

地震予知のための新たな
観測研究計画(第2次)における
平成19年度実施状況

国立大学法人

観測研究計画推進委員会
2007年12月17日

本資料は2007年AGU Fall Meetingにおいて
発表された以下の論文を元に作成した

**Effects of heterogeneous structures of
the seismic velocity and the stress field on
earthquake generations elucidated by
dense temporary seismic networks**

Aitaro Kato*

Shinichi Sakai*

Eiji Kurashimo*

Toshihiro Igarashi*

Takashi Iidaka*

Naoshi Hirata*

Takaya Iwasaki*

Toshihiko Kanazawa*

Group for the aftershock observations of the 2007 Noto Hanto Earthquake
Group for the aftershock observations of the 2007 Niigataken Chuetsu-oki Earthquake

* Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo (ERI)

最近発生した主な地震

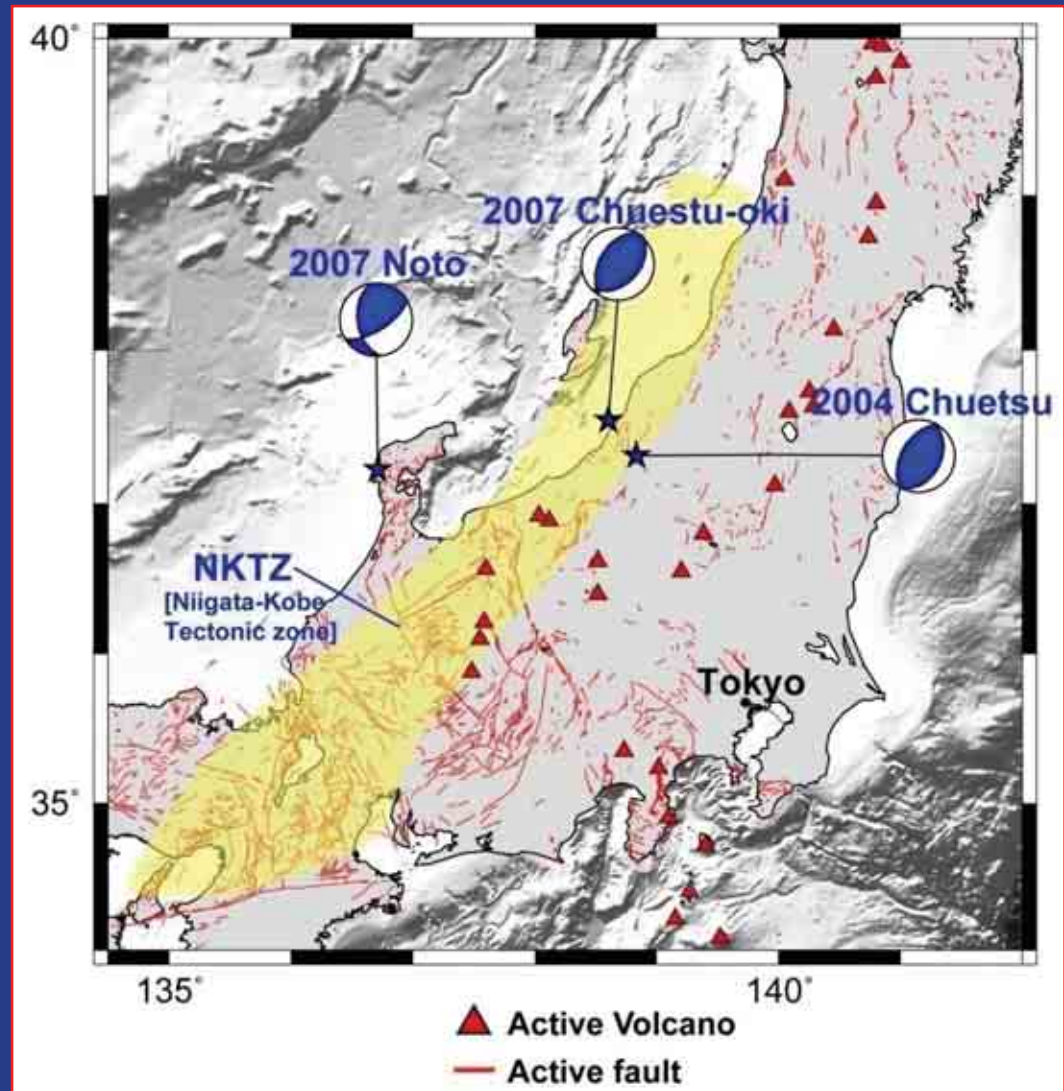
2004 新潟県中越地震

2007 能登半島地震

2007 新潟県中越沖地震

共通点

- $M_w \sim 6.6$
- 高角の逆断層
- 新潟-神戸歪み集中帯
- 活褶曲帯



稠密余震観測

目的： 震源域の不均質構造を明らかにする

1) 2004 新潟県中越地震

観測期間 : 2004/10/24 – 11/26
観測点数 : 56 点
再決定された余震数 : 2668 個

2) 2007 新潟県中越沖地震

観測期間 : 2007/07/16 – 08/30
観測点数 : 48 点
再決定された余震数 : 881 個

3) 2007 能登半島地震

観測期間 : 2007/03/25 – 05/22
観測点数 : 80 点
再決定された余震数 : 1600 個

解析手法

a) 地殻構造

トモグラフィー法 : [tomoDD-code](#) [*Zhang and Thurber, 2003*]

データ : 到着時及び

Double difference arrival times

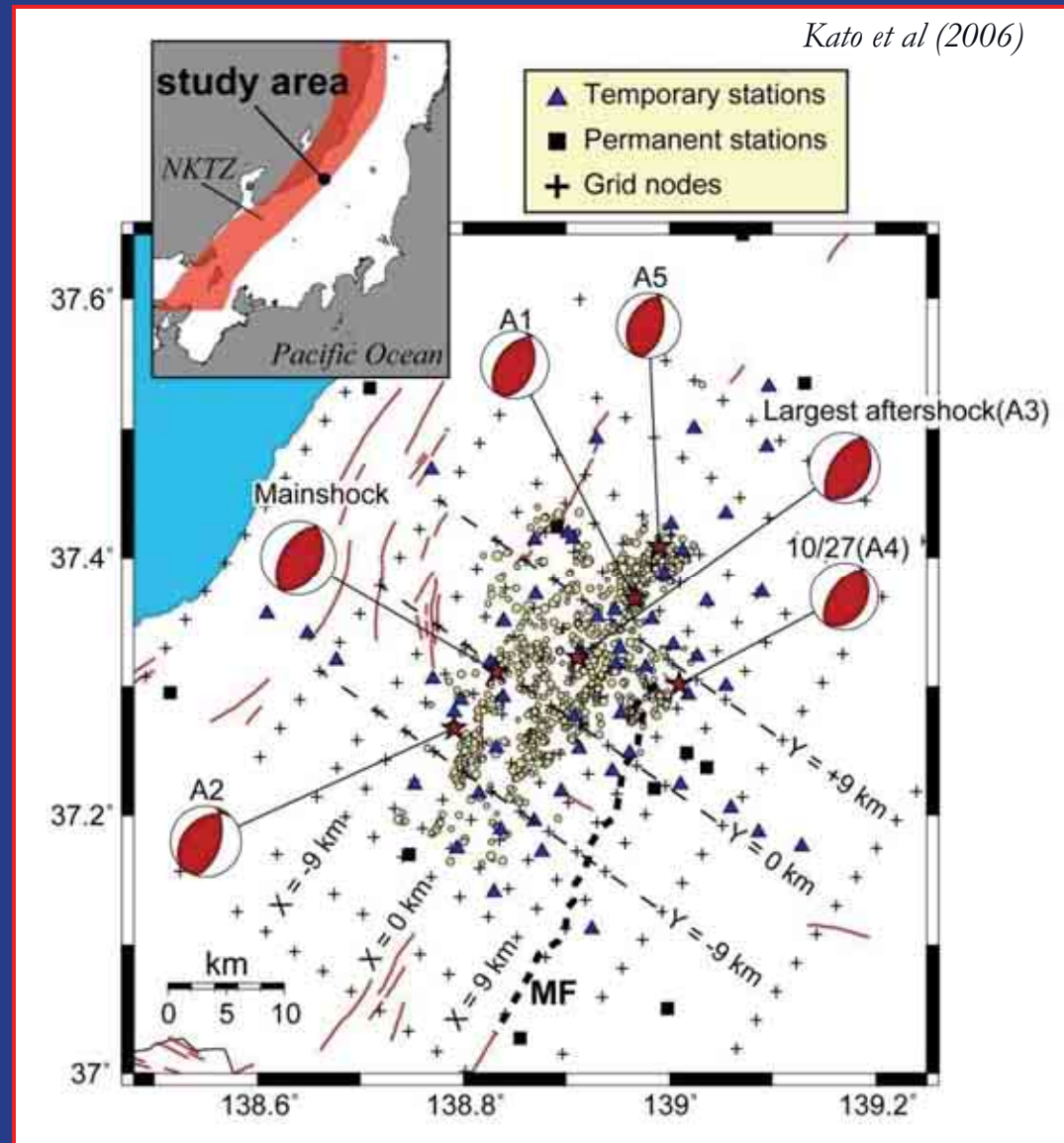
b) 応力場

応力テンソルインバージョン法 : [MOTSI-code](#) [*Abers and Gephart, 2001*]

データ : 初動の押し引き

2004年新潟県中越地震の稠密余震観測(参考資料)

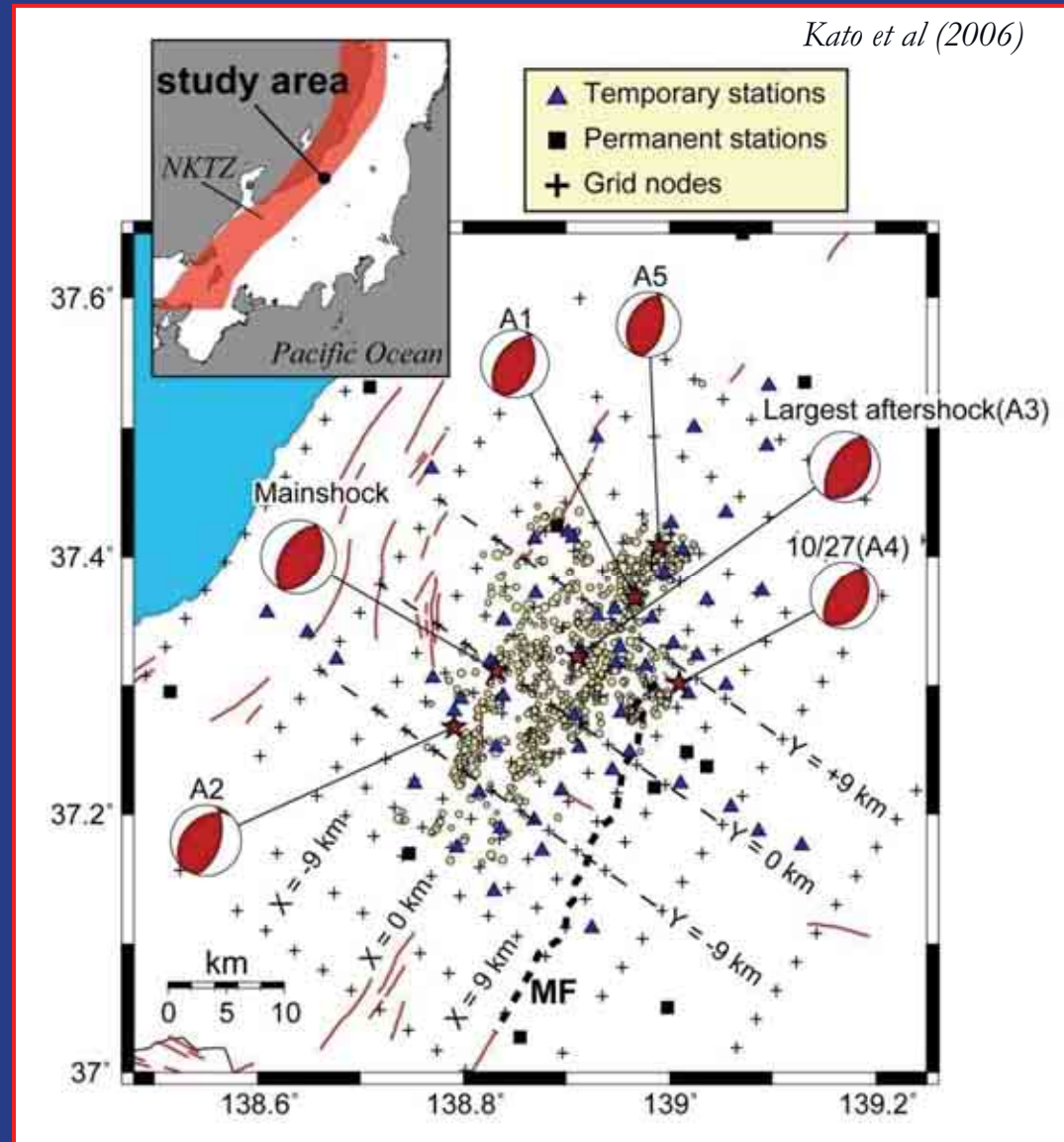
M6.0以上の地震5個
(A1-A5)を含む非常に
活発な余震活動が
観測された



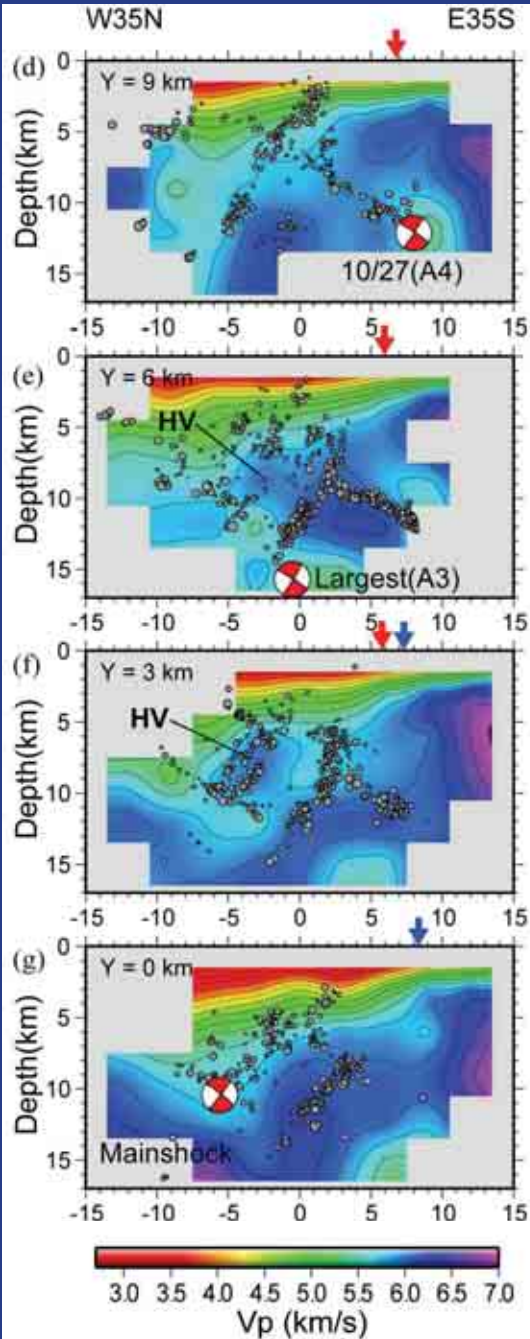
2004年新潟県中越地震(参考資料)

[トモグラフィー]

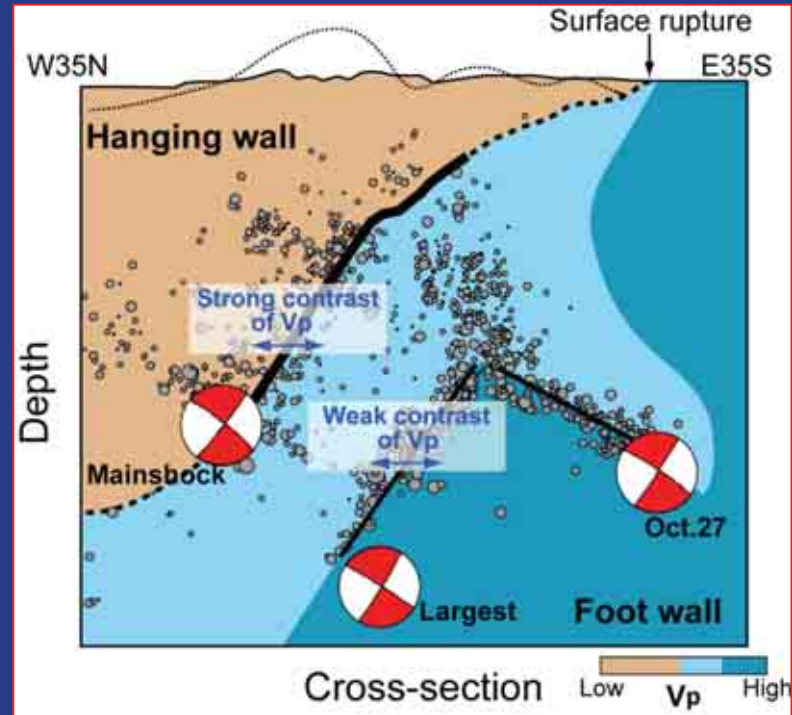
- 格子点間隔
X軸 (E35S+) : 3km int.
Y軸 (N35E+) : 3km int.
Z軸 (D +) : 3km int.
- 使用した地震数 : 915
- 波線の本数
P: 46,517 S: 44,527
- Double Differences (カタログ)
P: 260,202, S: 242,373
- Double Difference
(波形相関 > 0.85)
P: 38,540, S: 30,501



P波速度構造の断面図



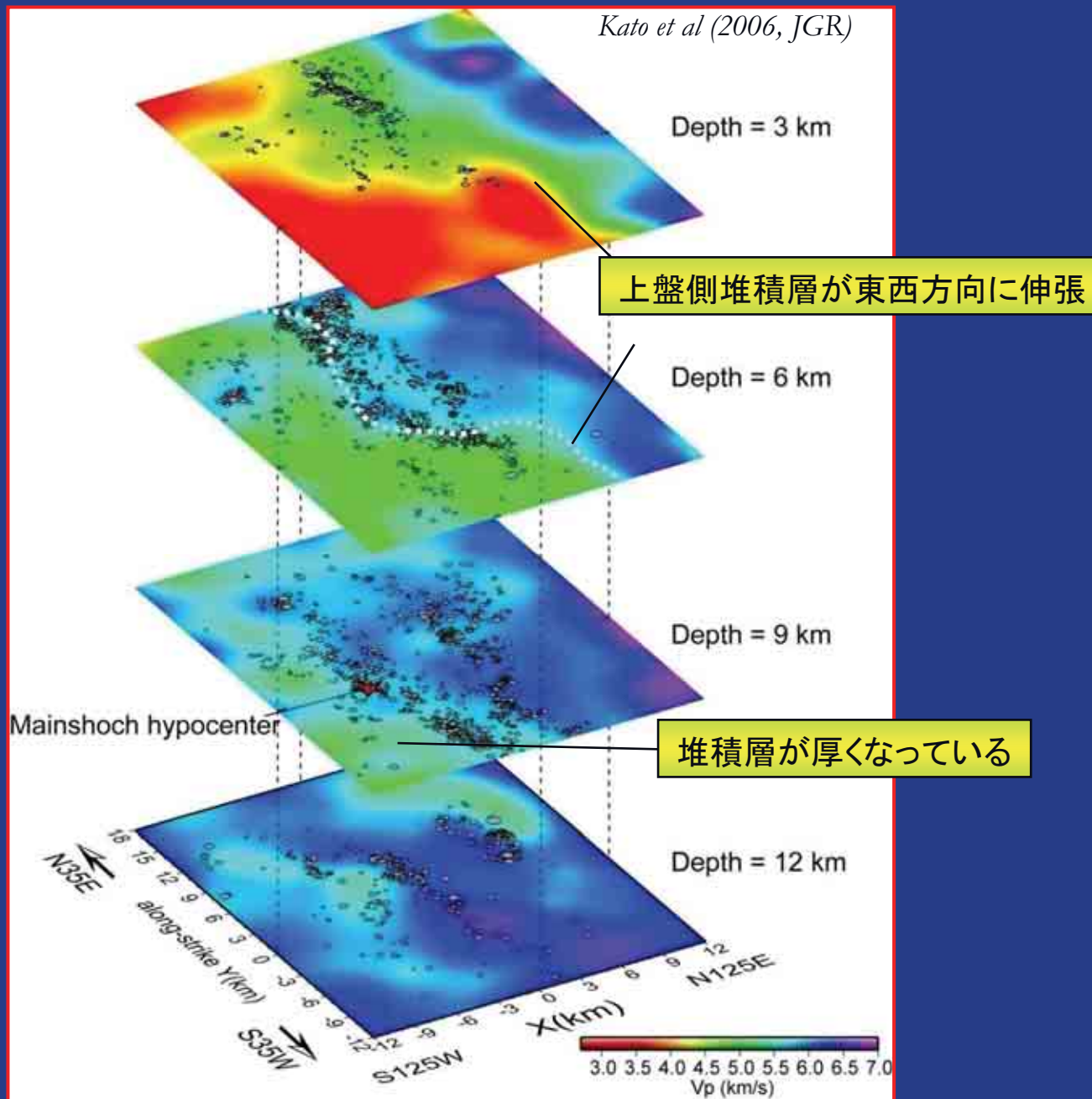
Kato et al (2006, JGR)



- 上盤側が低速度
 : 日本海拡大時に形成されたhalf graben に堆積した
 下盤側は高速度の基盤岩
- 余震は速度境界に沿って発生している
 - 上盤と下盤の間
 - 基盤岩内部
- 本震付近の低速度領域 ⇒ 流体の存在

各深さでのP波速度

Kato et al (2006, JGR)



応力場の不均質性

Kato et al (2006, JGR)

中央部 (本震領域)

σ_1 : W20N ~ W30N
(広域応力場と調和的)

σ_3 : ほぼ垂直

南西部

σ_1 : W ~ W10N

σ_3 : 垂直 (誤差大)

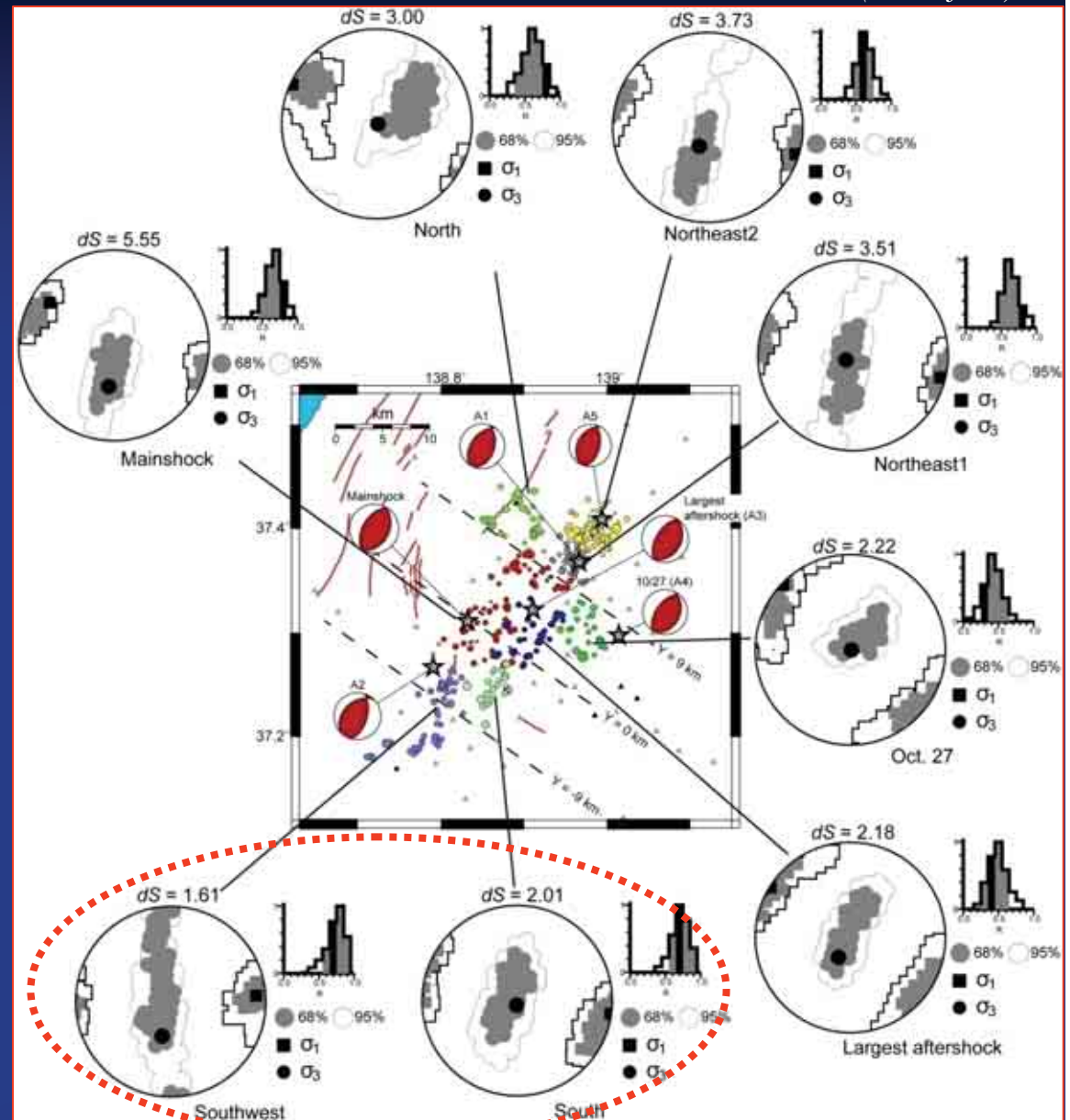
北東部

σ_1 : W15N

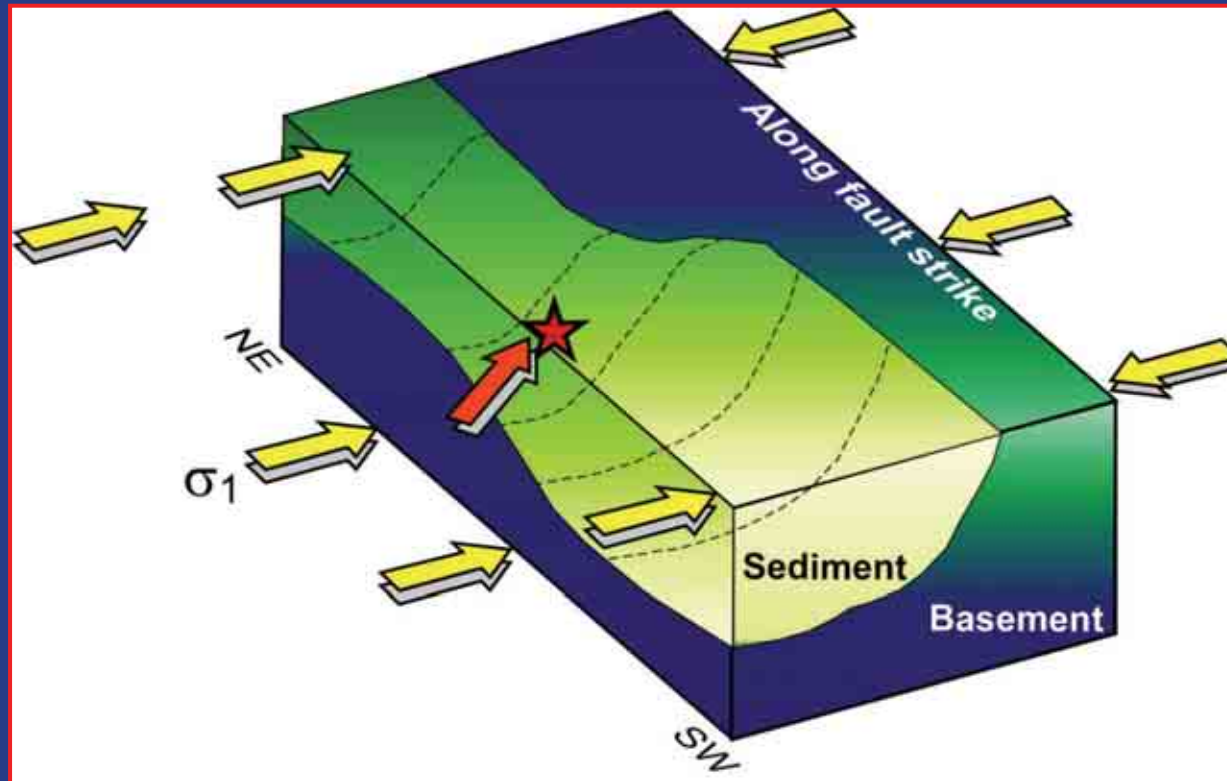
σ_3 : 垂直 (誤差大)

• 南西部の最大主応力 σ_1 の回転は95%有意

応力軸の方向が変化する場所に本震が位置している



応力軸の回転と不均質構造との関係 2004年新潟県中越地震

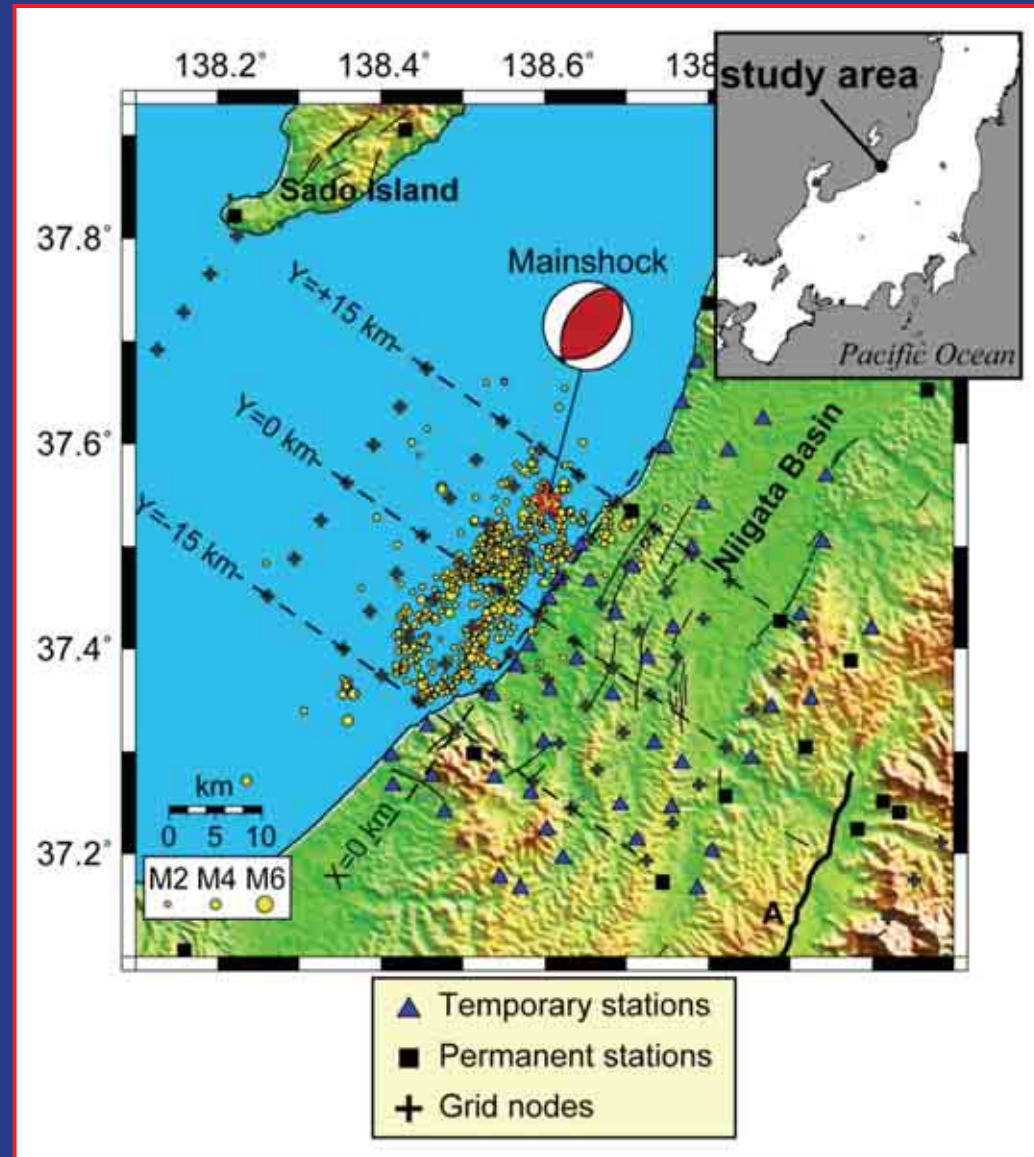


本震は堆積層の厚さと最大主応力軸の方向が急激に変化する場所に位置する

地震波速度構造と応力場の不均質及び上部地殻の粘弾性的変形が
震源域への応力集中メカニズムを解明する重要な鍵である

2007年新潟県中越沖地震の稠密余震観測

本震は余震域の北東端



2007年新潟県中越沖地震

[トモグラフィー]

格子点配置

Xgrid (E35S+) : 5km int.

Ygrid (N35E+) : 5km int.

Zgrid (D +) : 3km int.

•解析に使用した地震数: 881

•波線の本数

P: 39,594

S: 36,548

•二重走時差 (カタログ)

P: 235,778

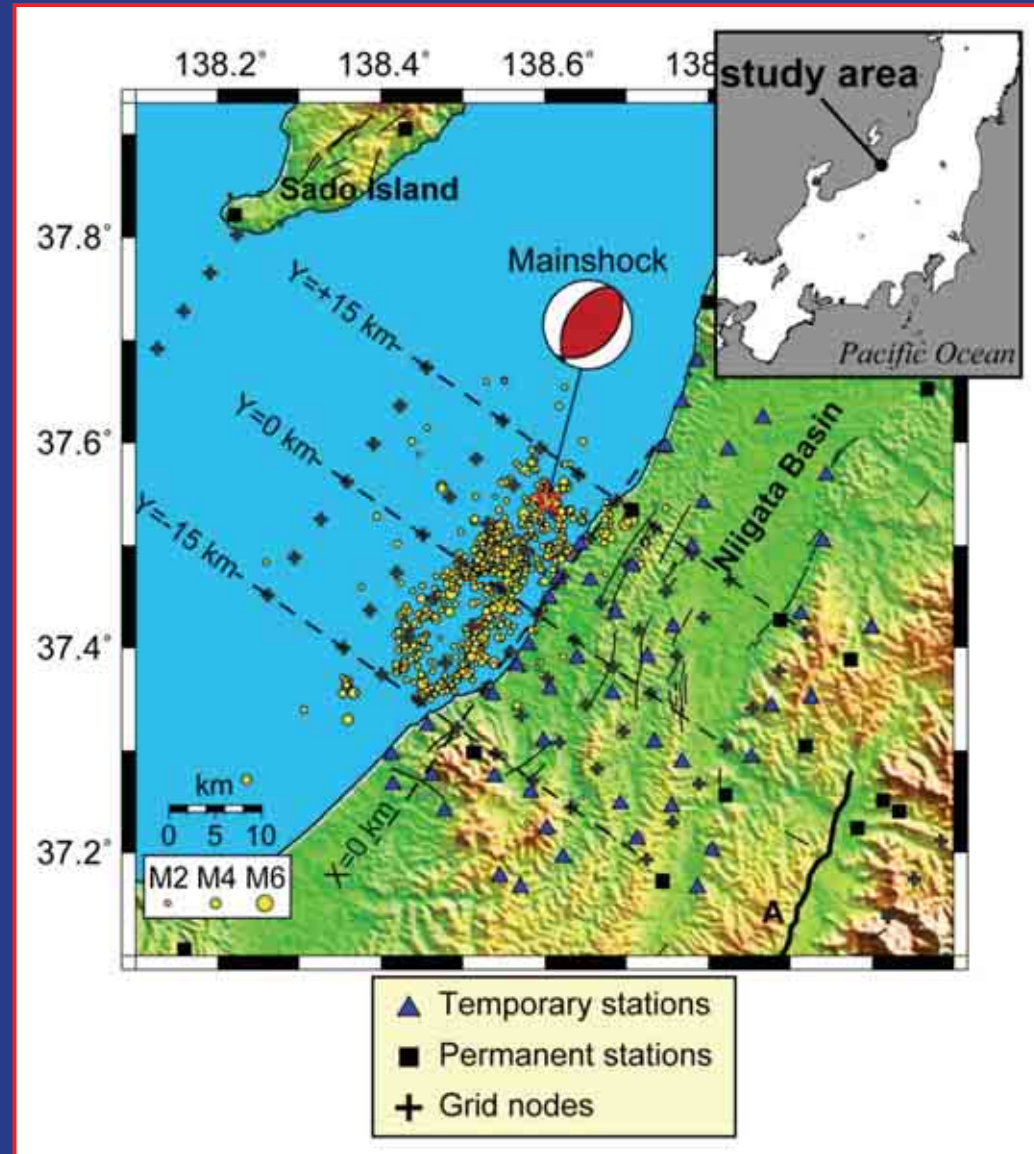
S: 209,020

•二重走時差

(波形相関 > 0.85)

P: 40,062

S: 57,975



P波速度構造

北東部 (Y=+5, +10km)

- 東傾斜と西傾斜の共役な面上に余震分布
- 余震域より深部の高速度層は上に凸

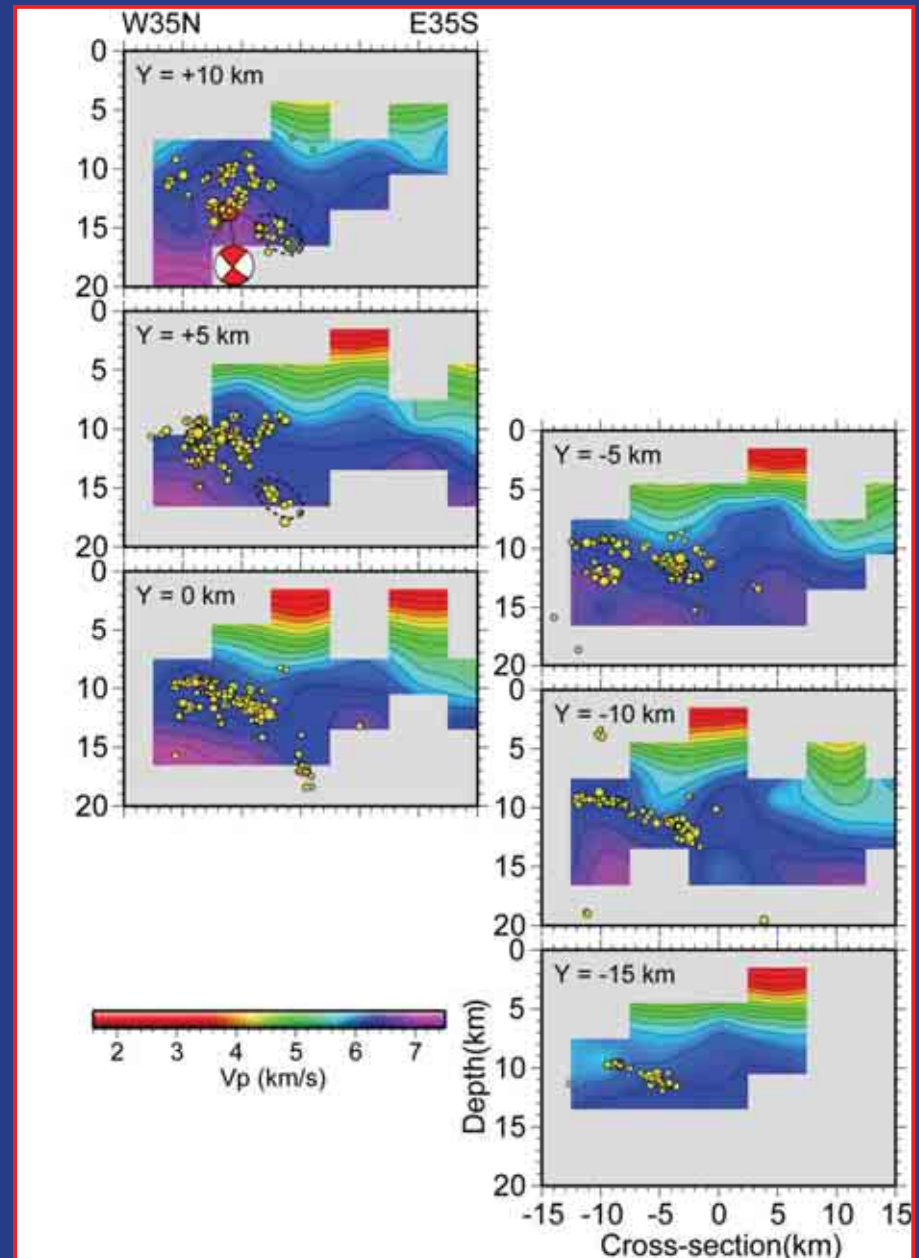
中央部から南西部

- 多くの余震は東傾斜
- 余震域より深部の高速度層は下に凸

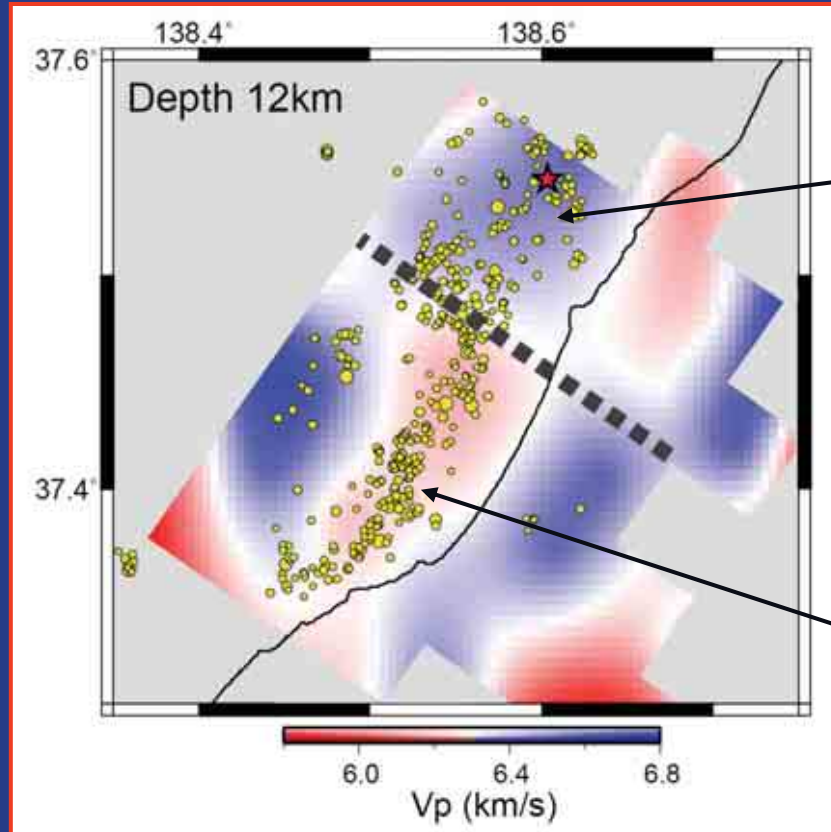
高速度と低速度の境界に余震が分布

$V_p > 6.0 \text{ km/s}$ に余震が分布

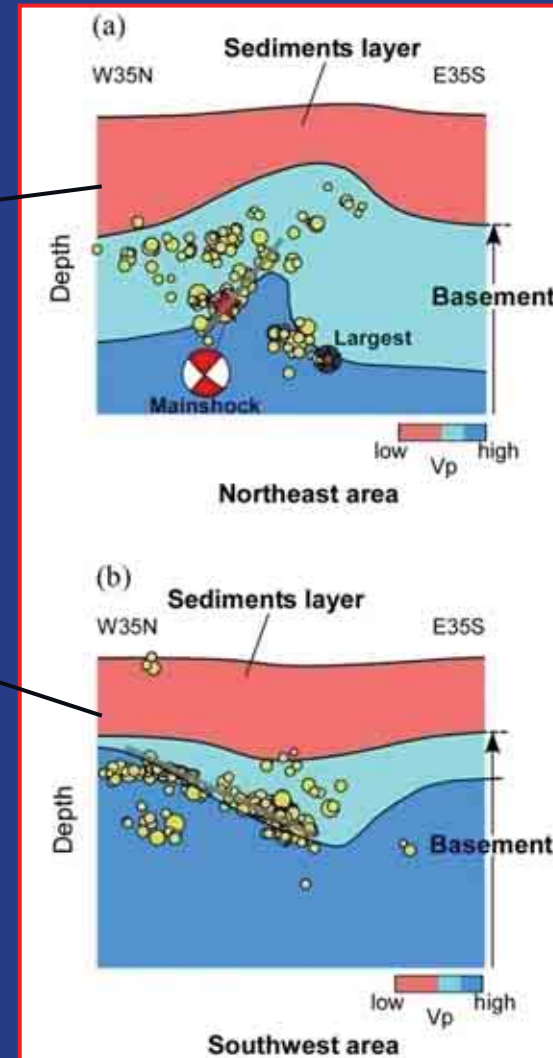
2004年新潟県中越地震と異なる



速度境界域



水平方向の速度構造変化と余震分布



仮 説

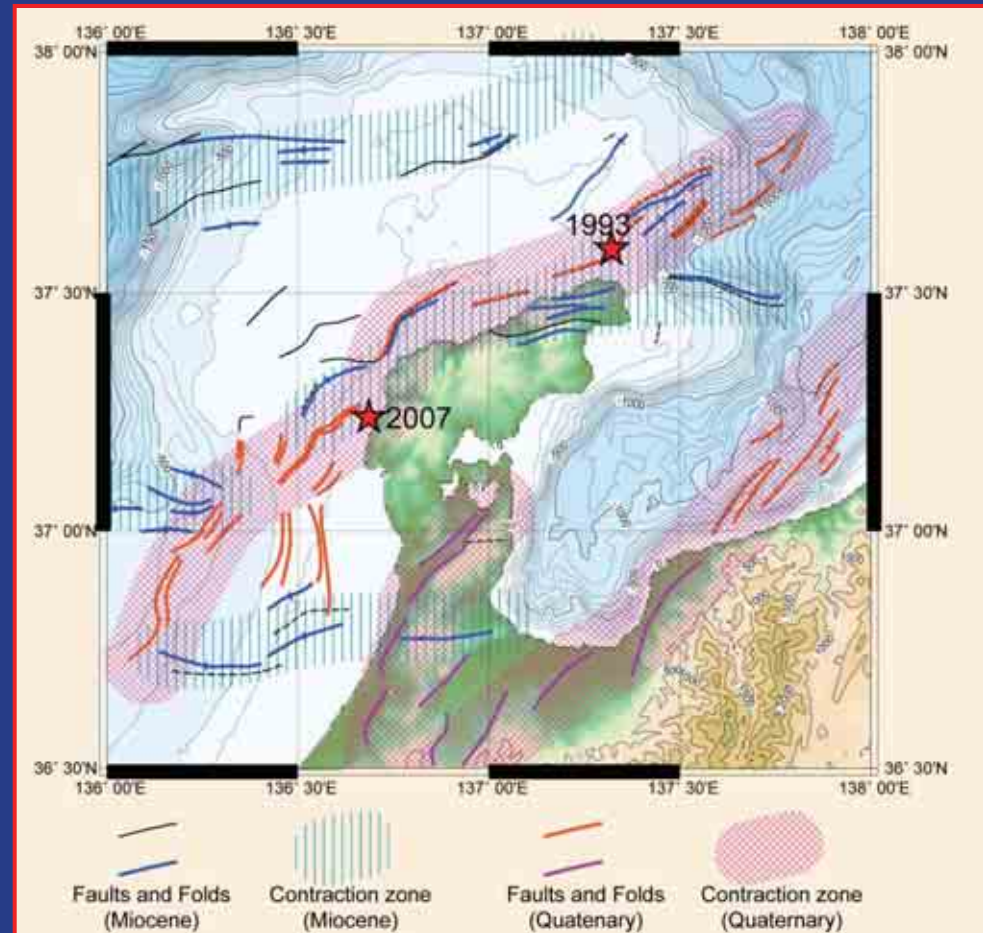
破壊開始点は北東部の西傾斜する断層面の最深部
破壊は南西に進行して東傾斜の断層面に乗り移った

2007年能登半島地震

震源域は地質学的には短縮変形
短縮レートは中越地域より小
新潟-神戸歪み集中帯には
含まれていない

- 圧縮軸が時間的に変化した
後期中新世 (~ 10Ma) :
N-S方向短縮

- 後期鮮新世 (~ 3Ma) :
WNW-ESE方向短縮



Okamura (2007)

2007年能登半島地震の稠密余震観測

[トモグラフィー]

•格子点配置

Xgrid (E55S+) : 3km int.

Ygrid (N55E+) : 3km int.

Zgrid (D+) : 3km int.

解析に使用した地震数 : 971

•波線の本数

P: 44,278

S: 36,758

•二重走時差 (カタログ)

P: 232,063

S: 172,401

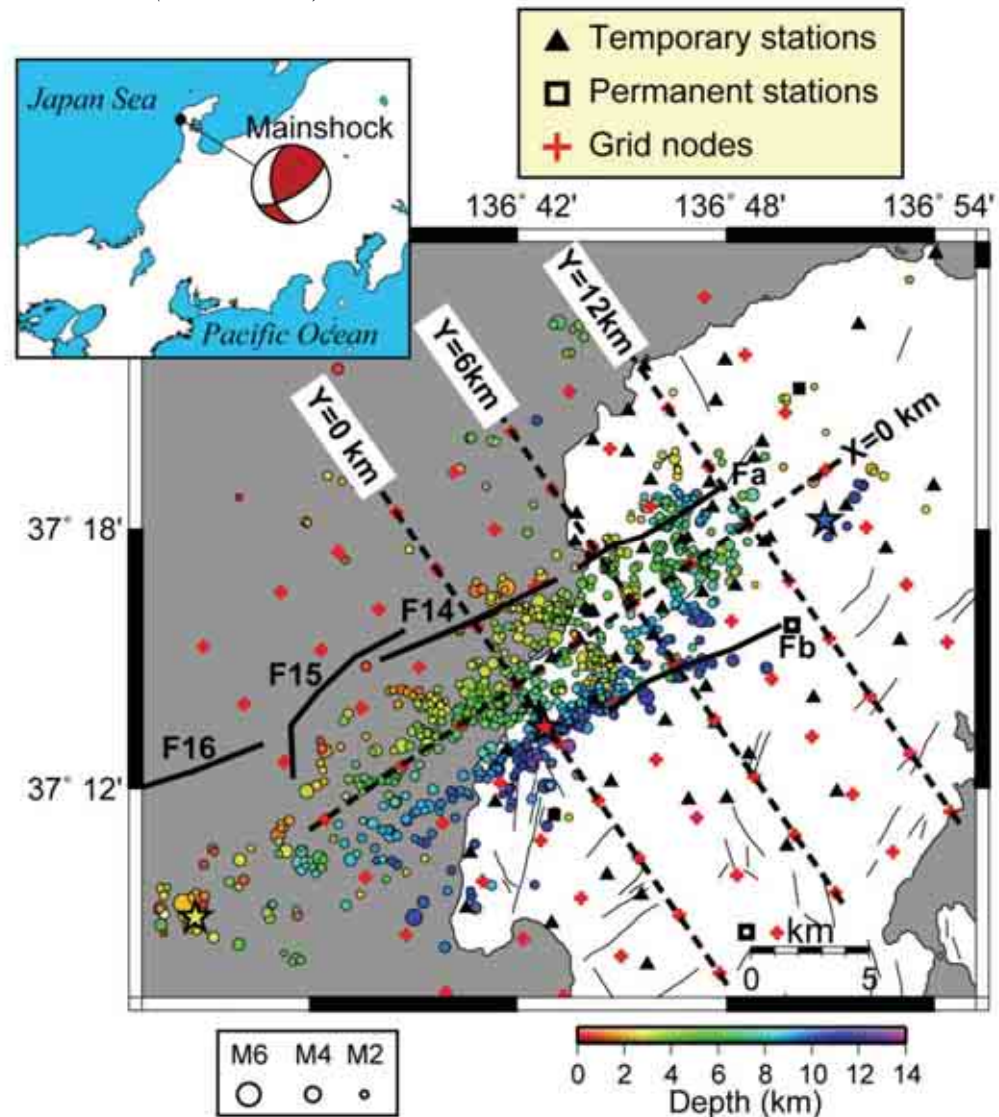
•二重走時差

(波形相関 > 85%)

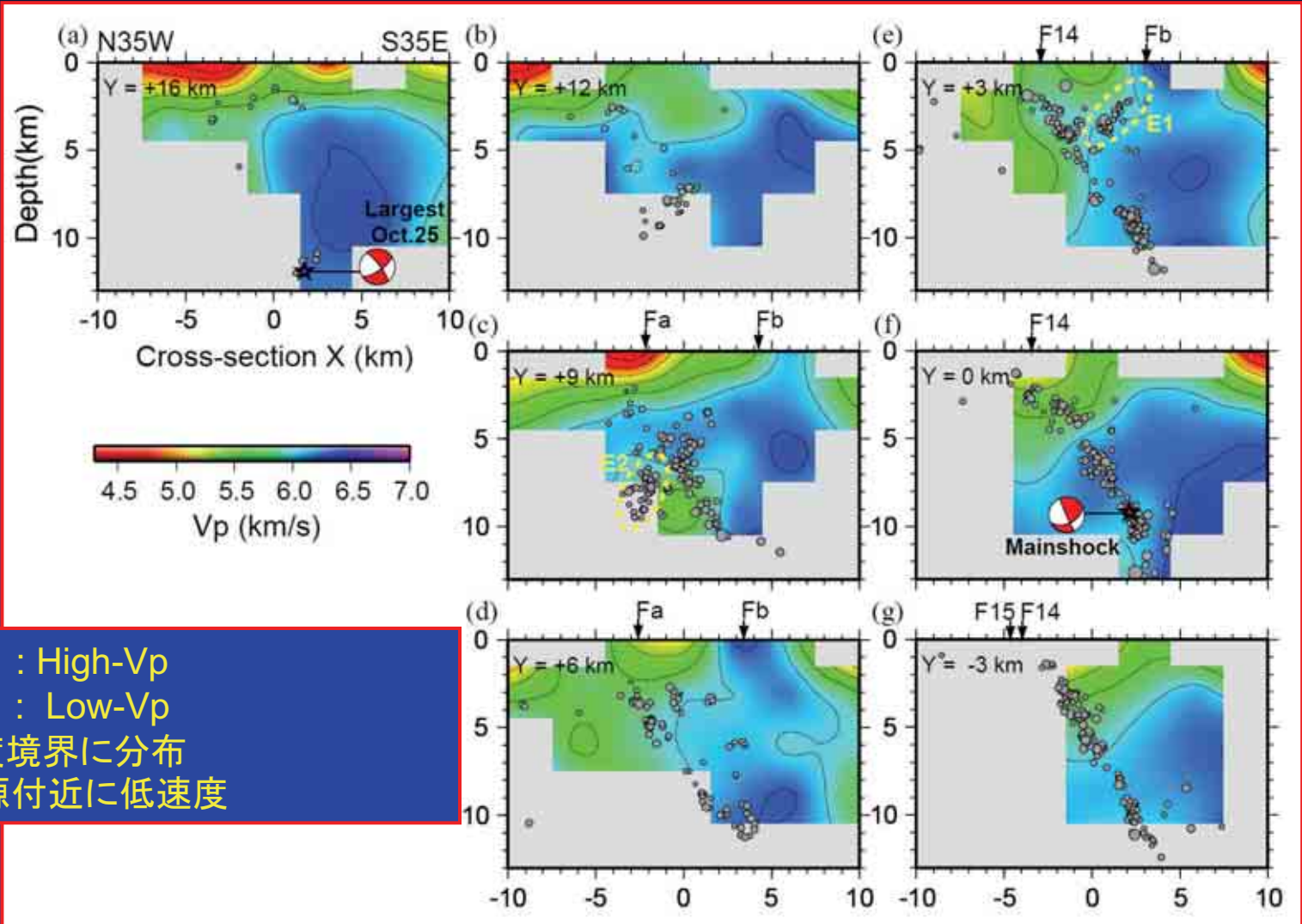
P: 22,897

S: 25,122

Kato et al (2007, EPS)



P波速度構造と再決定後の余震分布



- 上盤側 : High-Vp
- 下盤側 : Low-Vp
- 余震は速度境界に分布
- 本震の震源付近に低速度

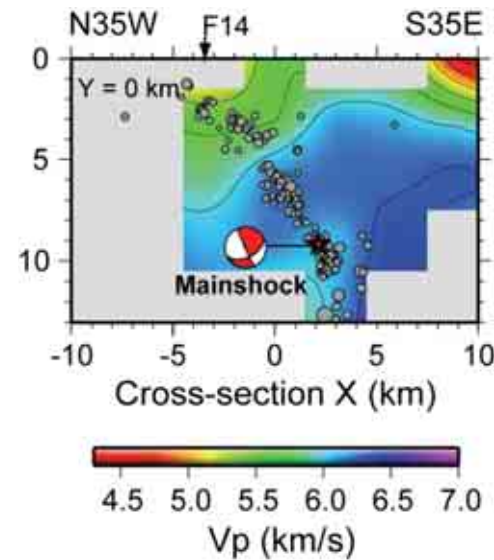
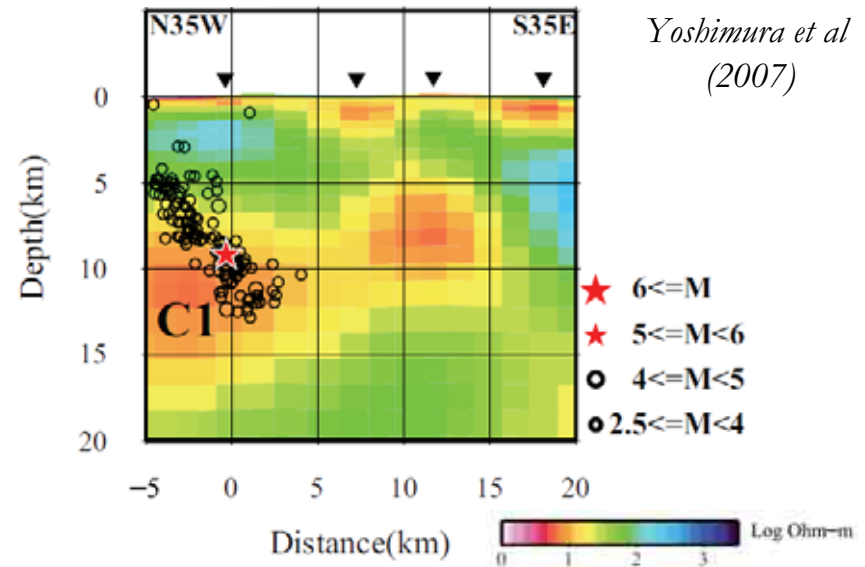
地殻内流体が本震の震源付近に存在する証拠

低比抵抗体が震源付近にあり
(MT 探査)

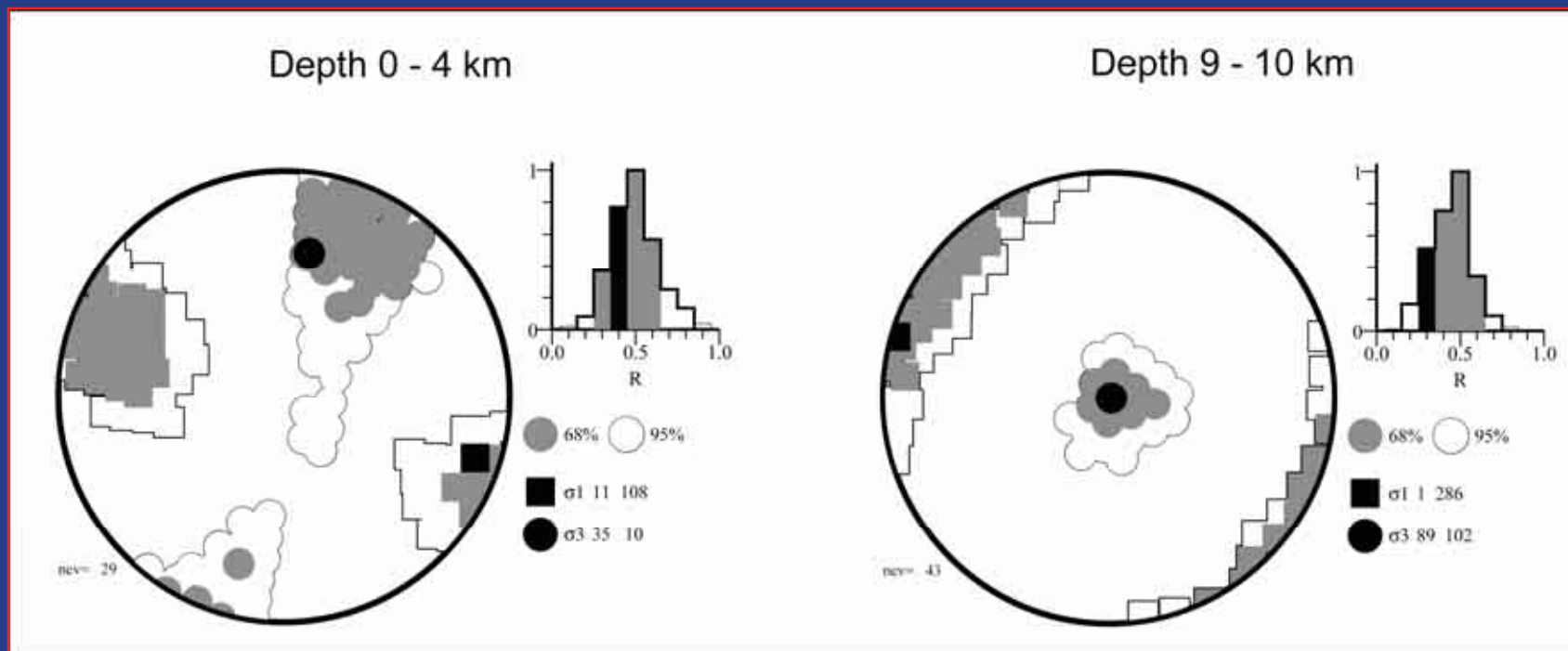


地震波速度の低速度体

Resistivity model)



応力場の不均質



浅部 (深さ0 - 4 km)

- 最大主応力軸 σ_1 : WNW - ENE
広域応力場と調和的
- 横ずれ断層型

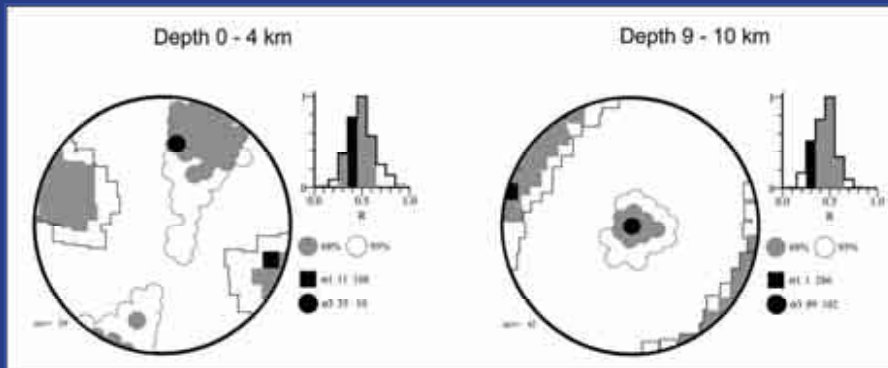
深部 (深さ9 - 10 km)

- 最大主応力軸 σ_1 : NW - NE
- 逆断層型

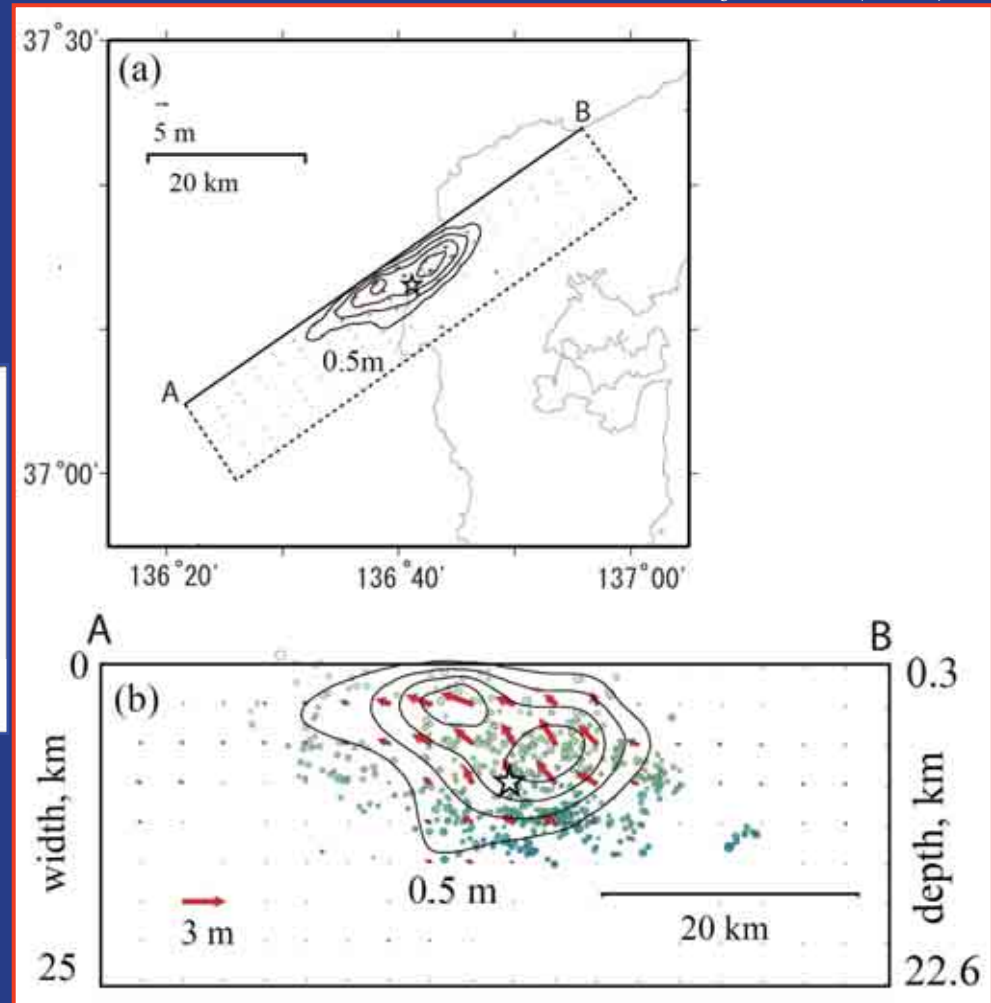
深さ方向の応力場の変化が本震の滑り方向を規定

Ozawa et al (2007)

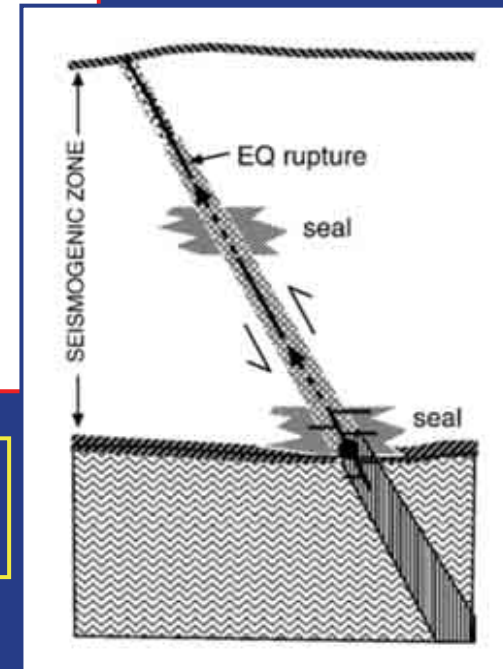
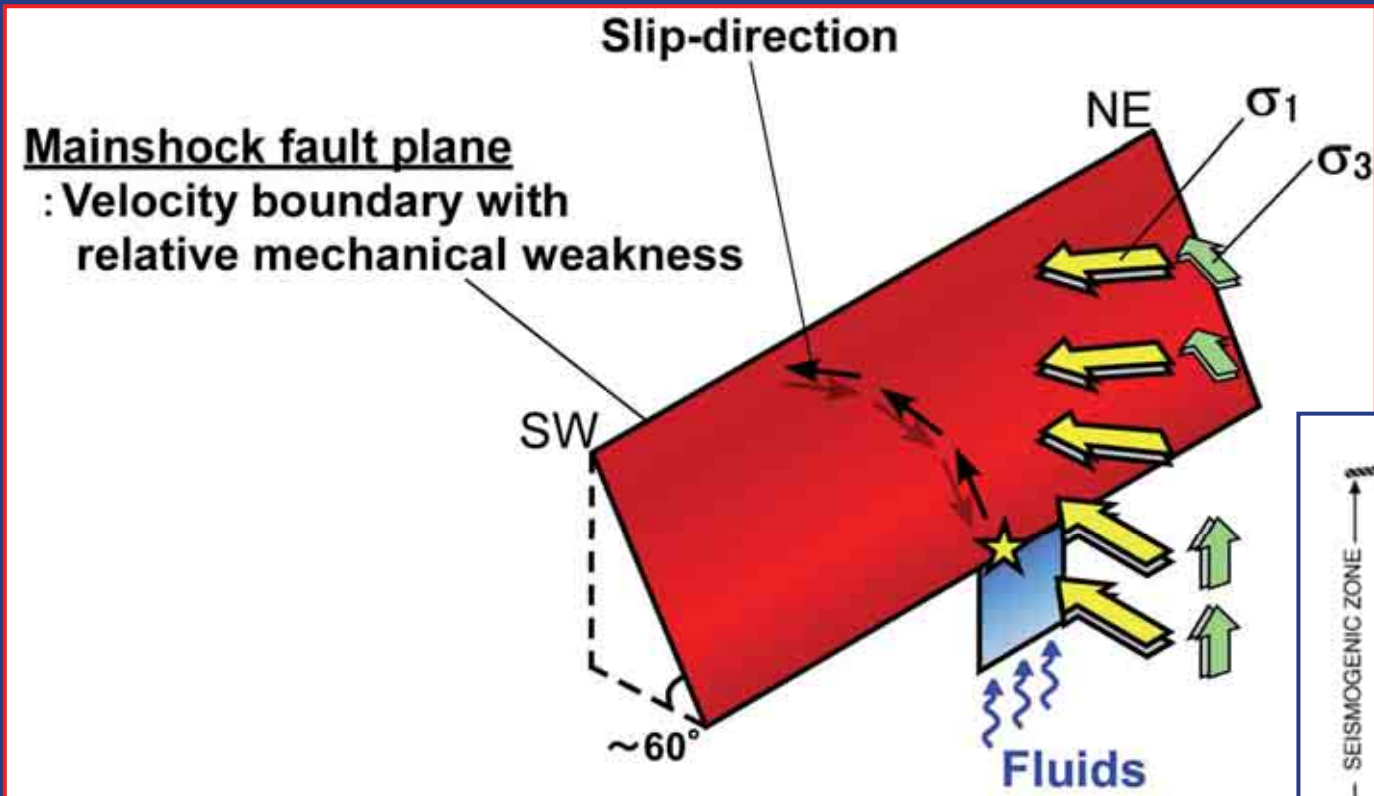
本震の滑り方向
 ・深部は縦ずれ
 ・浅部は横ずれ



滑り方向の変化は応力場の変化と調和的



本震の破壊は2つの異なる応力場を通過した



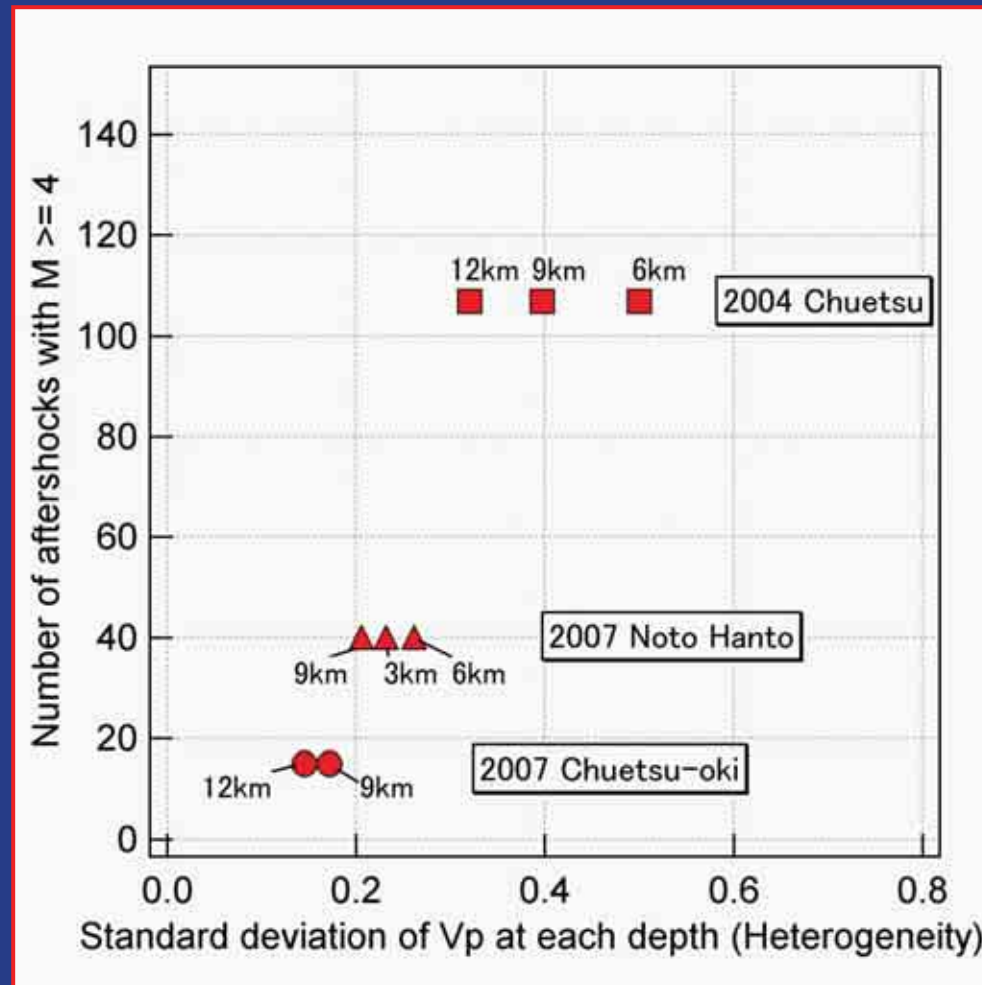
Fault-valve model
(Sibson, 2002; Sibson, 2007)

震源の下に流体

→ 高角の縦ずれ断層が破壊

→ 浅部では応力場の方向に破壊が進展

余震数と地殻内不均質構造との関係



V_p の変化が大きい場所では余震数が多い 正の相関あり

仮説: 地殻構造が不均質なほど余震が多い

ま と め

最近日本海沿いに発生した内陸地震と地殻内不均質

地殻変動によって作り出された複雑な構造が本震や余震活動を引き起こす

- 余震は速度境界に沿って発生 → 既存の断層の再活動
- 地震波速度構造や応力場が空間的に大きく変化している → 応力集中の原因
 - 震源付近に低速度・低比抵抗体 → 地殻内流体
 - 広域応力場に合わない高角な断層 → 正断層の再活動

地殻内不均質構造は内陸地震の発生に大きく関わっている
さらに詳細な観測研究を行うことにより内陸地震の発生メカニズムの理解が
深まるであろう

謝辞

以下の方々及び関係機関に感謝致します。

H. Zhang氏のトモグラフィー解析プログラム TomoDDを使用した。

G. Abers氏の応力テンソルインバージョン解析プログラム MOTSI を使用した。

防災科学技術研究所, 気象庁, 京都大学, 東北大学, 九州大学の定常観測点の波形データを使用した。

図の作成にはGMT (Wessel and Smith, 1995)を使用した。

2007年新潟県中越沖地震余震観測グループ

- 1) 東京大学地震研究所
- 2) 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター
- 3) 弘前大学工学部附属地震火山観測所
- 4) 東北大学大学院理学研究科附属地震・火山予知研究観測センター
- 5) 名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山・防災研究センター
- 6) 京都大学防災研究所
- 7) 九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター
- 8) 鹿児島大学理学部附属南西島孤地震火山観測所

2007年能登半島地震余震観測グループ

- 1) 東京大学地震研究所
- 2) 北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター
- 3) 弘前大学工学部附属地震火山観測所
- 4) 東北大学大学院理学研究科附属地震・火山予知研究観測センター
- 5) 千葉大学理学部
- 6) 金沢大学大学院自然科学研究科
- 7) 名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山・防災研究センター
- 8) 京都大学防災研究所
- 9) 九州大学大学院理学研究院附属地震火山観測研究センター
- 10) 鹿児島大学理学部
- 11) 産業技術総合研究所
- 12) 防災科学技術研究所