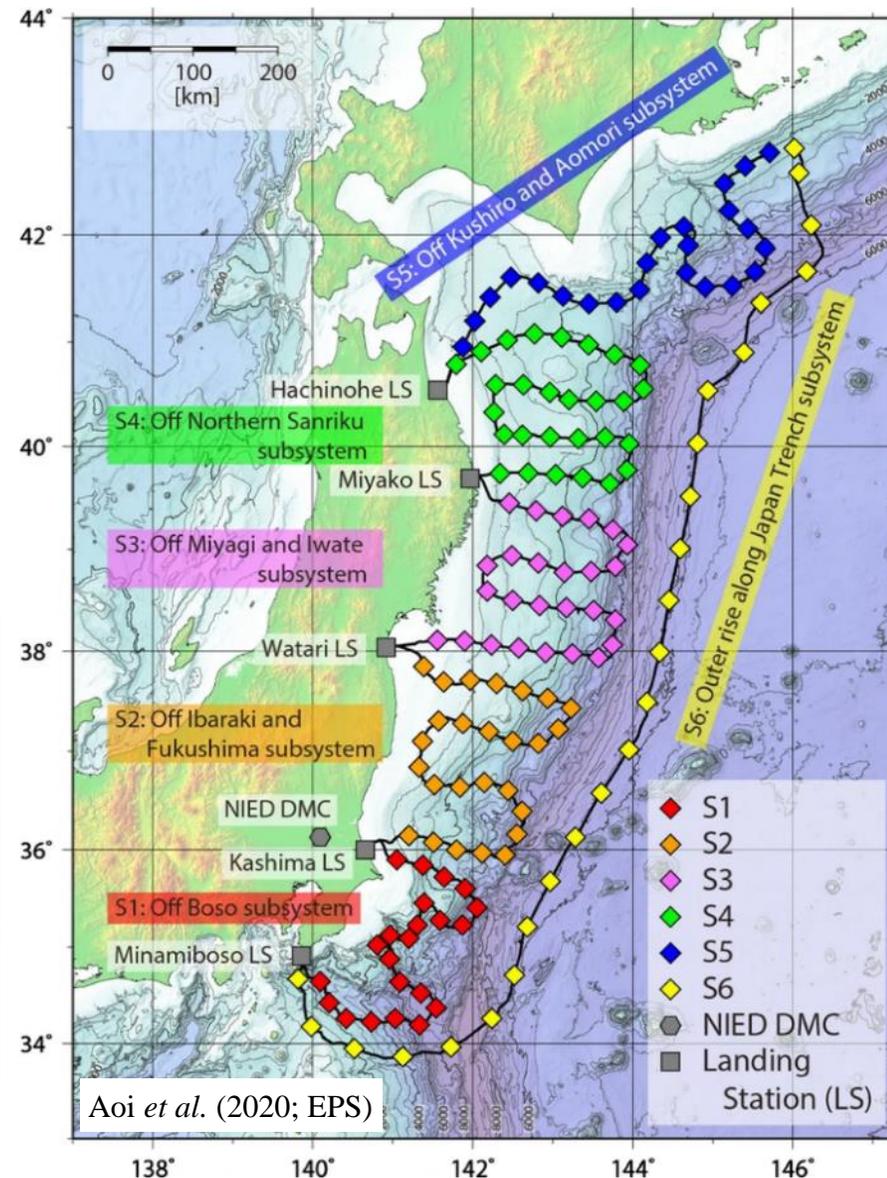
防災科研海底地震津波觀測網 Web, <https://www.seafloor.bosai.go.jp/S-net/>

S-netの概要

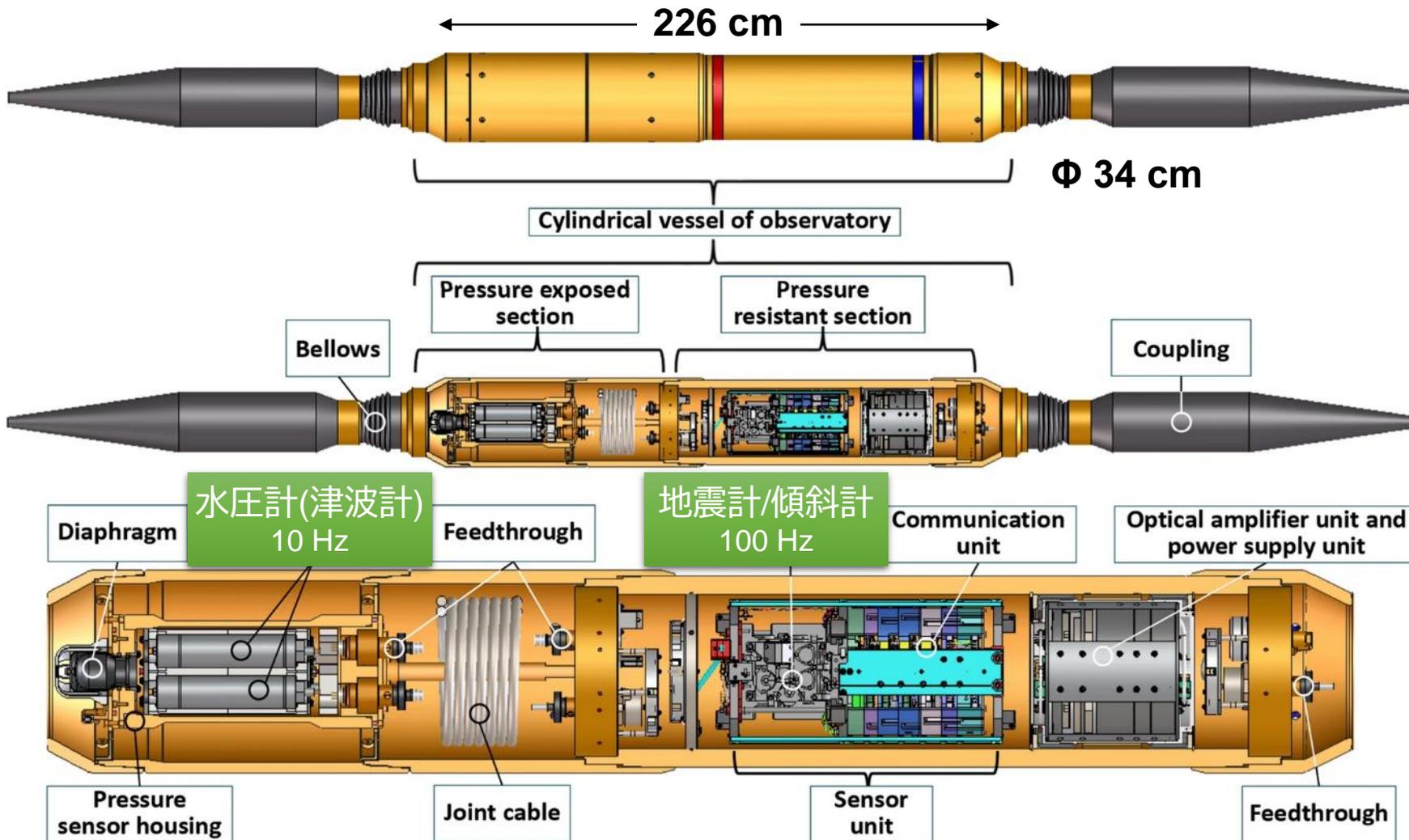
- S1~S6の6つの観測システム(サブシステム)から構成
- 2016年5月にS1~S5、2017年4月にS6の運用を開始
- 各サブシステムでは、22~28の観測点(観測装置)をケーブル接続(インライン型)。全体で150観測点から構成
- 観測点の間隔は30 ~ 60 km
- 観測データは海底ケーブル経由で陸上局(LS)に24時間連続送信
- 陸上局にて地上のIP-VPN回線に接続し、防災科研のほか、気象庁や研究機関(大学等)にリアルタイムで送信
- インフラ事業者や自治体へ観測データのリアルタイム送信も実施
防災対策に活用中



S-net観測点およびLSの分布



S-net 観測点の構成



搭載センサー

- サーボ型3成分加速度計(±5g)
- サーボ型3成分加速度計(±2g)
→ 増幅により、測定範囲を±0.0625g
としたデータも取得
- 3成分短周期(15Hz)速度型地震計
- 3成分傾斜計
(周波数出力型3成分加速度計; ±2g)
- 以上、各1式
- 水圧計(津波計): 2式

Aoi et al. (2020; EPS) に加筆

気象庁による緊急地震速報 / 津波警報への活用

海底地震津波観測網整備によって確保された
地震波(P波)と津波の第一波検知時間のリードタイム(数値計算による)



緊急地震速報への活用

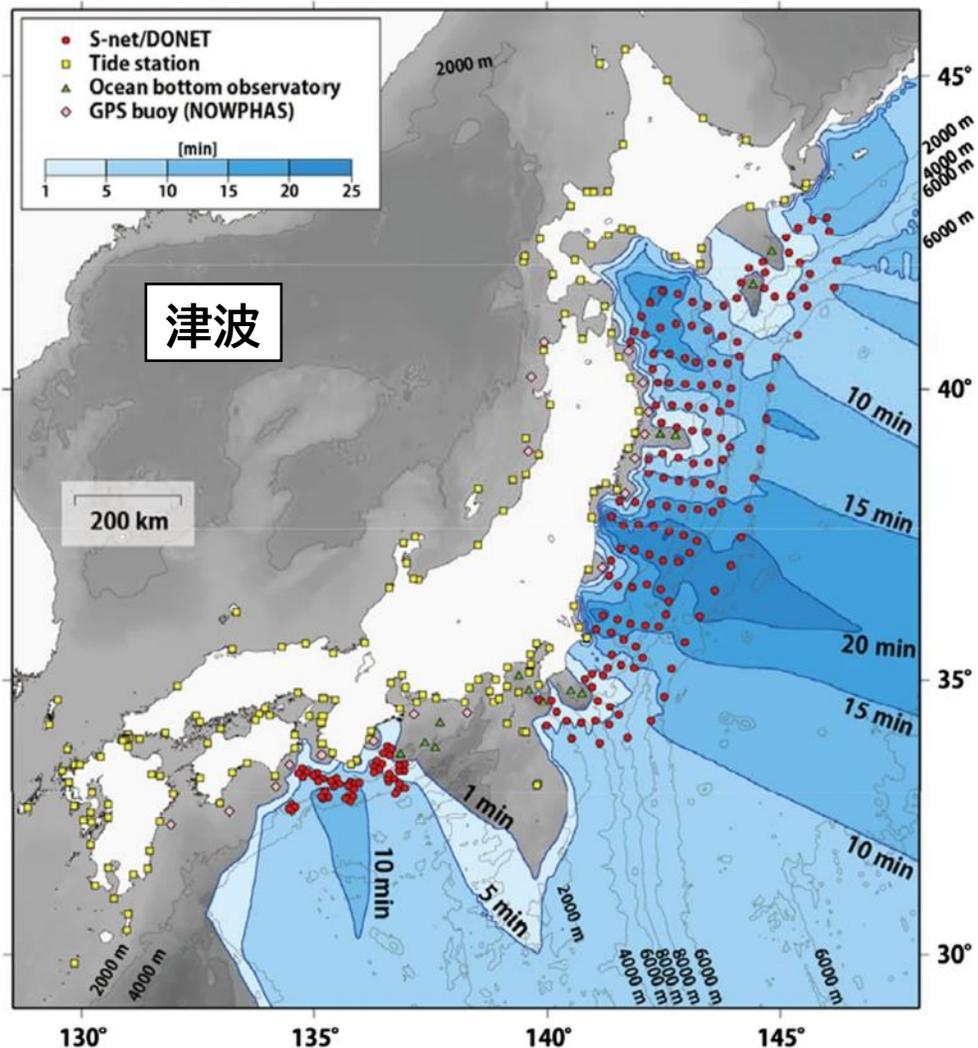
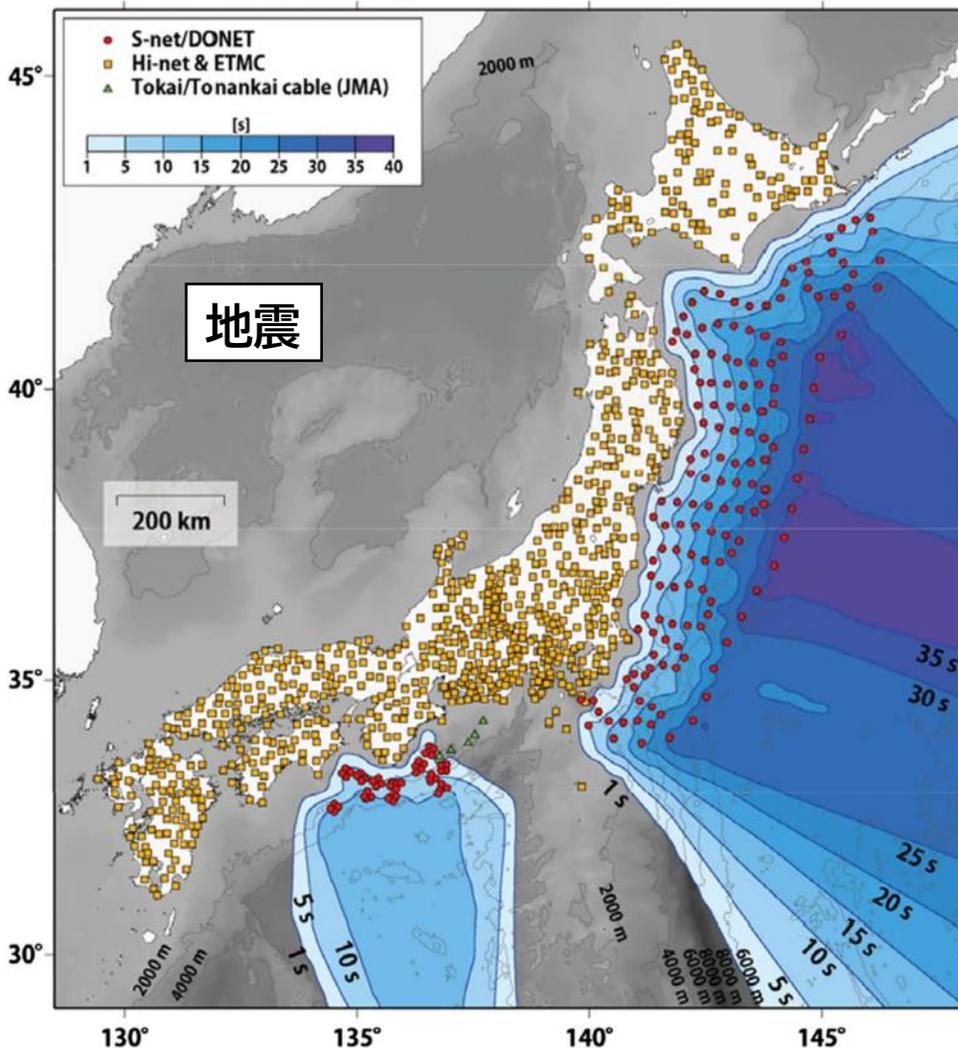
S1~S5: 2019/06/27 ~

S6: 2020/03/24~

津波情報への活用

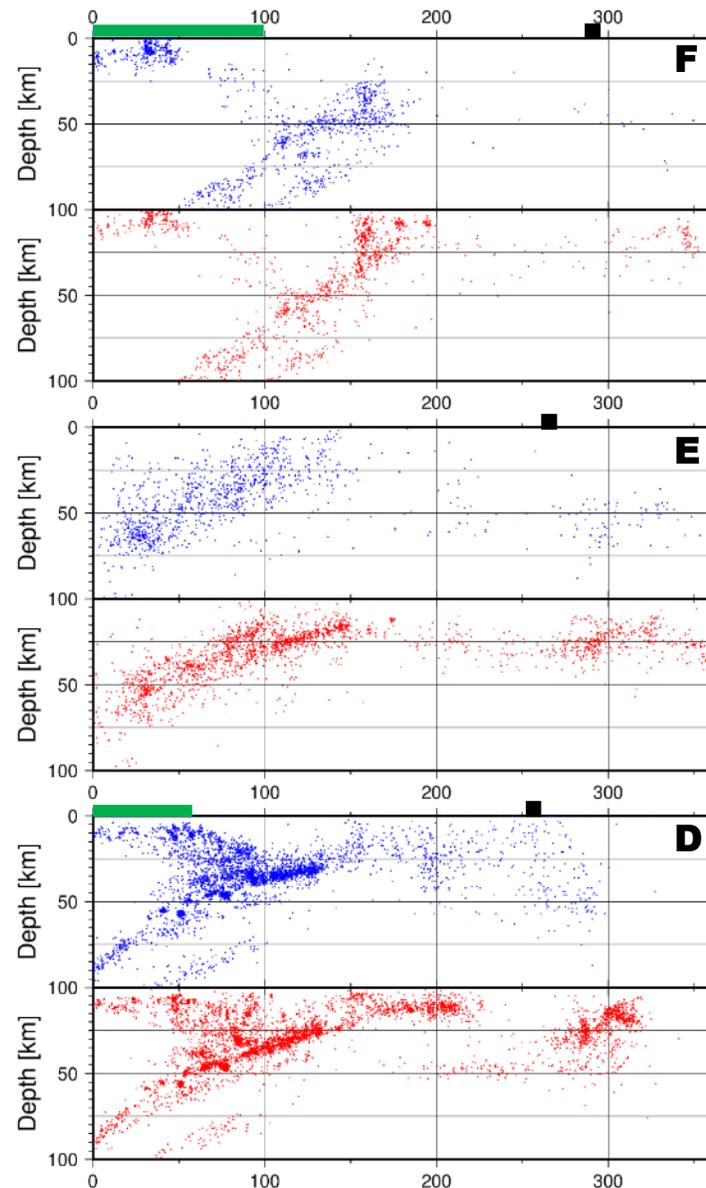
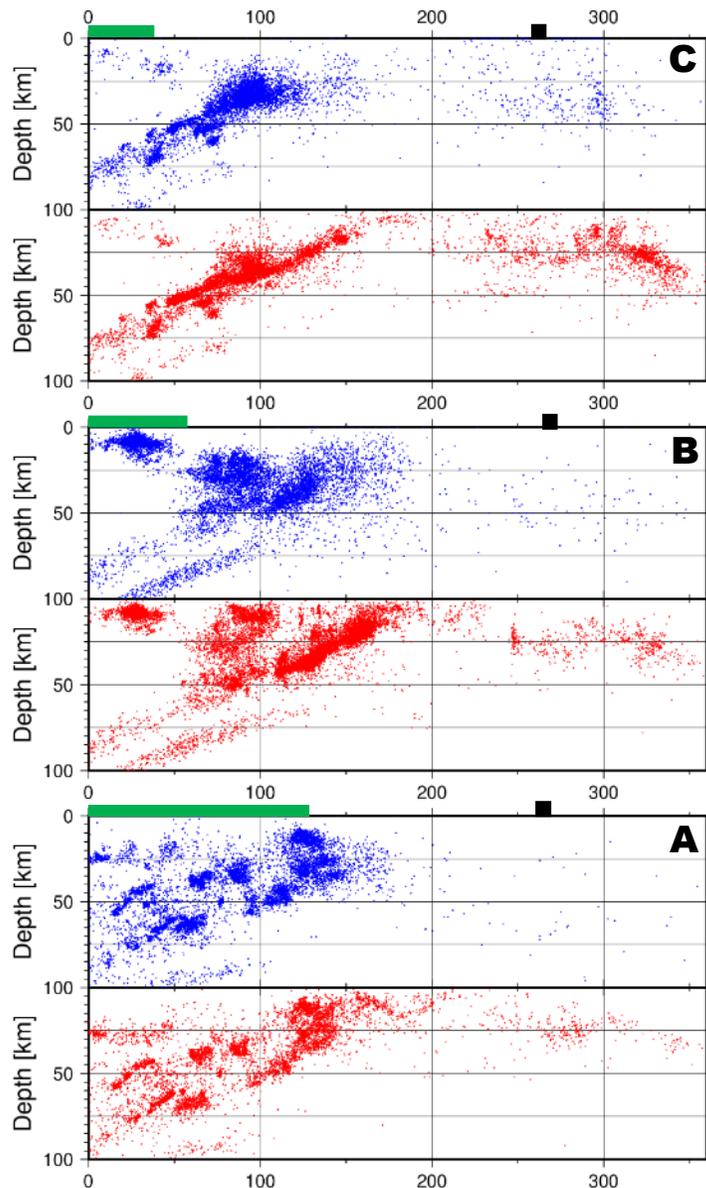
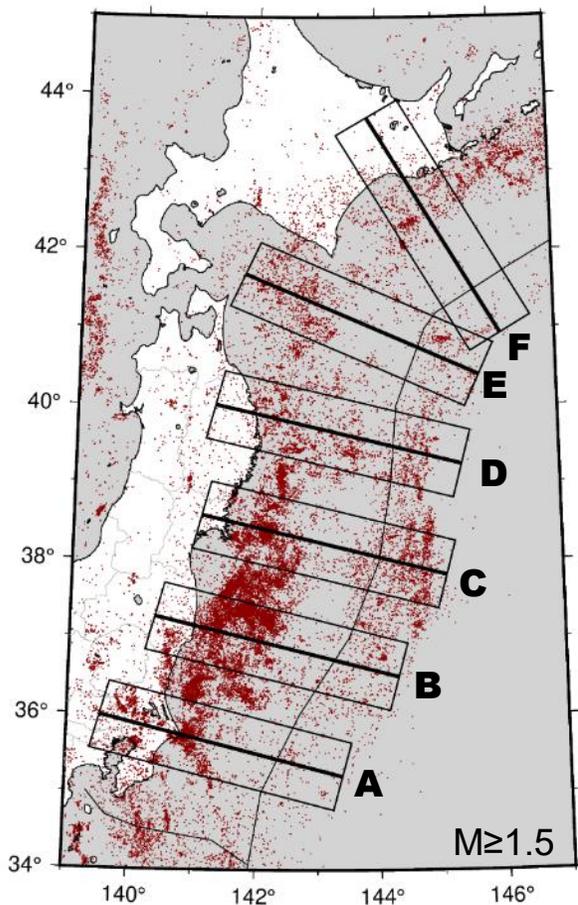
S1~S5: 2016/07/28 ~

S6: 2017/11/16~



微小地震検知率と震源決定精度の向上

JMA Catalog: 2019/10-2021/07



- 沖合(距離~200 km)で発生する地震の震源の面状分布が明確化
- 海溝軸付近(はるか沖)の検知率の向上
- より詳細な海域特有の地下構造反映が必要

■ 海溝軸概略位置

■ 陸域

● 2019/10~2020/08
(S-net導入前; $M \geq 0.0$)

● 2020/09~2021/07
(S-net導入後; $M \geq 0.0$)



一元化震源カタログへの活用

2020/09/01~

SCIENCE FOR RESILIENCE

防災科研
NIED

2. 日本海溝・千島海溝沿いで発生する スロー地震活動

参考文献:

Asano, Y. *et al.* (2008) *Earth, Planets and Space*, **60**, 871–875, <https://doi.org/10.1186/BF03352839>

Matsuzawa, T. *et al.* (2015) *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 4318–4325, <https://doi.org/10.1002/2015GL063959>

Baba, S. *et al.* (2020) *J. Geophys. Res.*, **125**, e2019JB017988, <https://doi.org/10.1029/2019JB017988>

Tanaka, S. *et al.* (2019) *Geophys. Res. Lett.*, **46**, 5217–5224, <https://doi.org/10.1029/2019GL082817>

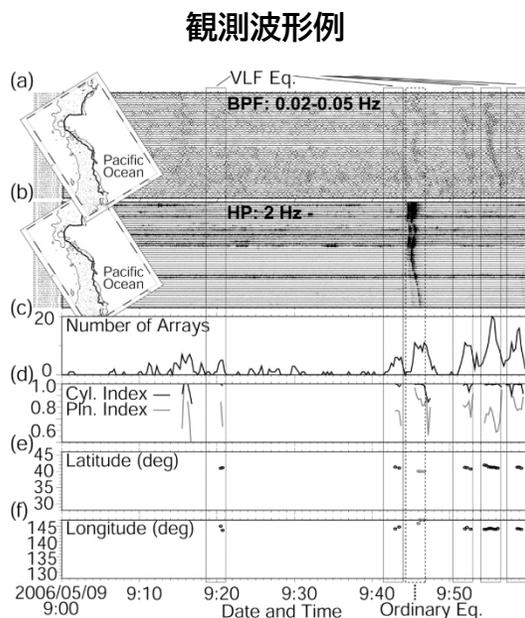
Nishikawa, T. *et al.* (2019) *Science*, **365**, 808–813, <https://doi.org/10.1126/science.aax5618>

Kubo, H. & Nishikawa, T. (2020) **10**, 12044, *Scientific Reports*, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68692-x>

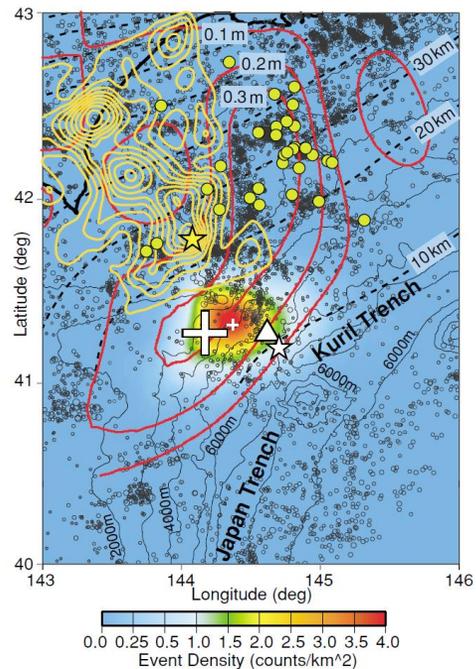
陸域観測網で検知されたスロー地震(1)

十勝沖浅部超低周波地震(VLFE) (Asano *et al.*, 2008)

- 防災科研Hi-netに併設された高感度加速度計データにアレイ解析を適用し、コヒーレントな波群を抽出
- 解析期間: 2003/7~2007/12
- 解析帯域: 0.02-0.05 Hz
- 2003年十勝沖地震後、すべり域の浅部で活発な活動を検知。以降も断続的な活動を継続

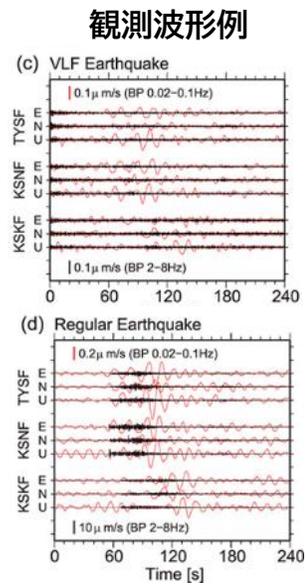


浅部超低周波地震の活動頻度と十勝沖地震による地震時すべり・余効変動

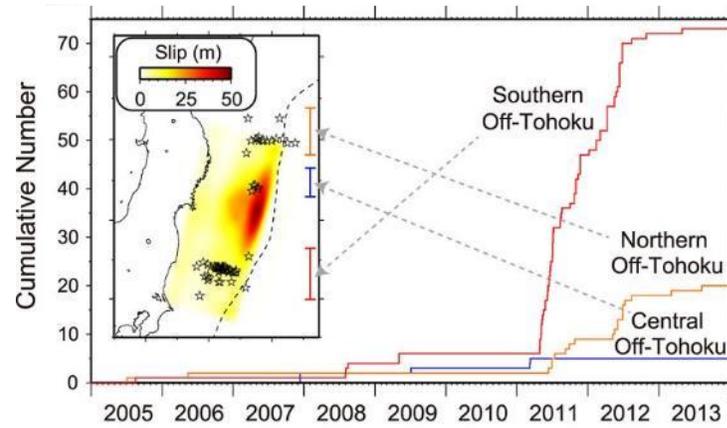


東北地方太平洋沖VLFE (Matsuzawa *et al.*, 2015)

- 防災科研F-net観測波形の目視によりVLFEを発見
- CMT解析により、海溝軸に直交する方向に圧縮軸を持つ逆断層型の発震機構を持つことを確認
- F-net及びHi-net併設高感度加速度計データを対象とした相互相関解析により、イベント検出、震源位置の決定を実施
- 解析帯域: 0.02-0.1 Hz
- 2011年東北地方太平洋沖地震後、北緯40°付近の活動は停止。それ以外の活動は活発化



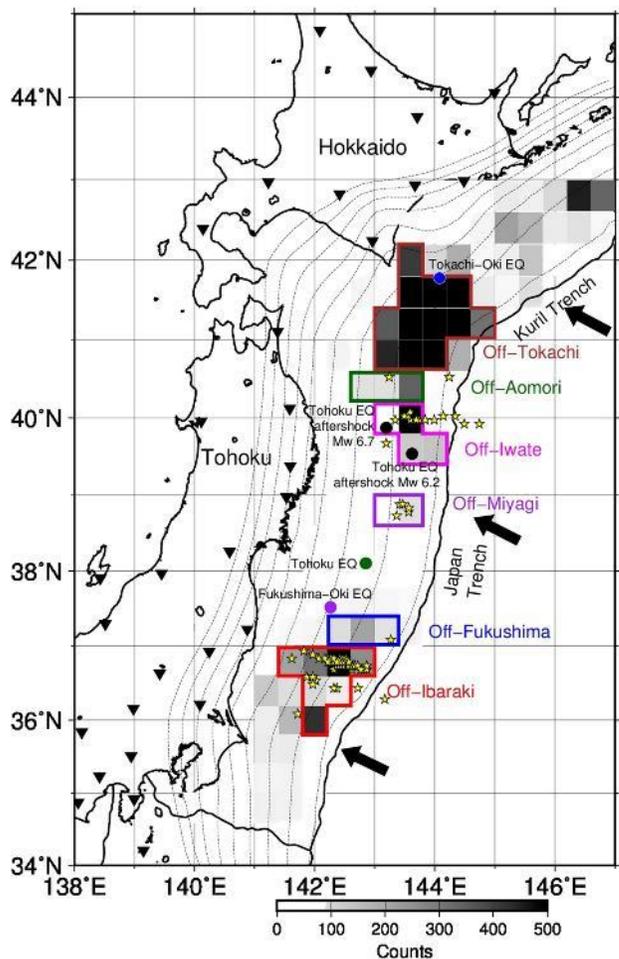
東北地方太平洋沖地震時のすべり分布と超低周波地震活動



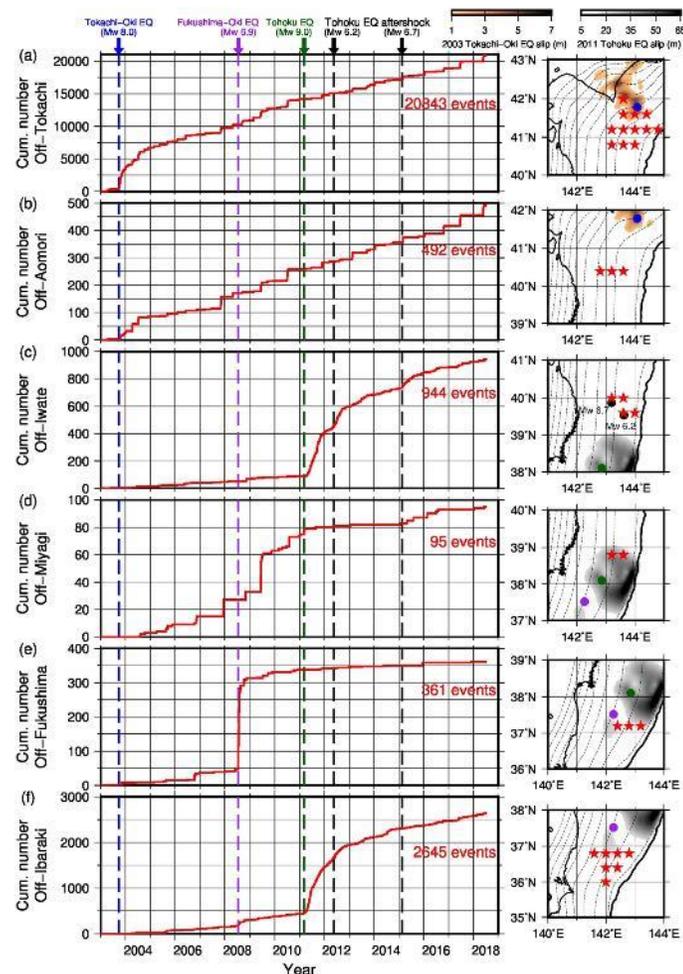
陸域観測網で検知されたスロー地震(2)

北海道・東北地方太平洋沖におけるVLFEの網羅的検出 (Baba *et al.*, 2020)

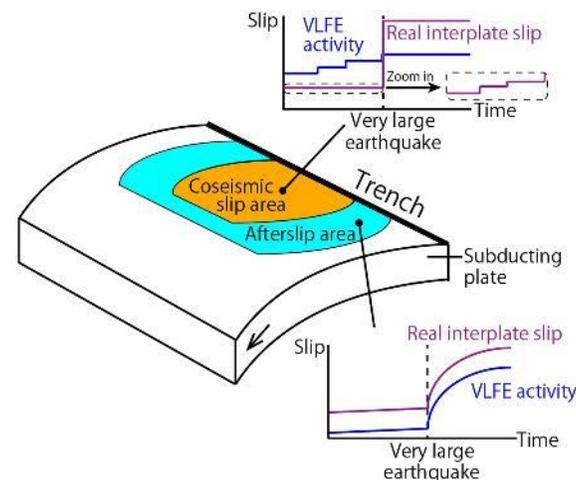
VLFE検出数の分布



各地域におけるVLFE活動度の時間変化



- 3次元地震波速度構造を用いた理論波形 + F-net波形データによるマッチドフィルター法でVLFEを網羅的に検出
- 解析期間: 2003/1~2018/7
- 解析帯域: 0.02-0.05 Hz
- 十勝沖、岩手県沖、茨城県沖: 巨大地震後のアフタースリップに伴うVLFE発生数の急激な増加
- 宮城県沖~福島県沖: 東北地方太平洋沖地震後にVLFE活動の静穏化
- 十勝沖地震後の十勝沖~青森県沖、東北地方太平洋沖地震前の宮城県沖: 数ヶ月~1年程度の間隔でVLFEがバースト的に発生

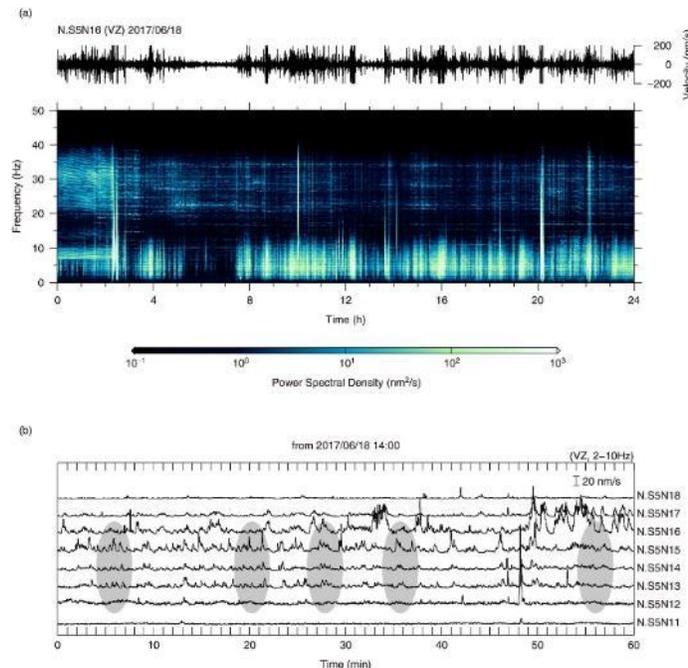


S-netで検知された低周波微動

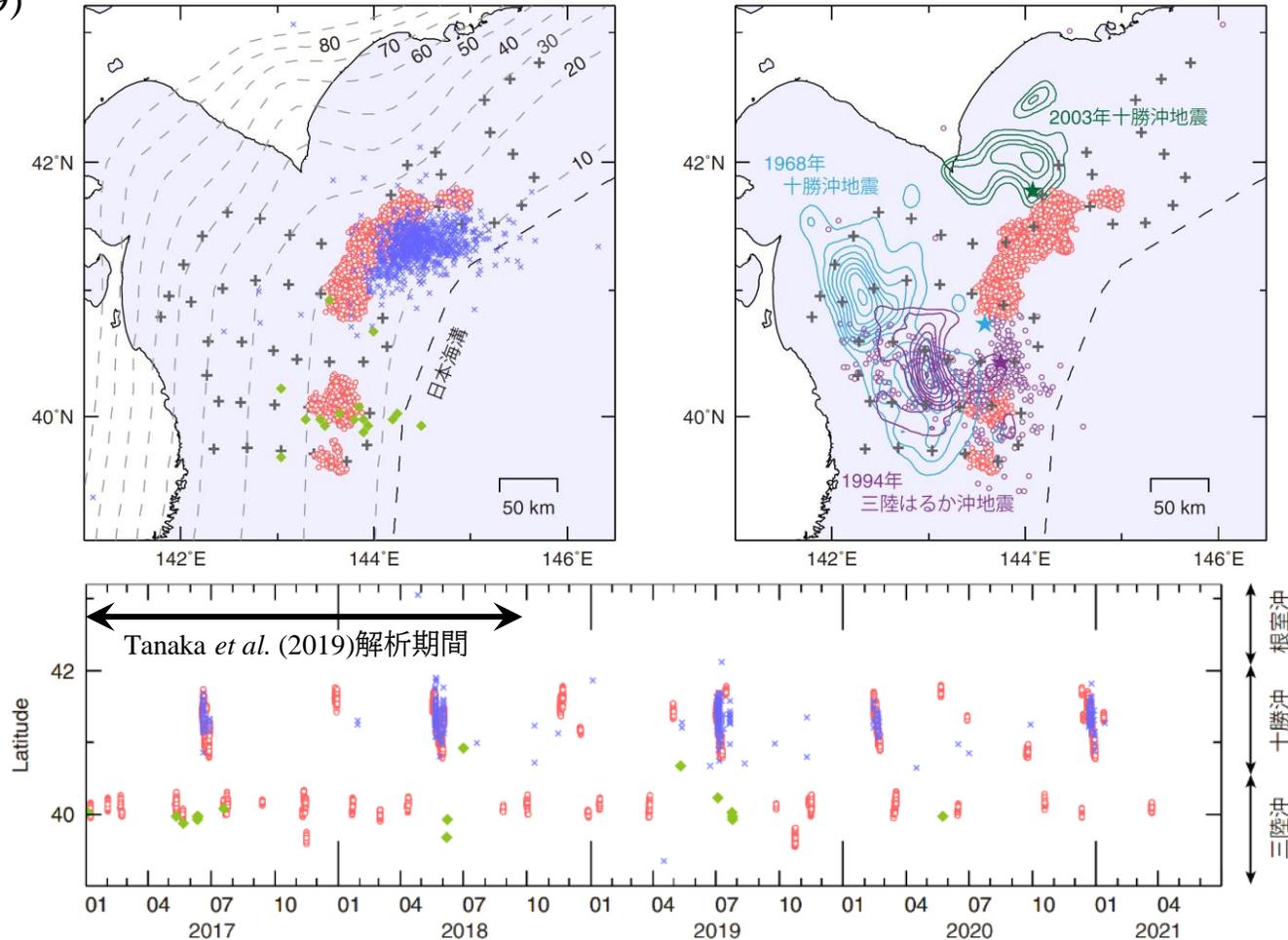
十勝沖～三陸沖北部の低周波微動活動 (Tanaka *et al.*, 2019)

- S-net(S4とS5)のデータにエンベロープ相関法を適用し、海溝軸付近で発生する低周波微動を検出
- 解析帯域: 2-10 Hz
- 低周波微動源: 海溝軸に平行な帯状の領域に南北のクラスタを形成
 - 両クラスタの狭間域に、巨大地震の破壊開始域や余震活動が位置
 - 十勝沖: 超低周波地震と同期して発生。活動は数週間継続
 - 三陸沖北部: 半日～5日程度継続。発生間隔も短め(数か月程度)

観測波形例



検知した低周波微動源の時空間分布



田中(2021;私信)

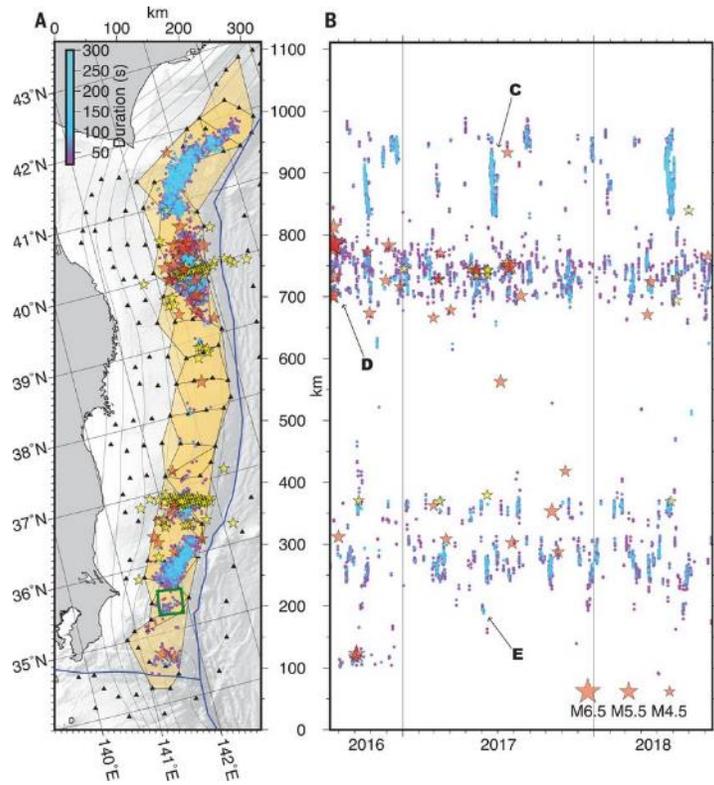
- : S-netデータを用いて求められた微動の震源
- ×: 超低周波地震の震源(アレイ解析による)
- ◆: 超低周波地震の震源(相互相関解析による)
- : 1994年三陸はるか沖地震の余震(本震から1週間, $M \geq 3.0$)

日本海溝のスロー地震分布

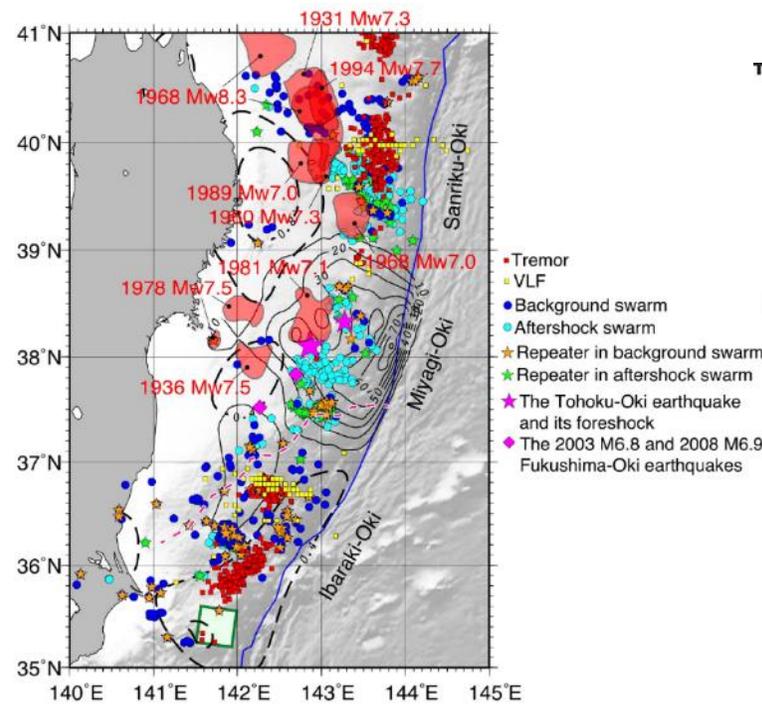
日本海溝全域のスロー地震マップ (Nishikawa *et al.*, 2019)

- S-net データにエンベロープ相関法を適用し、房総沖～十勝沖海域の低周波微動を検出
- スロースリップイベント、超低周波地震、小繰り返し地震、群発地震活動を含めたマッピングを実施
- 岩手県沖、茨城県沖のスロー地震活動は活発であるのに対し、宮城県沖は極めて低調。この領域は東北地方太平洋沖地震の大すべり域に対応
- 1930年以降のM7以上の地震でも、スロー地震多発域の地震時すべりは小さめ ➔ スロー地震多発域はバリアとして作用

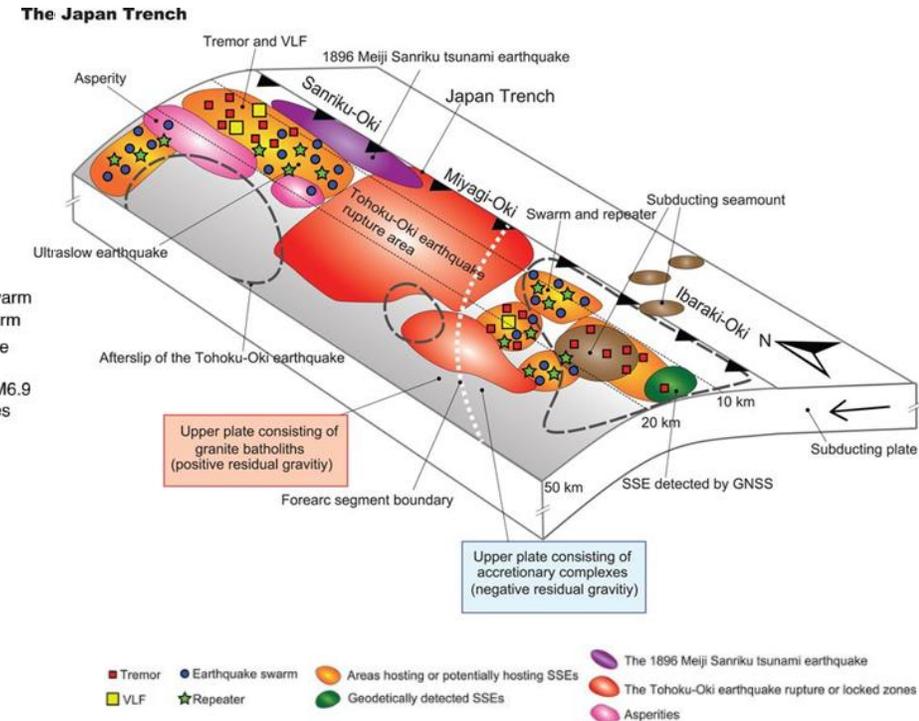
検知された低周波微動の時空間分布



様々なスロー地震の分布と大地震のすべり域



日本海溝における地震現象空間分布の模式図

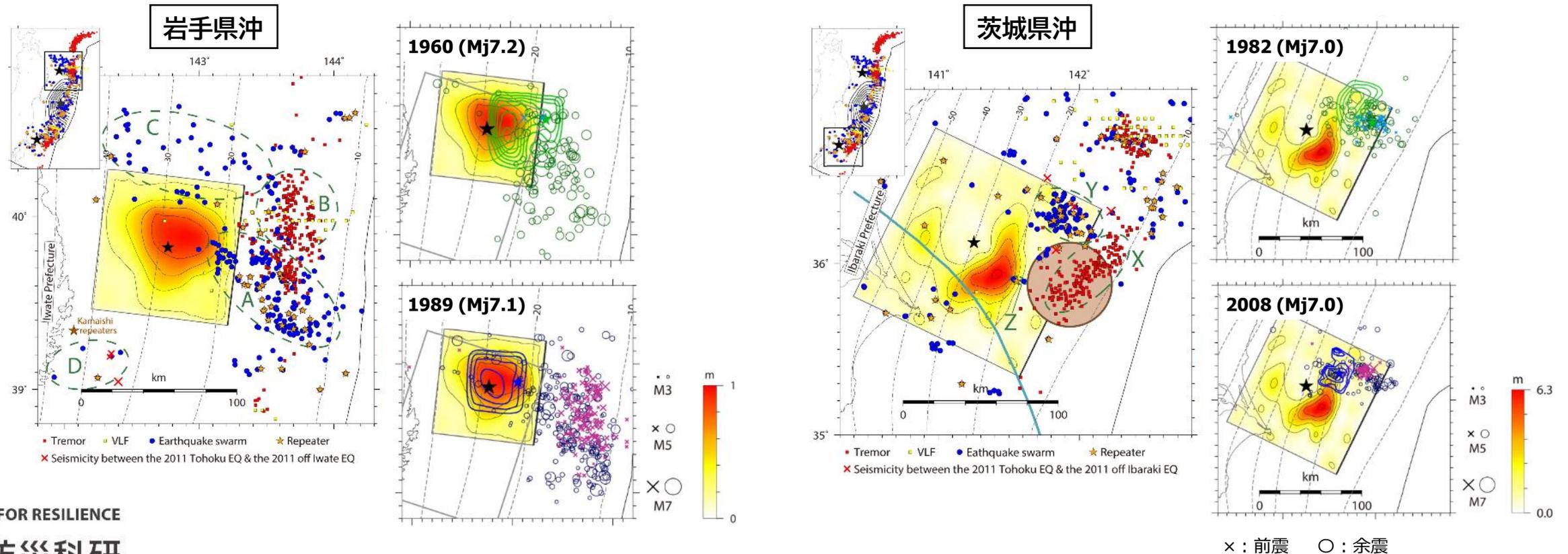


★ 超低周波地震
 ★ 通常の地震 (M>4.5; 気象庁カタログ)
 □ GNSS解析により検出されたSSE

日本海溝のスロー地震分布と大地震の震源域

プレート境界型地震に関連する断層破壊とスロー地震 (Kubo & Nishikawa, 2020)

- 東北地方太平洋沖地震の余震として岩手県沖 (Mj7.4) と茨城県沖 (Mj7.6) で発生したプレート境界型大地震の地震前・地震時・地震後の断層破壊を調査
- 地震時の破壊域はスロー地震活動と空間的に相補関係。その一方で、前震、余震の多くはスロー地震活動域で発生
- 1960年、1989年の岩手県沖の地震、1982年、2008年の茨城県沖の地震も同様の傾向... 両地域で特徴が共通



- 2016年5月より日本海溝海底地震津波観測網S-netの運用を開始
 - 日本海溝・千島海溝沿いの地震津波観測データを24/365でリアルタイム収集
 - 緊急地震速報で30秒、津波検知で20分のリードタイムを確保可能
 - 海域微小地震検知率、震源決定精度向上、スロー地震活動把握に貢献
 - 海溝軸周辺の地震活動把握には課題
 - 日本海溝・千島海溝沿いのスロー地震活動把握
 - 陸域観測網データから、超低周波地震を検知
 - S-netの整備により、低周波微動の高精度検知、詳細震源決定が可能に
 - 巨大地震震源域とスロー地震活動域の明瞭な棲み分け
 - 巨大地震に応じて活動度が変化
- 応力場の変化
- プレート境界での摩擦特性の地域性