

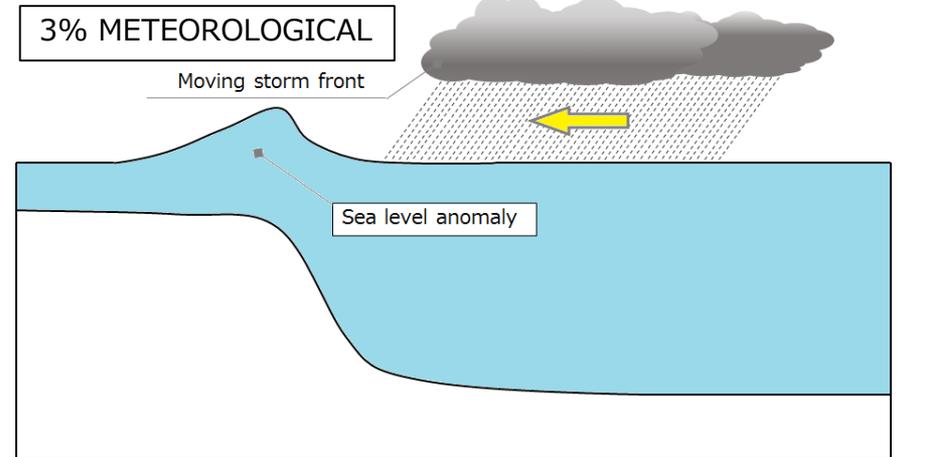
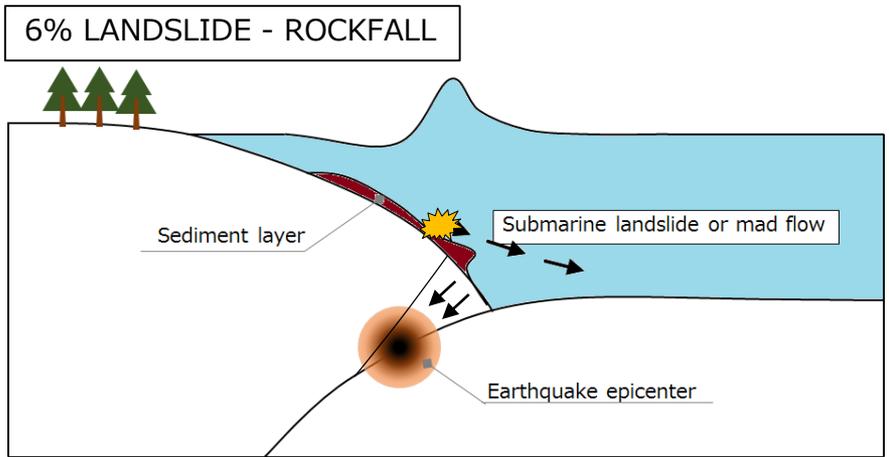
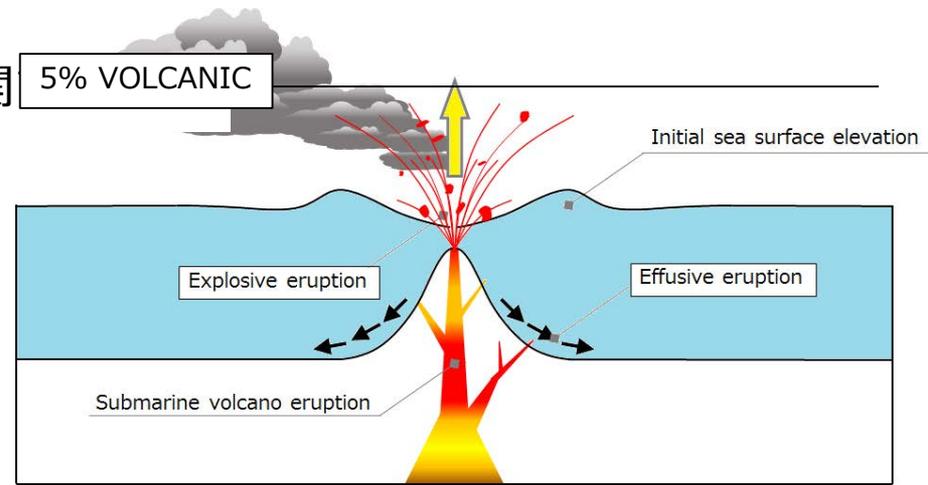
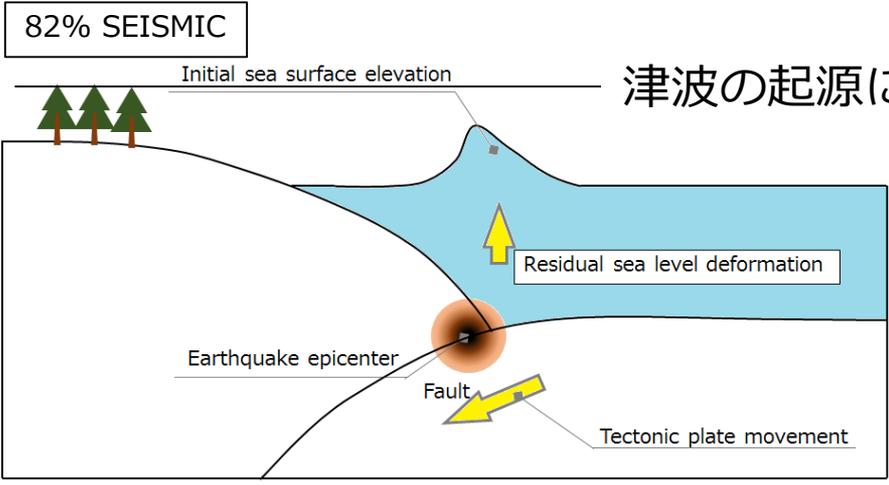
# インドネシアのプレート造構場の特徴 と地震・火山・津波防災

丸山茂徳(東京工業大学地球生命研究所特命教授)

## 目次

- 1 津波の起源に関する二つの説  
(リバウンド説と大規模海底地滑り説)
- 2 どのように論争に決着をつけるか？
- 3 津波防災の方法(+新たな学問領域)

# 津波の原因の殆どは上盤側プレートのリバウンド？



+ COSMOGENIC + ARTIFICIAL...

# 津波とは何か？

- 1) 現象とその起源(水中でおきる重力不安定流の解消; 海底地滑り→海面の流動＝津波)
- 2) 重力不安定を起こす引き金(地震、火山噴火など); 引き金と原因(水の流動)は違う
- 引き金(1)地震
- 引き金(2)火山噴火(ハワイの津波は100%重力不安定による地滑り; プレートリバウンドではない、海溝がないから)
- 引き金(3)海溝地震(大正関東地震)による津波も横ずれ境界で起きたので、リバウンドではない。

# 陸上の大規模山津波(地滑り)と海溝内側斜面の海底地滑り

- 重力不安定で自重崩壊(雪崩と同じ);基底面(雪解け水=潤滑剤、特に春先)が境界になる。3種類に分類、①雪だけ、②氷塊+雪、③基盤の岩盤+氷塊+雪(危険度最大)
- 海溝堆積体も殆ど同じ物理現象で、3種類に分類、①表層の未固結土砂だけ(数十cmの厚さ)、②土砂+基盤の硬い岩石(数m)、③古い付加体(固結)を巻き込む大規模海底地滑り(オリストストローム; > 100m; 2011. 03.11東北地震;海溝堆積物) = **これは1960年代以降の付加体研究で地質学の常識=しかし、現実の津波現象と結び付ける知恵がなかった。**

# 上盤側プレートのリバウンド説

●モデル依存の演繹的(Bottom-up)なプロセス  
(理論的な予言)、しかし、プレートを弾性体(ゴム)と考えた。**完全な間違い**。

## ●弾性体モデル

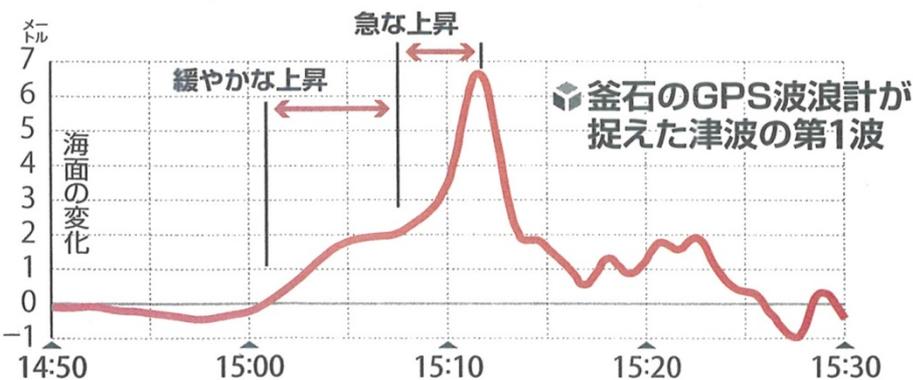
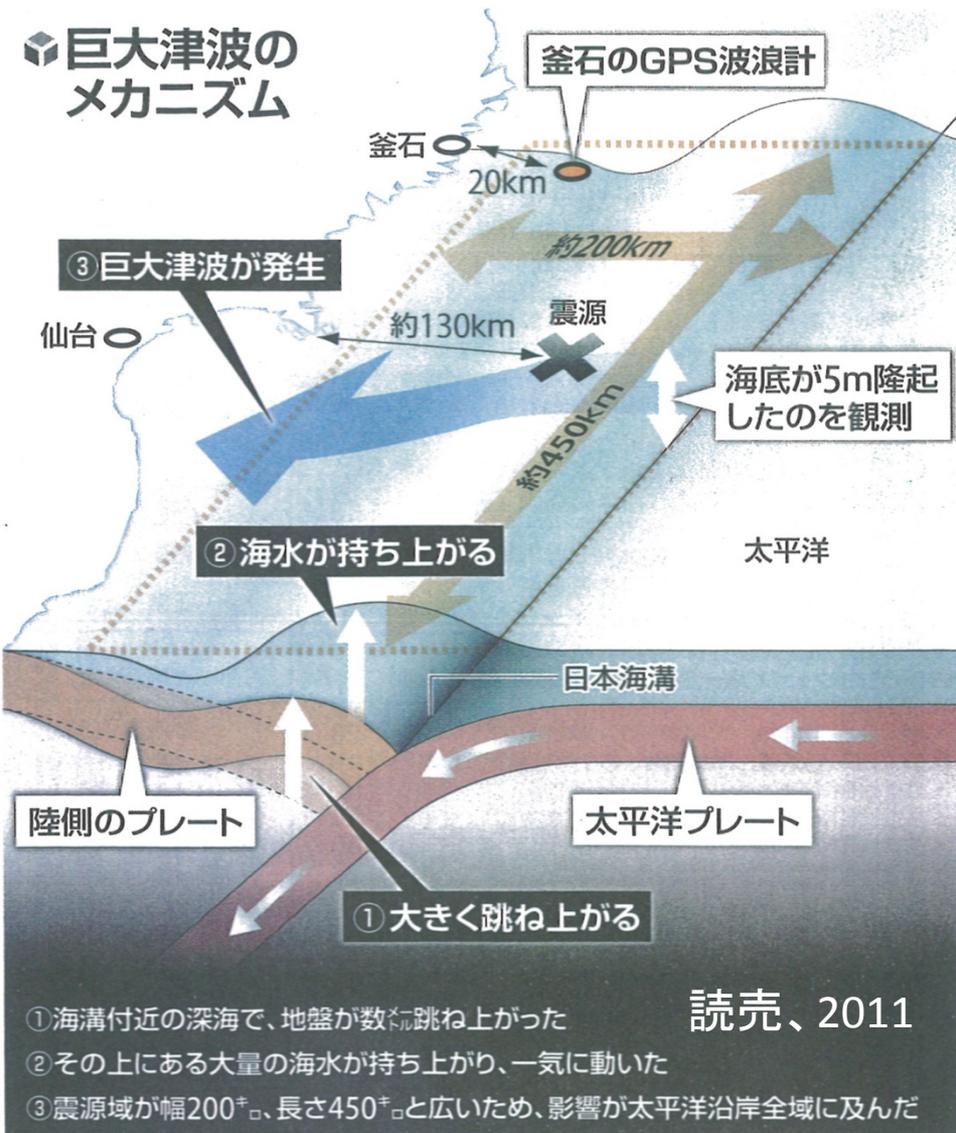
多種類の岩石、地質構造、**流体**などの多様な要素を持つ上盤側のプレートを近似的に1種類の弾性体として扱う

→**上盤側プレートの末端部が海溝深部へゴムのよ**  
**うに引きずり込まれ、地震の瞬間に跳ね上がり、**  
**海水を持ちあげて津波を起こす。**

# 巨大地震のメカニズム

間違い

プレートはゴムでない=剛体



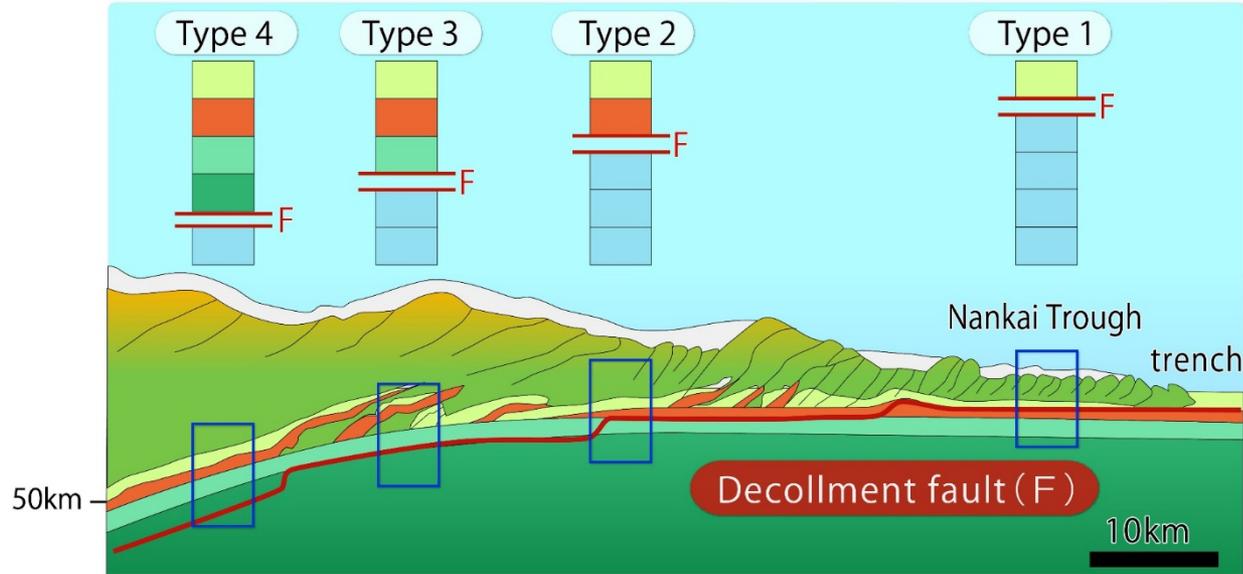
プレートと地殻を混同している。  
太平洋プレートは厚さ60-70km

# 過去50年の研究成果

- 1 上盤側プレート前面は破壊され(剛体なので)、一方的に下部に引きずり込まれる。リバウンドはあり得ない(1968年に完全否定→故にプレートテクトニクスが提唱された)。
- 2 東北日本地震(2011.03.11)による上盤側プレートの破壊モデル(Cambridge Univ. G. led by Dan McKenzie)を見よ！



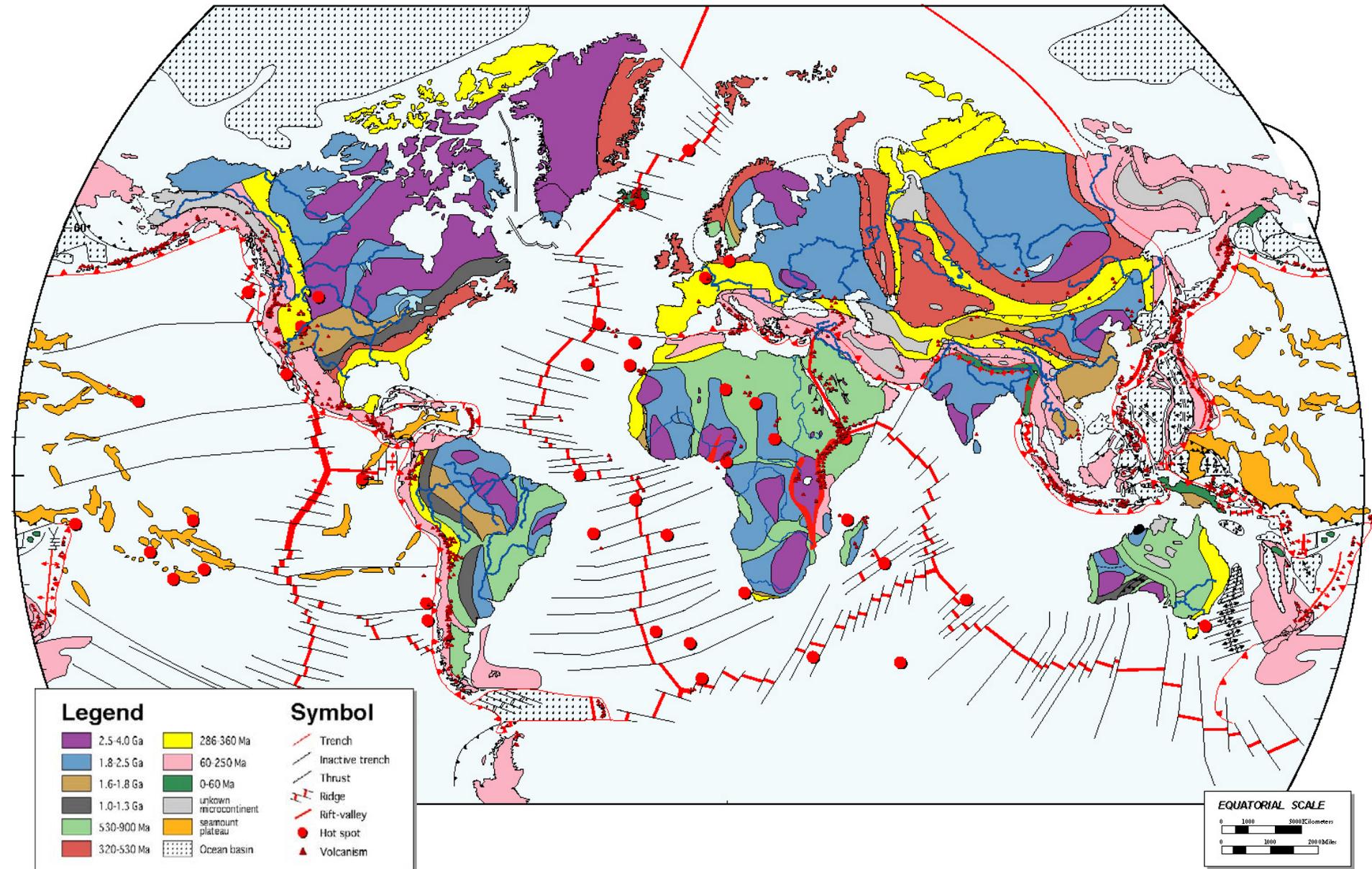
# Types of accretionary complex



Accretionary complex	Rock component	Example	Intensity of deformation
Type 1	Sandstone + Mudstone	Nankai Trough	weak
Type 2	Chert + Sandstone + Mudstone	Inuyama region	strong
Type 3	Upper oceanic crust + Chert + Sandstone + Mudstone	Suzaki region	strong
Type 4	Mantle + Lower oceanic crust + Upper oceanic crust + Chert + Sandstone + Mudstone	Sambagawa	extremely strong several times

# 3つのプレート境界と津波

# Orogenic belts of the world



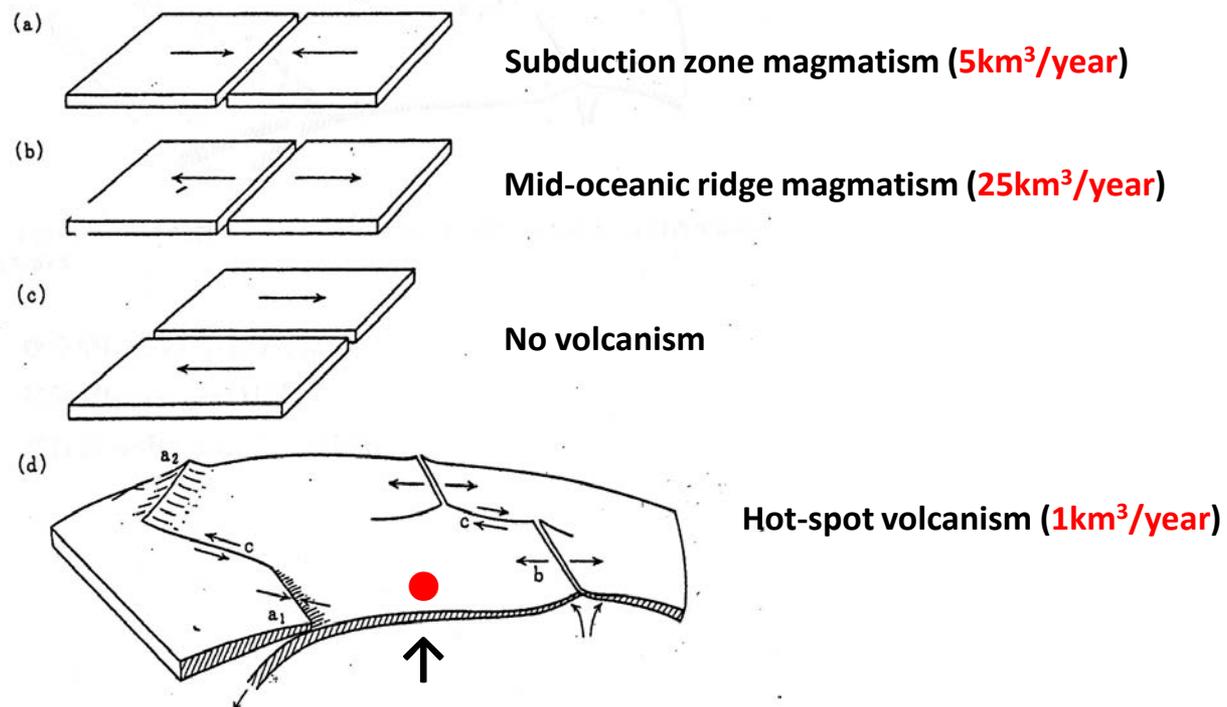


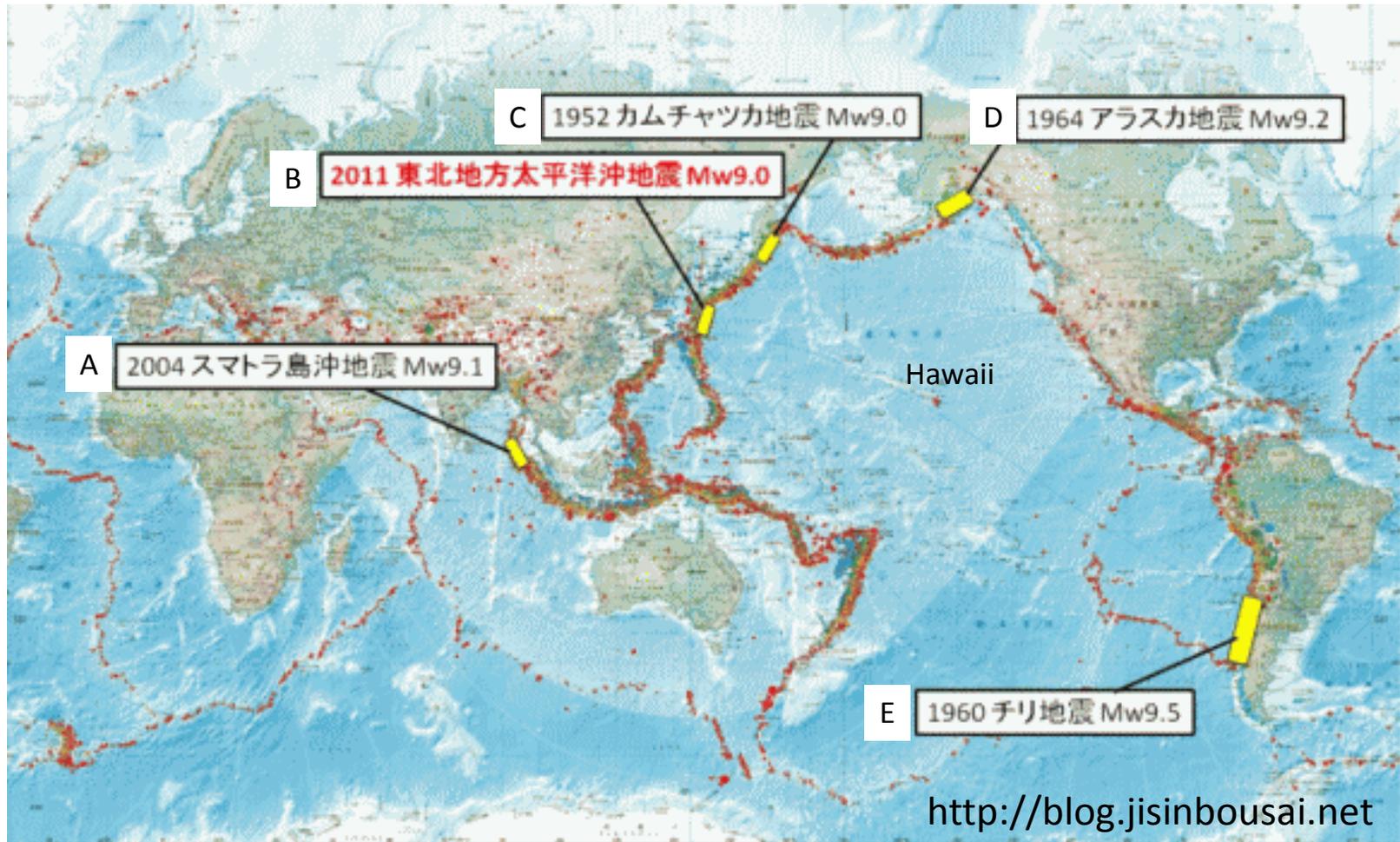
図 1.3. 3種のプレート境界. 二つのプレートが, (a)ぶつかり合う, (b)遠ざかる, (c)すれちがう.

- (a) 収束型(convergent)境界
- (b) 発散型(divergent)境界
- (c) 平行移動型(translational)境界

# 3つのプレート境界と津波

- 1 プレート内部の海底火山(ハワイ、雲仙普賢岳)
- 2 横ずれ境界(パルー、スマトラ沖、インドネシア、1923年関東大震災時の相模湾大津波)
- 3 沈み込み境界(2011. 03.11東北津波、**全ての津波は大規模海底大地すべり**)
- 4 開く境界(背弧海盆拡大; ①桜島・鹿児島湾一喜界カルデラ、②伊豆半島東部大島火山、③クラカトウ火山)

# 1 プレート内部の海底火山(ハワイ)

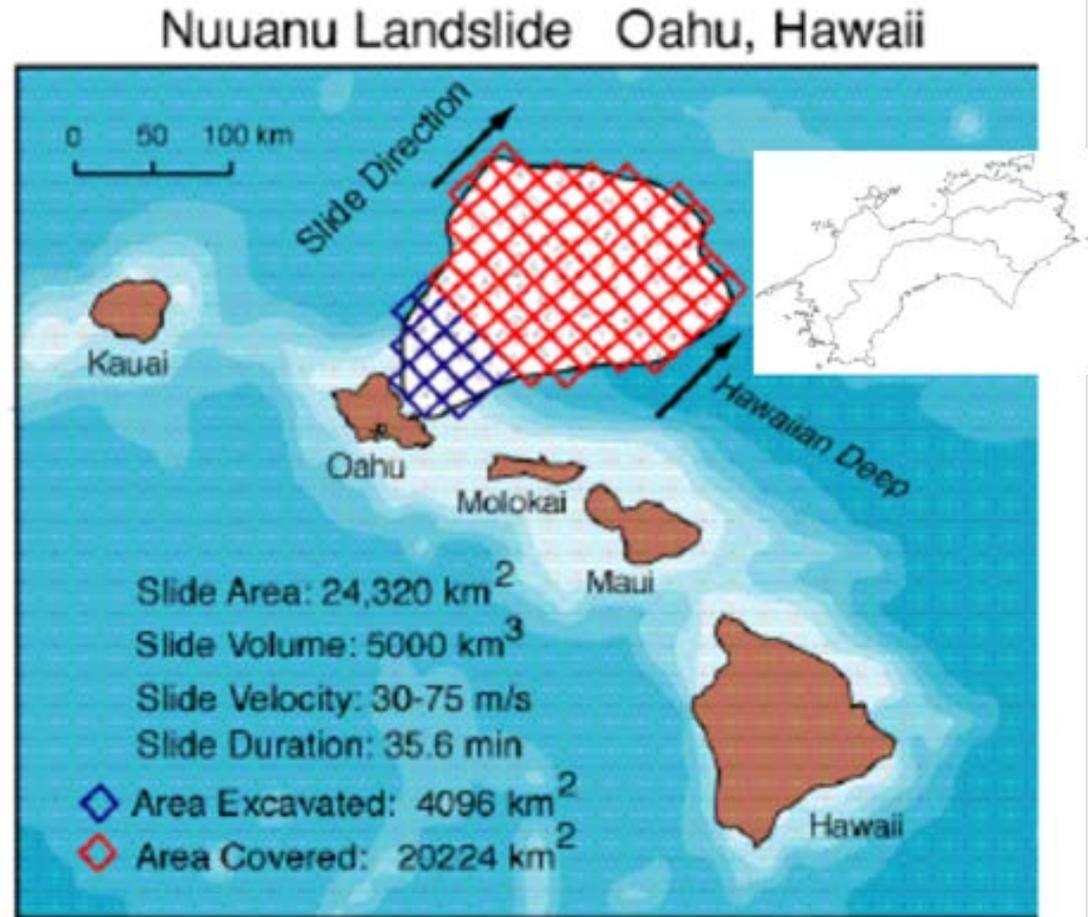


- A: 2004 Indian Ocean earthquake (Sumatra-Andaman earthquake) Mw9.1
- B: 2011 Earthquake off the Pacific coast of Tohoku (Tohoku earthquake) Mw9.0
- C: 1952 Kamchatka earthquake Mw9.0
- D: 1964 Alaskan earthquake Mw9.2
- E: 1960 Valdivia earthquake (Great Chilean earthquake) Mw9.5

# 大規模海底地滑りの観測例3

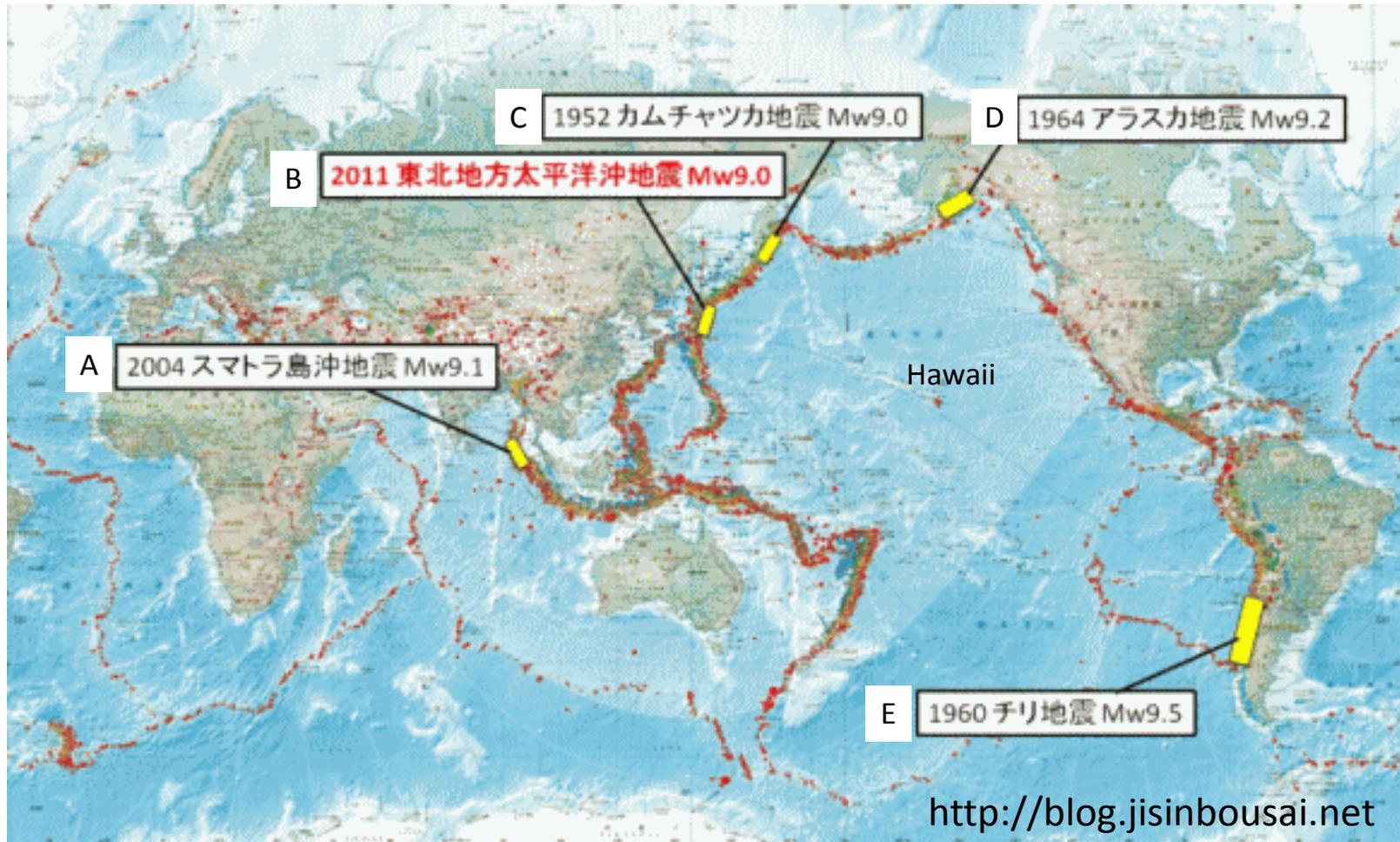
約2,700万年前に起こった陸上から海中へ向かうNuuanu地滑り跡(格子模様の部分; ハワイ州オアフ島北東沖)。その総面積は23,000km<sup>2</sup>に達し、日本の四国のそれを超えている。

津波伝搬シミュレーションによると、津波は太平洋を越えて遥か米国西海岸に達し、その波高は10mを超えたと考えられる。



## 2 横ずれ境界（パルー、スマトラ沖、 インドネシア、1923年関東大震災時 の大津波駿河湾）

# インドネシアは小さなプレートが集中する地域 上昇と沈降が集中し重力不安定がどこにでも起きる地域



- A: 2004 Indian Ocean earthquake (Sumatra-Andaman earthquake) Mw9.1
- B: 2011 Earthquake off the Pacific coast of Tohoku (Tohoku earthquake) Mw9.0
- C: 1952 Kamchatka earthquake Mw9.0
- D: 1964 Alaskan earthquake Mw9.2
- E: 1960 Valdivia earthquake (Great Chilean earthquake) Mw9.5

# インドネシアは津波地獄の地域

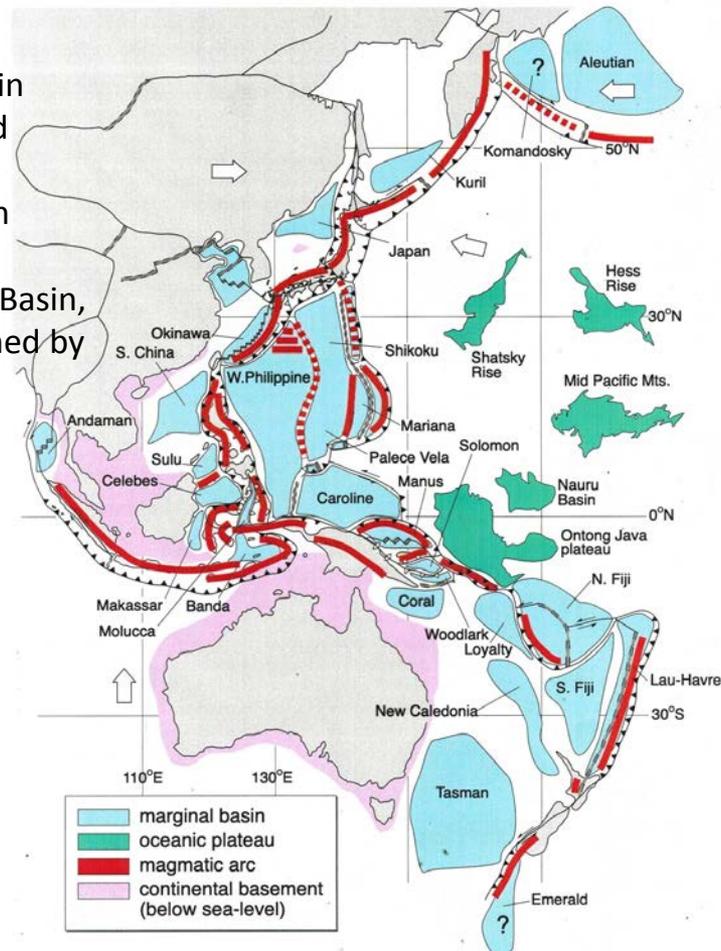
- 1 すべてのタイプの津波(プレートによる分類;本提案)が起きる
- 2 小さなプレートの密集地帯(山脈の形成=上昇、沈降地域(堆積盆地)が集中、活火山の集中)→**重力不安定の集中地域**

# 西太平洋—東アジア三角地帯(日本列島も含まれる); 地球上で最も活発な造山運動が起きる地域

## Modern analogs

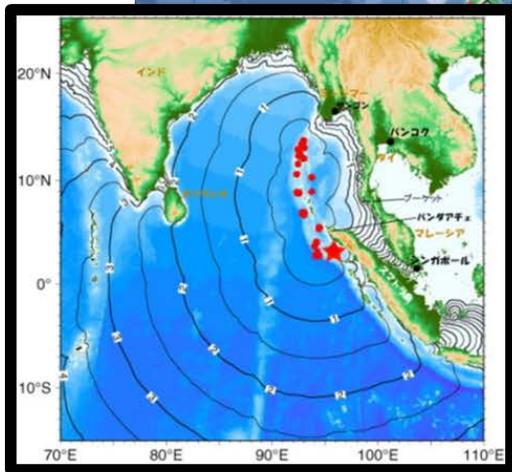
- (1) Arc was rifted into the two: Back-arc basin
- (2) Mantle wedge is metasomatically altered to include LILE and HFSE
- (3) Fore-arc was rifted in outer arc, eastern Indonesia.
- (4) Strange rifting ; (1) S. China basin (2) Fiji Basin, and (3)Caroline Plate (All can be explained by **2<sup>nd</sup> Continents**)

## Present Western Pacific



modified after Komiya and Maruyama (in press, Tectonophysics)

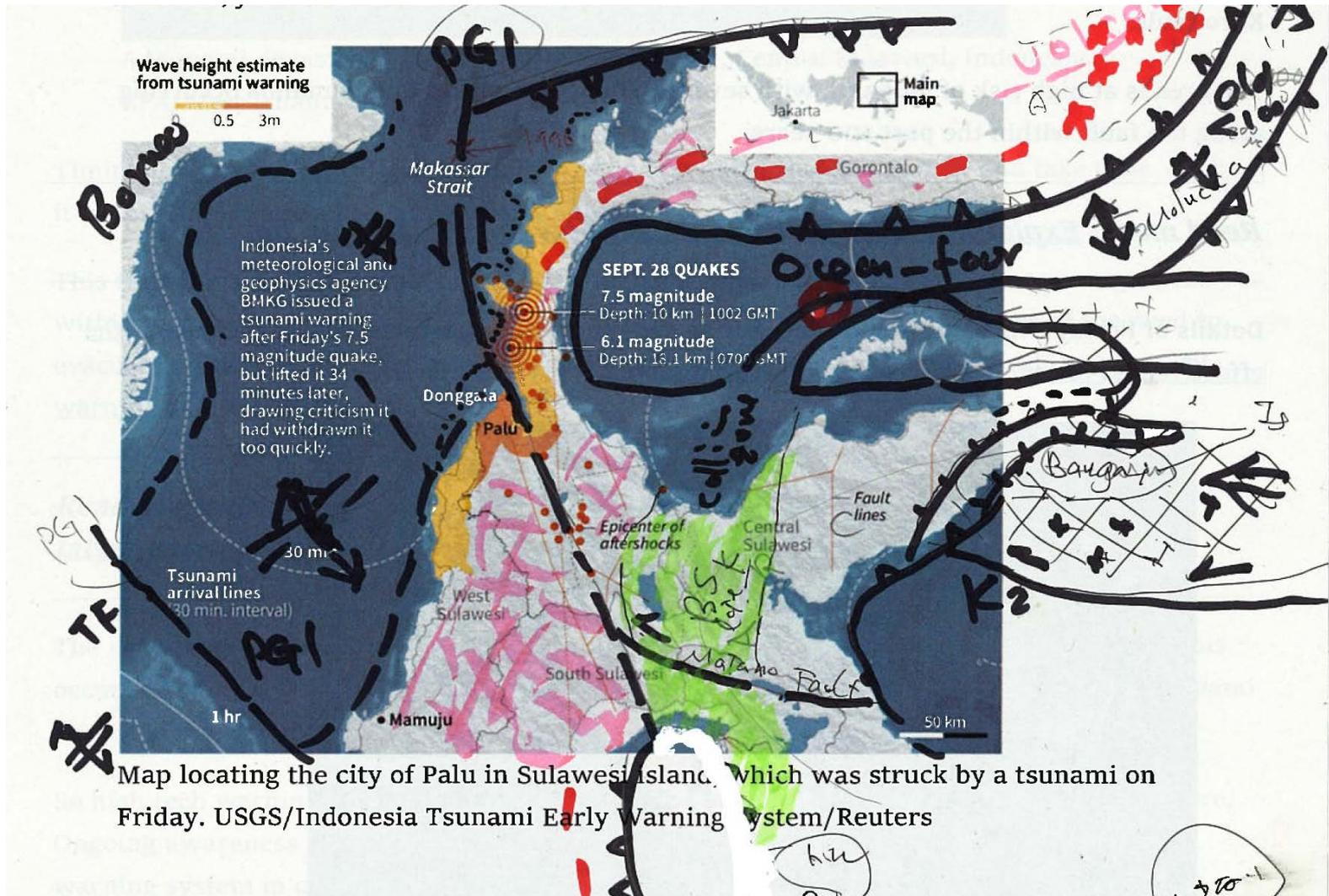
# 大規模海底地滑り跡を海底地形図を造って調べよう (2004年スラトラ島沖地震)



史上最悪の津波災害(20万人以上死亡)が海底地すべりによって起きたことを研究・実証する。  
海底地すべり堆積体の分布探査によって実証は可能。  
横ずれ境界なのでリバウンドはあり得ない地域でおきた津波。

# 東西断面図

# 大規模海底地滑り; パルー2018

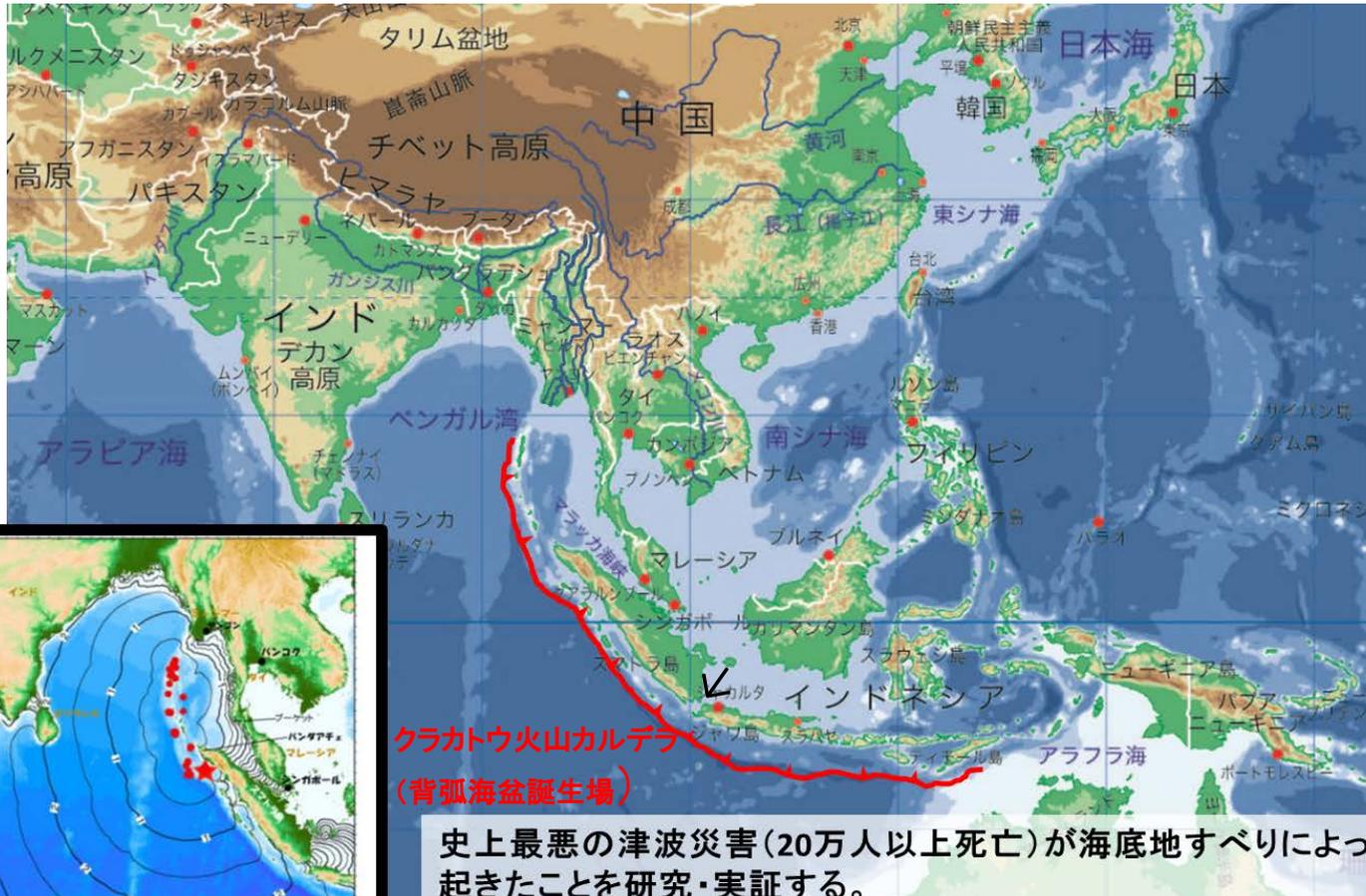


Map locating the city of Palu in Sulawesi island, which was struck by a tsunami on Friday. USGS/Indonesia Tsunami Early Warning System/Reuters

# クラカトウ火山噴火による津波

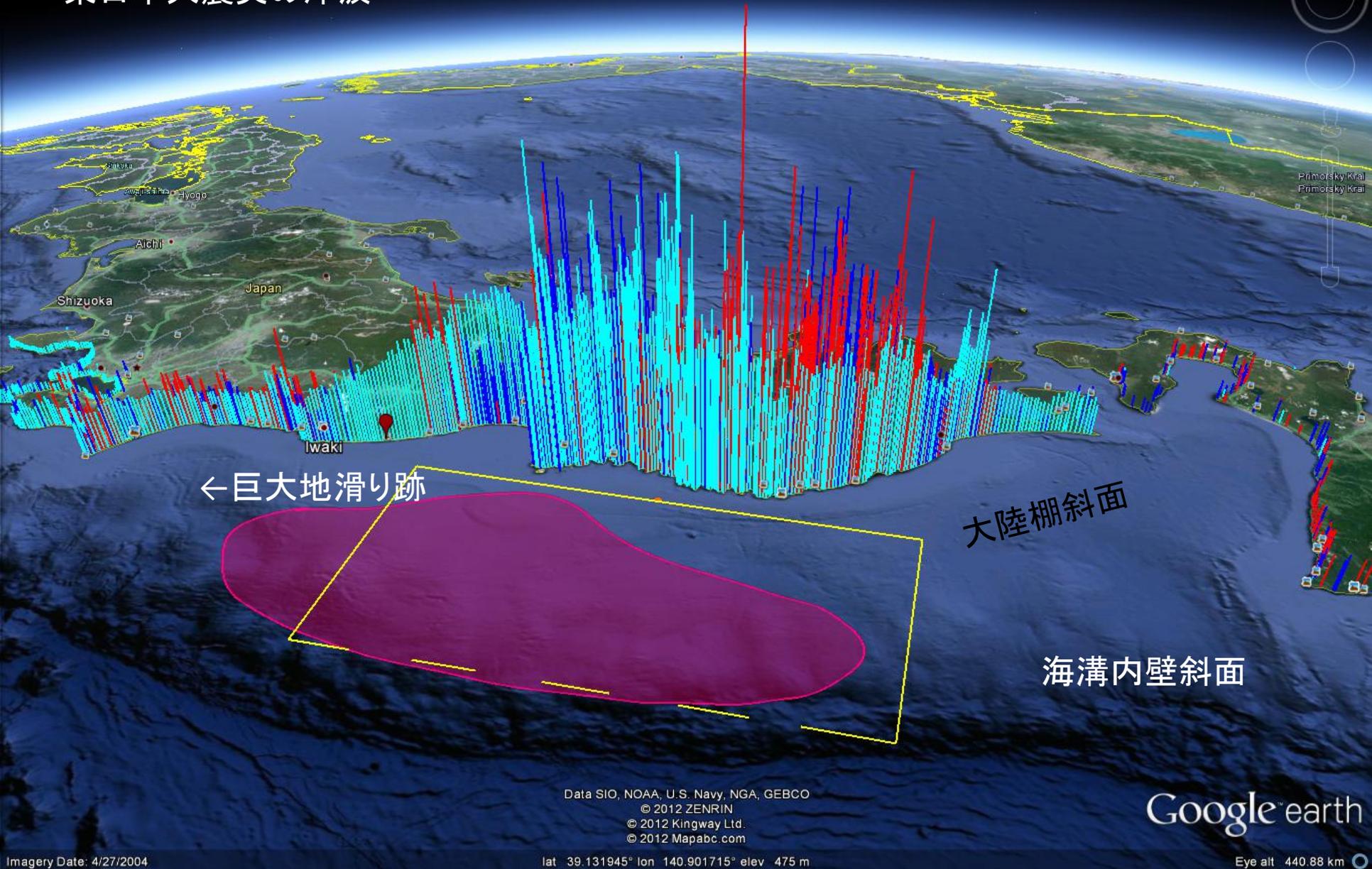
- 1)スマトラ島とジャワ島の境界地域で、背弧海盆拡大が起き始めている地域(大量の水が下部から供給されて巨大カルデラの形成)
- 2)安山岩マグマの噴出・固化が重力不安定場を創る;爆発的噴火がトリガーになって大規模海底地滑りが起きて、津波が起きる

# クラカトウ火山噴火と津波



3 沈み込み境界(2011. 03.11東北  
津波、**全ての津波は大規模海底大  
地すべり**)

# 東日本大震災の津波



Comparison of calculated (light blue) and measured run-ups (red) and inundation depths (deep blue) along the Tohoku coast  
提供: V. グシアコブ氏

# 大規模海底地滑りの観測例1

- 1 2011.3.11東北地震時の大規模同時多発乱泥流堆積物の空間分布と厚さ(JAMSTEC, Kawamura et al., 2013) → 少なくとも三陸沖の津波は大規模地滑りによる津波(Tapping et al., 2015)
- 2 それらの掘削と層序(Bouma Sequence)の解析(ドイツの研究グループ, in progress)

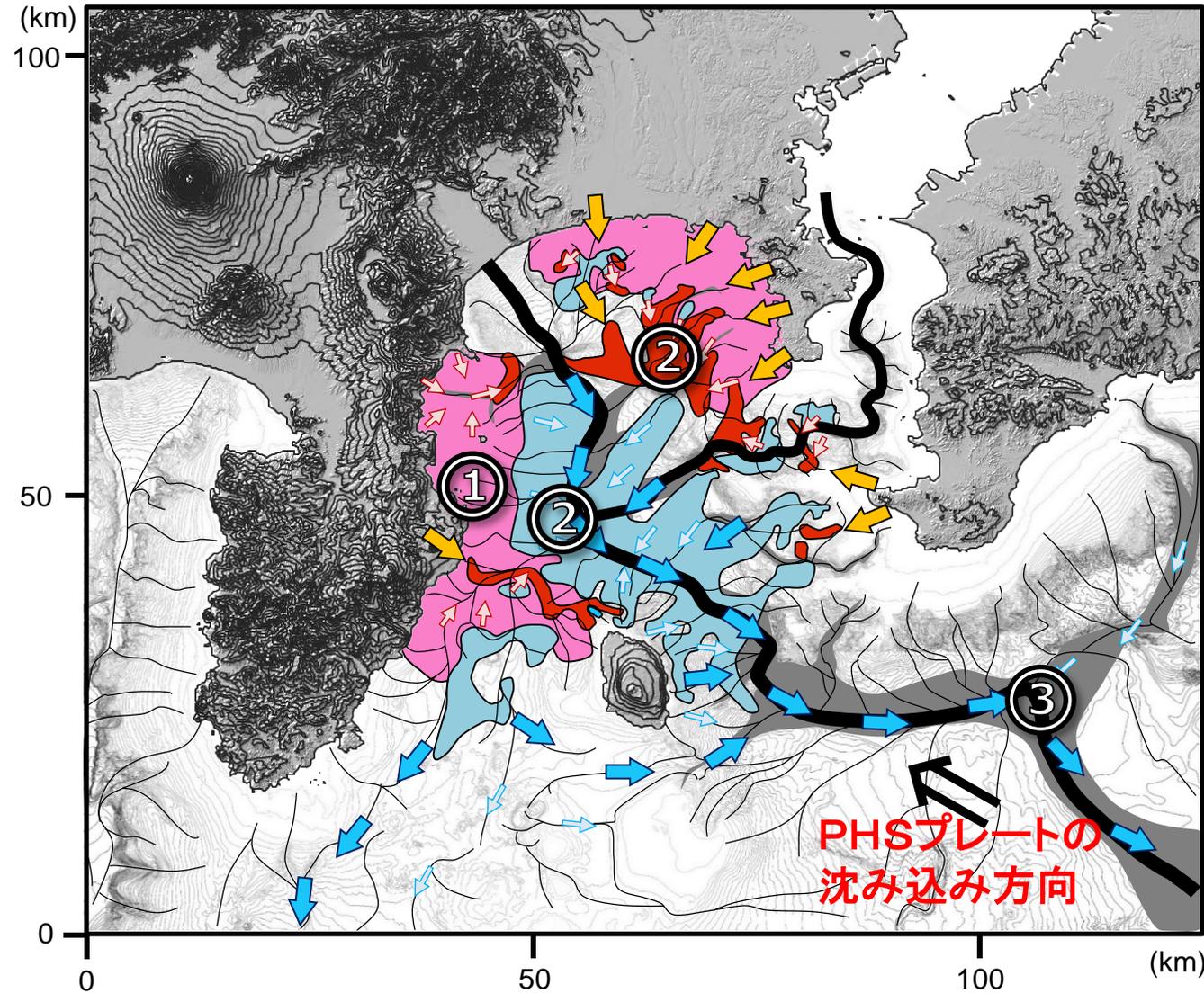
# 大規模海底地滑りの観測例2

3 大正関東地震(1923)津波前後の海底地形の変化(小川拓治)と海底堆積物の移動方向(最近の詳細な海底地形図に基づく推定)と乱泥流モデル(村田一城、2018)

●1923年の関東大地震の震源は三浦半島直下40km。東京が火災(二次災害)で大炎上(有名)したために、地震研究所が誕生した。

●ところが、震源から100km西方の伊豆半島東側で大規模な海底地滑りが発生し、津波災害が相模湾周辺に発生した。この津波災害はスラブリバウンドでは説明できない(横ずれ境界)

# 大正関東地震(1923)直後の水深変化→大規模海底地滑りの復元 プレート運動は沈み込み成分のない横ずれ境界;リバウンドはない



①

:海底の地滑り前の土砂

②

旧帝国海軍水路部より

:水深の変化:-  
:水深の変化:+

③

:地滑り土砂の流れ出た方向

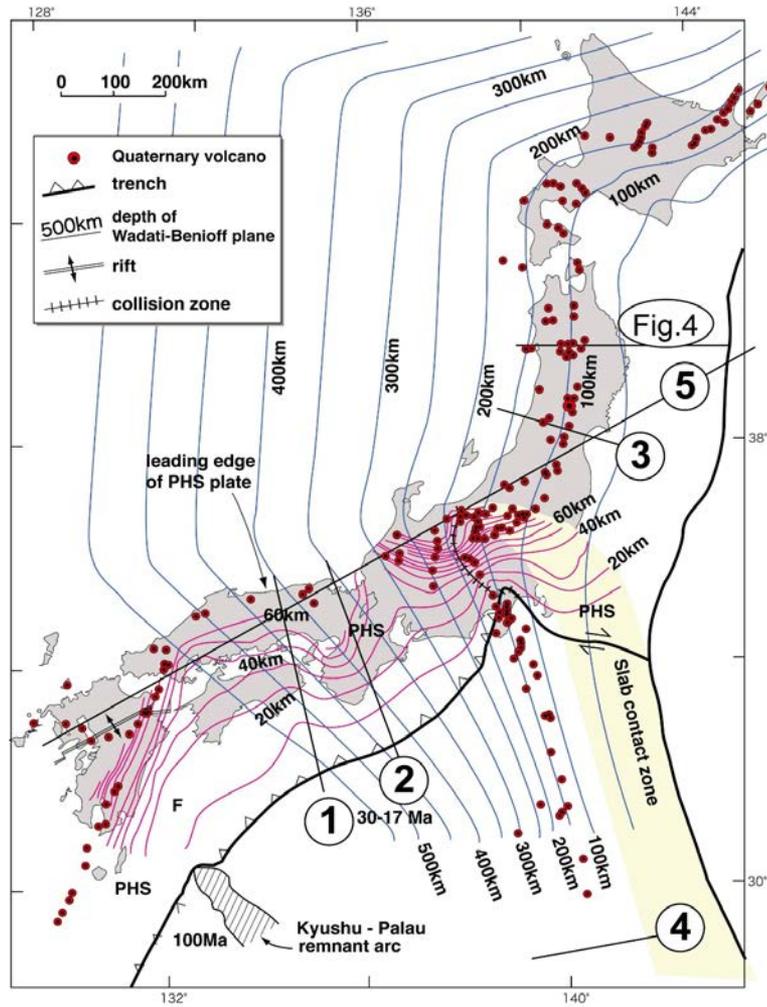
Murata et al., in progress

4 開く境界（背弧海盆拡大；①桜島・鹿児島湾一喜界カルデラ、②伊豆半島東部大島火山、③クラカトウ火山）、④北海道の噴火湾

火山噴火は**予知可能**；噴火に伴う**津波警戒が必要**

SW Japan; slab-melting on-going

Kyushu and Izu; Back-arc rifting on-going

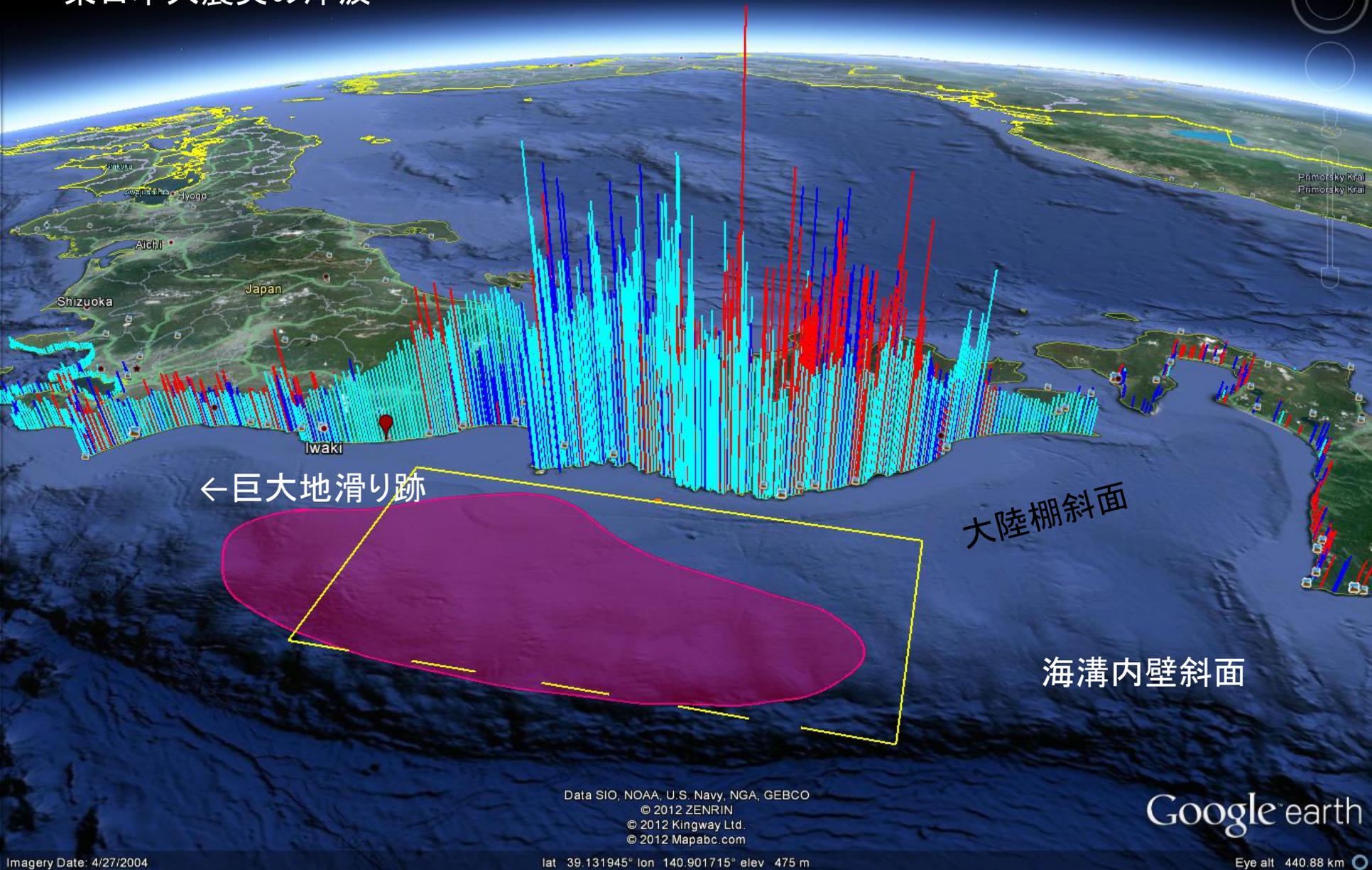


NE Japan; mantle wedge melting

# 日本列島周辺の重力不安定堆積物の空間分布＝最重要課題

- 1 房総沖海溝陸側斜面
- 2 東京湾口部
- 3 紀伊半島沖
- 4 四国沖

# 東日本大震災の津波



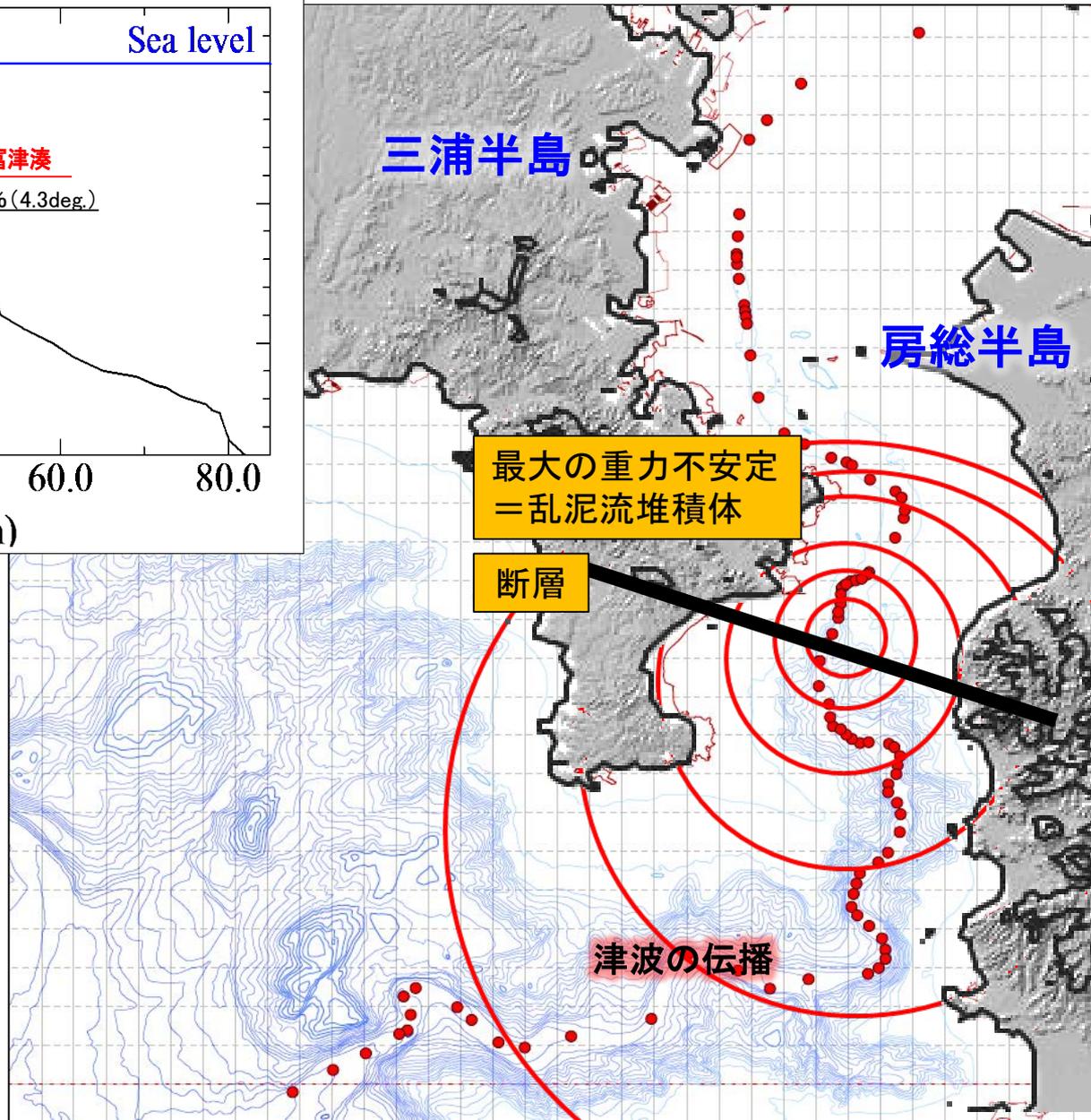
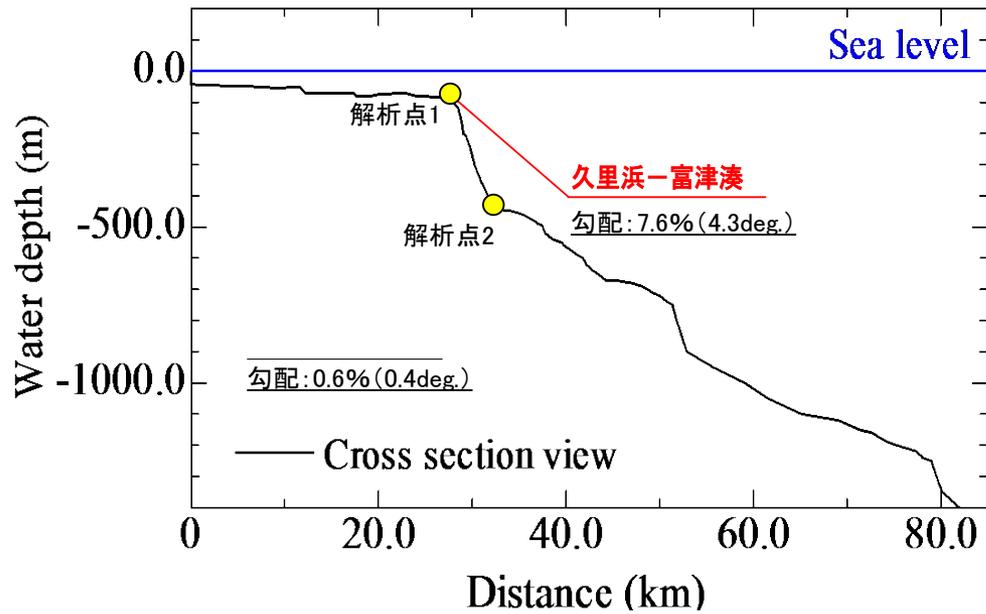
Comparison of calculated (light blue) and measured run-ups (red) and inundation depths (deep blue) along the Tohoku coast  
提供: V. グシアコブ氏



# 今後の津波防災の方向

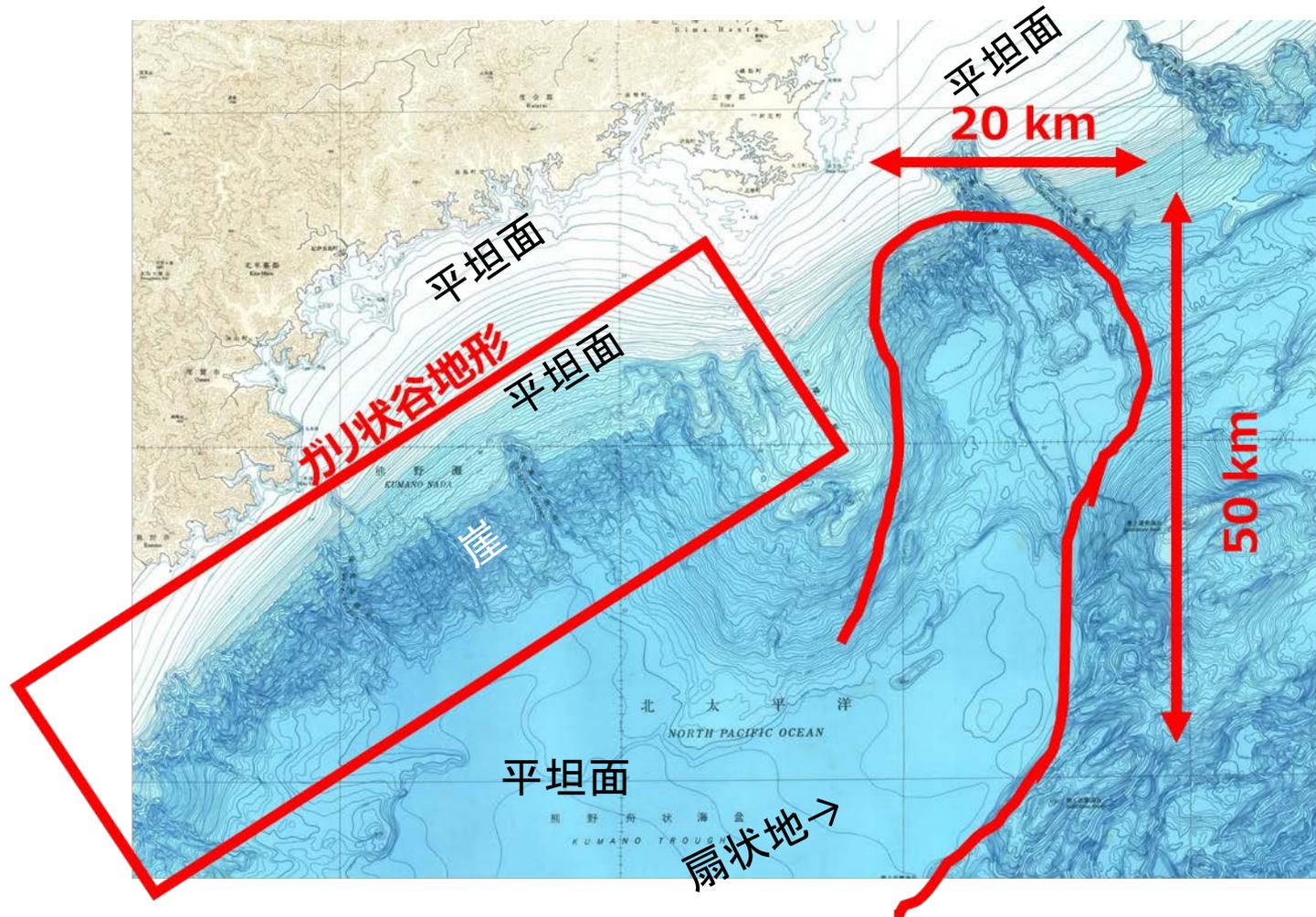
- リバウンド説の場合、津波の予兆・予言は不可能である(地震予知と同じで予知できない)
- 大規模海底地滑り説の場合、予め、重力不安定場を調べ、海底土木技術を駆使して重力不安定を無くせば津波災害は無くなる。
- ただし、一気に重量不安定場を除去することはできない。
- 早急に、重力不安定場を特定し、観測(微小地震、傾斜計など)を開始する必要がある
- 防災対策(次のセッション)

# 重力不安定場の代表例：東京湾口部の海底堆積物



# 大規模海底地滑りの危険候補地

歴史津波災害と海底地滑り跡(陸の河川の延長部でない巨大海底谷と裾野の巨大扇状地)



# まとめ

## ●津波の起源

リバウンド説と大規模海底地滑り説を概説した。  
プレート境界による津波の分類を提案した。

## ●津波防災

重力不安定場を特定し、観測体制の必要性を  
提案した。次が津波災害を無くす海底防災技術  
の開発である。

終り