

東京海上研究所
2017年自然災害リスクセミナー

津波リスク研究の最先端 とこれからの防災対応

東北大学災害科学国際研究所
所長 津波工学分野教授
今村文彦

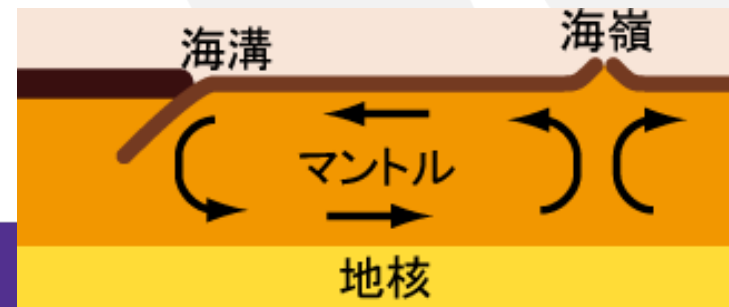
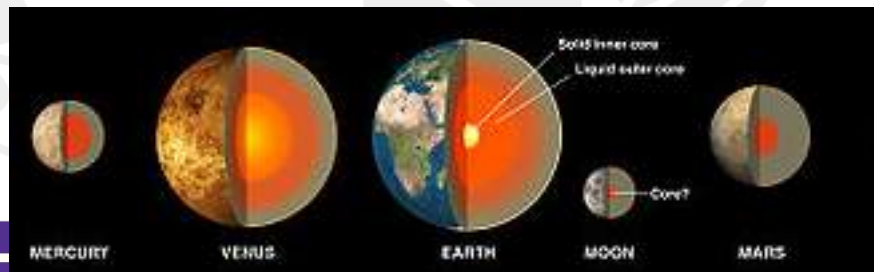
TOHOKU
UNIVERSITY

<http://irides.tohoku.ac.jp/>

 IRIDeS
International Research Institute
of Disaster Science

地球は生きています；

- 約45億年の年齢
- 人間で言うと40歳くらい(中年です)
- 内部に(莫大な)熱エネルギーを持っています.
- 我々の住んでいる表面は冷めてきています.
- そうすると内部で, 熱流れ(循環)が生じます.
- これがマントル(対流です) => プレート(板)運動へ



プレート運動

- 海のプレートは海嶺(海底山脈)で生成される。
- 海嶺から両側に地球表面に沿ってゆっくりと移動する。
- 陸のプレートと衝突すると、重い海のプレートが海溝のところから沈み込む。

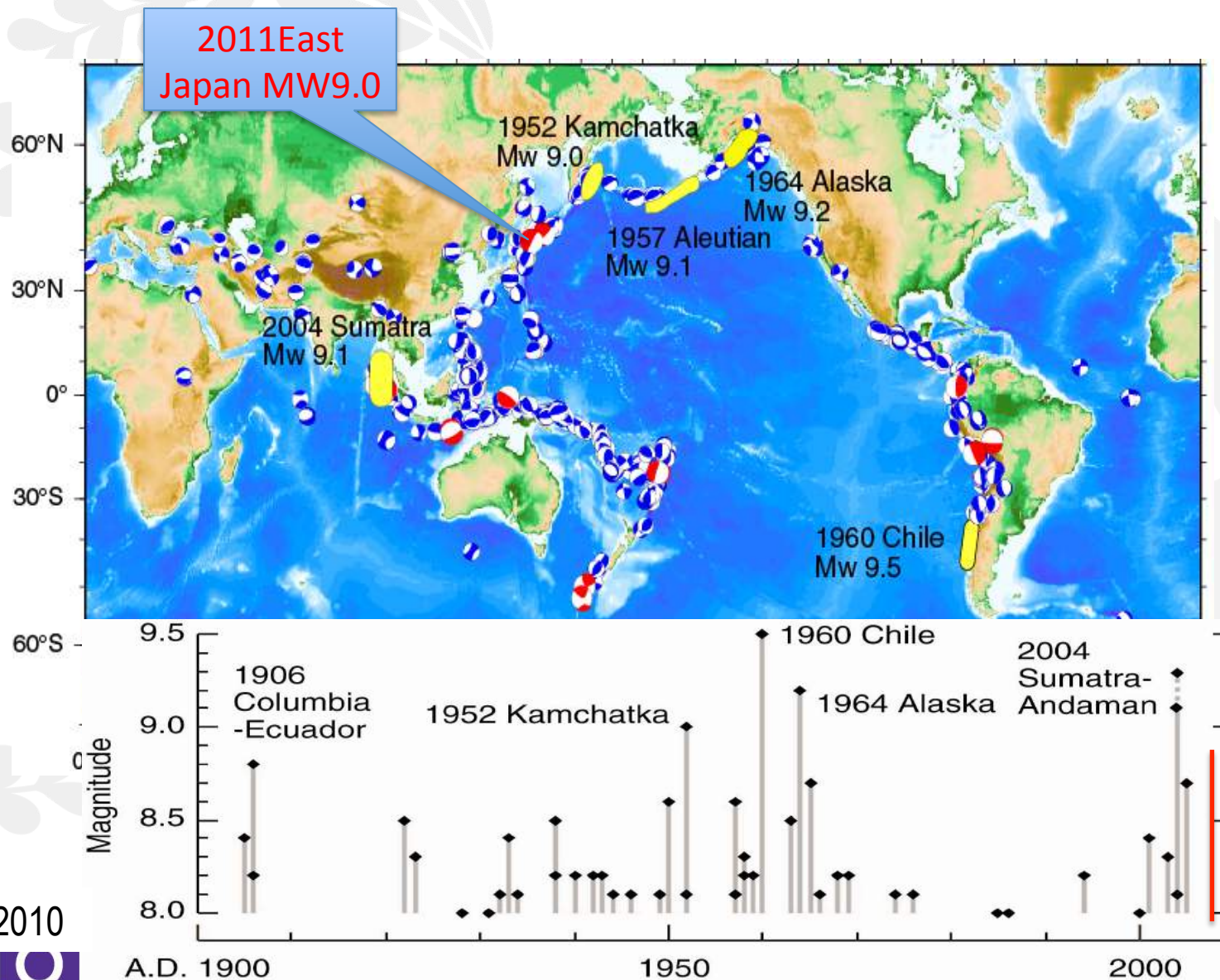


世界の地震活動

日本の面積はわずか0.2%そこに20%の地震が発生している

地球上で最近発生したマグニチュード4以上、深さ100km以浅の地震の分布である(マグニチュードは、地震の規模を表す量で、以下Mと記す)。この図を見ると、地震はどこでも均等に発生しているのではなく、帯状の狭いところで数多く発生していることが分かる。日本列島は、この帯状の地帯に位置している。

過去100年間の巨大地震



Satake, 2010

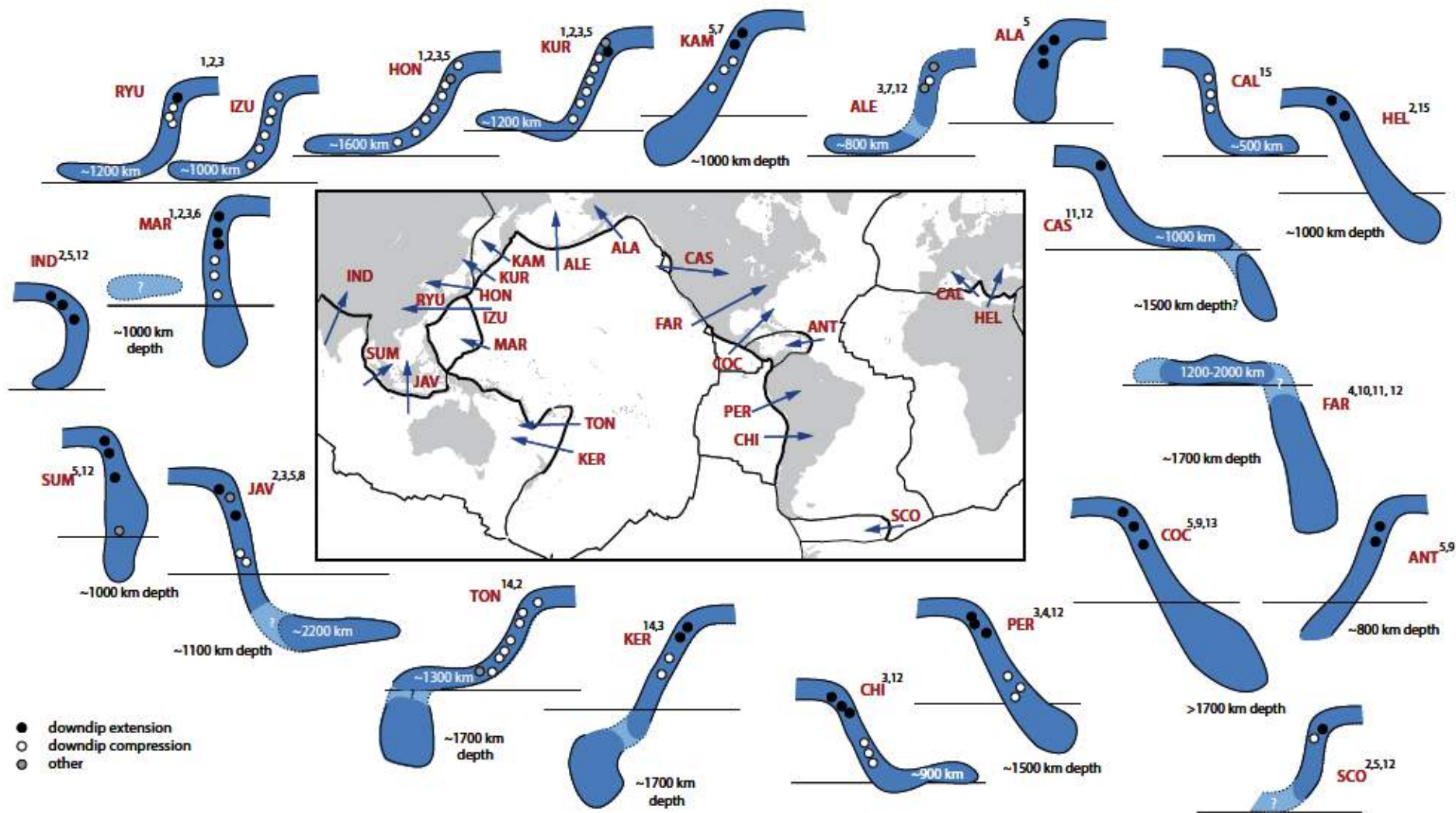
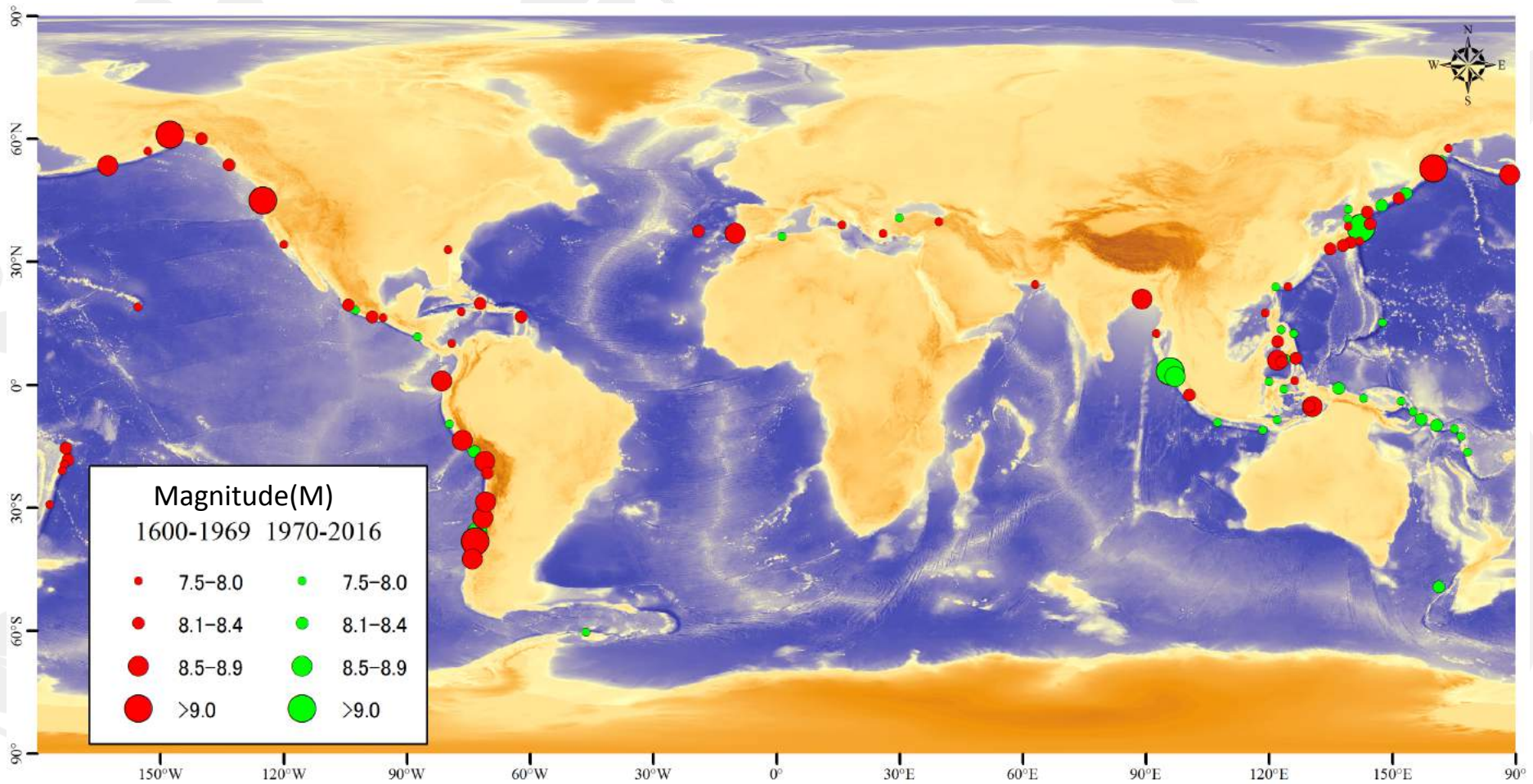
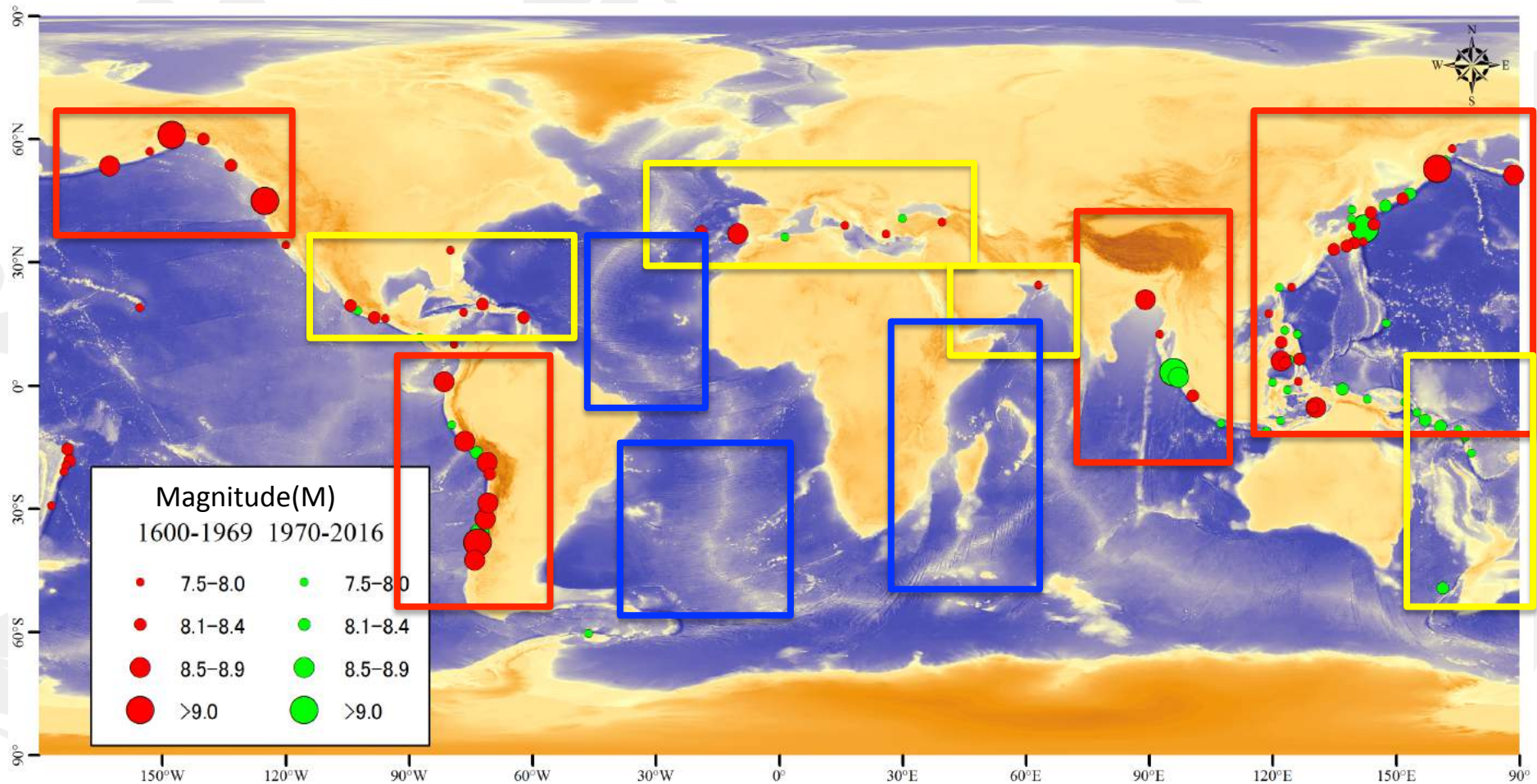


Figure 2. Summary of morphologies of transition-zone slabs as imaged by tomographic studies and their Benioff stress state. Arrows on the map indicate the approximate locations of the cross sections shown around the map, with their points in down-dip direction. Blue shapes are schematic representations of slab morphologies (based on the extent of fast seismic anomalies that were tomographically resolvable from the references listed). Horizontal black lines indicate the base of the transition zone (~660 km depth). For flattened slabs, the approximate length of the flat section is given in white text inside the shapes. For penetrating slabs, the approximate depth to which the slabs are continuous is given in black text next to the slabs. Circles inside the slabs indicate whether the mechanisms of earthquakes at intermediate (100–350 km) and deep (350–700 km) are predominantly down-dip extensional (black) or compressional (white). Stress states are from the compilations of Isacks and Molnar (1971), Alpert et al. (2010), Bailey et al. (2012), complemented by Gorbatov et al. (1997) for Kamchatka, Stein et al. (1982) for the Antilles, McCrory et al. (2012) for Cascadia, Papazachos et al. (2000) for the Hellenic zone, and Forsyth (1975) for Scotia. The subduction zones considered are (from left to right and top to bottom): RYU—Ryukyu, IZU—Izu, HON—Honshu, KUR—Kuriles, KAM—Kamchatka, ALE—Aleutians, ALA—Alaska, CAL—Calabria, HEL—Hellenic, IND—India, MAR—Marianas, CAS—Cascadia, FAR—Farallon, SUM—Sumatra, JAV—Java, COC—Cocos, ANT—Antilles, TON—Tonga, KER—Kermadec, CHI—Chile, PER—Peru, SCO—Scotia. Numbers next to the red subduction zone codes refer to the tomographic studies used to define the slab shapes: 1—Van der Hilst et al., 1991; Fukao et al., 1992; 2—Bijwaard et al., 1998; Hafkenscheid et al., 2001; Hafkenscheid et al., 2006; 3—Fukao et al., 2001; Fukao et al., 2009; Fukao and Obayashi, 2013; 4—Bunge and Grand, 2000; Grand, 2002; 5—Karason and Van der Hilst, 2000; Replumaz et al., 2004; Li et al., 2008; 6—Miller et al., 2005; Miller et al., 2006; 7—Gorbatov et al., 2000; 8—Hall and Spakman, 2015; 9—Van der Hilst, 1989; Grand et al., 1997; Ren et al., 2007; 10—Van der Lee and Nolet, 1997; Schmid et al., 2002; 11—Sigloch et al., 2008; Sigloch, 2011; 12—Simmons et al., 2012; 13—Gorbatov and Fukao, 2005; 14—Van der Hilst, 1995; Schellart and Spakman, 2012; 15—Spakman et al., 1993; Wortel and Spakman, 2000; Ptomallo and Morelli, 2003.

過去400年間の地震 (94イベント)

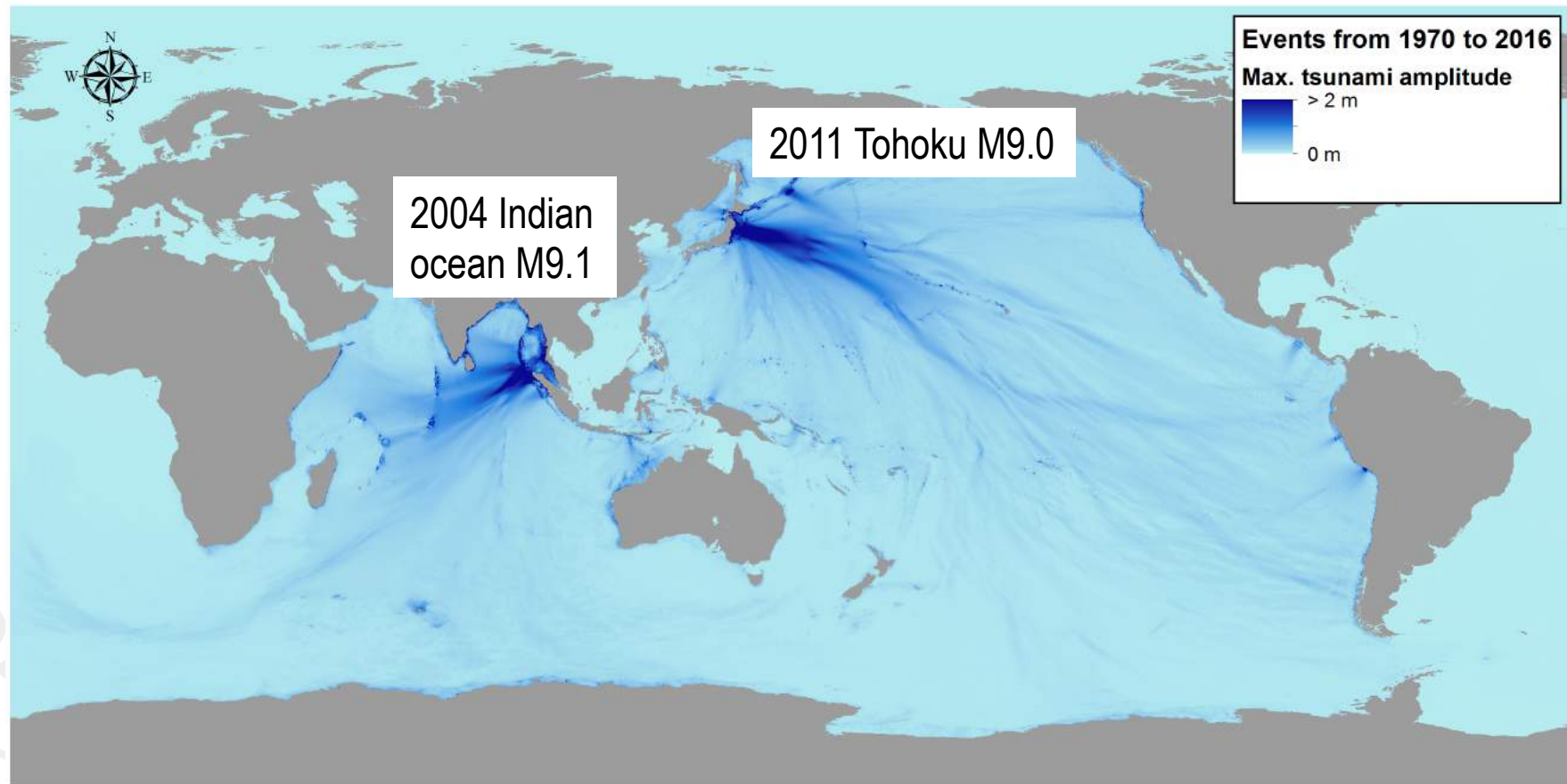


過去400年間の地震 (94イベント)



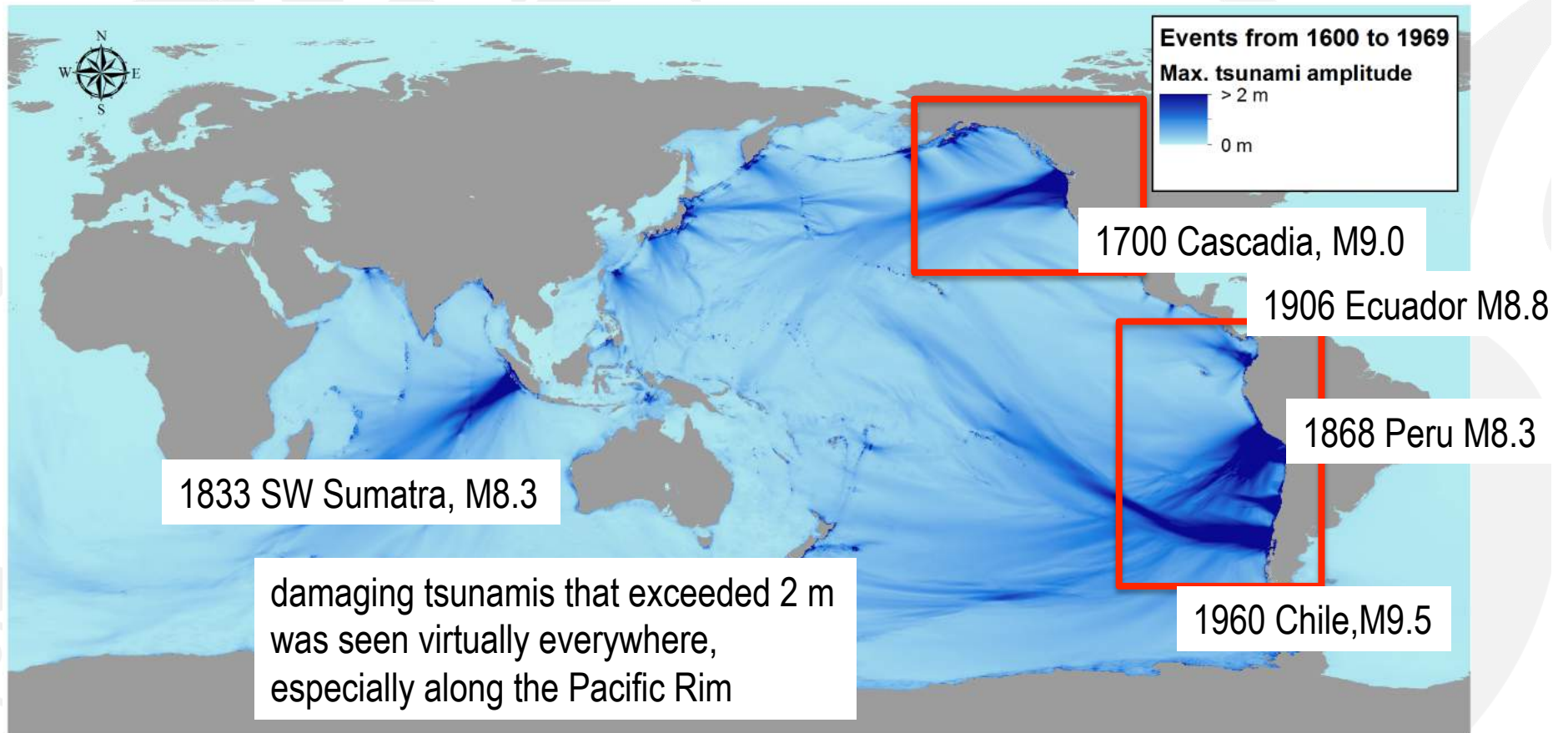
Discussions

最近発生した津波の影響範囲 (32イベント: 1970-2016)



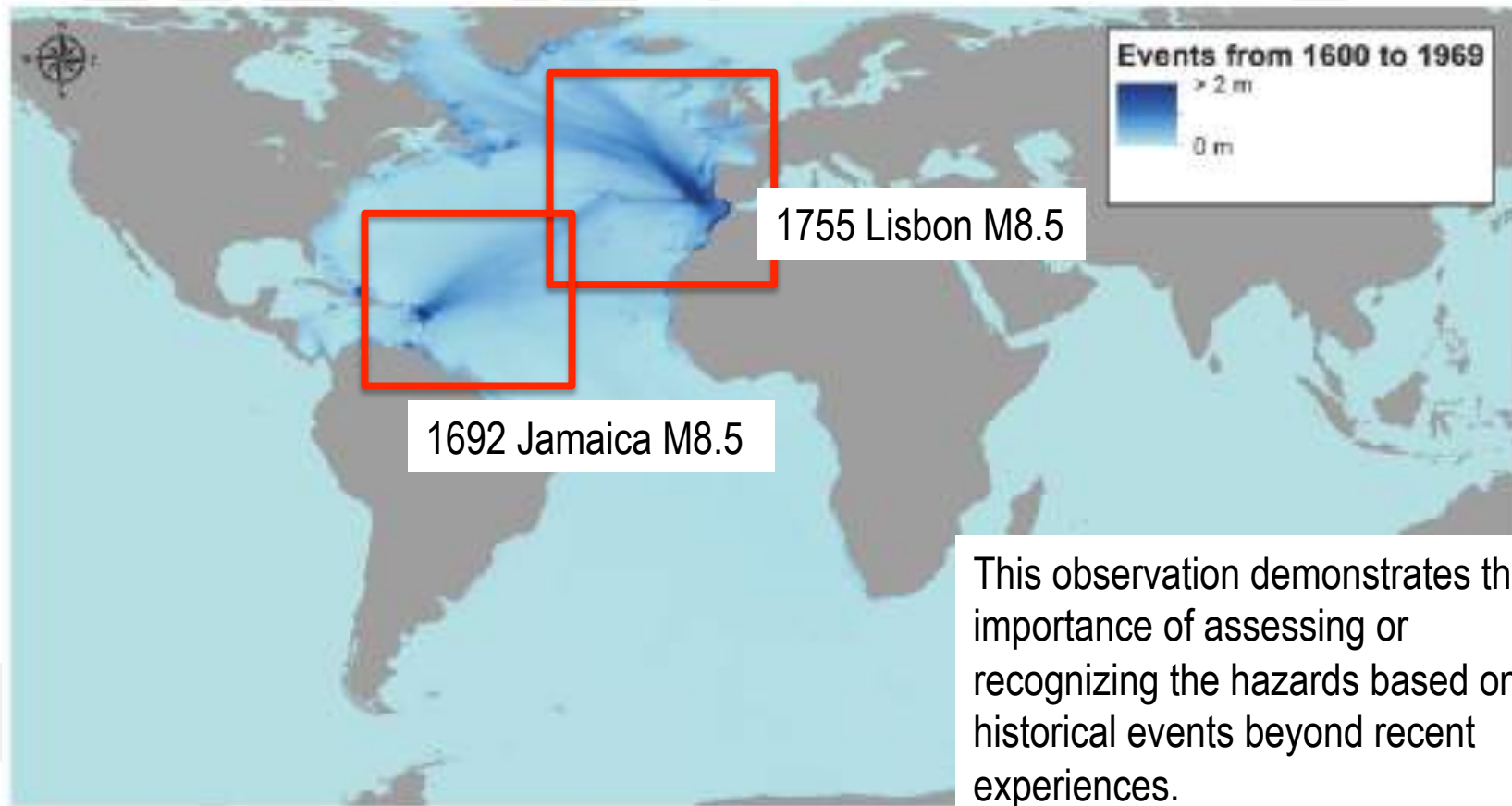
Discussions

歴史的に発生した津波の影響範囲 (52イベント:
1600-1969)



Discussions

歴史的に発生した津波の影響範囲 (52: 1600-1969)

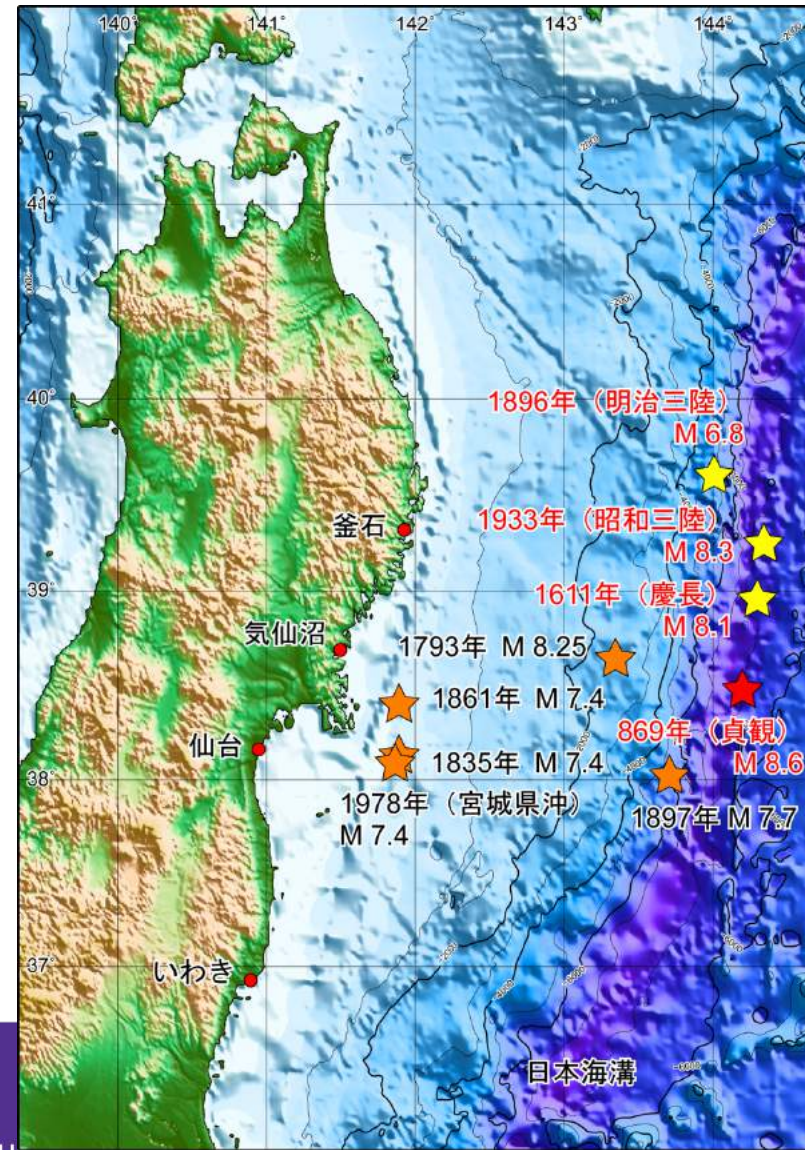


東北太平洋沿岸の歴史津波

Historical tsunamis off Pacific ocean in Tohoku

- 主に三陸海岸に襲来
- 宮城・福島沿岸では被害例が少ない
- 日本海溝沿いの地震で大津波を発生
- 宮城県沖の地震による津波は小さい

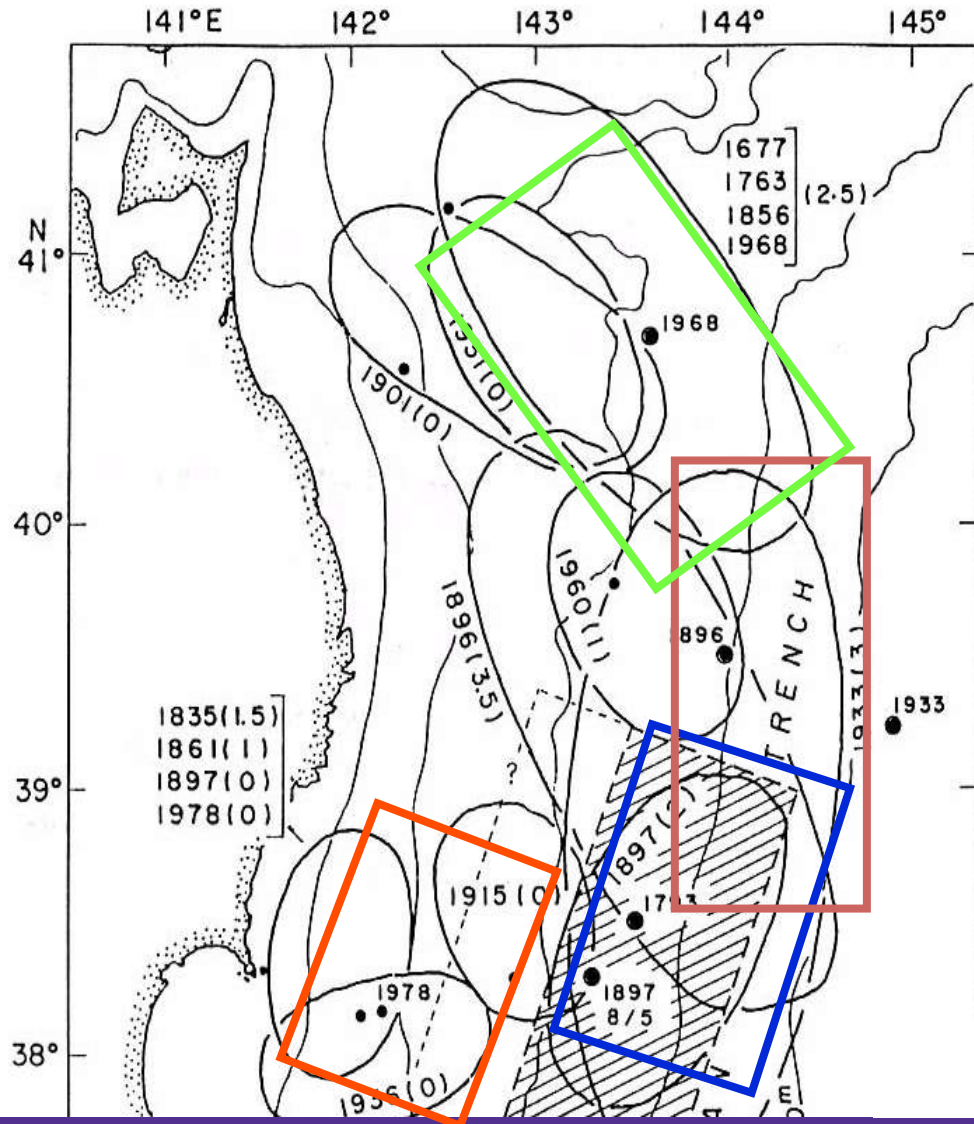
発生年月日		マグニチュード	
西暦	和暦	地震	津波
869年 7月 13日	貞観11年 5月 26日	8.6	4
1611年 12月 2日	慶長16年 10月 28日	8.1	3
1793年 2月 17日	寛政5年 1月 7日	8.25	2
1835年 7月 20日	天保6年 6月 25日	7.4	2
1861年 10月 21日	文久1年 9月 18日	7.4	1
1896年 6月 15日	明治29年	6.8	4
1933年 3月 3日	昭和8年	8.3	3
1978年 6月 12日	昭和53年	7.4	0



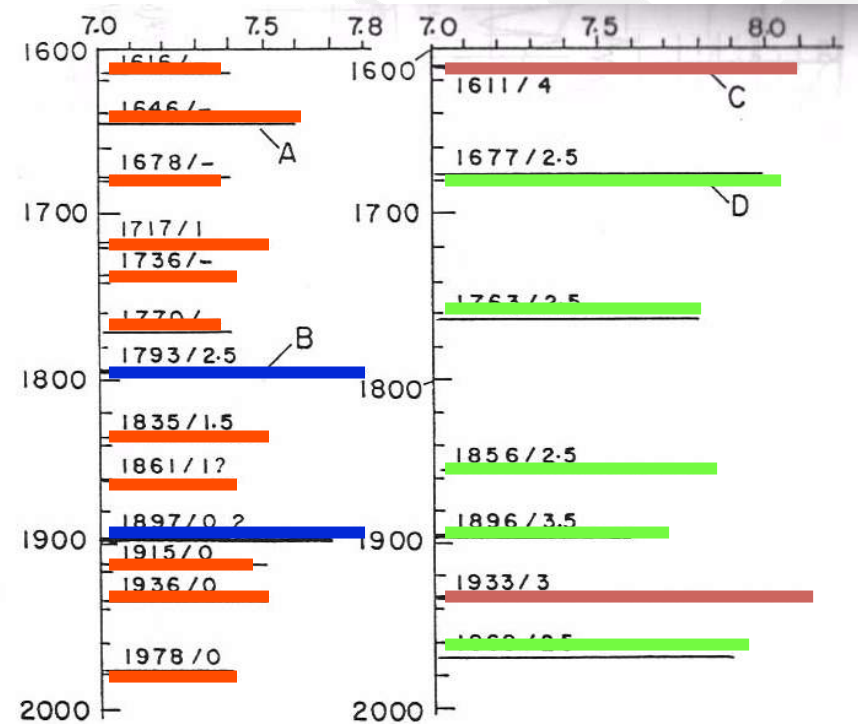
上: 東北日本太平洋沿岸に襲来した主な歴史津波.
 右: 歴史津波の波源位置. 渡邊(1985)を元に作成.

三陸沖・宮城県沖での過去の地震・津波

Historical earthquakes and tsunamis in Sanriku and Miyagi



縦軸は年, 横軸はマグニチュード

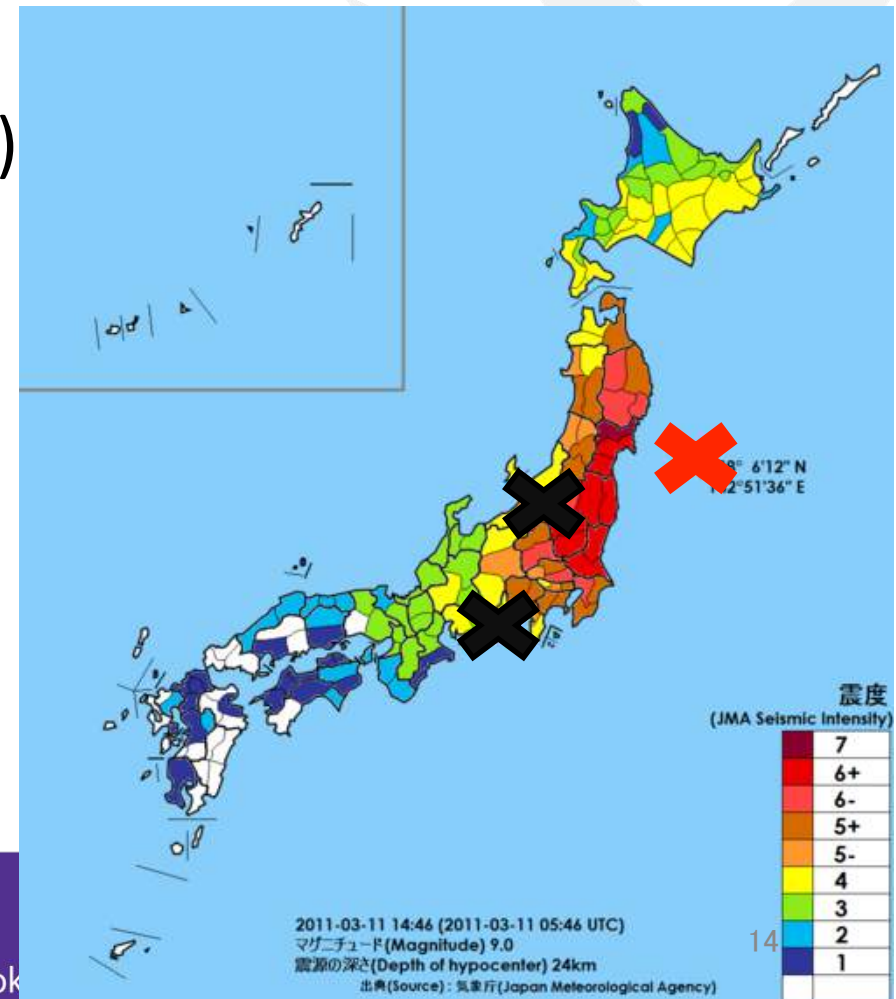


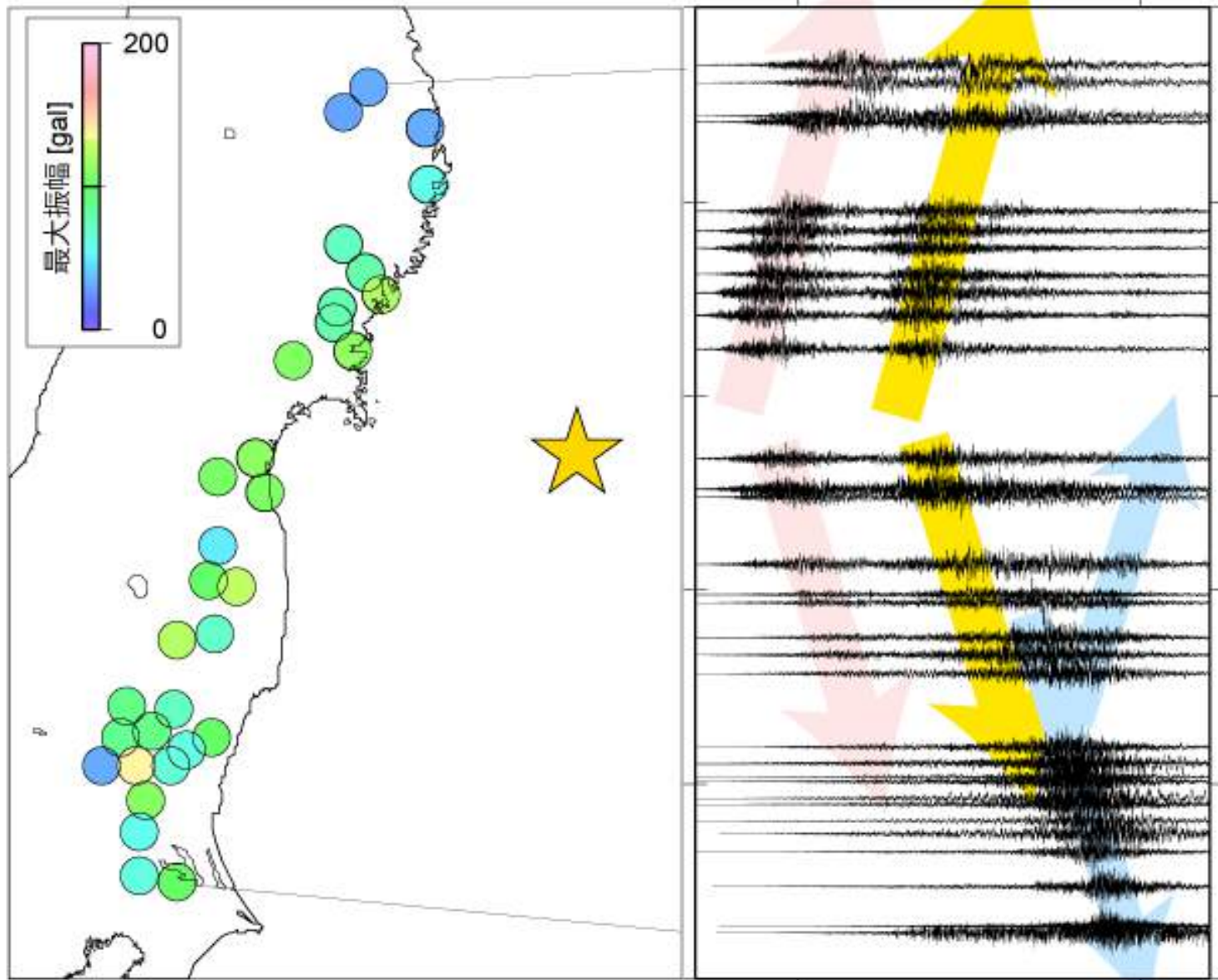
宮城県沖地震は37年に一回発生

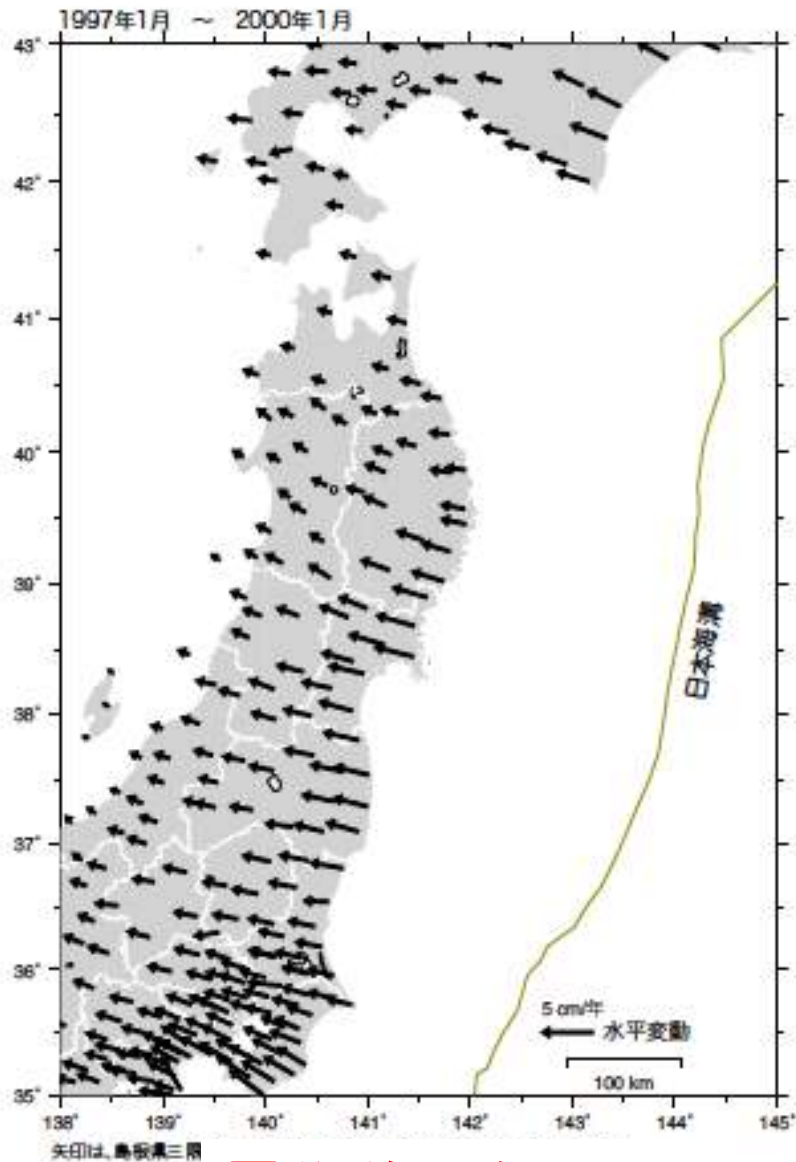
複合災害 Triple Tragedy and Damages

- Triple Disasters: ONE – 地震 The Earthquake

- 発生:2011年3月11日 March 11, 2011, 2:46pm
- 地震規模Scale: Mw 9.0
(1900年以降世界で4番目)
- In 5 days: 余震 2
Mw 5+ 地震
(黒印 X)
- 1か月で400回以上
- In a month: 400 +
aftershocks continues

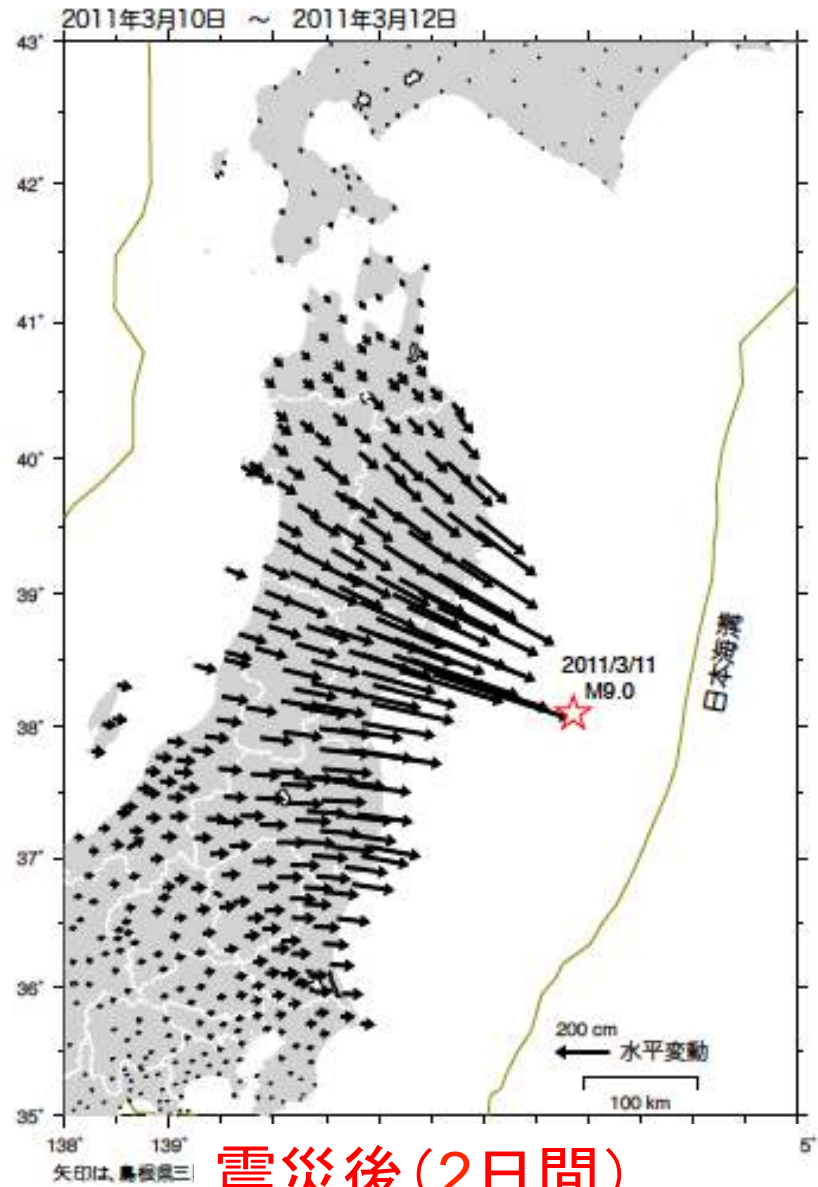






震災前(3年間)

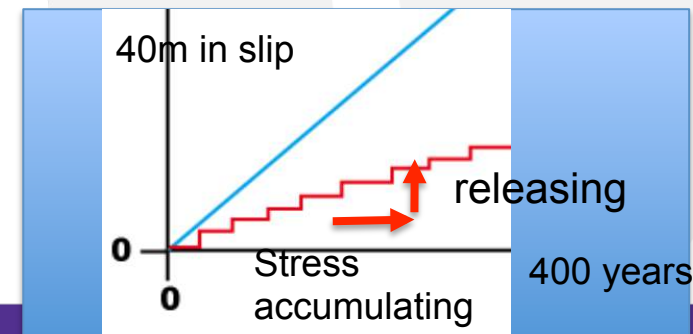
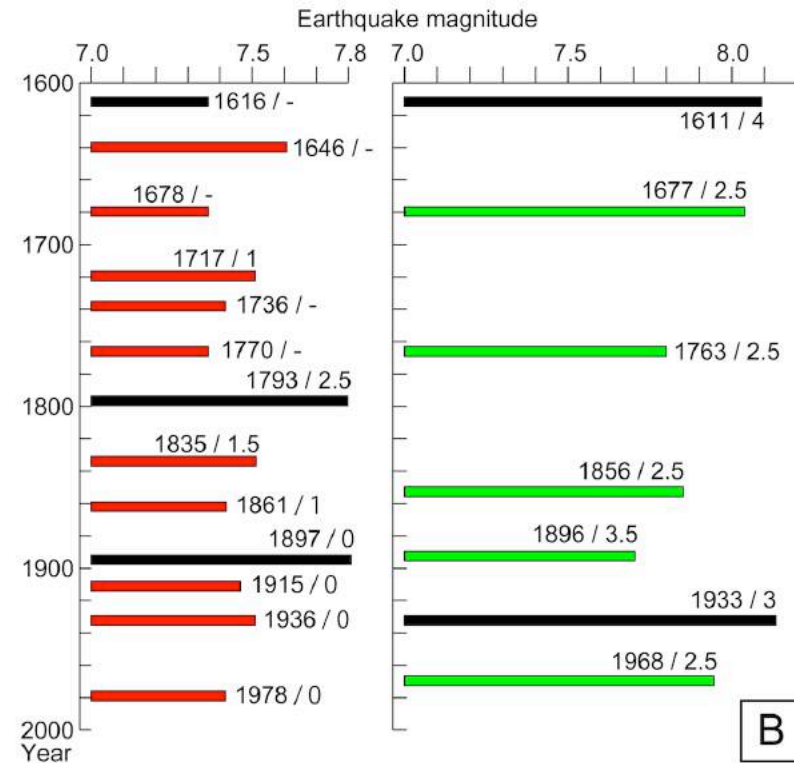
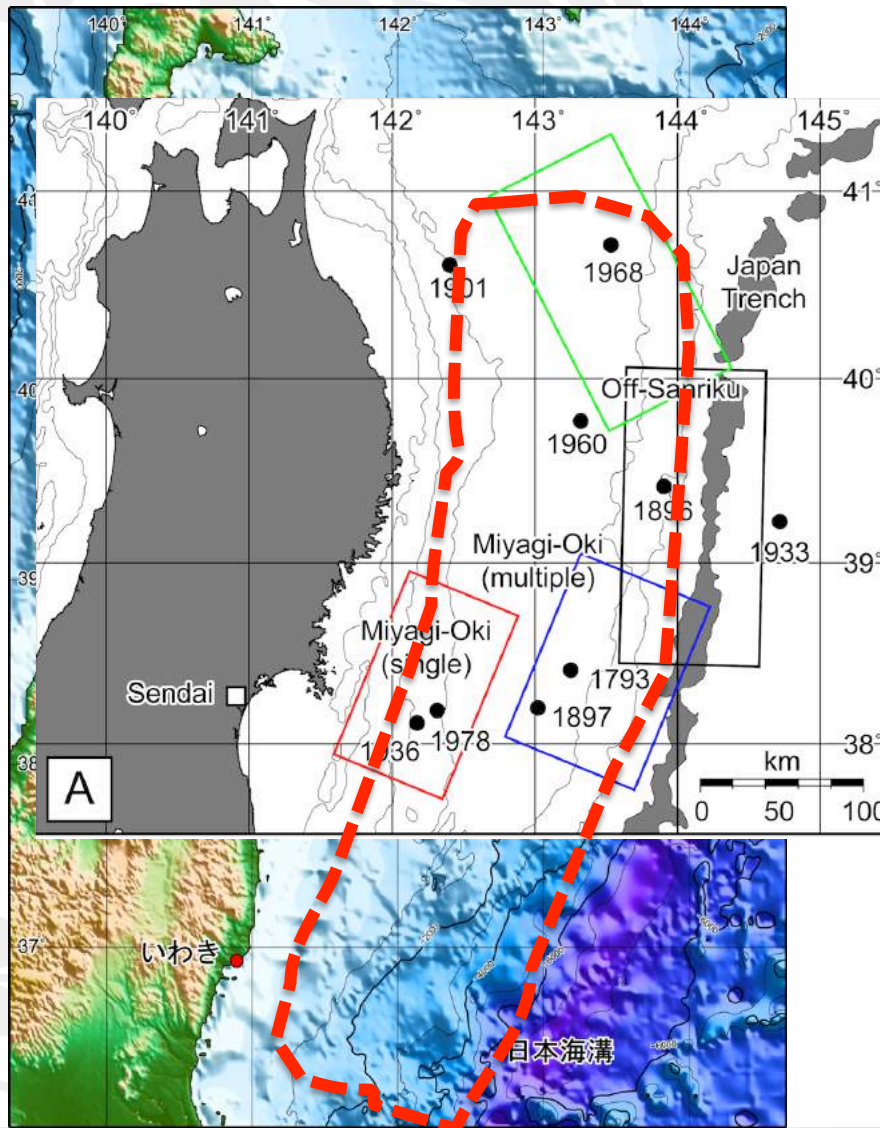
Crustal movement before



震災後(2日間)

Crustal movement after

Historical tsunamis in Tohoku for 400 years and the 2011 Tohoku Eq.



- T.Hatori, Distributions of Seismic Intensity and Tsunami of the 1793 Miyagi Oki Earthquake, Northeastern Japan, *Bulletin of Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, **62**, 297-309 (1987).

- Triple Disasters: **TWO – 津波 Tsunamis**

- 津波警報・避難指示の発令

Tsunami evacuation order and warning, immediately after Time reaching the coast:

less than 20-30 min **到達時間**

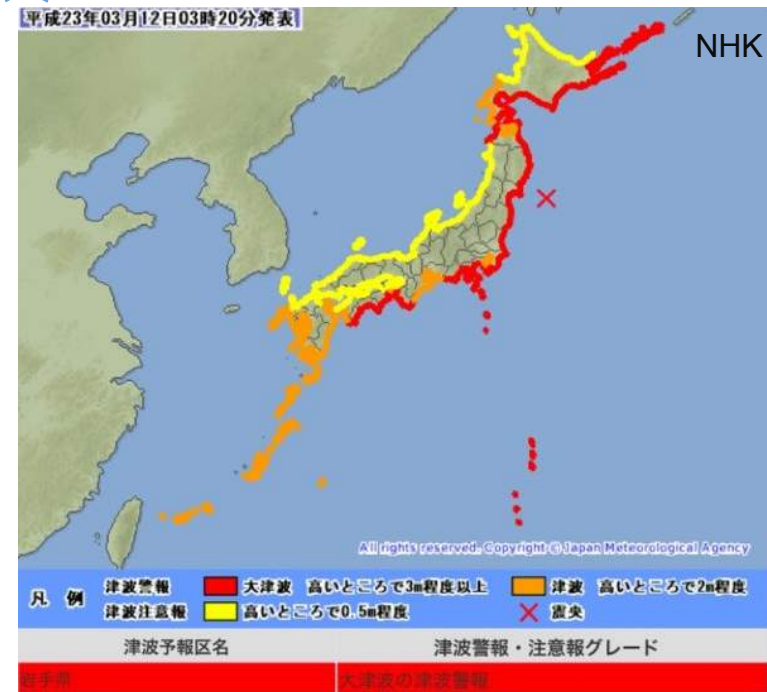
20-30分後

- 6時間で7回の津波来襲

- 2日間の継続時間



Reuters/Mainichi Shimbun



- According to the information:

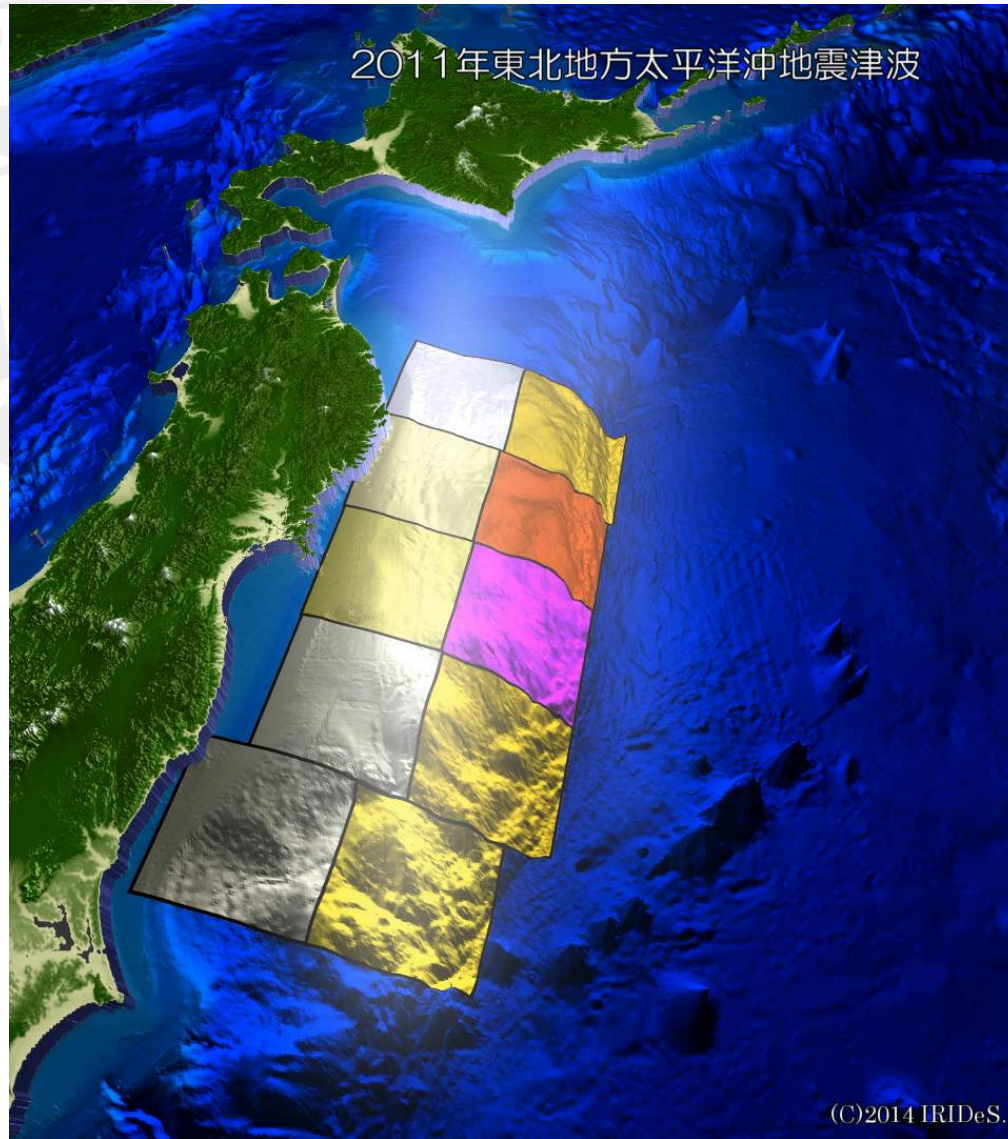
- 記録値 Highest wave recorded: 9.3m
- 津波遡上高さ Highest run up-height : 35 m
- 内陸への遡上距離 Farthest inland reached: 8km

他の2次災害

- 浸水域 + 地形変化
560km² Inundated area
- 液状化 Liquefaction
- 火災 Fire



2011年東北地方太平洋沖地震津波



東日本大震災における地震津波断層モデル(東北大モデル)の共同開発(2011)

来襲する津波(仙台平野)

Tsunami First arrival at Sendai

11日午後3時56分



U

(毎日新聞) http://www.boston.com/bigpicture/2011/03/massive_earthquake_hits_japan.html
<http://irides.tohoku.ac.jp/>

来襲する津波(仙台平野)

Tsunami First arrival at Sendai

11日午後3時56分



U (毎日新聞) http://www.boston.com/bigpicture/2011/03/massive_earthquake_hits_japan.html

<http://irides.tohoku.ac.jp/>

来襲する津波(仙台平野)

Tsunami First arrival at Sendai Airport



(毎日新聞) http://www.boston.com/bigpicture/2011/03/massive_earthquake_hits_japan.html

<http://indes.tonoku.ac.jp/>

来襲する津波(仙台平野)

Tsunami First arrival at Sendai Airport



(毎日新聞) http://www.boston.com/bigpicture/2011/03/massive_earthquake_hits_japan.html

<http://indes.tonoku.ac.jp/>

素因	誘因	影響(拡大要因)	被害
浸水(泥水)	海水(塩分), 土砂移動, 火災発生	溺死(呼吸困難, 津波肺), 延焼, 海水植物枯	地域崩壊, 火災, 農業被害
流れ	漂流物・船舶, 土砂, 可燃物	破壊, 浸食堆積, 火災延焼, 土砂移動	家屋・施設被害, インフラ被害, 環境破壊
波力	浸水×流れ ²	破壊力(破壊増)	家屋・施設被害, インフラ被害



分野3: 防災・ 減災に資する 地球変動予測

京コンピュータ

地球規模の気候・環境変動予測
超高精度メソスケール気象予測の実証
地震の予測精度の高度化
津波の予測精度の高精度化
都市全域の自然災害シミュレーション
計算科学技術推進体制の構築

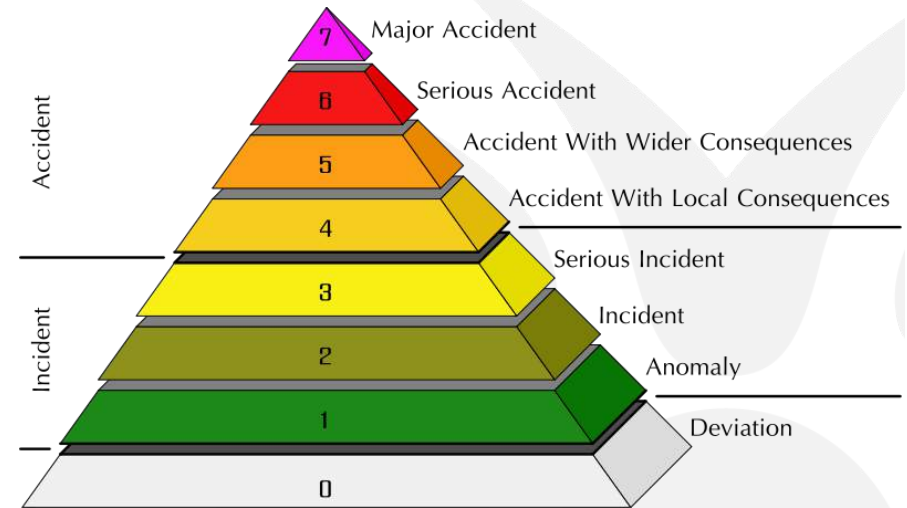
観測(被害実態), 予測, インバージョン
可視化, 認知理解
具体的な対策, 政策に貢献



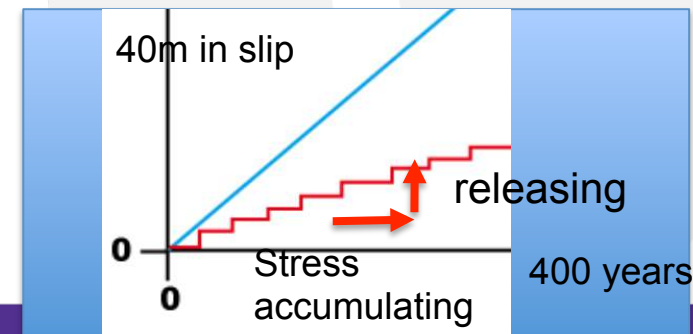
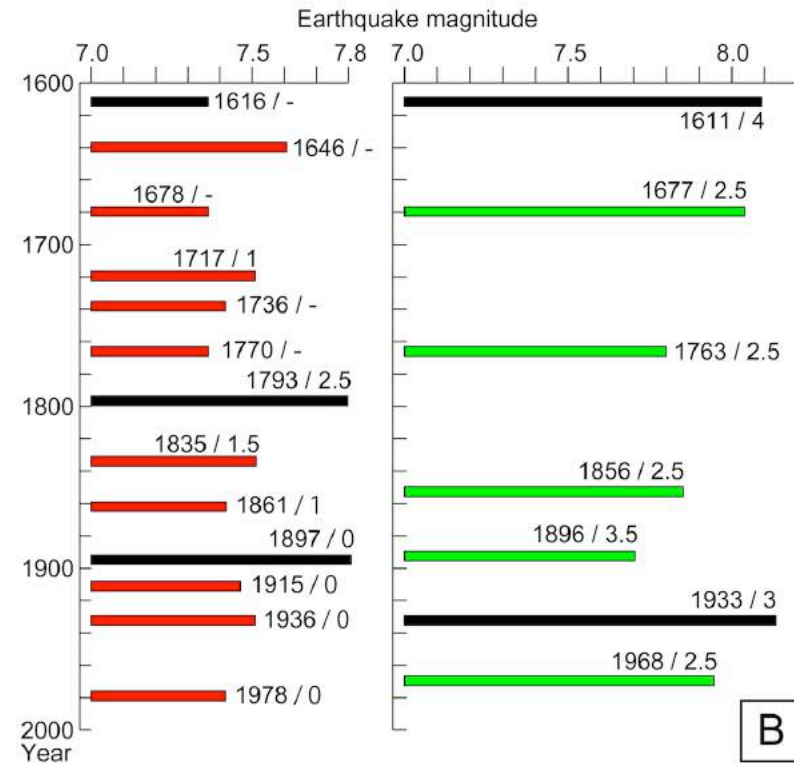
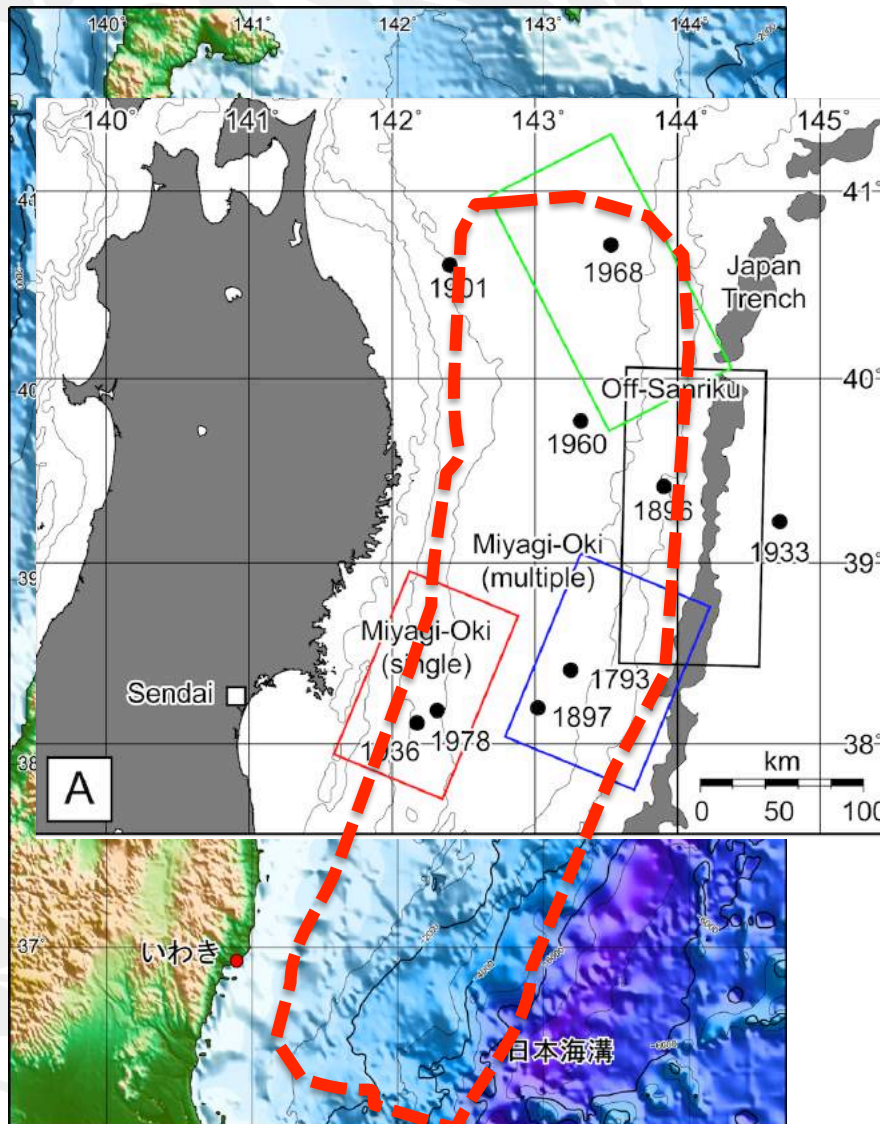
<http://www.aics.riken.jp/>

• Triple Disasters: **THREE – 福島第一原発事故** **Nuclear Power Plant Failure**

- 地震・津波により引き起こされた最悪の原発事故の1つ One of the worst nuclear incident, triggered by the earthquake and tsunami
- 危険レベルは最高の7 Temporarily assessed as level 7 on INES
- 危機対応は現在も継続 Emergency state is still on-going



Historical tsunamis in Tohoku for 400 years and the 2011 Tohoku Eq.





災害科学国際研究所の発足

国内外の防災研究拠点として

災害科学国際研究所 IRIDeS(イリディス)の設立

- ◇2012年4月設置
- ◇歴史的・世界的大災害の経験と教訓
- ◇“低頻度巨大災害”への備えを先導
- ◇実践的防災学の創成



災害サイクルに対応した部門・分野の構成



IRIDeSのビジョン

<http://irides.tohoku.ac.jp/outline/index.html>

□災害科学の深化

□事前対策, 災害の発生, 被害の波及, 緊急対応, 復旧・復興, 将来への備えを一連の災害サイクルととらえ, それぞれのプロセスにおける事象を解明し, その教訓を一般化・統合化することである.

□実践的防災学の展開

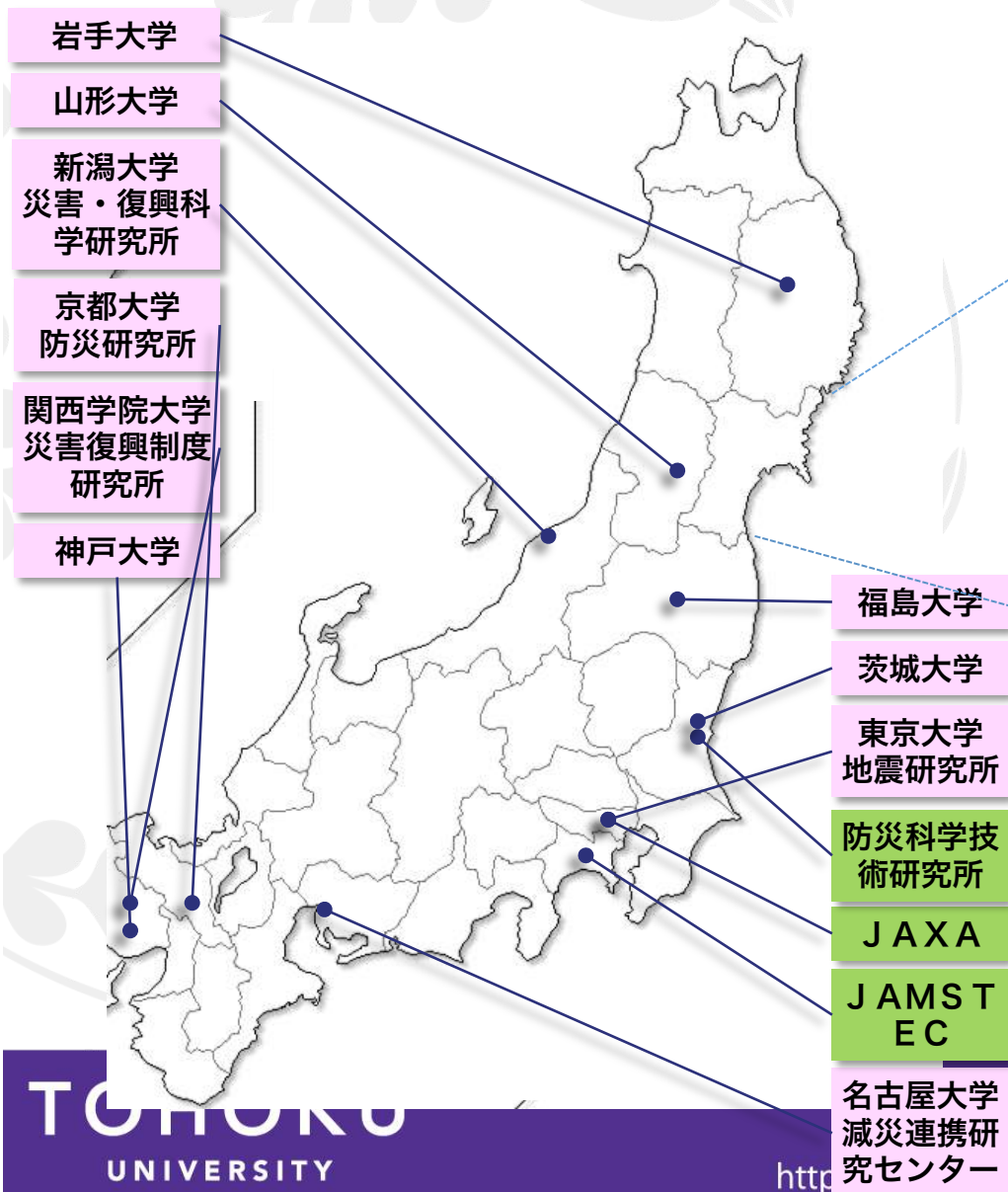
□東日本大震災における調査研究, 復興事業への取り組みから得られる知見や, 世界をフィールドとした自然災害科学研究の成果を社会に組み込み

□複雑化する災害サイクルに対して人間・社会が賢く対応し, 苦難を乗り越え, 教訓を活かしていく社会システムを構築するための学問

□5年経過した今, 社会ニーズに応えるためエリア・ユニット制の導入

災害科学国際研究所 IRIDeSの連携・協定締結先一覧

国内研究機関との連携



協定締結先(宮城県市町村)



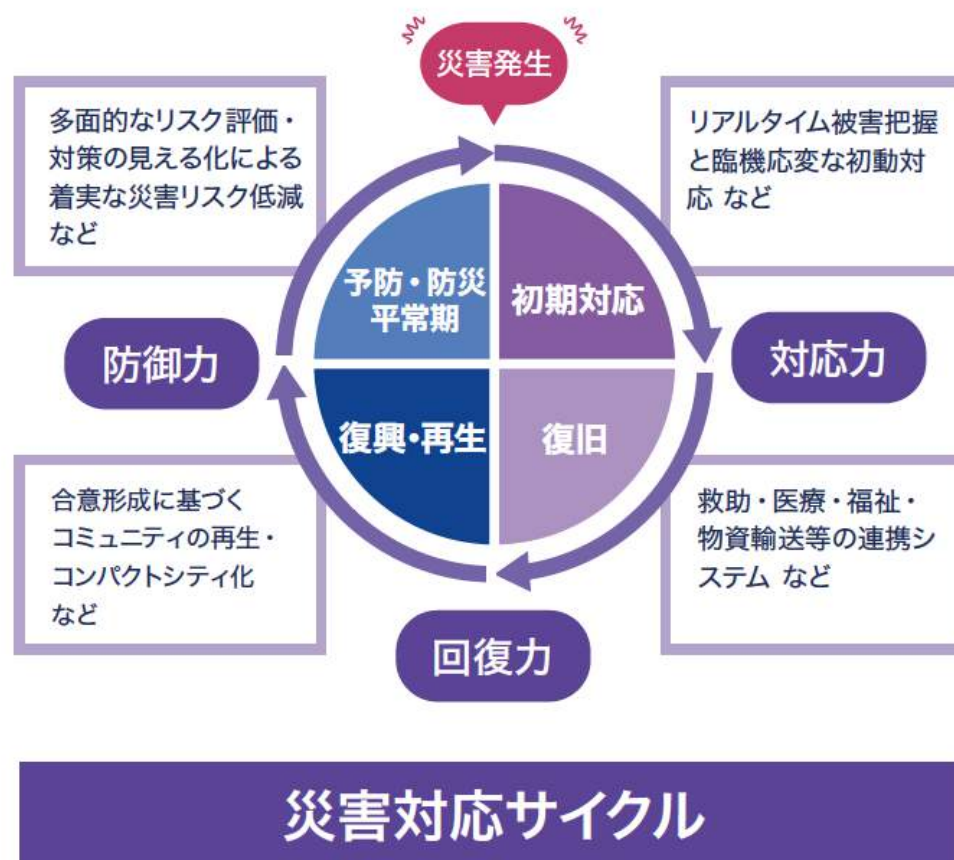
自治体名	締結年月日
宮城県多賀城市	2013年2月8日
宮城県亘理町	2013年6月25日
宮城県岩沼市	2013年7月12日
宮城県気仙沼市	2013年7月13日 (災害科学国際研究所気仙沼サテライト 10月1日 開設)
宮城県東松島市	2013年8月21日
宮城県山元町	2013年12月24日
宮城県仙台市	2014年1月9日
岩手県陸前高田市	2014年2月7日
宮城県名取市	2015年8月5日

ミッション1:

災害のサイクルの中での災害科学

プロセスにおける事象を
解明し、その教訓を一般
化・統合化する

- ◇自然現象と人工構造物
(文明)の違い将来を
予測する。
- ◇潜在的なリスクを指摘
する。



文理連携により、歴史地震・津波の実像を解明

十万年前 一万年前 千年前 百年前 現在 将来

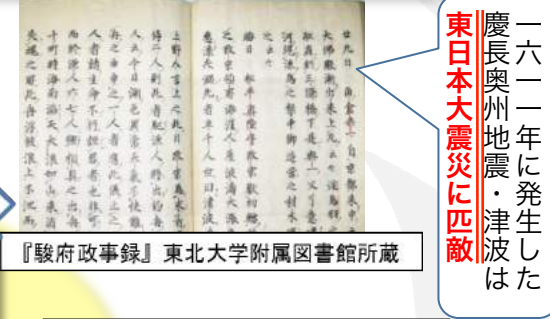
地質学(津波堆積物)

歴史学(古文書)

地震津波の周期性・規模の予測

十和田a火山灰(915年)

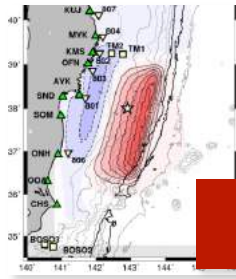
貞観津波による津波堆積物(869年)



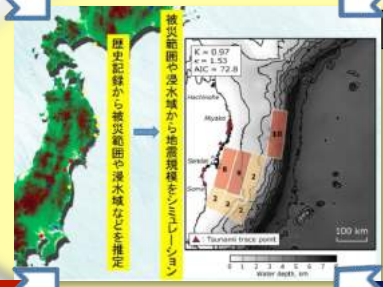
一六一一年に発生した慶長奥州地震・津波は東日本大震災に匹敵

『駿府政事録』東北大学附属図書館所蔵

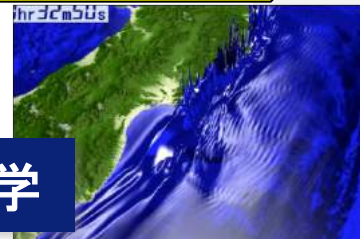
各分野の専門的知見の融合



地震学



津波工学



平成28年度 災害緊急対応・調査・解析

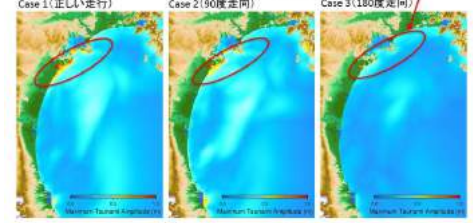
熊本地震(4月)
被災地にて断層調査
DMATとして医療支援活動
他にも多分野の教員が調査・研究活動、報告



福島県沖地震・津波(11月)
・津波発生メカニズム・発生と伝播の特徴、断層、避難等に関し緊急調査、報告
・観測や避難等の課題を浮き彫りに

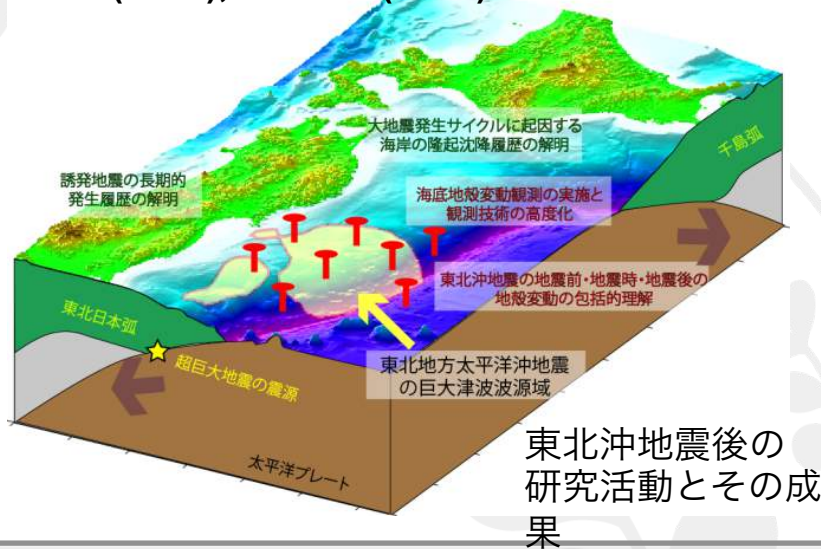
津波数値解析結果(走向に注目)なぜ、仙台湾で増幅?

津波最高水位分布



超巨大地震の発生メカニズムの解明

Nature(2014), Science(2016)



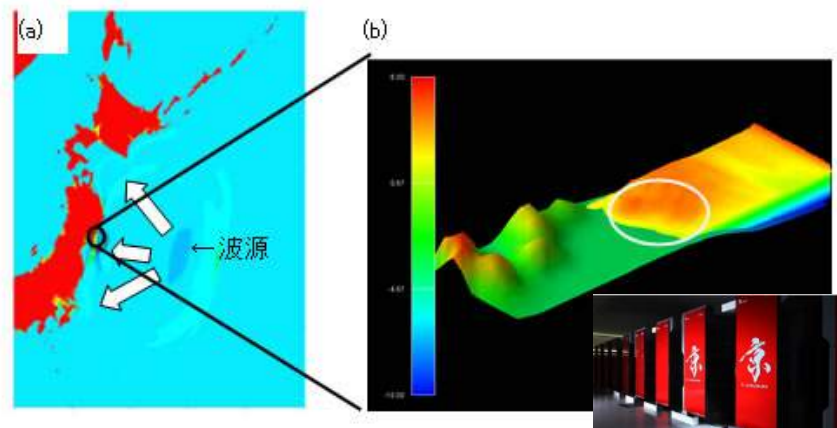
東日本大震災で被災した歴史資料の救済と知見の共有



歴史資料約6万点の救済

津波の遡上を再現する3Dシミュレータの開発

Geophysical Research Letter (2015), Natural Hazard(2016)



新しい津波避難プロジェクト「カケアガレ！日本」

宮城県岩沼市・山元町等で活動：実践的防災学の展開



震災記録の収集・整理・発信から国内外への展開

45万点以上の震災の記録を収集し、約12万点を公開



協力機関：文科省・総務省・科学技術振興機構・国立国会図書館・宮城県・仙台市・多賀城市・陸前高田市・ハーバード大学・河北新報社・NHK・日本IBM・インドネシアアチェ津波博物館等の約120機関

平成27年度 科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞（科学技術振興部門）

WEBページ

360度カメラによる収集

女優竹下景子さんをお招きした「かたりつぎ」イベント（毎年開催）

ハーバード大と学の震災記録を用いた相互授業の開催（毎年開催）

災害後のメンタルヘルス対策

東北メディカル・メガバンク機構宮城県12万人のメンタルヘルス調査、七ヶ浜町全被災住民対象（約2千8百人）年次健康調査、名取市小・中学校生（約6千人）全数調査による震災後のメンタルヘルス実態把握と対策提言（日本精神神経学会 国際誌年間最優秀論文賞受賞）

被災自治体と連携し仮設住宅、災害公営住宅での災害ストレス対応の普及啓発集会を40回以上 継続



災害ストレス対応の普及啓発の集会

グローバル津波評価（過去400年間）の研究

過去の40年間の過去の事例（96イベント）を選定

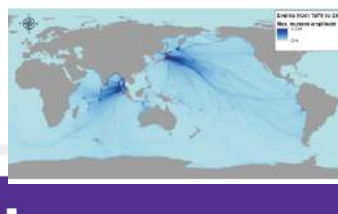
全地球津波伝播モデル（東北大モデル）でハザードを解析

過去40年間では、インド洋津波と東日本大震災など、さらに遡って400年まで、南米チリアメリカ西海岸等でも大きな津波我々（一世代）の記憶による津波認識では、その地域で津波（経験）はないように思われても、危険性がある地域がある

「世界津波の日」に貢献、メディアで紹介（国内紙8社、英字紙6社）

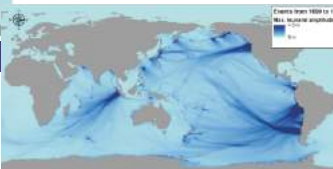


解析レポート(国連HPIにも掲載)
<http://www.unisdr.org/archive/50901>



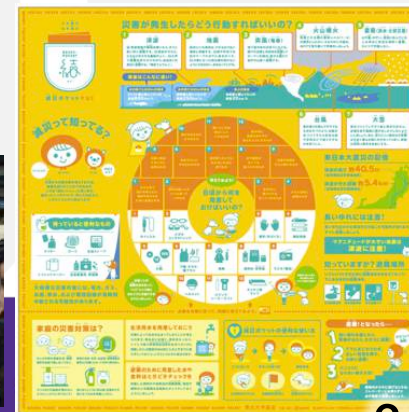
最大津波高さ分布
(1970-2016年)
インド洋津波と東日本大震災など

最大津波高さ分布
(1600-1969年)
南米チリやアメリカ西海岸



減災ポケット『結』プロジェクト

宮城県および福島県内の小学校5年生全児童
約3万7千名に配布
仙台放送との協力連携
26校1530名を対象に出前授業





次への備え ー被害を繰り返さない

中央防災会議中間報告(2011.12.27)

南海トラフの巨大地震モデル検討会 中間とりまとめ ポイント

はじめに

I章

中間とりまとめの位置づけ

南海トラフの巨大地震モデルの想定震源域・想定津波波源域の設定の考え方や最終とりまとめに向けた検討内容等を取りまとめたもの

南海トラフの最大クラスの巨大な地震・津波に関する検討スタンス

II章

これまでの対象地震・津波の考え方

過去数百年間に発生した地震の記録(1707年宝永地震以降の5地震)の再現を念頭に地震モデルを構築

東北地方太平洋沖地震から得られた教訓と知見

対象地震・津波を想定するためには、出来るだけ過去に遡って地震・津波の発生等をより正確に調査し、古文書等の史料の分析、津波堆積物調査、海岸地形等の調査などの科学的知見に基づく調査を行い、あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大な地震・津波を検討

平成23年9月28日中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」報告の要約

南海トラフの最大クラスの地震・津波の検討方針

科学的知見①(南海トラフで発生した過去地震の履歴)

III章

【過去地震資料】

・古文書調査 ・津波堆積物等調査 ・遺跡の液化化痕跡調査 ・地殻変動調査
(科学的知見④においてもこれらの成果を活用)

南海トラフの過去の巨大地震

III章

○津波堆積物調査からは約2000年前に1707年宝永地震を上回る津波が発生した可能性

現時点の資料では、過去数千年間に発生した地震・津波を再現しても、それが今後発生する可能性がある最大クラスの地震・津波とは限らない

地震学的に考えられる巨大地震モデルの構築

科学的知見②(断層モデルに係る科学的知見)

IV章

- | | |
|-------------------------|------------|
| ①地下構造探査結果によるプレート境界面の形状 | ④分岐断層の存在 |
| ②日向灘付近におけるフィリピン海プレートの構造 | ⑤津波発生メカニズム |
| ③深部低周波地震の発生領域 | |

最大クラスの想定震源域・想定津波波源域

V章

- 内陸側の領域端は、プレート深さ約30kmよりやや深い部分まで拡大
- 南西側の領域端は、日向灘よりもさらに南西方向に拡大
- 想定津波波源域は、津波地震を考慮して深さ10kmより浅い部分も対象

科学的知見③(想定震源域の広がりと規模の関係)

V章

世界の海溝型巨大地震による震源域の広がりと規模の解析

地震規模(マグニチュード)の推定(暫定値)

V章

VI章 今後の検討

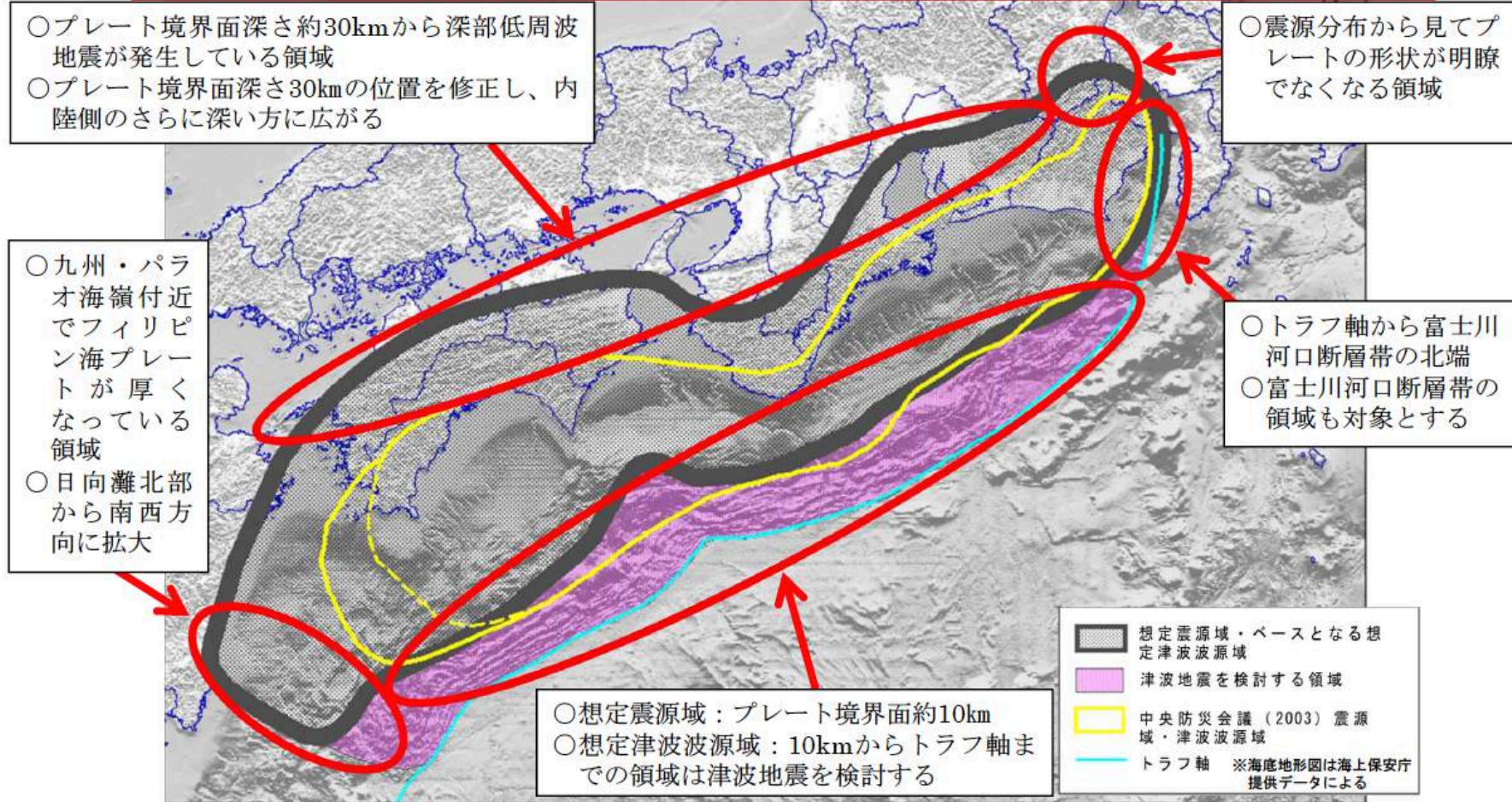
科学的知見④(アスペリティ・断層すべり量の知見)

地震の規模、アスペリティの位置、断層すべり量などの断層パラメータ等の設定

巨大地震モデル(震源断層・津波断層モデル)の構築

最大クラスの震度分布・津波高等の推計

新たな想定震源域・想定津波波源域



新たな想定震源域に対応する地震の規模（暫定値）の推定

	南海トラフの巨大地震（暫定値）	参考		
		2011年東北地方太平洋沖地震	2004年スマトラ島沖地震	2010年チリ中部地震
面積	約11万km ² （暫定値）	約10万km ² （約500km×約200km）	約18万km ² （約1200km×約150km）	約6万km ² （約400km×約140km）
地震モーメント M ₀ (N・m)	4.5×10 ²² （暫定値）	4.22×10 ²² （気象庁）	6.5×10 ²² （Ammon et al., 2005）	1.48×10 ²² （Pulido et al., in press）
モーメントマグニチュード Mw	9.0（暫定値）	9.0（気象庁）	9.1（Ammon et al., 2005） [9.0（理科年表）]	8.7（Pulido et al., in press） [8.8（理科年表）]

400年前—慶長 (1596-1615)という時代(災害研・蝦名准教授)

1590(天正17)

豊臣秀吉の天下統一

1593(文禄2)

朝鮮出兵

1596(文禄5/慶長1)

文禄から慶長に改元

1600(慶長5)

関ヶ原の戦い

1603(慶長8)

徳川家康、征夷大將軍に

1615(慶長20)

大坂夏の陣、豊臣氏滅亡



1596年9月1日 伊予地震

1596年9月4日 豊後地震・津波 M7.0

1596年9月5日 伏見地震 M7.0

1605年2月 東海地震・津波 M7.9

1611年9月 会津地震 M6.9

1611年12月 奥州地震・津波 M8.5(?)



おわりに

- 地球システムの中での自然災害を理解する.
- 過去400年間でのグローバルな津波ハザード評価
- 2011東北地方太平洋地震による津波の発生および被害特徴
- 災害科学国際研究所の発足とミッション
- 様々な実践的防災学の事例
- 将来の地震津波のリスクを**評価して備える**