

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23253004

研究課題名(和文) 内陸地震の断層直下はやわらかいのか? - ニュージーランド南島北部における稠密観測 -

研究課題名(英文) The lower crust immediately below intraplate earthquake faults is weak? A dense seismic observation in the northern part of the South Island in New Zealand-

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 40,900,000円

研究成果の概要(和文)：ニュージーランド南島北部において稠密地震観測を行い、活断層の直下に、比抵抗構造と調和的な地震波速度の異常域を見出した。これは、内陸地震の断層直下の下部地殻が水のためにやわらかくなっているという内陸地震の発生過程のモデルを支持するものである。さらに、クライストチャーチ地震の余震観測を行い、詳細な余震分布と地殻構造が推定された。余震の深さ分布の特徴から、その断層の西端付近でひずみの集中が起こっていた可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：We conducted a dense seismic observation in the northern part of the South Island in New Zealand, and found anomalous seismic velocity structures immediately below intraplate earthquake faults, which is in accordance with the resistivity structures. This fact supports a model for the generating process of intraplate earthquakes, that the lower crust immediately below intraplate earthquake faults is weakened by water. Furthermore, we conducted an aftershock observation for the Christchurch earthquake, and estimated detailed aftershock distributions and velocity structures. It is suggested from the characteristic depth distributions of aftershock hypocenters that stress concentration occurred around the western end of the earthquake fault.

研究分野：固体地球惑星物理学

キーワード：内陸地震 活断層 下部地殻 地殻流体 クライストチャーチ地震 地震発生過程 余震分布 地殻構造

1. 研究開始当初の背景

(1) 申請時の背景

内陸地震がなぜ起こるのかはまだ分かっていない

2000年頃までは、内陸地震はなぜ起こるのか？という問題は全く手に負えない難問だった。内陸地震の断層に加わる応力はどのように増加するのか？その発生間隔がプレート境界の大地震より長いのはなぜか？断層によって発生間隔が何桁も異なるのはなぜか？といった問題に対して、合理的な答えを返すことは出来なかった。

下部地殻の「やわらかい」領域の変形により引き起こされる？

科振費総合研究(平成 11-15 年度)により、それまで無視されていた、断層直下の下部地殻の不均質構造(周囲より「やわらかい」領域)の変形に着目した内陸地震の発生モデルが提案され(Iio et al., 2004)、上記の難問に初めて合理的な答えを返すことが出来た。実際に、鳥取県西部や長野県西部地域において、下部地殻の不均質構造の変形によると考えられる応力集中も見出された(Kawanishi et al., 2009; Yukutake et al., 2010)。

しかしながら、上記のモデルは、不均質構造として非常に単純な断層帯が仮定されており、定性的な概念モデルと位置づけられるものである。下部地殻の不均質構造の実態を明らかにして、モデルの検証を行い、モデルを定性的なものから定量的なものへ upgrade する必要がある。

下部地殻の「やわらかい」領域はおぼろげには見えている

下部地殻に周囲より「やわらかい」領域があれば、そこでは地震波速度が周囲より低速度になるはずである。また、下部地殻が「やわらかく」なるのは水の影響であると考えられるので(Iio et al., 2002)、低比抵抗にもなると考えられる。実際に、日本では近年、内陸大地震の断層直下の下部地殻に、系統的に低速度、低比抵抗異常が見出されている(Hasegawa et al., 2009; 飯尾, 2009, 2010)。しかし、地震波速度に関しては、定常観測データを用いたものは空間分解能が粗く、稠密余震観測データを用いたものは観測期間が短いため、モデル検証のために必要な下部地殻の詳細なイメージは得られていない。

最適のフィールドでの徹底的な観測研究が必要

モデルを定量的なものに upgrade するためには、最適のフィールドでの徹底的な観測研究により、断層帯の形状や幅など、断層直下の下部地殻の不均質構造を精度良く捉えることが必要である。本研究のフィールドでは、下記のように、下部地殻の地震学的なイメージングには理想的な場所である。

i) MT法により、各断層の直下の下部地殻にそれぞれ低比抵抗異常が見出されており(Wannamaker et al., 2009)、地震学的な構造と比較することが重要である。

ii) 深さ 5km 程度までの精細な地質構造が推定されており、変動が大きい割には比較的構造は単純であるため、深部の断層の形状や断層帯の物性を推定する上で大変有用である。

下部地殻の水の実体解明が重要

下部地殻が「やわらかく」なるのは水の影響であると考えられる。また、静水圧状態よりはるかに高い水圧(過剰圧)が存在して、すべりにくい断層でも地震を発生させ得るという考えがあるが、その高圧水は下部地殻からもたらされることが指摘されている。下部地殻の水について、その実態を明らかにすることが重要である。

(2) 研究開始直前の背景

2011年2月21日に南島のクライストチャーチ付近で M6.3 の大地震が発生し大きな被害が生じた。その前年 2010 年の 9 月 3 日にはその西側でダーフィールド地震(M7.1)が発生し地表に地震断層が現れた。我々は 2009 年から南島北部(Murchison 盆地付近)の 2 か所でパイロット地震観測を始めており、2010 年 10 月に現地を訪れ、ニュージーランドの地震関係者から大規模な余震観測網を設置してほしいと要請を受けていたが、クライストチャーチ地震の発生により、余震観測網を設置することを決断した。2011 年 3 月に持ち出し可能な機材を総動員して、2 つの地震の余震域を含む、カンタベリー平野とその周辺に 29 点から成る余震観測網を設置した。申請時には想定していなかった、クライストチャーチ地震がなぜ起こったのかという問題についても研究対象とすることとなった。

2. 研究の目的

沈み込む海洋プレートから脱水した水が上昇して地殻に達し、下部地殻を局所的に「やわらかく」することにより、直上の断層に応力集中が生じて内陸地震が発生するという仮説がある。ニュージーランド南島北部に地震観測網を設置し、「やわらかい」不均質領域の実態を明らかにして、内陸地震の発生過程のモデルを確立することが本研究の主な目的である。加えて、2011 年 2 月のクライストチャーチ地震の発生を受けて、この地震がなぜ起こったかを解明することが本研究のもう一つの主な目的となった。

3. 研究の方法

クライストチャーチ周辺において余震観測を行い、得られたデータを解析して、詳細な余震分布や速度構造等を明らかにする。さらに、ニュージーランド南島の北部に 50 点程度の地震観測網を設置し、直下に発生する地震を活用して、下部地殻の不均質構造を主に地震学的な手法で明らかにする。

図 1 に示すように、従来この地域には国営の定常観測網(GeoNet)が 16 か所に地震観測点を持つだけだったが、本計画の観測と合わ

せると4倍以上の数となり、比抵抗構造と比較可能な詳細な地震学的な構造を推定できる。

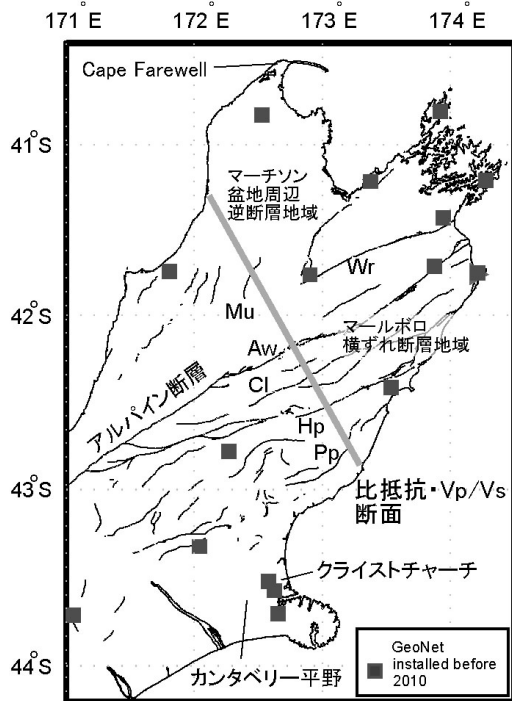


図1 本研究の調査領域と計画開始前のGeoNet高感度地震観測点の分布。比抵抗・Vp/Vsの断面の位置も示す。黒線は活断層(GNSによる)。横ずれ型断層: Hp:Hope, Cl:Clarence, Aw:Awatere, Wr:Wairaru, 逆断層: Mu:Murchison, Pp:Porter Pass。

観測点調査やメンテナンスは、ニュージーランドの研究協力者等と協力して行う。用いる装置は、「満点計画地震観測システム」と呼ばれる小型軽量・低消費電力・大記憶容量のもので、半年に1回のメンテナンスで観測を継続できる。地震学的に推定された不均質構造に基づき、比抵抗構造や地質構造、地殻変動の解析結果を総合して、内陸地震の発生過程のモデル化を行う。

4. 研究成果

(1) 地震観測

図2に示すように、我々は2009年からパイロット的な地震観測を2カ所で行い、2011年3月に29カ所の余震観測点、2012年3月に南島北部に19点、2013年4月にさらに15点、2013年12月にクック海峡付近に2点増設し、2014年10月までに、述べ68カ所において地震観測データを取得した(移動した点を含む)。

(2) クライストチャーチ地震に関する成果

カンタベリー平野下で初めて精度良い震源の深さ分布の推定に成功

図3に3次元の不均質構造を考慮して決定された余震の震源分布と断層沿いの地震波

速度構造の断面を示す(Bannister 他、投稿準備中)。2つの大地震の複雑な余震分布が得られているが、余震観測網のデータを活用することにより、3次元不均質構造が精度良く推定され、観測網設置前のデータを含めて、堆積層の厚いカンタベリー平野下で、初めて精度良い震源の深さ分布を得ることに成功した。

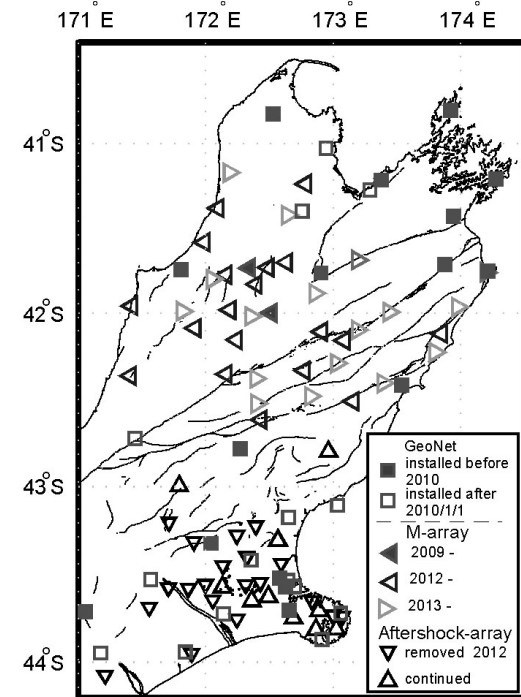


図2 2014年10月現在の高感度地震観測点の分布。M-array:南島北部の観測網。◻:移設した余震観測点。GeoNetの新設点(◻)は本研究の観測網を避けるように設置されている。

クライストチャーチ地震はなぜ起こったのか？

2010-2011年にかけての一連の地震活動は、活断層が知られておらず歪み速度が小さな領域で発生した。日本においても、近年、2000年鳥取県西部地震や2007年能登半島地震等、歪み速度の小さな領域で大地震が発生しているが、飯尾らは、上記の内陸地震の発生モデルに基づき、余震域中央部で深く両端に近づくほど浅くなるという「お椀型」の余震分布を、余震域の中央部直下のみに顕著なやわらかい領域があることで説明している(Iio et al., 2009)。この場合、「お椀型」が示すように、両端部では地震発生域深部で応力が強度を超えていないと推定されるため、両隣の領域で大きな地震が誘発される可能性は低いと考えられる。一方、図3下に示すように、9月のダーフィールド地震については、西側では余震分布の下限が徐々に浅くなる傾向がみられるが、東端では、上記の日本の大地震と違って、深いままであるように見える。このことは、ダーフィールド地震の余震域東端において応力集中が発生していた可能性を示唆している。速度構造に関しては、2月

のクライストチャーチ地震の震源域の直下に、顕著な高速度異常が検知された。この速度異常と地震発生との関係は、現時点では不明である。

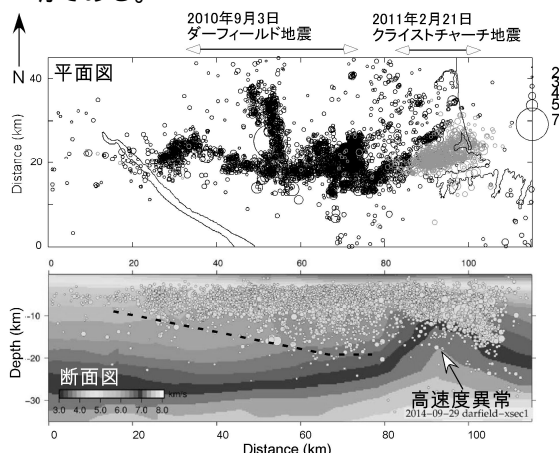


図3(上)クライストチャーチ付近で発生した2つの大地震の余震の震央分布。黒丸:2010年9月-2011年2月20日(クライストチャーチ地震の前まで)。灰色:2011年2月21日-2月28日(クライストチャーチ地震の余震)。(下)2つの大地震の余震の深さ分布と地震波速度構造(tomoDDによる)。クライストチャーチ付近の下部地殻に高速度異常がある。ダーフィールド地震の余震分布の下限は、お椀型ではなく、特異な形に見える。

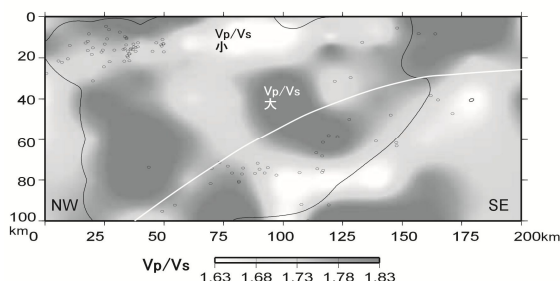


図4 比抵抗構造の断面図(Wannamaker et al.,2009)と同じ位置の V_p/V_s 比の断面図(Okada et al.,投稿準備中)。

(3) 南島北部の活断層に関する成果 低比抵抗異常域の速度構造

南島北部の稠密地震観測網のデータ解析から得られた、MT法による比抵抗構造と同じ断面での V_p/V_s の断面図を図4に示す。沈み込むプレートから低比抵抗異常域が各断層の深部へ向かって延びていることが知られているが、それに対応するような高 V_p/V_s 異常域が推定されている。この結果は、プレートから脱水した水が断層直下に達し、そこを柔らかくするというモデルと調和的である。

InSAR 解析により推定された地殻変動

InSAR 解析により、南島の広い範囲における詳細な変位速度場が推定された。アルパイン断層に沿って、明瞭な変位速度のコントラ

ストが見出された。

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 2件)

三浦勉、飯尾能久、R. Sibson、岡田知己、松本聡、(他 15名) ニュージーランド南島北部における地震観測、防災研究所年報 A、査読なし、57、2014、94-101
平原聡、岡田知己、飯尾能久、Richard H. Sibson、松本聡、(他 15名) ニュージーランドにおける地震観測 観測の基本の再発見、平成 25 年度 技術部報告、東北大学大学院理学研究科・理学部、査読なし、Vol. 26、2014、54-59

[学会発表](計 5件)

T. Okada, T. Matsuzawa, DISTRIBUTION OF GEOFLUIDS AND ITS ROLE IN SEISMIC AND VOLCANIC ACTIVITIES IN-FERRED FROM SEISMIC OBSERVATION - EXAMPLES OF NARUKO VOLCANO AND TOHOKU REGION, NE JAPAN, 第 3 回 Geofluid 国際会議、2014 年 2 月 28 日、東京工業大学(東京都)

S. Horiuchi, T. Okada, Y. Iio, R. Sibson, S. Matsumoto, (他 16名)、THREE-DIMENSIONAL SEISMIC VELOCITY STRUCTURE BENEATH NORTHERN PART OF SOUTH ISLAND, NEW ZEALAND BY DENSE SEISMIC OBSERVATION, 第 3 回 Geofluid 国際会議、2014 年 2 月 28 日、東京工業大学(東京都)

三浦勉、飯尾能久、Richard H. Sibson、岡田知己、松本聡、(他 15名) ニュージーランド南島北部における地震観測、平成 25 年度 京都大学防災研究所研究発表講演会、2014 年 2 月 28 日、京都大学宇治キャンパス E 会場(京都府・宇治市)

平原聡、岡田知己、飯尾能久、Richard H. Sibson、松本聡、(他 15名) ニュージーランドにおける地震観測 観測の基本の再発見、平成 25 年度 東北大学大学院理学研究科・理学部 技術研究会、2013 年 11 月 28 日、東北大学大学院理学研究科 大講義室(宮城県・仙台市)
岡田知己、飯尾能久、Richard H. Sibson、松本聡、(他 16名) ニュージーランド南島北中部における稠密地震観測、日本地震学会 2013 年大会、2013 年 10 月 9 日、神奈川県民ホール(神奈川県・横浜市)

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)連携研究者

岡田 知己 (OKADA, Tomomi)
東北大学・理学研究科・准教授
研究者番号：30281968
(平成26年度より連携研究者)

松本 聡 (MATSUMOTO, Satoshi)
九州大学・理学研究院・准教授
研究者番号：40221593
(平成26年度より連携研究者)

大見 士朗 (OHMI, Shiro)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号：50263158

深畑 幸俊 (FUKAHATA, Yukitoshi)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号：10313206

高田 陽一郎 (TAKADA, Youichiro)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号：80466458

山田 真澄 (YAMADA, Masumi)
京都大学・防災研究所・助教
研究者番号：60456829

小菅 正裕 (KOSUGA, Masahiro)
弘前大学・理工学研究科・准教授
研究者番号：90142835