

南極の巨大地震と南極プレートの進化に関する研究集会報告

野木義史*

Report of the Meeting on the Antarctic Great Earthquake and the Evolution of the Antarctic Plate

Yoshifumi NOGI*

Abstract: A meeting on the Antarctic great earthquake and the evolution of the Antarctic plate was held on February 12, 1999. The main object of the meeting was to review the great earthquake in the Balleny Sea on March 25, 1998, and study its cause from various aspects of solid earth science in the Antarctic plate, e.g. evolution since the Gondwana breakup, present motion and deformation in the Antarctic plate. Moreover, research results and problems concerning the Antarctic plate were presented and future research plans were discussed. Possible causes of the great earthquake were narrowed down to two possibilities, glacial isostatic rebound and deformation of the Antarctic Plate due to plate motion.

要旨: 1999年2月12日に「1998年3月25日の南極地震と南極プレートの進化に関する研究集会」を行った。本研究集会は、 Gondwana分裂から今日までの南極プレートの進化、現在の動き、変形等を様々な側面から総合的に検証することにより、1998年3月25日の南極プレート内の巨大地震を再検討し、この地震の原因にせまることを主たる目的とした。さらに、南極プレートの研究の現状と問題点を明らかにし、これらを基に今後の研究・観測に関する議論を行った。本研究集会により、1998年3月25日の南極巨大地震の主たる原因の候補は、氷床変動によるアイソスタティック・リバウンドおよびプレート運動に伴うプレート内変形の二つに絞られた。

1. はじめに

1998年3月25日に南極プレート内で表面波マグニチュード (Ms) 8.0 という巨大地震が発生した。震源は、南極大陸から約300km沖の南緯62.877度、東経149.527度である。この地震の発生した場所を図1に示す。この震源は、南極プレート内の海洋プレートの部分に位置しており、南極プレート内で起こった最大の地震である。この地震の震源メカニズムの解は、横ずれ断層を示し、節面の走向は東西または南北である。この付近のフラクチャーゾーンの走向はほぼNNW-SSEであり、震源メカニズムの節面の走向と一致しない。また、南極プレートではプレート内地震の発生頻度は少なく、比較的安定なプレートであると考えられ

* 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

ている。このように、今回の海洋プレート内の最大の地震の原因に関しては未だ謎が多い。

南極プレートはプレートのほぼ中央に南極大陸が位置し、南米および南極半島の一部を除き周りを発散境界である中央海嶺に囲まれている。また、南極大陸縁辺海域は、南極半島の一部を除き大陸の分裂境界から成り立っており、南極大陸の周辺海域には大陸分裂とそれに伴う海洋底拡大の履歴が刻み込まれている。特にインド洋に面した境界部分では、ホットスポットの活動と大陸分裂が相前後して起こっており、大陸の分裂機構とその原動力を解明するための格好のフィールドである。しかしながら、南極域は測定や観測点が少なくデータが不足している地域でもある。一方、最近では、国際プロジェクトであるインターリッジ・プロジェクトにより、発散境界である海嶺のメカニズムに関する研究が大きく進められており、また、人工衛星の利用により、測地学的観測が著しく進展し、観測の困難な南極プレート内に関する情報量も飛躍的に増大した。このような中、現在までに南極プレートおよびその境界で得られている観測船、地震、人工衛星、プレートモーションなどのデータを総合的に評価し、これらのデータをもとに南極プレートの進化の全体像を再評価する必要がある。

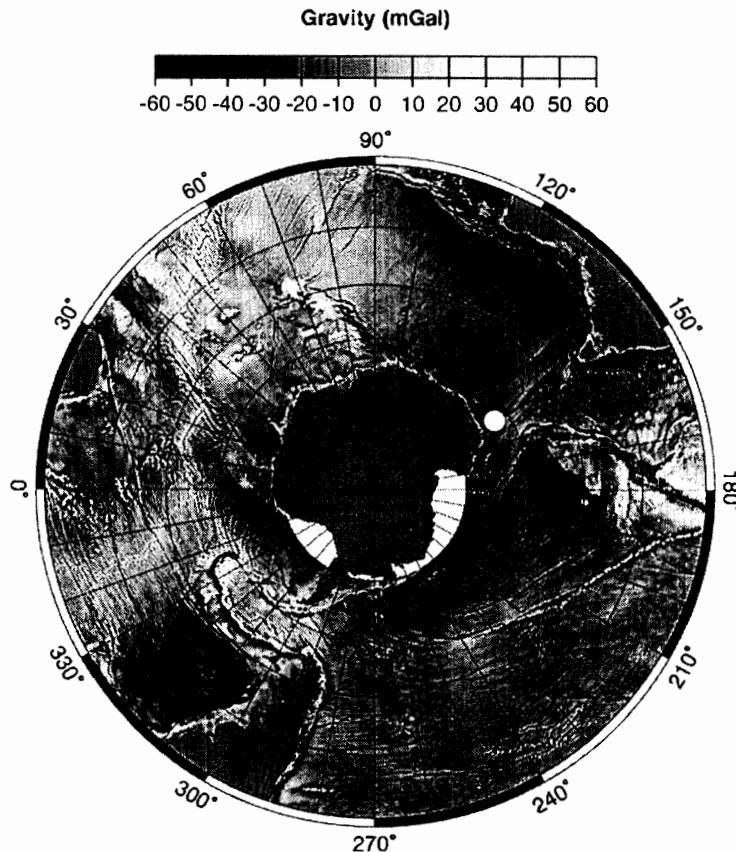


図 1 SANDWELL and SMITH (1997) の衛星による重力異常図。白丸が南極地震の震央。作成には GMT (WESSEL and SMITH, 1991) を使用した。

Fig. 1. Satellite derived gravity anomaly map (SANDWELL and SMITH, 1997). The open white circle shows the epicenter of the Antarctic earthquake. This map was produced by GMT (WESSEL and SMITH, 1991).

南極プレートの進化と1998年3月25日の巨大地震の原因は密接に関わっていることが予想され、南極プレートの進化の再評価は、南極地震の原因を解明する糸口となることが期待される。

1998年3月25日の南極プレート内の巨大地震の成因にせまることを主たる目的として、1999年2月12日に「1998年3月25日の南極地震と南極プレートの進化に関する研究集会」を行った。参加人数は30名、発表件数は21件であった。本研究集会は、ゴンドワナ分裂から現在の南極プレートの状態、現在の動き、変形等を様々な側面から総合的に検証することにより、1998年3月25日の巨大地震の再検討を行った。また、これに付随して、南極プレートの研究の現状と問題点を明らかにし、これらを基に今後の研究・観測に関する議論も行った。本研究集会では、ゴンドワナ分裂、南極プレートの進化・変形・運動等の様々な研究結

表 1 1998年3月25日の南極地震と南極プレートの進化に関する研究集会プログラム
Table 1. Program on the meeting of Antarctic great earthquake and the evolution of the Antarctic plate.

セッション	講演題目	講演者(所属)
ゴンドワナ分裂と南極プレート	古地磁気からみたゴンドワナ ゴンドワナ分裂と南極海の形成 南極プレートのテクトニクス	石川尚人(京都大) 野木義史(極地研) 玉木賢策(東京大海洋研)
南極プレート境界の進化	太平洋-南極海嶺 南極半島およびスコチア海周辺 Bransfield 海峡の地下構造探査 南極プレート境界中央海嶺の地球化学的特徴 南極プレート内の熱流量 南極プレートの重力, ジオイド ホットスポット基準系からみた南極プレートの絶対運動	島 伸和(千葉大) 棚橋 学(地質調査所) 島村英紀(北大) 熊谷英憲(東京大地震研) 長尾年恭(東海大) 福田洋一(京都大) 原田 靖(国土地理院)
南極プレートの運動および変形	南極プレートの現在の動き 氷床変動とアイソスタティック・リバウンド 重力ポテンシャルエネルギーと南極大陸への応用 南極内プレート地震の示す応力場 プレート内地震(フレンチポリネシアの例)	日置幸介(国立天文台) 中田正夫(九州大) 田中俊行(東濃地震科学研究所) 久保篤規(東京大地震研) 吉田康宏(気象研)
1998年3月25日の南極地震	1998年3月25日の南極地震 1998年3月25日の南極地震の震源過程とモーメントテンソル解 1998年3月25日の南極地震の余震活動 1998年3月25日の南極地震の解釈 マコリートリプルジャンクション近傍の相対運動とプレート内部変形 南極地震震央付近の海底の年代	神沼克伊(極地研) 久家慶子(京都大) 小林励司(極地研) 坪井誠司(防衛大) 久保篤規(東京大地震研) 野木義史(極地研)

果・話題提供がなされた。今回の研究集会のプログラムを表1に示す。四つのセッションに分けて、それぞれ研究成果・話題提供が行われた。以下に、それぞれのセッションの講演の概要を示す。

2. セッション概要

2.1. ゴンドワナ分裂と南極プレート

このセッションでは、ゴンドワナの形成・分裂とそれともなう南極プレートの形成に焦点をあてて、3講演が行われた。最初に「古地磁気からみたゴンドワナ」という題名で、古地磁気学的手法からゴンドワナの形成に関するレビューが行われた。次が、「ゴンドワナ分裂と南極海の形成」でゴンドワナ分裂から南極海を太平洋、スコチア海、大西洋、インド洋の各セクションに分けて、それぞれの海域の現在分かっている海洋底の形成とそのテクトニクスの概要が述べられた。最後は「南極プレートのテクトニクス」で、現在使用可能なデータを用いたゴンドワナの分裂とそれに伴うそれぞれ大陸の動きについての講演が行われた。この講演は、南極大陸のゴンドワナ分裂からの挙動に焦点があてられ、太平洋・スーパープレームとアフリカ・スーパープレームとゴンドワナ分裂との関わりが示唆された。中でも、ゴンドワナ分裂から南方へ移動していた南極大陸が8300万年前ごろには、ほぼ現在の位置に到達し動きを止め、それに対応するように同時期にオーストラリアが南極から非常にゆっくりした速度で北方への移動を始めていくという事であった。このセッションを通して、ゴンドワナの形成および分裂過程を語る上で、データがまだまだ不十分であることが認識された。

2.2. 南極プレート境界の進化

本セッションでは、南極プレート内の現在の状態とその境界での観測結果等を扱った。現在の南極プレートの境界のほとんどを占める海嶺系のテクトニクや地球化学的特徴、南極プレート内では特異な境界である南極半島周辺での観測結果、また、過去の南極プレートの絶対運動、現在の南極の熱流量や重力の観測についての講演が行われた。

「太平洋—南極海嶺」では、インターリッジ・プロジェクトの一環として行われたフランスとの共同観測の結果が報告され、プレート運動の方向変化に呼応した太平洋—南極海嶺系のテクトニクスに関する興味深い講演が行われた。

次の二つの講演は、「南極半島およびスコチア海周辺」、「Bransfield 海峡の地下構造探査」という題名で、南極プレート内では特異な境界である南極半島周辺での観測結果が報告された。南極半島周辺付近、特に Bransfield 海峡は、南極プレート境界の中でも、現在も沈み込みが起こっているかもしれないと考えられている海域である。「南極半島およびスコチア海周辺」では、主に白嶺丸で行われた南極半島周辺の反射法地震探査の結果が紹介され、

「Bransfield 海峡の地下構造探査」では、ポーランドと共同で行われた海底地震計観測から得られた Bransfield 海峡の地震波速度構造の結果が報告された。

次に、「南極プレート境界中央海嶺の地球化学的特徴」に関するレビューが行われた。南半球では広域で「Dupal 異常」と言われる同位体異常が報告されている (HART, 1984)。「Dupal 異常」と南極プレート境界中央海嶺の中で AADZ (Australia-Antarctic Discordance Zone) と呼ばれる特異な地域の地球科学的な特徴を中心に、南極プレート境界でのマンツルの挙動等が議論された。

「南極プレート内の熱流量」では、南極プレート内で得られている熱流量の分布がレビューされた。これによると、南極プレート内で測定された熱流量が、海底の年代、言い換えればリソスフェアの厚さから予想される熱流量より、ほとんどが 10-30% 程度高い値を示すことが報告された。この原因は定かではないが、地表の温度等が大きく係わって見かけ上高熱流量を示している可能性が示唆され、今後南極プレート内の熱流量分布を使用する場合注意が必要であることが明らかになった。

人工衛星高度計では最近数 cm の精度で地表面からの高度の観測が可能で、海上での衛星高度データから重力異常を求めることができる。この重力異常は、ほぼ海底地形を反映したものであり、人工衛星でカバーできる範囲で海底地形情報を手に入れることができる。これは、特に南極海のような観測が困難でデータが少ないところでは有効な手段である。現在では衛星高度データから、北緯 72 度から南緯 72 度までの海上での詳細な重力異常図が求められており、波長 20 km 程度までの構造物が検出可能である。「南極プレートの重力、ジオイド」では、南極域での人工衛星による重力異常および地表観測による重力測定のリビューを行い、さらに衛星高度計データを使用したより細かい構造を検出する試みや、今後の人工衛星重力観測計画についての報告が行われた。

最後に、「ホットスポット基準系からみた南極プレートの絶対運動」という題名で、南極プレートの絶対運動に関する結果が報告された。南極プレート内では基準系となるホットスポットの軌跡が現在のところ不明なので、アフリカ・プレートおよび太平洋プレートのホットスポット基準系から導き出される、南極プレートの絶対運動が示された。この結果、アフリカ・プレートおよび太平洋プレートから導き出される南極プレートの絶対運動は、ほとんど合わず、今後の解析手法の開発や観測の必要性が議論された。

2.3. 南極プレートの運動および変形

このセッションでは、南極プレートの現在の動きや変形に焦点をあて、衛星測地による現在の南極大陸の動きや地震からみた応力場、氷床変動にともなう地殻の変動等の報告が行われた。

最初に、「南極プレートの現在の動き」という題目で、VLBI, GPS, DORIS を使用した宇

宙測地データをもとにした最近の南極プレートの動きがレビューされた。南極における宇宙測地観測はまだ少ないものの、それらの観測によって最近では現在の南極プレートの動きが実測できるようになってきた。これらの結果から予想されるプレート運動とのずれや東南極と西南極の動きの若干の差等が示唆されているが、まだ観測期間も不十分であり、より精度良く南極プレートの運動を決定するため、今後の観測に期待がよせられた。

「氷床変動とアイソスタティック・リバウンド」では、氷床変動にともなう海面変動と、それを説明するためのいくつかのモデルによる計算結果が報告された。これにより、いくつかのモデルにより求められたアイソスタティック・リバウンドに伴う地殻の動きが示された。

「重力ポテンシャルエネルギーと南極大陸への応用」は、重力ポテンシャルエネルギーに焦点をあて、これが南極プレートの水平方向の応力源であるという観点から、南極プレートの水平方向の変形を重力ポテンシャルエネルギーを使用して説明しようとするものである。しかしながら、氷床変動によるアイソスタティック・リバウンドによる地殻変動の分離のように、南極プレートの水平方向の変形を重力ポテンシャルエネルギーから推定するためのデータは未だ不十分であり、今後の観測が期待される。

「南極内プレート地震の示す応力場」では、地震のメカニズム解を用いた南極プレート内の応力場の推定に関する報告が行われた。ここでは、Bellingshausen Sea, Juan-Fernandez マイクロプレート南方沖、Balleny 島付近、Kerguelen 島付近の4地域で、特徴的な応力場の結果が示された。しかしながら、大陸内、大陸縁部分では地震が少なく応力場の推定が現状では困難であることも明らかになった。

最後に「プレート内地震（フレンチポリネシアの例）」の報告が行われた。これは、太平洋プレート内で起こったプレート内地震の地震のメカニズムに関する解析結果が示され、今回の南極地震と同様なプレート内地震の例として、それぞれの地震が比較され議論された。

2.4. 1998年3月25日の南極地震

最後のセッションは、1998年3月25日の南極プレート内の巨大地震そのものを対象として、震源過程、余震活動や解釈の試み等の講演が行われた。最初に、「1998年3月25日の南極地震」の概略が説明された。これにより、これまでの南極内での地震活動や今回起きた南極地震の規模等の報告が行われた。

「1998年3月25日の南極地震の震源過程とモーメントテンソル解」では、南極地震の震源過程およびモーメントテンソル解の解析結果が示された。表面波の解析結果からこの地震が西向きへの破壊伝搬の指向性が見られ、また、震源過程が複雑であることが明らかになった。

「1998年3月25日の南極地震の余震活動」は、余震活動を中心にした報告がなされた。余震活動からも断層面が東西であることが指摘された。また、小さい地震が比較的多く、余震が長引いていることが示唆された。

次の2講演は、南極地震の解釈を試みたもので、一方は、アイソスタティック・リバウンドによる変形、もう一方は、プレート運動に伴うプレート内変形が原因という立場をとるものであった。「1998年3月25日の南極地震の解釈」では、アイソスタティック・リバウンドによる変形による解釈を扱ったもので、地震の発生した地域の近傍の氷床変動に伴うアイソスタティック・リバウンドによる水平方向の変位が、東西方向であることから、これを主たる南極地震の原因として解釈を行った。一方、マックオリー・トリプルジャンクション近傍の相対運動とプレート内部変形では、プレート運動に伴うプレート内変形を原因として南極地震の解釈の試みが行われた。これは、南極地震の発生した場所の北東側には、マックオリー・トリプルジャンクションが存在し、トリプルジャンクション付近の地震のスリップベクトルが、予想される運動からずれていることから、トリプルジャンクション付近の安定性とそれにもなう歪みを今回の地震の主たる原因として解釈を行ったものである。アイソスタティック・リバウンドによる変形とプレート運動に伴うプレート内変形が今回の南極地震の原因の有力な候補であることは間違いなさそうであるが、両者とも定量的な議論が不十分であり、今後の観測およびモデル計算が切望される。

最後に「南極地震震央付近の海底の年代」の報告が行われた。今回地震の発生した場所は、偶然にも毎年南極観測船「しらせ」がシドニーへ北上を開始するポイントの近傍で、この付近で得られた地磁気異常データを基に年代の推定が行われた。その結果、地震の起こった付近の海底が、約3500万年の海底であることが明らかになった。また、人工衛星による重力異常(SANDWELL and SMITH, 1997)によるこの付近のリニアメントを細かい部分まで検出すると、Ballenyフラクチャーゾーンより西では、東西に近い小規模のリニアメントが存在すること、およびBallenyフラクチャーゾーンより東ではほとんど余震活動がないことが示唆された。

このセッション終了後、総合討論が行われ、南極プレートの進化と南極地震に関する、多くの議論がなされた。また、未だデータの少ない南極プレートの将来的な調査・観測等も議論された。

3. おわりに

本研究集会を通して、1998年3月25日の南極地震の主たる原因が、氷床変動によるアイソスタティック・リバウンドおよびプレート運動に伴うプレート内変形の二つのうちどちらかであることが推定された。しかしながら、上述したように、両者とも定量的な議論が不十分であり、今後の観測およびモデル計算が切望される。現在、観測量が増え、南極プレートの進化や現在の運動等も徐々に明らかになってきている。しかしながら、未だ他の地域に比べ、圧倒的にデータが不足している。南極プレートの進化と大陸の分裂機構とその原動力を解明するためにも、更なる調査・観測が必要とされる。

謝 辞

本研究集会を開催するにあたって、多くの方々に講演、参加いただき、国立極地研究所地学部門の方々には、多くのサポートをしていただいた。国立極地研究所の神沼克伊教授には、原稿に目を通していただき、多くの助言をいただいた。また、国立極地研究所の峯岸素子氏には、本研究集会の準備その他お手伝いいただいた。

文 献

- HART, S.R. (1984): A large isotope anomaly in the Southern Hemisphere mantle. *Nature*, **309**, 753-757.
SANDWELL, D.T. and SMITH, W.H.F. (1997): Marine gravity anomaly from Geosat and ERS-1 satellite altimetry. *J. Geophys. Res.*, **102**, 10039-10054.
WESSEL, P. and SMITH, W.H.F. (1991): Free software helps map and display data. *EOS: Trans.*, **72**, 445-446.

(1999年5月30日受付; 1999年6月1日改訂稿受理)