寄 書

余震再決定から推定した 1998年パプアニュー ギニア地震の断層面

——CTBT 国際データセンター
のデータによる——

建設省建築研究所企画部*

古川 信雄

A Fault Plane of the 1998 Papua New Guinea
Earthquake Estimated from Relocated
Aftershocks Using Data of the
International Data Center of CTBT

Nobuo HURUKAWA

Research Administration and Management
Department, Building Research Institute,
Ministry of Construction, Tatehara 1,
Tsukuba, Ibaraki 305-0802, Japan

(Received January 7, 1999,
Accepted March 17, 1999)

§1. はじめに

1998年7月17日、ニューギニア島の北部沿岸で M_s 7.1 (M_w 7.1) の大地震が発生し、パプアニューギニア国に津波による大被害が生じた (Fig. 1)。本地震の発震機構は、プレート境界でよく起こるいわゆる低角逆断層型である。その節面は、ハーバード大学 CMT 解 (速報) によれば、低角節面が北西-南東走向で南西傾斜、高角節面が西北西-東南東走向で北北東傾斜である (Fig. 1)。ニューギニア島からニューブリテン島、ソロモン諸島にかけての地域は、オーストラリアプレートと太平洋プレート、カロリンプレートの会合部にあたり、北ビスマルクプレートや南ビスマルクプレート、ソロモンプレート等のマイクロプレートが存在している極めて複雑な地域である。

本地震発生場所はニューギニア島北部沿岸のウィーク海溝 (ないしニューギニア海溝の東部) 付近であり、ここでは、ニューギニア島の大半が載っているオースト

ラリアプレートの下に、北ビスマルクプレートないしは太平洋プレートが沈み込んでいると考えられている [例えば, TREGONING *et al.* (1998)]。

本研究では、地震直後に公開されたデータを用いて、本地震の余震の震源再決定から本地震の断層面を求め、津波被害やテクトニクスとの関係を考える。

§2. データ

解析には、「包括的核実験禁止条約 (CTBT)」用の「国際データセンター (IDC)」で使われている地震データを用いた。IDC の本来の目的は、世界中に地震観測等による核実験監視網を設置し、核実験の実施を国際的に監視することである。各観測所からの観測データは「包括的核実験禁止条約機構本部」に設置された IDC に送られ、処理されている。IDC は小規模核実験の検知を目的としているために、米国地質調査所の「国立地震情報センター (NEIC)」や「国際地震センター (ISC)」が報告する

1998.1-7, IDC

Fig. 1. Maps of hypocenters determined by the International Data Center (IDC) of Comprehensive Test Ban Treaty Organization (CTBTO) for the period January 1 to July 31, 1998. The Harvard CMT solutions of the 1996 Biak (M_w 8.1) and the 1998 Papua New Guinea (M_w 7.1) earthquakes are also shown. Symbol sizes correspond to four magnitude (M) groups as follows: (1) smallest: $M < 4.0$, (2) second smallest: $4.0 \leq M < 5.0$, (3) second largest: $5.0 \leq M < 6.0$, (4) largest: $6.0 \leq M$. Note that since magnitudes we used are IDC magnitudes, a largest magnitude is 6.6 in this figure. Thick lines indicate plate boundaries. NGT: New Guinea Trench, WT: Weewak Trench.

* 〒305-0802 茨城県つくば市立原 1

地震よりも小さい地震まで検知している。また、地震情報のデータ処理と報告も速く、最終版はおおよそ1週間後にできあがり、ホームページ上で公開している。本データの地震学的有効性を調べることは、本論文の目的の一つでもある。なお、IDCのデータについては上垣内(1996)に説明がある。

震源決定に用いるP波初動読み取り値は、IDCのホームページ(<http://www.pidc.org>)から、最終版であるREBs (Reviewed Event Bulletin) を取得した。解析した地震の発生期間は1998年1月1日から同年7月31日まで、範囲は緯度5°S-1°S、経度140°E-144°Eである。地震総数は231個である。これら地震の最小マグニチュードは3.7であり、マグニチュードの最大頻度はM4.2である。但し、IDCでは、M4.6程度以上の地震のマグニチュードは小さめに決まっているので、以下の図ではNEICのQEDマグニチュードが5以上の地震についてはQEDマグニチュードの M_B と M_s の大きい方に変更した。例えば、 M_s 7.1の本震のマグニチュードはIDCでは4.3である。

§3. 震源決定

震源決定には、HURUKAWA (1995) と同様、連係震源決定法(JHD)の改良版(MJHD)を用いた。この方法では、速度構造の水平方向不均質の影響を観測点補正值として取り除く。それ故、震央と深さの絶対値はあまり信頼できないことがあるが、相対位置の信頼性は高く、余震分布から本震の断層面を求める本研究には適している。

解析した地震は前記231個中、8観測点以上で観測された62個である。走時残差2.0秒以上の読み取り値を逐次取り除きながら震源を計算した。最終的には、地震5個以上を観測した観測点31点(Fig. 2)を用いて、47個の地震の震源を決定した。最も近い観測点はパプア

Fig. 2. Thirty-one stations used in this study for the relocation of the 1998 Papua New Guinea earthquake sequence. An asterisk at the center of the left map represents the epicenter of the main shock.

ニューギニアのPMG(本震の震央距離は約8度)で、最も遠い観測点はブラジルのBDFB(震央距離: 約159度)である。

なお、本方法で震源決定すると、半分以上の地震の深さが0 kmになり、相対位置を正しく求められないので、震源が全体的に深くなるように、HURUKAWA and Imoto (1992) の拘束条件の一つである $\Sigma(SC_i * D_i) = 0$ を変更して、 $\Sigma(SC_i * D_i) = 0.5$ とした。ここに、 SC_i と D_i は*i*番目の観測点の観測点補正值と震央距離である。この式は、震央に近い観測点に小さい観測点補正值を、震央に遠い観測点には大きい観測点補正值を与えて、震源の深さを深くすることを意味する。それ故、求めた深さの絶対値には意味はなく、信頼できない。本地震の場合、津波発生等の事実から、実際の深さは計算値よりも約20 km 浅いと推定される。

§4. 結 果

再決定した地震のうち、7月に発生した地震の震源をFig. 3aに示す。断面図は、海岸線と海溝軸に平行(図中AB, N70°W-S70°E)及びそれらに垂直(図中CD, N20°E-S20°W)な走向に示す。なお、ABはCMT解の高角節面に平行な走向でもある。比較のために、Fig. 3bとFig. 3cにそれぞれIDCとNEIC震源速報値(QED)の震源を示す。これらではほとんど全ての地震の深さがそれぞれ0 kmと33 kmに固定されていることがわかる。一方、再決定した震源(Fig. 3a)では、誤差が大きいなりにも、深さが決定されている。

誤差(特に、深さの誤差)が大きいので、このFig. 3aだけからでは本震の断層面はわかりにくい。そこで、深さの誤差が40 km以下でかつ走時残差の標準偏差が0.7秒以下の余震の震源分布をFig. 4に示す。「走時残差の標準偏差」を基準の一つに選んだ理由は、たとえ見かけ上の計算誤差が小さくても、走時残差が大きいことがあり、この場合は実際の誤差が計算上の誤差よりも大きいと思われるためである。Fig. 4aは本震発生後24時間以内の余震を、Fig. 4bは余震のほとんどが発生したと思われる期間の地震活動を示す。これらの図と本震のCMT解から、本震の断層面は「西北西-東南東走向で高角北北東傾斜」である可能性が高いことがわかる。

残念ながら、本震の震源位置の精度は悪く、これらの図に本震は示されていない。本震の震源位置の精度が悪い理由は、本震着信時の読み取り値が多く観測点で、他の地震の読み取り値より悪いためである。その理由は、本破壊の約10秒前に初期破壊があったと考えられるので、初動読み取り値にばらつきが多いためであろう。

a

b

c

§ 5. 議 論

本震の大きさは、 M_s 、 M_w とも7.1であり、海溝のプレート境界で発生する通常の低角逆断層型地震（低角節面が断層面）にしては、津波が大きいと考えられている。例えば、日本の場合ではあるが、陸上でも災害を起こす可能性がある津波がおこるのは、 M 7.5以上と見なされている [梶浦 (1976)]。断層面が低角ではなく高角であることは、大きな津波発生と調和的である。谷岡 (1998) によれば、日本で観測された本地震の津波は、低角逆断層を用いた場合は津波計算値が小さくうまく説明できないが、高角逆断層を用いた場合はよく説明できる。我々の余震分布から推定した地震断層は、遠地津波からの推定と良く一致する。

河田 (1998) と都司・他 (1998) の津波現地調査によれば、最大の津波高は15 mである。津波高が5 mを超える区間は東経142.0度から142.4度までの約40 kmの区間であり、本研究で求めた余震分布の東西方向の広がりとおおよそ一致する。このことから、余震の震央位置の絶対精度も、少なくとも東西方向の位置についてはそ

Fig. 3. Hypocenter distribution of the 1998 Papua New Guinea earthquake sequence during the period from July 1 through July 31, 1998. Epicentral distribution and two vertical cross sections along A-B ($N70^{\circ}W-S70^{\circ}E$) and C-D ($N20^{\circ}E-S20^{\circ}W$) are shown. Note that the origin of (x, y) coordinate is ($142.2^{\circ}E, 2.9^{\circ}S$). (a) Hypocenters of relocated events by the MJHD method in this study. Note that since we relocated earthquakes making their focal depths deeper artificially, absolute values of focal depths have no meanings. Real focal depths may be approximately 20 km shallower than those shown in the figure. Bars represent standard errors of hypocenters. (b) Hypocenters determined routinely by the IDC. (c) Hypocenters by the NEIC Quick Epicenter Determinations (QED).

んなに悪くないと推定される。但し、彼らは現地の津波（被害状況）を説明するには、本地震時の断層運動だけでは不十分で、本地震に誘発された大規模海底地滑りも津波の要因として考えている。もしもその考えが正しければ、地震断層面の位置と津波高の分布とに比較の意味はなくなる。

菊地・他 (1998) は本震の遠地実体波解析から、本地震にシングルフォースは関与しておらず、通常のダブルカップル地震であることを示した。但し、断層面が低角・高角どちらの節面であるかは結論でなかった。

本地震発生場所はニューギニア島北部沿岸のウィーク海溝（ないしニューギニア海溝の東部）付近であり、その南ではやや深発地震も発生している [例えば SENO and KAPLAN (1988)]。しかし、本解析から本地震はプレートの沈み込みを示す低角逆断層地震ではなかったようだ。なお、TREGONING *et al.* (1998) はこの付近で GPS

Fig. 4. Hypocenter distribution of well-relocated aftershocks of the 1998 Papua New Guinea earthquake in the following 2 periods (a, b). Criteria are $dZ < 40$ km and $STD < 0.7$ s. Since the STD (standard deviation of travel-time residuals) of the mainshock is 0.9 s, the mainshock is not shown in this figure. Note that since we relocated earthquakes making their focal depths deeper artificially, absolute values of focal depths have no meanings. Real focal depths may be approximately 20 km shallower than those shown in the figure. (a) 08:49 GMT, July 17, to 08:49 GMT, July 18, 1998. This figure includes the located aftershocks within 24 hours after the mainshock. (b) July 17 to 24, 1998. This frame includes all aftershocks located. Note that no aftershocks were well relocated from July 25 to 31.

観測を実施したが、北ビスマルクプレートが存在するかどうかは確認できなかった。

一方、ウィーク海溝の西への延長部であるニューギニア海溝はカロリンプレートとオーストラリアプレートの境界である。しかし、ここではいわゆるプレート境界地震が発生していなかったため、SENO and KAPLAN (1988) は現在ここではプレートの沈み込みは起こっていないと考えた。しかし、WALUYO and HURUKAWA (1997) はニューギニア島西部の北岸で1996年に発生したビアク地震 (M_w 8.1) の余震の震源再決定を行い、この地震が低角節面が断層面である低角逆断層型地震であることを明らかにした。それ故、ニューギニア島西部でもプレート沈み込みが起きているのは確かであろう。

本解析では、本震と余震だけでなく本震発生以前の地震も加えて震源の再決定を行った。理由は、地震数を増やして、解析精度を上げるためであった。本論では余震分布についてのみ記してきたが、直前前震と推定される地震は、震源決定した地震を見る限り、発生していないこともわかった。

§6. 終わりに

1998年パプアニューギニア地震の本震の断層面は、再決定した余震分布から「西北西-東南東走向で高角北北東傾斜」である可能性が高い。

今回解析に用いた、包括的核実験禁止条約 (CTBT) 用の国際データセンター (IDC) のデータは、観測点数は少ないが、読み取り精度はよく (各観測点の走時残差の標準偏差は0.8秒程度)、震源結果も信頼性が高く、研究目的にも十分使えることがわかった。また、地震発生直後に震源と読み取り値の速報が、更に、地震発生後1週間以内にはそれらの最終版がインターネット上で公開されており、誰でも自由に入手でき、速報性も高い。

謝 辞

査読者の意見は原稿の改善に役立ちました。

文 献

- HURUKAWA, N., 1995, Quick Aftershock Relocation of the 1994 Shikotan Earthquake and its Fault Planes, *Geophys. Res. Lett.*, **22**, 3159–3162.
- HURUKAWA, N. and M. IMOTO, 1992, Subduction of Oceanic Crusts of the Philippine Sea and Pacific Plates and Weak-Zone-Normal Compression in the Kanto District, Japan, *Geophys. J. Int.*, **109**, 639–652.
- 梶浦欣二郎, 1976, 津波, 「東京大学公開講座 24 地震」, 東京大学出版会, 199–232.
- 上垣内 修, 1996, 包括的核実験禁止条約をめぐる地震

- 学関連の最近の動き, 日本地震学会ニュースレター, **8**, 34-36.
- 河田恵昭, 1998, 現地調査「バプアニューギニアの巨大津波」, SClaS, **3**(17), 4-7.
- 菊地正幸, 山中佳子, 阿部勝征, 森田裕一, 1998, 1998年7月17日バプアニューギニア地震 (M_s 7.1) の遠地実体波による震源過程, 日本地震学会 1998 年度秋季大会講演予稿集, P62.
- SENO, T. and KAPLAN, D. E., 1988, Seismotectonics of Western New Guinea, J. Phys. Earth, **36**, 107-124.
- 谷岡勇市郎, 1998, 1998年7月17日バプア・ニューギニア地震—日本で観測された津波の解析から—, 日本地震学会 1998 年度秋季大会講演予稿集, C61.
- TREGONING, P., K. LAMBECK, A. STOLZ, P. MORGAN, S. C. McCLUSKY, P. BECK, H. McQUEEN, R. J. JACKSON, R. P. LITTLE, A. LAING and B. MURPHY, 1998, Estimation of Current Plate Motions in Papua New Guinea From Global Positioning System Observations, J. Geophys. Res., **103**, 12181-12203.
- 都司嘉宣, 河田恵昭, 高橋智幸, 今村文彦, 松富英夫, 藤間功司, 松山昌史, 1998, 1998年7月17日バプア・ニューギニア Aitape 地震津波の現地調査, 日本地震学会 1998 年度秋季大会講演予稿集, C60.
- WALUYO, B. and N. HURUKAWA, 1997, Hypocenter Determination of the 1996 Biak Earthquake, Indonesia, 日本地震学会 1997 年度秋季大会講演予稿集, A55.