

1972年2月29日八丈島東方沖地震 についての2,3の考察*

山 本 雅 博**

550. 340

Note on the Earthquake of February 29, 1972, off East Coast of Hachijo-jima

Masahiro Yamamoto

(Seismological Division, J. M. A.)

A large earthquake occurred off Hachijo-jima Island on Feb. 29, 1972. Though Hachijo-jima region belongs to the active zone of Izu-Mariana, in the past the seismic activity near this region was not so high. It is very interesting to know the precise hypocenter of this earthquake, especially, in connection with the concept of lithosphere.

Since the seismograph network is only on one side of the epicenter and furthermore no stations can be found in the near field, it is very difficult to locate accurately earthquakes in this region.

The author re-located the hypocenter using not only JMA data but also all available data of university stations. In re-calculation, many precise data of P arrival time in a relatively short distance (120 km—550 km) are used.

The re-located hypocenter is located in the middle of JMA's and NOAA's hypocenters. It is noticeable that the location accuracy of the hypocenter is more influenced by the distribution of the seismic stations rather than the employed travel-time table and the accuracy of used data.

From the re-computed hypocenter and origin time, it was found that the velocity of S wave is 2—3% larger in NE Japan and smaller in SW Japan than the normal velocity. On the other hand, in P wave, there is not so much anomaly. The seismic intensity contours of this earthquake extends towards in NE Japan. The abundant short period waves are also found in the seismograms in NE Japan, but not in SW Japan. These phenomena suggest that the path towards NE Japan is High- V and High- Q , and Low- V and Low- Q towards SW Japan.

Two significant phases (X_1 and X_2) appear after P wave, especially in the region of Sanriku Coast (NE Honshu). X_1 phase appears 5 to 6 sec and X_2 phase about 10 sec after P wave. It is possible to explain that these phases are converted from P wave to S wave at 20 km and 60 km depth respectively.

1. はじめに

1972年2月29日、八丈島東方沖に、この地域としては珍らしく大規模な地震が発生した。この地域は伊豆—マリアナ活動帯に属しているが、過去における地震活動度は比較的低い地域で、地震発生と他の地球物理学的諸現

象との関連もよくわかっていない。したがって、この地震の正確な震源位置—特に、いわゆる“リソスフェア”のどの部分に相当するか—を知る事は興味あることである。

このために、気象庁の59型地震計 ($T=5$ sec; $V=100$)、67型地震計 ($T=1$ sec; $V=1000$)、火山観測所等の記録を再検測し、さらに各大学等の微小地震観測所の資料を加えて、この地震の震源位置について若干の考察

* Received September 8, 1972

** 気象庁地震課

をおこなった。

2. 資料

調査に使用したデータを Table 1 に示す。気象庁関係の資料は筆者らが再験測したもので、読取値は地震月報のものとは多少差がある。一般に *P* 波は月報のものにくらべ幾分早くなる傾向が認められるが、その差は小さく、大部分が読取り誤差の範囲内のものと思われる。

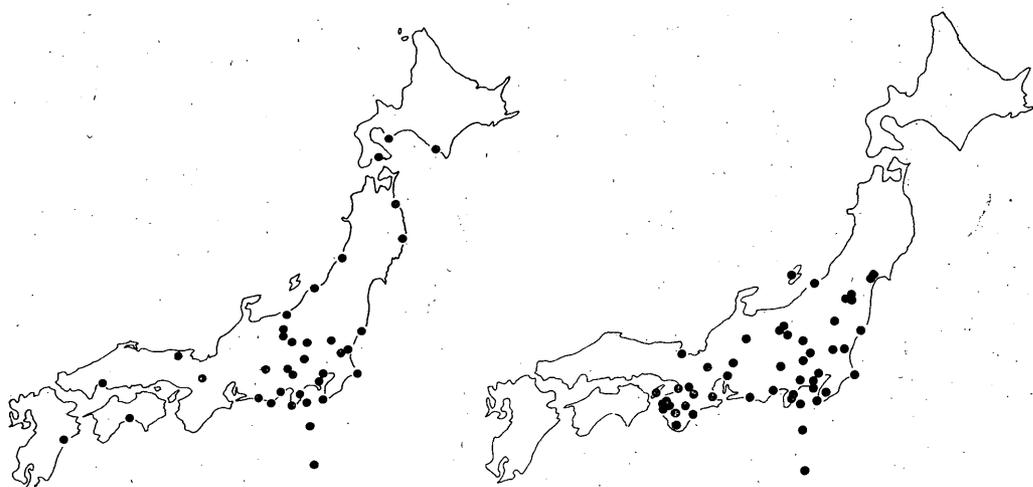
Table 1. Arrival times of *P* and *S* phase

Station	Arrival time (J.S.T)			
	<i>P</i>		<i>S</i>	
Hachijojima	18 ^h	23 ^m 18.2 ^s	23 ^m	33.0 ^s
Miyakejima		22.8		
Tateyama		28.9		
Ajiro		34.6	24	06
Yokohama		36.4		
Choshi		37.4		
Tokyo		39.0		
Shizuoka		41.2	12	
Kumagaya		46.8		
Hamamatsu		46.4		
Kofu		46.8	24	
Mito		47.0	24	
Utsunomiya		49.3		
Maebashi		51.0		
Onahama		52.8	36	
Shirakawa		55.9	42	
Nagoya		56.4		
Matsushiro		58.3	46	
Takayama	24	03.4		
Fukushima		04.2	53	
Hikone		05.1		
Takada		05.5	25	02
Nara		06.1		
Toyama		08		
Osaka		10.4	05	
Sendai		10.4		
Kyoto		10.5	04	
Niigata		10.7		
Yamagata		11.1	08	
Ishinomaki		11.4	09	
Maizuru		14.9		
Aikawa		16.4		
Wajima		17	20	
Sumoto		17.1		
Ofunato		21.0	21	
Murotomisaki		24	35	
Okayama		27.6		
Tottori		28.0		
Miyako		29.9	39	

Morioka	30.0	42
Akita	36.2	48
Ashizurimisaki	37.5	56
Saigo	41	26 03
Hachinohe	41.2	25 56
Hamada	50.5	26 17
Nobeoka	53.5	26
Oita	53.8	24
Hakodate	59.7	35
Miyasaki	25 01.1	
Shimonoseki	02.6	26 34
Kumamoto	04.5	52
Urakawa	05.1	42
Fukuoka	08.2	
Nagasaki	14.0	27 08
Sapporo	17	01
Obihiro	17	00
Kushiro	17.4	01.6
Nemuro	25.7	15.8
Asahikawa	26	21
Abashiri	33.2	28
Wakkanai	59.0	28 00
Oshima	23 29.3	
Nasu	23 55.8	
Bandai	24 02.8	
Adataru	24 03.5	
Azuma	24 05.2	
Asama	23 53.8	
Wakaura	24 12.5	
Oishiyama	24 10.1	
Arita	24 13.0	
Hidaka	24 12.0	
Kainokawa	24 08.5	
Shichikawa	24 05.1	
Sarutani	24 04.5	
Haibara	24 03.5	
Kumano	24 01.1	
Ise	23 54.6	
Oyama	23 38.2	
Okuno	23 33.8	
Tateyama	23 33.3	
Aobayama	24 10.8	
Omineyama	23 59.9	
Inuyama	23 56.6	
Dodaira	23 44.6	
Tsukuba	23 42.9	
Kiyosumi	23 30.0	

3. 震源計算

この地震に対して、観測点の配置は震央の片側に偏在しており、また震央に比較的近い観測点は八丈島が在るのみである。このため、この地域の精度の高い震源を求めることは一般に困難である。



a: Seismic stations used in the calculation of EP 21 and EP 22.

b: Seismic stations used in the calculation of EP 31 and EP 32.

Fig. 1 Distribution of Seismic stations

日本付近に発生した地震の震源が、世界的な観測網によるNOAAのものと、JMAの決めたものとで系統的なずれを示すことが、多くの人達によって指摘されている。たとえば、市川・望月(1971)は本州南方沖地域の地震では、NOAAの震源要素はJMA(和達・益田の走時を用いている)のものにくらべ、平均的に、震央はほぼ西に51 km, 発震時は1.1秒早く、深さは8 km浅くなっている事を指摘している。市川らは、新走時(市川・望月, 1971)を用いた場合にも両者の震源要素の差はさほど小さくならないとしている。

今回の地震の震源は、JMAとNOAAではほぼ50 km離れて決められている。これは上に述べた系統的なずれとほぼ一致した傾向となっている。

ここでは次の様な3種の方法で震源再計算をおこなった。

i) EP 22: EP 21(後述)と同じ観測点の配置(Fig. 1-a)でPの発現時とS-P時間を用い、新走時により計算したものである。なお、59型地震計・67型地震計の設置されている観測点の資料は再検測したものをを用いているので、EP 21のものとは多少資料に差がある。

ii) EP 31: 観測点をFig. 1-bの様に、比較的震央距離の近い地域に限定した。また、多数の資料を付加したため、観測点は密な分布となっている。P波の発現時のみを計算に用い、データは精度の良いと思われるものを選択して使用した。走時は和達・益田のものを用いている。

iii) EP 32: 資料はEP 31と全く同様であるが、新走時を用いている。

なお、NOAA, JMAによる震源をそれぞれEP 10, EP 21とする。

これら5つの震源要素をTable 2とFig. 2に示す。

EP 31とEP 32から、使用した走時(ここでは和達・益田のものと新走時)による震央位置の差はほとんど無く、Origin Timeに差が生じるだけであることがわかる。

また、EP 21とEP 22から、使用したデータの相違が震源決定におよぼす影響はさほど大きくないことがわかる。

EP 31(あるいはEP 32)とEP 21(あるいはEP 22)との差から、観測点の配置による震源要素は前記のものとは比べ大きいといえる。すなわち、震源要素に対する影響は、使用する走時や観測値の相違によるよりは、観測点の配置によるものが大である。

震源計算は一般に、走時偏差が最小になるような位置を求めるものであり、もし地域的な速度異常が存在するとしても、これを無視して計算される。八丈島周辺の地震では東北日本に達する地震波速度と西南日本への速度に差が存在すると推定される。すなわち、速度の速い東北側と、速度の遅い西南側とがほぼ逆方向になるので、観測点の選び方により両者の差が求められる震源位置を左右するものと考えられる。EP 31, EP 32では、この影響を小さくするために比較的震央距離の近い観測点を

Table 2. Hypocenters obtained by various methods.

Abbreviation	Origin Time	Lat.	Long.	Depth
EP 10	18 ^h 22 ^m 59.8 ^s	33°21'	140°47'	56 km.
EP 21	54.7	33 11	141 16	70
EP 22	57.1	33 17	141 11	60
EP 31	57.4	33 21	141 03	60
EP 32	58.5	33 22	141 02	60

EP 10: From the Earthquake Data Reports of the NOAA.

EP 21: From the Seismological Bulletin of JMA.

EP 22: Solution used data of the same stations as EP 21 (Fig. 1-a) and the Ichikawa and Mochizuki travel-time tables (1971).

EP 31: Solution used P data from local stations only (Fig. 1-b) and the Wadati and Masuda travel-time tables.

EP 32: Solution used the same data with EP 31 and the Ichikawa and Mochizuki travel-time tables.

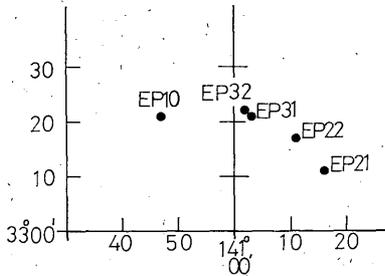


Fig. 2 Locations of the Epicenters in Table 2.

用いた。

Fig. 3はEP 10, EP 21, EP 22, EP 32の各震源について、新走時を用いたP波のO-C(観測値-計算値)分布を示す。EP 21は和達・益田の走時で決められた震源であるので、新走時とのOrigin Timeの差により見かけ上大きな偏差となっている。これを考慮しOrigin Timeを1秒おくらした場合には点線からの偏差分布となる。

Fig. 3によれば、EP 10では全体のばらつきがおよそ近い地点でのばらつきが大きい。

また、EP 21ではOrigin Timeの差を考慮しても大きい点線からのばらつきをしている。EP 32は、全体としてばらつきが最も小さく走時に適合している。

EP 10, EP 21, EP 22の震源計算にはPとS-P時間を用いているが、EP 31, EP 32はPだけを用いている。

S波の検出はP波より困難で、一般に誤差は大きいものと思われる。このため、S波の走時偏差のばらつきは

P波のそれよりはるかに大きい。しかし、EP 32によるものは他の震源要素におけるものより最も小さい。

EP 31とEP 32は上記のように震央位置の差はほとんど無く、用いた走時の相違によって生じたOrigin Timeの差だけである。

以上を総合しEP 32(あるいはEP 31)が比較的良好な震源といえよう。

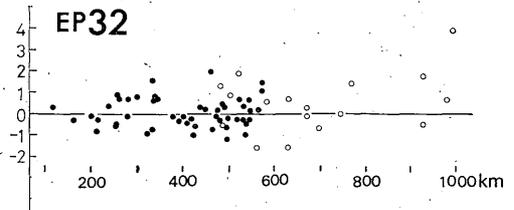
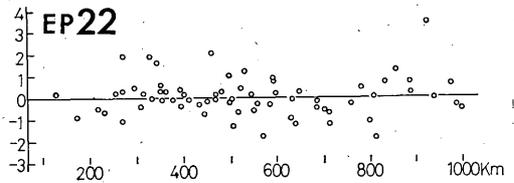
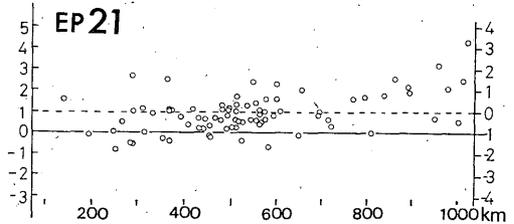
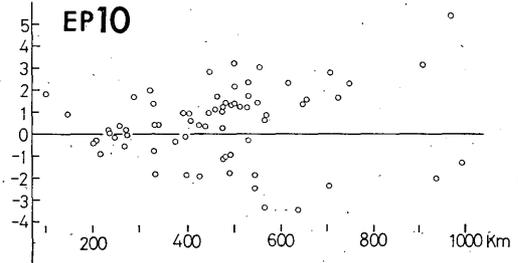


Fig. 3 P residuals (observed-calculated) as a function of distances for the hypocenter in Table 2. The dotted line in the EP 21 represents the zero line when the origin time of EP 21 was late one second.

The closed circle in the EP 32 represents that of the stations used in the calculation of EP 32.

4. 走時異常について

走時異常の量は震源精度や記録の読み取り誤差等に大きく左右されるが、前節で述べたようにEP 32を確からしい震源とすると次のような結果を得る。

Fig. 4は震源から観測点への方位とP波、S波の走時偏差の関係である。

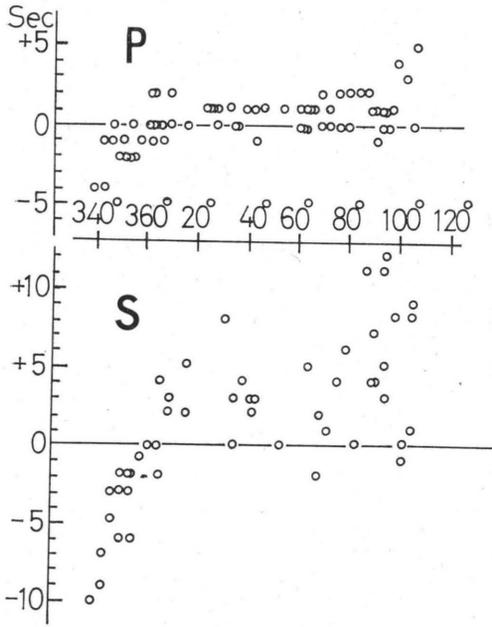


Fig. 4 P and S residuals as a function of azimuth (counter-clockwise) for EP 32.

P波は東北日本側に High V, 西南日本側に Low V の傾向は認められるが、その差は小さい。S波は偏差の絶対値はかなりばらつくがP波と同様な傾向を示している。平均的にみて、東北日本側にほぼ2~3%速く、西南日本側に対しては2~3%遅くなっている。すなわち、両者の差は4~6%となる。このオーダーは宇津 (1967; 6%), 勝又 (1970; 6~7%) 等の結果とほぼ一致している。

Table 3. は紀伊半島に集中している観測点のP波の走時偏差である。これらは絶対値としては小さいがほとんどがマイナスの偏差を示していることが注目される。このことと、金森 (1971) により推定されている紀伊半島付近のリソスフェアと関連するものかどうか興味ある問題である。

Table 3. P travel-time Residual.

These stations locate in Kii Peninsula.

Station	P travel-time Residuals
Ise	-0.4 sec
Kumano	-0.7
Haibara	-0.3
Sarutani	-1.2
Shichikawa	-0.6
Kainokawa	-0.3
Hidaka	-0.3
Oishiyama	-0.3
Wakaura	0.2
Nara	-0.1
Shionomisaki	-0.9

5. 初動付近の顕著な相について

今回の地震記録の中にPの初動から十数秒以内に1ないし2つのかなり顕著な相が認められる観測点がある。これらの相をX₁相、X₂相と呼ぶことにする。Photo. 1にこれらの相が明瞭に出現している石巻の記録を示す。

X₁相はかなり全国的に認められるが、全体としてP波の初動と同様に微弱で不明瞭な地点も多い。

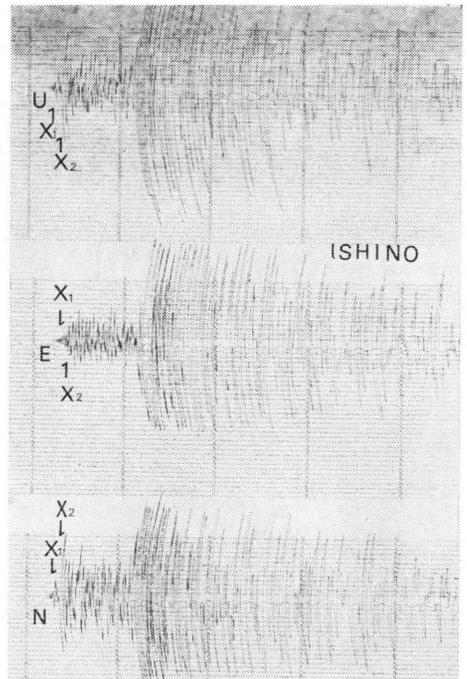


Photo. 1 The seismogram recorded at Ishinomaki, NE-Japan (JMA Intensity Scale: III), showing the two phases X₁ and X₂ between P and S. The short period waves predominate than the long period waves.

X_2 相は三陸沿岸地域の観測点のみに出現しており、その振幅は大きく X_1 相に較べてはるかに顕著である。しかし、他の地域の観測点では X_2 相の識別は困難である。

Photo. 2は白河における余震の記録である。これにも本震の時ほど顕著ではないが、 P 相に続く相が1~2相みとめられる。 X_2 相の出現にかなり地域性があること、余震の記録にも同様な相が出現していること等から、これらの相は震源過程を反映するものではなく、地震波の経路によるものと推定される。しかし、余震のすべての記録にこれらの相が出現するものではない。震央位置、深さによって出現したり、しなかったりするものは、 X_1 相、 X_2 相が地震波経路に起因するものであることを裏書きしているものと思われる。

Table 4. に三陸沿岸の観測点における X_1-P 、 X_2-P 時間を示す。

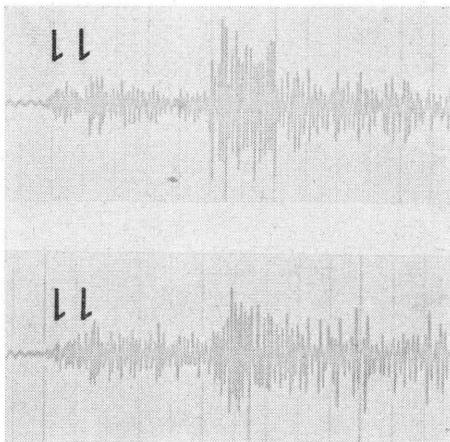


Photo. 2 Two seismograms of aftershocks recorded at Shirakawa, NE-Japan.

The same phases as Photo. 1 indicate by arrows.

Table 4. X_1-P and X_2-P arrival times and Δ for stations located in Sanriku District (NE-Japan).

Station	Δ	X_1-P	X_2-P
Shirakawa	423 km	6 sec	10 sec
Fukushima	490	5	9
Sendai	543	5	?
Yamagata	546	6	11
Ishinomaki	562	5	9
Ofunato	635	4	10
Morioka	702	4	9
Hachinohe	702	?	9

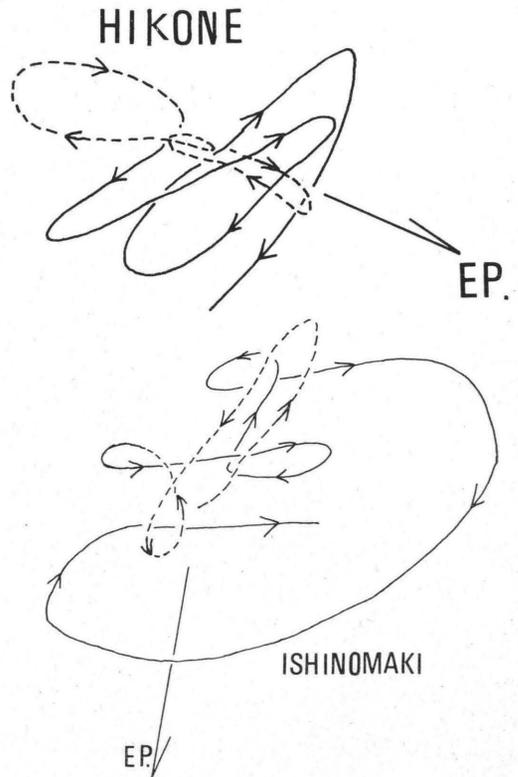


Fig. 5 Orbits of the horizontal component near the X_1 phase at Hikone and Ishinomaki.

Dotted line shows longitudinal particle motions (corresponding to P wave) and solid line transversal (corresponding to S wave).

石巻と彦根 ($X_1-P=5$ sec) の X_1 相前後のほぼ1秒間の Orbit を Fig. 5 に示す。

振動方向はいずれの地点においても、 X_1 相付近で震源方向の振動から震源方向に直交する振動へと変化している。このことから、 X_1 相は S 波的な性質をもつものと思われる。

X_2 相付近の Orbit は X_1 相付近のものより複雑な運動を示しているが、ほぼ X_1 相と同様な振動方向の変化がみられる。

振動方向の変化および以下に述べる走時解析の結果から X_1 相、 X_2 相は P 波から S 波に変換したものとして説明出来る。

不連続面において P 波から S 波への変換率は Gutenberg (1944) によれば、速度比と入射角により Fig. 6 のようになる。ただし、速度比を $V_{p2}/V_{p1}=V_{s2}/V_{s1}=1.07$ および 1.29 とした場合である。Fig. 6 によれば入

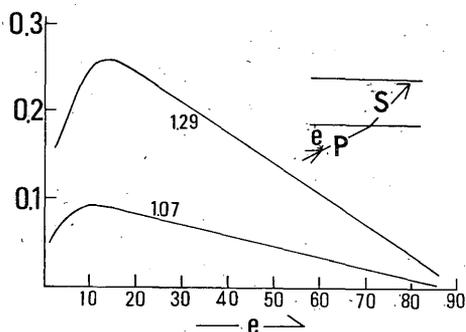


Fig. 6 Transmission coefficient as a function of incident angles e for converting from P phase to S one (velocity ratios of low layer $V_{p1}/V_{p2} = V_{s1}/V_{s2}$ are 1.07 and 1.29 respectively, after Gutenberg (1944))

射角が10度前後で最も変換率が大きい。

P 波の三陸沿岸観測点への地震波経路は Fig. 7 のようになり最深点は約 90km となる。三陸沿岸の地下構造として Fig. 7 のように深さ 20 km と 60 km に速度の不連続面を考える。深さ 20 km の面 (Plane I) は一応 Moho 面と考える。[たとえば Hashizume et al (1968) による東北日本の地殻構造断面図では三陸沿岸地域において Moho 面を 20~30 km としている。両層の速度は 6.6 km/sec, 8.0 km/sec となっている] 60 km の面 (Plane II) はこの地域の震源密度の高い層の下面とほぼ一致している。

Plane II への P 波の入射角は震央距離が 300~800km で 8度から 15度になることから、 P - S 変換は能率よくおこなわれることになる。深さ 60 km と 20 km での S - P 時間と震央距離の関係を用いると X_1 - P 時間が 5~6 秒であることから、Fig. 7 に示すように X_1 相は観測点の 40~50 km 手前(ほぼ Fig. 7 の B 点)で、また、 X_2 - P 時間が 10 秒前後であることから、約 80 km 手前(ほぼ Fig. 7 の A 点)でおおの X_1 相、 X_2 相が P 波から S 波に変換したものと考えることが出来る。

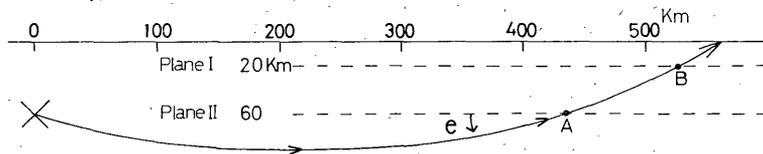


Fig. 7 Approximate ray path from the hypocenter.

Plane I: Approximate Moho. discontinuity.

Plane II: The lower boundary of the most active seismic zone.

Points A and B are the approximate generating points of the phase X_2 and X_1 respectively.

三陸沿岸地域の観測点では今回の地震に限らず他の地域 (特に三陸沖の地震の場合) の地震においても P 相と S 相の間に今回と同様なかなり顕著な相が出現することが知られている。東北地方ではよく知られているように、典型的な島弧としての諸要素を備えた地域である。 X_2 相がこの地域に顕著に出現すること、同地域での海洋性リソスフェアの形状との関連は興味ある問題である。

6. 震度分布と地震記録について

今回の八丈島東方沖の地震の震度分布は東北・北海道南部地方で、いわゆる異常震域の現象を示している。(気象庁地震課 (1972)) 八丈島東方沖地域には過去に大規模地震は少ないが、比較的この地域の近くに発生した大正 5 年 9 月 15 日の八丈島東方沖の地震や、昭和 28 年 11 月 26 日の房総沖地震でも、今回とほぼ同様な震度分布となっている。一方東海道はるか沖や、鳥島近海の深発地震ともなう異常震域はよく知られている。(たとえば正務, 1944) 今回の地震とこれらの深発地震では地震波の経路はかなり異なっているにもかかわらず、異常震域の現われ方はほぼ同様な傾向を示していることは、上部マントル構造に関連して興味深い現象である。

異常震域の現象は経路における地震波の減衰の機構に関連していることが勝又 (1970)、宇津 (1967) 等に指摘されている。

有感地域の東北から北海道にかけては例外なく地震記録に短周期の波が卓越しているのがみられるが (Photo. 1 は石巻の記録、震度 III)、無感地域の西南日本では周期が長くなり短周期の波はみられない。(Photo. 3 は西郷の記録、震度 0)

地域により地震記録に差があることは、観測点付近の局所的な影響で有感となるのではなく、到達する地震波の振動特性が異なることと関係すると考えられる。つまり東北日本へは短周期の波の減衰の少ない媒質を、また西南日本へは減衰の大きい媒質を通過してきた事を反映し

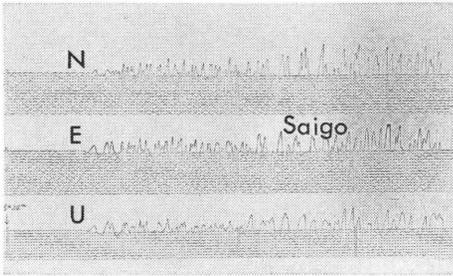


Photo. 3 The seismograms recorded at Saigo, SW-Japan.

The long period waves predominate.

ている。北海道南部への地震波線の最深点は約 100 km となることから、三陸沖では少なくとも 100 km 程度までは減衰の少ない媒質が存在すると推定される。

7. ま と め

今回の八丈島東方沖の地震は島孤—海溝系の中間に発生した大規模な地震で、震源の深さがやや深いという点から興味深い。

この地震に対して観測網の配置が偏在していること、近接した観測点が無いこと等により精度の高い震源を得ることはやや困難である。今回再験測の資料および補強された資料を使用し震源の再計算をおこなった結果、JMA の与えている震源と NOAA のものとのほぼ中間の値を得た。なお、震源要素の決定にあたっては、もちろん用いる走時や記録の読み取り精度にも左右されるが、観測点の配置の相違による影響の方がはるかに大きいことに注意すべきであろう。

再計算による震源にもとづいて走時異常を検計した結果、P波では大きな異常は認められないが、S波では東北日本へは2~3%速く、西南日本へは2~3%遅く、これら両者の差は4~6%となる。

P~S相間に出現する2種の相 X_1 相、 X_2 相はそれぞれ深さ 20 km、60 km で、P波からS波に変換された波として説明可能である。

今回の地震による異常震域の現象は、地震波経路における減衰の機構の相違に起因するものとして解釈することが出来る。

謝辞

資料を提供していただいた各大学の微小地震観測所に感謝します。

御指導をいただいた気象庁地震課勝又護博士に厚く御礼申し上げます。再験測、震源計算には地震課現業班の諸氏、並びに地震課望月英志氏の御助力を得た。また地震課長末広重二博士、渡辺偉夫博士の方々には御助言を得た。ここに謝意を表します。

参考文献

- Gutenberg, B (1944): Energy Ratio of Reflected and Refracted Seismic Waves, Bull. Seism. Soc. Amer., **34**, 85~102.
- Hashizume, M., K. Oike, S. Asano, H. Hamaguchi, A. Okada, S. Murauchi, E. Shima, and M. Nogoshi, (1968): Crustal structure in the Profile Across the Northeastern Part of Honshu, Japan, as derived from Explosion Seismic Observations, Part 2, Bull. Earthq. Res. Inst., **46**, 606~630.
- 市川政治・望月英志 (1971): 近地震用走時表について、気象研究所研究報告, **22**, 229~290.
- 金森博雄 (1971): 島孤と巨大地震, 海洋科学, Vol 3, No. 8, 14~21.
- 勝又 護 (1970): 日本列島およびその周辺におけるサイスミシティとそれに関連する諸問題, 験震時報, **35**, 1~68.
- 気象庁地震課 (1972): 1972 (昭和47) 年2月29日八丈島東方沖の地震, 験震時報, **37**, 97~102.
- 正務 章 (1944): 異常震域現象に関する統計的調査 (I), 験震時報, **13**, 292~304.
- Utsu, T (1967): Anomalies in Seismic Wave Velocity and Attenuation Associated with a Deep Earthquake Zone (I), J. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser VII., **3**, 1~25.