

28. 日本における大地震の余震の 研究・観測について

地震研究所 { 神 沼 克 伊
 { 後 藤 良 子

(昭和 44 年 12 月 23 日発表—昭和 45 年 1 月 30 日受理)

I. 概 説

地震予知研究計画に基づき、近年、大学の観測所や研究所に付随して、地震観測の移動班が設けられている。この移動班の活動の目的意識は、それぞれの担当者により、多少は異つているようである。しかし、同班が少なくとも、臨時観測を実施できるだけの、観測器械を有していることになつていたので、被害を伴うような地震の起こった場合には、余震観測を担当することもさげられないようである。

移動班の設立後、大きな地震 (1969 年 9 月 9 日の奥美濃地震は別にして) は起こつていないが、日常の移動観測結果の整理に加え、余震観測の整理では人手不足は明らかであり、その結果、多大の努力を払つて行なつた余震観測も、学問の進歩、発展への寄与をしなくなる恐れがある。

一方、気象庁以外の地震観測所も、衛星点を含めれば、10 年前の 10 倍以上の数にふえ、高倍率の地震計による連続観測が行なわれている。これらの観測所の大部分は設立後、日が浅いので、日常の観測業務や、その方法の検討に追われ、大地震の後も、特別目新しいことは行なわれていないようである。

たまたま、筆者の一人は、地震研究所・予知センター・移動観測班の地震担当者であるので、臨時の余震観測にも出かける必要が生じている。しかし、はつきりした目的を持たない限り、その観測結果は気象庁観測網による結果や既設の微小地震観測網による結果と大差がない。高額な費用と相当の職員を導入した効果がなければ、わざわざ臨時観測を行なう必要もなくなる。

実際、近年新設されている微小地震観測所の多くは、数 10 万倍の倍率の地震計を使つているので、地震の起こつた場所によつては震央付近に出張しなくても、余震観測は十分に可能である。

従つて、“余震観測はいかなる目的を持ち、いかに行なうべきか”ということをはつきりさせることにより、効果的な観測研究が期待される。

“余震観測をいかに行なうべきか”を考える時、“今までの余震観測はいかに行なわれ、その結果何がわかつたか”を知る必要がある。

本論文では、今までの余震観測がいかに行なわれたかを、定常観測 (たとえば、地震研究所の予知センター・地域センター室的な仕事) と臨時観測 (同・移動班的な仕事) の立場から調べ、その結果、今後“いかなる目的の研究・観測を行なう”べきかを論ずる。また、その観測を実施するには、組織をいかにするかという問題にも言及したい。

II. 大地震の余震論文数

II-1. はしがき

“今までの余震観測はいかに行なわれたか”を調べるために、大地震の後に書かれている論文のうち、余震観測の論文は何%を占めるか、また、どんな内容の観測・研究が行なわれたかを調べた。

本格的な余震観測の論文は1927年の丹後地震の後、那須(1929)¹⁾によつて書かれているのが、最初と考えられる。しかし、現在行なわれている、臨時観測的体制が始まつたのは、1936年の河内大和地震で萩原(那須・萩原:1936)²⁾が携帯加速度計を試作、使用した時からであろう。

本論文の目的の一つは“臨時および定常の観測網により、いかなる研究が行ない得るか”であるので、1935~1964年の30年間に、日本およびその近海に起こつた地震を、その調査対象とした。論文の数は、すべて宇佐美・津野(1969)³⁾による文献集に基づき調べ、群発地震はその調査の対象からはずした。

II-2. 方法

対象とした地震は、前述のごとく1935年~1964年の間に日本付近に起こつたものである。宇佐美・津野(1969)⁴⁾の論文で、最初の部分に掲載されている雑誌のなかで、個々の地震についての論文、さらに分類で“余震に関する報告が重要な部分を占めている論文”(たとえば、静岡地震の萩原の論文(1935))⁵⁾とを余震論文として調査をした。“一般”という論文の大部分は、余震の報告も含んでいる。ただし、その形式は、本震近くの気象台や測候所で記録した、有感や無感余震の日別回数やP-S頻度分布を示すだけにとどまっているので、ほとんどは調査対象から除いた。

本論文の調査目的は、純地震学的な見地から余震観測を見ようとするのであるから、地理学や地震工学系の雑誌は、調査の対象から除外した。雑誌の種類によつては、調査対象として含まれるか否か、判断に苦しむ場合もあつたが、その基準としては、その雑誌のなかに一つでも、余震の論文が発表されていれば、その雑誌は調査対象に含めた。たとえば、京都大学防災研究所年報には6編の論文があり、そのうち余震論文は1編あるので、この年報は調査対象に含めた。

II-3. 地震の数と論文数

30年間で調査の対象となつた地震は50個である。この50個の地震についての論文は382編である。このうち余震論文の数は51編で、余震論文の書かれている地震数は18である。第1表には、マグニチュード別の地震数、全論文数、余震論文数を示した。第1図は第1表を図示したものである。

$M \geq 8$ の地震は3個、これらに関する84編の論文のうち、余震論文は8編と約10%で、平均の13%よりも低い割合である。これは、 $M \geq 8$ の地震がいずれも海に起こり、しかも終戦前後(東南海、南海)で、臨時観測の条件の最も悪い時期であつたことも原因

1) N. NASU, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 6 (1929), 245-331; 7 (1929), 133-152.

2) N. NASU and T. HAGIWARA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 14 (1936), 285-289 and 290-296.

3) T. USAMI and J. TSUNO, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 47 (1969), 271-394.

4) *loc. cit.*, 3).

5) T. HAGIWARA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 13 (1935), 951-965.

Table 1. The numbers of shocks, papers and aftershock papers for magnitude.

Magnitude	Number of shocks	Number of papers	Number of aftershock papers
~8.0	3	84	8
7.9~7.5	5	55	12
7.4~7.0	12	112	16
6.9~6.5	8	56	9
6.4~6.0	14	65	6
5.9~	8	10	0
Total	50	382	51

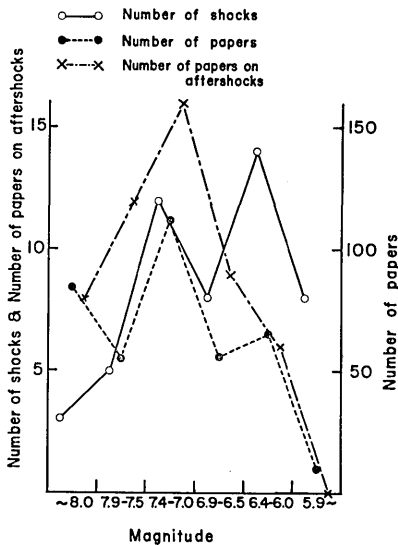
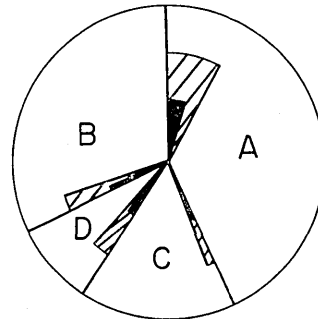


Fig. 1. The numbers of shocks, papers on major earthquakes in and near Japan listed in the bibliography compiled by Usami and Tsuno (1969) and of aftershock papers concerning magnitude during the 30 years from 1935 to 1964.



Number of papers on major earthquakes in Japan.

- A: B.E.R.I. 166 (32, 27)
- B: Quart.Jour.Seis. 122 (7, 2)
- C: ZISIN 62 (4, 3)
- D: Others 32 (9, 7)

Fig. 2. The number of papers on major earthquakes in and near Japan from magazines. The hatched portion (the right numbers in parentheses) shows the number of papers on aftershock and the blackened portion (the left numbers in parentheses) the number of papers on aftershocks according to the temporary observation.

している。6.5 ≤ M ≤ 7.9 の地震は、数も多いが余震論文数の割合も多く、この程度の規模の地震は、陸地で起こっていることも関係し、最も余震の研究に適していることを示している。

第2図には、地震の論文数を雑誌別に示した。図のハッチの部分には余震論文数、黒の部分は余震論文のうち、臨時観測の結果の論文数である。全論文数に対する、余震論文数の割合は、震研彙報が 19.3%、験震時報は 5.7% である。これは気象庁の余震報告が、前

Table 2. The main contents of aftershock papers

Name of Earthquake	Year	Mag.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
Shizuoka	1935	6.3	18	1(1)			1(1)											
Kawachiyamato	1936	6.4	16	2(2)			1(1)										1(1)	
Nijima	1936	6.3	5	1(1)		1(1)	1(1)											
Shioya-oki	1938	7.7	6	2			1		1						1			
Oga	1939	7.0	18	2(2)			2(1)	2(1)	2(1)		2(1)							
Tottori	1943	7.4	27	5(3)	3(2)	1(1)	2(2)	2(1)	2(1)	1(1)	2(2)	1(1)	1(1)			2(1)	2(1)	
Tonankai	1944	8.0	16	1(1)	1(1)		1(1)				1(1)							
Mikawa	1945	7.1	7	1(1)	1(1)		1(1)				1(1)							
Nankai	1946	8.1	40	6(2)	2(1)	3(2)	1(1)		1(1)	1						2		3(1)
Fukui	1948	7.3	31	4(1)	1	1	1	1(1)	1				1	1	1(1)			2(1)
Imaichi	1949	6.4 6.7	32	7(6)	5(5)	4(4)	3(3)	1(1)	2(2)	1(1)		1(1)	1	1	2(2)			2(1)
Tokachi-oki	1952	8.1	28	1	1	1		1										1(1)
Boso-oki	1953	7.5	7	2(1)	1		1		1									1
Izu	1956	6.5	1	1		1												1
Teshikaga	1959	6.2 6.1	4	2(1)	2(1)	2(1)	2(1)		1(1)	2(1)				1(1)				1(1)
Kita-mino	1961	7.0	15	4(4)	2(2)	2(2)	2(2)	1(1)	2(2)		1(1)			3(3)				1(1)
Miyagi-kita	1964	6.5	8	1(1)	1(1)													
Niigata	1964	7.5	39	8(5)	3(2)	2(1)	3(1)	1	1(1)	1		1(1)	1(1)	2(1)	1	3(2)		2
Total			318	51(32)	23(16)	18(12)	23(16)	7(5)	16(9)	8(3)	8(6)	3(3)	3(2)	8(5)	5(3)	8(4)	6(5)	12(4)
%				45(50)	35(38)	45(50)	14(17)	31(28)	16(9)	16(19)	6(9)	6(9)	6(6)	16(16)	10(9)	16(13)	12(16)	24(13)

I: Number of papers.

IV: Distribution of S-P time.

VII: Aftershock area.

X: Energy of aftershock.

XIII: Mechanism.

XVI: Others.

(): The number of papers and ratios in Bulletin of Earthquake Research Institute.

II: Number of papers on aftershocks.

V: Determination of hypocenter.

VIII: "m" or "b".

XI: Travel time curve.

XIV: Engineering seismology.

XV: Improvement of instrumentation.

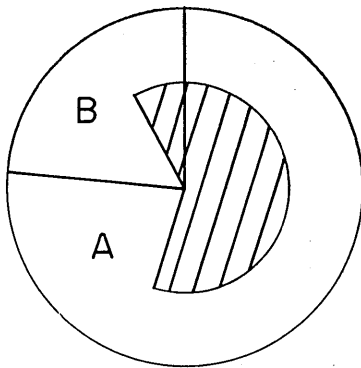
III: Daily frequency of aftershock.

VI: Determination method of hypocenter.

IX: Omori's constant "k".

XII: Crustal structure.

XV: Improvement of instrumentation.

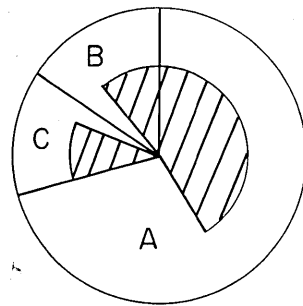


Number of papers on aftershocks

A: Temporary Obs. 39

B: Stationary Obs. 12

Fig. 3. The number of papers on aftershocks by temporary and stationary observations. The hatched portion shows the ratio of the paper in Bull. Earthq. Res. Inst..



Contents of papers on aftershocks

A: Characteristics of aftershocks 36

B: Seismological study using
aftershock phases 8

C: Engineering seismology 7

Fig. 4. The number of papers on aftershock by main contents. The hatched portion shows the ratio of papers in Bull. Earthq. Res. Inst..

述のような一般的報告の範疇に入るものが大部分だからである。D項の割合は 28.1% であるが、その雑誌は、京大防災研年報、Bull. Tokyo Gakugei Univ., 北大地球物理研究報告、Papers in Meteor. and Geophys., 東大地物研究報告、科学の6誌であり、大学の研究報告が 2/3 を占めている。大学関係の大地震の研究論文では、余震の、しかも臨時観測の結果の報告が、ほとんどであることを示している。

余震の論文が、定常観測の結果に基づいたものか、臨時観測に基づいたものかを示したのが第3図である。臨時観測による余震論文の割合は 76.5% (震研集報では 69.3%) と多い。第2図の結果をも考慮すると、気象庁観測網を使わないで余震の研究するには、震源域付近での臨時観測が重要な位置を占めていることを示している。

51 編の余震論文の内容について、分類した結果を第2表に示した。その内容を大別した結果を第4図に示した。余震論文の 70% が余震の性質について研究をし、16% が余震を使つて地震波や地殻構造などの研究をし、14% が地盤振動などの地震工学的な研究であつた。

余震の性質を論ずる場合、第2表に示されているように、日別回数、P-S 頻度分布、震源分布が、全余震論文のうちの 35~45% に論じられている。日別回数のなかには、余震の時間的变化も含んでいる。震源決定は、臨時観測の論文の大部分が報告している。大森係数 k を求めたり、仮定したりして、数観測点の P-S から震源を決定するのが、これまでの一般的な方法であり、電子計算機が震源決定に登場するのは 1966 年以後の論文からである。 k の誤差を詳しく議論したり、tripartite を用いて震源決定を行なつたりした論文は、別に震源決定法にも言及したとして分類した。震源決定法が論じられた割合は 13.7% である。電磁式地震計 (つまり数万倍の倍率を有する地震計) が使用されるまでは、余震

観測を行なつても、必ずしも余震面積が求められない時代があつた。東南海地震や三河地震の場合は、社会情勢の悪化で、観測が十分にできる状態ではなかつた。静岡地震の場合、40日の観測で有感地震は2回記録し、震源の決まった余震は3個であつた。つまり100倍程度の倍率の地震計による余震観測では、 $M \leq 6.5$ の地震の余震を観測することはできにくかつたことを示している。

余震面積が求められる程の余震分布を示した論文は、31.4%になるが、余震の深さまで決定し、余震体積を求めることが可能な論文の割合は、21.6%と前者の10%減である。石本一飯田の m または Gutenberg-Richter の b を求めた論文と、 k を求めた論文の割合は、ともに15.7%である。

地殻構造に関しては、震源決定に伴ない地下構造に言及した論文も含め、15.7%の割合を占める。エネルギー、走時曲線、発震機構について論じた論文は、いずれも10%以下の割合である。

試作した地震計や観測装置が余震観測の場で、試用した例は10%を越える。

“その他”の項(XVI)には、余震の起こり方や phase に関する研究などが含まれる。

III. 余震観測の結果と問題

III-1. はしがき

II で調べたように、30年間に日本付近で起こつた50個の地震のうち、18個の地震の余震について、何らかの論文が書れている。さらに1964年の男鹿沖地震は東北大学余震観測班(1965)⁶⁾の報告があるので、合計19個の地震の余震観測の結果、何がわかつたかについてまとめた。これにはIIに述べた51編の論文に加え、宇佐美・津野(1969)⁷⁾の文献集で、2番目に分類されている、文献(南海大震災誌、四国地方地盤変動調査報告書、昭和23年福井地震調査研究速報、The Fukui Earthquake of June 28, 1948等)も参照した。

その結果、今後、余震現象解明のため、大別して、3つの問題を提起し、その問題解決のためには、いかにすべきかを論じた。

III-2. 余震観測の結果

各地震につき、余震観測の結果をまとめて示したのが、第5図である。結果を点線で囲つた地震は、臨時観測の結果である。また、おもな結果を第3表にまとめた。余震観測の大きな目的は、余震の震源の決定、ひいては余震域の決定である。100倍程度の倍率の地震計を用いた観測では、本震が、かなり大きくなければ($M \geq 6.5$)、余震域が決定できる程多くの地震の観測できないようである。静岡地震(萩原:1935)⁸⁾、河内大和地震(那須・萩原:1936)⁹⁾、新島地震(萩原・表:1937)¹⁰⁾などが、その例である。弟子屈地震(松本:1959)¹¹⁾のような $M(=6.2)$ の小さな場合でも、数万倍の地震計を使うことに

6) 東北大学理学部余震観測班 東北地域災害科学報告(1965), 85-101.

7) *loc. cit.*, 3).

8) *loc. cit.*, 5).

9) *loc. cit.*, 2).

10) T. HAGIWARA and S. OMOTE, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 15 (1937), 559-568.

11) T. MATSUMOTO, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 37 (1959), 531-544.

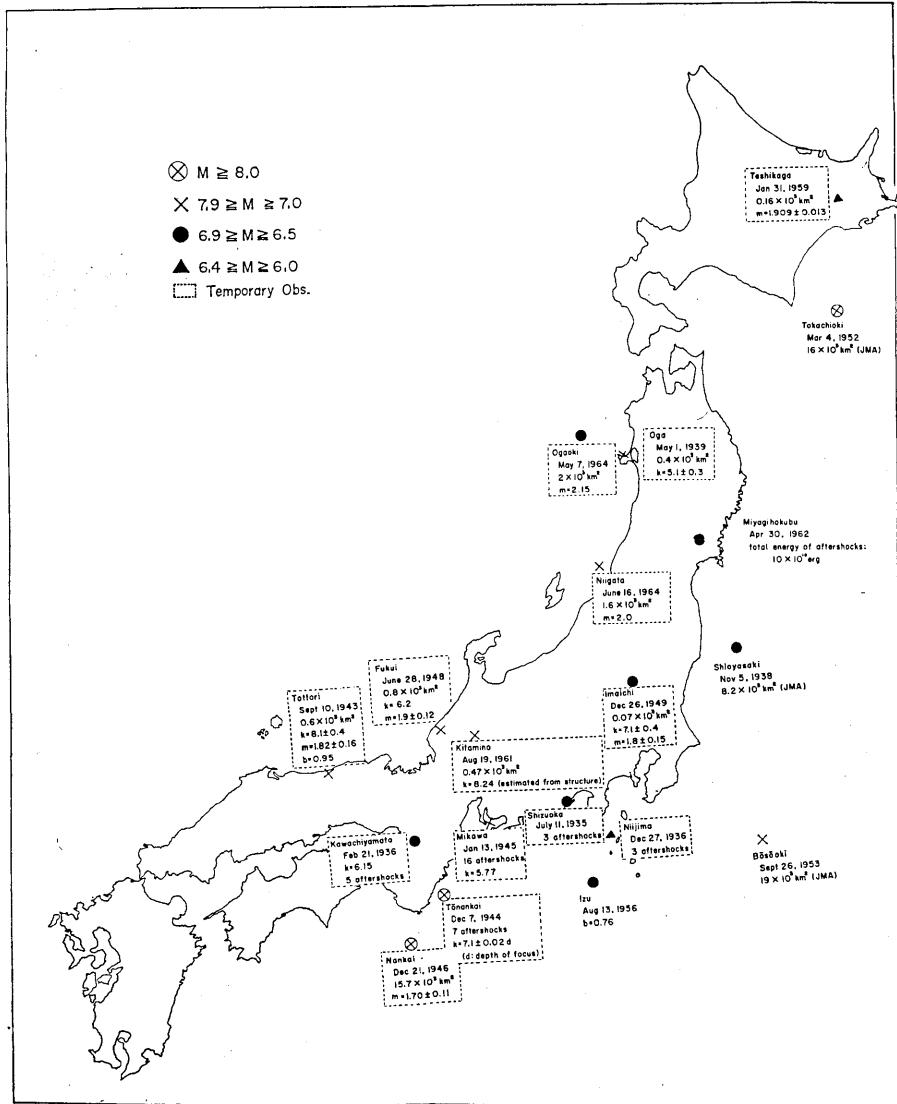


Fig. 5. The results of aftershock observations from 1935 to 1964.
The temporary observation was shown to enclose the data with a dotted line.

より、余震域は決まっている。kは改めて求めた場合と既に得られている値が、その場所にも適用可能と仮定した場合とがある。

石本一飯田の m は、低倍率の石本式加速度計から求めた結果（つまり、大きな余震で求めた m）と、高倍率の地震計で求めた結果（すなわち、小さな余震も含めた m）とが一致するという報告が、福井地震の余震観測でなされた (Asada and Suzuki: 1949)¹²⁾。

12) T. ASADA and Z. SUZUKI, *Geophys. Notes, Geophys. Inst. Tokyo Univ.*, 2, No. 16 (1949), 1-14.

Table 3. The results of aftershock papers.

Name of Earthquake	Mag.	Aftershock area	m or b	k	The order of instrumental magnification	Remarks
Shizuoka	6.3	3 shocks		6*	100	
Kawachiyamato	6.4	5 shocks		6.15	100	Portable acceleration seismograph.
Niijima	6.3	3 shocks		5*	100	
Shioya-oki	7.7	km km 110×140				Mechanism of main and aftershocks.
Oga	7.0	30×18		5.1	100	Accuracy of hypocenter determination.
Tottori	7.4	40×20	1.82 0.95	8.1	100	Improvement of time mark system.
Tonankai	8.0	7 shocks		7.1	100	
Mikawa	7.1	16 shocks		5.77	100	
Nankai	8.1	200×100		7.5*	100	
Fukui	7.3	40×25		6.2	100	To record the minute mark. Tripartite observation using electromagnetic seismograph; magnification 3.8×10^4 .
Imaichi	6.4 6.7	15×6		7.1	100	To record the absolute time. Electromagnetic seismograph with magnification of 6×10^4 .
Tokachi-oki	8.1	210×100				
Boso-oki	7.5	220×110				
Izu	6.5		0.76			
Teshikaga	6.2	16×13	1.90		10000	To determine the aftershock area from one point observation. Tripartite observation using HES seismograph.
Kita-mino	6.1	20×30		8.24*	10000	
Miyagi-kita	7.0					
Oga-oki	6.5	km ² 2×10 ²				To determine the hypocenter from the cross correlation method using tripartite array.
Niigata	7.5	70×30	2.14	8*	10000	Magnitude of aftershocks.

* (restrained)

1936年の河内大和地震に萩原が初めて携帯用加速度計を用いたことは、前述したが、この頃は地震記象の上に、時刻を入れることができなかった。鳥取、福井地震における、表(1944; 1951)¹³⁾¹⁴⁾の努力を経て、1949年の今市地震で、宮村・秋間(1951)¹⁵⁾により、初めて絶対時刻を記象上に記録することに成功した。

一方、浅田・鈴木(1949; 1951)¹⁶⁾¹⁷⁾によつて開発された電磁式地震計は、福井、今市地震によつて実用に供された。数万倍の倍率で観測した結果は、数分に1回の割合で地震の起こっていることを発見した。三点観測を、余震観測で最初に行ったのも、前記の2人である。

松本(1959)¹⁸⁾は、弟子屈地震で、数万倍のHES地震計を用い、大きな三点ネットで震源を決定した。これは電磁式地震計を使つて、余震の震源を決定した最初である。

1961年の北美濃地震では、HES地震計のネットの他(表他: 1961)¹⁹⁾、宮村ら(1961)²⁰⁾により、10 c/sの周波数で10万倍以上の倍率を有し、無終端磁気テープによる記録方式を用い、三点観測が実施され、震源決定が現地で行なわれた。

このようにみると、現在用いられている。多くの地震観測器械は、余震観測の試練を経てきたことになる。

気象庁観測網による定常観測により書かれた論文以外に、定常観測の資料を使つた結果として伊豆地震の未広(1959)²¹⁾の論文がある。1点観測で、でき得る限りのことを試みている。宮城県北部地震の萩原他(1962)²²⁾の論文も、1点から余震の M 、エネルギーを求めている。しかし観測点の資料だけでは、おのずと限界があることを感ずる。

微小地震観測網の整備されてきた昨今、定常観測の資料を用いた研究も新しい段階に入つたといえる。

III-3. 結果の検討

気象庁観測網の整備されなかつた時代、大学や研究所による、いわば個人的な臨時の余震観測は、それなりの意味があつた。 $M < 7$ の地震の余震現象は、むしろ臨時観測によつて解明されてきたといつても過言ではない。

しかし、大森係数の k 、余震の減衰を示す拡張大森公式の p 、 m や b 、余震の起こり方等、いわゆる余震の統計的研究は、宇津(1961)²³⁾を初め、多くの研究者により、気象庁の資料を使つて、十分な研究が行なわれている。

13) S. OMOTE, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 22 (1944), 33-41.

14) S. OMOTE, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 33 (1955), 641-661.

15) S. MIYAMURA and T. AKIMA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 28 (1951), 421-433.

16) *loc. cit.*, 12).

17) T. ASADA and Z. SUZUKI, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 28 (1951), 415-420.

18) *loc. cit.*, 11).

19) S. OMOTE, I. KARAKAMA, N. NAKAJIMA and I. KAYANO, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 39 (1961), 881-894.

20) S. MIYAMURA, M. HORI, K. AKI, H. MATUMOTO and S. ANDO, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 39 (1961), 895-908.

21) S. SUYEHIRO, *Papers in Meteor. and Geophys.*, 9 (1959), 193-203.

22) T. HAGIWARA, T. IWATA, Y. MAEDA and I. KAYANO, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 40 (1962), 625-637.

23) T. UTSU, *Geophys. Magazine*, 30 (1961), 521-605.

Table 4. Aftershock area
(unit: $\times 10^3 \text{ km}^2$)

Earthquake	Year	Temporary observation		JMA*
		ellipse	circle	ellipse
Oga	1939	0.42	0.54	0.52
Tottori	1943	0.63	0.80	0.78
Nankai	1946	16	20	27
Fukui	1948	0.79	1.00	0.95
Imaichi	1949	0.07	0.08	0.12
Kitamino	1961	0.47	0.60	0.79**
Niigata	1964	3.93	5.00	5.61**

* calculated by Utsu and Seki

** calculated by writers

臨時観測の結果の1例として、気象庁観測網により決められた(宇津・関: 1955)²⁴⁾ 余震面積と臨時観測の余震分布から、筆者が計算した余震面積とを第4表に示した。臨時観測の結果は、余震域を楕円と仮定した場合と長方形と仮定した場合につき、それぞれ計算をしている。気象庁の北美濃(1962)²⁵⁾、新潟(1965)²⁶⁾地震の場合は、それぞれの報告から、余震域を楕円として、筆者が計算した。南海地震の場合は、両者に大きな違いがあるが、これは、本震も余震の大部分も海に起こっているため、臨時観測網では十分に、カバーできなかったことによる。また、 $M \geq 8$ の大地震になると、観測点の少ない臨時観測網では、近視的になることは避けられない。

男鹿、鳥取、福井の三地震の場合は、両者は完全に一致しているが、今市地震以後は、気象庁の場合が、やや大きくなっている。この原因としては、臨時観測は短期間(せいぜい1カ月)なので、1968年十勝沖地震で、南雲(1969)²⁷⁾が報告しているような余震域の移動・拡大の現象がとらえにくいこと、また、気象庁の震源決定精度が悪いので、バラツキがあり、余震域がひろがるという2点が考えられるが今市地震の場合(萩原・笠原; 1951)²⁸⁾のように、本震直後の2週間と、それより後2カ月間では、後の方が余震域が縮小しているので、前記2原因のうち、後者の可能性が大きい。

いずれにしても、大きな違いはなく、特に最近の気象庁観測網では $M=4$ あるいは、それ以下の余震の震源も決定されているので、今までと同じような目的での、臨時の余震観測は、価値が低くなっている。

III-4. 今後の問題

以上の結果、今まで行われてきた余震研究で、欠けていることは、次の3課題に集約されると考える。

- i) 余震の空間的分布の精度の検討。
- ii) 本震直後(2日以内くらい)の余震活動。

24) T. UTSU and A. SEKI, *Zisin* [ii], 7 (1955), 233-240.

25) 気象庁地震課観震時報 27 (1962), 43-67.

26) 気象庁技術報告 No. 43 (1965).

27) S. NAGUMO, 1969年11月地震学会秋季大会にて講演。

28) T. HAGIWARA and K. KASAHARA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 28 (1949), 393-400.

iii) 観測すべき余震の大きさの下限の検討.

i) は、余震の震源を精度よく決めるためには、既設の観測網と臨時観測網をいかに組合わすべきか、どんな地下構造のモデルを使い、いかなる震源決定を行なえばよいか等、観測手段・方法の検討と同時に、本震・余震の関係を知らうえに、また走時曲線の研究、 k を精度よく決めるため等には、その震源決定には、どのくらいの精度が必要であるかを検討すべきである。

ii) は、大きな地震の直後の余震現象は、その記象が重なってしまうため、また、 $M < 4$ の余震では、気象庁観測網では震源が決定できない等の理由で、1, 2の例外(たとえば、広田(1969)²⁹⁾)を除いて、ほとんど調べられていない。しかし、破壊現象として地震をみる場合、本震直後の余震現象の解明は欠かすことができない。

iii) は、石本一飯田の関係から推測されるように、本震直後は無数の微小・極微小地震が起こっているわけで、浅田・鈴木(1949)³⁰⁾によれば、“火山性脈動と同じ”である。しかし、破壊現象としての地震の情報を与えてくれる余震の大きさ、本震と直接関係のある余震の大きさなどには、限度のあることが予想される。本震と最大余震との関係については、宇津(1961)³¹⁾らにより、論じられているが、この下限の有無、およびその発見も重要なことである。

もちろん、これらの研究は、単に余震観測からだけでなく、岩石の破壊実験などの結果も考慮のうえで、行なわれるべきである。

このような目的の研究をする場合、その観測方法は、たとえば次のようにする。

まず、研究目的により、研究地域の指定が可能である。たとえば、既存の観測網を考慮すれば、1943年の鳥取地震の場合などは、特別の目的をもたない限り、臨時観測の必要はなく、東南海、南海地震の場合も、海底地震計を使つた観測以外は無意味であろう。河内大和地震や1934年の八幡地震などの場合は、本震の近傍に1点、臨時的観測点を設ければ、今まで以上の精度で震源決定ができる。このように目的により、観測方法を事前に検討する机上作戦は、臨時観測を効果的に実施する上に絶対に必要である。

i) ii) の目的では、本震直後、なるべくはやい時間に、本震近くで、1点でよいから余震観測を開始する。既存の微小地震観測網では、大地震を観測したら、ただちに、流し記録ができる観測方法を行なうべきである。

とくに i) については、地下構造が、かなりわかっている地域で、密度の高い観測網での臨時観測を1度は実施すべきであろう。

これら学問上の問題点と平行して考えるべきことは、組織の問題である。地震発生後、短時間で現地に行くために、また各観測所でただちに流し記録方式が可能ならしめるためには、人、観測器機、自動車などの準備が必要で、これらのことは、研究者の学問的意欲だけでは、解決できない問題である。

IV. 被害地震カタログ

IV-1. 被害地震カタログの必要性

現在、大地震の研究、とくにその統計的研究では、 m や b , p など、一つ一つの項目

29) T. HIROTA, *Geophys. Bull. Hokkaido Univ.*, 21 (1969), 33-43.

30) *loc. cit.*, 12).

31) *loc. cit.*, 23).

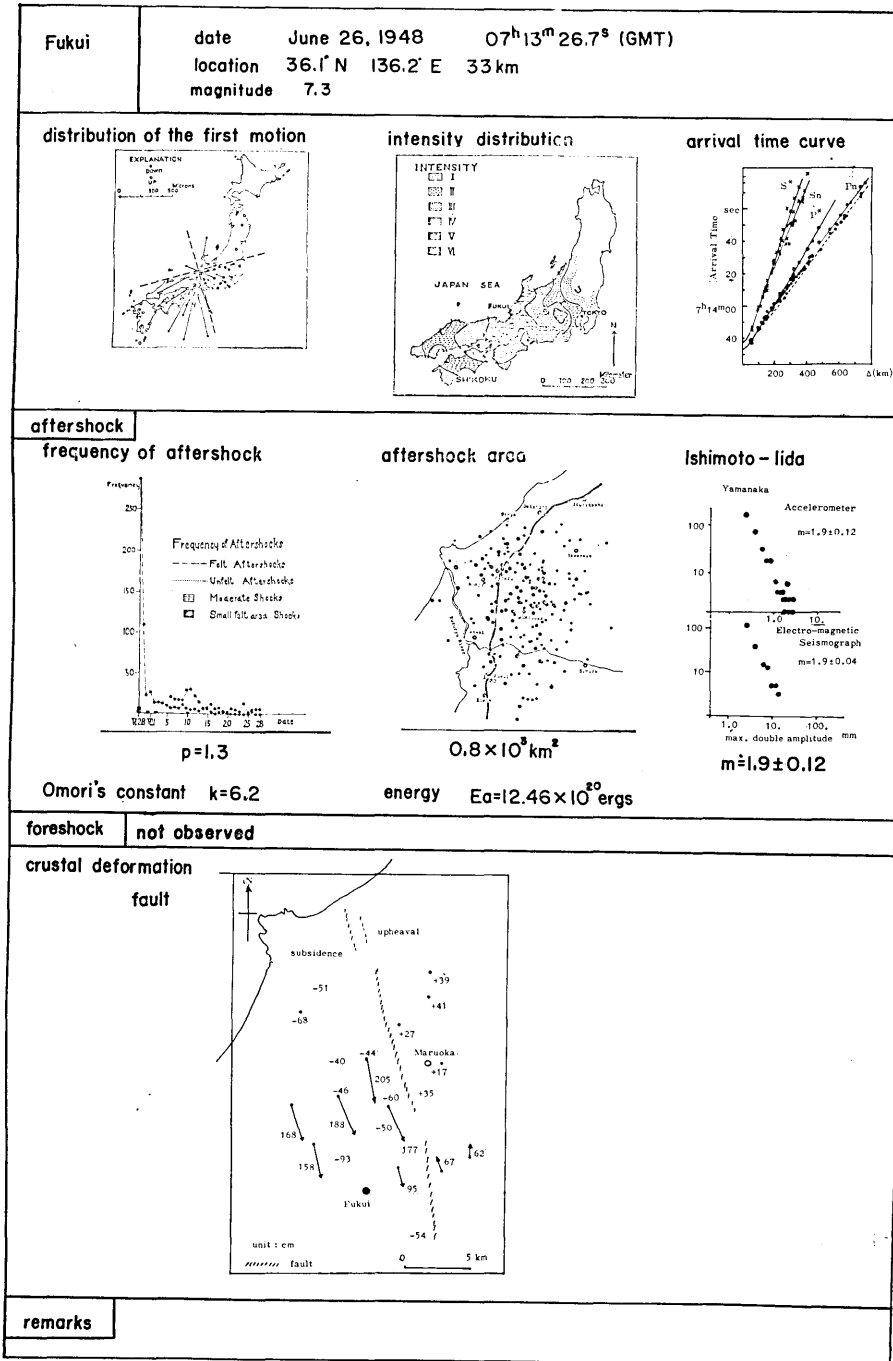


Fig. 6. A sample of catalogue for destructive earthquakes.

については、多くの地震について、非常に詳しい研究が行なわれているが、一つの地震について、あらゆる角度から調べた結果をまとめたものは少ない。もちろん、大地震の後には、多くの研究者により、多角的な調査研究が行なわれ、印刷にはなるが、2、3の例外（たとえば、松沢（1964）³²⁾）を除いて、その段階で止まっているようである。

また地震予知という立場にたつてみると、地震予知学は、経験科学の域を出ず、地震を予測するための諸現象究明の段階である。それにもかかわらず、1つの地震をあらゆる角度からみて、記載、分類する、いわゆる博物学的地震学の分野すら十分に行なわれていない。

大地震を研究対象とする者（とくに移動班的）の立場からは、地震が起こつた後、短時間のうちに、本震地域で過去に起こつた地震に関するいろいろな情報を知りたいが、文献を捜しだすことは容易ではない。

以上のような理由により、被害地震について、あらゆる現象を記載した、地震カタログが必要である。

IV-2. カタログの内容

カタログは、地震の性質を知ることが目的とするので、被害などについては、記載しない。福井地震について筆者の考えた例を、第6図に示した。この図の情報はすべて日本学術会議福井地震調査研究特別委員会の英文報告³³⁾による。この図では1ページにしてあるが、実際には、地震1個についての記載録は紙1枚分（A4版、2ページ）が適当であろう。

余震分布の減衰などの表示のスケールの大きさは、カタログ全体で統一すれば、地震相互の比較が明瞭になる。独立する項目としては、第6図の他に、地質学的な諸項目、群発型か否か、地鳴りの有無なども入れる必要がある。remarksには、その地震に対する情報の他、その地域の地震史（たとえば、今市地震の河角（1951）³⁴⁾報告の栃木県地方の地震史のようなもの）も記入する。

V. 結 語

本論文は、今までの余震観測はいかに行なわれ、何がわかり、その結果、今後の観測、研究はいかにすべきかを論じた。

とくに III に述べた、今後の課題およびその対策についての記述は不十分であることは認めざるを得ない。しかし、これらのことは、地震の観測・研究にたずさわる者は、陰に陽に、抱いていた疑問であり、課題であろう。これを機会に、この問題についての議論が積極的に行なわれれば幸いである。

被害地震カタログについては、その性質上、気象庁、または予知センターで作成されるのが最適と考える。

この論文作成にあたり、いろいろ御指導いただいた宮村撰三教授に感謝する。図の作成などに協力いただいた、萩野 泉、石川良宣両氏に御礼申しあげる。

32) T. MATUZAWA, *Study of Earthquakes*, Uno Shoten (1964).

33) Report of the Special Committee for the study of the Fukui Earthq. (1950).

34) H. KAWASUMI, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 28 (1951), 355-367.

28. *On the Observational Studies of Aftershocks in Japan*

By Katsutada KAMINUMA and Yoshiko GOTO,
Earthquake Research Institute.

To define the future problems of aftershock studies on major earthquakes, we investigate how to carry out the field studies on aftershocks and what results have been obtained from the studies on aftershocks, according to the bibliography compiled by Usami and Tsuno (1969).

We discuss the necessity of examination into the title of this paper in Section I. The numerous papers on major earthquakes and on aftershocks are analyzed from many stand-points in Section II. There were 50 major shocks which occurred during the 30 years from 1935 to 1964 in and near Japan, and 382 papers were published on them.

Among these 51 papers had been studied on aftershocks of 18 major earthquakes over 30 years. Table 2 shows the classification of these 51 papers according to their topics. 70% of them were devoted to the study of characteristics of aftershocks and 16% of them to general problems of seismology using the data of aftershock observations, such as the studies on travel times, phases of seismic waves etc. The remaining 14% were on certain topics of engineering seismology.

In Section III we describe results of papers on aftershocks, about 18 major shocks being those listed in Table 3 and the Oga-oki earthquake in 1964. As an exceptional case, we include the paper on the Oga-oki earthquake by the Research Group on aftershocks at Tohoku University which was published in 1965. This is shown in Table 3 and Fig. 5.

Temporary observations for aftershocks had their own significance when the J.M.A. network of seismological observation was incomplete. The studies of temporary observations made it possible to understand most of the aftershock phenomena of major earthquakes, $M \geq 7$. But many statistical researches of aftershocks have been fully studied by many people using the data of the J.M.A. network.

To compare the results of a temporary and a stationary observation, the aftershock areas of some earthquakes determined by the J.M.A. network (Utsu and Seki; 1955) and temporary observations are given in Table 4. Each region obtained from both observations gives the same result. Recently most of the hypocenters of aftershocks, $M \geq 4$, have been determined by the J.M.A. network, the temporary observation of aftershock is becoming less meaningful, if we stick to the traditional purpose.

As a result of the above discussion, we propose three future problems for aftershock observation, which have not yet been studied.

1. The necessity of the study for the method of hypocenter determination with very high accuracy using the networks of stationary and temporary observations on one hand, and for the method of hypocenter determination within a certain accuracy on another according to the purpose of studies.
2. To observe the activity of aftershocks within 24~48 hours after the main shock.
3. To determine or to discover the lower limit of magnitude for aftershock which give some information for the relation between the main shock and aftershocks.

These problems must be of course considered not only as studies on aftershock observation but also on the laboratory study of elastic shocks in rocks.

In Section IV, we propose the necessity of a catalogue for destructive earthquakes. The catalogue includes all seismological information for each destructive earthquake. A sample is shown in Fig. 6.