

1.(1)「日本列島及び周辺域の長期広域地殻活動」研究計画

地震の発生を定量的に予測するためには、まず、長期にわたる地殻活動によってもたらされる広域応力が、特定の断層域に集中していく地震発生準備過程を理解し、それに引き続く直前過程における地震断層域での応力の再配分機構を解明しなければならない(第2次新計画(建議)平成15年7月より)。したがって、日本列島を含むプレートの運動やそれによってもたらされる広域の応力場に関する知見を集積することが、地震発生予測の研究にとって重要である。本研究計画においては、このために、二つの研究項目を実施している。第一の研究項目「ア.日本列島及び周辺域のプレート運動」は、日本列島を含む周辺域のプレートの形状と運動を精密に決定することである。プレート運動の精密な決定によって日本列島にかかる応力の境界条件が把握できると考えられる。特に、ユーラシアプレートとは独立な動きをしていると考えられているアムールプレート等の大陸側のプレートの境界の形状と変位速度場を精密に推定することが本研究の主たる目的である。第二の研究項目「イ.列島規模のプレート内の構造と変形」は、日本列島の構造やその不均質を明らかにし、プレート境界での境界条件が日本列島の応力やその変化にどのように反映されていくのかを知ることであり、このような観点から多面的な研究を実施している。

ア.日本列島及び周辺域のプレート運動

本研究項目では、宇宙技術(GPS、SLR(人工衛星レーザー測距)及びVLBI)を用いたプレート運動の実測を行っている。プレート運動の実測とその解釈は数年以上に及ぶ長期の研究が必要である。

日本海東縁部の北部延長にあるサハリン南部、ネベルスクで、8月2日にモーメント・マグニチュード(Mw)6.2の地震が発生した。陸域観測技術衛星(ALOS)のデータを用いたSAR干渉解析により、地震波によって見積もられたマグニチュードから推定される断層滑りよりも大きな変動が起こっていることが分かった(北海道大学[課題番号:1001])。一方、モンゴルを中心としたアムールプレートを含む東アジアの変位速度場の観測研究では、モンゴル国内の既設の4連続観測点のほかに18の臨時観測点を設け平成9年以来4回の部分的な繰り返し観測を行ってきた。今回、平成19年6月~7月に行われたデータを解析することにより、アムールプレートの速度場をより高精度に推定することができた(東京大学地震研究所[課題番号:1401])。

国内の4箇所のVLBI観測局(新十津川、つくば、父島、始良)での観測を継続するとともに(国土地理院[課題番号:6001])、太平洋のプレート運動を精密に推定するために設置した南太平洋地域のGPS観測点での観測を継続している(国土地理院[課題番号:6031])。四国から紀伊半島にかけての地域にGPS連続観測点を5点新設した(国土地理院[課題番号:6004])。また、和歌山県下里水路観測所では昭和57年からSLR観

コメント[m1]: 1.

削除: 干渉

コメント[m2]: 2.

コメント[m3]: 3.

削除: 02

削除: 2

測を実施している（海上保安庁[課題番号:8001]）。

イ．列島規模のプレート内の構造と変形

プレート運動によってもたらされる外部応力が日本列島の内部にどのように伝達し、断層周辺の応力集中をもたらすのかを解明することは地震予知研究の上でも第一級の重要性を持っている。このためには日本列島の全体的な構造の不均質性や深部構造を詳細に知ると同時に、広域の応力の集中過程や歪の蓄積過程をモニターし、構造と変動の情報から応力の集中過程に関するモデルを構築することが重要である。

日本列島に展開している Hi-net、F-net 等のデータを用いて、高い空間分解能での三次元地震波速度構造、減衰構造を解明すると共に、三次元不均質構造を用いた高精度震源決定、震源分布と地下構造との関係解明を目的とした研究が行われた。

西南日本において、近地地震の観測波形から三次元的散乱構造を推定したところ、浅部地殻では火山フロント沿いと四国東部から兵庫県南東部にかけての地域に強散乱領域が広がっていることが明らかになった。いずれの領域でも、活発な浅発地震活動域とよく対応している（図6）（防災科学技術研究所[課題番号:3001]）。

日本全国を対象としたトモグラフィ解析によって得られた三次元地震波速度構造から、深さ 5km の低速度領域と活断層の地表トレースの分布を比較すると、互いに相補的な関係が見られた。さらに活断層直下の速度異常を深さごとに抽出し、日本全国のデータと比較すると、断層下の浅部地殻では高速度側に偏り、下部地殻では低速度側に偏ることが分かった。このことは、断層下の下部地殻は周囲よりも変形しやすい領域であることを示唆している。つまり、下部地殻において生じた変形が、浅い領域における歪を蓄積させることになり、活断層が形成され易くなると考えられる（図7）（防災科学技術研究所[課題番号:3001]）。

余震観測データなどに基づく断層周辺の応力変化から、広域応力場と断層周辺の応力場の関係についての研究を実施しているほか、比抵抗構造調査などを通じて下部地殻の物性と変形機構の解明を進めている。中国地方における最大圧縮応力の方向は、およそ $N100^{\circ}E$ とほぼ東西であるのに対して、山陰地方の地震帯では、 $N120^{\circ}E$ と約 20° 回転していることが、応力逆解析により推定されていた。鳥取県西部合同余震観測データを用いた S 波偏向異方性の解析により、大部分の観測点において、速い S 波の方向が、地震帯における最大圧縮応力の方向と調和的な $N120^{\circ}E$ 方向に卓越していることが分かった。さらに、余震域南部ではその方向が東西方向に近い傾向も見られた。これにより、地震帯における応力場の回転は見かけ上のものではないことが明らかになった（図8）（京都大学防災研究所[課題番号:1801]、Iio et al., 2007）。

地震帯における応力場の回転の原因を探るため、有限要素法によるシミュレーションを行った。内陸地震の断層付近の不均質構造としては、図9に示すように(1)地震帯の上部地殻の幅 5km の低速度の断層帯(UCFZ)、(2)地震帯直下の下部地殻の幅 5km の低粘

性の断層帯(LCFZ)、(3) 地震帯直下の下部地殻の延性的な断層(LCF)の三通りを仮定した。その結果、上部地殻に不均質をおくモデル(1)では、地震帯の応力比Rが周辺に比べて小さくなるが、観測値と逆の傾向となってしまう。一方、下部地殻に不均質をおくモデル(2)と(3)では、応力比Rの空間変化を定量的によく説明し、鳥取県西部地震の余震域における最大圧縮応力軸の方位の空間変化をよく再現することが分かった。これらの結果は、内陸地震の断層への応力蓄積過程において、下部地殻の不均質構造が重要な役割を果たしていることを示している(京都大学防災研究所[課題番号:1801]、Iio et al., 2007)。

気象庁一元化処理のデータを用いて、平成14年から平成19年に発生した地震約6,500個の発震機構解を再決定し、中部地方で発生した深さ25 km以浅の地震のP軸の方位分布を、Nakajima and Hasegawa (2007) による深さ25 kmにおけるP波速度偏差分布と比較した(図10)。中部地方での発震機構解は横ずれ型(緑色)が卓越するが、愛知県などでは逆断層型(青色)が卓越するなどの地域性が見られた。P波速度偏差分布では、低速度領域が歪集中帯と対応するように広範に分布することが指摘されているが、白山から東に糸魚川-静岡構造線までの領域では東南東-西北西方向が卓越し、白山から神戸にかけてはほぼ東西方向、伊勢湾付近では東北東-西南西方向が卓越するなどが分かった(弘前大学[課題番号:1101])。

1891年(明治24年)濃尾地震(M8.0)震源域周辺の水準データを解析して、地震後の1901年から1928年までの上下変動パターンが、粘性緩和による変動パターンと類似しており、水準測量により余効変動が検知されていることが明らかとなった。弾性-粘弾性の二層構造モデルを仮定し、弾性層の厚さHと粘弾性層(マックスウェル流体を仮定)の粘性係数を推定したところ、 $H=33\text{km}$ 、 $\eta=1.0 \times 10^{18}\text{Pa}\cdot\text{s}$ という結果が得られた。得られた弾性層の厚さは、ほぼ中部地方の地殻の厚さに相当するので、地殻はほぼ弾性であり、モホ面より下の上部マントルが粘弾性体として振る舞っていると考えられる(名古屋大学[課題番号:1701])。

沈み込む海洋プレート(スラブ)内では、1993年釧路沖地震、1994年北海道東方沖地震、2001年(平成13年)芸予地震(M6.7)など大地震がしばしば発生し、プレート境界地震とプレート内地震との相互作用が指摘されていることから、プレート内地震の発生機構の理解は重要である。プレート内の含水鉱物の脱水反応により生じた水は、プレート内地震の発生原因(脱水不安定)と考えられ、また、マントルウェッジ内の二次対流として陸域下に達し内陸地震の発生機構と関係する可能性もある。以上のような観点から、詳細なプレート内地震の震源分布・プレート内の不均質構造をもとめ、プレート内地震の発生機構の理解を深める研究を行った。

プレート内地震の原因となる相転位がおこる深さは温度に依存するため、地震波速度とプレート内地震の発生域には相関があることが期待される。プレート内地震の発生機構および沈み込み帯の水循環の解明を目的とし、DD トモグラフィ法により太平洋プレ

ート内で発生している地震の震源域周辺の詳細な地震波速度構造の推定を行った(辻, 2007)。その結果、(1) 海洋性地殻に対応する低速度層が太平洋プレート最上部に存在すること、(2) 二重深発地震面上面の地震はその低速度層内で発生していること、(3) この低速度層の深さの下限は、領域ごとに異なる(北海道から東北地方南部では70~100km、関東では100~130km)ものの、東北地方南部を除きその深さは太平洋プレートの地殻内に見出されている上面地震帯(Kita et al., 2007、Hasegawa et al., 2007)の位置とほぼ一致すること、(4) この低速度層の深部終端付近からその深部にかけては、沈み込むプレート直上のマンテルウェッジに低速度領域が存在すること、などが明らかとなった(図3)。このうち、(2)、(3)はプレート内地震が海洋性地殻の脱水反応により発生しているという「脱水脆性化説」を支持する結果である。また(4)は、海洋性地殻の脱水反応により生じた水が直上のマンテルウェッジに上昇し、プレート上部境界面直上のカンラン岩を含水化させる様子を映し出していると推測される。ここで得られた結果は、プレート内地震の発生機構および沈み込む海洋性地殻から脱水した水の輸送過程を理解する上で重要な成果である。(東北大学[課題番号:1209])

課題と展望

アムールプレートについては、その速度場をより高精度に推定することができた。今後、南側境界の位置や、局所変形を明らかにするための研究を進めていく必要がある。オホーツクプレートについては、目標であるカムチャッカ北部のプレート境界の位置を決定するために、高精度のデータを長期間安定して取得することが必要である。

列島規模のプレート内の構造と変形については、列島全体を俯瞰した構造及び変動の不均質を明らかにすることが必要である。山陰地方の地震帯においては、下部地殻における局所的な非弾性変形による応力集中モデルにより、様々な観測結果が統一的に説明された。日本列島全体における三次元速度構造の研究も、下部地殻における局所的な非弾性変形による応力集中モデルと調和的な結果を得ている。今後は、局所的な非弾性変形による応力集中モデルをさらに定量化することが重要である。中部地方では、上部マンテルの粘弾性構造や応力場の不均質構造が推定された。今後は、日本列島及び周辺域のプレート運動の研究とあわせて、新潟 - 神戸歪集中帯から日本海東縁のテクトニクスを明らかにすることが重要な課題である。

昨年度開始した、沈み込むプレート内地震の発生機構に関する研究においては、プレート内地震が海洋性地殻の脱水反応により発生しているという「脱水脆性化説」を支持する結果が得られた。今後のさらなる研究の進展に期待したい。

参考文献

Hasegawa, A., J. Nakajima, S. Kita, T. Okada, T. Matsuzawa, and S. Kirby, Anomalous

deepening of a belt of intraslab earthquakes in the Pacific slab crust under Kanto, central Japan: Possible anomalous thermal shielding, dehydration reactions, and seismicity caused by shallower cold slab material, *Geophys. Res. Lett.*, 34, doi:10.1029/2007GL029616, 2007.

Iio, Y., R. Kawanishi, Y. Yukutake, T. Shibutani, H. Katao, Local stress concentration on the seismic belt along the Japan Sea coast inferred from numerous precise focal mechanisms -Implications for the brittle-ductile interaction model-, AGU fall meeting, S34C-06, 2007.

Kita, S., T. Okada, J. Nakajima, T. Matsuzawa, N. Uchida, A. Hasegawa, Precise hypocenter distribution and earthquake generating and stress in and around the upper-plane seismic belt in the subducting Pacific slab beneath NE Japan, *Eos Trans. AGU*, 88(52), Fall Meet. Suppl., Abstract D151A-0290, 2007.

辻優介, 太平洋プレート内に発生する稍深発地震震源域周辺の地震波速度不均質構造の研究, 東北大学修士論文, 115pp., 2007.

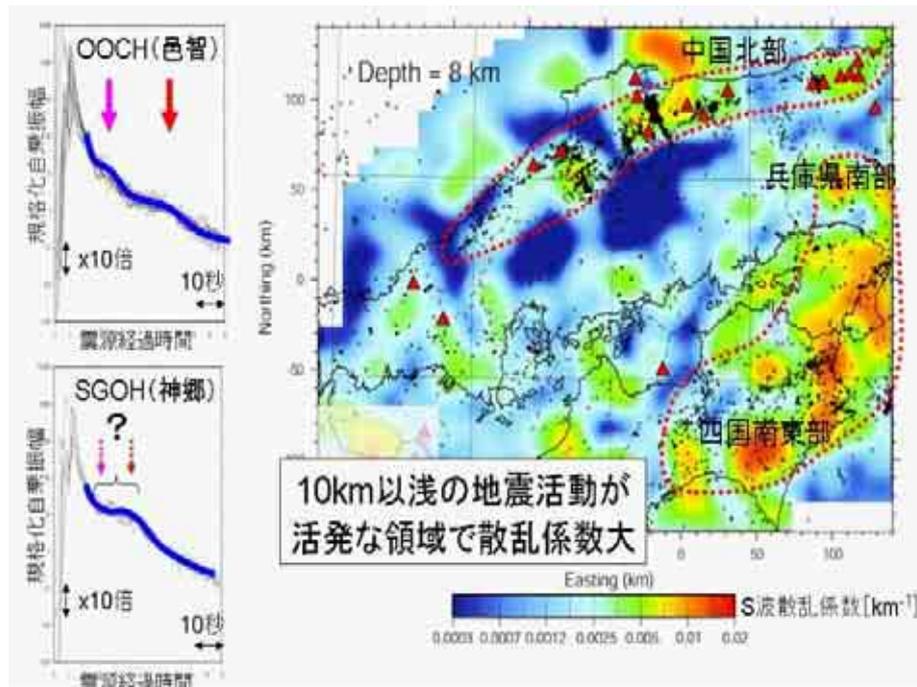


図 6 : 左) 2 観測点における近地地震の自乗振幅波形。矢印で示した部分が強散乱体からの散乱波を反映している。(右) 深さ 8km における散乱係数空間分布。暖色系で散乱係数が大きく、寒色系では小さい。散乱係数の大きな領域は、中国地方北部の火山フロント沿いと四国東部から兵庫県南東部にかけて広がっており、10km 以浅の地震活動の活発な領域と調和的である (防災科学技術研究所[課題番号 : 3001])

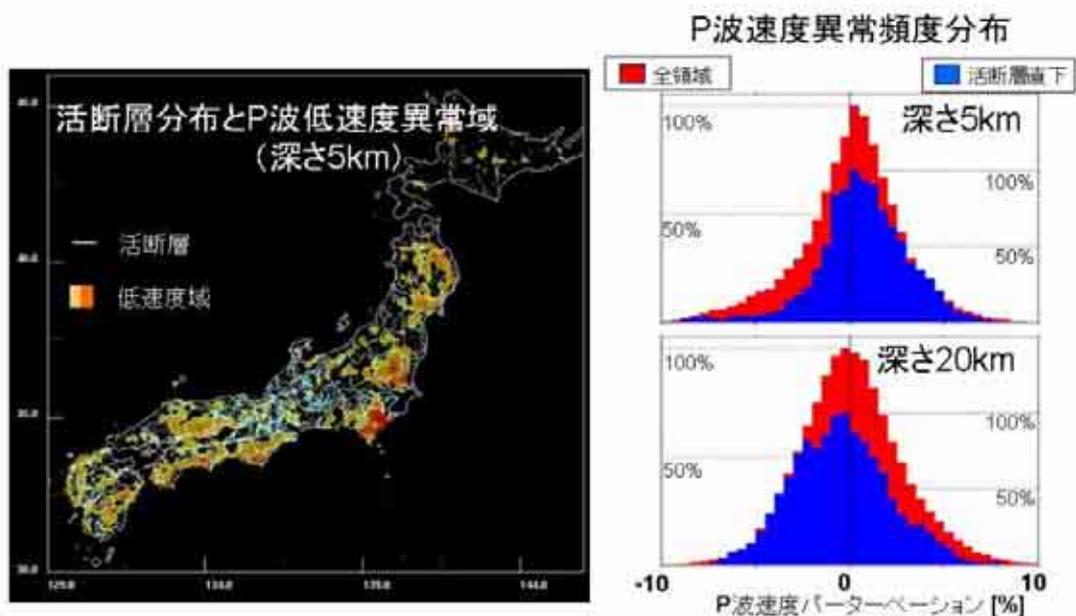


図 7 : 左) 日本全国標準的三次元地震波速度構造における、深さ 5km の低速度領域と活断層分布の比較。暖色系の塗りつぶし領域が低速度異常域で、青線が活断層を表す。(右) 活断層直下の深さ 5km 及び 20km における速度偏差と、当該深度の日本全国のデータとを比較した度数頻度分布。赤が全領域で、青が活断層直下を示す。活断層直下では浅部では高速度側に偏り、深部では低速度側に偏る (防災科学技術研究所[課題番号 : 3001])

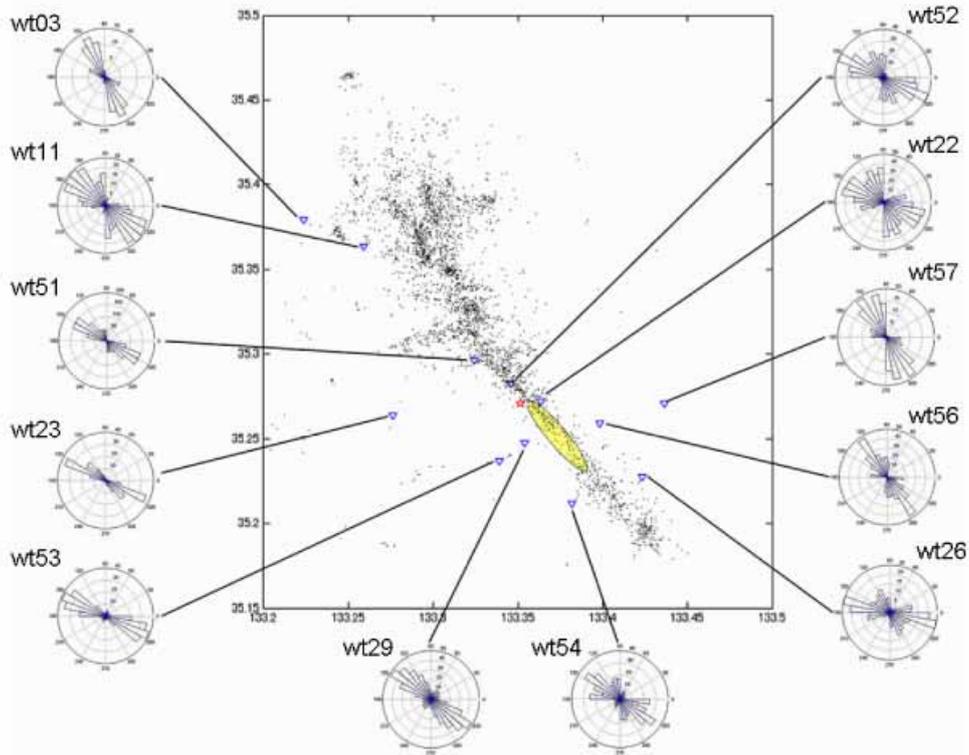


図 8 : 鳥取県西部地震の余震域における S 波の偏向異方性。赤星は本震の震源、黄色は岩田・関口(2002)により推定されたアスペリティを地表に投影したもの(京都大学防災研究所[課題番号:1801])。

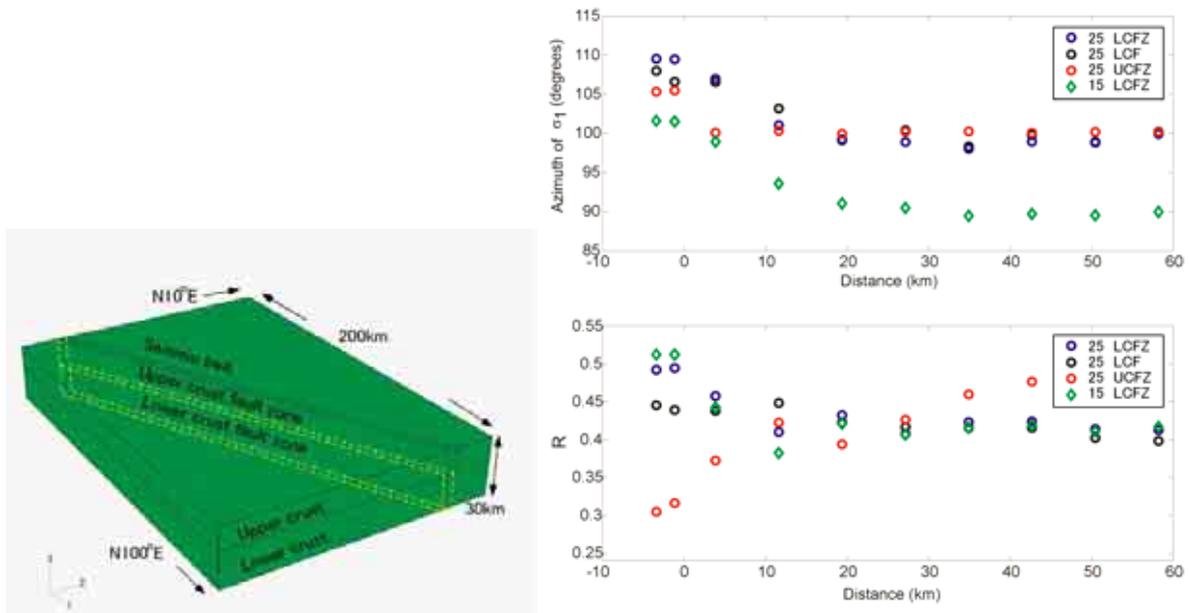


図 9 : (左) 山陰地方の断層帯のモデル。モデルの側面は水平面内主応力に直交するように取られている。この場合は、最大圧縮応力は N100°E の方向で地震帯とは 25° の角度を持つ。N90°E で地震帯との角度が 15° の場合も計算した。(右) モデルによる計算結果。上側は最大圧縮力の方位、下側は応力比 R と地震帯からの距離の関係を示す。25 : 広域の最大圧縮応力軸と地震帯との角度が 25° のモデル。15 : その角度が 15° のモデル(京都大学防災研究所[課題番号:1801])。

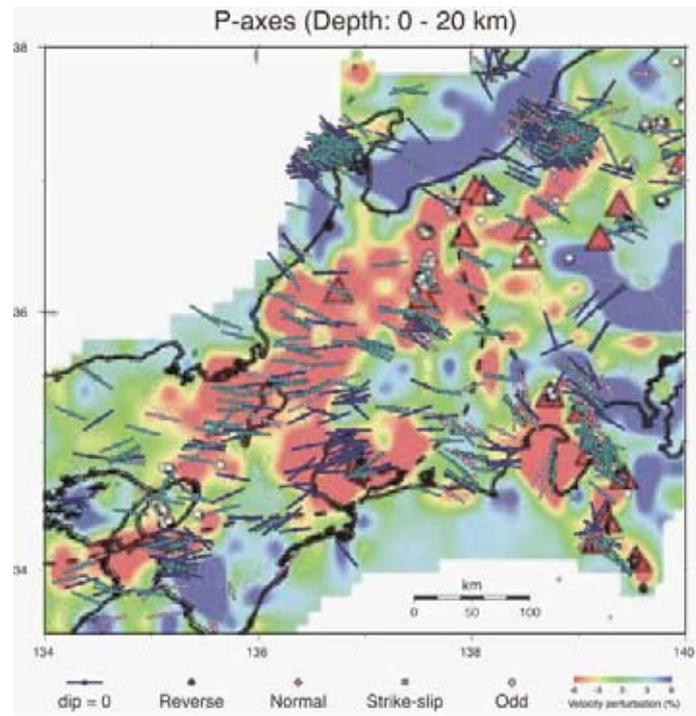


図 10 : 中部地方の P 波速度偏差分布 [Nakaj i ma and Hasegawa (2007)] と発震機構解の P 軸の方位分布。
 P 軸の色は断層運動のタイプを表す (弘前大学 [課題番号 : 1101]) 。