

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究 (A)

研究期間：2009～2011

課題番号：21253006

研究課題名（和文）

巨大震源断層の特性を探る：ニュージーランド北島の構造探査

研究課題名（英文）

Structural Features of Megathrust beneath the North Island, New Zealand

研究代表者

岩崎 貴哉 (Iwasaki Takaya)

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：70151719

研究成果の概要（和文）：ニュージーランド北島の南部において、大規模な制御震源地震探査及び変動地形超査を実施した。その結果、沈み込む太平洋プレート及びその上盤側のオーストラリアプレートの詳細な構造が判明した。沈み込むプレート（Hikurangi Plateau）は、北島中央部で傾きを大きく変化させ、その部分に海洋性地殻が付加した低速度異常構造が見られる。Wairapapa fault 等の巨大分岐断層は、その部分から東に向かって派生している。

研究成果の概要（英文）：Active source seismic experiment conducted in the North Island, New Zealand revealed detailed subduction structure of the Hikurangi Plateau and the structural deformation of the overlying Australian plate. The subducted slab show a clear change in its dip beneath the North Island, around which oceanic materials are stacked to form a remarkable low velocity body. A series of branch faults such as the Wairapapa fault are developed eastward from this anomalous structure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2010 年度	16,500,000	4,950,000	21,450,000
2011 年度	13,500,000	4,050,000	17,550,000
年度			
年度			
総計	35,600,000	10,680,000	46,280,000

研究分野：数物系科学 A

科研費の分科・細目：固体地球惑星物理学

キーワード：地震，地球・惑星内部構造，地質学

1. 研究開始当初の背景

沈み込み帯上面に形成される巨大衝上断層（メガスラスト）の特性を理解することは、海溝型の巨大地震に伴う地震災害を予測する上で極めて重要である。本研究では、関東平野と類似した地質学的環境にあるニュージーランド北島南部で、大規模構造探査を国際共同研究の枠組みの中で実施し、断層面上での反射率に代表される物理特性が地震発

生や地殻変動に及ぼす影響を明らかにする。

2002 年から 2006 年に関東地方で実施した地殻構造探査では、東京湾など数本の測線で地下 30km までのスラブ上面のイメージングに成功した。ここでは伊豆半島での衝突によって、通常の沈み込み帯では深い海底下には見えないメガスラストの浅い部分が、陸域下で観測される。1923 年の関東地震は、通常海底下において観測できないメガスラストの直

上の地殻変動が陸上で観測された希少な例となっている。近年、地震を発生させる断層面の性質は均一ではなく、とくに地震時に大きく滑り強い波を出す領域（アスペリティ）が存在することが実証されている。この領域を特定することは、メガスラストで発生する巨大地震に伴う強震動を予測する上で、決定的に重要である。関東地震に伴う地殻変動や地震波から推定されるアスペリティ領域と構造探査の結果の比較では、反射波がよく跳ね返ってこない領域とアスペリティ領域がよい一致を示すことが明らかになった。また、GPS 観測にもとづく固着域と定常すべりの領域との関係でも、反射率との相関がある。

こうした事実は、反射率によって代表されるメガスラストの物理特性を調べることによって、巨大地震の発生前にアスペリティを特定できる可能性のあることを示唆している。類似した例は、三陸沖でも見いだされているが、地殻変動などによって拘束されているものではない。地殻変動や地震活動とメガスラストの物理特性を比較できる地域は、世界的に見て関東地域とニュージーランド北島の南部のみである。ニュージーランド北島の南部では太平洋プレートが北島の東側に位置するヒ克蘭ギ-ケルマデック・トラフから西傾斜で沈み込んでいる。一方、南島ではヒ克蘭ギ海台を載せた太平洋プレートがオーストラリアプレートと衝突し、プレート境界は南島東縁の東傾斜のアルパイン断層となっている。このねじれた形状のプレート境界は、北島南部で西傾斜の浅い沈み込み帯を形成している。

ニュージーランドの地殻構造の研究は、本申請のニュージーランド側の研究協力者であるビクトリア大 (Tim Stern 教授)、GNS (旧ニュージーランド地質調査所; Stuart Henry 博士)、米国研究者 (David Okaya 博士) などの研究グループによって推進されてきた。ニュージーランドの地殻構造探査は南島を横断した SIGHT プロジェクト、北島を横断した NIGHT プロジェクトによってそれらの概要が明らかになり、今回も国際共同の枠組みで、北島南部のヒ克蘭ギ沈み込み帯を横断する地殻構造探査が計画されるに至った。測地学的研究と地震観測の結果から、北島のヒ克蘭ギ海溝のメガスラスト北部では固着域の発達が弱く、間欠的な滑り領域が形成されている。これに対して南部では固着領域が形成されている。ニュージーランド南島では陸域の GPS 観測網の下で浅いメガスラストが位置し、かつその固着の度合いが変化している。したがって、構造探査によってメガスラストの物理特性についての情報が得られれば、メガスラストの物理特性と地殻変動からみたメガスラストの挙動の関係を解くことができる。

2. 研究の目的

本研究は、地殻変動から固着の程度が明らかかなメガスラストに対して地殻構造探査を行い断層面の物理特性との関係を明らかにしようとするもので、とくに海溝型巨大地震の発生様式の予測精度の向上にとって大きな意義がある。ニュージーランドと関東というプレート境界が陸域下の深さ 25km 以浅の特異な地域に着目した点で特色がある。また、両地域とも首都が浅いプレート境界の上に位置しているという共通点があり、いずれの地域にとっても研究結果の社会的インパクトが大きい。

また、構造探査から得られた成果を、ニュージーランドの測地観測網・地震観測網のデータを比較し、固着の程度とメガスラストの物理特性との関係を明らかにすることができる。また、長期間地殻変動とも総合させて、固着域のメガスラスト上での長時間変化についても明らかにすることができる。こうした成果は、関東地方で申請者らのグループが平行して進めている首都直下防災減災プロジェクトの類似した研究成果とも比較され、総合的にプレート沈み込み帯に形成されるメガスラスト上面と物理特性の関係を明らかにすることができ、こうした知見は他の沈み込み帯について、物理特性の計測結果からメガスラストの挙動を推定する上で重要な知見となる。

3. 研究の方法

(1) 海陸統合構造探査

2009年に、日本の研究者がニュージーランドのGNSを訪問、更にニュージーランド側研究者が日本を訪問し、具体的な測線とダイナマイト震源の位置等を決めた。また、日本側からニュージーランドに持ち込む機材、ニュージーランド側が準備すべき機材等、実験の詳細を決定した。我々の共同研究を”The Seismic Array HiKurangi Experiment (SAHKE)”と名付けることとした。

実験測線は、北島の南部をNW-SE方向に横断し、プレート沈み込みの方向に合わせた。実験は2つのphaseに分かれる。最初のphase (SHAKE-I)は、海陸統合広角反射法探査であり、2009年11月から2010年4月の期間に実施した。日本側は、20台の海底地震計を持ち込み、北島の東側海域に16点、西側海域に4点設置した。一方、陸域部には、57点の短周期3成分地震観測システム(RefTek RT130, 2.2 Hz)及び10台のbroadband型地震観測システムを設置した。2番目のphase (SHAKE-II)は、陸域部の探査で、12点のダイナマイト震源と自然地震の両方を同じ測線上で記録するように設計した。総観測点数は、835点である。平均のspacingは100m

であるが、Wairarapa Fault近傍に於いては spacing を 50m に設定した。この陸域部の実験は、2011年5月に実施した。

実験の測線図を図1に示した。

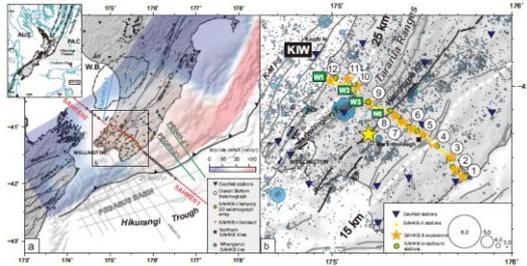


図1. 実験測線図.

(2) 変動地形調査

変動地形調査として、7000 年前以後に離水した海成段丘群の年代と高度解析を実施した。

4. 研究成果

(1) 海域探査の結果

海底地震計の記録の走時解析から、北島東側海域下の沈み込み帯上盤側構造及び下に沈み込む厚さ 12km に及ぶに沈み込む Hikurangi 海台の地震波速度構造の詳細を求めた(図 2)。その結果、Hikurangi 海台は平均的の海洋性地殻の構造を~1.8 倍厚く、また同時に形成したと考えられている Onton Java 海台をおよそ半分は薄くした構造をしていることが明らかとなった。また Hikurangi 海台の地殻上には隣接する Chatham Rise 上の堆積層が沈み込み方向に薄くなるような楔形上に存在し、海底面から少なくとも 8 km の深さまで Hikurangi 海台とともに沈み込んでいることが分かった。更に、海台下の上部マントル速度が速いことを示唆する結果を得た。

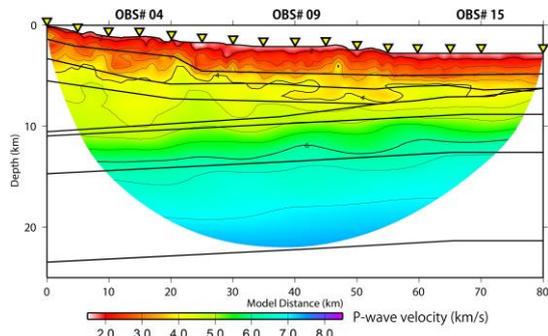


図 2. 海域（北島の東側海域）の速度構造モデル.

(2) 海陸統合解析

図 1 に示された海域部と陸域部の測線のデータを統合した解析が行われた。統合した record section の一例を図 3 に示す。

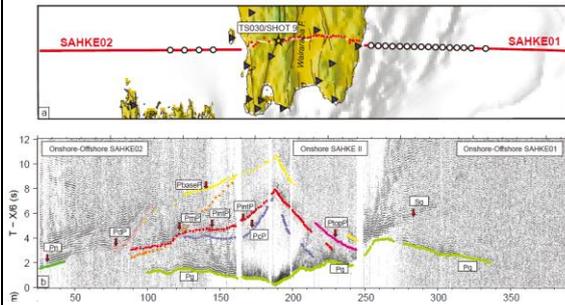


図 3. 海陸統合 record section (Supergather)

全体にわたって記録の質は良好で、初動が測線全体にわたって追跡することができる。また、地殻内速度境界からの反射波(PcP)、オーストラリアプレートのモホ面からの反射(PmP)及び沈み込む太平洋プレートからの反射波(PintP,PtopP)が確認できる。

速度構造は、屈折走時の tomography 解析によって求めた。用いた走時は、総数で 17,773 個に達する。図 4 に、tomography の結果を海域の反射法記録と重ね合わせた断面図を示した。尚、この図中の速度境界・断層位置は、図 3 に示された反射波の走時と tomography 解析の速度構造から mapping したものである。

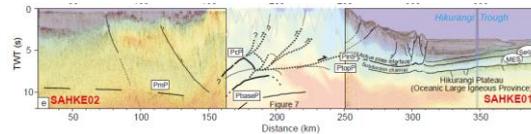


図 4. Tomography と反射法処理に基づく構造図.

測線の東部に示された”Y”境界は、沈み込むプレートの上端に相当する。その下には、図 3 に示した PtopP 波に対応する面が存在する。その間が、subduction channel に相当し、厚さが 3.5 km 程度である。この subduction channel は、陸側(220-270km)の部分では、確認できない。その西側では、おそらくこの subduction channel の構成物質が stack 下厚い低速度体が見られる。

プレートの傾きは、この低速度体を境に大きく変化し、その東側では、5 度程度、西側 15 度を越える。また、Wairapapa 断層を始めとする幾つかの分岐断層が、この低速度体周辺から東に向かって派生していることが初めてわかった。

図 5 が、この構造断面の解釈図である。プレート境界周辺からの反射は、その傾きが大きく変化している場所(170-220 km)で顕著である。GPS データの解析によれば、この部分のプレートは固着していると考えられている。この結果は、西南日本弧の場合と大きく異なり、プレート構造の地域的特性を示す初

めの例である。また、プレート内地震は、形状の変化している部分で高い。これは、もともと存在していた弱面が、プレート内の脱水作用を受けて活動したものと考えられる。

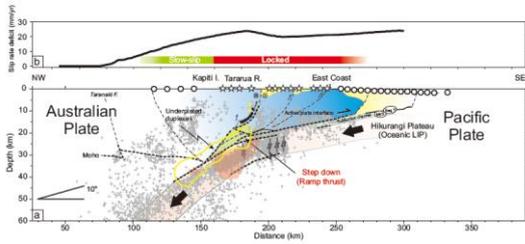


図 5. 構造の解釈図.

(3) 散乱波を用いたプレート及び分岐断層の imaging

陸域構造探査の波形データに対し、散乱法を用いた構造 imaging を行った。まず、初動部分から測線下の速度構造を求め、次に測線下に *gird point* を仮定して、そこからの散乱波走時を計算した。そして、各 *gird point* からの走時が実際のデータとよく合うかどうかを *semblance* 値を用いて定量的に評価し、その散乱強度分布を求めた。図 6 にその結果を示す。

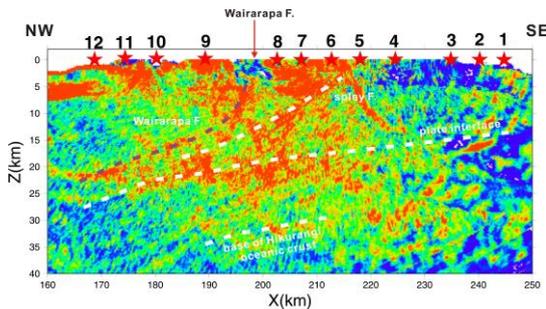


図 6. 散乱法に基づく陸域構造断面図.

この図より、プレート境界及びそこから派生する分岐断層が、明瞭に *mapping* されている。特に、分岐断層派生領域では反射 event に富んでおり、(2)の解析による低速度体の存在と調和的である。これは、おそらくは、*stacks* した *subduction channel* から脱水した流体に起因するものであろう。また、その下のプレート内での反射強度も強い。これも流体に原因を求めるのが妥当であろう。

(4) Wairarapa faultの深部地下構造

上盤側プレートに相当する北島の南部にはウェリントン断層やワイララパ断層といった大規模な右横ずれ断層が発達しており、そのうちのワイララパ断層は1855年にMw8.1以上の地震を起こしたと考えられている。地震

活動や1855年の地震時変位量と地表地震断層の長さの比などから、ワイララパ断層はメガスラストから延びる分岐断層であると推定されているが、地殻構造データが不足しており、実態は不明であった。

SHAKE-IIの実験において、Wairarapa fault 周辺に展開した稠密観測区間の観測波形からみたワイララパ断層の深部地下形状を調べるために、通常の共通反射点重合法に基づいて、CDP 編集、初動抑制ミュート、NMO、標高補正、周波数フィルターといった処理を行った。その結果、ワイララパ断層の西側に広がり三畳紀の砂岩 (グレイワック) よりなる Rimutaka 山地の下、深さ20km から西に傾斜して上方に伸びる反射面が認められる。この反射面について、傾斜を保ちながら地表まで伸ばすと、およそWairarapa faultの地表位置と調和的である。Wairarapa faultに対応すると見られる反射面の下位には、これよりも緩やかに西に傾斜する反射面が認められ、これは太平洋スラブ上面に対応すると考えられる。ワイララパ断層の反射面は太平洋スラブ上面の反射面に収束することから、SAHKEIIによる地殻構造のデータの初期解析結果は、Wairarapa faultがメガスラストからの分岐断層という解釈を支持する結果を得た。

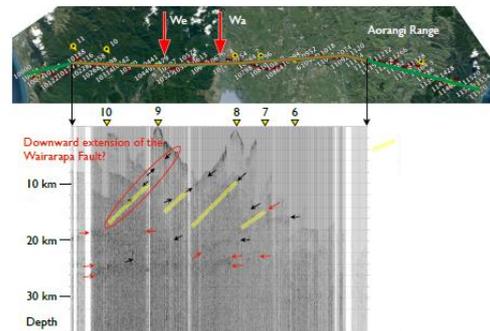


図 7. 反射法処理による Wairarapa fault の深部構造.

(5) 変動地形学的調査

変動地形調査として、7000年前以後に離した海成段丘群の年代と高度解析に基づいて、ヒ克蘭ギ沈み込み帯のプレート境界から派生する断層帯の位置と活動履歴について検討を行った。その結果、上盤プレート (オーストラリアプレート) 内に発達する5つの沖合の断層が順次活動して地震を起こすたびに海岸隆起をもたらしてきたこと、個々の断層セグメント長は25~60km、Mwは7.0~7.5、1回のイベント時の海岸隆起量は1~4mであること、たびたび津波を伴ったことが明らかとなった。また高解像度の衛星画像に基づいて Wairarapa 断層の変動地形について解析を行った。

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)

- ①Berryman, K., Ota, Y., Miyauchi, T., 他 5 名, Holocene paleoseismic history of upper plate faults in the southern Hikurangi subduction margin, New Zealand, deduced from marine terrace records, Bull. Seismol. Soc. Am, 37, doi:10.1029/2010GL042935, 2010.
- ②Henry, S., Wech, A., Sutherland, R., Stern, T., Savage, M., Sato, T., Mochizuki, K., Iwasaki, T., D. Okaya, D., Seward, A., Tozer, B., Townend, J., Kurashimo, E., Iidaka, T. and Ishiyama, T., SAHKE geophysical transect reveals crustal and subduction zone structure at the southern Hikurangi margin, New Zealand, *Geochemistry Geophysics Geosystems* (in press)

[学会発表] (計 8 件)

- ①岩崎貴哉・佐藤比呂志・他 12 名, ニューゼーランド北島下メガスラストを探る-日本-ニューゼーランド共同構造探査-, 日本地球惑星科学連合大会, 2010 年 5 月 25 日, 千葉 (幕張メッセ)
- ②Mochizuki, K., Henry, S., Sato, H., Iwasaki, T., 他 4 名, Offshore seismic survey and observation using OBSs across the locked southern Hikurangi margin, New Zealand, AGU Fall Meeting, 2010 Dec. 17. San Francisco (USA)
- ③Sutherland, R., S. Henry, K. Mochizuki, Sato, H., Iwasaki, T., Stern, T., Savage, M., Townend, J., Barker, D., Seward, A., Henderson, M., Bassett, D., Bell, R., SAHKE experiment reveals seismic-reflection character of the source region of deep slow slip events, Hikurangi subduction zone, New Zealand, AGU Fall Meeting, 2010 Dec. 17, San Francisco (USA).
- ④望月公廣・山田知朗・篠原雅尚・佐藤比呂志・岩崎貴哉・Stuart Henrys・Rupert Sutherland, ヒクランギ沈み込み帯 (ニューゼーランド) のテクトニクス解明のための地震観測と構造調査, 日本地球惑星科学連合大会, 2011 年 5 月 27 日, 千葉 (幕張メッセ) .
- ⑤Mochizuki, K., Yamada, T., Shinohara, M., Iwasaki, T., Sato, H., Henry, S., Sutherland, R., Wide-angle OBS velocity structure along

the SAHKE transect, lower North Island, New Zealand, AGU Fall meeting 2011 Dec. 5, San Francisco (USA).

- ⑥Henry, S., Wech, A., Sato, H., Okada, D., Iwasaki, T. Stern, T., Savage, M., Kurashimo, E., Sutherland, R., The 2009-11 SAHKE Experiment: 2D velocity imaging across the interseismically locked southern Hikurangi margin, Wellington, New Zealand, AGU Fall Meeting, 2012, Dec. 5, San Francisco(USA).
 - ⑦石山達也, 蔵下英司, 加藤直子, 佐藤比呂志, 飯高隆, 岩崎貴哉, 北村重浩, 中山貴隆, スチュアート・ヘンリーズ, マーサ・サヴェージ, ティム・スターン, ルバート・サザーランド, デービッド・オカヤ, 低重合反射法地震探査によるニューゼーランド北島・ワイラパ断層の深部地下構造, 日本地球惑星科学連合大会, 2012 年 5 月 21 日, 千葉 (幕張メッセ) .
 - ⑧Kurashimo, E., Sato, H., Iidaka, T., Ishiyama, T., Iwasaki, T., Henry, S.A., Sutherland, R., Stern, T.A., Savage, M. & Okada, D.A., Seismic scatterer distribution beneath the Wellington region, southernmost part of New Zealand's North Island, AGU Fall Meeting, 2012 Dec. 5, San Francisco(USA).
 - ⑨ Mochizuki, K., Henry, S., Yamada, T., Sutherland, R., Shinohara, M. & Iwasaki, T., 2012. Wide-angle OBS velocity structure and gravity modeling along the SAHKE transect, lower North Island, New Zealand, AGU Fall Meeting, 2012 Dec. 5, San Francisco (USA)
- ## 6. 研究組織
- (1) 研究代表者
岩崎 貴哉 (Iwasaki Takaya)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号：70151719
 - (2) 研究分担者
佐藤 比呂志 (Sato Hiroshi)
東京大学・地震研究所・教授
研究者番号：00183385
蔵下 英司 (Kurashimo Eiji)
東京大学・地震研究所・助教
研究者番号：00302620
飯高 隆 (Iidaka Takashi)
東京大学・地震研究所・准教授
研究者番号：00221747
石山 達也 (Ishiyama Tatsuya)

東京大学・地震研究所・助教
研究者番号：90356452

加藤 愛太郎 (Kato Aitaro)

東京大学・地震研究所・助教
研究者番号：20359201

平田 直 (Hirata Naoshi)

東京大学・地震研究所・教授
研究者番号：90156670

宮内 崇裕 (Miyuchi Takahiro)

千葉大学・理学研究科・教授
研究者番号：00212241

(3) 連携研究者

なし。