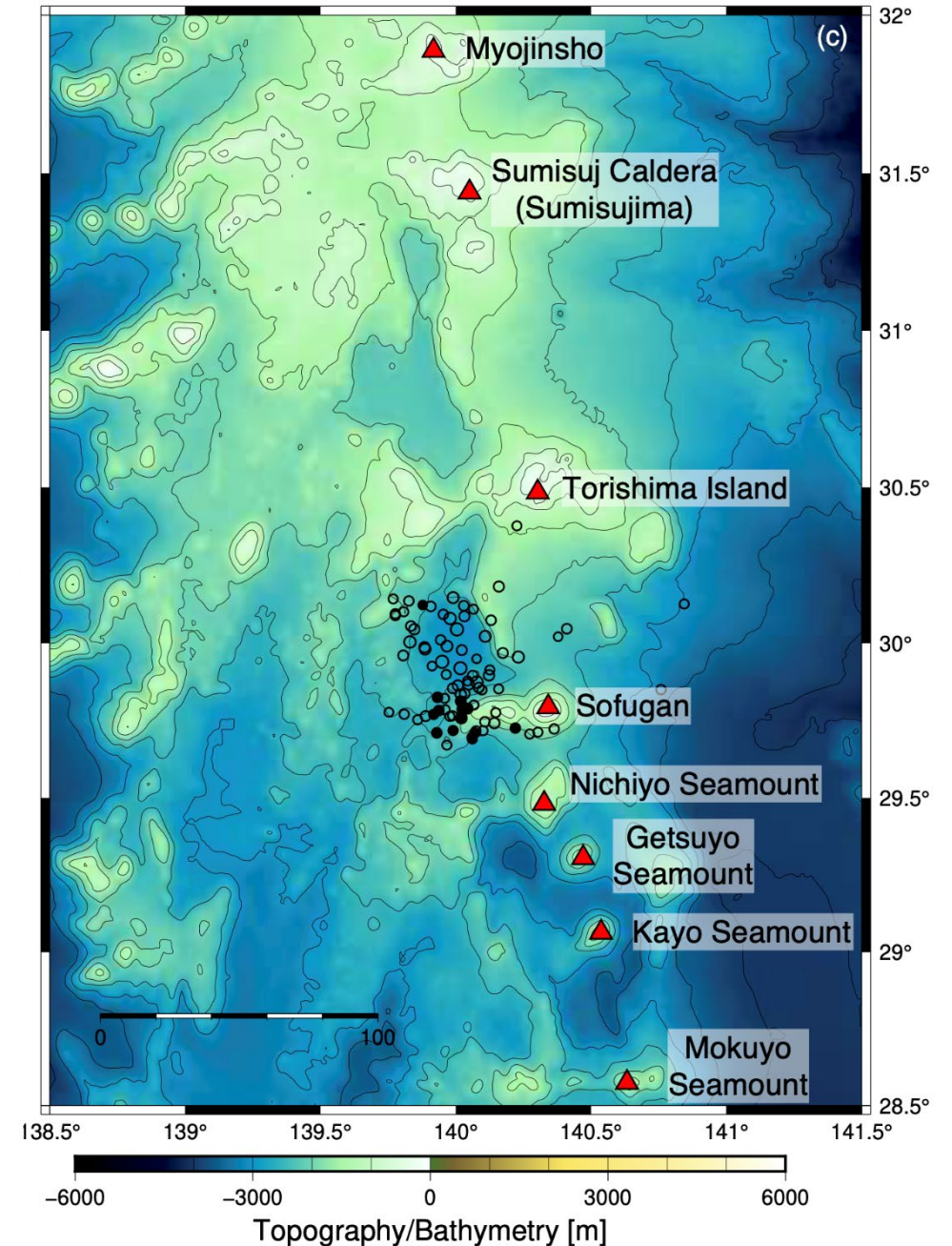


# 2023年10月9日鳥島近海 南西沖で発生した津波についての 初期的解析結果の報告

東大・弘前大

防災科学技術研究所のDONET記録を使用し、気象庁の津波情報、USGSの地震情報を参照させていただきました。

- 10月23日 *AGU Journal · Geophysical Research Letters* に投稿済
- *ESS Open Archive* でプレプリント(査読前原稿)公開  
<https://doi.org/10.22541/essoar.169878726.62136311/v1>



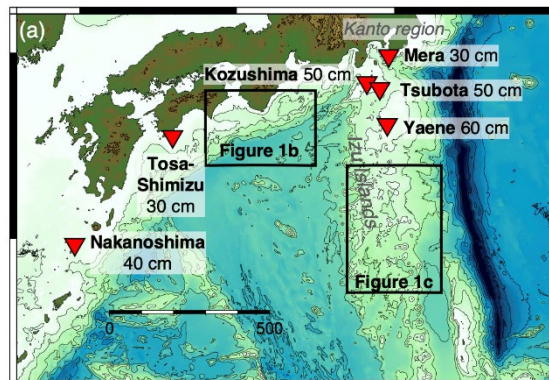
## 10月9日午前6時ごろ、大きな地震を伴わずに、最大60cmの津波が観測

### 観測された津波波高

- 八丈島八重根: 0.6 m
- 三宅島坪田: 0.5 m
- 神津島神津島港: 0.5 m
- 布良: 0.3 m
- 土佐清水: 0.4 m
- 中之島: 0.4 m

### 津波注意報の発表 [消防庁応急対策室 資料]

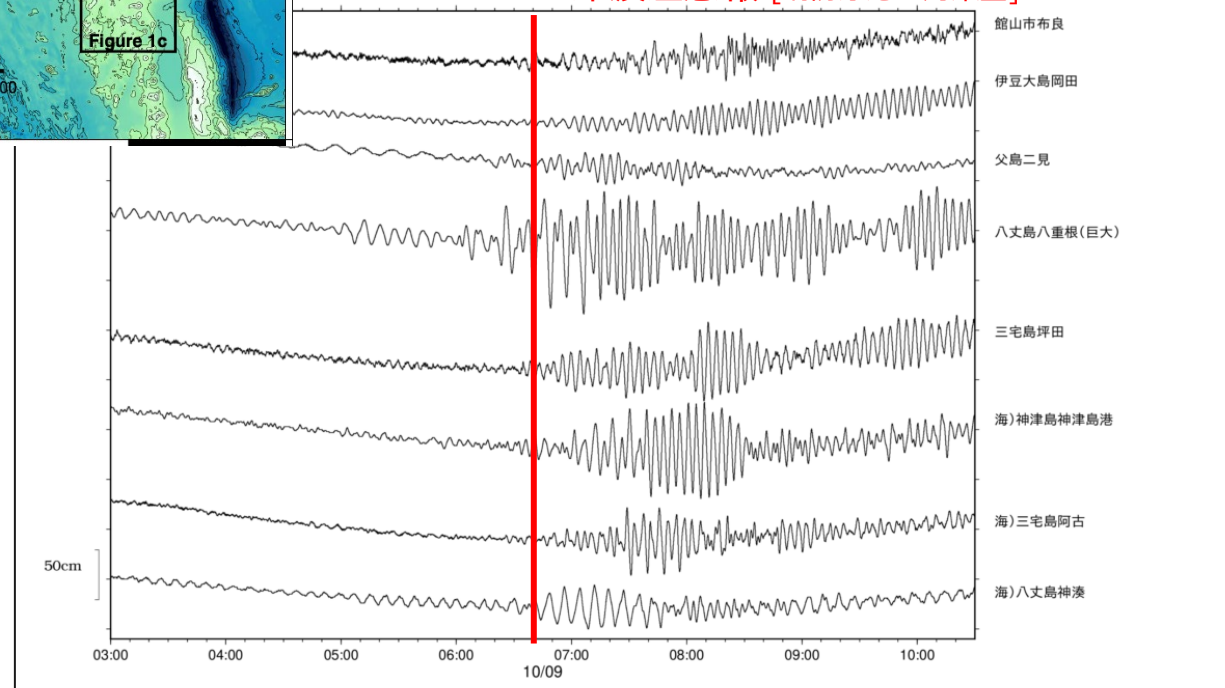
- **6時40分:** 伊豆諸島、小笠原諸島
- 7時44分: 高知県
- 7時51分: 千葉県九十九里・外房、千葉県内房
- 8時24分: 宮崎県、鹿児島県東部、種子島・屋久島地方、奄美群島・トカラ列島
- 12時00分: 全て解除



令和5年10月9日05時25分頃の鳥島近海の地震について (第2報)

## 津波波形図

6:40 津波注意報 [消防庁応急対策室]



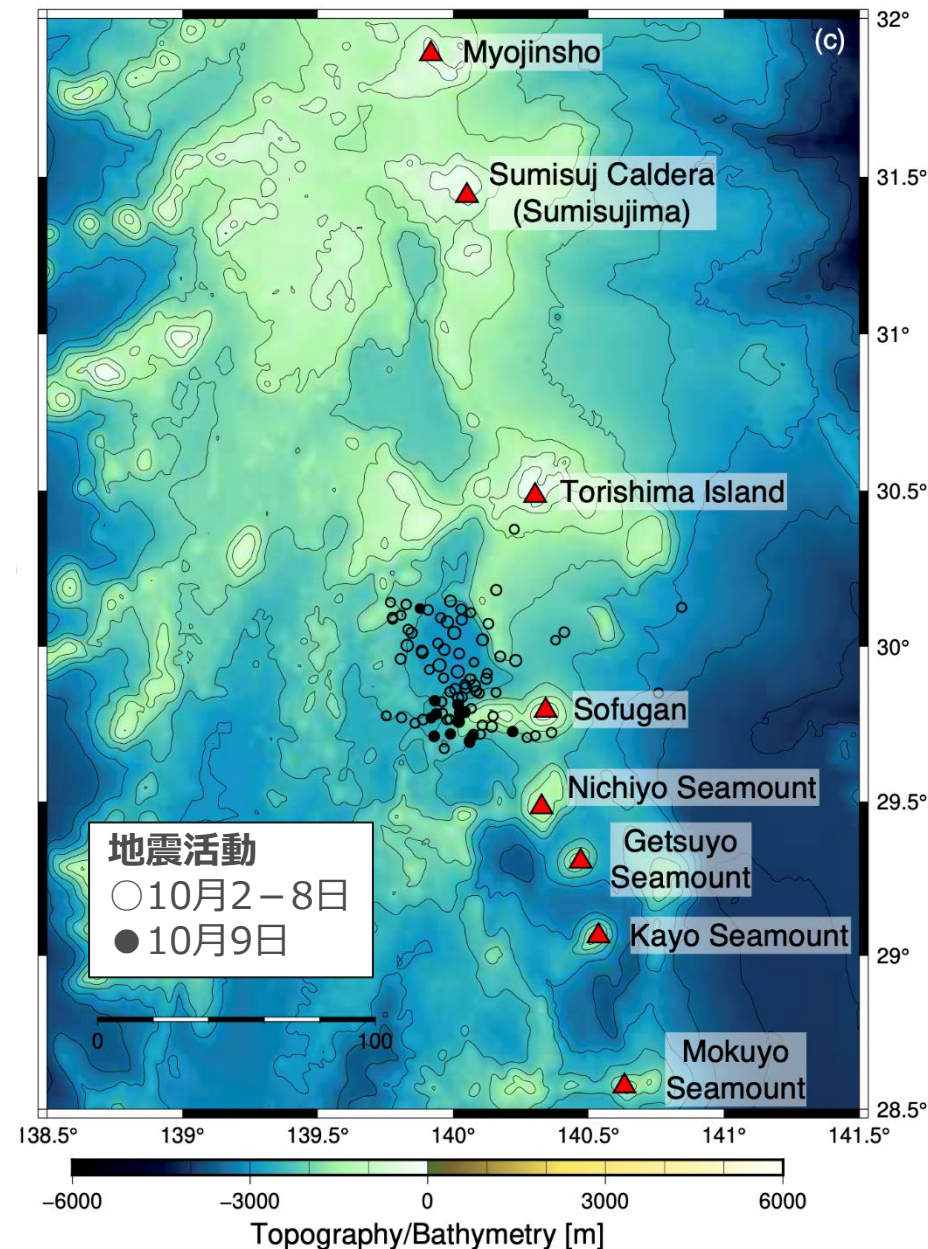
[気象庁, 令和5年10月9日05時25分頃の鳥島近海の地震について(第2報)]

## グローバル地震観測では、最大 $m_b$ 5.4 地震波イベントを検出

- 10月2日から6日にかけて**群発地震**が発生
  - 最大  $M_w$  6.1 ( $M_j$  6.5) を含む2回のM6級イベント
  - 背孤リフト (鳥島リフト) の周辺で発生
  - 30 cm の津波@八丈島八重根港 も発生？
- 10月9日 3:58 より、**全13個の地震波イベント**が検出 (USGS)
  - 実体波マグニチュード  $m_b$  4.3-5.4
  - 孀婦岩寄りに震央位置がシフト？
  - 国内観測網を用いた地震カタログには多くが未掲載

### 10月9日の地震波イベント (USGSカタログ)

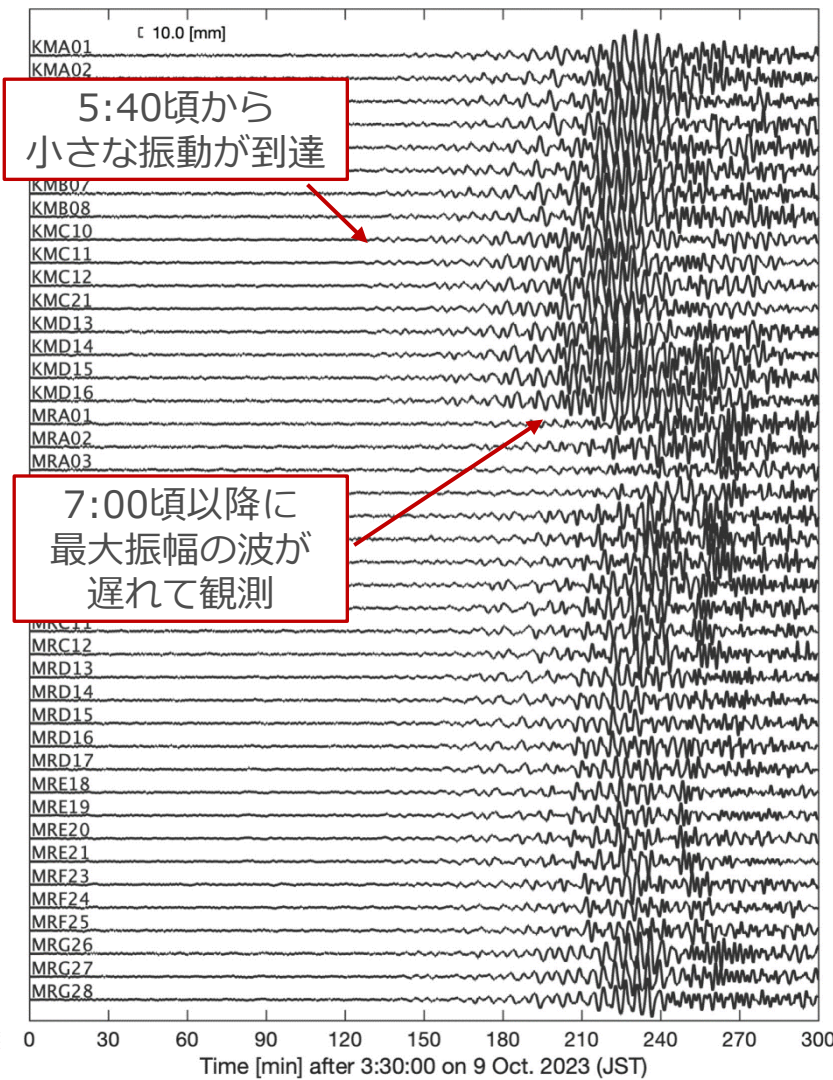
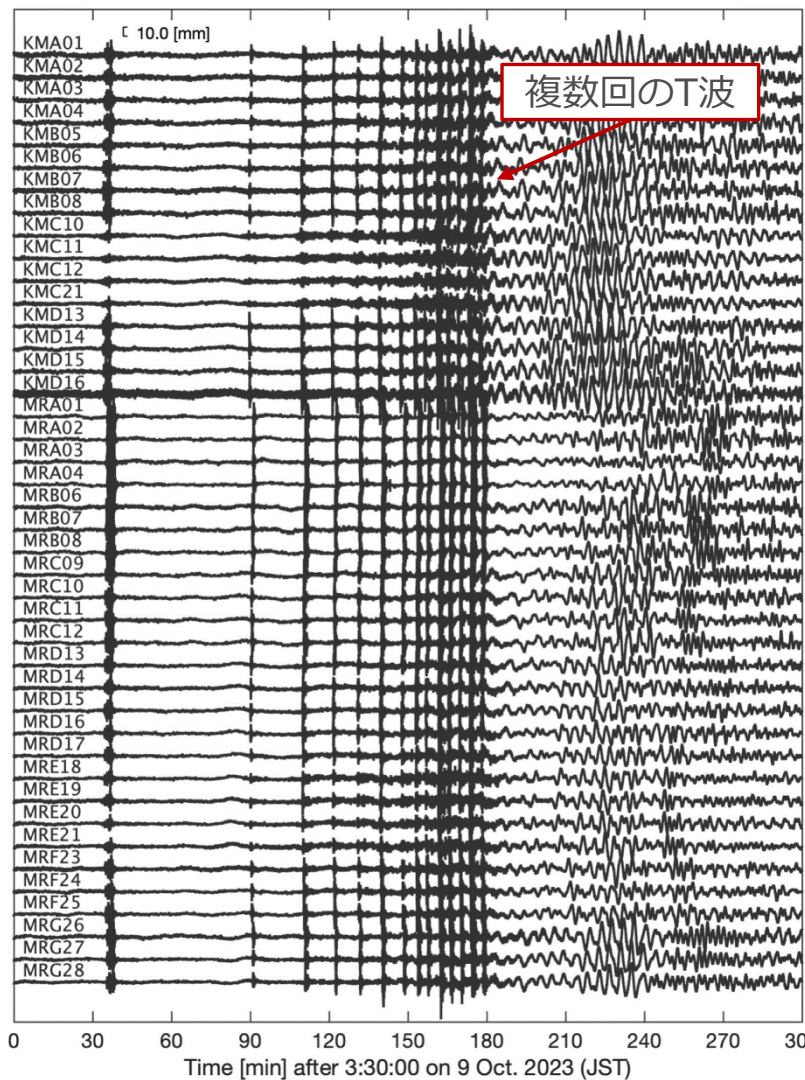
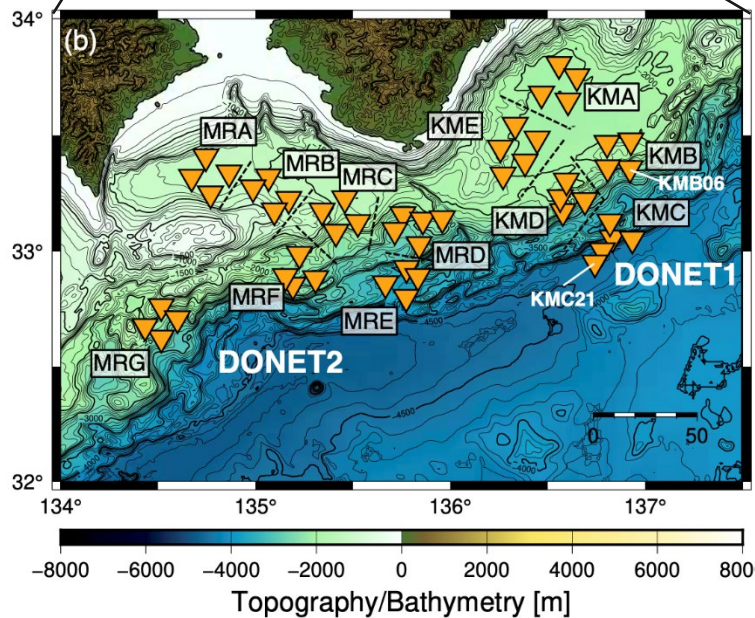
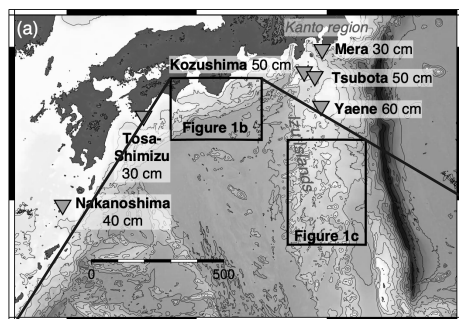
Earthquake event #	Time, JST	Latitude [°N]	Longitude [°E]	Depth [km]	Magnitude	Event interval [s]
Se01	3:58:10	30.1221	139.8780	10	4.3	—
Se02	4:53:46	29.6904	140.0613	10	4.5	3336
Se03	5:13:51	29.7099	140.0704	10	4.7	1205
Se04	5:25:23	29.7105	139.9298	10	4.9	692
Se05	5:34:33	29.7181	139.9904	10	4.7	550
Se06	5:43:09	29.7256	140.2201	10	4.8	517
Se07	5:51:26	29.7700	139.9186	10	4.7	496
Se08	5:56:48	29.8249	139.9328	10	4.9	323
Se09	6:00:42	29.8125	140.0184	10	5.0	233
Se10	6:05:34	29.7580	140.0207	10	5.3	292
Se11	6:13:29	29.7887	140.0434	10	5.1	475
Se12	6:17:30	29.7869	140.0260	10	5.4	241
Se13	6:21:42	29.7824	139.9375	10	4.9	253



海底水圧計によって、最大振幅 2 cm 程度の津波を観測 \*深海では振幅は小さい

潮位変動除去後の波形 (フィルターなし)

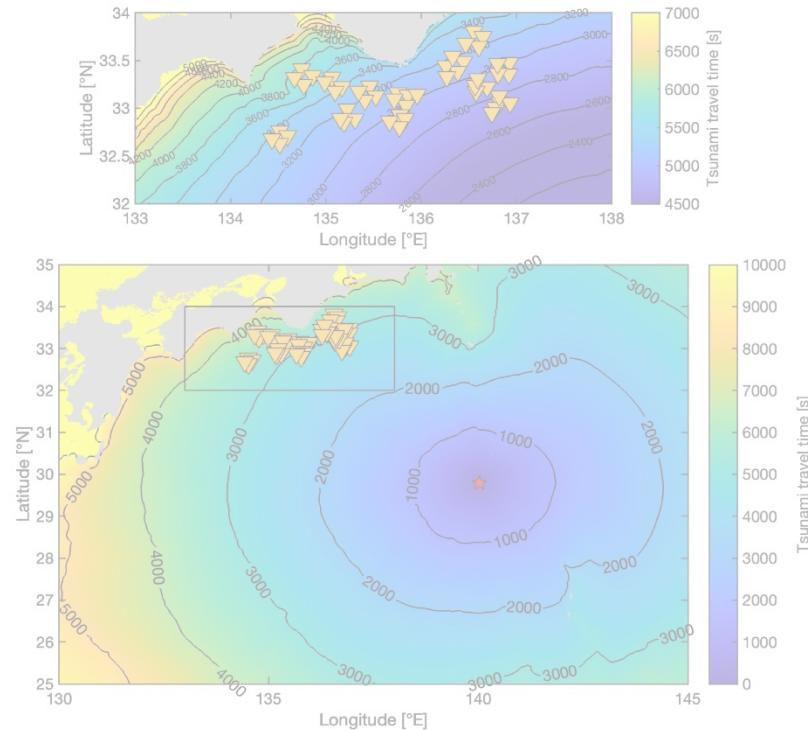
潮位変動除去・50-800sバンドパスフィルター後の波形



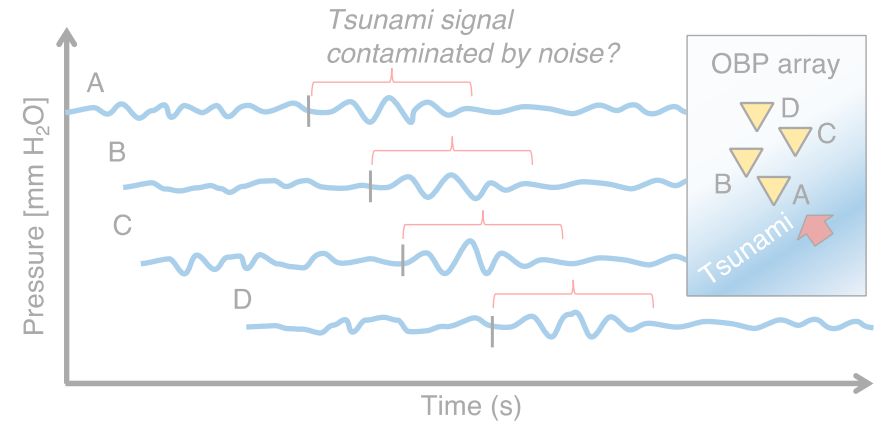
## 16点の類似波形を重ね合わせることで、 今回の津波イベントの特徴を抽出する

1. 10月9日で最大の地震波イベントの震央を波源と仮定して各観測点ごとの津波到達時間を計算 (TTT Geoware)
2. 津波到達時刻が合うように波形を時間シフト
3. 時間シフト波形を重ね合わせて平均化 (スタッキング)

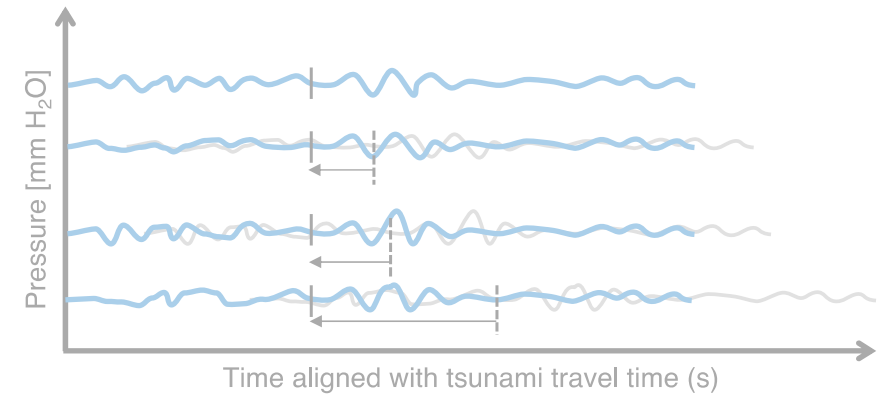
津波の到達時間計算



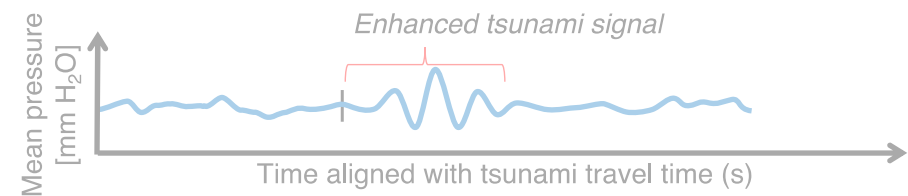
Step 1: Estimate tsunami arrival time at stations



Step 2: Align waveform data to tsunami arrival time

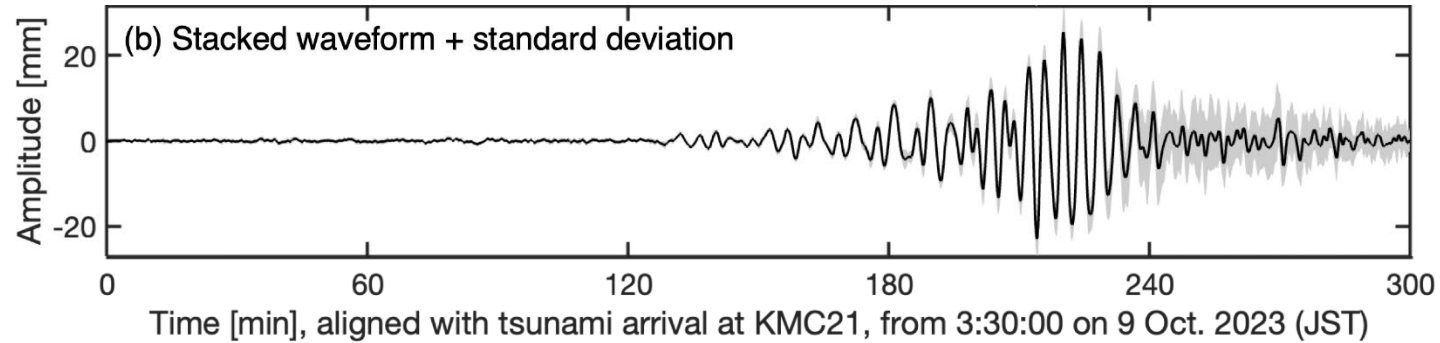


Step 3: Stack and take average



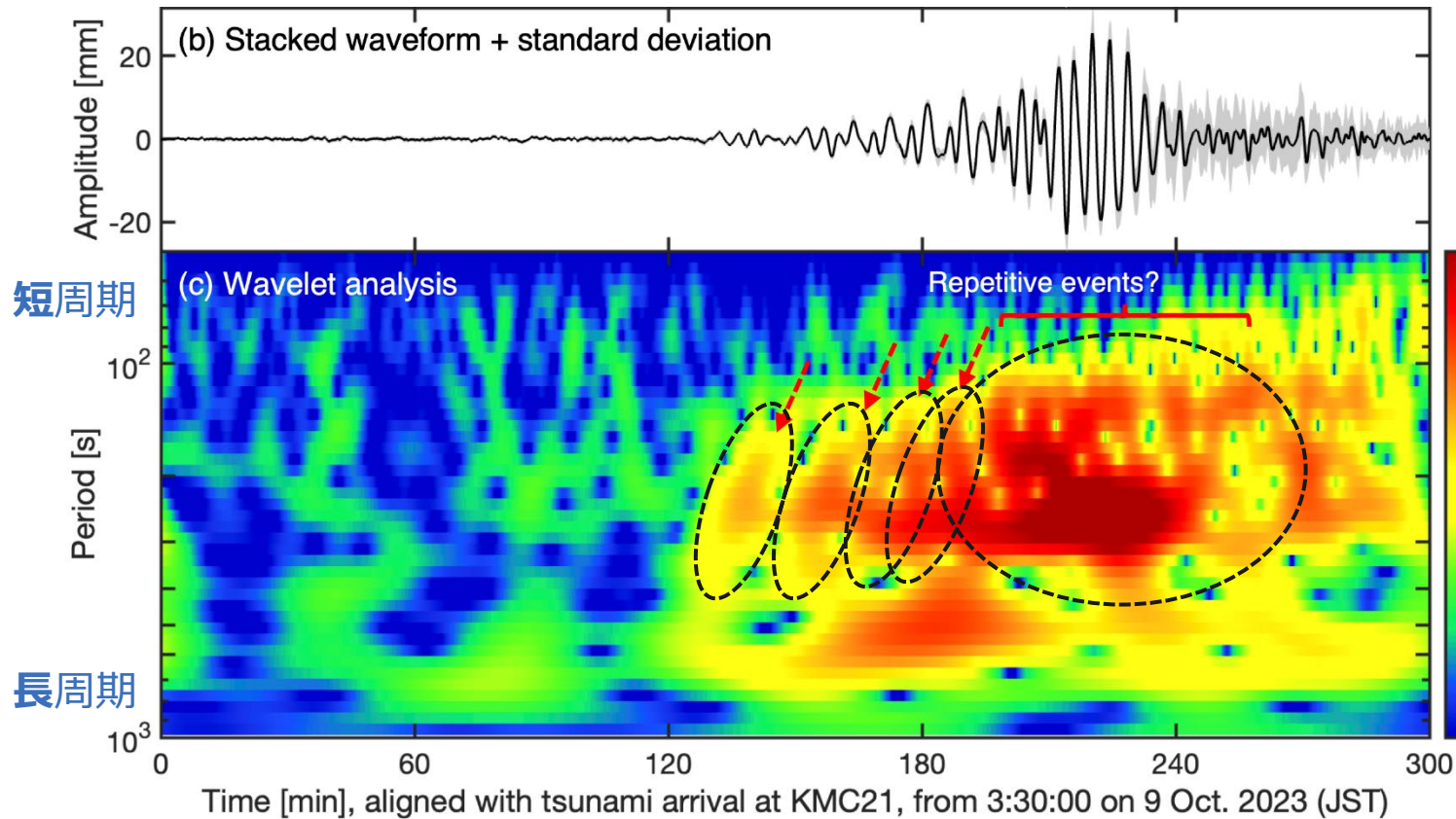
## 「異常に長い津波の到来時間」と「複数の津波が到来した可能性」

- 津波が **約2時間** (5時40分～7時30分) にわたって長時間記録.
- 最大振幅は約1時間40分遅れで到達.

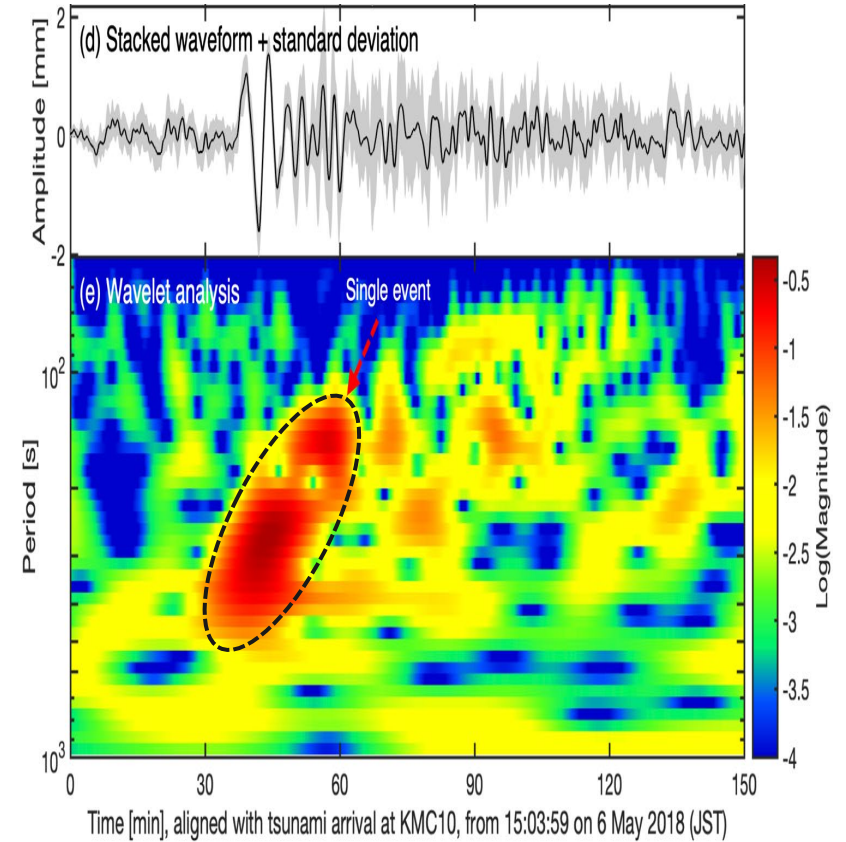


## 「異常に長い津波の到来時間」と「複数の津波が到来した可能性」

- 津波が **約2時間** (5時40分～7時30分) にわたって長時間記録.
- 最大振幅は約1時間40分遅れで到達.



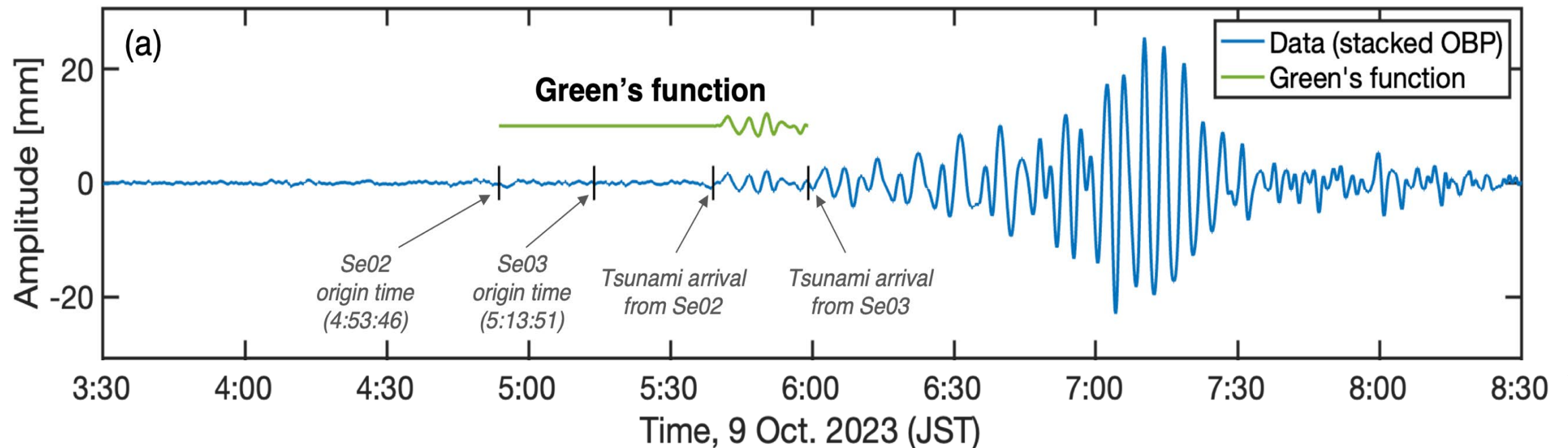
## 2018年5月6日 スミスカルデラでの単発地震による重ね合わせ津波波形



- 津波分散性を示す **津波イベントの"帯"が複数** 記録
- \* 津波分散性: 長周期の波が早く到達し, 短周期の波が遅れて到達

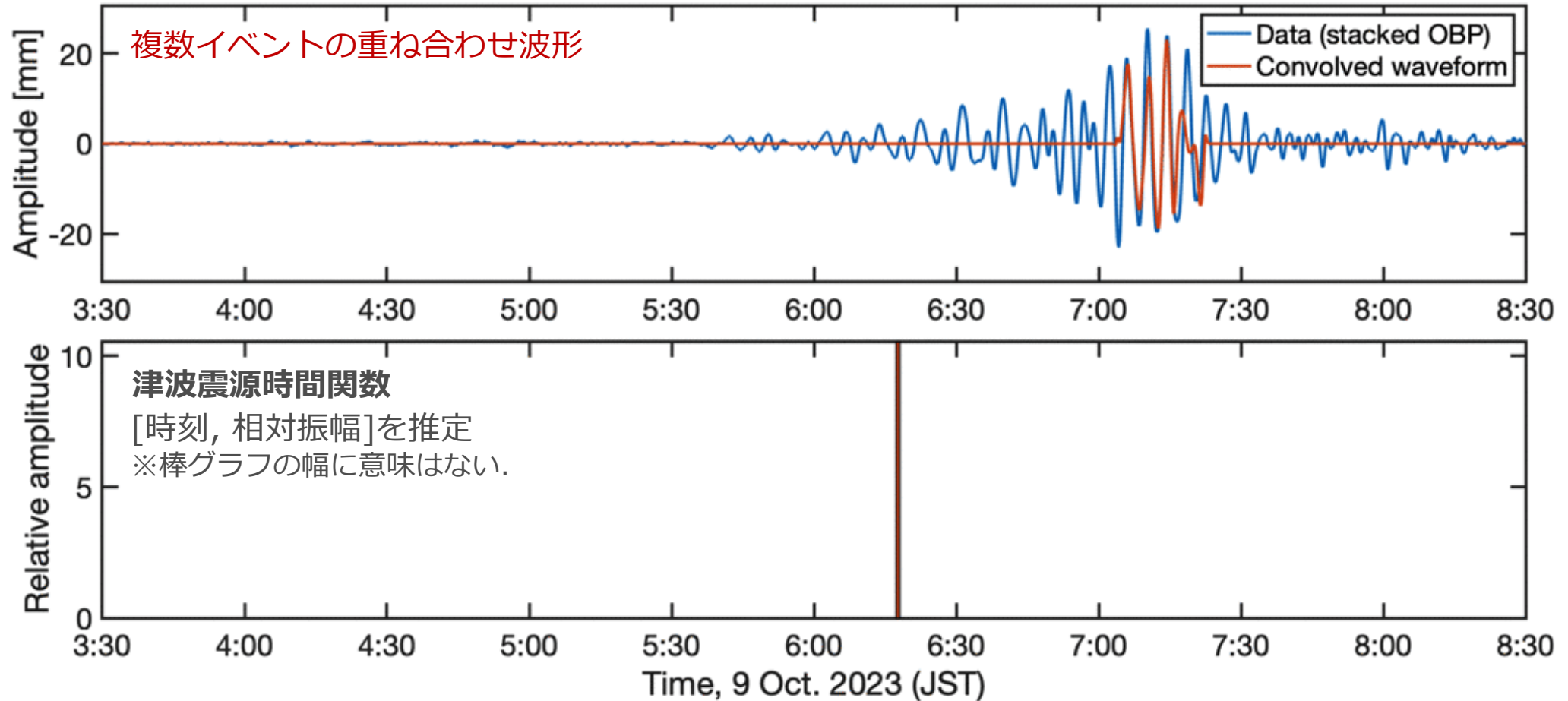
## 仮説「津波を生成する現象（津波生成イベント）が、同じ場所で複数回発生した？」

- Kikuchi & Kanamori (1982) “**Iterative deconvolution**” (反復はぎ取り法)
  - **波形データ** : DONET海底水圧計記録のスタック津波波形
  - **Green関数** : 二つの地震波イベント (Se02, Se03) による津波到達の予測時間の間の波形を、一つの孤立型津波生成イベントによる津波波形であると仮定。
- [ 発生時間, 振幅 ] が異なる 複数の津波生成イベント の津波波形の重ね合わせで、スタック波形を再現する

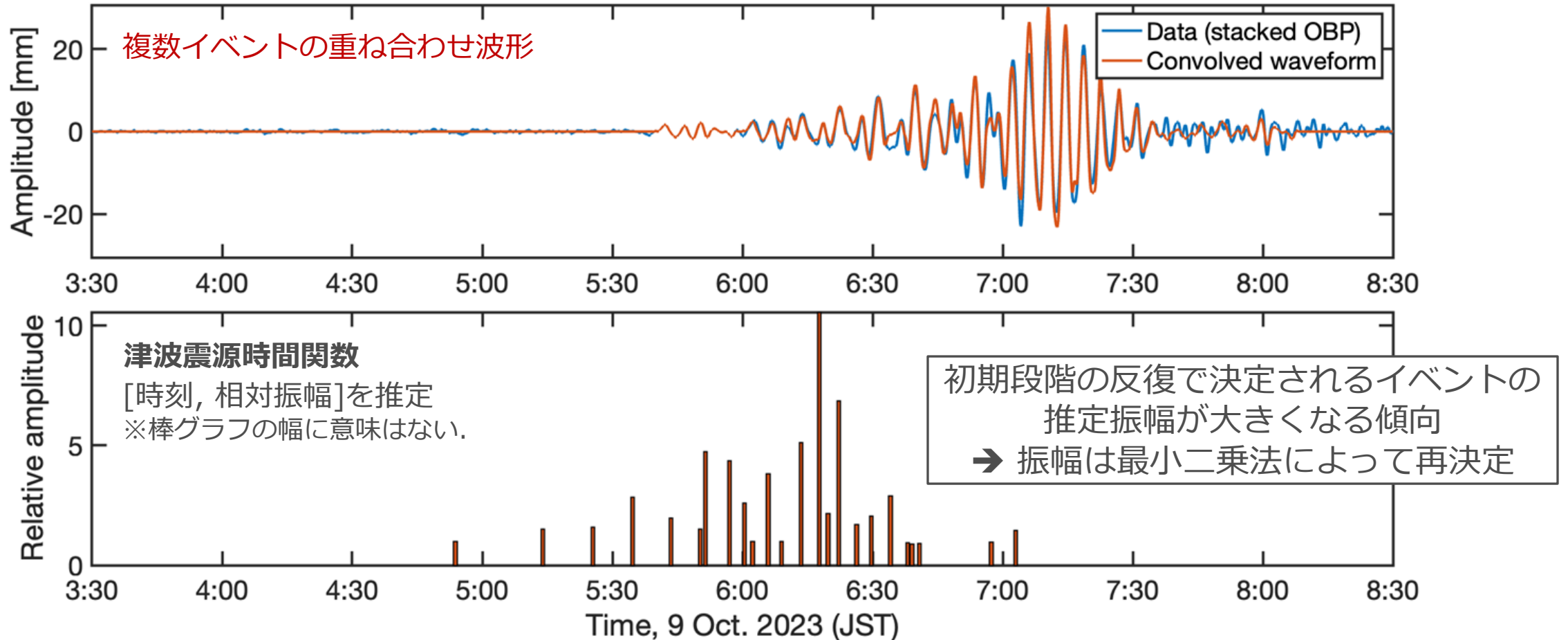




## Iterative deconvolution による震源時間関数の決定

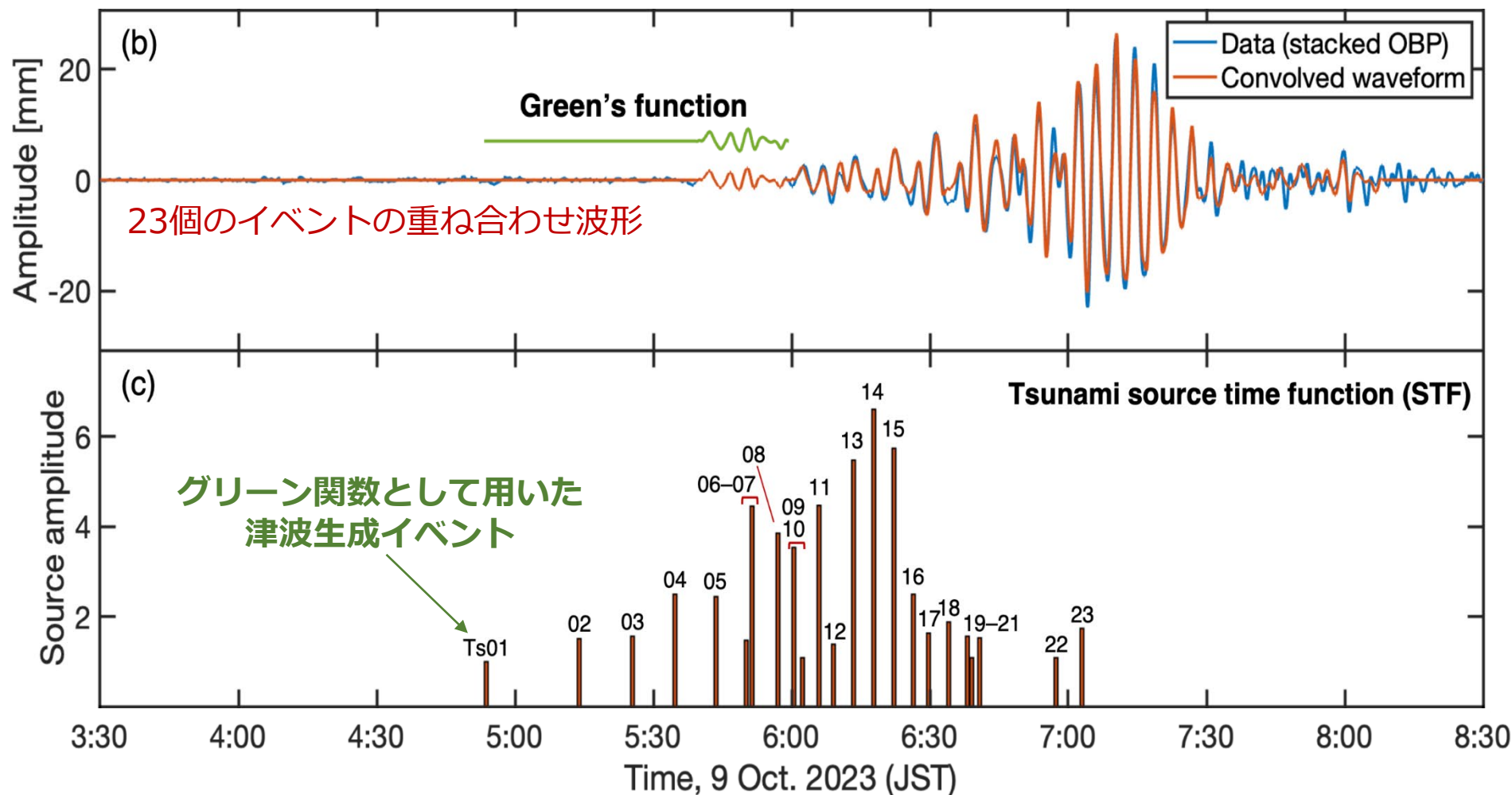


## Iterative deconvolution による震源時間関数の決定

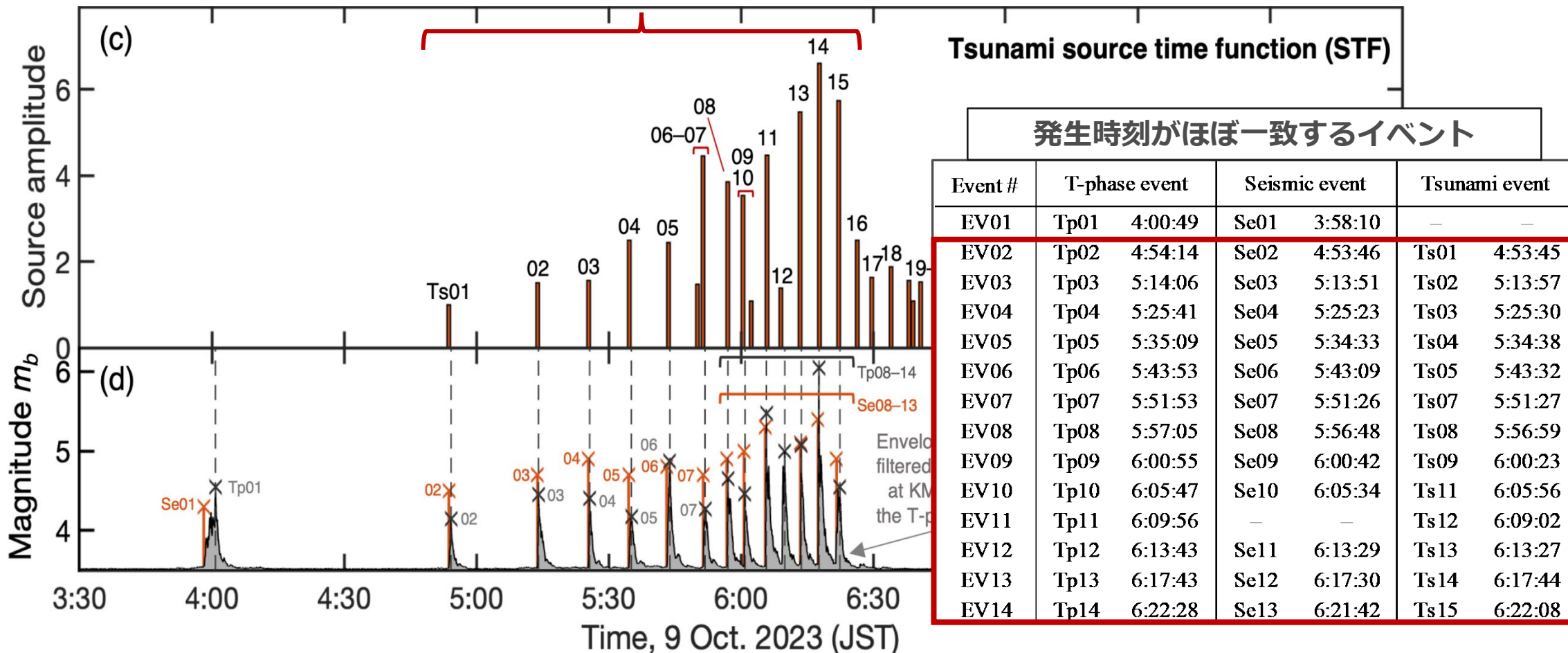


## 全部で 23個の 津波生成イベント ( $Ts01-23$ ) が推定

- **Ts01の津波波形**と、波形は同じ、発生時刻・振幅のみが異なる複数イベントによって津波記録を再現



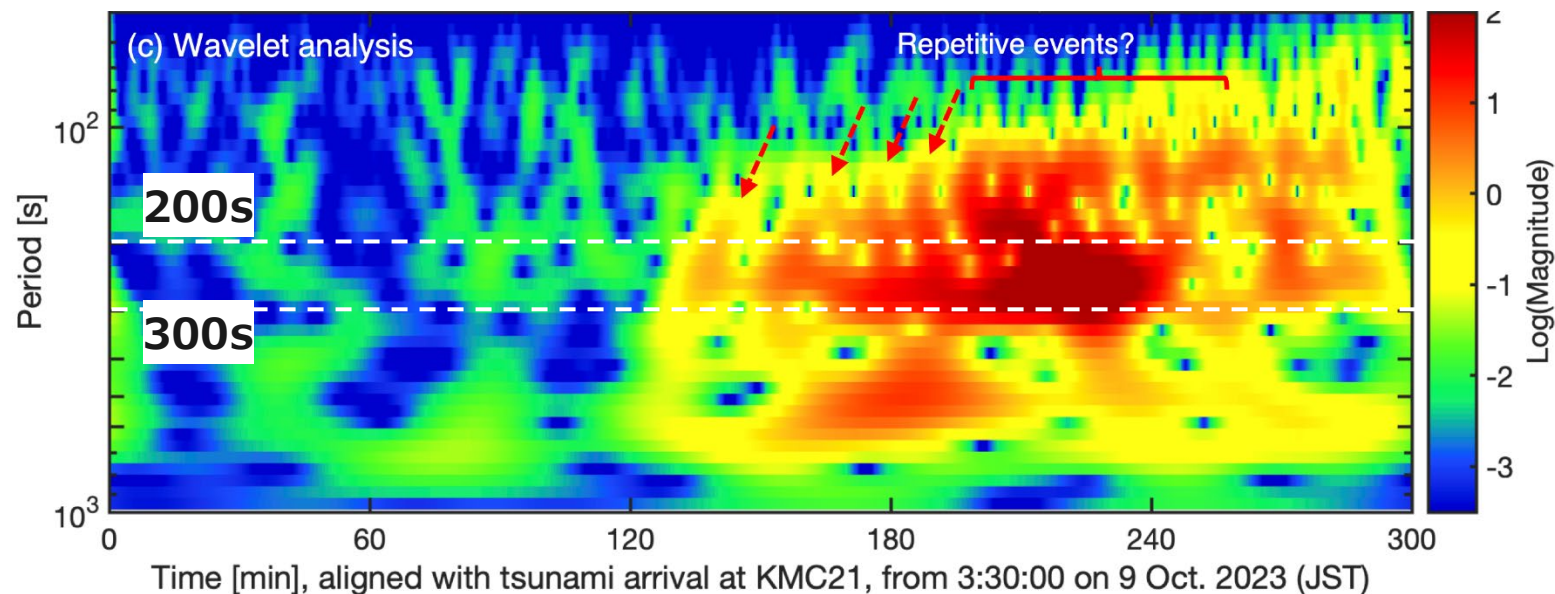
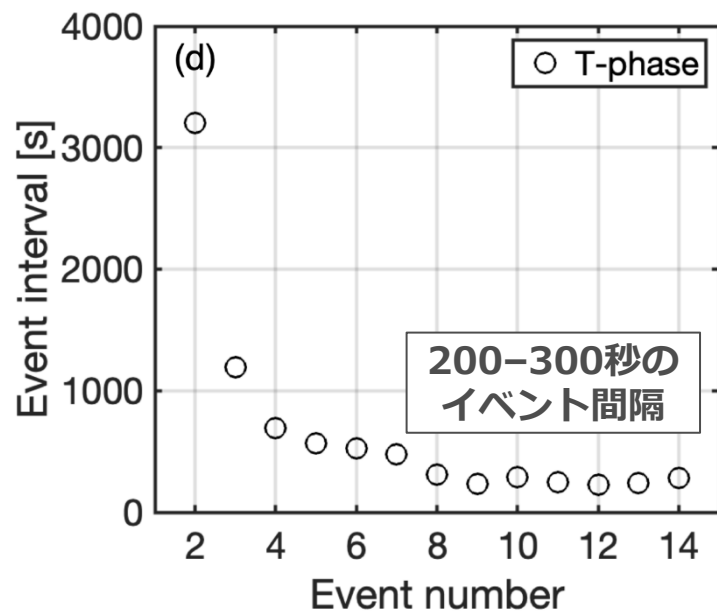
【重要①】 約1.5時間の中に 13個の津波生成イベントが, 地震波・T波の生成とともに発生



- **地震波イベント ×** : USGSの地震カタログ (グローバル観測点における P波 から推定)
- **T波イベント ×** : (DONETの広帯域地震波記録 [1-6Hz] の envelope波形の最大振幅時間) - (T波の走時)

**【重要②】**  
 後半の大きめのイベントの津波が  
 ちょうど重なり合ったことで、  
 後続波の振幅がより大きくなった

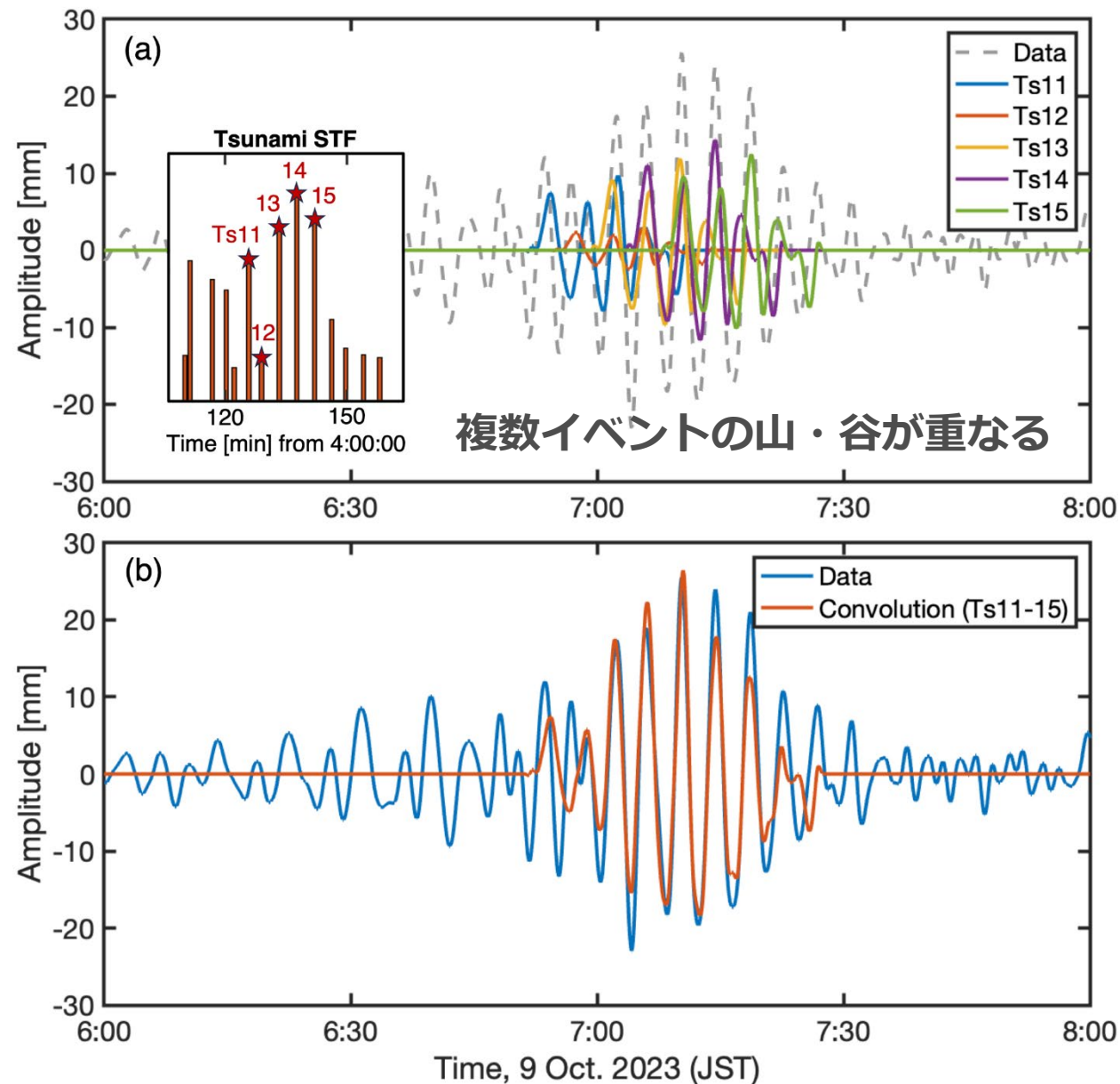
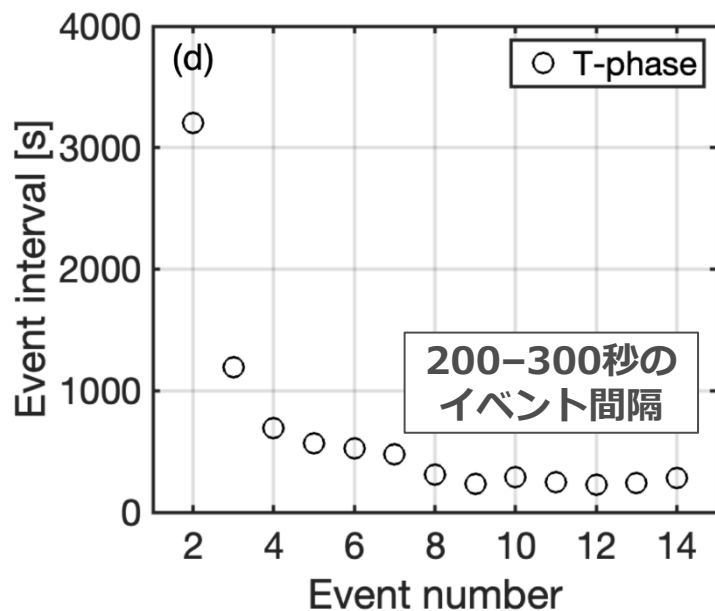
- 後半のイベントの発生間隔：200–300秒
- 個々の津波波形の卓越周期：200–300秒



【重要②】

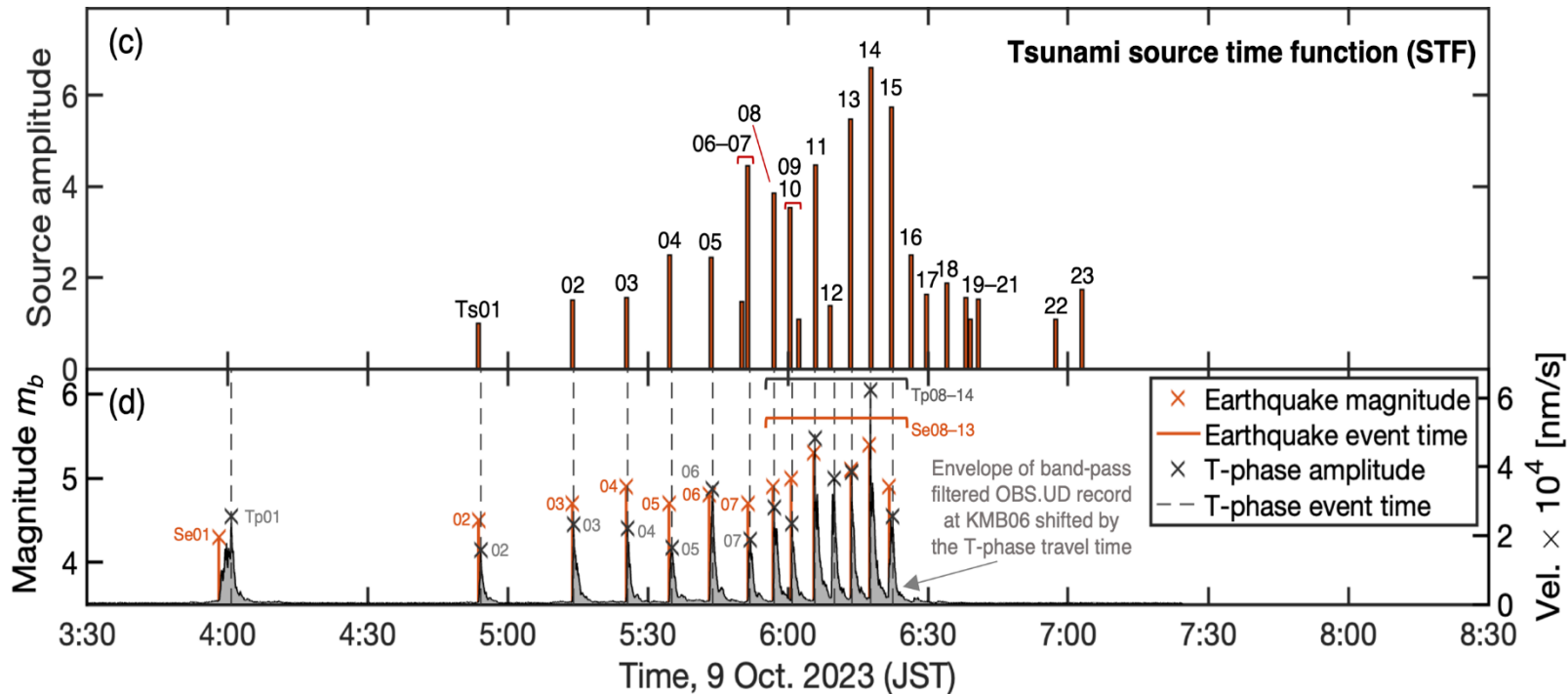
後半の大きめのイベントの津波が  
ちょうど重なり合ったことで、  
後続波の振幅がより大きくなった

- 後半のイベントの発生間隔：200–300秒
- 個々の津波波形の卓越周期：200–300秒



**極めて特殊な津波生成プロセス** によって **継続時間が長く、大きな津波** が発生した

1. 4時53分～6時22分（約1.5時間）の間に、**13回の津波生成イベント** が繰り返し発生。  
→ **津波の継続時間が長くなった。**
2. 6時00分頃以降に **津波の卓越周期200-300秒とよく似た時間間隔** で大きめのイベントが頻発。  
→ **最大振幅を持つ津波が遅れて到達した。**
3. 津波の生成とほぼ同時に、**顕著なT波** および**微弱な地震波 ( $m_b$  4.5-5.4)** を励起。  
→ **メカニズム特定のために重要な情報**

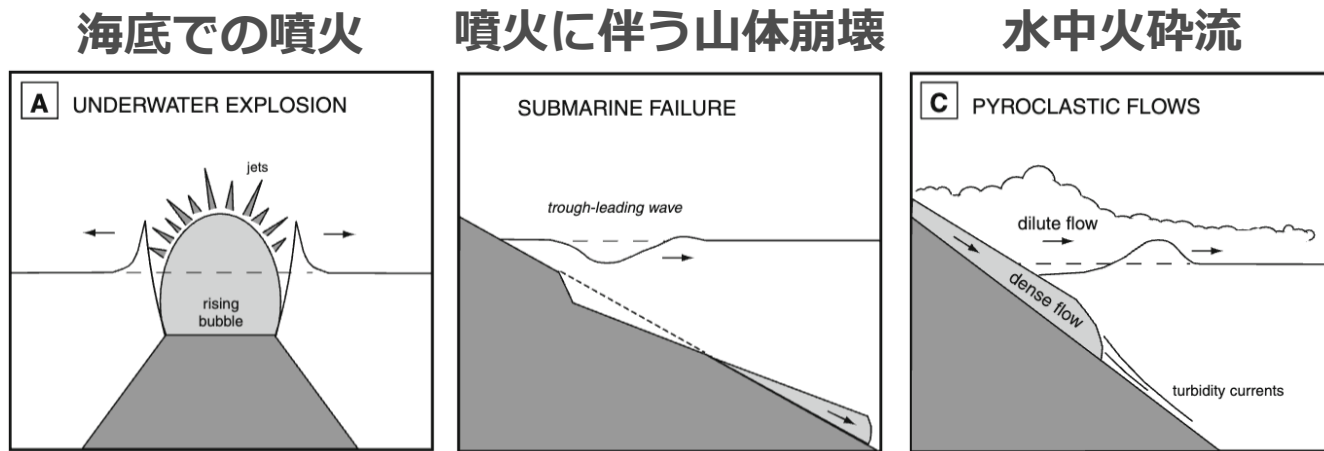


Event #	T-phase event	Seismic event	Tsunami event
EV01	Tp01 4:00:49	Se01 3:58:10	— —
EV02	Tp02 4:54:14	Se02 4:53:46	Ts01 4:53:45
EV03	Tp03 5:14:06	Se03 5:13:51	Ts02 5:13:57
EV04	Tp04 5:25:41	Se04 5:25:23	Ts03 5:25:30
EV05	Tp05 5:35:09	Se05 5:34:33	Ts04 5:34:38
EV06	Tp06 5:43:53	Se06 5:43:09	Ts05 5:43:32
EV07	Tp07 5:51:53	Se07 5:51:26	Ts07 5:51:27
EV08	Tp08 5:57:05	Se08 5:56:48	Ts08 5:56:59
EV09	Tp09 6:00:55	Se09 6:00:42	Ts09 6:00:23
EV10	Tp10 6:05:47	Se10 6:05:34	Ts11 6:05:56
EV11	Tp11 6:09:56	— —	Ts12 6:09:02
EV12	Tp12 6:13:43	Se11 6:13:29	Ts13 6:13:27
EV13	Tp13 6:17:43	Se12 6:17:30	Ts14 6:17:44
EV14	Tp14 6:22:28	Se13 6:21:42	Ts15 6:22:08

### この13回(+1回)のイベントが何の現象だったのかは、より詳細な分析が必要

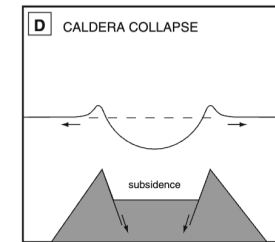
1. 個々の現象で津波が発生 → 水塊の大きな移動を伴う現象 が 断続的に発生
2. T波が大きく・地震波は小さい → 非常に地下浅く or 海底面上 において発生 (水深は 1 km程度?)
3. 軽石が発見? (分析が必要だが...) → 海底火山噴火を伴う現象?

### 海底火山現象が原因だとすると…?

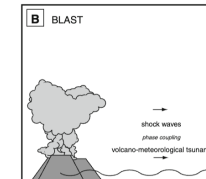


Paris et al. (2014, Natural Hazards)

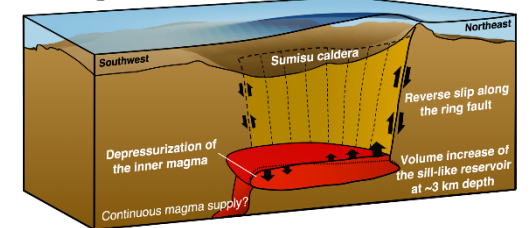
### カルデラ崩壊



### 爆発に伴う気圧波



### カルデラ隆起 (トラップドア断層)



Sandanbata et al. (2022, JGR: SE)

水塊を動かした (津波を発生させた) のは、  
海底噴火そのものか? or 噴火に付随する現象か?



## 様々な観点から、今回の現象の検証が必要

1. **T波の観測を、津波発生を事前予測に繋げることができるか？** (Ewing et al., 1950)
  - 今回は津波と同時にT波が効率的に発生したが、たまたま励起効率が高い水深で起きただけ？
2. **どのような沖合観測点があれば、伊豆・小笠原諸島での津波に対応できるか？**
  - 津波を引き起こしうる海底火山や活動的なリフトが多数存在
3. **10月2-6日の群発地震との関連は？**
  - 津波・地震波・T波の観点からは、10月9日の群発イベントとは明瞭な違い

**まだまだ解決すべき問題は多い**