

東日本大震災で地震学者が学んだこと

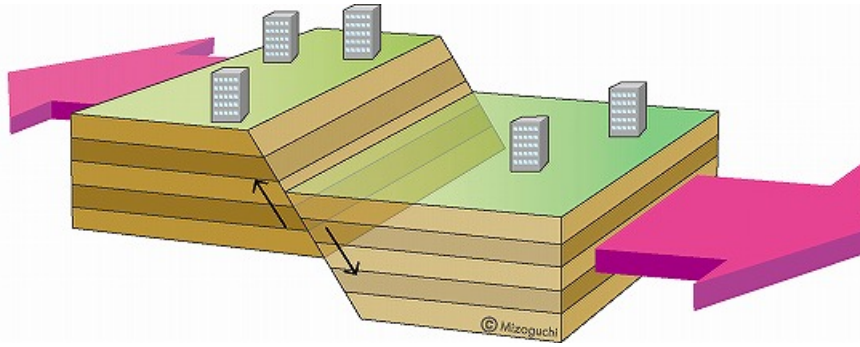
青木陽介

東京大学地震研究所

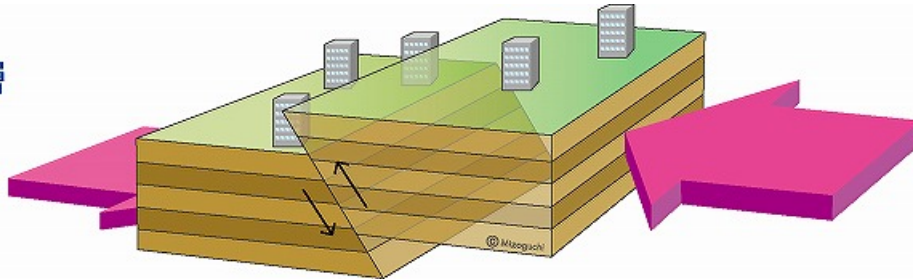
Email: yaoki@eri.u-tokyo.ac.jp

地震とは？

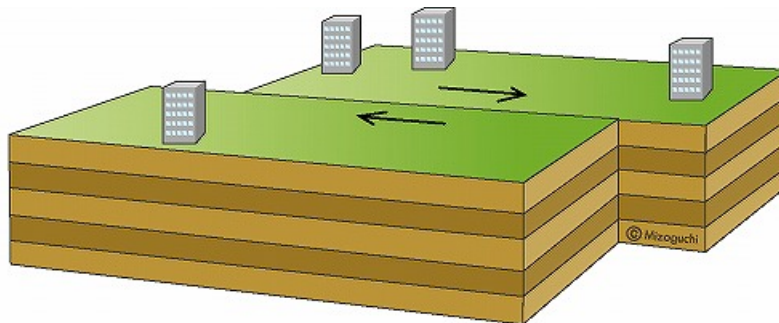
正断層



逆断層



横ずれ断層



- ✓ 地下の断層の摩擦すべりによって地震が発生する。
- ✓ 岩石の温度が約350度以下でないと摩擦すべりをおこせない。
- ✓ 地震発生は地下のごく浅い（地球半径6371kmに比べれば）部分に限定される。

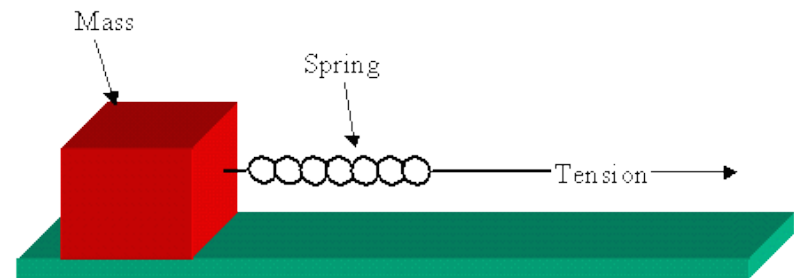
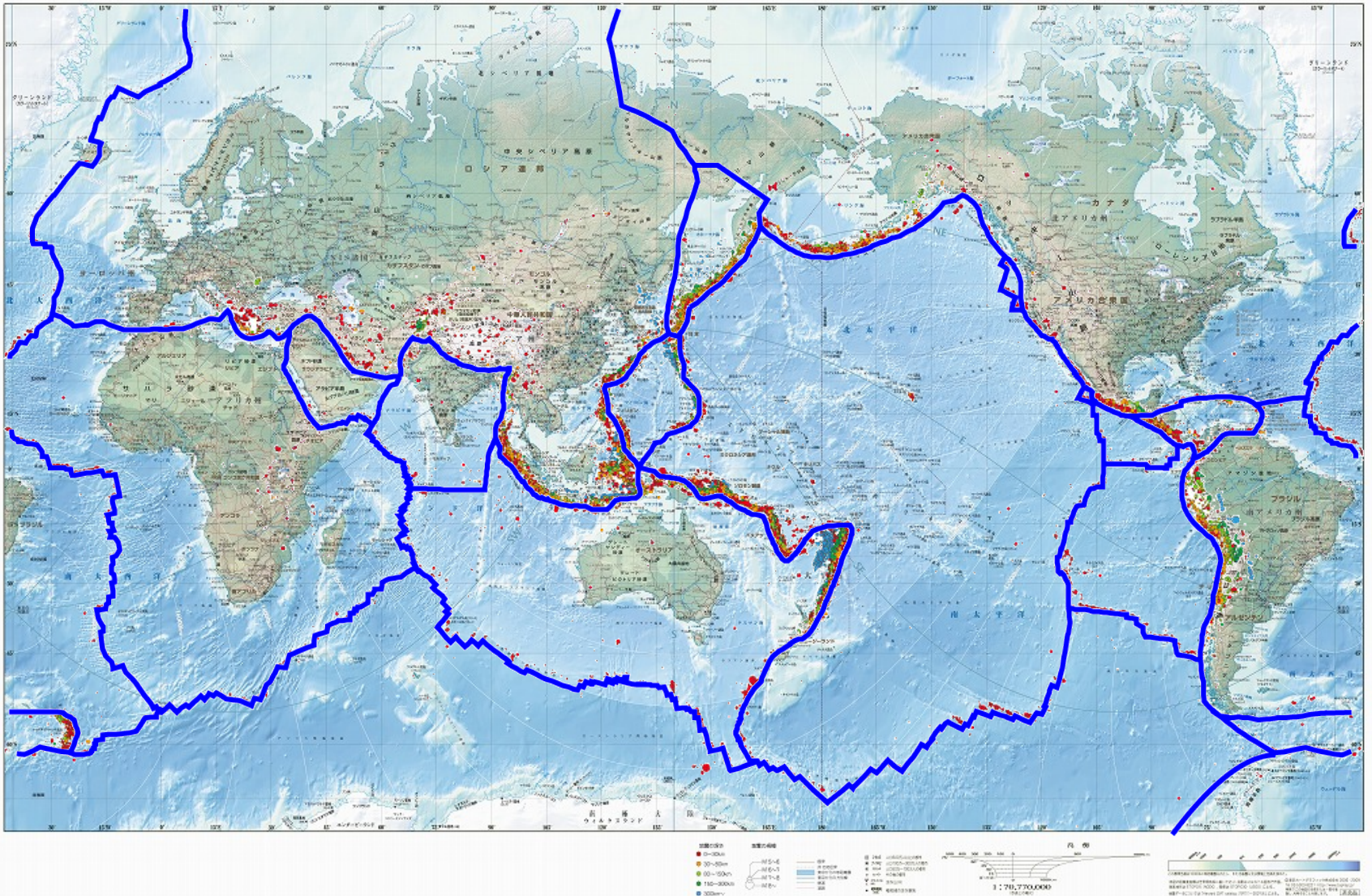


Figure 3 The mass and spring being pulled by a Tension force.

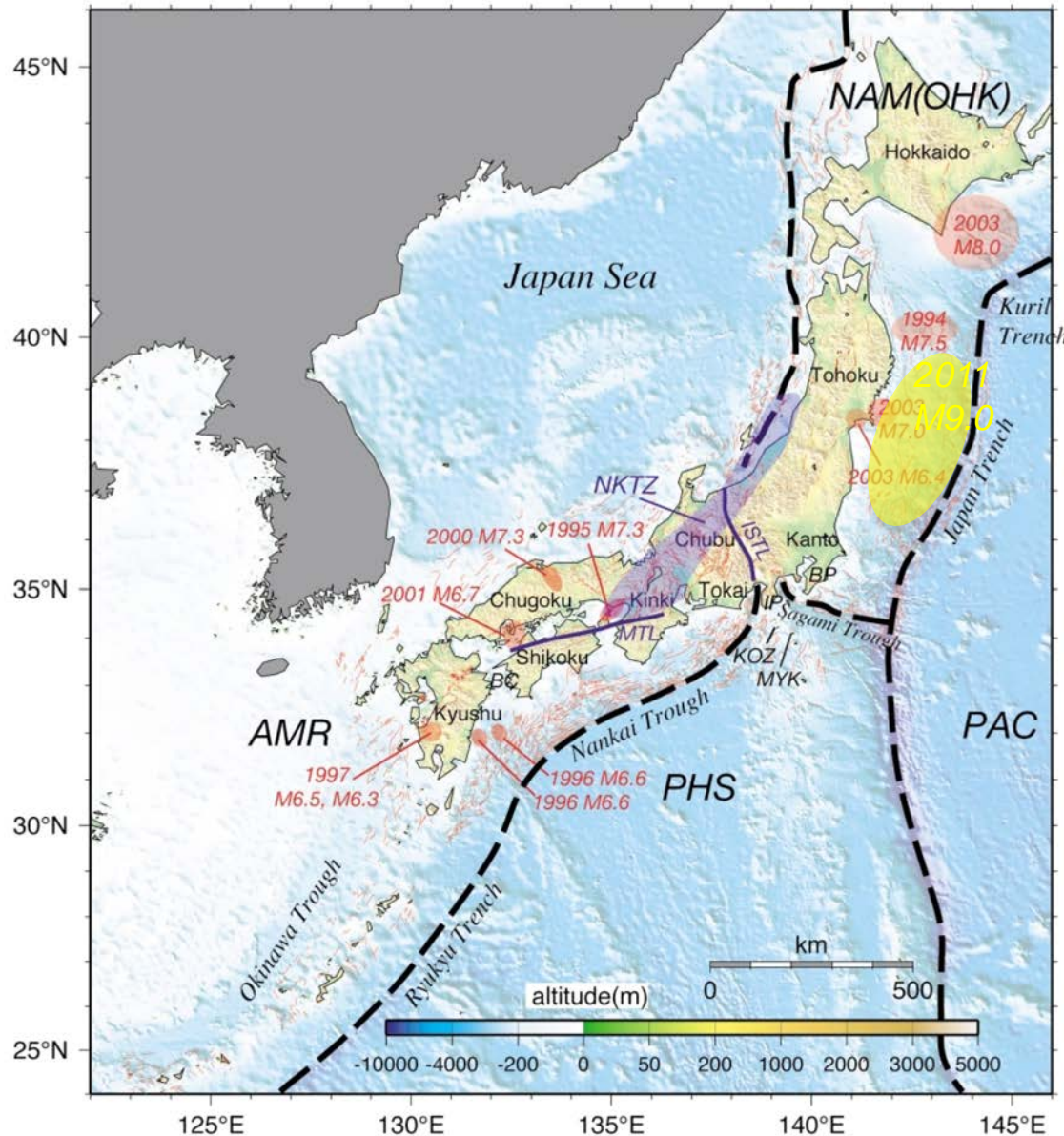
なぜ日本には地震が多いのか？

世界の震源分布 (1977-2007)

東京大学 地震研究所



日本周辺のプレート配置



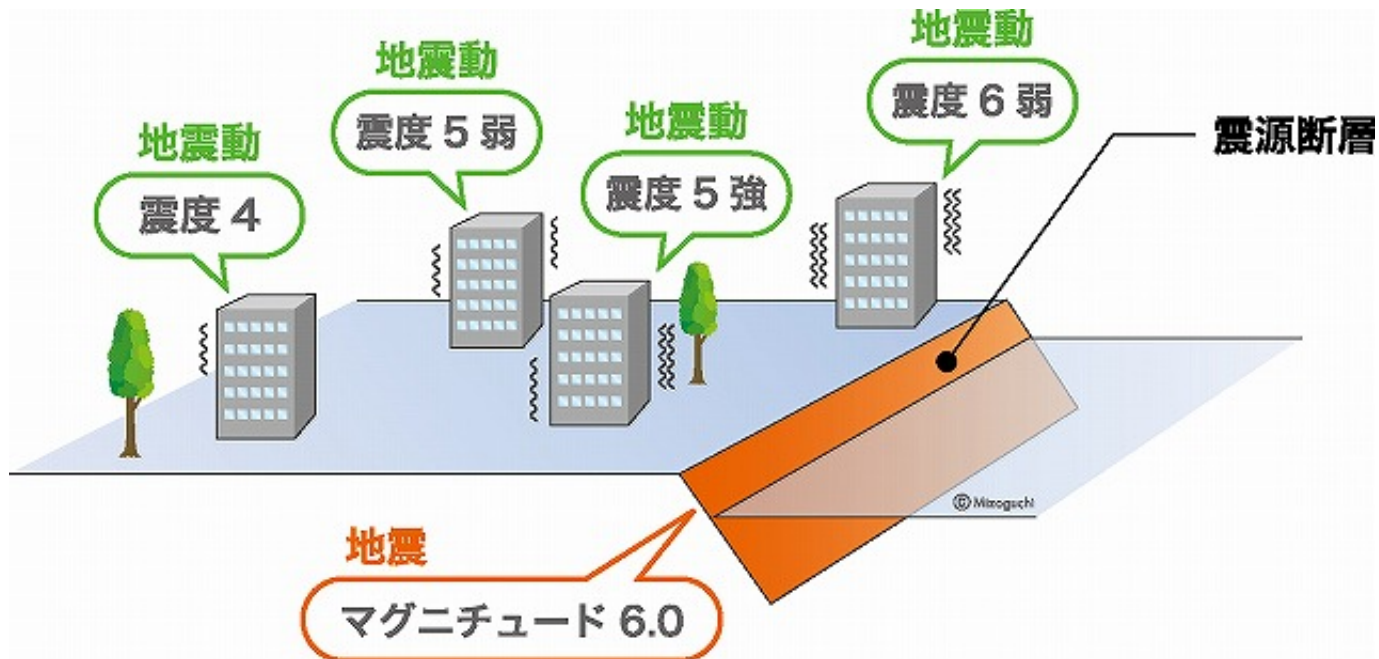
✓ 太平洋・ユーラシア(アムール)・フィリピン海・北米(オホーツク)の4つのプレート

✓ 太平洋プレートが東から沈み込んでいる。

✓ フィリピン海プレートが南から沈み込んでいる。

✓ プレート境界域でマグニチュード8クラス以上の地震が発生し,プレート内部では マグニチュード7クラスの地震が発生する。

震度とマグニチュード



マグニチュード は地震に1つずつ与えられる。
震度は観測点に1つずつ与えられる。



電球の明かりを遠くで見ると暗く見える。

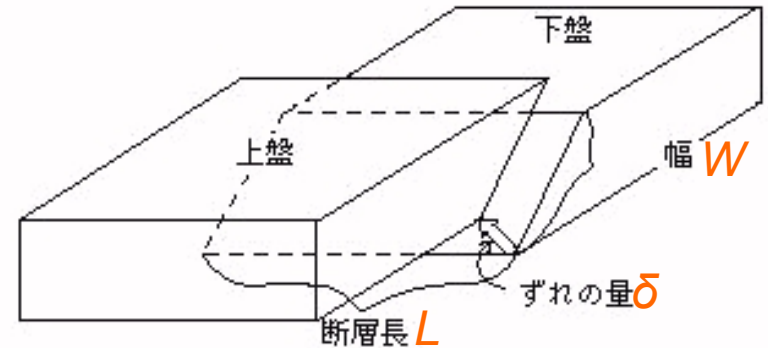
マグニチュードと断層面積

地震モーメント

$$M_0 = \mu L W \delta$$

モーメントマグニチュード

$$M_w = \frac{\log M_0 - 9.1}{1.5}$$



マグニチュードが1大きくなるとモーメントは約30倍になる。
即時的には、地震記録からマグニチュードを求めている。

$$M_w \propto 0.5 \log L$$

$$M_w \propto 0.5 \log W$$

$$M_w \propto 0.5 \log \delta$$

マグニチュード7以下では、マグニチュードが1大きくなると、断層面積(LとWの積)は10倍になる。

余震の時間変化(大森公式)

$$N(t) \propto \frac{1}{t}$$

- ✓ 余震の数は時とともに減衰する. たとえば本震10日後の余震の数は1日後のその1/10である.
- ✓ 大森公式は観測から導きだされたもので, それを説明するための物理モデルは多数あるが, 決定的なものはない.

大きい地震は少ない

(Gutenberg-Richter則・石本-飯田の式)

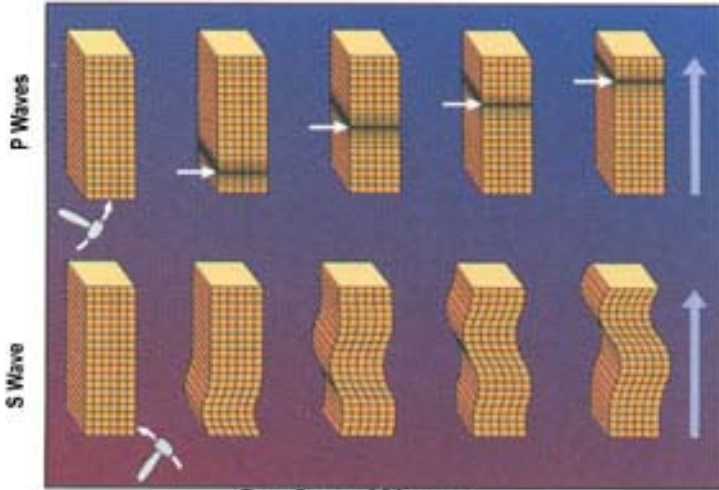
$$\log N(M) = a - bM$$

$$b \sim 1$$

- ✓ マグニチュードが1大きくなると地震数は約1/10になる.
- ✓ 大地震発生の予測が難しい理由のひとつ.
- ✓ 観測から導かれた経験式. 物理的背景は必ずしもすべて明らかになっているわけではない.
- ✓ b の値は1前後が多いが, 火山地域などでは2前後になることもある. 値が大きくなればなるほど, 相対的に大地震が少ないということになる.

地震波の伝わり方

Body Waves

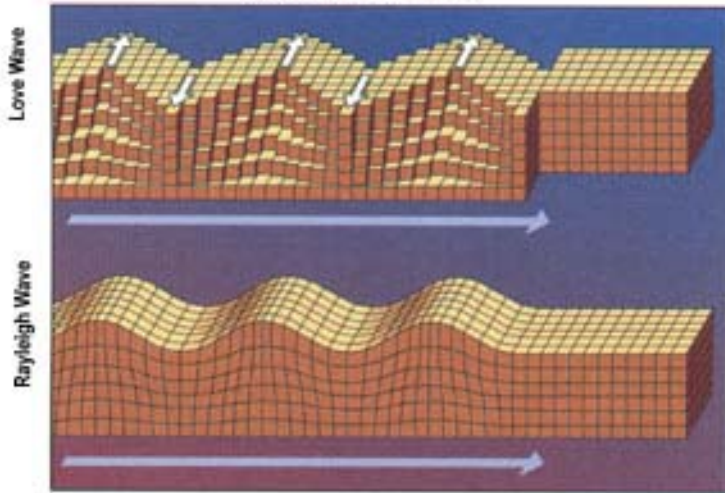


P波(いわゆる「縦波」). 伝搬速度が速く, 最初に到達.

S波(いわゆる「横波」). P波の次に到着

低層建築ではP波もしくはS波(短周期)がダメージを与える.

Surface Waves

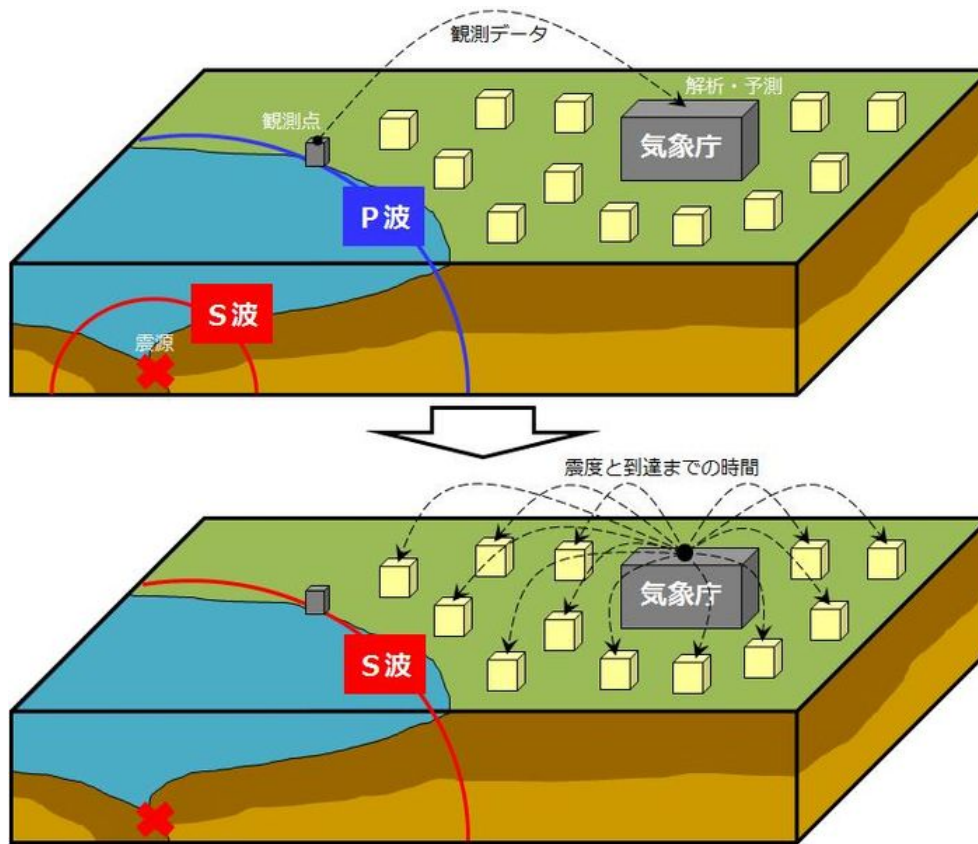


表面波(ラブ波)

表面波(レイリー波)

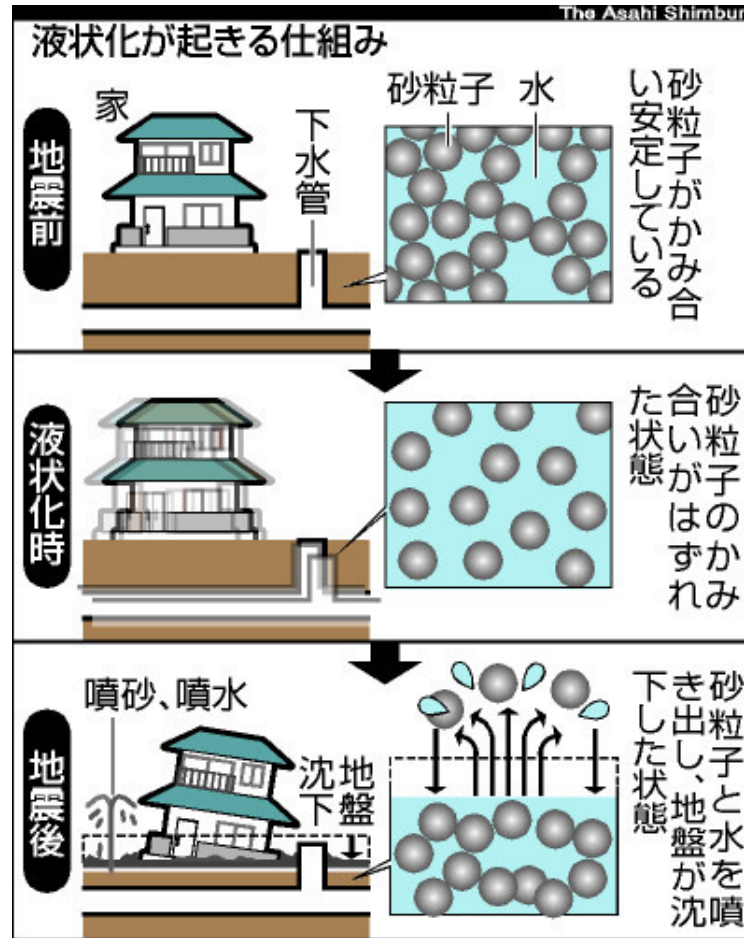
高層建築では表面波(長周期)がダメージを与える.

緊急地震速報



- ✓ P波を観測して即時に震源の場所と大きさを決定→振幅の大きいS波の到達時刻を予測して警報を発する。
- ✓ 震源が遠いほど時間の余裕はある(東北地震の時は東京で約1分余裕があった。
- ✓ 東北地震後は同時に複数の地震が発生したりして、精度が低下(現的中率約5割)。

液状化現象



- ✓ 埋立地や沼を埋め立てたところなど地下水位の高い地域に液状化が起こりやすい。
- ✓ 同じ埋立地であれば、新しい埋立地ほど液状化の危険性が高い。
- ✓ 「液状化マップ」で検索すると、液状化の起こりやすい場所の分布が分かる。

東北地方太平洋沖地震

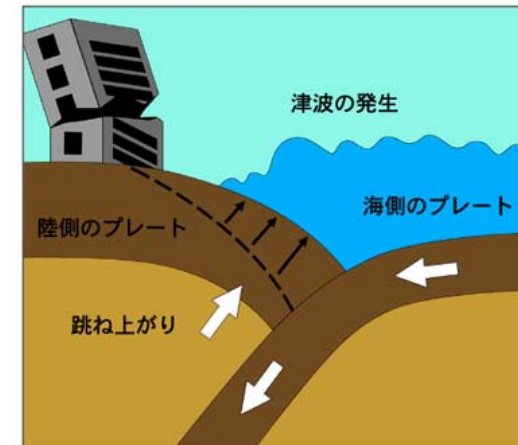
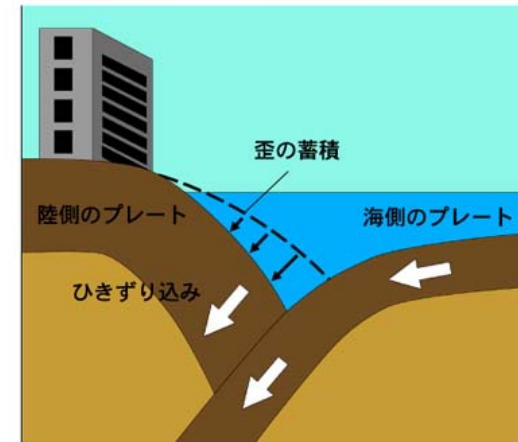
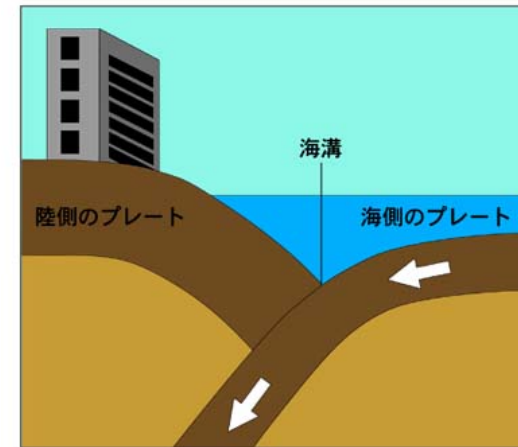
世界の震源分布 (2010年版)

東京大学 地震研究所

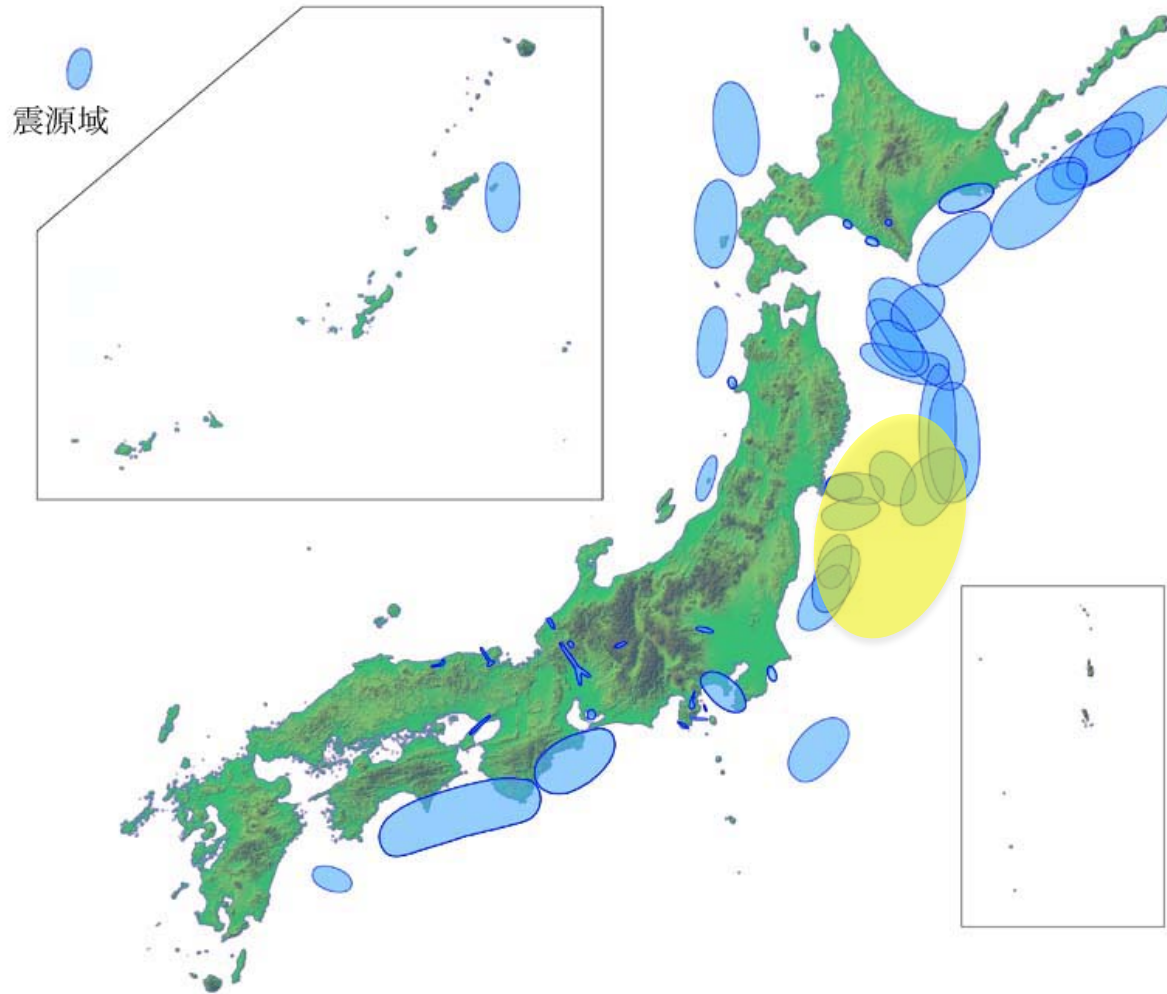


マグニチュードは理科年表による

- ✓ 日本では観測史上最大の地震(M9.0)
- ✓ 世界でも観測史上五指に入る大きな地震

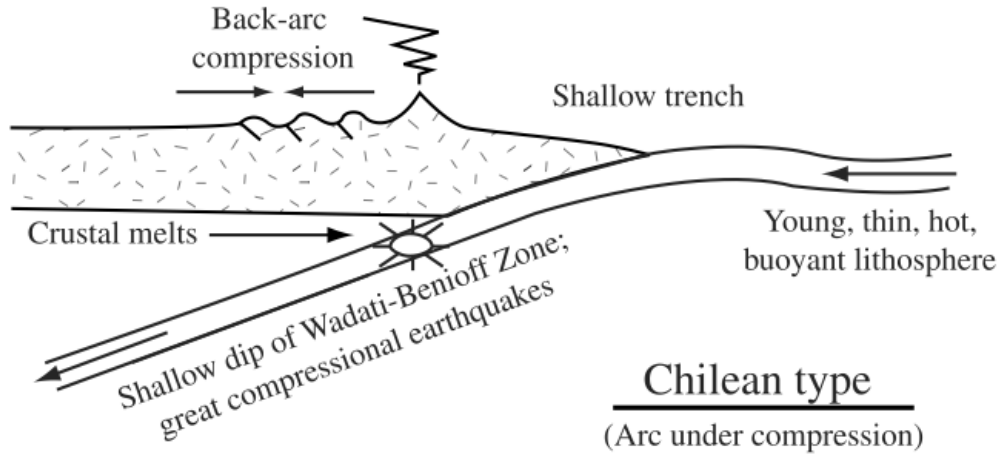


「想定外」の意味

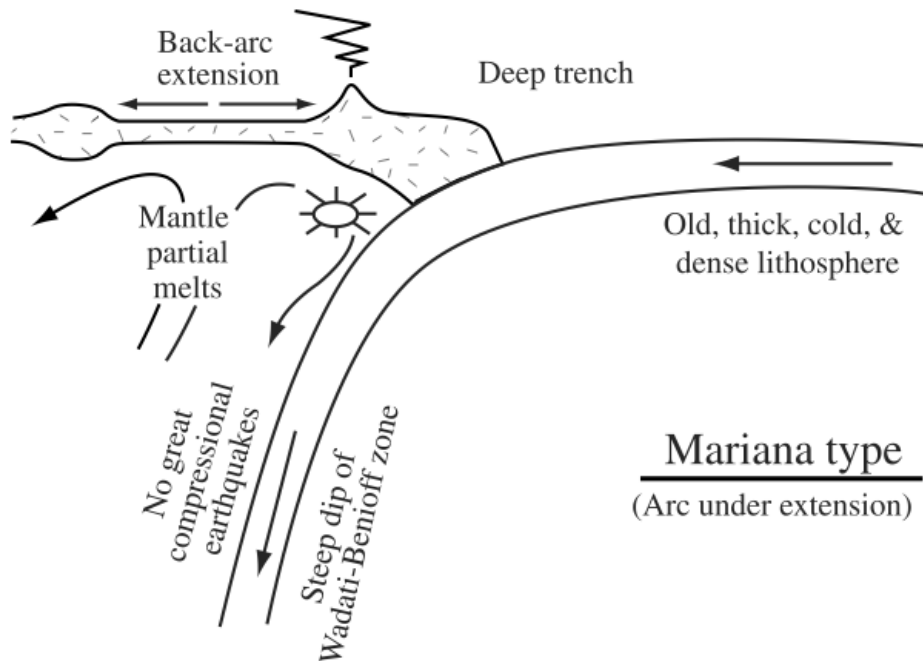


- ✓ 東北地方でM8を大きく超える地震が発生することが想定外.

沈みこみ帯の2つのタイプ: チリ型とマリアナ型



- ✓ 若いプレートの沈み込み
- ✓ プレート間カップリング強
- ✓ 大地震発生

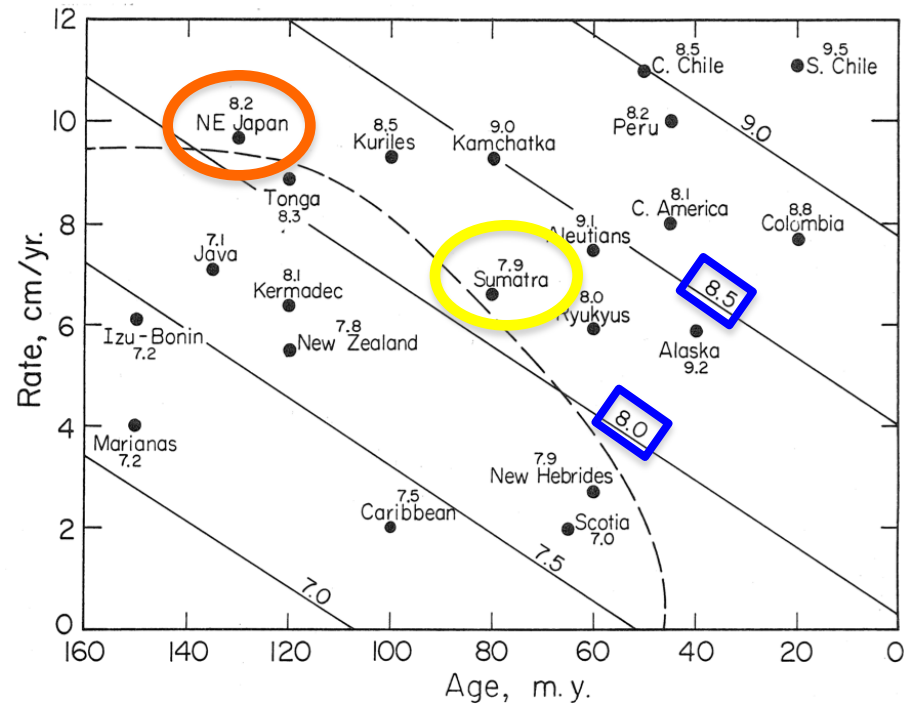
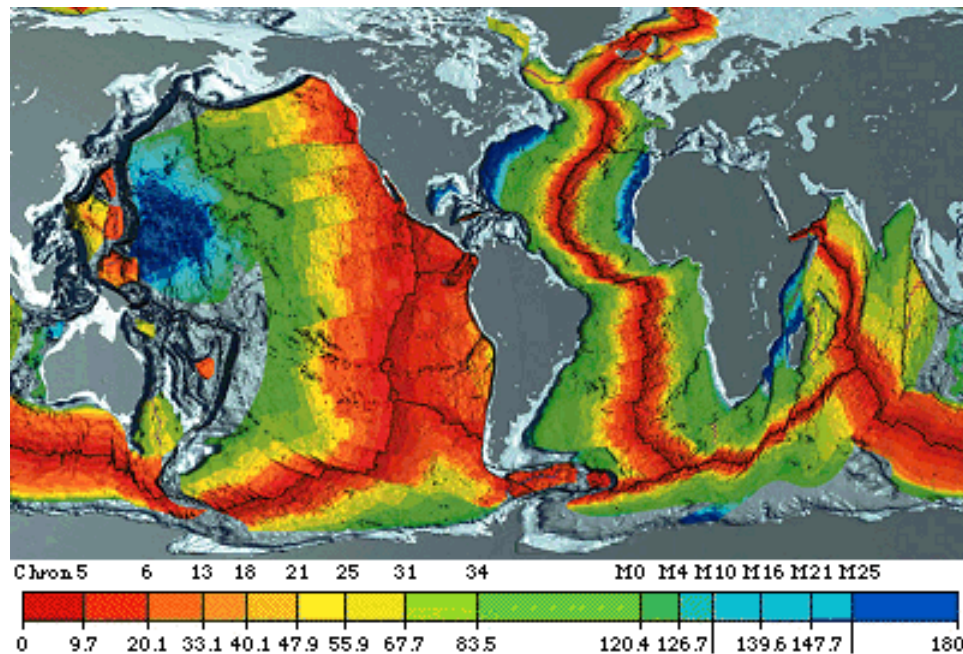


- ✓ 古いプレートの沈み込み
- ✓ プレート間カップリング弱
- ✓ 大地震なし

東北日本は両者の中間。

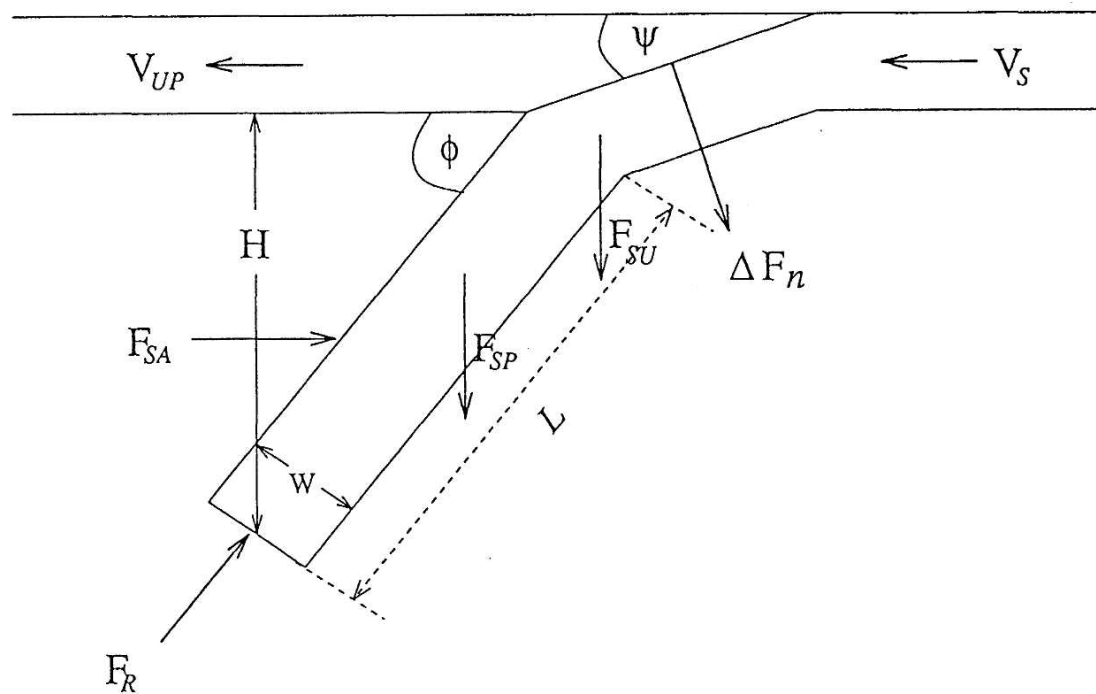
この2つのタイプを決めるものは？

プレートの年代と沈みこみ速度



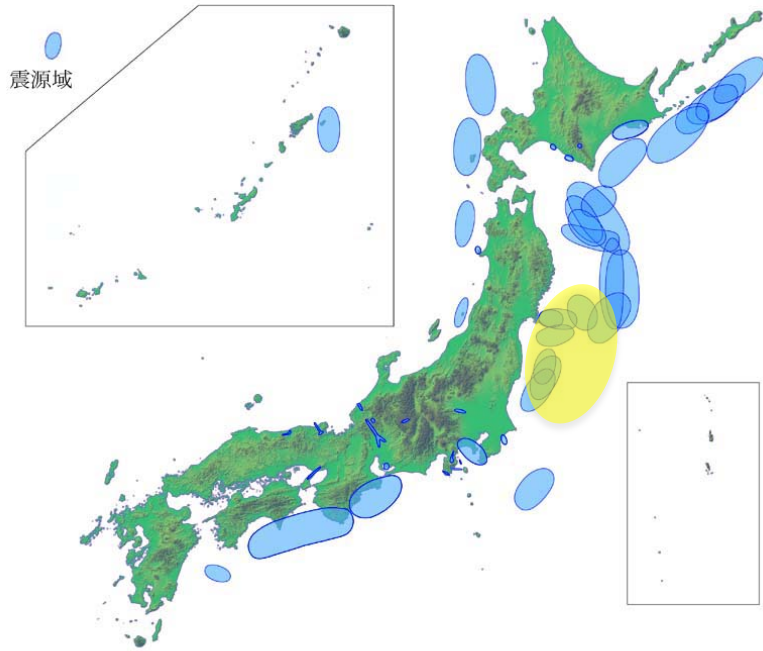
- ✓ プレート年代が若いほど、また沈み込み速度が速いほど最大地震は大きくなる。
- ✓ 東北日本の場合、マグニチュード8を少しこえる程度の地震が予想されていた。
- ✓ スマトラでもマグニチュード8以上の地震は予想されていなかったが、2004年にスマトラ島沖地震(マグニチュード9.1)が発生. この時に気づいておくべきだった。
- ✓ なぜプレートの年代が重要なのか？

古いプレートで大地震が起きない (と思われていた)わけ



- ✓ プレートが古くなると密度が増大し、沈み込む時に負の浮力が働くようになる。
- ✓ 負の浮力が働くと、プレート間の法線応力が減少し、プレート間が“スルスルと”滑るようになり、地震(高速すべり)が発生しにくくなる。

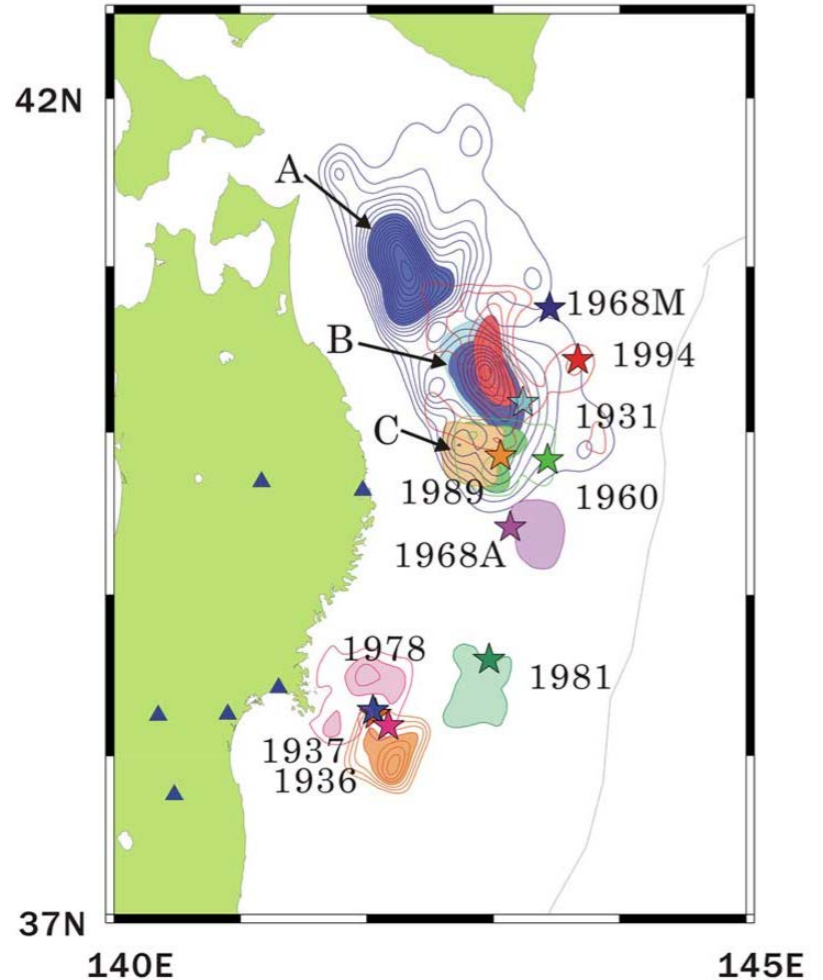
アスペリティ理論



✓ プレート境界には, 大きな地震を起こしやすい場所(アスペリティ)がある.

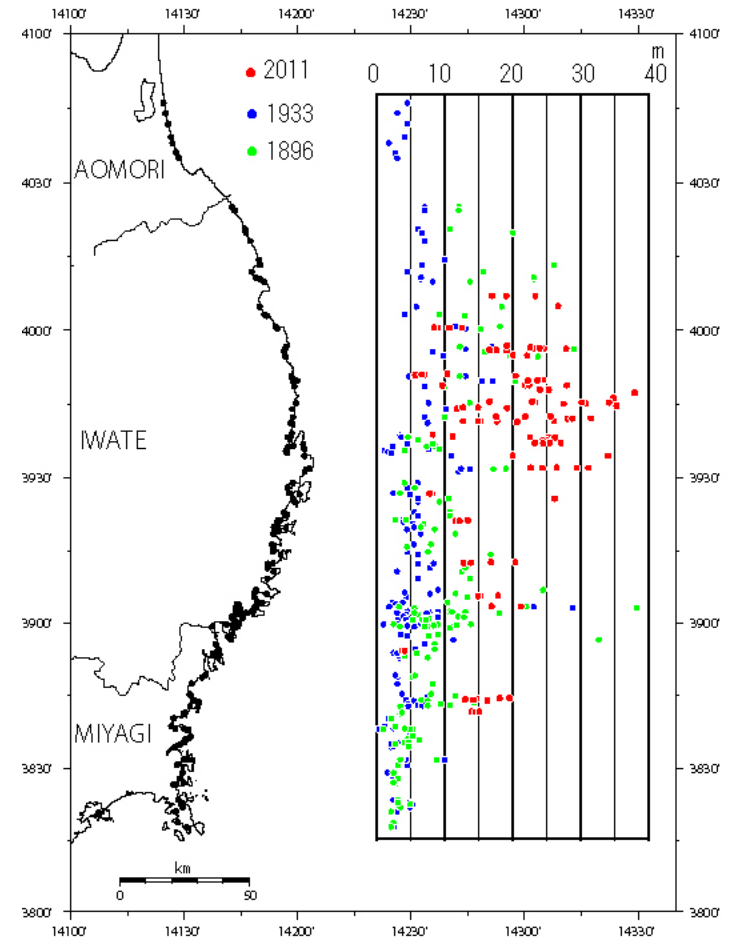
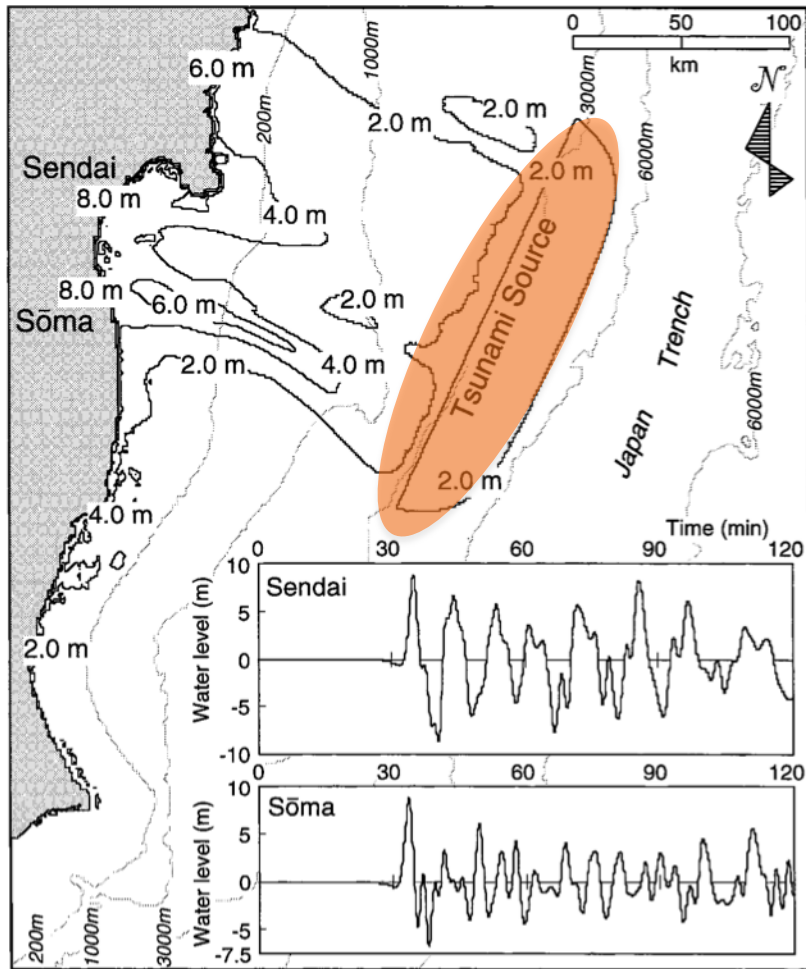
✓ 地震はアスペリティで繰り返し発生する.

✓ 過去の地震記録を見ることで, 将来の地震発生場所(もしかしたら時期も)を予想することが可能.



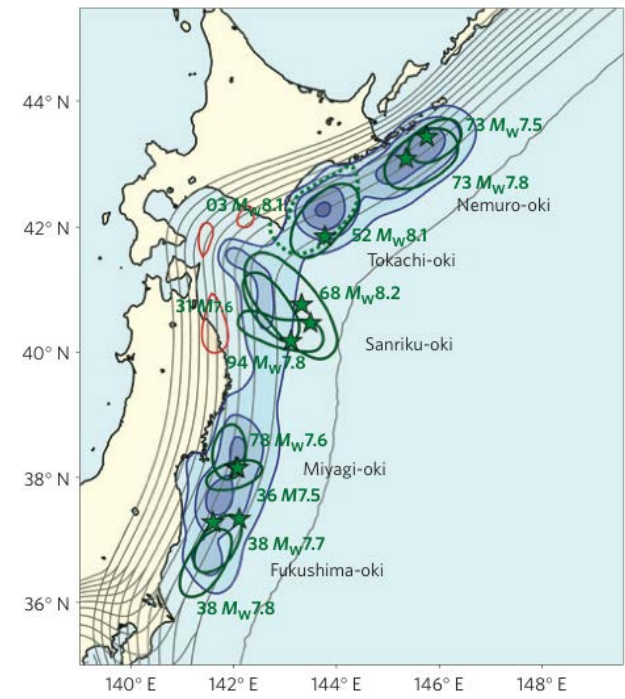
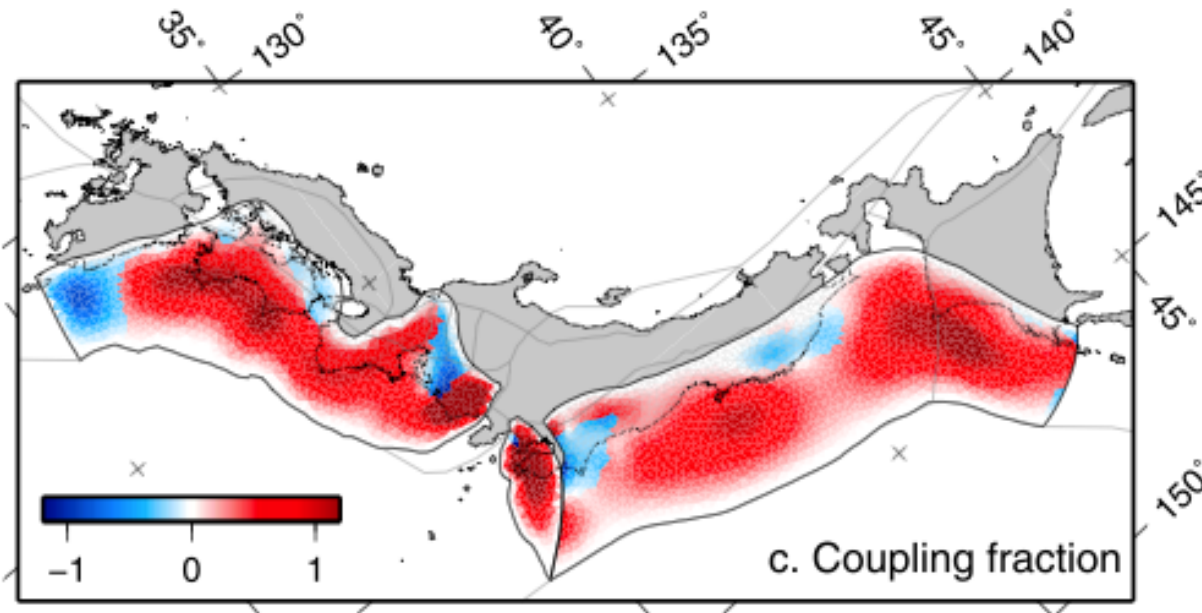
…しかし, 東北地方太平洋沖地震は, アスペリティ理論と全く調和的でない!

869年貞観地震



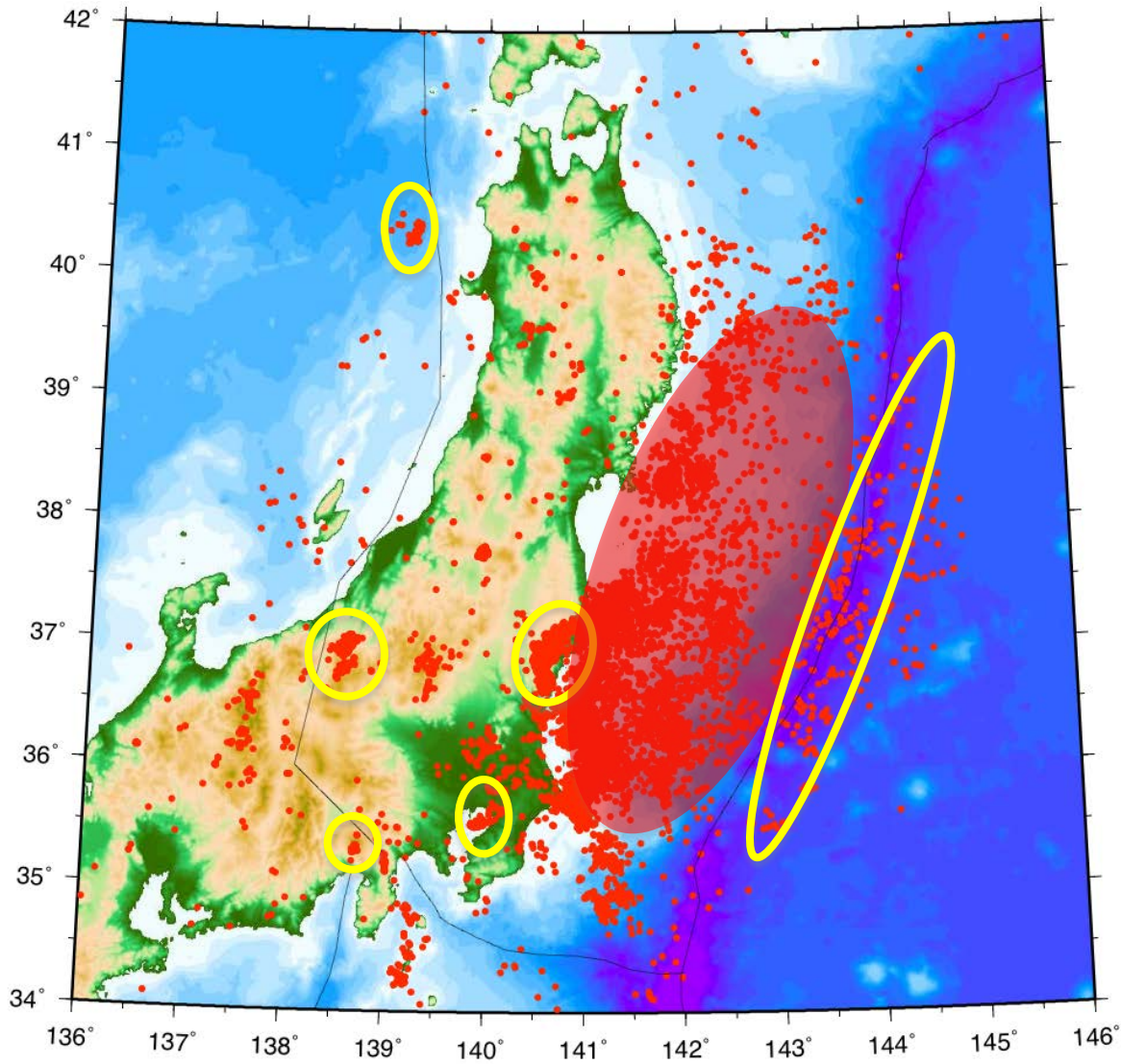
- ✓ 貞観地震の津波高は宮城県で東北地方太平洋沖地震津波と似通っているが、震源域が小さいため、岩手県の津波高ははるかに低い。
- ✓ 東北地方太平洋沖地震は1000年に1度どころでない可能性？

今思えば…



- ✓ GPSデータから東北日本のプレート境界はガッチリ組み合っている(大地震を起こしうる)可能性があることを示した研究(左).
- ✓ しかし、同じデータを用いて違う結論が導いている研究もある(右).
- ✓ 海底の様子を陸上のデータだけを用いて見ているために、結果の信頼性に疑問あり.
- ✓ 海上でのより綿密な観測が必要. 技術的な問題をクリアする必要あり.

余震と誘発地震



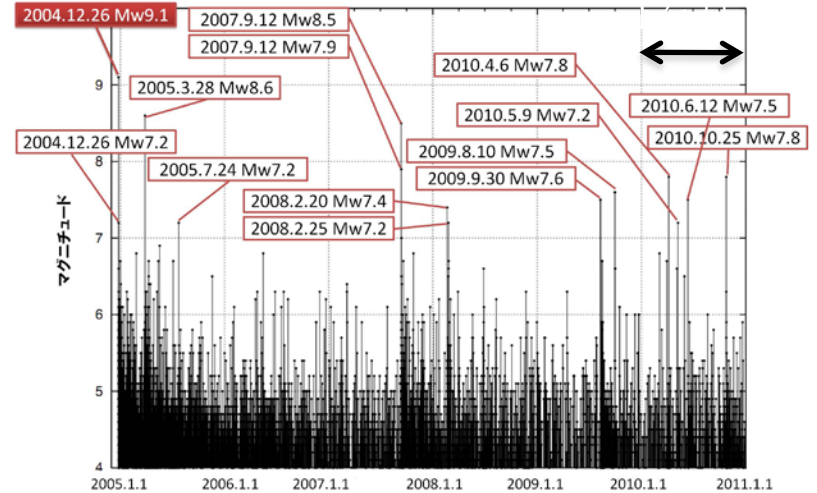
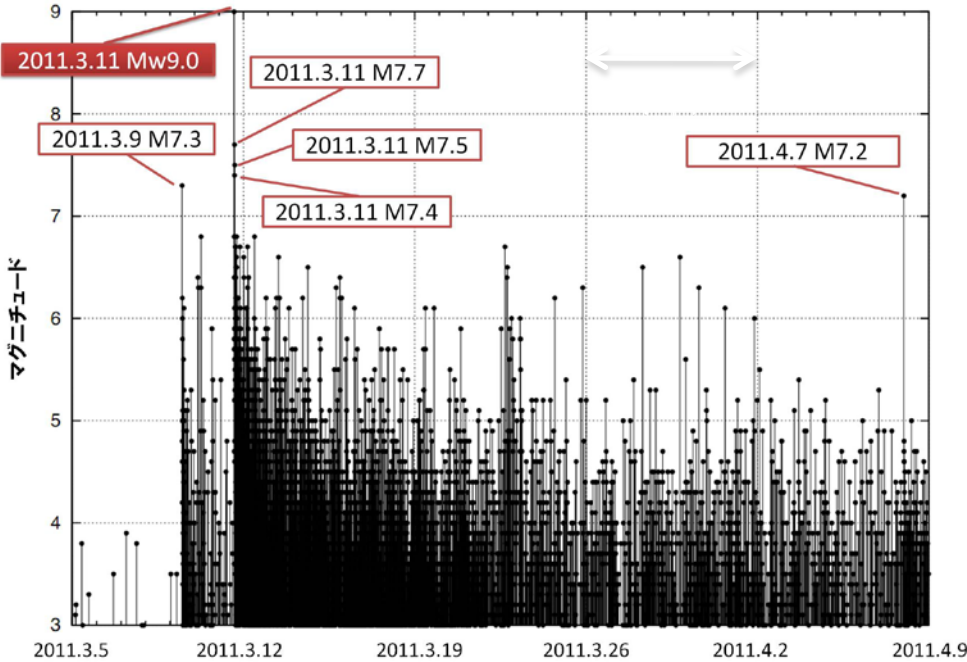
赤点: 3月11日から1ヶ月間に発生した地震の分布

✓ 本震にともなう応力変化によって余震や誘発地震が発生している。

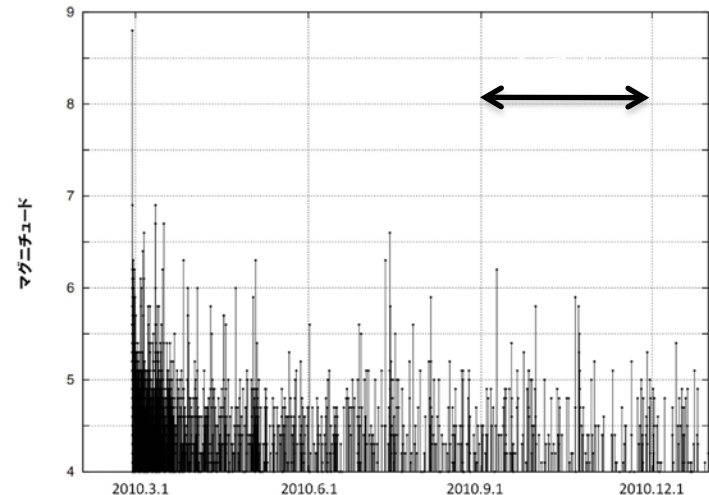
大きな地震にいつまで警戒するべきか

2011 東北

2004 スマトラ



2010 チリ



- ✓ 地震数は時間とともに減る。
- ✓ 2004年スマトラ沖地震の時はマグニチュード7を越える地震が5年以上続いた。
- ✓ 2010年チリ地震の後はマグニチュード7を越える地震は一度も発生していない。
- ✓ 今回のケースはスマトラに近そうだ。

地震がおきたら…

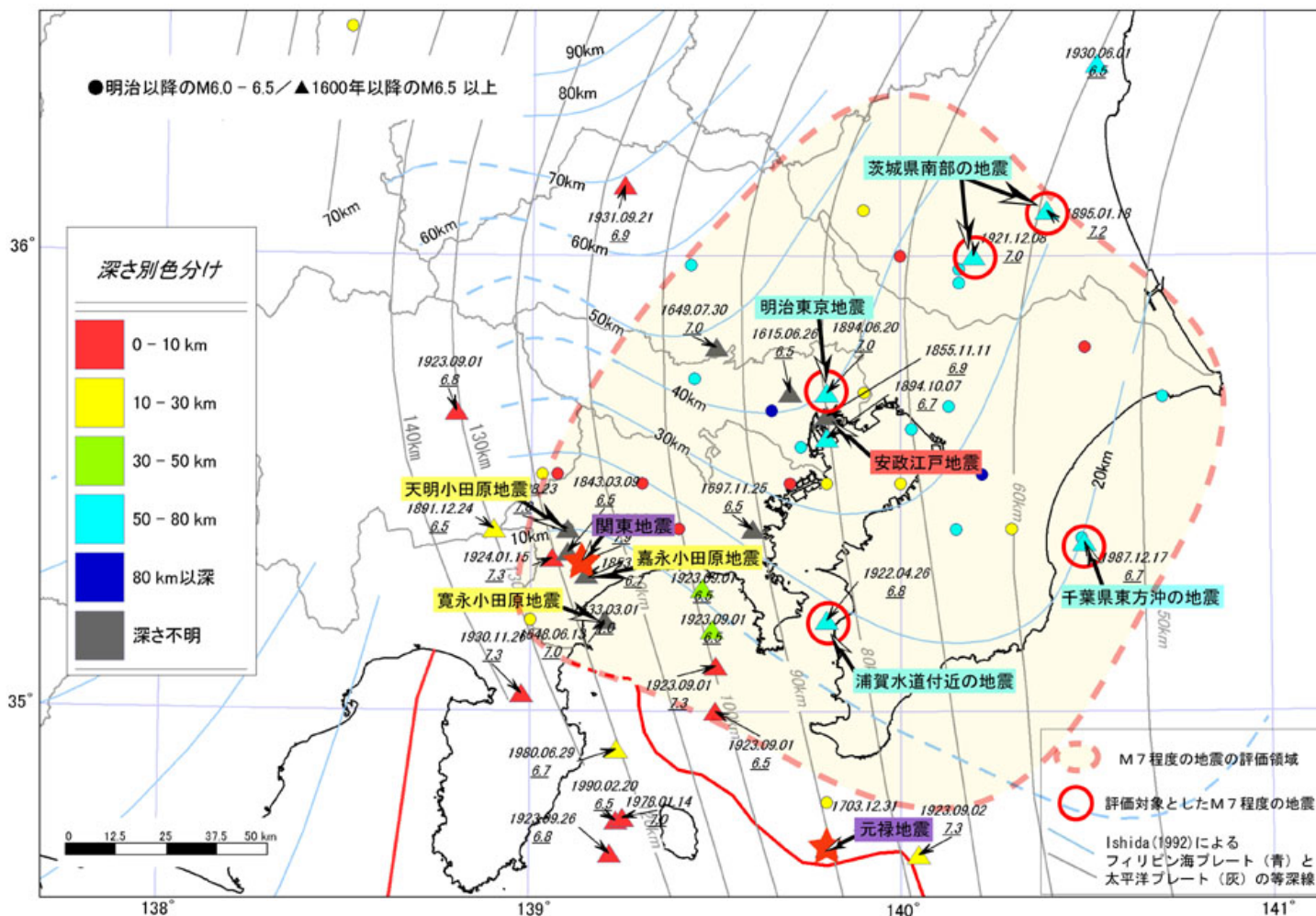
1981年に建築基準法が改正されたので、
それ以降の建築物は安全.

- ✓ 新しい建築物にいるなら, 地震時には中にいるべき.
- ✓ 古い建築物にいるなら, 上階へ.
- ✓ 壁や柱の多い狭い部屋のほうが安全.

なぜ外に出てはいけないか

- ✓ 車にひかれるかもしれない (2003年十勝沖地震の最初の犠牲者は交通事故だった).
- ✓ 建築物のガラス・電信柱や電線などの落下物の危険.
- ✓ 外にいるなら広い場所へ.

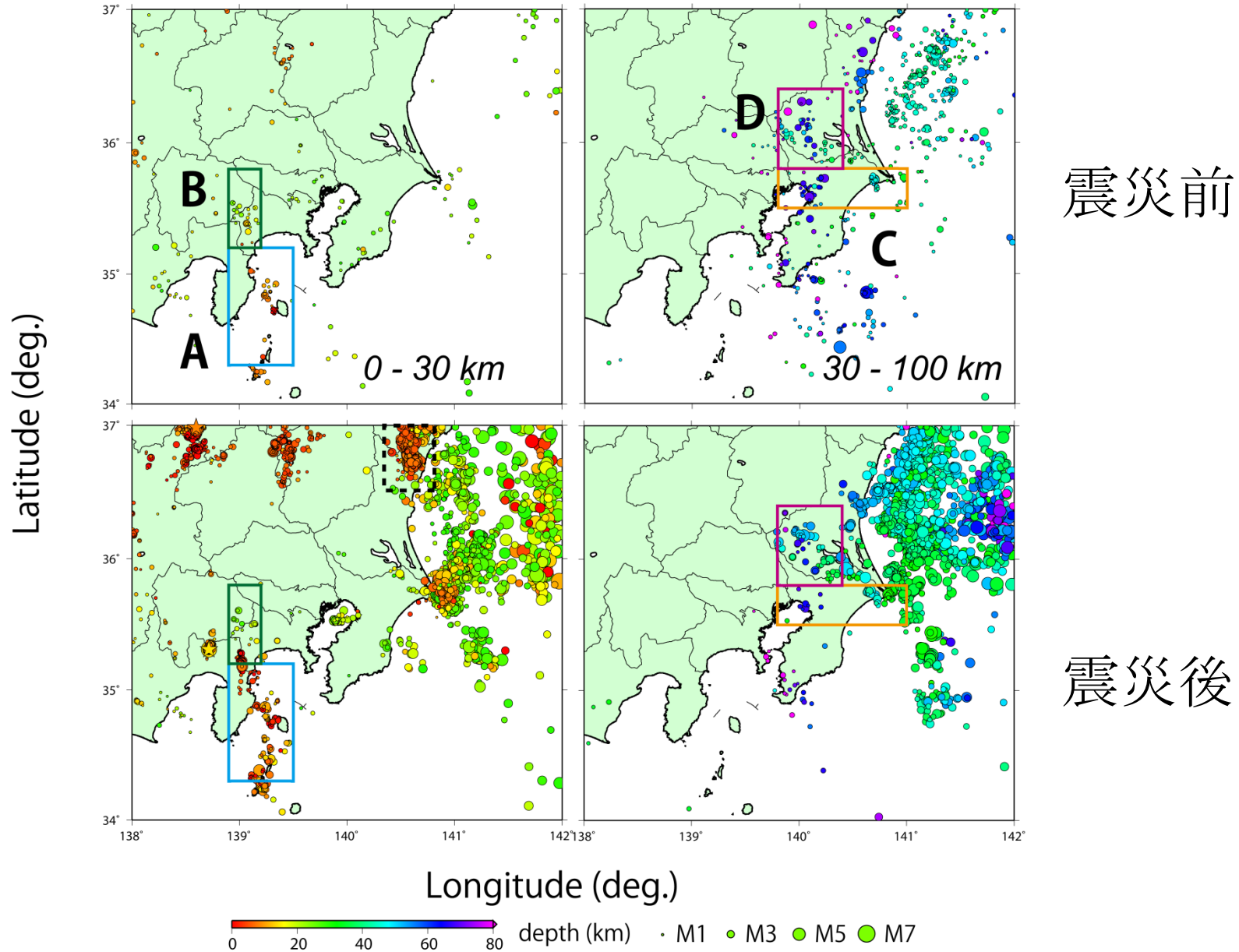
首都圏に大地震は来るか？



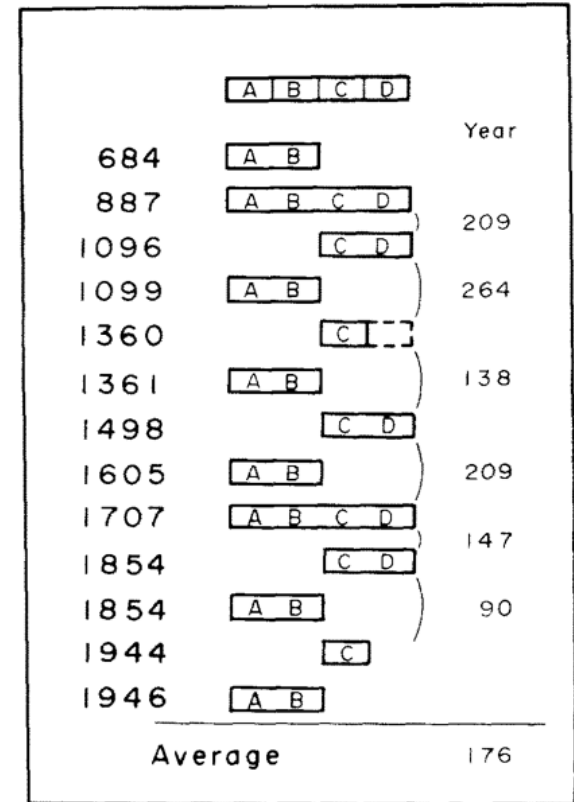
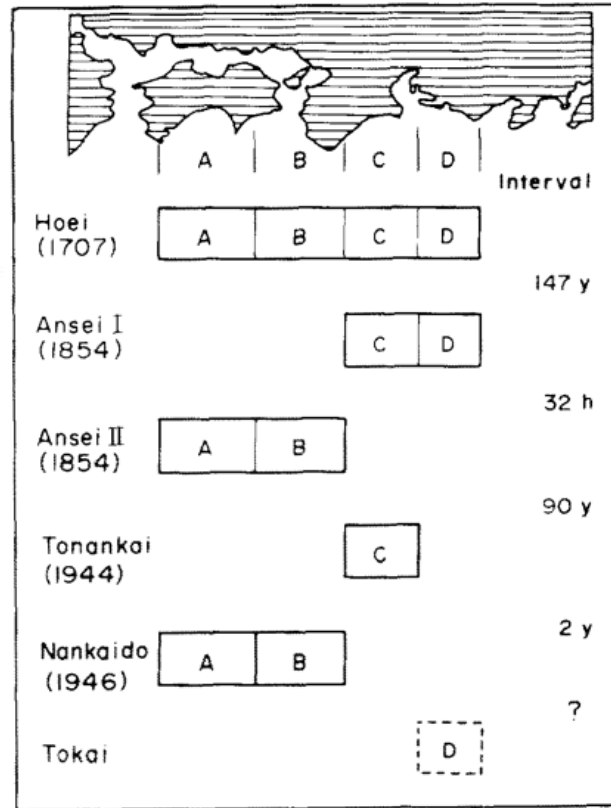
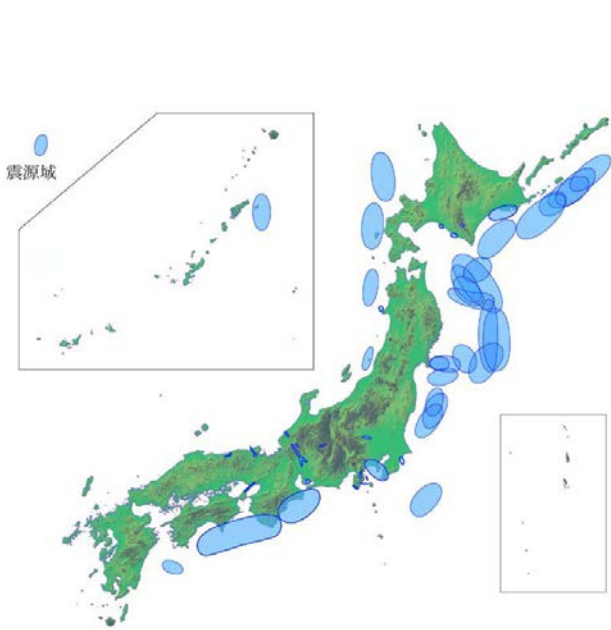
✓1894年からM7クラスの地震が5回おきている(約30年に1度)

✓最後に起きたのが1987年なので、そろそろ来るのではとされている(が科学的根拠は希薄)

首都圏付近の地震活動の変化



「西日本大震災」？



✓ 100年に1度程度マグニチュード8を越える地震が発生.

✓ 次は2030-40年前後？

✓ A, B, C, Dが連動したらどうなる？？単なるA+B+C+Dではすまない可能性？

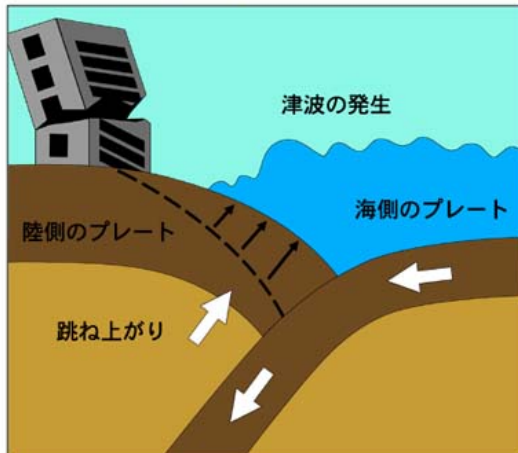
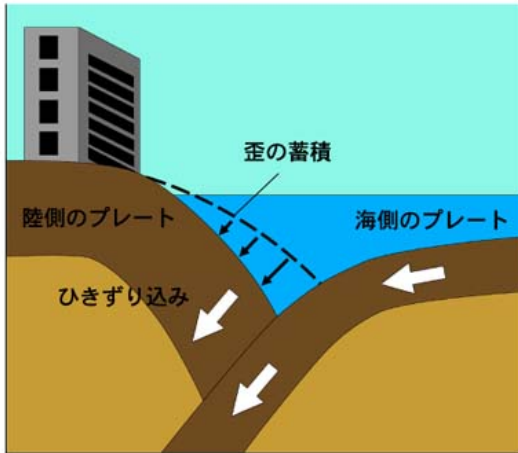
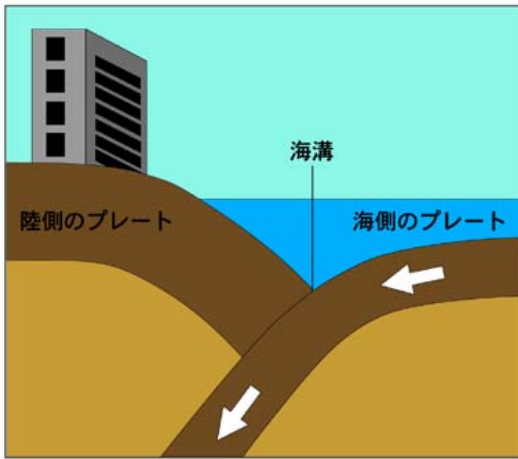
津波とは？

✓ 地震が発生すると海底地形が変化し、海水を持ち上げる、もしくは押し下げる。

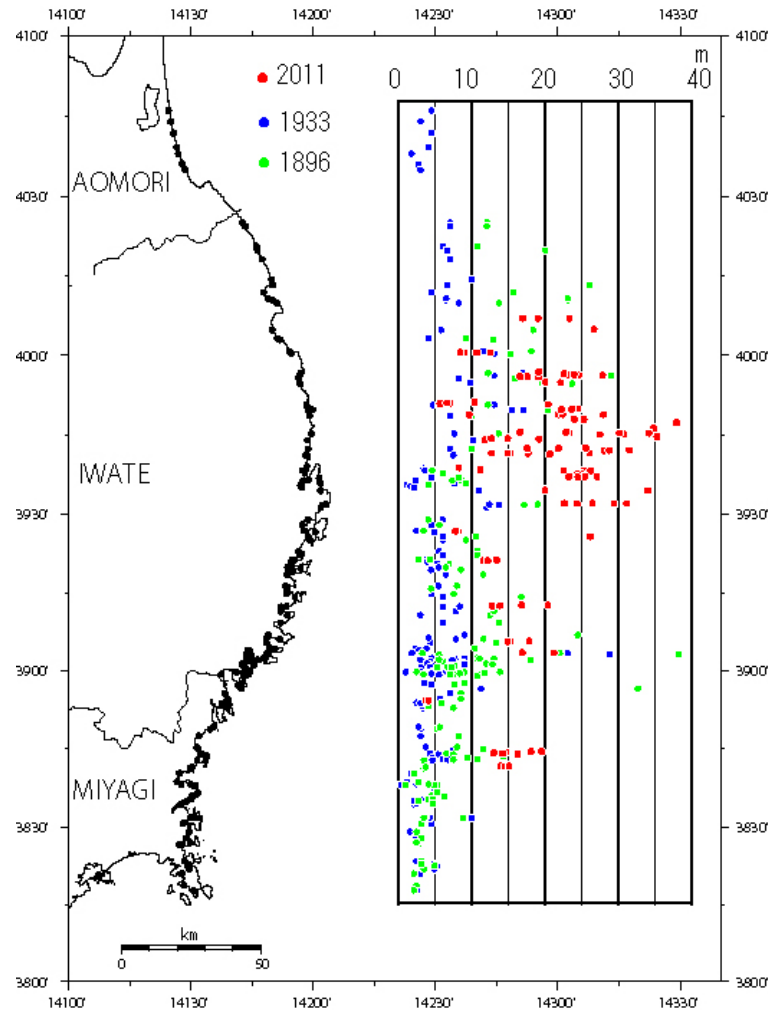
✓ 持ち上げられた、もしくは押し下げられた海底は周囲へと伝わっていき津波となる。

✓ 海域で発生した地震のみ津波を発生しうる。

✓ マグニチュード6.5以下の地震では津波は発生しない。



津波は「想定外」だったのか？



- ✓ 三陸海岸は、数10メートルにもおよぶ津波を過去にも経験している。
- ✓ 津波被害が広範囲に及んだという点が想定外（「想定外」の地震の大きさに関連している）。

津波から身を守るには…

- ✓ 津波は沖合では速くて(時速700km程度)低い. 沿岸に近づき水深が浅くなると遅くて(時速100km程度)高くなる.
- ✓ 遅いといっても津波より早く走るとは不可能なので, あらかじめ安全な場所に逃げておく.
- ✓ もし逃げる場所がなければ, 新しくて高い建物の高階へ.
- ✓ 川ぞいは, 津波が遡上するので近づかない.
- ✓ 津波は第1波だけでなく何回もやってきて, 後にくる津波のほうが高いことも多いので, 警報が解除されるまで安全な場所にいる.
- ✓ 津波の第1波は揺れのあと5分のときもあれば数時間後のこともあるが, 地震発生後3分以内に発令される気象庁の津波警報に(外れることも多いが)必ず従う.

東京湾に津波は来るか？



湾の入り口(横須賀・三浦・富津・勝浦など)には大津波の可能性があるが、湾の奥側(東京・浦安・船橋・千葉)での大津波の可能性は低い。

✓ 東京湾北部には2m以上の津波の記録はない。

✓ 東京湾の水深・形状・海底地形を考えると、2m以上の津波が発生する可能性はほとんどない。

…しかし、津波を過小評価してはいけない。50cmの津波でも、海辺にいたら逃げられないだろう。

東日本大震災の「想定外」

- ✓ 地震動そのものや、三陸海岸で津波が発生したことそのものは想定外ではない。
- ✓ 東北日本でマグニチュード9の地震が発生したことが想定外…だが、2004年スマトラ沖地震の時に気がついておくべきだった。
- ✓ 東北地方太平洋沖地震の発生は、地震学の既存の枠組みでは説明できない。
- ✓ 地震学の理論体系が大きく変わる可能性？

終わりに

備えておこう。

- ✓ 専門家でも、次の地震の場所や時刻を正確に予測することはできず、可能性を示唆することしかできない。
- ✓ 家具は固定しておこう。
- ✓ 大きな揺れを感じたらテーブルの下へ。
- ✓ 災害時の連絡は、電話でなくSNS (Skype, Facebook, Twitter…) のほうがつながる。携帯メールはつながるときもあればダメなときもある。
- ✓ 防災バッグを用意しておく。
- ✓ 近くの避難所とそこまでの道をチェックしておく。