東北日本弧における二重深発 地震面と発震機構

東北大学理学部地震予知観測センター 海野 徳仁・長谷川 昭

(昭和 57 年 2 月 4 日受理)

A Detailed Structure of the Deep Seismic Zone and Earthquake Mechanism in the Northeastern Japan Arc

Norihito UMINO and Akira HASEGAWA

Observation Center for Earthquake Prediction,
Faculty of Science, Tohoku University.

(Received February 4, 1982)

A precise relocation of earthquakes using data listed in the Seismological Bulletin of the Japan Meteorological Agency reveals a double-planed structure of the deep seismic zone in the whole region of the northeastern Japan arc. The two planes are nearly parallel to each other and the distance between them is from 30 km to 40 km. The lower seismic plane appears at depths greater than about 60 km in the Tohoku District, northeastern Japan, while that appears at depths greater than about 90 km in the Kanto District.

Some interesting characteristics are found from focal mechanism study for large earthquakes and microearthquakes in the upper seismic plane. In the Tohoku District, the predominant fault-plane solution for earthquakes shallower than about 60 km is low angle thrust faulting and that for deeper earthquakes is down dip compression. In the Kanto District, similar characteristics are found for earthquakes in the upper seismic plane, except that the depth at which the predominant focal mechanism changes is about 90 km. This difference may be closely associated with the subduction of the Philippine Sea plate overriding the Pacific plate in the Kanto District.

In the whole region of the northeastern Japan arc, the earthquakes in the lower seismic plane is characterized by down dip extensional fault. Down dip compressional and down dip extensional earthquakes form a pair in the double-planed deep seismic zone, since the depth at which the lower seismic plane appears is consistent with the depth at which the predominant focal mechanism changes in the upper seismic plane.

The depth to the upper seismic plane just beneath the volcanic front is about 100 km in the Tohoku District, whereas the depth is much deeper in the Kanto District, where the triple junction among the Philippine Sea plate, the Pacific plate and the Eurasian plate is situated.

§1. はじめに

北海道中央部, 東北地方中央部および関東地方中央部では, 各地域の微小地震観測網による

昭和 56 年 4 月 9 日発表

高精度の震源決定により、二重深発地震面が見い出されている [津村 (1973); 海野・長谷川 (1975); HASEGAWA *et al.* (1978 a); 鈴木・本谷 (1981)]. それぞれの地域の二重深発地震面の関連を明らかにすることは、東北日本弧のテクトニクスを考える上で、重要な問題である。しかし、各地域の微小地震観測網の境界領域付近は、微小地震観測網の検知能力が低く、震源決定精度が悪いために、従来、二重深発地震面の存在が、明確ではなかつた。そこで、東北日本弧全域について、ほぼ一様な検知能力で地震活動を調査する目的で、気象庁の地震月報のデータを用いて、震源の再決定を行い、深発地震面の形を調べた。その結果、従来明らかでなかつた東北地方北部と南部、関東地方北部でも二重深発地震が存在することが判つた。すなわち、東北日本弧では、二重深発地震面が全域にわたって存在していることが確かめられた。

深発地震面上に発生した、比較的大きな地震について、P波初動の押引分布から発震機構を調べた。この結果に、吉井 (1979) の発震機構ファイル (ME-1) より選んだ深発地震の結果を加えて、発震機構の空間分布を調べた。その結果、東北日本弧のほぼ全域について、二重深発地震面の上面の浅い領域では低角逆断層型が卓越し、60~90 km 以深の領域ではダウンディップコンプレッション型 (DC 型) が支配的である。また、下面では正断層型あるいはダウンディップエクステンション型 (DE 型) が卓越している。これらの特徴は従来東北地方中央部で得られた結果 [海野・長谷川 (1975); HASEGAWA *et al.* (1978 a); YOSHII (1979)] と非常によく一致している。個々には発震機構の決定できない比較的小さな地震や、微小地震について、P波初動の重ね合わせにより決定した平均的発震機構も、上述の結果と一致した特徴を持つことが確かめられた。

§ 2. 震 源 分 布

海野・長谷川 (1975) は、地震月報のデータを再計算することによつて、東北地方中央部では深発地震面が明瞭に二面に分離することを示した。

1963 年から 1978 年までの 16 年間の気象庁地震月報記載のデータと同種の計算機用磁気テープ・データを用いて、震源再決定を行つた。震源決定法、P波およびS波の速度構造は東北大学テレメーター微小地震観測網のルーチン処理に用いられている方法 (TAKAGI *et al.*, 1977) を利用した。地震月報のP波およびS波の着震時のうち、震央距離が 500 km 以内の観測点のデータのみを用い、震源距離に反比例する重みを付けて震源決定を行つた。明らかに誤りと判断できる、P波およびS波初動データを取り除くために逐次計算を行う際、残差の大きいデータは用いないことにした。この方法により、地震月報に記された地震の大部分を再決定することができた。ただし、1964 年新潟地震の余震の一部と 1965 年からの松代群発地震の一部

は省略した。再決定した地震の震央分布を Fig. 1 に示す。

これらの地震の鉛直断面図を用いて、二重深発地震面を追跡した。Fig. 2 に示すように日本海溝軸に直交する方向に、長さ 600 km, 幅 50 km の領域 (A)~(N) をとり、各領域内の地震の鉛直断面図を Fig. 3 の右列に示した。各断面図の上の太線は陸地の範囲、▲は火山フロントの位置、▼は海溝軸の位置である。震源再決定前の鉛直断面図を、参考のために Fig. 3 の左列に示した。震源再決定を行つたことにより、(A)~(N) の全ての領域において、深発地震面の形が明瞭になり、二重深発地震面の存在が確認できた。

現在までのところ、二重深発地震面が最も明瞭に認められている東北地方の領域 (A)~(I) について、微小地震の鉛直断面を、Fig. 4 に示す。これらの震源は、東北大学テレメター微小地震観測網のデータにより決定された 1980 年 1 月~12 月の期間のものである。再決定した地震の震源分布 [Fig. 3 右列] と微小地震の震源分布 [Fig. 4] を比較すると、16 年間と 1 年間という時間的な相違にもかかわらず、サイズシティのパターンは非常に良く似ていることが判る。このように、地震月報のデータを注意深く検討して震源再決定を行うと、高感度のテレメタ

Fig. 1. Relocated epicentral distribution of earthquakes for the period from 1963 to 1978, by using the data of the Seismological Bulletin of the Japan Meteorological Agency (JMA).

Fig. 2. Map showing locations of vertical cross sections. The strike of each cross section (600 km length and 50 km width) is taken nearly perpendicular to the trench axis.

(a)

Fig. 3 (to be continued)

(b)

Fig. 3 (to be continued)

(c)

Fig. 3. Vertical cross sections of earthquakes from regions (A) to (N) in Figure 2. Thick horizontal lines, triangles and reverse triangles denote the locations of the land area, volcanic front and trench axis, respectively. Left: Cross sections for earthquakes located by JMA. Right: Cross sections for earthquakes relocated in this study. Note the continuously distributed double-planned deep seismic zone in the whole region of the northeastern Japan arc. In the Kanto District (region (K) to (N)) shallower limit of the lower seismic plane of the double-planned deep seismic zone is nearly 90 km deep, while that in the Tohoku District (region (A) to (J)), northeastern Japan is about 60 km deep.

一微小地震観測網の結果とほとんど変わらないサイスシティ・マップが得られることがわかった。

Fig. 3 および Fig. 4 の断面図から判る特徴をあげてみる。

Fig. 4. Vertical cross sections of microearthquakes for the regions (A) to (I) in Figure 2: those hypocenters were determined by using the data of the local seismic network of Tohoku University during the one-year period in 1980. Seismicity in the upper seismic plane of the double-planed deep seismic zone is higher and more uniform than that in the lower seismic plane.

(イ) 東北地方北部から関東地方に至る東北日本弧のほぼ全域にわたって、二重深発地震面が存在することが確認できた [Fig. 3 の領域 (A)~(N)].

(ロ) 関東地方では、二重深発地震面の上方に、フィリッピン海プレートに関係すると思われる地震活動 [笠原 (1980)] がある [Fig. 3 の領域 (L)~(N)]. 関東地方の震源分布は、従来の微小地震観測網によつて得られた結果 [津村 (1973); 笠原 (1980)] とよく調和している.

(ハ) 東北日本弧の全域について上面の地震活動はほぼ一様であるが、下面の地震活動は様でなく、活動の空白域もみられる. また、下面の出現する深さは各領域で少しずつ異つてはいるが、東北地方では深さ 60 km 前後 [Fig. 3 の領域 (A)~(J) および Fig. 4 の領域 (A)~(I)], 関東地方では、より深く 90 km~100 km [Fig. 3 の領域 (K), (L)] である.

(ニ) 深発地震面の傾斜角度は、領域によつて相違があることがわかる.

各断面図を基に、二重深発地震面の上面および下面の等深線を求めた結果を Fig. 5 に示す.

Fig. 5. Map showing depth contours to the upper (solid line) and the lower (dashed line) seismic plane. In the Tohoku District, the 100 km depth contour of the upper seismic plane is located just beneath the volcanic front, which consists of the active volcanoes and the Quaternary volcanoes denoted by solid triangles.

図中の実線は上面の等深線、破線は下面の等深線、▲は活火山および第4紀の火山の位置を示す。下面の地震活動は一樣でないため、等深線のひけない領域があり、破線は不連続になっている。関東地方においては、フィリピン海プレートに伴う地震活動を除外して上面の等深線を求めた。すなわち、太平洋プレートの沈み込みに関係する二重深発地震面の上面と下面の等深線を描いたことになる。東北地方の等深線は、上面、下面ともに日本海溝とほぼ平行になっている。関東地方の上面の等深線の走向は、東北地方のそれとは異り、東北地方と関東地方の境界付近に深発地震面の尾根ができていて、この尾根を境界にして、深発地震の下面の出現する深さが変化している。さらにこの尾根の直上付近にまで、フィリピン海プレートの沈み込みを示唆する地震活動が続いており、地表では火山フロントが急激に西方に折れ曲つている。この火山フロントの屈曲は、フィリピン海プレートの北端が Fig. 3 の領域 (L) 付近まで沈み込んでいるためかもしれない。

日本列島周辺の深発地震の等深線は、International Seismological Centre (ISC) のデータを基にして、宇津 (1977)、吉井 (1979) により求められている。Fig. 5 の上面の 200 km の等深線は、宇津 (1977)、吉井 (1979) のそれとほぼ一致するが、100 km の等深線は西方に約 80 km あるいは、約 40 km ずれている。この相違は、震源決定の際の島弧海溝系の速度構造異常の影響の度合が、観測網の大きさによつて異なるためであろう。Fig. 5 の活火山の分布から、いわゆる火山フロント直下の深発地震面の深さは、東北地方では 100 km 等深線とよく一致していることが判る。

§3. 発震機構

東北地方中央部の二重深発地震面の上面では、ダウンディップコンプレッションの発震機構を持つ地震が支配的であり、下面では、ダウンディップエクステンションの地震が支配的である [海野・長谷川 (1975); HASEGAWA *et al.* (1978 a)]. また、千島弧においても深発地震の発震機構に、東北地方中央部と同じような特徴があることが報告されている [VEITH (1974); 鈴木・本谷 (1981)]. ここでは、二重深発地震面が連続的に存在することが確認された東北日本弧全域について、上面および下面の地震の発震機構の空間分布を調べた。

太平洋プレートの沈み込みに関連する地震のみを選び、関東地方のフィリピン海プレートの沈み込みに関連する地震は省略した。地震月報 (1963 年～1978 年) のデータを用いて再決定した地震のうち、 35°N ～ 42°N の範囲の深さ 40 km 以深、マグニチュード 4.9 以上、P 波初動の押引の読取値が、30 個以上の地震を選び、これに ISC の P 波初動の押引の読取値を加えて、発震機構を求めた。今回新たに求めた地震の発震機構を、Fig. 6 と Table 1 に示

27 JAN 1965 08:47

17 MAY 1966 09:59

27 DEC 1966 10:22

20 SEP 1967 09:32

10 OCT 1967 03:19

26 FEB 1968 05:00

17 MAY 1968 22:02

22 MAY 1968 19:52

26 JUN 1968 19:23

29 AUG 1970 10:43

5 SEP 1973 09:31

30 SEP 1973 15:18

(a)

Fig. 6. (to be continued)

Fig. 6. Fault-plane solutions for relocated intermediate-depth earthquakes projected on the lower focal hemisphere by equal-area projection. Solution parameters are listed in Table 1.

す。さらに、吉井 (1979) の発震機構のファイル ME-1 から、深さ 40 km 以深、マグニチュード 4.9 以上、 38°N 以北では 143°E 以西、 38°N 以南では 142°E 以西の地震の発震機構を選んだ。これらの地震の震央分布を Fig. 7(a) (上面) および Fig. 7(b) (下面) に、それぞれの等深線と共に示す。関東地方北部付近の上面の深発地震面の尾根より北側では、低角逆断層型の地震はほとんど 50 km の等深線より東側に分布している。一方、関東地方では、低角

Table 1. List of fault-plane solutions for relocated intermediate-depth earthquakes in the northeastern Japan arc.

Origin time (JST)					LAT (°N)	LON (°E)	DEP (km)	M	A		B		P		T		N	NI
Y	M	D	H	M					DD	DA	DD	DA	DD	DA	DD	DA		
1965	1	27	8	47	36.019	139.793	80	5.6	316	82	222	61	273	64	176	76	81	9
1966	5	17	9	59	35.659	140.734	44	5.1	155	13	281	82	90	53	269	38	70	7
1966	12	27	10	22	37.093	141.168	55	5.5	154	25	278	75	114	62	252	35	88	22
1967	9	20	9	32	35.980	140.151	69	5.2	168	17	303	78	133	58	288	34	55	2
1967	11	10	3	19	35.542	140.185	71	5.3	274	70	65	23	86	66	291	26	90	9
1968	2	26	5	0	37.596	141.572	51	5.4	126	23	278	70	106	66	260	26	103	10
1968	5	17	22	2	41.431	142.975	42	5.7	149	31	253	82	97	60	222	45	83	5
1968	5	22	19	52	41.491	142.973	59	5.9	145	62	237	85	98	74	195	67	104	19
1968	6	26	19	23	41.960	142.819	43	5.7	109	23	294	67	112	68	297	22	103	12
1970	8	29	10	43	36.917	136.901	288	5.6	314	89	222	50	276	62	171	64	139	13
1973	9	5	9	31	40.632	139.904	200	5.7	151	23	44	83	67	43	206	55	128	14
1973	9	30	15	18	35.648	140.744	52	5.9	130	16	310	74	130	61	310	29	191	24
1974	3	3	13	50	35.548	140.875	51	6.1	154	31	287	68	123	70	255	29	116	17
1975	3	11	17	57	36.541	139.725	130	5.1	259	79	355	62	40	79	304	63	58	5
1975	3	30	4	57	36.179	140.120	69	5.4	124	33	260	65	96	73	224	27	130	11
1975	8	15	3	9	37.071	141.210	46	5.5	150	38	320	53	144	82	291	9	120	7
1975	11	24	8	2	41.228	140.425	158	5.6	329	90	240	12	318	46	161	46	150	27
1976	10	6	22	38	37.090	141.431	71	5.9	299	17	131	73	136	28	308	62	204	28
1976	11	6	16	57	35.294	138.642	179	5.1	331	31	71	84	276	58	42	47	126	16
1977	6	8	23	25	38.536	141.536	65	5.8	320	42	62	79	273	67	24	48	155	24
1978	2	20	13	36	38.779	142.039	56	6.7	130	75	310	15	310	60	130	30	110	23

DD: dip direction measured clockwise from the north, DA: dip angle, N: total number of polarity data, NI: number of polarity data inconsistent with obtained focal mechanism solution.

逆断層型の地震が約 90 km の深さにまで分布していることがわかる。これより深い領域では DC 型の地震が大部分である。また、下面の地震は、ほとんどが DE 型の発震機構である。このように、発震機構についても、東北地方中央部で従来見出し出されていた特徴 [海野・長谷川 (1975); HASEGAWA *et al.* (1978 a); YOSHII (1979)] が、東北日本弧全域にわたって存在していることが確かめられた。

これらの地震の P 軸, T 軸の深さ分布を Fig. 8 に示す。(a) は東北地方, (b) は関東地方の断面である。P 軸の傾斜の方向から判るように、DC 型と低角逆断層型との境界は、東北地方では深さ 60 km 前後、関東地方ではあまりはつきりしていないが 90 km 前後 (低角逆断層型の地震が少なくとも 90 km ぐらいいまで存在する) である。これらの深さは、前節で指摘したように、東北地方および関東地方のそれぞれで二重深発地震面の下面が始まる深さに対応し

Fig. 7. Epicenter distribution of intermediate-depth earthquakes whose fault-plane solutions are determined in this study and by Yoshii (1979).

(a) Epicenter distribution of earthquakes in the upper seismic plane. Solid circle, open circle and square denote low angle thrust fault solution, down dip compressional solution and other fault-plane solutions, respectively. In the Kanto District, earthquakes with low angle thrust faulting occur down to about 90 km depth, whereas the maximum depth of those events in the Tohoku District is about 60 km.

(b) Epicenter distribution of earthquakes in the lower seismic plane. Solid and open square denote down dip extensional solution and other solutions, respectively.

ている。すなわち、二重深発地震面においては、DC 型と DE 型は対になつてほぼ同じ深さの領域から現われ始め、深さ 150 km 前後まで存続している。関東地方で低角逆断層型が深さ 90 km 前後まで存在するのは、太平洋プレートの上方にフィリピン海プレートが存在するためであろう。

発震機構を決定できた比較的大きな地震の分布は、Fig. 7 から判るように空間的に均一ではない。特に、DC 型の地震の数が少ない。そこで、個々には発震機構が決定できない地震について、P波初動の押引分布を重ね合わせるにより、東北日本弧全域の二重深発地震面の上面および下面の地震の平均的発震機構を求めた。平均的発震機構を求めた地域は、Fig. 9 の領域 (A) から (K) までである。領域 (A) から (I) までは、深さ 70 km から 150 km までの地震を、領域 (J) と (K) では深さ 90 km から 150 km までの地震を選んで、それぞれ

Fig. 8. Vertical projection of P axis (solid circle) and T axis (open circle) for intermediate-depth earthquakes shown in Figure 7. (a) Cross section for the Tohoku District. (b) Cross section for the Kanto District. T, A, V and thick horizontal line denote the trench axis, the aseismic front, the volcanic front and land area, respectively. Note the difference in depth of the deepest shock with low angle thrust faulting between these two cross sections.

上面と下面に分けて平均的発震機構を求めた。発震機構は、震源球の下半球に等積図法で示してある。横線部分が、震源球上で押しの領域を示す。上面の地震は領域 (F), (J), (K) 以外では、ほぼ DC 型である。領域 (F) は 1978 年宮城県沖地震 ($M=7.4$) の発生した地域であり、領域 (J) と (K) はフィリピン海プレートの沈み込みが存在する地域である。領域 (A) から (C) までの下面は、地震の数が少なく解が得られなかったが、それ以外の領域では全て、DE 型である。

二重深発地震面の上面の 50 km 以浅の地震の発震機構は、低角逆断層型が支配的であつた。Fig. 10 に示すように、Fig. 7 (a) の地震のうち 50 km 以浅の地震を 3 つの領域に分け、 $39^{\circ}\text{N}\sim 42^{\circ}\text{N}$ を領域 (A)、 $37^{\circ}\text{N}\sim 39^{\circ}\text{N}$ を領域 (B)、 $35^{\circ}\text{N}\sim 37^{\circ}\text{N}$ を領域 (C) とする。各領域内の地震の発震機構の P 軸 (○) および T 軸 (●) の位置を、震源球の下半球に等積図法で示す。関東地方では低角逆断層が 90 km 前後まで分布するので、これらの地震を領域 (D)

Fig. 9. Composite fault-plane solutions for intermediate-depth earthquakes which occurred in the double-planned deep seismic zone in the northeastern Japan arc. Solutions for each region in the inserted map are represented by equal area projection on the lower focal hemisphere. Hatched quadrant represents compressional P-arrivals at stations. Down dip compressional solutions are predominant in the upper seismic plane, and down dip extensional ones are in the lower seismic plane.

とする。Fig. 7(a), (b) の地震のうち、Fig. 10 に示された以外の地震の発震機構の P 軸 (○) および T 軸 (●) の位置を Fig. 11 に示した。(a), (b) は、上面および下面の個々の地震の発震機構より求めた P 軸と T 軸の位置、(c), (d) は重ね合わせによる平均的発震機構より求めたものである。実線は、深発地震面の傾斜の方向を示す。上面の DC 型と下面の DE 型との対比が良く判る。

深発地震面の上面における、低角逆断層型と DC 型の発震機構の境界を知るために、東北大学テレメーター微小地震観測網による微小地震のデータを用いて、発震機構の深さ分布を詳細に調べた。Fig. 12 の地図に示すように、海溝軸にほぼ平行に長さ 300 km×幅 30 km の領域をとり、この領域を海溝軸に直交する方向に 10 km ずつ移動させながら、各領域内の微小地震の P 波初動の押引分布を重ね合わせ、平均的発震機構を求めた。上面と下面の地震の発震機構の最良解を、震源球の下半球に等積図法で示す。横線部分が震源球上で押しの領域、上段

Fig. 10. Equal area projections of P and T axes for earthquakes shallower than 50 km depth in the regions A to C and those from 50 km to 90 km depth in region D. Open and solid circles denote P and T axes projected on the lower focal hemisphere, respectively. Shallower events ($h \leq 50$ km) are divided into three groups; A, 39°N to 42°N ; B, 37°N to 39°N ; C, 35°N to 37°N . Only in the region D, earthquakes with low angle thrust faulting occur even at depths greater than 50 km.

の数字は P 波初動の読取値の数，下段の数字は最良解に対する P 波初動の読取値の誤りの数である。P 軸および T 軸のまわりの曲線は，最良解に対する P 波初動の読取値の誤りの数に，さらに 5 個の誤りを許した時に，P 軸および T 軸が動き得る範囲を示したものであり，この範囲が小さい程，メカニズム解の信頼性が高いことを意味する [堀内・他 (1972)]。上面の地震は，アサシスミックフロントより西側で DC 型となつている。上面の平均的発震機構の P 軸と，下面の T 軸の傾斜角を，Fig. 12 の解を 1 個おきを選び出して Fig. 13 に示す。上面の深さ 60 km 前後の領域まで低角逆断層型，それより深い場所で DC 型となつている。

上面の地震についてのみ，さらに細かく領域を分割して，平均的発震機構を求めた。Fig. 12 に示した長さ 300 km×幅 30 km の領域を分割して，長さ 100 km×幅 30 km の領域をとる。

この 100 km×30 km の領域を，海溝

軸に平行に 50 km ずつ移動させて領域 (A)～(E) をとり，これら 5 個の領域をそれぞれ海溝軸に直交する方向に 10 km ずつ移動させながら，平均的発震機構を求めた。領域が小さいため，P 波初動の押引の読取値が少ないので，発震機構を求める際，B 軸は水平面内にあるものと仮定して計算を行つた。得られた最良解の P 軸の傾斜角を，領域 (A)～(E) について，Fig. 14 に示した。AF はアサシスミックフロントの位置である。領域 (C)～(E) では，アサシスミックフロント付近より西方で DC 型となるが，領域 (A) と (B) では，ほぼ全域にわたつて DC 型となつている。領域 (A) から (E) までのそれぞれの最良解の P 軸の走向の方向を，1 個

おきを選び出して、Fig. 15 に示した。海溝軸からの距離が小さい領域では、P 軸の方向は太平洋プレートとアジアプレートの相対運動の方向 [MINSTER and JORDAN (1978)] とほぼ一致するが、海溝軸から遠ざかり震源が深くなるにつれて、P 軸の方向は海溝軸に直交する方向、すなわち深発地震面の傾斜方向に変化している。例外として領域 (C) の最深部では、正断層型の平均的発震機構が得られた。図には T 軸の方向を○で示した。この領域 (C) は、微小地震の震源分布から得られた二重深発地震面の上面のしゅう曲構造 [HASEGAWA (1977)] の尾根の部分にあたる。平均的発震機構がこのような深発地震面の微細構造を反映しているのは興味深い。

§ 4. 議 論

気象庁の地震月報のデータを用いて震源再決定を行つた結果、太平洋プレ

ートの沈み込みに伴う二重深発地震面は東北日本弧の全域にわたつて連続的に存在していることが確認された。また、発震機構についても、上面と下面との区別を明確に指摘することができた。しかし、詳細に調べてみると、東北地方と関東地方とでは二重深発地震面の構造が、やや異なっていることが判つた。すなわち、下面の始まる深さは東北地方では約 60 km、関東地方では 90 km~100 km である。また、上面の発震機構の分布についても、東北地方と関東地方とで異なり、低角逆断層型の発震機構は東北地方では深さ約 60 km まで存在するが、関東地方ではさらに深く、約 90 km の深さにまで達している。このような東北型と関東型の境界は、太平洋プレートの沈み込みに伴う二重深発地震面の上面の等深線が尾根状になっている領域付近である。さらに、この尾根の領域付近で、火山フロントが急激に西方に折れ曲つてい

Fig. 11. Summary of the fault-plane solutions. P and T axes of intermediate-depth earthquakes are projected on the lower focal hemisphere by equal area projection. The symbols of open and solid circles are the same as in Figure 10. The local orientation of the subducting slab is shown by solid curve. Down dip compressional solution is predominant in the upper seismic plane, and down dip extensional one is in the lower seismic plane.

Fig. 12. Cross section view of composite fault-plane solutions for microearthquakes in the upper and lower seismic planes in the Tohoku District, northeastern Japan. Each fault-plane solution is obtained from microearthquakes occurred in the rectangular region with 30 km width and 300 km length, which is parallel with the Japan Trench at 10 km intervals shown in the inserted map. C and A denote the coast line and aseismic front, respectively. Shaded quadrants indicate compressional P-arrivals. The upper and lower numerals in each fault-plane solution are number of polarity data and that of inconsistent polarity data, respectively.

る (Fig. 5).

笠原 (1980) は微小地震の震源分布と発震機構のデータを基に、関東・東海地域における太平洋プレート、アジアプレート、フィリピン海プレートの会合を説明するモデルを提唱した。このモデルによると、茨城県西部の深さ 40 km~60 km の地震群が、フィリピン海プレートの北端部に対応している。この茨城県西部の地震群について、今回再決定したデータによる平均的発震機構は、北西-南東方向の主圧力軸をもつ低角逆断層型となった。また、茨城県南西部から千葉県中部の深さ 60 km~80 km の地震群の平均的発震機構は、東西方向の主圧力軸をもつ低角逆断層型となった。前者はアジアプレートとフィリピン海プレートの相対運動による地震群、後者は太平洋プレートとフィリピン海プレートの相対運動による地震群であ

Fig. 13. Cross section view of dip angles of P (solid circle) and T (open circle) axes for composite fault-plane solutions of microearthquakes shown in Figure 12. The boundary between earthquakes with low angle thrust faulting and those with down dip compression in the upper seismic plane is located approximately at 60 km depth.

Fig. 14. Dip angles of P axis obtained from composite fault-plane solutions versus the distance from the trench axis for microearthquakes in the upper seismic plane for the regions A to E in Fig. 15. AF denotes the aseismic front. In regions A and B, dip angles of P axis increase gradually according to the depth of earthquakes. In regions C, D and E, however, dip angles of P axis change abruptly from horizontal to nearly down dip of subducting plate at just under the aseismic front.

り、笠原 (1980) のモデルと調和的である。関東地方では相模トラフから沈み込むフィリピン海プレートが茨城県西部にまで達しているため、太平洋プレートのテクニクスを考える際の陸側マントル部分は、東北地方と較べると複雑である。このことが、東北地方と関東地方の

Fig. 15. Map showing the strike of P axis obtained from composite fault-plane solutions for microearthquakes in the upper seismic plane of the double-planned deep seismic zone. The strike of P axis is represented by solid line with solid circle at the center of each region with 30 km width and 100 km length. The solid line with open circle at the deepest region in a series of regions C denote the strike of T axis for normal fault solution. The strike of P axis are consistent with the direction of relative plate motion [MINSTER and JORDAN (1978)] in the northeastern Japan arc.

二重深発地震面の構造の相違，等深発地震線の尾根構造，火山フロントの急激な屈曲などの原因となつているのであろう。

§ 5. 結 論

1963 年から 1978 年までの 期間の気象庁地震月報のデータを用いて，震源再決定を行つた結果，東北日本弧の全域にわたつて二重深発地震面が存在することが明らかになつた。上面と下面の間隔は全領域ではば一定で，30 km~40 km である。下面の始まる深さは地域により異なり，東北地方では約 60 km，関東地方では 90 km~100 km であり，下面の地震がほとんど発生しない領域もある。また火山フロント直下の深発地震面の上面の深さは東北地方では約 100 km である。

個々の地震の発震機構および P 波初動の重ね合わせによる平均的発震機構を調べた結果，上面の地震は浅い部分では低角逆断層型，深い部分では DC 型となる。これら二種類の発震

機構の境界は、その地域の下面の地震の始まる深さと一致しており、東北地方では深さ 60 km 付近、関東地方では深さ 90 km 付近である。一方、下面の地震はほとんどが DE 型である。

東北地方と関東地方の二重深発地震面の特徴の相違は、相模トラフから沈み込むフィリッピン海プレートが存在するためであろう。

謝 辞

本研究において、原稿に目を通していただき御教示を与えられた東北大学理学部高木章雄教授に心から感謝いたします。

気象庁からは、地震月報記載のデータと同種の計算機用磁気テープファイルをいただきました。記して感謝いたします。

東北大学理学部地震予知観測センター、青葉山地震観測所、秋田地殻変動観測所、本荘地震観測所、北上地震観測所、三陸地殻変動観測所の皆様の援助と協力に心から感謝いたします。

文 献

- HASEGAWA, A., 1977, A Study of Deep Seismic Zone in the Northeastern Japan Arc, Thesis, Tohoku University, 89 pp.
- HASEGAWA, A., N. UMINO and A. TAKAGI, 1978a, Double-Planed Structure of the Deep Seismic Zone in the Northeastern Japan Arc, *Tectonophysics*, **47**, 43-58.
- 堀内茂木・江村欣也・平沢朋郎, 1972, 気象庁観測網を用いる場合の P 波による発震機構決定の精度, *地震* **2**, **25**, 241-253.
- 笠原敬司, 1980, 関東地方の地震発生様式について, *地震学会講演予稿集*, No. 2, 66.
- MINSTER, J. B., and T. H. JORDAN, 1978, Present-Day Plate Motions, *J. Geophys. Res.*, **83**, 5331-5354.
- 鈴木貞臣・本谷義信, 1981, 北海道の微小地震活動——テレメータ観測網による——, *地震* **2**, **34**, 251-267.
- TAKAGI, A., A. HASEGAWA and N. UMINO, 1977, Seismic Activity in the Northeastern Japan Arc, *J. Phys. Earth*, **25**, Suppl., S95-S104.
- 津村建四朗, 1973, 関東地方の微小地震活動, *関東大地震 50 周年論文集*, 67-87.
- 海野徳仁・長谷川昭, 1975, 東北日本にみられる深発地震面の二層構造について, *地震* **2**, **28**, 125-139.
- 宇津徳治, 1977, *地震学*, 共立全書, 286 pp.
- VEITH, K. F., 1974, The Relationship of Island Arc Seismicity to Plate Tectonics, Thesis, Southern Methodist University, 162 pp.
- 吉井敏尅, 1979, 日本列島付近の地球物理データのコンパイル, *地震研究所彙報*, **54**, 75-117.
- YOSHII, T., 1979, A Detailed Cross-Section of the Deep Seismic Zone beneath Northeastern Honshu, Japan, *Tectonophysics*, **55**, 349-360.