

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2009

課題番号：19204043

研究課題名（和文） 地震はなぜ起こるのか？－地殻流体の真の役割の解明－

研究課題名（英文） Why do earthquakes occur? -to clarify the true role of crustal fluids-

研究代表者

飯尾 能久 (IIO YOSHIHISA)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：50159547

研究成果の概要（和文）：

地震発生における水の真の役割を解明するために、長野県西部地域において3次元地震波速度・比抵抗構造と地震発生との関係を詳細に調べた。地震は、大規模な低速度・低比抵抗領域に囲まれた高速度領域の中の小規模な低速度異常域に沿って分布していることが分かった。低速度・低比抵抗領域では低い水圧の下で非弾性変形が進んで周囲に応力集中を及ぼし、小規模な低速度異常域では高い水圧の下で断層が高速すべりを起こして地震が発生していると考えられる。

研究成果の概要（英文）：

To clarify the true role of crustal fluids, we investigated the relationship between the hypocentral distribution and the three dimensional velocity and resistivity structures in the Western Nagano Prefecture region. We found that earthquakes occur along small-scale low velocity zones in high velocity regions surrounded by large-scale low velocity and low resistivity regions. It is thought that in the large-scale low velocity and low resistivity regions, anelastic deformation occurs under a relatively low pore pressure, but that in the large-scale low velocity and low resistivity regions, high speed slips are generated on faults and earthquakes occur under a high pore pressure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	27,600,000	8,280,000	35,880,000
2008年度	7,500,000	2,250,000	9,750,000
2009年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
総計	38,200,000	11,460,000	49,660,000

研究分野：地震学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：水・地震波速度・比抵抗・内陸地震・長野県西部・応力・非弾性変形・断層

1. 研究開始当初の背景

断層に働く間隙水圧の増加により、有効法線応力が減少して、断層がすべりやすくなるために地震が発生するという考えが一般的に信じられていた。しかしながら、この考え

が生まれるきっかけとなった地下深くへの水の注入実験結果を吟味すると、断層の摩擦強度が低下して高速すべりとなったのではなく、水の存在により断層の非地震性すべり（ゆっくりすべり）が促進され、その変形が隣

接する断層の応力を増加させ、そこで地震が発生した可能性も考えられた。

2. 研究の目的

地震発生における水の真の役割を解明することが本研究の目的である。断層に働く間隙水圧が増加して、そこで高速すべりが起こり地震が発生するのか。あるいは、水の存在により断層の非地震性すべり(ゆっくりすべり)が促進され、その周囲に応力集中が生じることにより地震が発生するのかどちらかを明らかにする。

3. 研究の方法

長野県西部地域における稠密地震観測データおよび電磁氣的観測データを用いて、高精度かつ高解像度の3次元地震波速度・比抵抗構造および応力場や応力降下量の空間分布を推定し、地震発生との関係を解明する。

4. 研究成果

(1) 大規模な低速度・低比抵抗異常の発見

地震波トモグラフィ解析により、1kmメッシュの分解能の3次元地震波速度構造を推定することが出来た。図1に1984年長野県西部地震の断層に平行な断面(32x16km)におけるP波速度偏差の空間分布を示す。

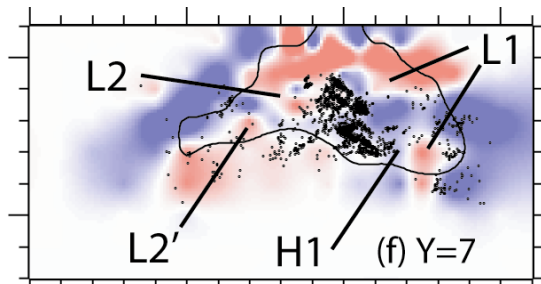


図1 P波速度偏差の分布(一目盛り2km)

赤が低速度、青が高速度の領域を示す。黒の点は微小地震の震源分布である。L1, L2で示される大規模な低速度域では地震は少なく、それらに挟まれた高速度域に地震が集中していることがよく分かる。この図ではL1, L2は上下に分離しているように見えるが、隣の断面と合わせると、低速度域は深部から浅部へつながっていることが分かった。これはP波速度構造であるが、S波速度構造でも調和的な結果が得られている。

この断面近くの比抵抗構造を図2に示す。赤が低比抵抗、青が高比抵抗を示す。図1のL1, L2に対応する低比抵抗領域が顕著である。また、低比抵抗領域は、浅部から深部まで伸びていることがよく分かる。地震分布は顕著な低比抵抗領域を避け、主に高比抵抗領域に分布していることが分かる。

これらは典型的な例であるが、他の断面においても傾向は同様であり、長野県西部地域

では、地震の分布は低比抵抗領域を避け、主に高比抵抗領域に分布することが一般的に見られる。

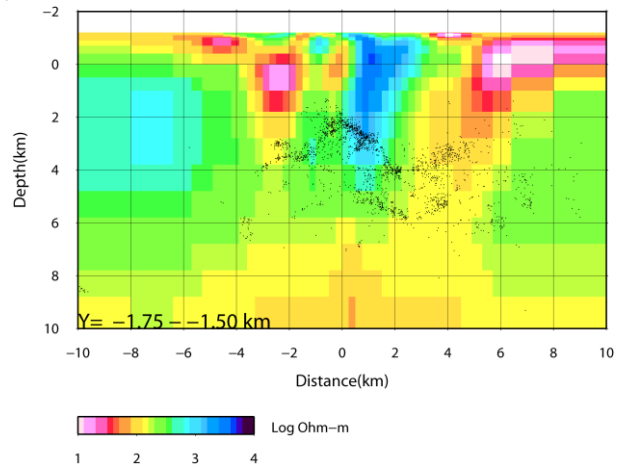


図2 比抵抗構造

大規模な低速度領域は低比抵抗であること、およびP波だけでなくS波でも見えていることから、そこでは、水が周囲より多く存在していると考えられる。しかしながら、これら大規模な低速度・低比抵抗領域内では地震は少ないことから、そこでは、水により非地震性すべりが促進され非弾性変形が進行していると考えられる。

実際に、地震メカニズム解のインバージョンから推定された応力場によると、L2で示した低速度領域の周辺で最大圧縮応力の方向が局所的に乱れていることが分かった。また、少数ながらそこで発生する地震の応力降下量が小さいような傾向も見られた。このことは、大規模な低速度・低比抵抗領域内で非弾性変形が起こっていることと調和的である。

(2) 小規模の低速度異常の発見

さらに詳しく地震波速度構造を解析すると、地震は、低速度領域に囲まれた高速度領域の中の小規模な低速度異常域に沿って分布していることが分かった。図3に長野県西部地震の断層面に直交する断面におけるP波速度偏差の分布を示す。

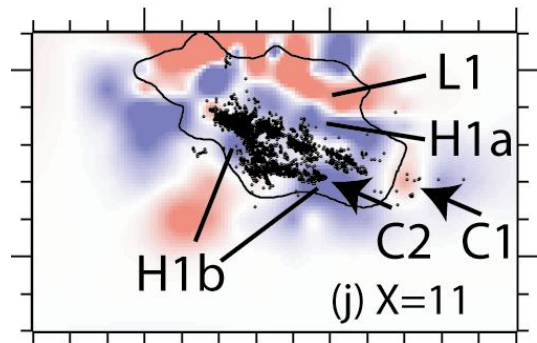


図3 P波速度偏差の分布(一目盛り2km). 断層に直交する断面.

地震は、大きな高速度領域の中に、C1, C2 で示されるように、右下がりの2列のクラスターを作るように分布している。これらのクラスター沿いでは、白からうすいピンク色となっている小規模の低速度異常が存在している。

(3) 得られた結果のまとめ

以上、地震波速度構造・比抵抗構造と地震分布を比較することにより、

(1) 大規模な低速度・低比抵抗領域が深部から浅部まで続いており、地震はそれを避けるように分布していること、

(2) より高解像度で見ると、地震は、高速度領域の中の小規模な低速度域に沿って分布していることが明らかになった。

大規模な低速度・低比抵抗領域は、上下に続いていること、および、温泉水の成分の研究により下部地殻からの流体の上昇が推定されていることから、これは、深部から浅部への大規模な水の通路であると考えられる。この領域は空間的なスケールが大きいので、マクロな透水係数は大きいと推定される。

一方、地震は、主に大規模な低速度・低比抵抗領域の間の小規模な低速度域に沿って分布しているが、この低速度域は空間的な拡がり小さいため、マクロな透水係数が小さいと推定される。透水係数が小さい小規模な低速度域では、深部から注入された水が流れにくいため、間隙水圧が大きくなっていると考えられる。

(4) 解明されたことおよび今後の展望

これらのことから、長野県西部地域で生起している現象は以下のように推定される。

大規模な低速度・低比抵抗領域は深部からの水の通路となっており、領域全体に水が行き渡っている。そこでは、マクロな透水係数は大きいので、間隙水圧はあまり高くなっておらず、発生する地震も少ない。水の存在下で非弾性変形がゆっくり進み、周囲に応力集中をおこしている。ただし、大規模な低速度・低比抵抗領域の周囲全体で地震が多く発生しているのではないので、応力集中はあまり大きいものではないと推定される。

一方、大規模な低速度・低比抵抗領域の間の小規模な低速度域では上記の応力集中に加えて、間隙水圧が高いため、断層が高速ですべりやすくなり地震が多数発生していると考えられる。

したがって、長野県西部地域においては、水の地震発生に及ぼす役割は、間隙水圧の低いところでは非弾性変形を起こし、局所的に間隙水圧が高いところでは地震を起こすものであると考えられる。

ここで得られた成果は、これまで推定の域

を出ていなかった地震発生に関する水の役割を、初めて、しかも十分な分解能で持って実証的に示したものであると考えられる。

しかしながら、小規模な低速度域において、さらに小さな不均質性があり、現在の地震波速度構造の分解能より小さなスケールで非地震性すべりの領域と地震の発生する領域が住み分けている可能性も否定は出来ない。今後、個々の微小地震の断層スケールの間隙水圧や応力場の空間変化の解明が重要であろう。これは、震源が浅く構造が比較的均質であることなど、観測条件が整った長野県西部地域でしか行えない研究である。今後とも、長野県西部地域における観測研究を続ける必要があると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

① Yukutake, Y., Y. Iio, and S. Horiuchi, Detailed spatial changes in the stress field of the 1984 Western Nagano Earthquake Region, *J. Geophys. Res.*, 査読有, 2010, doi:10.1029/2008JB006111

② 飯尾能久、内陸地震の発生過程、地震Ⅱ、査読有、第61巻特集号、2009、S365-S378

③ Iio, Y., Earthquake nucleation process - Does the initiation of earthquake rupture know about its termination?, *Earthquakes, Tsunamis, and Volcanoes in Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, edited by R. A. Meyers, 査読無, 2009, 2538-2555

④ 吉村令慧・大志万直人・笠谷貴史・飯尾能久・三浦勉・西村和浩・山崎友也・比嘉哲也・広瀬成章・平加奈子, 1984年長野県西部地震震源域周辺でのAMT観測, 京都大学防災研究所年報, 査読無, 第52号B, 249-254, 2009.

[学会発表] (計 25 件)

① Doi, I., S. Noda, Y. Iio, S. Horiuchi and S. Sekiguchi, Detailed hypocenter distribution and velocity structure in the western Nagano Prefecture, central Japan, using dense array data, 2009 AGU Fall Meeting, 2009年12月16日, サンフランシスコ

② 土井一生・野田俊太・飯尾能久・堀内茂木・関口渉次、稠密地震観測データを用いた長野県西部地域の震源分布と地震波速度構造、2009年地震学会秋季大会、2009年10月22日、京都

③ Doi, I., S. Noda, Y. Iio, S. Horiuchi and S. Sekiguchi, Relationship between the

detailed hypocenter distribution and the velocity structure in the western Nagano Prefecture, central Japan, derived from travel time tomography using dense array data, The 13th international symposium on recent advances in exploration geophysics, 2009年10月15日, 京都

④ Iio, Y., Heterogeneity in the lower crust and the process by which intraplate earthquakes are generated, The 13th international symposium on recent advances in exploration geophysics, 2009年10月15日, 京都

⑤ Yoshimura, R., N. Oshiman, T. Kasaya, Y. Iio, T. Miura, K. Nishimura, T. Yamazaki, and K. Omura, Shallow resistivity structure around earthquake swarm area deduced from dense AMT/MT observations, 126th SGEPPSS Fall Meeting, 2009年9月28日, 金沢

⑥ Yoshimura, R., N. Oshiman, T. Kasaya, Y. Iio, T. Miura, K. Nishimura, T. Yamazaki, and K. Omura, Upper crustal resistivity structure around earthquake swarm deduced from dense AMT/MT observations, IAGA 11th Scientific Assembly 2009, 2009年8月25日, Sopron, Hungary

⑦ 飯尾能久・堀内茂木・行竹洋平・久保篤規・野田俊太・三浦勉・中尾節郎・西村和浩・関口渉・小村健太郎、長野県西部地域の地殻構造と応力場—稠密地震観測による—、地球惑星科学関連学会2009年合同大会、2009年5月18日、幕張

⑧ Horiuchi, S., and Y. Iio, Automatic arrival time picking using many parameters for the onset discrimination, The 2nd International Workshop on Earthquake Early Warning, 2009年4月21日-22日, 京都

⑨ 吉村令慧・大志万直人・笠谷貴史・飯尾能久・三浦勉・西村和浩・山崎友也・比嘉哲也・広瀬成章・平加奈子、1984年長野県西部地震震源域周辺でのAMT観測、防災研究所研究発表講演会、2009年2月25日、京都

⑩ 飯尾能久・堀内茂木・行竹洋平・野田俊太・久保篤紀・三浦勉・中尾節郎・西村和浩、長野県西部地域における稠密地震観測、防災研究所研究発表講演会、2009年2月25日、京都

⑪ 吉村令慧・大志万直人・笠谷貴史・飯尾能久・三浦勉・西村和浩・山崎友也・比嘉哲也・広瀬成章・平加奈子・小村健太郎、長野県西部地域における稠密AMT観測、CA研究会、2009年2月16日、京都

⑫ Yoshimura, R., N. Oshiman, K. Yamazaki, M. Uyeshima, and T. Ogawa, Long-Span Continuous Self-Potential Measurements

Around Earthquake Swarms for Monitoring Crustal Activity, Eos Trans. AGU, 89(53), Fall Meet. Suppl., Abstract NS53A-1215, 2008年12月19日, San Francisco

⑬ Iio, Y., S. Horiuchi, Y. Yukutake, S. Noda, A. Kubo, The structure and stress field in and around the source region of the 1984 Western Nagano prefecture earthquake, 7th general assembly of Asian Seismological Commission, 2008年11月24日, つくば

⑭ 飯尾能久、2つの満点計画—長野県西部における例—、アスペリティのマッピングとモニタリング (EARS) シンポジウム 2008年度集会、2008年10月25日、東京

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯尾 能久 (IIO YOSHIHISA)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号：50159547

(2) 研究分担者

大志万 直人 (OSHIMAN NAOTO)
京都大学・防災研究所・教授
研究者番号：70185255

吉村 令慧 (YOSHIMURA RYOKEI)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号：50346061