



MRを用いた 地球内部に沈み込むプレートと その活動の3次元表示

東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

長谷川 昭・海田 俊輝・海野 徳仁

はじめに

- ・近年、地球内部で生じている現象の理解が進んできた (あたかも<mark>逆さ望遠鏡(inverted telescope)</mark>で見るかのように、 地球内部を覗くことが可能となってきた)
- ・複雑な地下構造やそこで生起する地球内部現象について、

他の人に理解してもらうため、研究者自身が理解を深めるため、さらには知識普及や科学コミュニケーションの観点から

直感的に理解し易く、かつ容易にできる表示手法の開発が待たれる

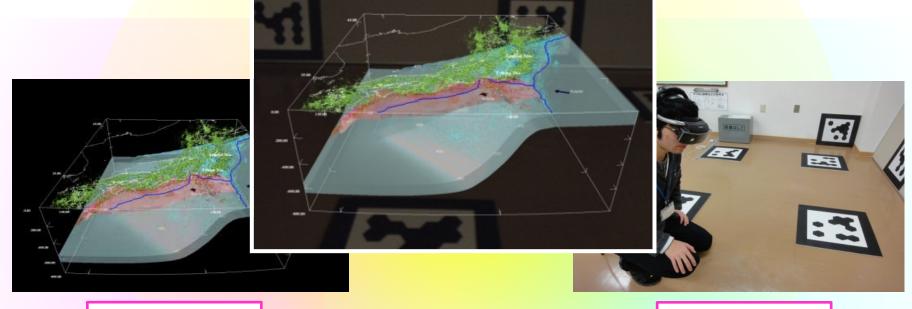
3次元表示の重要性

<u>複合現実感(Mixed Reality; MR)</u>を用いた3次元表示

MR:現実の映像と仮想のCGとをリアルタイムにつなぎ目なく 合成する技術

新しい映像表示技術: MR (Mixed Reality)

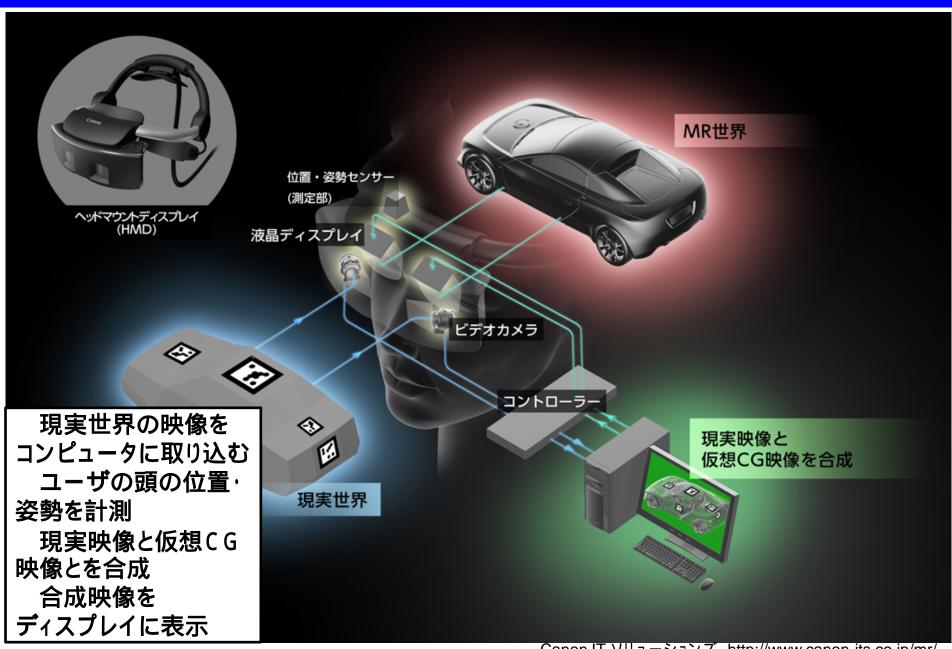
現実の映像(現実世界)とコンピュータの3DCG(仮想世界)とをリアルタイムにつなぎ目なく合成する技術



仮想世界

現実世界

MRの原理



Canon IT ソリューションズ http://www.canon-its.co.jp/mr/

MREAL (Canon社) システム機器構成

ヘッドマウントディスプレイ HM-A1 (Canon社)

MRコントローラ DC-A1 (Canon社)

映像分配器 DVH-14 (イメージニクス社)

ワークステーション Z820 (HP社)

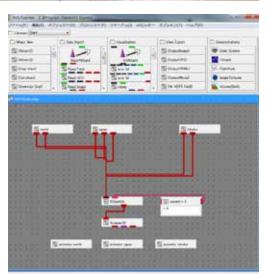
- CPU: Xeon E5-2690 2.90GHz 8Core,

- RAM: 32GB,

- GPU: NVIDIA Quadro 6000

* AVS Express 8.1 (サイバネットシステム社)
····3 D C G作成に使用





MRシステム活用のメリット

• 体験者の視点で、自由な角度から観察できる

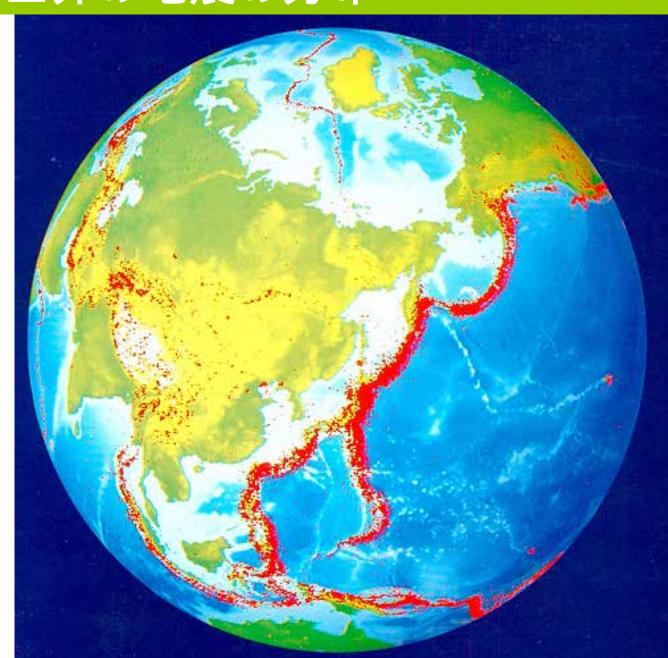
地球内部に潜り込んで、地球内部の様子やそこで生じている現象を観察するような体験が可能





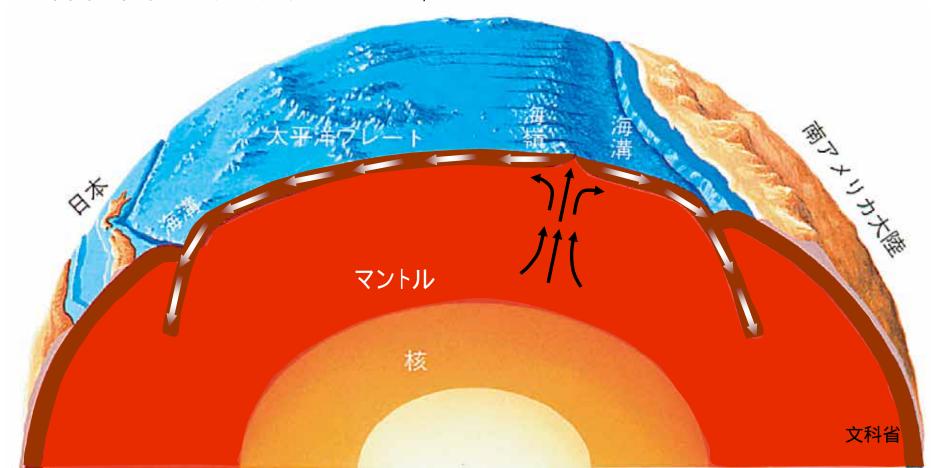
世界の地震の分布

- ・地震は決まった場所に集中して発生する
- ・日本列島は地震帯の 真上にある



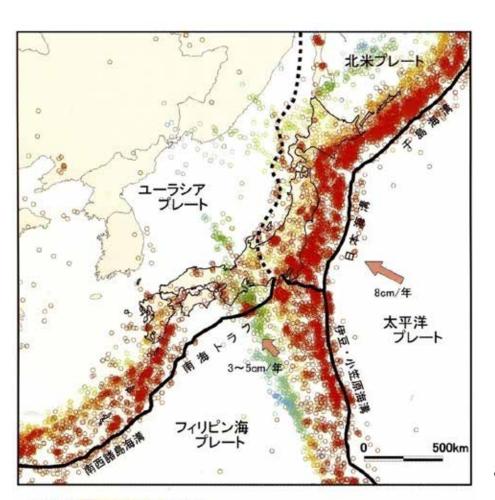
プレート運動

- ・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から沈み込む
- ・日本列島は,海のプレートの沈み込む場所(沈み込み帯)に位置する
- ·日本列島で地震が頻発するのは,そのためである



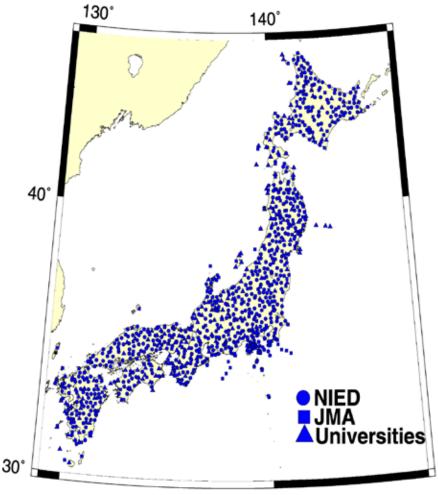
沈み込む海洋プレートのイメージング





600km

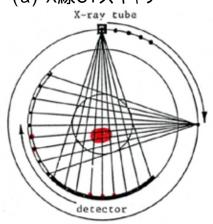
地震基盤観測網



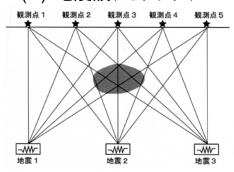
沈み込む海洋プレートのイメージング

X線CTと地震波トモグラフィ

(a) X線CTスキャナー

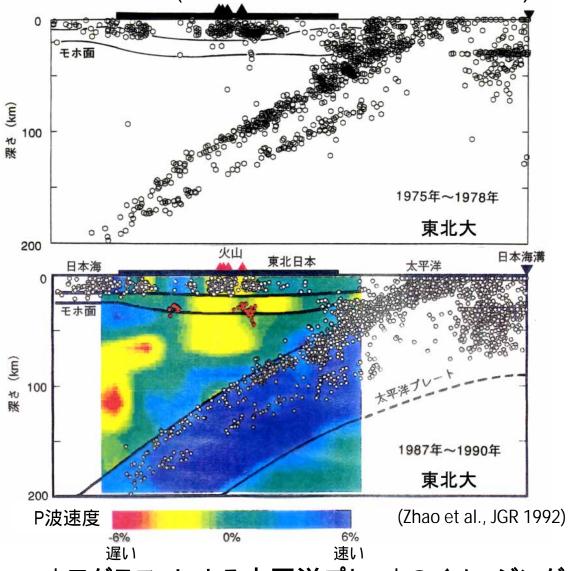


(b) 地震波トモグラフィ



- ·CT のように地震波で地球内部を覗く
- ·地球内部を見る最も powerful な手段
- ・地球全体~震源断層のスケールまで
- ·地震波速度構造(Vp, Vs)、
- 地震波減衰構造(Qp, Qs)

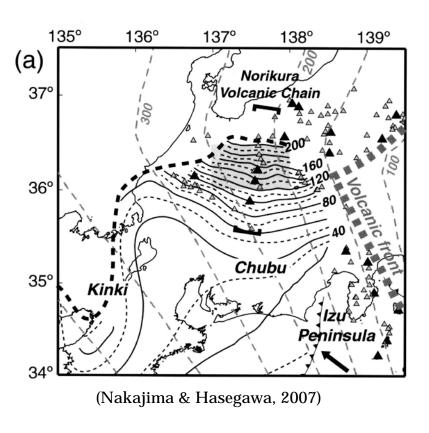
震源分布(東北地方を横断する鉛直断面)

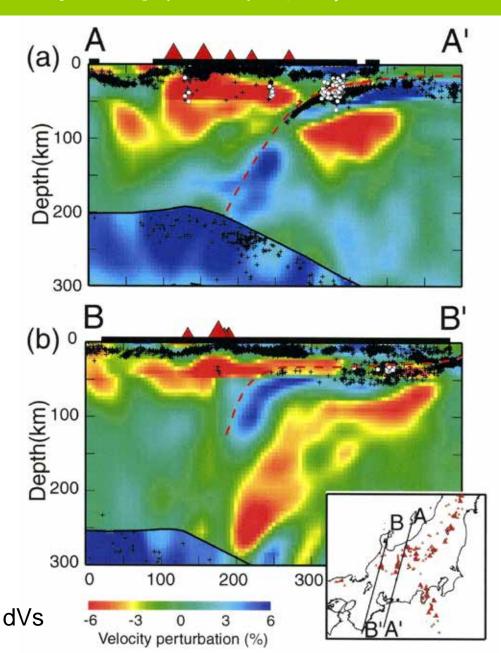


トモグラフィによる太平洋プレートのイメージング

フィリピン海プレートのイメージング

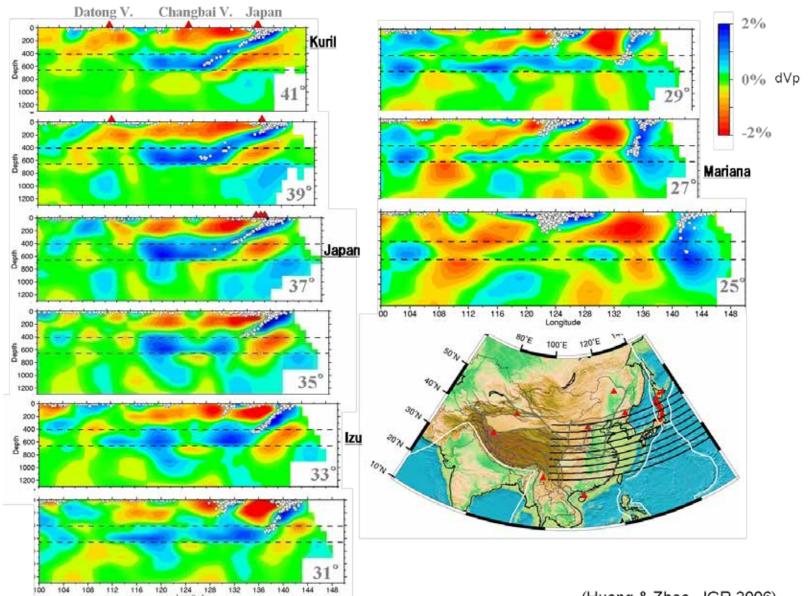
・北陸地域下のS波速度偏差 (dVs) の鉛直断面・非震性スラブ(プレート)を高速度域としてイメージング





太平洋プレートとフィリピン海プレートのイメージング

マントル遷移層に滞留する海洋プレート



太平洋プレートとフィリピン海プレートの形状

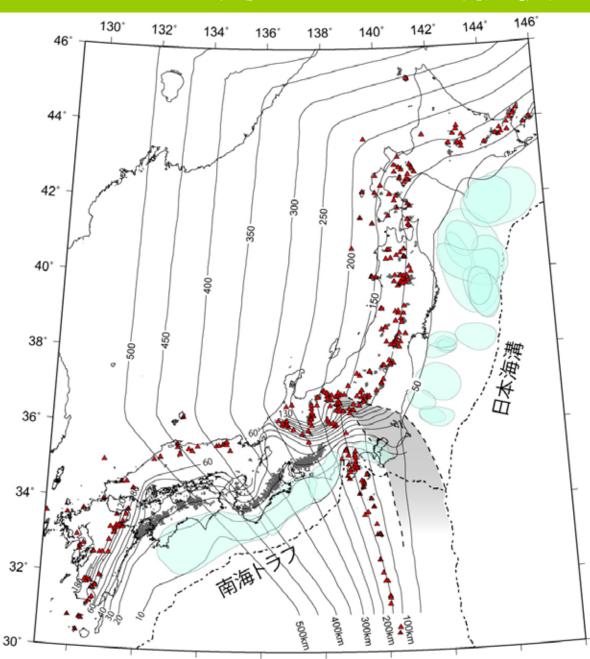
コンター:プレート上面の等深線 青楕円:プレート境界大地震

:火山

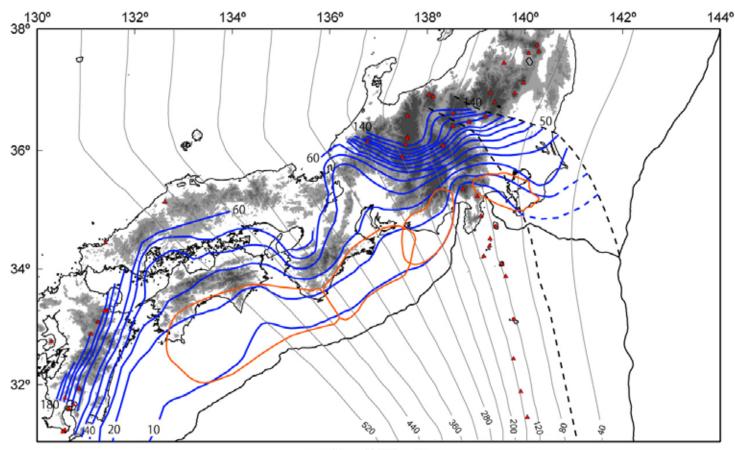
黒点:深部低周波微動

·太平洋プレートとフィリピン海プレートの接触域を影をつけて示す

(Nakajima et al., 2009; Kita et al., 2009; Hirose et al., 2008; Nakajima & Hasegawa, 2007; Baba et al., 2002)



変形しながら沈み込むフィリピン海プレートと地形

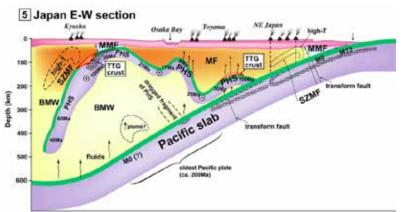


(Nakajima et al., JGR 2009)

青コンター:プレート上面の等深線 <mark>橙楕円</mark>:プレート境界大地震 :活火山

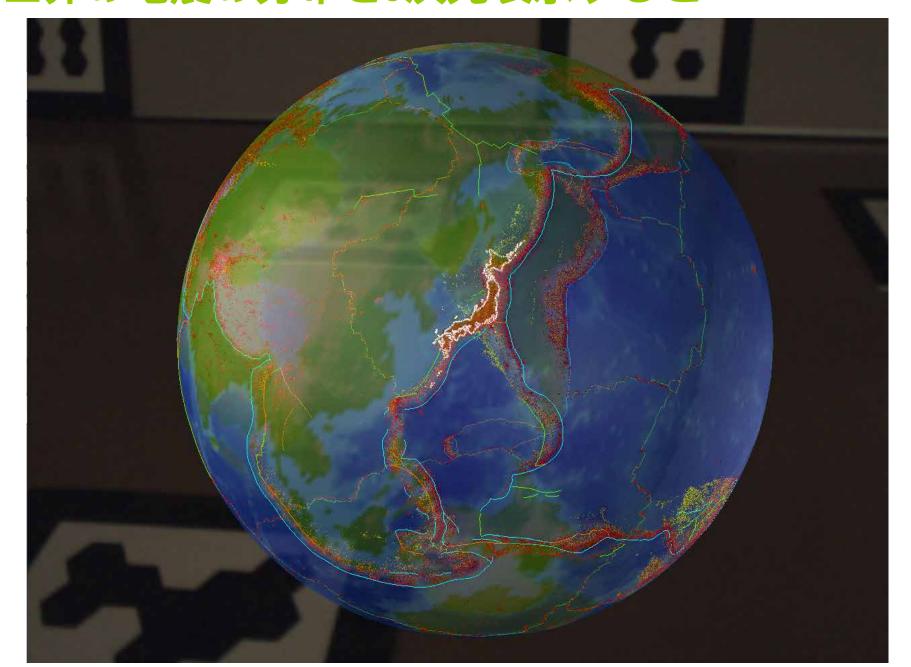
·PHSプレートは沈み込むにつれて東西に縮められ、波板のように変形

·プレート境界大地震の深さの下限: ~ 25 km

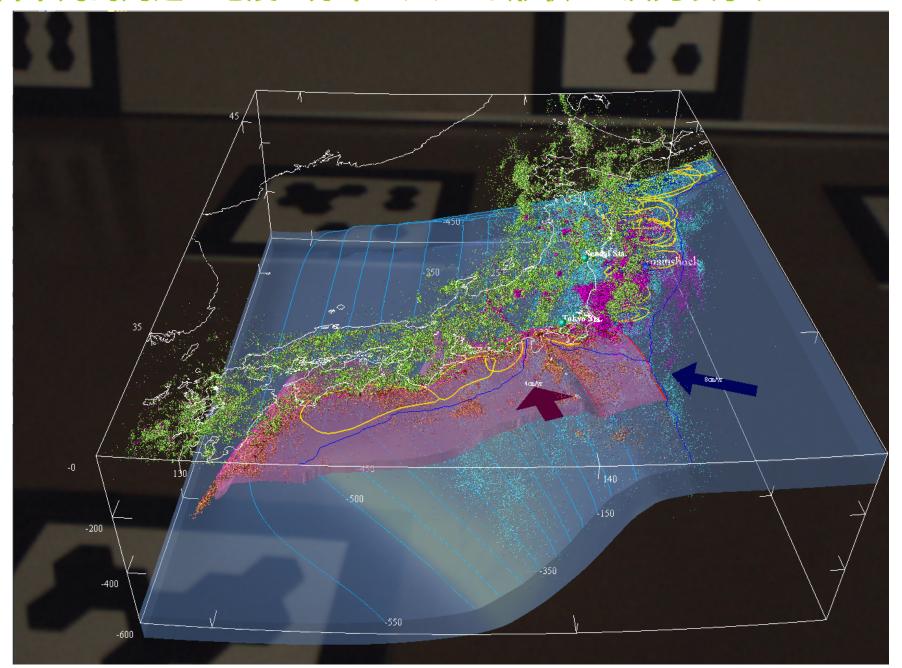


(Maruyama et al., Gond. Res. 2009)

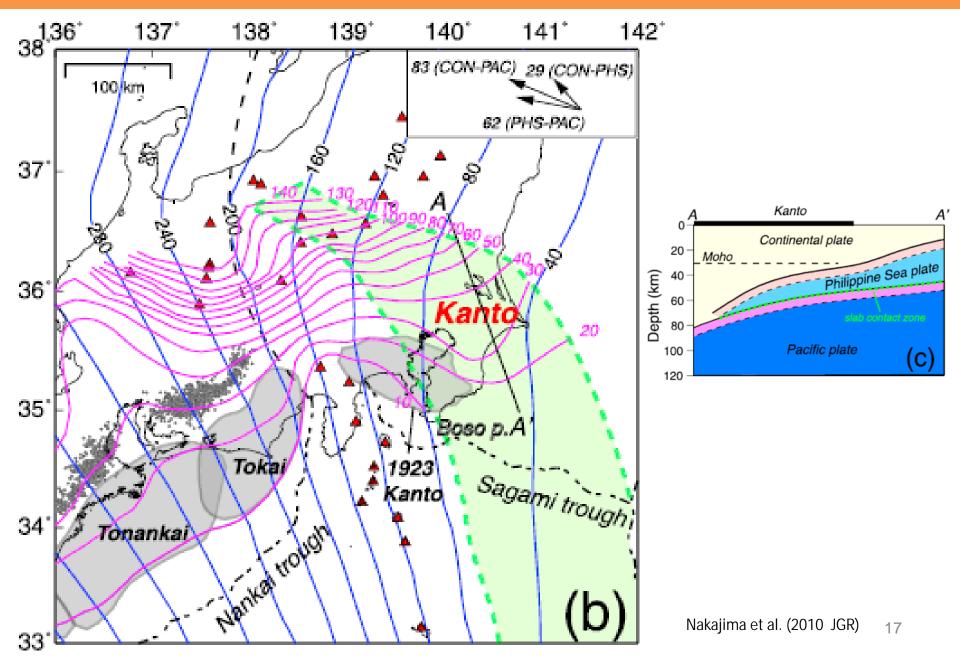
世界の地震の分布を3次元表示すると・・・



日本列島周辺の地震の分布とプレート形状を3次元表示すると・・・

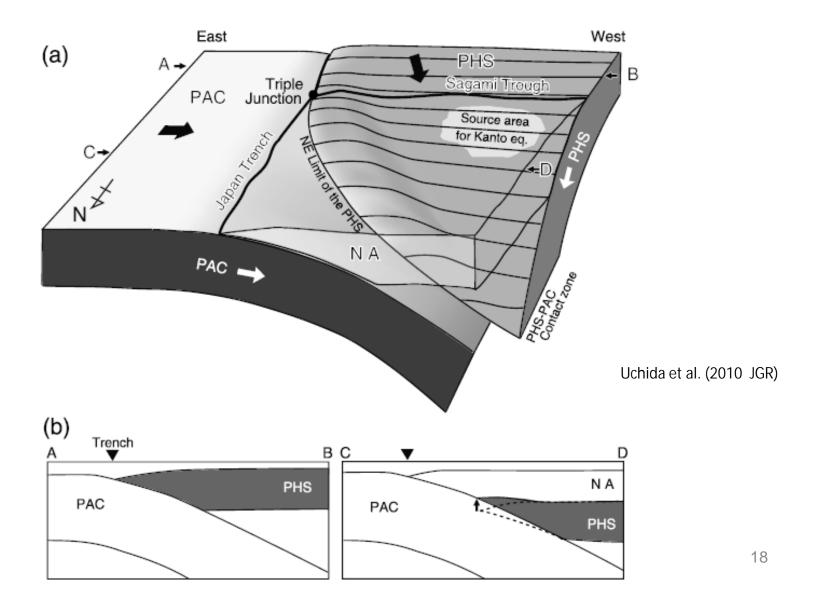


関東下に沈み込む2つの海洋プレート

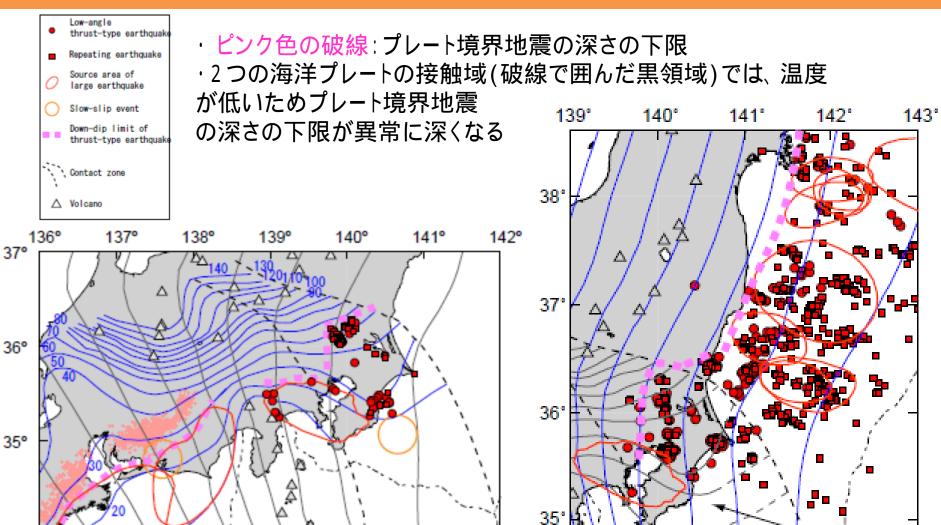


関東下に沈み込む2つの海洋プレート

PAC:太平洋プレート PHS:フィリピン海プレート



プレート境界地震の深さの下限



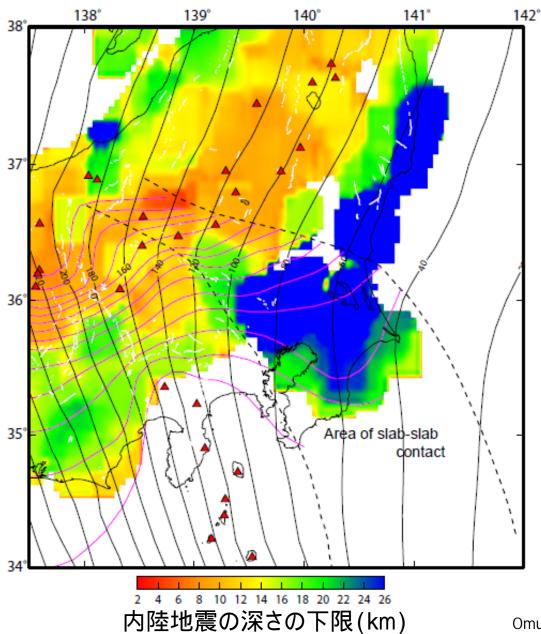
34°

100 km

Nakajima et al. (2010 JGR)

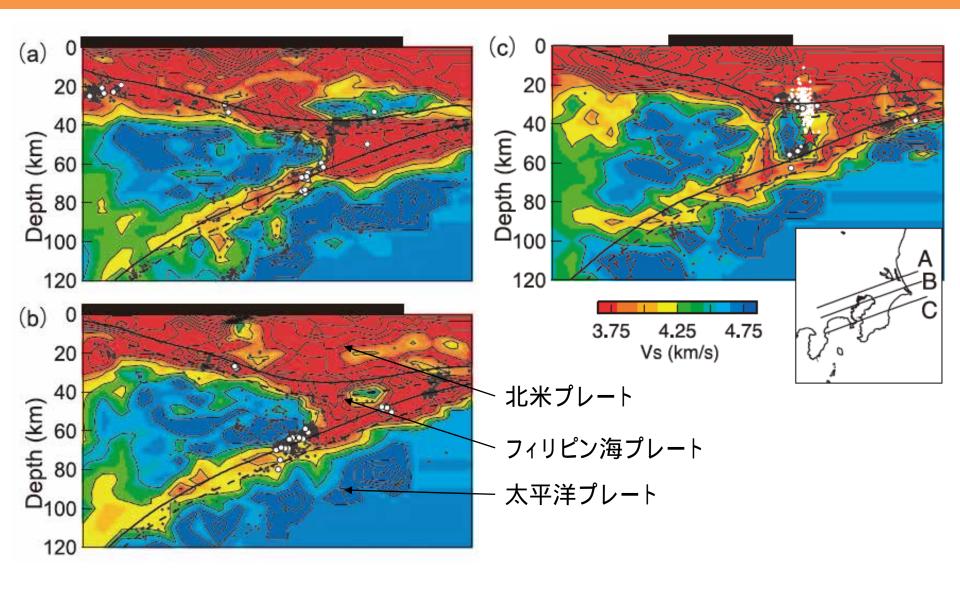
Area of:

内陸地震の深さの下限



・2つの海洋プレートの接触域(黒破線で囲んだ領域)では、温度が低いため内陸地震の深さの下限も異常に深くなる

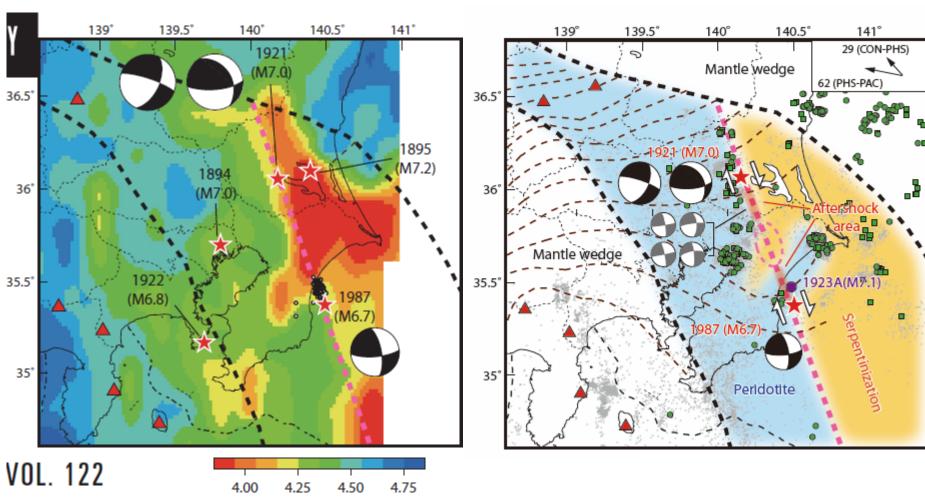
S波速度の鉛直断面



2つに裂けながら首都圏下に沈み込むフィリピン海プレート

太平洋プレート上部境界面から10 km 上方の曲面に沿うS波速度

フィリピン海プレート東端部の蛇紋岩 化域(茶色の領域)



Nakajima et al. (2009 JGR)

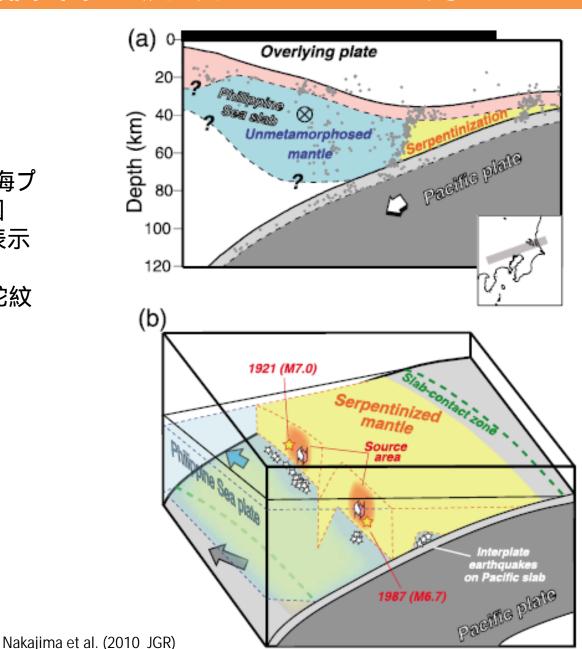
S-wave velocity (km/s)

Nakajima et al. (2010 JGR)

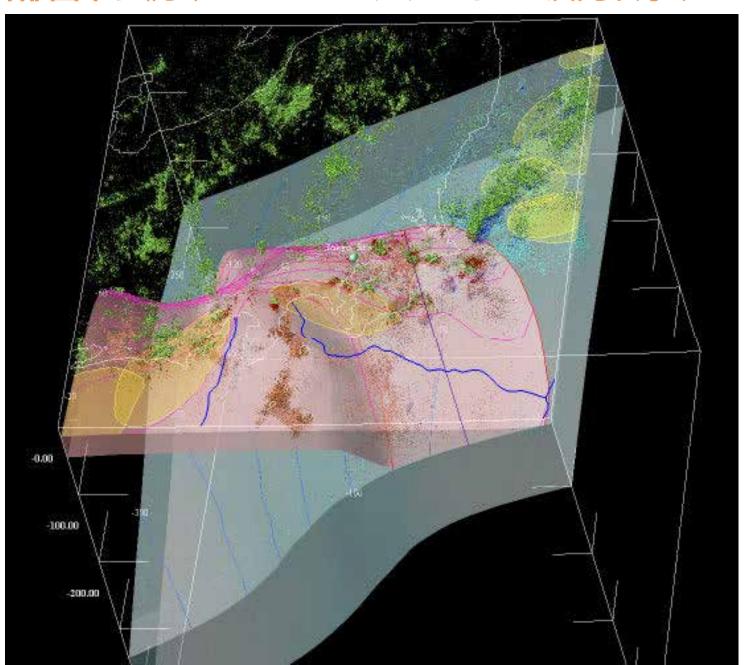
2つに裂けながら首都圏下に沈み込むフィリピン海プレート

首都圏下に沈み込むフィリピン海プレートと太平洋プレートの模式図(a)二次元表示、(b) 三次元表示

フィリピン海プレート東端部の蛇紋 岩化域を黄色で示す



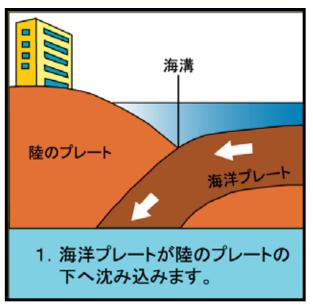
首都圏下に沈みこむ2つのプレートを3次元表示すると・・・

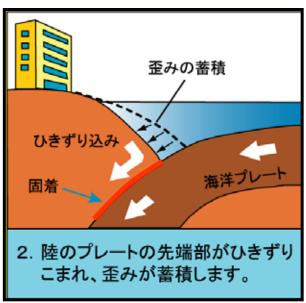


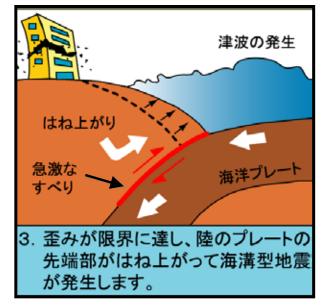
・2つのプレートは、関東平野下の広い領域で接触している・フィリピン海プレートは、東端とおの蛇紋岩化域とその西側の本体部との2つに裂けないるがら沈み込んでいる

プレート境界地震の発生のしくみ

- ・海のプレートが陸の下に沈み込む.
- ・プレート境界面に摩擦力が働き,陸のプレートをひきずり込む.
- ・強度の限界に達すると,プレート境界面で急激なすべりが生じ, 地震が発生する.

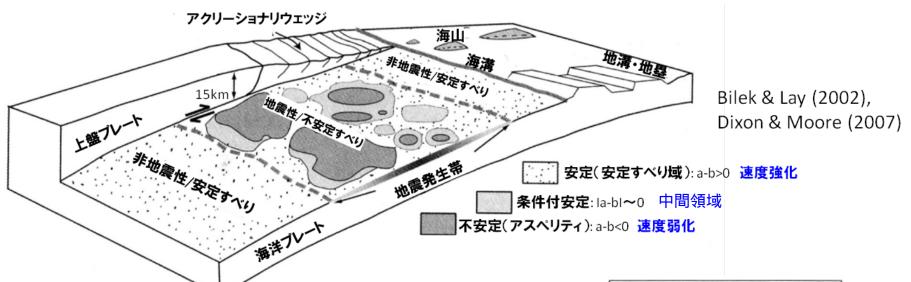






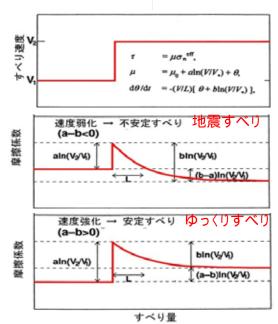
文科省 25

プレート境界でのすべり様式



アスペリティと安定すべり域

- ·アスペリティは、摩擦パラメータ (a -b) が負の 領域
- ·(a -b) が正の領域では、ずるずるとゆっくりすべる「安定すべり」が生じる
- ·プレート境界では、安定すべり域に囲まれて アスペリティがパッチ状に分布
- ·ただし、条件付安定領域(中間領域)が、その間に分布

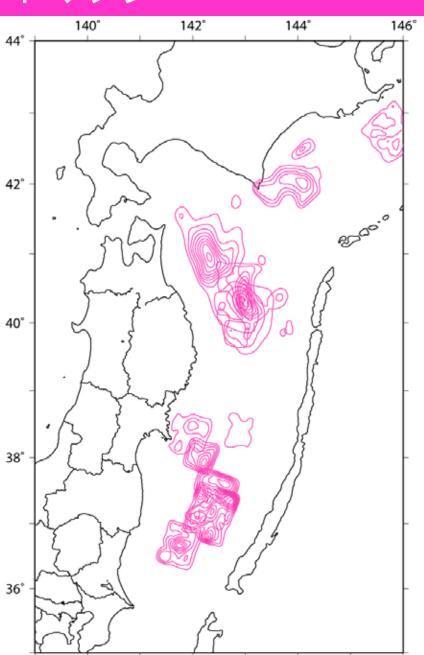


アスペリティマップ

ピンクコンター:過去70年間の

M7以上の地震のすべり分布

Yamanaka & Kikuchi (2004), Murotani et al. (2003)



東北沖地震前のプレート境界の固着状況

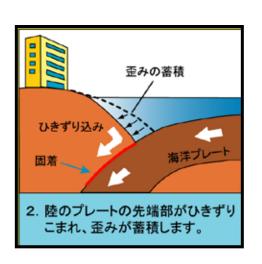
黒太線:アスペリティ

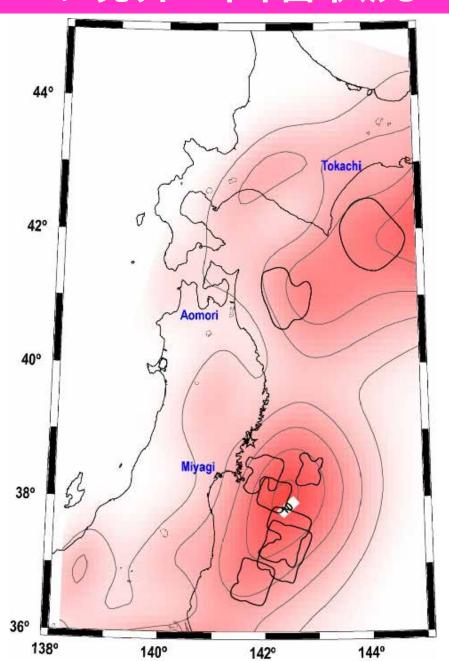
(過去70年間のM7以上の地震の大滑り域) Yamanaka & Kikuchi (2004), Murotani et al. (2003)

灰色コンターとカラースケール: 固着の強さ(滑り遅れ分布) (諏訪·他, 2003)

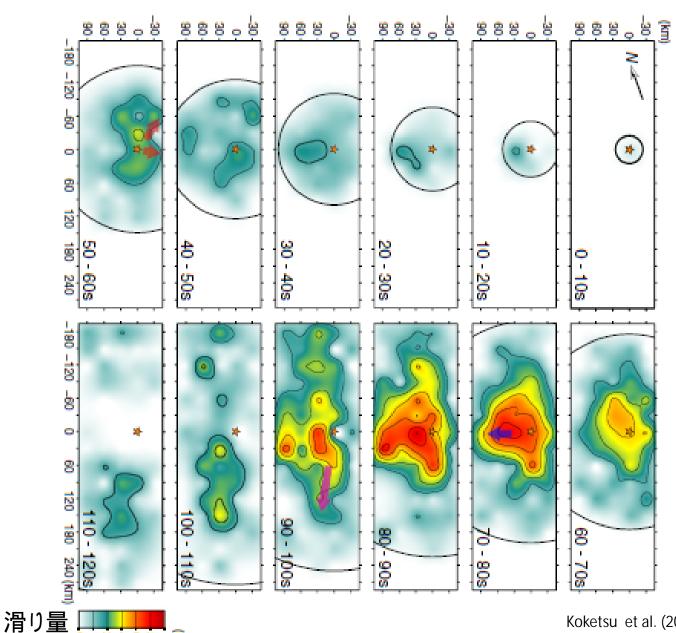
·1997年~2002 年の5年間

・アスペリティ (黒太線)を含み、 さらに広い領域 が固着していた





東北沖地震の滑り分布



・本震発生後か ら10秒間毎の 滑り量をカラー スケールで示す

東北沖地震の滑り分布

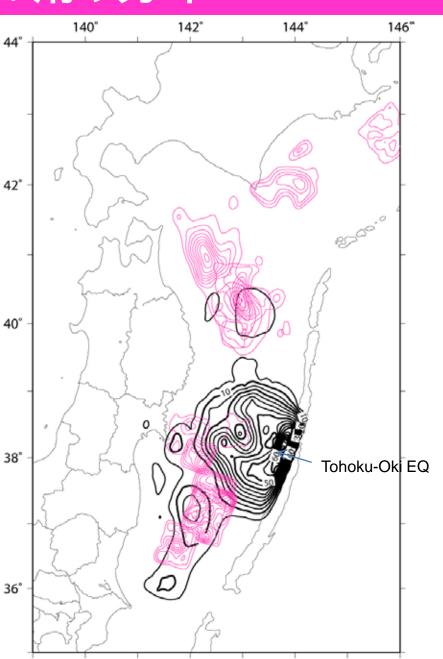
ピンクコンター:過去70年間の

M7以上の地震の滑り分布 (アスペリティ)

Yamanaka & Kikuchi (2004), Murotani et al. (2003)

黒コンター:2011年東北沖地震 の滑り分布

linuma et al. (2012)



東北沖地震後の余効滑り

黒コンター:地震時滑り

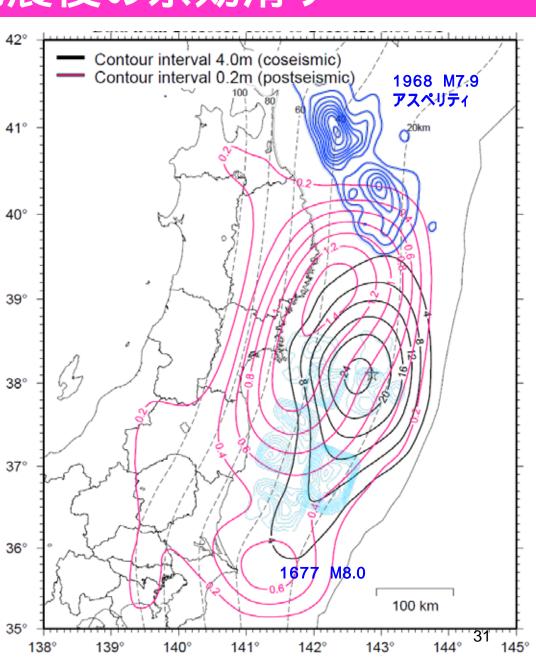
桃色コンター: 余効滑り

青色コンター or 青丸:隣接す

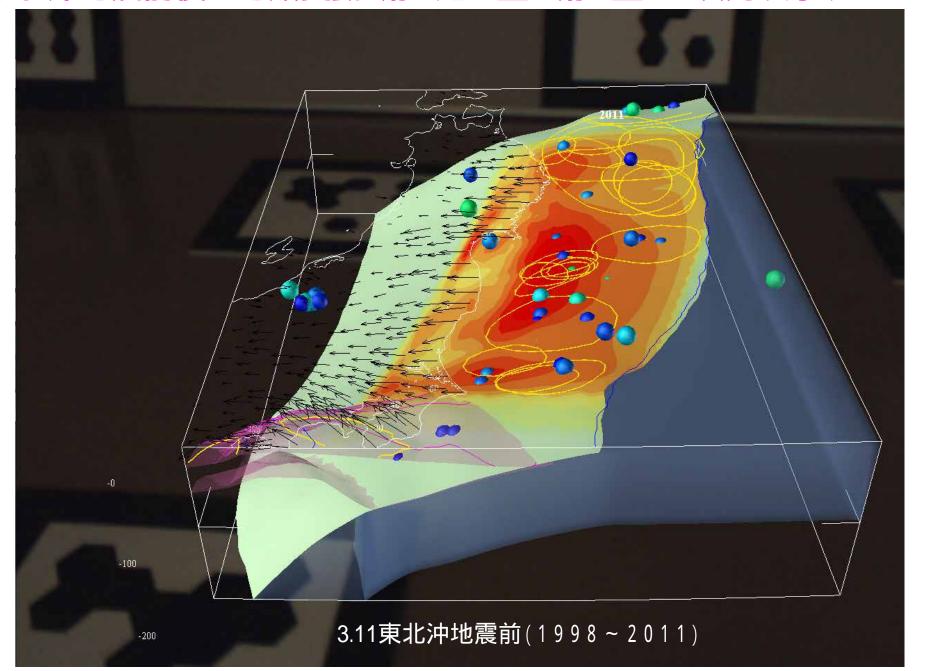
る震源域

東北沖地震後、プレート境界 の滑りが隣接するアスペリ ティに迫っている

国土地理院による(ただし1968十勝沖地震のすべり分布は永井・他(2001)による)



東北沖地震前後の地殼変動・滑り遅れ量と滑り量を3次元表示すると・・



まとめ

- 最新の映像表示技術であるMRを用いて、 沈み込むプレート・地震活動・地殻変動およびプレート間滑りの3次元表示を試みた
- 時間変化する現象(地殻変動やプレート間滑り)も、 より直観的な図で表現できるようになった
- 今後、コンテンツの改良・充実を図る

科学コミュニケーションや教育支援ツールとしても 活用できるレベルを目指す