1944 年東南海地震前後の地震活動

静岡県庁 岩 田 孝 仁
気象研究所 浜 田 信 生

(昭和 61 年 9 月 18 日受理)

Seismicity before and after the Tonankai Earthquake of 1944

Takayoshi IWATA

Shizuoka Prefecture Office

Nobuo HAMADA

Meteorological Research Institute

(Received September 18, 1986)

In the present study, we have accumulated most complete seismological data and re-investigated the seismicity associated with the 1944 Tonankai earthquake. Because of poor observation and social difficulty during the World War II, incompleteness and insufficiency in observational data resulted in rather obscure view about the actual process and mechanism of the earthquake. Number of aftershocks and their location accuracy reported by existing studies seem to be dissatisfactory for detailed discussion.

We found some observational data that are still available but have not been used yet, then, we applied a modern hypocenter location method to the newly compiled data and succeeded in increasing the number of accurately located aftershocks more than twice. The followings are important findings of the study.

The mainshock initiated from the bottom of the fault plane, in the south-west corner of the focal region. This feature is in accordance with the results of some previous studies. Most of aftershocks concentrated in the vicinity of the Shima spur, which extends south-east from the Shima peninsula to the Nankai trough. Temporal broadening of the aftershock region toward south-east along the spur is recognized and this trend seems to continue over 40 years until now. Distribution of aftershocks around Shionomisaki, the southern top of the Kii peninsula, may suggest some overlapping of the focal regions of the Tonankai and the 1946 Nankaido earthquake. Aftershock activity or induced seismicity is also recognized in the middle part of Shizuoka prefecture where some seismologists assume the focal region of a future interplate earthquake, so called Tokai earthquake. Seismicity around the southern Izu peninsula may represent an induced activity along one of the active faults which strikes southeast from the peninsula. Other induced seismic activity in inland area of central Honshu indicates a large extent of the effect of the interplate earthquake on the tectonic environment of the mentioned area. This study will contribute to gain better understanding of the process and mechanism of the Tonankai earthquake.

§1. はじめに

1944 年東南海地震は、近年の日本列島周辺の地震活動の中では、最大級の出来事であつた

昭和 61 年 4 月 2 日発表

ばかりでなく、駿河湾で予想される東海地震 [石橋 (1977), ISHIBASHI (1981)] との関係などから、数多くの研究が行われている。地震活動については、関谷・徳永 (1975)、津波の波源域については羽鳥 (1974) などの研究があり、地震の断層モデルも幾つも提出されている [KANAMORI (1972), ANDO (1975), 藤井 (1980), ISHIBASHI (1981) など]。しかしこれらの研究の基礎になつた観測資料は、決して十分なものであつたとは言い難い。観測そのものが不十分であつたばかりでなく、戦争末期の混乱、情報の統制などのため、ごくわずかの事実しか公表されなかつた。最近になり、駿河湾で予想されている東海地震との関連もあり、東南海地震の被害については、本格的な調査が行われるようになり [静岡県 (1986) など]、被害の様子などは次第に詳しい事がわかりつつある。しかし地震活動そのものについては、新資料の発見もなく、あまり議論が進んでいない。本論文は、東南海地震の前後の地震活動を、資料の整理まで遡つて再調査したものである。

§ 2. 今までの調査

東南海地震前後の地震活動については、気象要覧、関谷・徳永 (1975)、気象庁地震月報別冊 No. 6 (1982) [以下単に月報別冊とよぶ] など過去数回の報告が行われている。しかしこれらの調査には、幾つかの不十分な点を感じられる。例えば震源の報告されている余震の数が異常に少なく、月報別冊によれば、主な震源域と考えられている熊野灘付近では 50 個足らずである。海域で観測網から離れた地域とはいえ、同時代に発生した鳥取地震 (1943 年)、三河地震 (1945 年) に比べると、余震の数の少ないことが際立つ。海域で発生した同じ規模の地震である 1968 年十勝沖地震の場合と比較しても、数が少ない。余震の少ないことが、観測が不十分であつたためか、それとも本質的なものであるかは重要な問題である。

もう一つ重要な点は、震源の精度である。例えば気象要覧や KANAMORI (1972) による本震の震央と月報別冊の震央は、大きく異なり 40 km 近く離れている。調査方法により、こんなに震源の位置が変わるものかという疑問が残る。気象要覧に報告されている震源は、S-P 時間を用いた図式解法によるもので、結果は吟味されているけれども震央は 0.1° 単位で表示され精度はあまり期待できず、また報告された地震の数も少ない。関谷・徳永 (1975) によるものは、気象要覧に報告された地震の他に若干の震源が追加されているが、どのようにして震源が決められたかはつきりしない。月報別冊に報告された震源は、新たに S-P 時間を用いて電子計算機により震源を計算しなおした結果である。しかし機械的に資料を処理しているためか、過去の調査に比べ精度が向上したとは言い難い。

これらの調査では、当時の地震観測の時刻精度が、P 相や S 相の発震時を用いて震源を求めるのに十分でなかつたという認識のもとに、いずれも S-P 時間 (初期微動継続時間) を用いて震源決定が行われてきた。しかし KANAMORI (1972) は、遠地観測点も含め P の発震時だけを用いて本震の震源を求めている。最近 HAMADA (1985) は、福井地震 (1948 年)、三河地震 (1945 年) の余震活動を再調査して、当時の時刻精度は今まで考えられていた程低いものではなく、発震時を用いると、詳しい余震分布の調査が可能であることを示した。内陸に比べ条件が良くない東南海地震の場合、観測値が本震の場合ほど数が揃わなくとも、発震時を使つて余震の震源でも、精度よく求められるのではないかという期待が残る。

被害地震の後には、大学などにより臨時の調査観測が実施されるのが通例であるが、東南海

地震の場合厳しい社会情勢のもとで臨時観測が行われたのは、2ヶ月たつた後であつたため、余震活動を十分把握できてない[水上・内堀 (1946)]。そもそも近代地震学が開始されて以来、日本列島の太平洋岸で発生したマグニチュード8クラスの地震は数が限られるばかりでなく、余震活動の詳しい調査が行われた例は極めて稀である。我々は、太平洋岸に発生する巨大地震に伴う地震活動の移り変わりを、未だに理解していないといつても過言ではない。将来発生が予想される東海地震の震源域との関係を議論する上でも、残されている資料による、東南海地震前後の地震活動の詳しい調査は不可欠である。

§3. 観測資料

東南海地震発生当時、中央气象台関係の气象台、測候所では、まだ大半の観測点で地震観測が維持されていた。物資の不足や、空襲の被害により観測を中断する観測点が増えてくるのは、昭和20年に入ってからである。その他に、震源域の周辺で地震計による観測が行われていたのは、地震研究所(本郷)、京大理学部阿武山地震観測所それに伊豆半島の下田市須崎にあつた三井地球物理研究所(現在、宮内庁須崎御用邸)の3ヶ所である。これらの観測資料の中で現在残されているのは、气象台関係では各観測点の原記象紙の一部、それぞれの観測点の観測結果を記載した地震観測原簿、気象庁本庁に保管されている各観測点からの報告をまとめた地震調査原簿などである。原記象紙は本震の前後など一部だけが残されている。地震観測原簿は、戦災により焼失した観測点を除き大半が残されている。当時の地震調査原簿は全部残されており、今までの調査は、いずれもこの地震調査原簿に基づくものであつた。しかし今回の調査の際、地震調査原簿と地震観測原簿を照合した結果、当時の地震調査原簿がはなはだ不完全なものであることが判明した。各観測点の報告の内、約二割の資料が地震調査原簿から漏れている。今回の調査では、地震調査原簿を基に、地震観測原簿から資料を補いながら、1944年9月から1945年1月にかけての期間の气象台関係の全地震観測資料をファイル化した。東南海地震関係に限ればもつと効率の良い調査が可能であるが、調査の重複などの無駄を省き、将来の資料の利用の便を計るうえで、電子計算機で利用できる完全なファイルを作ることの意義は少なくない。最終的に完成した5ヶ月間のファイルは、震源に関する情報などを含めるとデータカードに換算して約4万枚を越え、1975年頃の地震月報一年分に匹敵する大きさになつた。なお原記象紙の再観測は、時間がかかるので今回の調査では見送つた。

气象台以外の資料は残念ながら、今となつてはほとんど利用不可能である。地震研究所の1944年12月分の記象紙は、行方不明である(津村私信)。三井地球物理研究所の記録は、1947年に施設が宮内庁に移管される際、焼却されたといわれる(宮内庁および越川私信)。阿武山は、余震域から離れており、内陸部で誘発された地震活動などの調査には役立つものと考えられるが、今回は利用しなかつた。

§4. 震源決定法

過去の調査ではいずれもS-P時間を用いて震源が求められている。今回は、震源決定に発震時を用いる最小自乗法、つまり現在の気象庁の震源決定法[浜田ら(1984)]を用いた。これは、先に述べたように当時の時刻精度が、今まで考えられていた程悪くないと判断したことによる。その他にP相、S相の発震時を独立に用いると、求めるべき震源パラメーターに対し観

Table 1. Monthly numbers of earthquakes in and around Japan for the period before and after the Tonankai earthquake of 1944 investigated and located by the present study and those listed in the JMA (1982).

Month (Period)	Number of located earthquakes	Number of poor solutions	Listed in the JMA (1982)
1944, September	35	24	24
October	32	12	21
November	21	7	11
December	233	102	111
(1- 7)	4	6	3
(7-31)	229	96	108
Sum of 1944	321	145	167
1945, January	338	77	177

観測の数が多くなるので、精度が向上するばかりでなく震源の決められる地震が増えると予想されること、現在と同じ決定法を用いることにより、結果の精度などを現在の地震と共通の基準により評価できるなどの利点もある。ただし明らかに時刻がずれている観測値も認められるので、それらの観測値も活用するために、通常、最小自乗法から、次式の第三項を加えた走時残差の二乗和を最小にするように、プログラムを改造した。

$$R = \sum \{W_p(O-C)_p\}^2 + \sum \{W_s(O-C)_s\}^2 + \sum \{W_{sp}(O-C)_{sp}\}^2$$

ここで W_p , W_s , W_{sp} は、それぞれの重み、括弧の中は、P, S, S-P の走時残差を示す。観測値を発震時として使うか、第三項に入れて計算するかは、経験的に判断したので、震源計算の結果にはある程度の任意性がある。しかし S-P 時間として用いた観測値は観測値全体の二割程度であるので、震源決定への寄与は大きくはない。震源決定の結果を採用するかどうかは、有効な観測値が8個以上あり、また観測点の配置や地震の規模も考慮して、経験的に判断して妥当なものを選別した。少なくとも月報別冊の震源よりは信頼できると判断した結果ばかりを選んである。Table 1 に今回の調査で求めた日本列島周辺全体の月別の地震数、月報別冊に掲載された地震数を示す。その他に参考地震数 (poor solutions) として示したものは、震源は一応決められるが、上記の基準を満たさない信頼出来ないものの数を表す。月報別冊に比べ、今回の調査で決まった震源の数はほぼ倍増した。

§ 5. 東南海地震発生前の地震活動

Fig. 1 は、1944 年 9 月から本震発生までの期間の、中部日本を中心とした地域における地震活動を示したものである。広域的にみて、この時期の活動が特に異常であるという兆候を見出すことは、むずかしい。東北地方の太平洋岸や関東地方の内陸部の地震活動は、定常的に見える。紀伊半島の和歌山周辺の地震活動も特に変化は認めがたい。強いていえば、Table 1 に示されるように、直前の 11 月の地震活動が、それまでに比べやや静かになつていように見えることであろう。この活動の低下は、主として関東地方内陸部に発生した地震の数が少なかったことによる。しかしこの程度の変化は、他の時期にもあるので、これをもつて前兆ということは困難である。その他、今回の調査期間の前の 8 月に、尾鷲付近で小地震の群発があつたことが知られている。しかし尾鷲付近では、現在でもしばしば局発地震が発生している。Fig. 2 は、1944 年 8 月と 1971 年から 1975 年ころの尾鷲、潮岬における S-P 時間の頻度

分布を比較したものである。尾鷲の場合、S-P 時間の短い地震が、最近も定常的に発生していることがわかる。もしこのような地震活動が東南海地震発生前にも時々あつたとすれば、8月の群発地震活動を特に前兆と識別することは困難であろう。

§ 6. 本震発生後の地震活動

12月7日の本震発生後、1, 10, 30日間に分けて表示した東海地方を中心とした地域の地震活動を Fig. 3 に、比較のために月報別冊による30日間の活動を Fig. 4 に示す。本震発生後、12月中に起こった M 4 以上の地震の震源要素は、Table 2 に示す。本震後数時間は、地震計の故障や時計が止まるなど、観測にもかなり混乱が認められ、余震の分離すら難しく、震源を決めることは容易ではなかつた。しかし一部の観測点の原記象紙を検討した結果、本震直後の一時間以内に発生した余震の中には、 M 5 クラスの余震の震源を一つ決め洩している可能性があるが、その他には大きい余震で震源を決められなかつたものはないと判断

できた。Fig. 5 は、志摩半島沖の余震に関するマグニチュード頻度、累積頻度分布を示す。b 値が少し小さいことが気になるが、この地域に関する限り、 M 4.2 以上の余震はほとんど震源が決まっていると考えられる。今回の調査で初めて明らかになった本震後の地震活動の特徴である、志摩半島沖の余震の密集、潮岬沖の余震活動、静岡県中部の地震活動、伊豆半島から大島近海の地震活動などの様子を次に説明する。

a) 本 震

今回求めた本震の位置は、月報別冊より気象要覧、KANAMORI (1972) の報告した位置に近く熊野灘の南西よりになる。観測値の組み合わせを色々変えながら震源の深さを検討したが、気象庁の標準走時を用いる限り、震源の深さは 35 km から 40 km の範囲に入る。震央が海岸に近く、断層下部から破壊したことは確実である。各観測点の走時を見ると Fig. 6 に示すように、S 相の走時残差が、近くの観測点を除き大きくばらついて、プロットの範囲からはずれたものも多い。一般に震源過程が複雑な大地震の場合、S 相の識別がむずかしく、S-P 時間を用いる限り、正確な震源を求めることが困難であることを表している。

Fig. 1. Seismicity around the central Honshu over three months before the Tonankai earthquake, during the period from September 1 to December 7, 1944.

Fig. 2. Comparison of histograms of S-P interval times between those observed at Owase and Shionomisaki during the period 1971-1975, and that of preceding swarm of the Tonankai earthquake observed in August 1944 at Owase.

Fig. 3. Epicenter distribution within 30 days after the Tonankai earthquake of 1944. Solid octagons, the mainshock and aftershocks within 24 hours; Open octagons, those which occurred after 24 hours but within 10 days; open squares, those which occurred after 10 days.

Fig. 4. Epicenter distribution within 30 days after the Tonankai earthquake of 1944, reported by the JMA (1982).

Table 2. Hypocenter list for the period from December 7 to December 31, 1944 relocated by the present study. In the list, 'STN' and 'P, S' respectively denote number of stations and number of effective arrival times which can be used in hypocenter determination.

ORIGIN TIME						LONGITUDE			LATITUDE			DEPTH	MAG	STN	P, S
YR	M	D	H	MIN	SEC	+/-	DEG	MIN	+/-	DEG	MIN	+/-			
44	12	7	13	35	40.0	0.4	136	10.7	1.5	33	34.2	1.7	40.0	7.9	39 46
44	12	7	13	54	47.2	1.1	137	27.8	2.8	34	4.0	3.8	42.0	5.9	6 13
44	12	7	14	25	54.0	0.4	136	29.6	2.6	34	14.3	2.6	59.0	5.5	13 17
44	12	7	14	29	58.4	0.9	136	57.5	1.9	34	15.4	3.6	0.0	5.3	7 14
44	12	7	14	48	7.0	0.4	136	34.5	2.3	34	6.4	2.3	46.0	5.6	14 24
44	12	7	15	12	15.3	0.5	136	58.3	1.4	34	0.8	2.5	27.0	5.0	6 13
44	12	7	15	19	4.1	0.6	137	11.5	2.1	34	10.3	2.5	3.0	4.7	9 16
44	12	7	15	25	34.1	0.7	136	19.7	2.2	33	30.4	2.6	29.0	6.3	14 20
44	12	7	15	48	46.2	0.5	136	21.6	2.1	33	44.0	2.1	31.0	5.9	12 16
44	12	7	16	51	53.7	0.3	136	49.5	1.2	34	13.7	1.6	0.0	4.6	13 20
44	12	7	17	3	7.2	0.2	136	45.8	1.1	34	12.0	1.1	50.0	4.5	8 20
44	12	7	17	59	50.9	1.2	136	35.7	4.9	34	2.2	2.8	0.0	4.4	7 9
44	12	7	18	6	2.2	0.2	137	25.2	0.9	35	30.5	2.0	0.0	4.4	9 13
44	12	7	18	24	57.6	2.6	137	0.0	4.9	33	40.3	9.6	32.0	4.3	6 8
44	12	7	18	29	11.8	0.5	136	57.6	2.4	34	10.2	1.5	28.0	4.7	8 17
44	12	7	20	30	37.8	0.6	135	57.7	3.8	33	34.5	2.4	39.0	4.6	6 12
44	12	7	21	45	32.4	1.0	136	40.4	4.4	34	12.6	2.7	0.0	4.2	8 9
44	12	7	23	26	23.6	0.5	136	35.7	2.4	34	24.0	1.9	0.0	4.3	11 11
44	12	8	1	55	39.9	0.5	136	36.6	1.6	34	21.7	2.1	3.0	4.0	9 10
44	12	8	2	43	4.7	0.4	137	1.8	1.9	34	40.2	2.3	45.0	4.5	10 15
44	12	8	4	18	6.3	1.3	135	40.0	4.3	33	12.0	4.1	0.0	4.8	11 19
44	12	8	5	40	20.0	0.4	137	16.3	1.5	34	28.4	2.0	6.0	4.2	8 10
44	12	8	5	57	52.1	0.7	139	30.6	2.2	34	25.8	2.0	12.0	5.8	21 36
44	12	8	6	23	32.2	0.7	139	27.1	2.0	34	39.5	2.9	12.0	5.4	16 25
44	12	8	6	57	22.9	0.9	136	50.4	2.2	34	9.0	3.9	0.0	4.4	9 16
44	12	8	11	47	24.1	0.5	137	46.1	1.2	34	35.5	3.3	27.0	5.1	16 28
44	12	8	12	13	58.2	0.7	137	0.4	2.3	34	34.4	2.5	0.0	4.0	6 10
44	12	9	3	20	57.3	0.6	139	6.4	1.9	34	28.0	2.9	30.0	6.3	24 30
44	12	9	5	48	18.3	1.2	139	26.1	4.2	34	35.2	2.5	0.0	4.6	12 19
44	12	9	8	4	54.5	0.7	136	19.7	2.7	34	42.7	2.7	0.0	3.9	8 10
44	12	9	8	20	59.6	0.6	136	57.1	2.2	34	5.3	2.3	0.0	4.5	6 9
44	12	9	8	24	3.7	0.6	136	47.5	1.8	33	52.9	2.1	0.0	5.0	12 19
44	12	9	9	9	38.5	0.3	136	7.3	1.6	35	32.0	1.3	6.0	4.1	9 14
44	12	9	11	32	30.7	0.4	139	3.9	1.4	34	35.8	1.7	15.4	3.8	4.4 13 20
44	12	9	16	3	25.1	0.8	135	48.9	2.9	33	15.7	2.7	21.0	4.9	13 21
44	12	9	16	50	20.7	0.5	136	43.2	1.6	33	57.5	1.7	4.0	4.4	12 18
44	12	9	19	29	22.7	0.3	138	19.3	1.4	34	55.8	1.5	11.8	4.2	4.5 11 17
44	12	10	0	23	16.9	0.3	142	14.1	2.5	42	14.8	1.1	4.0	5.1	6 13
44	12	10	1	3	37.5	0.6	138	2.5	1.8	36	51.1	2.7	17.3	4.6	4.3 13 18
44	12	10	1	15	44.9	0.2	136	10.1	0.7	35	12.9	0.8	3.5	2.6	5.3 19 36
44	12	10	1	39	5.5	0.7	137	4.2	2.8	34	9.3	2.4	40.0	4.6	11 19
44	12	10	5	1	9.7	0.6	141	5.7	1.9	38	9.0	4.6	99.0	4.0	4 6
44	12	10	7	35	28.7	0.2	137	47.5	0.7	34	49.0	0.8	0.0	4.5	18 34
44	12	10	10	59	12.5	0.3	137	49.8	1.1	35	51.1	1.2	8.0	4.4	13 19
44	12	10	13	40	8.7	0.4	138	58.0	1.3	36	1.2	1.2	148.9	4.3	4.6 20 29
44	12	10	13	56	44.8	0.4	138	53.0	1.1	34	41.3	1.7	11.5	4.8	4.5 18 23
44	12	10	16	54	43.7	0.9	137	42.6	1.9	34	28.5	5.2	40.0	4.7	13 19
44	12	10	20	2	21.3	0.7	137	54.1	1.7	36	54.6	3.2	15.0	4.7	11 16
44	12	10	20	14	27.3	0.4	138	58.9	1.0	34	43.6	1.6	2.0	4.6	4.2 18 28
44	12	10	21	22	7.0	1.0	136	48.4	2.3	33	51.6	3.8	1.0	4.6	11 14
44	12	11	4	14	7.4	0.3	137	27.5	1.3	36	13.4	1.5	0.0	4.5	20 29
44	12	11	9	46	35.2	0.3	136	47.0	1.0	34	8.9	1.2	23.0	4.1	8 14
44	12	11	13	43	52.7	0.3	136	44.2	1.3	34	15.7	1.1	13.0	4.1	13 22
44	12	11	17	59	8.2	0.3	136	55.1	1.1	34	11.6	1.0	9.0	4.2	9 20
44	12	11	20	36	3.3	1.6	136	36.5	4.5	33	47.2	7.4	65.0	4.3	6 7
44	12	12	19	25	10.4	0.5	136	59.5	2.0	33	48.6	2.3	72.0	6.4	35 44
44	12	12	19	44	9.9	0.5	136	48.5	1.4	34	4.2	1.9	0.0	4.8	15 22
44	12	13	10	33	30.3	0.3	135	45.6	1.9	33	30.6	1.0	0.0	4.6	13 20
44	12	13	20	11	38.8	0.5	135	37.7	1.6	33	14.7	1.9	7.5	3.5	5.0 15 24
44	12	14	11	20	44.7	0.5	137	5.1	2.4	33	51.7	1.9	41.0	4.2	6 11

Table 2. (Continued)

ORIGIN TIME						LONGITUDE			LATITUDE			DEPTH	MAG	STN	P.S
YR	M	D	H	MIN	SEC	+/-	DEG	MIN	+/-	DEG	MIN	+/-			
44	12	14	11	23	14.5	0.3	137	8.0	1.0	34	24.6	1.4	25.0	4.7	12 25
44	12	14	13	49	8.8	0.6	135	36.4	1.7	33	10.2	2.1	3.0	5.3	21 29
44	12	14	14	23	50.2	0.5	136	54.3	2.1	34	2.3	1.7	46.0	4.7	13 23
44	12	14	18	29	8.5	0.5	137	3.5	1.5	34	10.6	1.8	0.0	4.1	8 14
44	12	14	21	20	24.7	0.6	137	12.1	1.4	33	53.4	2.3	8.0	4.9	15 25
44	12	15	4	2	52.1	0.4	136	45.6	1.2	34	17.8	1.5	0.0	4.2	14 23
44	12	15	5	1	32.6	0.6	136	53.3	1.4	33	59.4	2.6	18.0	4.2	10 16
44	12	15	19	15	19.5	0.4	138	53.8	1.2	34	41.2	1.6	7.0	4.4	18 28
44	12	16	12	39	37.5	0.2	138	2.5	1.2	36	31.2	1.5	47.4	4.9	20 33
44	12	16	16	38	37.7	0.4	137	31.9	0.9	36	4.4	0.9	2.0	5.0	22 38
44	12	16	20	20	55.9	0.3	136	2.4	1.4	33	45.4	1.2	15.3	4.6	12 20
44	12	17	0	30	57.0	0.5	135	56.5	1.8	33	33.4	1.7	8.0	5.7	21 35
44	12	17	16	16	23.9	0.9	137	26.4	2.4	34	15.3	3.7	0.0	4.3	10 18
44	12	17	16	18	40.2	0.4	128	27.7	7.7	27	13.7	4.1	128.0	6.2	9 12
44	12	18	5	14	39.4	1.0	140	54.1	4.5	35	27.1	2.0	7.0	4.8	14 21
44	12	19	23	8	50.1	1.9	124	9.2	3.7	39	44.8	18.4	11.0	6.8	3 6
44	12	21	3	42	14.8	0.2	135	54.2	1.0	35	23.1	0.9	19.2	3.3	4.5 16 35
44	12	21	8	27	36.1	0.8	136	49.7	2.7	34	2.1	2.8	0.0	4.3	10 15
44	12	22	1	19	11.5	0.6	136	53.4	2.5	34	7.3	2.1	38.0	4.4	5 13
44	12	22	1	52	6.7	0.5	137	37.8	1.5	34	39.8	3.9	10.0	4.0	7 10
44	12	23	15	9	55.6	0.4	136	59.8	1.5	34	2.6	1.6	23.0	4.8	11 25
44	12	23	19	7	43.6	0.3	136	54.5	1.3	35	35.4	1.2	20.3	4.8	4.3 22 36
44	12	23	19	47	22.8	0.2	136	56.9	1.0	35	30.6	1.2	10.0	4.2	15 25
44	12	24	15	18	12.4	0.4	137	48.6	1.5	34	44.2	2.9	18.0	4.0	12 17
44	12	25	20	7	7.9	0.4	140	15.7	3.4	35	44.5	1.9	62.0	4.1	10 12
44	12	26	12	10	27.0	0.5	137	0.3	1.6	33	47.6	2.1	38.0	5.2	14 25
44	12	27	3	58	36.3	0.8	136	34.4	2.8	33	48.8	2.9	0.0	4.2	11 13
44	12	29	20	2	39.5	0.3	140	17.7	2.1	35	35.2	1.1	50.0	5.5	32 50
44	12	29	22	30	55.6	0.4	140	16.1	2.3	35	32.9	1.2	62.0	4.6	21 36
44	12	29	22	49	29.9	0.9	130	31.3	6.3	27	11.5	3.9	125.0	6.1	7 11
44	12	30	0	47	13.8	0.6	138	58.6	1.6	34	37.1	2.3	0.0	4.2	11 16
44	12	30	6	2	6.8	0.6	137	12.6	1.6	34	1.2	2.4	20.0	4.8	12 18
44	12	30	10	0	55.7	0.4	140	12.1	2.2	35	33.4	1.3	49.0	4.0	18 27
44	12	30	21	59	35.1	0.2	135	46.9	1.8	33	39.7	0.8	5.0	4.1	6 8
44	12	31	4	40	2.0	0.8	137	7.9	3.2	33	31.5	2.6	14.0	5.6	19 25
44	12	31	19	49	50.5	2.2	141	48.9	9.6	36	11.3	4.9	12.0	4.9	10 13
44	12	31	21	31	36.9	1.9	141	27.6	8.6	36	22.5	3.5	8.0	4.7	12 14

Fig. 5. Magnitude frequency (open circles) and magnitude cumulative frequency (solid circles) histograms for aftershocks that occurred in the area off the south-east coast of Kii peninsula (Kumanonada). An open square on the ordinate indicates total number of located aftershocks including those of which magnitude is not determined.

b) 志摩半島沖の余震活動

本震直後から、志摩半島から南東の方向に向かつて、顕著な余震活動の密集が認められる。しかも時間がたつに従つて、余震が沖合いに広がつたように見える。Fig. 7 に、本震直後 24 時間以内と、その後の尾鷲における余震の S-P 時間頻度分布を示す。亀山や檀原などでも、やはり S-P 時間が時間がたつと共に長くなる傾向を示し、余震が徐々に沖合いのほうに広がつたことを裏付けている。この余震域と本震の間の地域は、比較的余震が少な

Fig. 6. A plot of travel time residuals of P arrival times (solid circles) and S arrival times (open circles) for the Tonankai earthquake.

つた。

最近の微小地震分布の調査から、山崎・大井田 (1985) は紀伊半島や東海地方の下へ潜り込むフィリピン海プレートと、その傾きや形状により、志摩半島の北側で東海スラブと東南海スラブに分けて分類している。余震の集中する部分は、ちょうどこの東南海スラブの北の縁にあたる。これらのことは、南西の端の断層面の底から始まった本震の破壊が北東の方向に進行し、志摩海脚に達してここで破壊が停止したかどうかはともかく、破壊過程の上で一つの節目を迎えたことを暗示している。

今までに提案された東南海地震の幾つかの断層モデルは、いずれもこの部分に断層の境界を置いているが、そのことは上記のことから考えても妥当であろう。

c) 潮岬沖の余震活動

今まで東南海地震の余震は、潮岬付近にはほとんど決められておらず、また南海道地震の余震活動が潮岬の東側まで広がっていたので、東南海地震の震源域の端を潮岬の北東側に、南海道地震の震源域を潮岬の東まで広げて考えることが普通であつた。しかし今回の調査により、本震直後から潮岬付近と、その沖合いに余震活動が存在したことが確認された。明らかに南海道地震の余震域とは重なっている。震源の深さの精度は十分でないが、これらの地震はプレート境界ではなく、上部の地殻内に発生した浅い地震と考えられ、二つの地震の震源域とどのような係わりを持つのか、今後検討する必要がある。

d) 静岡県中部の地震活動

今まで天竜川河口付近に余震活動が起こったことは、知られており、今回の調査でもその様子はさらにはつきりした。しかし今まで静岡県中部、清水市、静岡市付近に地震活動がある

Fig. 7. Frequency distribution of S-P interval times for the aftershocks observed at Owase concordant with the temporal extension of aftershock region toward offshore area. Solid circles are for aftershocks within 24 hours and open squares are for those which occurred after that.

Fig. 8. Seismicity around the Izu peninsula induced by the Tonankai earthquake of 1944 and a possible focal mechanism solution of the largest earthquake projected onto the lower focal hemisphere (equal area projection). Seismicity may be activated along a possible active fault indicated by broken line. Induced earthquakes are denoted by open circles and preceding earthquakes which occurred one year before are denoted by solid circles.

ことは確認されていなかった。今回の結果から規模の小さい地震活動があつたことが確認できた。しかしこれをもつて震源域をこの部分まで延長して考えることはむずかしい。潮岬沖の活動に比べ規模も小さく、本震発生後やや時間をおいて発生している。震源の深さは、いずれも地殻内部の深さ 20 km 以下の浅いものであろう。

e) 伊豆半島周辺の地震活動

東南海地震の後、伊豆半島の南部で地震活動があつたことが、地元住民の体験談として報告されている。南伊豆町妻良在住の平木国松氏の体験談によれば、本震後何日も裏山で地鳴り、鳴動が激しく、まるで 1930 年の北伊豆地震の時のようだったという。今回の調査で伊豆半島の南部に、北西南東方向に伸びる地震活動が確認できた。今までの調査ではつきり確認出来なかったのは、大島など重要な観測点の報告が漏れていたためである。この地震活動は、1974 年伊豆半島沖地震、1978 年伊豆大島近海地震の震源域の中間に平行に分布しており、Fig. 8 に破線で示したような中間に存在する、活断層の一つに沿った活動ではないかと考えられる。この部分は、現在では微小地震の発生すら稀である。震央のばらつきはそのまま震央の決定誤差を示し、この地域では誤差が最大 10 km 程度あると考えられる。最大地震 ($M 6.3$) の発震機構もこの考えに調和的であり、また 1943 年中には、 $M 4$ クラスの先行する二つの地震が、活動域の中間に発生している (Fig. 8)。したがって活動期に入っていたこの地域の地震活動が、東南海地震により、誘発されて盛んになったものとみられる。

§ 7. 余震活動と震源モデル

Fig. 9 は、本震後 1945 年 1 月までの地震活動、及び INOUCHI and SATO (1975) による断層モデルと、その根拠となつた地殻変動を示す。1 月に入つての顕著な活動は、なんといつでも三河地震である。その他駿河湾の北部、銭洲海嶺付近にも顕著な地震活動が認められる。

Fig. 9. Compilation of epicenter distribution, crustal movement and a fault model of the Tonankai earthquake. All the hypocenters with focal depths less than 90 km for the period from December 7, 1944 to January 31, 1945 are in the plot. Crustal movement and the fault model are after INOUCHI and SATO (1975).

これらの活動を、余震活動、誘発された地震活動に区別することは困難であり、またその意義も少ないであろう。Fig. 1 と比較すれば、トラフ沿いの巨大地震が、広範囲の地殻の応力、歪に変化を与えたことは、確かである。内陸部の長野県の西側県境に沿う地震活動、岐阜県南部の地震活動、琵琶湖周辺の地震活動などに囲まれた地域は、HUIITA (1962) の提唱した近畿トライアングルと呼ばれる、近畿地方北部の活断層の多い不安定地塊を三方から取り囲み剛体的に振る舞う固い安定地塊の一つ、美濃飛驒地塊とほぼ対応している。あたかも剛体的に振る舞う安定地塊の周辺に応力、歪変化が集中して地震を誘発したように見える。このことは、大地震による広域応力場の変化は、例えば山科 (1975) が推定に用いたような、均質な弾性体に期待される一様なものではなく、ブロック運動に伴う特定の弱線に集中する形式を持つ可能性を示している。逆に巨大地震後の地震活動を調べることで、そのような部分を推定できる可能性がある。

今回の調査による余震分布は、今まで提案された幾つかの東南海地震の断層モデルの中でどれが妥当かを判断する上で、有力な根拠になるであろう。津波の波源域や、今回調査した余震域に最もよく調和しているモデルは、今の所、相田 (1979) が津波の理論波形と良く一致する

とした、INOUCHI and SATO (1975) のモデルであろう。一枚の断層面を仮定する一次近似モデルとしてなら、KANAMORI (1972) の推定も妥当であろう。INOUCHI and SATO (1975) モデルは、地震前後の地殻変動を説明するために考えられたモデルで、特に掛川から天竜川河口付近の隆起、伊勢湾周辺の沈降を説明するために、熊野灘とは別に北東側にもう一枚の断層面を仮定している。しかし根拠になつている水準測量の調査結果は、時間の隔たつた調査に基づいており、伊勢湾周辺では三河地震や地下水の利用の影響も含まれている。また小規模の隆起沈降を、すべて地震による断層運動で説明する必然性があるかどうかとも検討の余地が残る。例えば、1978 年伊豆大島近海地震に先行して、伊豆半島の冷川峠付近で地殻の隆起が観測されているが [国土地理院 (1975)], 同じようなことが、東南海地震の前後に起こつても不思議とはいえないのではなからうか。天竜川河口付近の地震活動は地殻内部の浅い活動と考えられ、隆起した地域とは良く対応しており、隆起が断層モデルとは無縁の非地震性で局部的なものであつた可能性もある。北東側の断層の広がりや変位量は、駿河湾を中心とした地域に想定されている東海地震の断層モデルともかかわつてくるので、今後も十分検討する必要がある。

§ 8. その後の地震活動

東南海地震の震源域周辺の 1961 年以降の最近の地震活動、隣接して発生した 1946 年南海道地震や二つの顕著な余震の震源を再決定した結果とその発震機構などを Fig. 10 に示す。東南海地震の本震の発震機構も、参考までに示す。最近の熊野灘周辺の地震活動は、本震直後の地震活動が、そのまま延長されているように見える。志摩海脚に沿つて地震活動が存在し、しかも沖合い側に顕著な地震が起こり、陸から沖合いに活動が広がる傾向が、現在もそのまま延長されているように見える。南海道地震の震源は、今までの調査と同じく潮岬の沖合いに求められ、深さは 10 km から 20 km と浅いので、東南海地震とは反対に断層面の上部から破壊が始まつたと考えられる。1948 年 4 月に発生した $M 7.0$ の地震は、南海道地震の震央に近く、7 月に発生した $M 6.4$ の地震は、その東の沖合いであつた。これらの地震は、どちらの地震の余震とも言い難く、恐らく東南海、南海道両地震の震源域に挟まれて、完全には破壊されなかつた隙間を埋めるように発生したものであろう。

発震機構は、今まで報告されたもの [KANAMORI (1972)] と大差はない。ただし南海道地震や 1948 年の余震の発震機構解には任意性があるが、東南海地震の場合、解は一意的に決まる。これらの発震機構解から推定されるフィリピン海プレートのスリップの方向は、西よりであり、INOUCHI and SATO (1975) の北西ないし北よりの方向とはかなり違つている。山崎・大井田 (1975) の推定した東南海スラブの形状を考えると、東南海スラブは、場所によりその傾斜の方向、つまり南側は西よりの向き、北側は北西ないし北向きにスリップしたことも予想出来るので、実際の断層の運動はモデルに比べもつと複雑であろう。

§ 9. ま と め

東南海地震前後の地震活動を詳しく調べるために、今まで活用されていなかった資料を集め、また観測の時刻精度が信頼できると判断して発震時を用いる震源決定法を採用したところ、今までの調査の倍近い数の震源を精度よく決定することに成功した。当時の地震検知能力を考慮しても、1946 年の南海道地震や 1968 年の十勝沖地震に比べ、やはり基本的に本震の規模の割

Fig. 10. Recent seismicity around the focal region of the Tonankai earthquake during the period from 1961 to 1984. Epicenters of big events re-examined in the study, the Nankaido earthquake of 1946 and two aftershocks in 1948, are also denoted by large open circles. Hypocenters with focal depths less than 90 km and magnitudes greater than 3 are selected in the plot. Focal mechanism solutions of the two interplate earthquakes and their largest aftershock projected onto the lower focal hemisphere (equal area projection) are also shown below.

りに余震の数は少なかった。しかし、今まで知られていなかった潮岬沖の余震活動、静岡県中部の地震活動などが見出された。志摩半島沖の地震活動は、志摩海脚に沿って密集し、時間が立つに従って陸側から南東の沖合いに向かって広がる活動であることが明らかとなり、その傾向は 40 年たった現在も続いているように見える。伊豆半島から伊豆大島近海にかけての地震活動は、伊豆半島南部から南東に伸びる線状配列を示し、ある活断層に沿う活動が中心になっているらしい。天竜川河口付近の地震活動の集中する地域は、水準測量により明らかにされた地殻が隆起した地域とほぼ一致している。これらの結果は、東南海地震の震源過程のより精密な検討、将来予想されている東海地震の断層モデルの改良などに貢献するものと考えられる。

東南海地震発生前の 3 ヶ月間の日本周辺の地震活動に、特別な変化は見出し難く、強いていえば、本震発生前の 1~1.5 ヶ月間の地震活動が低調であつたこと位である。地震の規模を考えると、もう少し長期間の平常の活動、特に紀伊半島、和歌山付近の地震活動などを調べる必要がある。

銭洲海嶺付近や、駿河湾北部、三河地震、飛騨山脈や岐阜県南東部それに琵琶湖周辺の誘発されたと考えられる地震活動などは、巨大地震が周辺の地殻に与える影響の大きさを示してい

る。現在の観測体制は、1940年代当時にくらべ地震検知能力や震源決定精度の面で飛躍的に強化されており、もし同規模の巨大地震が起これば、広い範囲の地震活動の活発化が観測され、いつたい何が起きたのか観測結果の解釈に苦勞することになる。1968年十勝沖地震や1946年の南海道地震も、内陸部に地震活動を誘発したことが知られており、内陸の広域応力場や歪の蓄積状況を調べる上で、これらの地震活動が一つの手がかりになるであろう。

今回の調査は、あくまで過去の地震記録の検測結果に基づいたものであつて、原記録の読み取りまで遡つた結果ではない。もし原記録の再調査や、阿武山の記録の読み取りを行えば、震源決定できる地震の数や精度の面で多少の改善が期待できる。しかし基本的な地震活動の様子は、今回の調査でほとんど明らかになつたと思われる。今後は、南海道地震などについても同じような調査を行う必要がある。

謝 辞

今回の調査にあつては、幾つかの气象台、測候所の地震担当者に資料利用の便宜をはかつて頂きました。また気象庁地震予知情報課のデータ処理係、特に、横山博文、岸尾政弘両技官には、震源計算など計算機利用の面で援助頂いた。津村建四朗地震予知情報課長、勝又護地震津波監視課長を初めとする方々には、結果について討論して頂き、気象研究所の渡部暉彦第二研究室長には原稿を読んで頂きました。これらの方々にお礼申し上げます。

文 献

- 相田 勇, 1979, 1944年東南海地震の波源モデル, 震研彙報, **54**, 329-341.
- ANDO, M., 1975, Source Mechanisms and Tectonic Significance of Historical Earthquakes along the Nankai Trough, Japan, *Tectonophysics*, **27**, 119-140.
- 藤井陽一郎, 1980, 地震——地震学者と地質学者との対話, 東海大学出版会, 41-63.
- 浜田信生・吉田明夫・橋本春次, 1984, 気象庁震源計算プログラムの改良, 験震時報, **48**, 35-55.
- HAMADA, N., 1985, Re-examination of Seismicity Associated with Major Intraplate Earthquakes in Japan, The 23rd General Assembly of IASPEI Abstract, 437.
- 羽鳥徳太郎, 1974, 東海, 南海道沖における大津波の波源——1944年東南海, 1946年南海道津波波源の再検討と宝永, 安政大津波の規模と波源域の推定——, 地震 **2**, **27**, 10-24.
- HUJITA, K., 1962, Tectonic Development of the Median Zone (Setouti) of Southwest Japan since Miocene, *Jour. Geosciences Osaka City Univ.*, **6**, 103-144.
- INOUCHI, N. and H. SATO, 1975, Vertical Crustal Deformation Accompanied with the Tonankai Earthquake of 1944, *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, **21**, 10-18.
- 石橋克彦, 1977, 東海地方に予想される大地震の再検討: 駿河湾大地震について, 地震予知連絡会報, **17**, 126-132.
- ISHIBASHI, K., 1981, Specification of a Soon-to-Occur Seismic Faulting in the Tokai District, Central Japan, Based upon Seismotectonics, Earthquake Prediction, An International Review, *Amer. Geophys. Union*, 297-332.
- KANAMORI, H., 1972, Tectonic Implications of the 1944 Tonankai and the 1946 Nankaido Earthquakes, *Phys. Earth Planet Interiors*, **5**, 129-139.
- 気象庁, 1982, 改訂日本付近の主要地震の表 (1926-1960), 地震月報別冊, No. 6.
- 国土地理院, 1976, 伊豆半島中部の地殻変動, 地震予知連絡会報, **15**, 91-93.
- 水上 武・内堀貞雄, 1946, 東南海地震に就いて, 特に震害と余震の分布, 震研彙報, **24**, 19-30.
- 関谷 博・徳永規一, 1975, 遠州灘付近の Seismicity Gap について, 験震時報, **39**, 83-88.
- 静岡県地震対策課, 1986, 東南海地震の全体像——静岡県における再調査——, 1-256.
- 山崎文人・大井田徹, 1985, 中部地方におけるフィリピン海プレート沈みの形状, 地震 **2**, **38**, 193-201.
- 山科健一郎, 1975, 1948年福井地震に先だつ周辺の主要な地震によって生じた福井地方の歪みの蓄積について, 地震 **2**, **28**, 415-427.