

日本の震源カタログの改善 — 1923 年—1925 年部分の新規作成と 1926 年以降の改善 —

浜田信生*, 吉川一光**, 近藤さや***, 鎌谷紀子***, 明田川保****, 松浦律子*****, 鈴木保典*****

An extension for the period from 1923 to 1925 and improvement for the period after 1926 of the earthquake catalog of Japan

Nobuo HAMADA*, Kazumitsu YOSHIKAWA**, Saya KONDO***, Noriko KAMAYA***,
Tamotsu AKETAGAWA****, Ritsuko MATSU'URA***** and Yasunori SUZUKI*****

ABSTRACT

We summarized several efforts for revision of the earthquake catalog of Japan. The earthquake catalog of the Central Meteorological Observatory (CMO) and Japan Meteorological Agency (JMA) since 1926 contained various inhomogeneity. The quality and content of the catalog were affected by changes related to applied hypocenter location methods, magnitude determination formulae, adopted velocity models of the crust and upper mantle, mechanical to electrical instrument transition, distribution of stations, operational procedures of the network and socio-economic conditions like World War II and so on. To revise the catalog and to make it more uniform in quality, we made a comprehensive digital data set for hypocenter parameters and seismic phase readings, extended the time span of the catalog for the period from August 1923 to December 1925 and have been relocating earthquakes after 1926. To make a comprehensive earthquake catalog of Japan, seismic phase data of early periods that were archived by JMA and other local weather stations in a handwritten form and seismological bulletins of universities were combined into a computer-readable digital format for hypocenter determination and other studies. Some of the macro-seismic observations were also unified in the data. For the hypocenter location of each event, because of inhomogeneity in quality and quantity of data over long periods of years, we chose the most appropriate location method among conventional least squares methods using P and S arrivals, S-P times, depth fixed solution for some of the offshore earthquakes in consideration of timing accuracy of the data, number of available data and depth resolution of the epicentral area. Also, epicenter-given solutions were even assigned to larger explosion earthquakes of volcanoes. The effort for improvement is still in progress, however, we have already revised about 60% of the hypocenters for the period from 1926 through 1960 and the remaining will be revised within a few years. The annual number of relocated and newly determined hypocenters amounts to about 600 earthquakes. The revised catalog shows that prominent seismicity patterns that are available from high precision modern seismic networks such as linear alignment of aftershocks along strike slip faults, shape of double-planed subducting plate and migration of shallow earthquake swarms are inferable from early periods of the data. The revised catalog will support various studies of regional seismicity and seismic hazard analyses.

1. はじめに

我が国では近代的な地震観測が開始されて以来 130 年を経過し、大量の観測データが蓄積されてきた。1923 年関東地震発生当時、我が国の地震観測点はすでに 80 カ所を越えており、世界にある地震観測点の半数近く

が、日本列島の周辺に集中していたことになる。古くからの高密度の地震観測網に基づいて作成された我が国の地震カタログは、期間の長さ、データの質・量に関し、世界のどの地域の地震カタログにも見られない内容の濃さを持っている。さらに地震観測が始まる以

*Meteorological Research Institute 気象研究所

**Sendai District Meteorological Observatory 仙台管区気象台

***Seismological and Volcanological Department, Japan Meteorological Agency 気象庁地震火山部

****Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology 文部科学省 (現気象庁地震火山部)

*****Association for the Development of Earthquake Prediction 地震予知総合研究振興会

前の期間についても宇佐美(2003)など、古文書など歴史地震資料を基にした被害地震カタログが作成されている。

現在日本の地震カタログとして、1884 年以前については歴史地震資料に基づく宇佐美(2003)による被害地震のカタログが、地震観測が始まった 1885 年から 1925 年までの期間については、有感地震資料と地震計による観測結果に基づいて作成された被害地震など主要地震に関する宇津カタログ(宇津(1979), 宇津(1982b)など)が利用されてきた。器械観測の検測結果に基づくカタログは、1926 年以降 1960 年までは、地震月報別冊 No6 (以後気象庁(1982)と呼ぶ)によるカタログが、そして 1961 年以降は気象庁地震月報による地震カタログが、内外の様々な調査、研究に利用されている。地震カタログは様々な研究に用いられる他、被害地震発生の危険度評価など防災計画作成のためにも不可欠な基礎資料となっている。

それらの中で中央气象台・気象庁の地震カタログは、中央气象台(1952), 気象庁(1958), 気象庁(1966)など何度も改訂されており、対象となった地震、震源決定方法、震源決定に用いる検測値の選び方、震源の深さの刻み、震源決定に用いる速度構造と走時表、マグニチュード(M)の決定方法、震央地域名の付け方などが時代によって変わっている。また観測網の変遷により観測データの質、量も時代によって変化する。中央气象台・気象庁の地震カタログの内容が均一ではないことは、すでに石川(1987)にも解説されている。古い速度構造と震源決定法により決定された震源が、そのままカタログに残されている。また 1952 年以前については、S-P 時間以外の P や S の発現時のデータは、時刻精度の如何に関わらず震源決定には一切使われていない。今日の精度よく決まっている震源の分布と比較すると、明らかに不自然な震源もある。

1960 年代前半までは我が国の全国的な地震観測網は、中央气象台・気象庁の観測網しかなく、これらの地震カタログは、実質的に日本の地震カタログとして利用されてきた。本調査は、日本の地震カタログの精度改善と、カタログの期間を過去に延長することを目指し始められた。地震カタログの作成に用いられた検測値などの資料は、計算機で利用出来る形では保存されておらず、一から作り直しが必要となったこと、震源決定作業には時間がかかることから、これまでに改

訂作業を終えた期間について改訂作業の状況をとりとめ、地震カタログの改善による効果についても考察した。

2. 観測資料

今回の調査では、気象庁(1982)で用いられた資料に加え、日本の地震カタログとして、現在残されている地震観測資料を最大限に活用することにした。気象庁本庁に保管されている地震調査原簿以外に新たに用いた資料には、各气象台、測候所の地震観測原簿、各气象台測候所の定期、不定期刊行物、他機関の資料や臨時観測結果などがある。1920 年代から 1930 年代の地震に関する資料が掲載されている气象台・測候所の定期、不定期刊行物のリストを Table 1 に示す。また各種の資料の概要については Appendix 1 に解説した。(以後原則として、地震調査原簿を調査原簿、地震観測原簿を観測原簿と略す)

Station	JMA Station Code	Name of printed materials	Period of Publication
北海道		北海道気象月報	1937-1938
盛岡	WORI OK	岩手県気象年報	1928-1937(Selected)
秋田	AKITA	秋田県気象年報	1924-1937
石巻	ISHINO	宮城県気象要報	1924-1930
仙台	SENDAI	宮城県気象要報	1927-1930
横浜	YOKOHA	神奈川県気象年報(地震の部)	1924-1938
熊谷	KUMAGA	熊谷測候所地震観測録、埼玉県気象月報	1924-1938
新橋	MAEDAS	群馬県気象年報	1929-1937
鎌子	CHOSHI	鎌子地震観測表	1926-1928
甲府	KOFU	山梨県気象年報	1923-1936
長野	NAGANO	長野県気象年報、地震観測表	1923-1933
松本	MATSUM	長野県気象年報	1923-1934
諏訪	ITIDA	長野県気象年報	1923-1934
沼津	OI WAKE	長野県気象年報	1926-1933
沼津	NUMAZU	静岡県気象略報、沼津測候所地震観測報告(英文)	1923-1936
沼津	NUMAZU	沼津測候所地震観測報告(英文)	1933-1936
御殿場	GOTEND	沼津測候所地震観測報告(英文)	1933-1936
伊東	ITO	沼津測候所地震観測報告(英文)	1931-Jun-1936
須崎(伊豆)	SUZAKI	三井地球物理観測所地震観測報告	1933/1934
浜松	HAMAMA	静岡県浜松気象年報	1923, 1928-1938*
名古屋	NAGOYA	地震観測報告(英文)、愛知県気象月報	1923-1936
岐阜	GI FU	岐阜県気象月報、岐阜県気象年報	1922-1938*
高山	TAKAYA	岐阜県気象月報、岐阜県気象年報	1933-1938*
新海	MIYAGI	地震観測報告、新潟地震観測表、新潟県気象地震報告	1923, 1926, 1936, 1930
津田	TAKADA	新潟県地震観測表、新潟県気象年報	1923, 1926, 1929, 1930
富山	TOYAMA	富山地震観測所年報、富山県気象略報	1935-1939
伏木	FUSHIK	富山県気象年報、富山県気象略報	1929-1932, 1936-1939
津	TSU	津測候所気象年報	1930-1936
彦根	HIKONE	滋賀県気象月報	1923-1938
京都	KYOTO	京都府気象月報	1923-1939
高津	MIYAZU	京都府気象月報	1927-1939
大阪	OSAKA	大阪府立測候所年報地震の部	1923-1936
福原(八木)	KASHI H	和歌山県気象月報	1926-1938
和歌山	WAKAYA	和歌山県気象月報	1923-1939(Selected)
神戸	KOBE	帝國海洋気象台地震報告(英文)	1923-1937(Except 1927)
豊岡	TOYOOK	帝國海洋気象台地震報告(英文)	1928-1937
洲本	SUMOTO	帝國海洋気象台地震報告(英文)	1928-1937
岡山	OKAYAM	岡山県気象報告	1931-1935
境	SAKAI	境測候所気象月報	1931-1936*
浜田	HAMADA	島根県気象月報、島根県気象年報	1923-1936
広島	HIROSH	広島県気象月報	1922-1939
多度津	TADOTS	広島県気象年報、多度津測候所気象略報	1923-1938
徳島	TOKUSH	徳島県気象年報	1930-1938
松山	MATSUY	愛媛県気象月報	1922-1939
宇和島	UWAJIM	愛媛県気象月報	1922-1930
新居浜	NI IHAM	新居浜気象年報	1929-1933
高知	KOCHI	高知県測候所地震年報、高知県気象年報	1927, 1933, 1934
室戸	MUROTO	高知県測候所地震年報	1933
清水	SHIMIZ	高知県測候所地震年報	1933
福岡	FUKUOK	地震報告(英文)、福岡地震報告、福岡気象報告	1922-1939
佐賀	SAGA	佐賀県気象年報	1927-1938
長崎	NACASA	長崎地震年報	1922-1936
雲仙岳	UNZEND	長崎地震年報	1929-1936
熊本	KUMAMO	熊本県気象年報	1931-1938(Selected)
宮崎	MI YAZA	宮崎測候所地震年報、宮崎県気象月報	1925-1934
鹿児島	KAGOSH	鹿児島県気象月報	1923-1936
那覇	NAHA	沖縄気象月報	1932(Jan-May)

*Partly missing or lacking

Table 1 A list of printed materials that include seismic phase data and which are archived in the library of the Japan Meteorological Agency. The list includes materials published by local weather stations and meteorological observatories during the period from 1922 through 1939. (Selected) in the period of publication means that the materials contain phase readings of felt earthquakes only.

3. 1920年代, 1930年代など初期の地震検測作業について

無線報時を用いて時刻を校正し, 誤差は多いながら標準時刻に基づく検測作業が始まった1920年, 1930年代の地震記象の検測作業は, 今日の高度に機械化, 電子化された検測作業と作業内容が大きく異なるだけでなく, 当時の地震学の水準, 中央気象台から還元される地震に関する情報などの環境にも大きな違いがあった。当時は一応地震観測法(1915)に基づいて観測が行われていたと考えられるが, ほとんどの測候所は県営であり独立性が高く, 検測に関する基準も均一ではなかったようである。これら作業環境の違いが, 検測結果にもそのまま反映されることは容易に推察され, 当時のデータを今日のデータとまったく同様に扱うことは適切とは考えられない。震源の再決定など地震カタログの改善を行う上で, 資料の活用の最適化を図るためには, 観測資料が作成された背景を理解することが重要である。観測原簿, 気象報告に記載された地震観測表などには, データが作成された当時の環境を示唆する情報が色々含まれている。当時の観測者の意識, 検測項目, 読みとり精度, 振幅の読みとりに関する問題については, Appendix2にまとめた。

Symbols	Notations
P	First preliminary tremors(longitudinal)
P(with top bar)	Mohorovicic phase(Individual, or upper first preliminary tremors)
PP	Wave once reflected at the earth's surface
S	Secondary preliminary tremors(transverse)
SS	Wave once reflected at the earth's surface
L	Long waves of the beginning of the surface phase
M	Greatest motion in the surface phase(Maximum Amplitude in principal phase)
C	Maximum motion in after shockings or trailers(Waves of the tail or end portion)
F	end of dicernable movement
I	Sudden beginning of the motion(Disinct commencement of a phase)
e	Gradual beginning of the motion(indistinct commencement of a phase)
μ	Micron, 1/1000mm
A_N	N- S component of amplitude
A_E	E- W component of amplitude
A_z	Vertical component of amplitude
A	Distance of epicenter/Epicentral distance)

Table 2 An example of symbols and their notation for interpretation of seismograms adopted by the meteorological stations in the 1920s and 1930s.

また当時の検測項目の事例を Table2 に, 全国の検測値の総数の年ごとの変化と, 検測値の中に振幅の読みとりが含まれる割合の変遷を Fig.1 に示した。

4. 資料の整理と震源の再計算

震源の再決定には, 検測値の電子媒体化が必要である。また資料を震源決定に用いるだけでなく, データベースとして各種の調査に今後利用できるようにするためには, 検測値の点検と整理が必要である。さらに地震調査原簿には, 委託気象観測所(区内観測点)の

有感資料など, これまでほとんど活用されていなかった情報を, 電子媒体化にあたってどのように取り込むかという問題もある。これらの問題については, これまでの経緯と, とりまとめの方針を Appendix3 にまとめた。

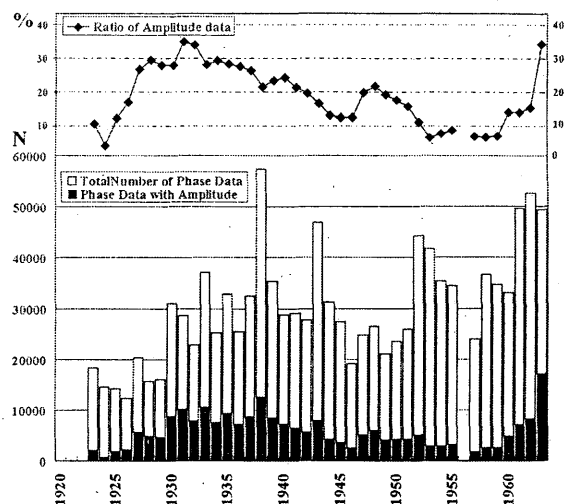


Fig.1 A histogram of annual number of phase data (Open symbols) and those of phase data with amplitude readings (Solid symbols) during the period from 1923 to 1964. A share of data with amplitude among the total number of phase data (in %) is also indicated by a solid quadrangle. The data for the year 1956 is under processing and is not shown. Variation of the share of amplitude readings through the period may be due to the changes in the guidelines for observational practice and condition of the network.

4.1 震源の再決定

上述の過程を経て整理した検測値を基に, 震源の再決定を行った。気象庁(1982)による震源は, 1950年以前については S-P 時間を用いて震源が決定されている。規模の大きい地震の中には, 震源がうまく決まらずに, 気象庁(1958)など古い地震カタログの値を, そのまま引き継いでいる地震もある。また利用された観測点の数も限られており, 特に1960年代までに廃止された地震観測点については, 震源に近い観測点についても, その検測値は震源決定には利用されていない。浜田(1987)は, 1930年代から1950年代にかけて発生した被害地震の震源を調べ, S-P 時間を用いるより, P, S の発現時を用いる方が, 精度のよい震源が求まることを明らかにした。いっぽう浜田他(2001)は, 1923年関東地震とその余震活動を調査し, 1923年当時では, S-P 時間を用いた震源の方が妥当な場合が多いことを報告している。1923年の関東地震後, 1920年代後半は急速に地震観測網の整備が行われ, 観測点の数, 地震計の

性能など観測網の充実が図られた時期にあたる(浜松, 1981 など)。観測網の整備状況など時期による違い, 観測点の配置や時刻精度の良否など地域に依存する要素, 震源計算に使える検測値の数など地震の規模に依存する要素のそれぞれにより, 最適な震源の計算方法が何かは変わってくる。

例えば, 北海道東方沖や, 南西諸島などの海域の地震では, 観測点の数が他の地域に比べ少ない上, 時刻管理の良くない観測点が多い。顕著な地震でも, S-P 時間を用いる方法, あるいは深さを予め仮定して固定する方法を用いても, 震源が決まりにくい地震がある。三陸沖や福島県沖など海域の浅い地震についても, 深さに関する精度が低く, 震源の深さを浅く固定する方が妥当な震源が求まる場合が多い。いっぽう深発地震に関しては, 初期の時代でも東海道沖から父島近海や日本海など, 観測網から離れていても P, S を用いる方が精度よく震源が決まる場合が多い。浜田(1990)は, 気象庁(1982)の震源の内, 一部の主要地震の震源を訂正しているが, 震央位置が数十 km も違っている地震の中には, S-P 時間を用いるなどの震源計算方法よりも, むしろ用いる観測値の選択に問題があったのではないかと考えられる場合も認められる。

このように震源決定方法の選択, 震源計算に用いる観測点の範囲の選択等は, 多分に作業に関する経験や知識に依存することから, 結果に個人差も生じやすい。このような状況を考慮した結果, P, S を用いる方法, S-P を用いる方法, 深さを固定するなど, 震源を決める方法, 観測点の組み合わせを会話方式で選択し, 繰り返し震源決定を行い結果を評価できるプログラムを開発し, 震源の決定作業に用いることにした。会話方式を用いることにより, 観測値の精度の評価や選別が行いやすくなり, 結果として作業の個人差を小さくすることが可能になったと考えられる。

震源計算方法及び計算に用いる速度構造については, 浜田(1983)及び浜田(1984)を用いた。最近気象庁では上野他(2002)により改良された速度構造と震源計算法に切り替えたが, 速度構造の違いは地表付近に限られわずかである。また上野他(2002)は, 観測点の距離に関する重みを今日の高密度の観測網に最適化しているため, 観測点密度が低かった時代のデータに適用しようとするれば, 改めて重みの調整が必要になる。また 1960 年代以前の古い資料については, 震源決定誤差へ

の影響は, 計算方法よりも時刻精度など観測の精度に由来する他の要因によるところが大きいことから, 計算が簡便な旧来の方法を採用した。

次に再計算の結果を, 新たな地震カタログにどのようにまとめるかという問題がある。現在の地震観測データの一元化処理により作成される震源には, 登録震源(K 登録)と精度, 信頼度が低く正式な震源とは認めない参考震源(S 登録)の区別が行われている。昔の地震についても, 同様な考え方を当てはめることが出来ると考えられることから, 結果を登録震源と参考震源に分類した。しかし気象庁(1982)に登録されている当時の地震の数は年間 1000 個以下であり, 今日に比べ二桁少ない。精度が非常に低い場合でも, 地震が発生したという事実を, 明確に残すことが意義を持つ場合がある。そのため参考震源については, 現在よりは緩い基準を当てはめることにした。その結果参考震源には, 震源は妥当と考えられるが検測値が少ない場合の地震と, 検測値は十分にあるが, 震源に大きな誤差が見込まれる地震の両方が含まれることになる。登録震源については, P, S を用いる場合, 4 点 7 要素以上, S-P を用いる場合には, 4 点以上を目安に選び, それ以外については, 参考震源とした。現実には上記基準は満たしても, O-C が大きくはずれず観測点が多く, 経験的に判断して信頼度が低い地震や, 反対に基準以下でも観測点配置や定常的な地震活動を考慮すると, 信頼できる場合があり, 地域により登録震源の選定には幅を持たせることにした。このように気象庁震源として採用するかどうかについては, 明確な基準を定めることは難しい。特殊な事例に火山噴火による爆発地震がある。20 世紀前半活発な噴火を繰り返していた長野・群馬県境の浅間山の爆発地震は, しばしば前橋, 長野, 熊谷などの周辺の地震観測点で観測されている。規模の大きい爆発地震の場合マグニチュードは 4 にも達し, 検測値から震源を決めることが可能であるが, 一般に火口直下には決まらない。震源決定誤差を考慮すると, このような特殊な地震は, むしろ震源を火口直下に仮定し, 震源時刻だけを計算する方が妥当と考えられるので, 震源を仮定する方法も用意した。Fig.2 に, 1926 年以降の気象庁(1982)と, 今回の調査でこれまで登録した震源数の比較を示す。今回の調査では, 気象庁(1982)に比べ, K 登録の震源がおおむね 2 割程度増えていることが分かる。

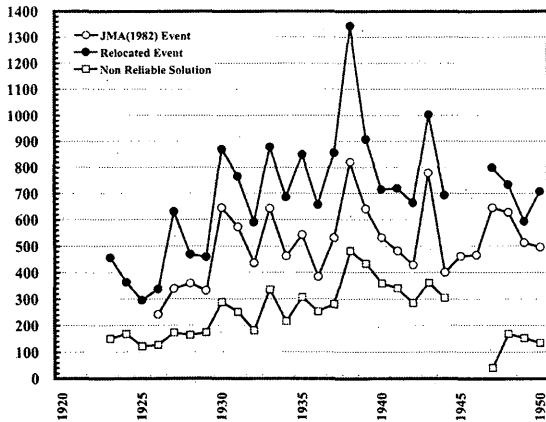


Fig.2 Annual frequency of earthquakes reported by JMA (1982) (open circles) and those relocated by the present study. The frequency of relocated and newly located hypocenters are indicated by solid circles and those newly located but not confidential are indicated by open squares.

調査原簿と各観測点の観測原簿を、完全に照合することが望ましいが、膨大な作業量を必要とするので、ごく限られた観測点、期間についてしか行っていない。調査した結果も、集めた資料が完全ではないことから、今後さらに見直す余地も残されている。また地震学の進歩により、今後研究者が改めて資料を検討する機会も予想される。さらに気象官署に保管されている地震記象紙のマイクロフィルム化が進捗し、記象紙から直接検測値を再検討する機会、環境も整備されつつある。このような理由から5%程度の地震については、今後さらに震源を見直す事態も考えられる。

新たな情報が得られた時点で、震源をさらに吟味し、修正していくためには、震源と検測値のデータベース化および調査作業に関する履歴の整備が重要である。これまでの地震カタログは、震源決定作業に利用された原資料の整理、保存、公開が十分に行われて来なかったため、改良や訂正が簡単に行えなかった。今回の調査では震源決定よりも、原資料の整理と確認に多くの時間を費やすこととなった。震源と検測値をセットにした月単位の地震月報形式(96バイトテキスト)のファイルと、震源計算結果をまとめたファイルの2種類のデータファイルと、編集作業に関するメモを記したメモファイルの3種類のファイルを作成し、将来の活用にも備えることにした。このうち震源ファイルとデータファイルのフォーマットは、地震年報 CD-ROM に原則的に合わせた。例外として震源計算に使われた観測点数の欄(94,95番目のコラム)には、代わりに震

源計算に用いられた P, S 相の総数を記載した。また震源時や緯度経度の標準偏差の欄については、3点の S-P 時間で求めた震央、参考震源等著しく偏差が大きき場合には空欄とした。

データファイルの検測値のフォーマットについても、原則として地震年報 CD-ROM と合わせた。検測フラグの92番目のコラムは、震源計算から検測値を除外するためのフラグとして用いている。相名については、調査原簿では P や S の相名が省略されているため、便宜上第1相は EP, 第二相は ES に統一した。観測原簿や印刷物等で、元の相名が分かる場合には、訂正したが、ごく一部にとどまっている。検測値の時分の誤りを訂正した場合や、第一相が S 波であることが分かり相名を訂正した場合には、訂正場所が分かるように P は (P), S は (S) に変更した。

4.2 マグニチュード (M) の決定

変位最大振幅から浅い地震の M を決める坪井(1954)の式は、気象庁(1958)のカタログ以来気象庁マグニチュードの決定に採用され、今日に至っている。この M 算出式(以後坪井式と呼ぶ)は、固有周期が5秒前後のウィーヘルト地震計水平動成分の記録をもとに定められたが、その後59型直視式電磁地震計などの変位記録にも、そのまま適用されてきた。気象庁(1982)でも1926年から1960年までの60km以浅の地震については、坪井式がそのまま M 算出に使われている。また震源の深さが60kmより深い地震については、勝又(1964)の方法が過去の地震についても遡って適用された。気象台、測候所の機械式地震計の多くは変位記録であり、地震計の固有周期も数秒から十数秒の範囲にあったことから、ウィーヘルト地震計以外の地震計に坪井式を適用しても、概ね問題はないはずである。また機械式地震計の上下動成分は、一般に水平動成分に比べ動作が不安定な場合が多く、良好な記録を得ることが難しかった。簡単微動計のように水平動成分だけの地震計も多かったことから、地震の規模を長期間に亘って同じ方法で算出するには、水平動最大振幅を用いる坪井式は適している。しかし過去の観測資料に坪井式を当てはめるためには、色々な問題が残されている。

その一つは、宇津(1982c)がすでに指摘しているように、1952年から観測業務規定により振幅の取り方が、0線からの振れの大きい方を採る片側振幅から、全振

幅を半分にする方法(半振幅)に変わり、倍率も振動倍率から基本倍率を用いることになったことである。長周期の振幅には、振動倍率は基本倍率より小さいので、振動倍率を用いる場合は、振幅が大きく評価されていたはずである。また片振幅による最大振幅は、必ず全振幅の半分より大きくなる。以上のことから 1952 年以前は、M は大めに決められていたはずである。これらの問題は、厳密には統計的に検証する必要があるが、機械式地震計の記録は、電磁式地震計に比べ摩擦の影響が大きかったことなどから、振幅に関しては相殺する要素もある。また機械式地震計は倍率が低かったことから、小さい地震についての振幅の読みとりは精度が低下するだけでなく、読みとった数値の四捨五入、切り捨てなどの影響も考えられる。振幅の読みとりの最小単位は $1 \mu\text{m}$ であるが、全振幅が $1 \mu\text{m}$ の場合、半振幅でも四捨五入で $1 \mu\text{m}$ となり、M に換算して 0.3 大きい。なお宇津(1979)は、1885 年以降の地震の M を決める際 $5 \mu\text{m}$ 以上の値だけを用いている。

振幅が片振幅か全振幅かは、観測原簿からは区別が可能であるが、印刷物には区別が付かない場合がある。また少数であるが、調査原簿へ記入する時の誤りも認められる。

もう一つの問題は、機械式地震計の振り子に制振装置(ダンパー)のついていない地震計が多く使われていたことである。大森式簡単微動計のようにダンパーのない地震計、今村式 2 倍強震計や中央気象台式簡単微動計、大森式地動計のように、時期により、観測点によりダンパーの有無が異なる地震計も使われていた。これらの地震計による最大振幅値も、振動倍率で評価する限り、ダンパーのついていない地震計の場合と同等に扱えるはずである。現実には調査原簿の検測値には、検測に用いた地震計の種類やダンパーの有無に関する情報は含まれていないので、区別して取り扱うことは不可能に近い。そのため今回の調査では、地震計の種類や観測点によらず、すべての周期 5 秒以下の最大振幅値を、M の計算に用いることにした。宇津(1979)も「Wiechert 式地震計とは明らかに特性、性能が異なる地震計による振幅を用いても、平均的に見ると妥当な M の値が得られるのは不思議である」と述べている。

さらに 1928 年頃までは、水平動 1 成分だけの最大振幅の報告が多く、水平動 2 成分の最大振幅を用いる坪井式は、そのままでは適用できないという事情も存在

する。これについては 1 成分最大振幅と 2 成分最大振幅の比較から、浜田他(2001)に倣い、一成分最大振幅を 1.25 倍して M を求める方法を踏襲した。

マグニチュードスケールが、長期間にわたって普遍性があるかどうかについては、上記のような様々な要素を吟味する必要がある。今後も震度分布との比較を含め、様々な角度からの評価が必要であろう。

5. 1923 年 8 月—1925 年 12 月の期間の地震カタログの 新規作成

気象庁(1982)では、1926 年 1 月 1 日以降、1960 年 12 月 31 日までの地震カタログが作成されたが、最も古い調査原簿は 1923 年 8 月から存在する。この期間の観測データの質や量は、序々に改善されており、気象庁(1982)に、1926 年以前の地震が扱われていない理由は分からない。1926 年が昭和元年に当たり、期間として区切りが良いことなどが理由であろう。しかし観測値がまとまった形で整理されている調査原簿の存在する期間については、資料の質に応じた地震カタログの作成が可能であり、宇津(1999)のカタログに収録されている地震の数が主要地震に限られていることから、期間を延長できることの意義は大きい。

この期間の内 1923 年 9 月から 1924 年 3 月については、浜田他(2001)により関東地震に関する調査として、すでに全国の地震の震源が調査されており、若干の修正を加えそれを用いることとし、1923 年 8 月と 1924 年 4 月以降の期間について震源決定を行った。この期間の震源決定は、主として S-P 時間を用いた最小自乗法により、状況によっては P 相、S 相を独立に用いる最小自乗法を適用し、結果がより妥当と考えられる震源を選択した。なお宇津カタログに記載されている震源の中には、計算ではどうしても震源が決まらない地震がある。特に観測網から遠い琉球、千島の地震、深発地震にそのような地震が多いが、その場合には、宇津カタログの震源をそのまま採用する事にした。地震の M は、震源が新たに決定された地震についてはその値を採用したが、被害地震など一部の地震(1923 年関東地震、勝浦沖最大余震など)については、変えずに残すことにした。また関東地震直後の大きな余震については、検測値が少なくまた精度が低いため震源が決まらない地震がある。その場合には、武村(1994)が岐阜の強震計記録から推定した震源と規模を、そのまま

新たなカタログに取り入れることにした。地震カタログが年の途中から始まることは、利用上何かと不便であることから、1923年1月から7月までは、宇津のカタログをそのまま用いファイルに加えた。

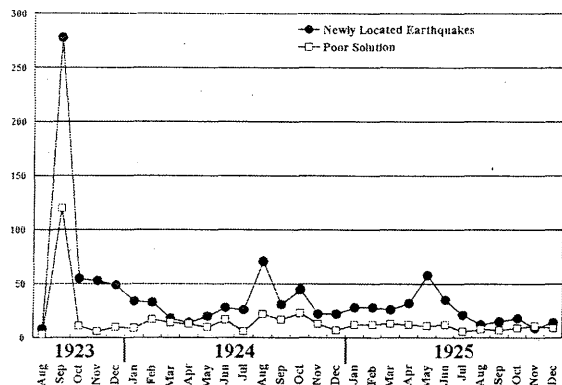


Fig.3 Monthly number of newly located earthquakes during the period from August, 1923 to December 1925. Numbers of newly located earthquakes are indicated by solid circles and those of poor solutions by open squares, respectively.

このようにして決定した、1923年8月から1925年12月までの月別地震回数を、Fig.3に示す。また1924年1月から1925年にかけての全国の地震活動を、Fig.4に示す。1923年8月の決定地震数が極端に少ないが、これは調査原簿へ検測値が記載されていない観測点が多いためと考えられる。台湾の地震については、気象庁(1982)では、すべて除外されているが、今回の調査ではすべての資料を活用するという観点から除外せず、他の地域の地震と区別せず取り扱った。しかし台湾の観測点は、同時期の国内の観測点に比べ時刻の精度が

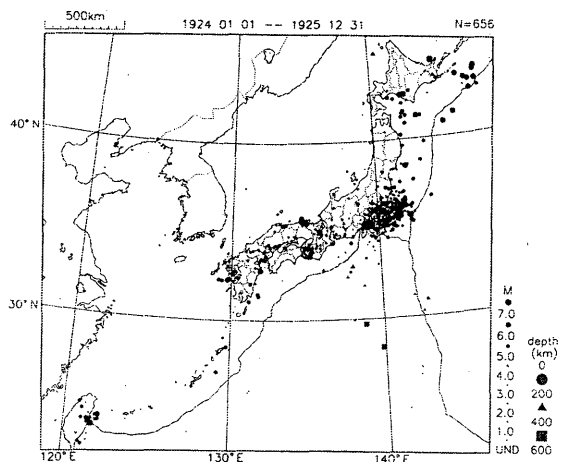


Fig.4 Seismicity map in and around Japan during the period from January, 1924 to December, 1925. Concentration of hypocenters in the Kanto district and the Kinki district may be partly due to the densely distributed seismographic stations in these regions.

低く、時刻の精度が向上するのは、1930年代後半になってからである。Fig.4を今日の地震活動と比較すると、観測点密度の高い関東や、関西を中心とした地域の地震が多い傾向が窺われ、震源検知能力に、地域的な偏りがあったことが明瞭である。

5.1 1925年北但馬地震(M6.8)と余震分布

Fig.5は、この期間の顕著な活動の一つである1925年5月23日に発生した北但馬地震と、その余震の分布を示す。この場合ほとんどの震源は、S-Pを用いて震源を決定している。この地域では、震源の近くの観測点として宮津、豊岡がある他、震源域の南東象限に京都、神戸、大阪、彦根、洲本などの観測点が集まって分布しており、震央の決定誤差は、観測点の方位と直行する、北東～南西方向に大きくなることが予想される。しかし余震は、全体に北西～南東方向に広がった分布を示す。このことは、北西～南東方向の余震の広がりが、震央の誤差により生じたものではなく、余震域が北西～南東に広がって分布し、同じ方向に走向を持つ地震断層に沿って分布する可能性を示すものと考えられる。この方向は、地震によって活動したとされる田結断層の走向とも一致しており、また2年後に発生した北丹後地震により動いた郷村断層の走向にも平行である。これらのことから、北但馬地震は、横ずれの地震に伴って発生した余震活動が、断層の走向に沿って分布することが分かった最も古い例といえる。

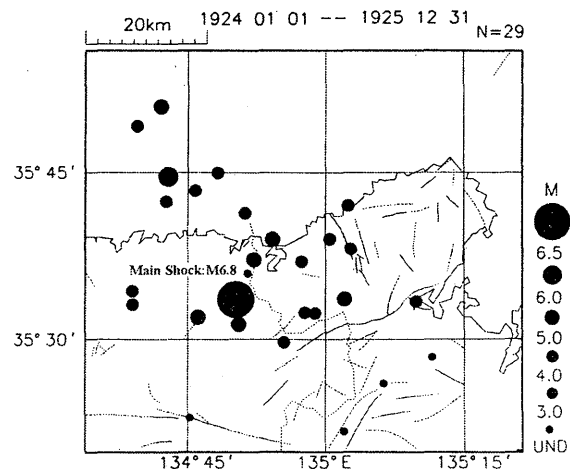


Fig.5 Distribution of the main shock and aftershocks of the 1925 Kita-Tajima earthquake (M6.8) in Hyogo prefecture. Although epicenters of aftershocks are not well constrained, alignment of epicenters along the NW to SE direction suggests strike slip faulting of the main shock along it.

5.2 1925 年美保湾の地震 (M 5.8) と 2000 年鳥取県西部地震 (M 7.3) の本震余震分布

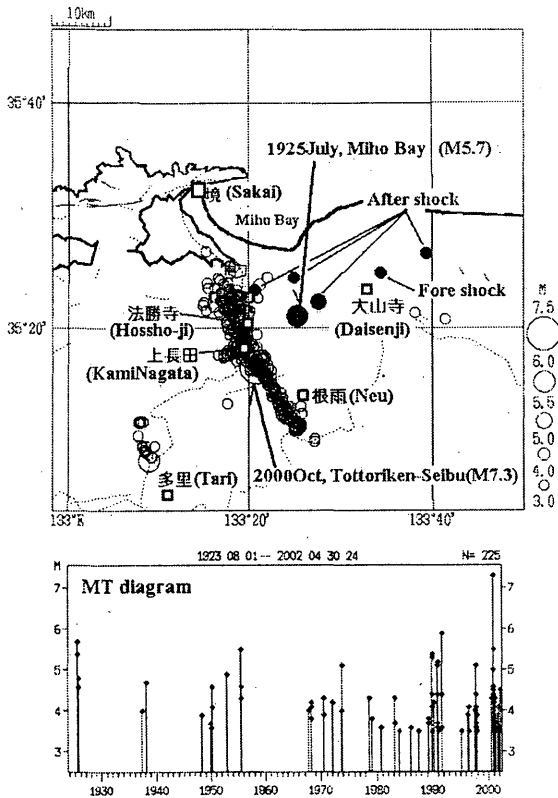


Fig.6 Re-examination of hypocenters of the 1925 Miho-Bay earthquake (M 5.7) and its aftershocks and a foreshock. The upper figure shows the main shock and aftershocks of the 2000 Tottoriken-Seibu earthquake (M 7.3 open circles) together with those of the 1925 Miho-Bay earthquake (solid circles). Taking into account larger hypocenter location errors in 1925 and information that small aftershocks of the Miho earthquake were felt only in inland macro-seismic observation points and not registered by the seismograph of Sakai weather station, which was located in the coastal area of Miho bay, there is a strong possibility that the 1925 Miho-Bay earthquake took place from the inland nucleation zone of the 2000 Tottoriken-seibu earthquake. Open squares indicate macro-seismic observation points and Sakai weather station. The lower figure shows a magnitude time plot of earthquakes in the source area of the 2000 Tottoriken-seibu earthquake since 1923 and indicates variation of seismicity for a long period of years and forerunning upheaval of activity after the 1990s.

Fig.6 は、2000 年 10 月 6 日鳥取県西部地震の本震余震活動と、1925 年 7 月 4 日に発生した美保湾の地震とその余震を、重ね合わせたものである。鳥取県西部地震の震源域では、過去に M5 クラスの地震活動が時々発生していたことが知られており、特に 1990 年代初め頃から活発化した、それらの地震の震央が誤差の範

囲で本震の位置と一致することも明らかにされている(渋谷他,2001)。1925 年の地震は、従来から美保湾の地震と呼ばれており、宇津(1982)のカタログでも美保湾に震源が決められている。しかし鳥取県西部地震の被害が、海岸沿いの地盤の悪い地域に集中していることから分かるように、この付近で強い地震が発生すれば、海岸沿いの震度が大きく観測され、震度分布から震央を推定すれば、どうしても海岸よりに決まる。今回決定した本震、余震の震源は、ばらつきは大きいものの、明らかに内陸を中心に分布している。また美保湾に近い境測候所の地震計にも記録されないような小さい余震による有感報告が、内陸の根雨、上長田、多里などの区内観測所から報告されている。これらのことを考え合わせると、美保湾の地震は、内陸に震源を持つ地震であった可能性が非常に高い。震央が北東～南西方向にばらついているが、この地域では北但馬地震の場合と同じように、震央の決定誤差は北東～南西方向に大きくなる。類推すれば、美保湾の地震は、その後の M5 クラスの地震と同じように、2000 年鳥取県西部地震の本震付近で発生した地震である可能性が強い。Fig.6 の MT 図から、M5 を超える地震活動が 1990 年代に入って活発化したことが分かる。内陸の地殻内で発生する M7 クラスの地震の発生準備過程を調べる上で、長期に亘る地震カタログの活用が有用であることを示している。

5.3 区内観測所の震度観測の活用例

区内観測所の有感報告を整理した結果の例として Fig.7 に、1923 年関東地震からまもない 1924 年から 1937 年にかけての、横浜管内(神奈川県)、沼津管内(静岡県)及び甲府管内(山梨県)の区内観測所から報告のあった、有感地震の累積頻度分布を示す。区内観測所は、1930 年代には横浜や甲府管内で約 50 カ所、沼津管内では 40 カ所あり、すべての観測点で震度を報告していたとは思われないが、震源の決まらない小さい地震の活動を調べる手がかりになる。なお横浜測候所は、1923 年の関東地震により焼失し、地震観測を再開したのは 1924 年になってからであり、初期には測候所の震度観測と区内観測所の有感報告の両方に欠測と思われる期間が認められる。しかし 1923 年関東地震の震源域に近接する 3 県の有感地震の累積曲線は、1924 年から 1927 年頃にかけて緩やかに折れ曲がっており、

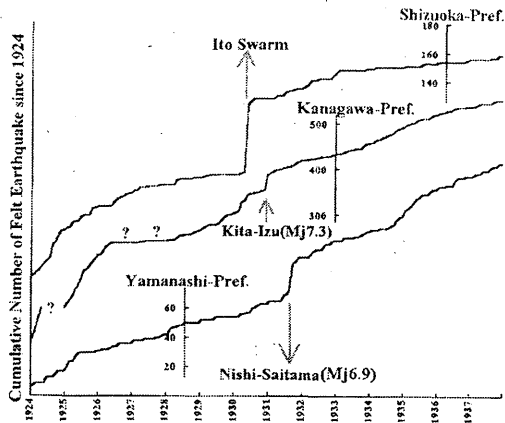


Fig.7 Cumulative frequencies of felt earthquakes based on the reports of felt earthquakes from voluntary weather observation points that were operated in Shizuoka, Yamanashi and Kanagawa prefectures showing gradual subsidence of aftereffects of the 1923 Kanto earthquake (M 7.9) around the focal region. Bumps on the curves in 1930 and 1931 are due to the 1930 Ito earthquake swarm, aftershocks of the 1931 Kita-Izu earthquake (M 7.3) and those of the 1931 Nishi-Saitama earthquake (M 6.9) respectively. Question marks on the curve of Kanagawa prefecture indicate periods of discontinuity of observations or missing data.

関東地震後の地震活動の沈静化を表している。その後は、1930年伊東群発地震や同年の北伊豆地震、1931年の西埼玉地震により、それぞれ有感地震が急増するが、その他の期間はほぼ一定の増加率で推移している。このように区内観測所の報告も、データベースに取り込むことにより、器械観測とは違った角度からの地震活動評価が可能になる。

6. 1926年以降の地震カタログの改善

地震カタログを延長した1923年から1925年までの期間に続き、既存の気象庁地震カタログが存在する、1926年以降についても震源の再決定を行った。初期の1930年頃までは、年々観測網の改善と検測値の精度向上が図られている。1926年、1927年当時は、まだ最大振幅値の報告が1成分の場合が多く、それに加え調査原簿への振幅の記入が省略されている期間もしばしば認められる。1928年頃になると、大部分の観測点で2成分の振幅が記載され、省略されるケースも減ってくる。検測値の精度も向上し、P、Sの発現時を用いて震源が決定できる地震が増えてくる。Fig.8は、この時期のS-Pを用いて決定された震源、P、Sを用いて決めた震源、深さを固定して決めた登録地震数の推移を示したものである。年と共にP、Sを用いて決めた震源の

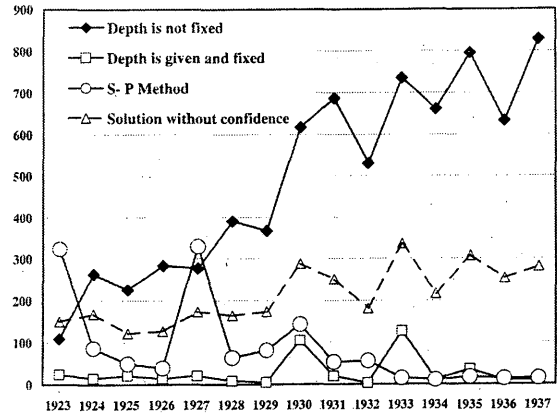


Fig.8 Yearly numbers of earthquakes which were located by using P and S arrivals (solid diamond), by using S-P times (open circles) and on the condition that focal depth was given (open squares). Proportion of earthquakes located by using P and S arrivals to total number of located earthquakes increased as the observation network was improved.

割合が増加し、S-Pを用いて決定された震源の割合が減少していることが分かる。

Mについては、気象庁(1982)に記載されている値は、すべての観測点の検測値を用いて決めたものではなく、使われた観測点は選択されている。改訂作業では、すべての検測値を入力とし、周期5秒以内の最大振幅値はすべて取り込んでいるために、震源が動かない場合でも、Mは違ってくる場合がある。また調査原簿から記載漏れの振幅値を追加した場合にも値は変わってくる。このようなことから、震源のみならず、Mについても原則として再決定し入れ替えることにした。しかし、一般に再計算によるMの違いは0.1以下である場合が多い。宇佐美(2003)や宇津カタログに記載されている被害地震などについては、Mの値は研究者のみならず、一般社会で色々利用されている場合が多く、値を変更すると不都合なことも多い。これらのことから、宇佐美(2003)などに掲載されている被害地震に限り、Mの値は、気象庁(1982)の値を引き続き採用することにした。なお再決定により震源が大きく移動する場合や、値が大きく変化し、既存の値が妥当とは考えられない場合には、再決定した値に置き換えた。1931年3月9日の三陸沖地震($M7.6$ から $M7.2$)はその例である。また1937年6月10日の宮古島近海の地震も、気象庁(1982)では $M6.7$ となっていたが、決め直すと $M7.2$ となる。最も新しい世界主要地震の表(Engdahl and Villasenor, 2002)によると、mbでも7.3、その他のM

はいずれもそれ以上であることから $M7.2$ に変更した。

なお震源の深さ 60km 以上の地震については、勝又 (1964) の式により M を決めているが、外国の機関などが決めている M に比べ大きくなる傾向がある。これについては、Katsumata (1999) により浅い地震から深い地震まで一貫した方法で M を決める方法が開発されている。60km より深い地震については、Katsumata (1999) の方法により M を計算しなおして、最近の地震まで一貫した M に入れ替えている。再計算で作成された 1933 年頃までの地震カタログに基づき、新たに明らかになった当時の地震活動の特徴をいくつか以下に紹介する。

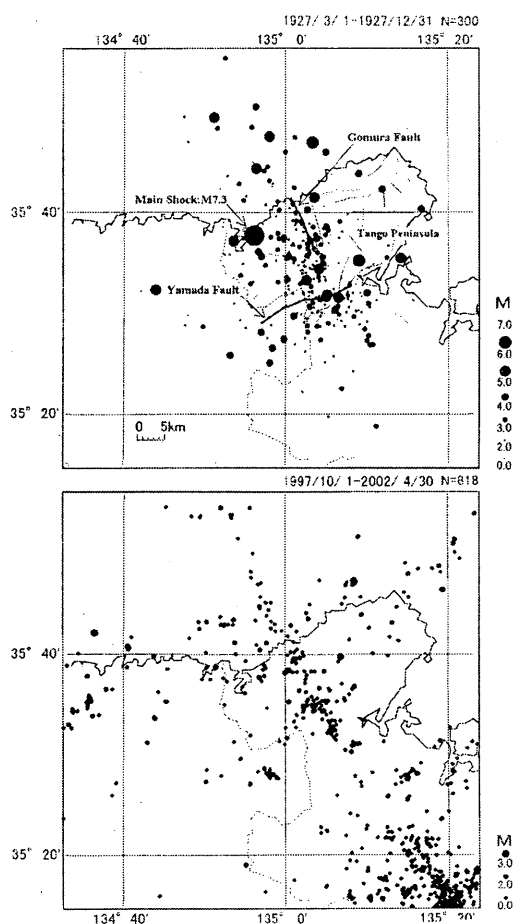


Fig.9 A comparison of seismicity around the source region of the 1927 Kita-Tango earthquake ($M 7.3$). The upper figure shows main shock and aftershock distribution relocated by the present study and the lower figure shows micro earthquake activity in recent years. Thick solid lines in the upper figure indicate active fault and coastal lines, and thin dotted lines show other active faults and prefecture's border.

6.1 1927 年北丹後地震 ($M 7.3$)

北丹後地震については、地震研究所による臨時余震観測が、半年以上の期間にわたって行われた (那須, 1929a, 1929b)。これらの検測値は、時刻精度が乏しく S-P 時間しか使えないが、豊岡、宮津など震源域に近い測候所の検測値を組み合わせることにより、小さな余震まで震源決定が可能となっている。Fig.9 は、このようにして求めた本震余震分布と、最近の一元化震源 (1997 年 10 月以降) を比較したものである。地震時に活動した郷村断層に沿った方向に余震が分布し、今日の微小地震活動と良い対応が認められる。また郷村断層に共役な、山田断層の走向に平行な余震分布も認められる。なお本震の震央は、郷村断層上には決まらなかった。P, S の発現時を用いる方法、S-P 時間を用いる方法、深さを固定する方法、震源決定に用いる観測点の震央距離の限度を変えるなど色々試みたが、震央が西の北但馬地震の震源域にずれて決まる傾向は変わらなかった。震源決定精度の低さが原因とも考えられるが、断層面が西側に傾斜し、断層の底部から地震が始まったことを示す可能性が指摘できる。Nasu(1935)にも示唆されているが、余震域の東側の境界が西側に比べはっきりしていることも、断層面が西側に傾斜していることと整合する。

6.2 1930 年の伊東の群発地震活動と北伊豆地震 ($M 7.3$)

伊豆東部では、1970 年代後半から群発地震活動がしばしば発生しており、地殻変動も観測され、1989 年 7 月には伊東市沖で海底噴火も発生した。一連の活動は、地殻内へのマグマの貫入が原因と考えられている (Okada and Yamamoto, 1991 など)。1930 年の伊東付近の群発地震については、Nasu et al.(1930)による観測が行われており、植木他 (1990) は Nasu et al.(1930) のデータを再解析し、1930 年にも同様のマグマの活動が起きていたと推定している。今回の震源の再決定の結果を Fig.10 に示す。この地域、この期間については、南側に観測点がなく、観測網が震源に対し偏っていることから、安定した解を求めるため、多くの地震は震源の深さを 10km に固定して震源を決定した。参考までに、気象庁(1982)による今までのカタログ、及び最近の高感度高密度観測網によって観測された 1998 年の活動を比較した。群発地震の活動域は似たようなもの

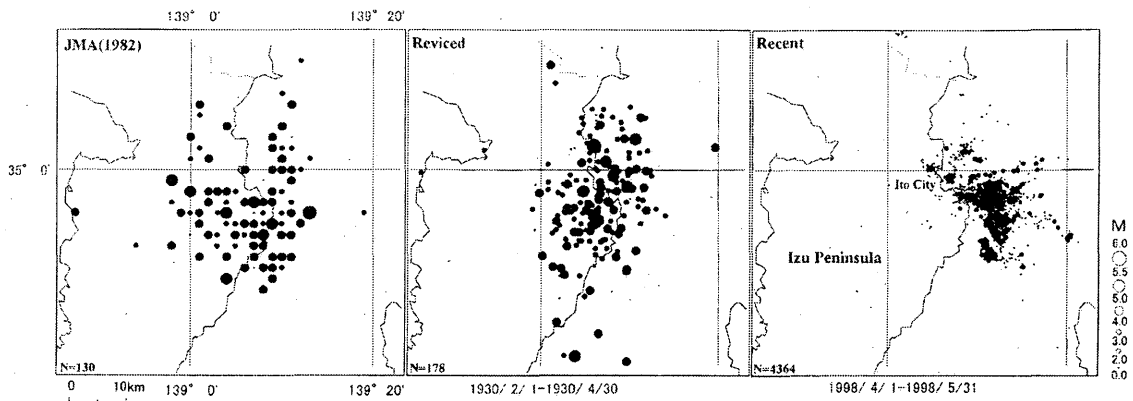


Fig.10 Comparison of epicentral distribution of the 1930 Ito earthquake swarm reported by JMA (1982) on the left, relocated by the present study on the middle and epicentral distribution of a recent earthquake swarm in 1998 located by modern densely distributed sensitive seismic network on the right. Although the relocated epicenters are scattered around the east coast of the Izu peninsula, considering location precision at the time, the swarm activity in 1930 might be similar to that observed in 1998, which shows tight clustering of earthquakes.

であるが、東西方向の幅が若干減少しているが、南北方向についてはあまり変わらず、南に離れて決まった震源もある。しかし震源の数が130個から178個と増え、決定精度の低い小さい地震も含めての比較であることを考えると、再決定により震源決定精度が改善されたことが分かる。当時は、活動域に一番近い観測点が沼津、途中から伊東が加わり、次が横須賀や布良(富崎)という状況では、Nasu et al.(1930)など震源近傍での臨時観測による結果や1998年の活動の決定精度に比べるべくもないが、似たような群発地震活動が起き

ていたことが分かる。再決定にはNasu et al.(1930)による検測値も加えてあるが、対応する地震は限られており、その効果は明瞭でない。1930年の群発地震活動は、3月と5月に活動のピークがあった。Fig.11は、3月と5月の活動を重ね合わせて示したものである。3月の活動に比べ、5月の活動が明らかに東側にずれていることが分かる。最近の群発地震活動でも、川奈崎沖(汐吹崎)を中心として北西～南東方向に、活動期間内あるいは活動と活動の間で地震発生域が移動することが観測されており、この意味において1930年にも同じような現象が起きていたことが分かる。さらに1932年12月5、6日にも、M4.8、M4.0など震源が決まった5個の地震を含み、沼津、三島、伊東など近傍の観測点でしか観測されない、小規模な群発地震活動が起きている。規模や期間は異なるが、近年の群発地震活動と同じような活動を繰り返していたと推定され、カタログの見直しにより1930年の活動と近年の活動の相似性がより明瞭になった。

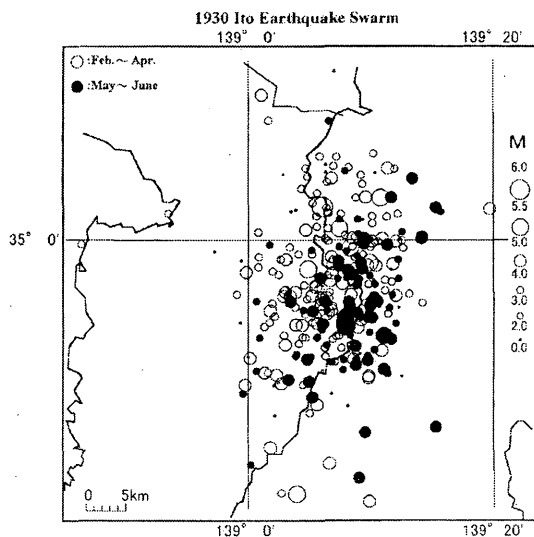


Fig.11 Difference in epicentral distribution between the February to March swarm (open circles) and the May to June swarm (solid circles) near the Ito area in 1930. The eastward systematic shift of the May activity relative to the June activity may be due to migration of magma injection occurring under the east coast of the peninsula that is inferred from studies of recent swarm activities.

1930年は、伊東周辺の群発地震活動が終息して半年後に、伊豆半島中部で地震活動が始まり、11月26日未明に北伊豆地震M7.3が発生した。Fig.12は前震、本震、余震を重ねてプロットしたものである。震源の決定誤差は、伊東の群発地震の時と同程度であると考えられるが、誤差を考慮しても、前震が本震の起きた場所周辺に固まって起きたのに対し、余震は南北に広がったことが分かる。このように前震(先行地震)が本震の震央付近に集中して発生した事例は、1943年鳥取

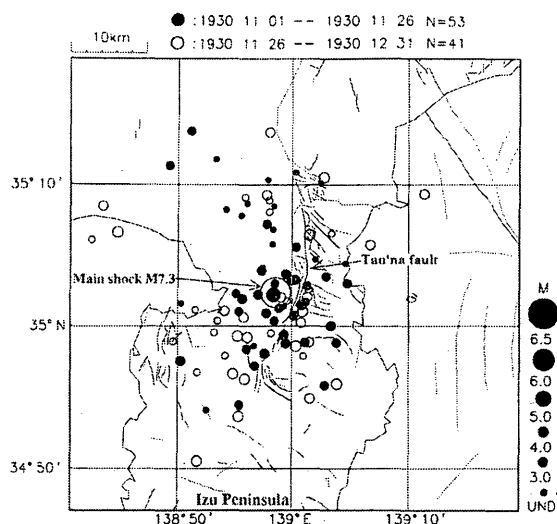


Fig.12 Relocated foreshocks, main shock and aftershocks of the 1930 Kita-Izu earthquake (M 7.3). While foreshocks cluster around the main shock, aftershocks are distributed in the north-south direction along the Tan'na fault (Thick solid lines). Significant foreshock activity is illustrated by the fact that the number of located aftershocks is exceeded by that of foreshocks.

地震 M 7.2, 1945 年三河地震 M 6.8, 1978 年伊豆大島近海地震 M 7.0, 2001 年鳥取県西部地震 M 7.3 と色々な例が知られているが, 北伊豆地震は震源分布から判別できる最も古い事例ということが出来る。

なお伊東付近の群発地震活動と, 北伊豆地震の震源については, Yoshida and Hamada(1991)により再調査が行われ, すでにほぼ同様の特徴が指摘されている。今回の調査では, 活動前後の期間を含め, 決定した震源を増加することが出来, また振幅データを補ったことにより M の決定できた地震の数を増やした。その結果震源の移動など活動の特徴がより明瞭となった。

6.3 1931 年 3 月の三陸沖地震 (M 7.2) と余震の分布

1931 年 3 月 9 日に発生した三陸沖地震では, 青森県を初め北海道, 秋田県, 岩手県, 宮城県にかけて強震 (強き方, 震度 5) を観測し八戸や函館などで被害があり, 津波も観測されている。この地震とその余震の震源を再決定したところ, Fig.13 に示すように気象庁 (1982) と大きく異なる結果を得た。余震のまとまりなどから考えると, 再決定した本震, 余震分布の方が妥当と考えられる。気象要覧による震源は, 東経 141.9 度, 北緯 40.6 度と陸地よりで, 馬淵川 (八戸) 河口沖となっている。中央気象台(1952)でも震央は変わっていないが, 気象庁(1958)では震央が東経 142.5 度, 北緯

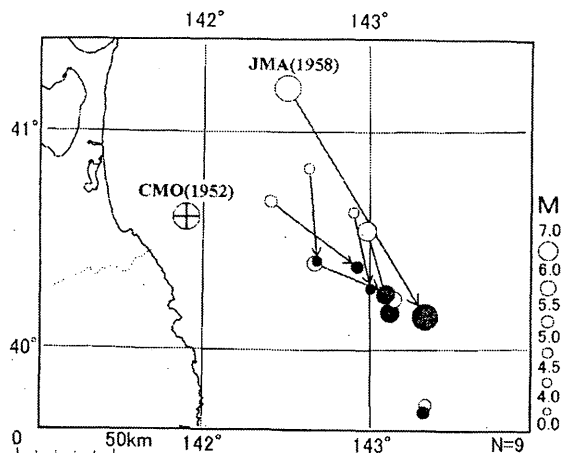


Fig.13 Differences of epicenters of the 1931 Sanriku earthquake (M 7.2) and its aftershocks found among those reported by CMO (1952) (Open symbol with cross), JMA (1982) (Open symbols) and those relocated (solid circles) by this study during the period from March to April in 1931.

41.2 度の青森県沖に改訂され, M 7.6 と決め直された。気象庁 (1982) では, 再計算が行われず気象庁(1958)の値がそのまま記載されている。大きい地震の場合 S 相が読みにくく, 計算では震源がうまく決まらなかったものと思われる。さらに M 7.6 は, 再計算の結果 7.2 となった。もし 7.6 が妥当であれば 1994 年 12 月三陸はるか沖地震 (M 7.6) と同規模の地震となる。震度分布で比較すると, 震度 5 の範囲は 1931 年の地震の方が広いが, 有感範囲は 1994 年の地震の方が広い。被害の様子などから見ても 1994 年の地震の方が大きい(気象庁, 2001)。Engdahl and Villasenor(2002)によれば, 色々なカタログで決められた M は 7.6 から 7.7 程度である。Abe(1981)によれば, 実体波 M は 7.1 となっている。被害地震の M は原則として変更しないこととしていたが, この場合は, 新たに計算した値 7.2 を採用することとした。

6.4 関東地方の地震活動

関東地方は, 南からフィリピン海プレートが, 東から太平洋プレートが沈み込んでおり, その影響により地震活動が活発であるばかりでなく, 複雑な震源分布を示している。微小地震の観測に基づいた, 沈み込むプレートの形状に関する研究が近年精力的に実施され, 詳しいプレートの形状が明らかにされている(例えば, Ishida,1992)。また関東地方は, 早くから地震観測網の

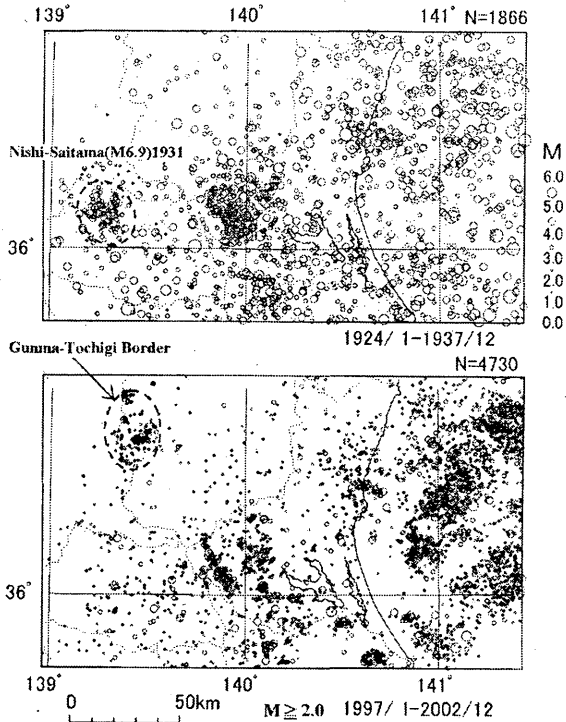


Fig.14 Plane view showing a comparison of seismicity in the northern Kanto district up to 120 km focal depth for the period from 1924 to 1937 (upper) with recent seismicity for the period from 1997 to 2002 (lower). Due to larger location error, clusters of epicenters are vague in the 1920s and 1930s but most of them correspond well to clusters of earthquakes associated with subductions of the Philippine sea plate and the Pacific plate under the Kanto district, which are easily recognizable from the recent observations. Shallow clustering in the border of Gunma and Tochigi prefectures recognizable from the recent results is not seen in 1920s and 1930s. The earthquake detection capability of the period must be not enough to locate earthquakes of small magnitude in this region. On the other hand, micro earthquakes are still seen by the recent observations in around the area where the 1931 Nishi-Saitama earthquake (M 6.9) and its aftershocks are formulated.

整備が行われ、地震の検知能力、震源決定精度共に他の地域に比べ高かった。過去の資料から、今日明らかにされている地震活動の特徴がどの程度まで認識できるかを調べるため、最近の地震活動と比較した結果を Fig.14 及び Fig.15 に示す。震央分布図で見ると、1933 年以前では日光足尾地域の地震活動がほとんど認められない。これには、当時の地震検知能力が低かったため、震源がほとんど決まらなかったためと考えられるが、1949 年の今市地震などの影響で、長期的に地震活動レベルが変化した可能性もある。いっぽう 1931 年西埼玉地震 (M 6.9) の震源域では、今日でも対応する微小地震活動が認められる。茨城県南西部の地震活動の

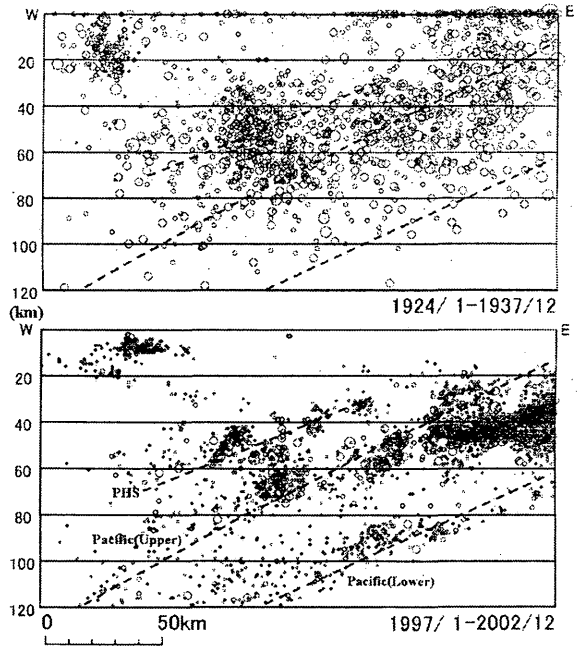


Fig.15 A comparison of hypocenter plots on the vertical plane for the hypocenters in Figure 14. Approximate boundaries of the Pacific plate (upper and lower) and the Philippine sea plate (PHS) are also indicated. Detailed structure, such as the double-planned subducting Pacific slab is not seen from the upper plot for the period from 1924 to 1937, due to poor depth resolution of hypocenter location. However, distinct clusters at various focal depths correspond to the patterns recognized by the recent observations in the lower figure.

集中域、水戸市付近の固まりなどはよく分かり、深さの分布も最近の活動とよく対応しているが、最近の観測でよく分かる茨城県南西部の活動でも鬼怒川側の活動と筑波山側の活動、あるいは千葉県北部にかけてのいくつかの集中域などを識別するだけの分解能はない。これら地震の巣では、当時の震源決定能力で決定できる規模の地震が、あまり起きていないためかもしれない。また太平洋プレートの二重深発地震面の下面がよく見えないのも、下面で発生する地震の規模が比較的小さいことが一因であろう。これまで気象庁(1982)では、震源の深さが 10km きざみで決められていたために、このような特徴を調査することは困難であった。今後震源の見直しがすすめば、期間を延ばしたり、精度のよい震源を選択したりすることにより、さらに色々な調査が可能になろう。

6.5 余震分布の線状配列

これまでに示したように、震源カタログの改善により長期間の地震活動のより正確な解析・評価が可能に

なったが、観測網の変遷による震源、検知能力の変化は、依然として非常に大きい。震源決定精度の違いは、緯度、経度、震源の深さの標準偏差で定量的に表されるが、定性的にその変化を良く表現している例として、横ずれ断層型の地震による余震分布の配列を取り上げる。

横ずれ断層型の地震の余震が、断層に沿った見事な線状配列を示すことが認識されるようになったのは、1966年のパークフィールドの地震 (Eaton et al., 1970)、1969年岐阜県中部地震 (Mj:6.6, 渡辺・黒磯, 1970) 頃からである。日本列島の中部から西南日本の内陸部では、東西圧縮の応力場に支配されるが、その応力場の下で横ずれ断層による被害地震がしばしば発生する。古くは 1927 年の北丹後地震、最近では 1995 年の兵庫県南部地震がその典型例である。これらの被害地震は、多数の余震を伴い、断層の傾きが垂直に近い場合、最近の精度良く決定された余震分布では、見事な余震の線状配列が認められる。しかし時代を遡るに従い震源決定精度が低くなるため、余震の線状配列は明瞭ではなくなってくる。過去に主として西南日本を中心とし

て発生した、M7クラスの横ずれ断層型の被害地震の余震分布を、断層の走向を上下に揃え同じ縮尺で表示したのが Fig.16 である。

断層の位置や走向、長さ等の諸元は、佐藤他 (1989) を参考にした。余震の線状配列は、時代を遡る程曖昧になり、また 1948 年の福井地震のように、余震の位置が断層から系統的にずれているように見える場合もある。その中で 1927 年北丹後地震の余震が比較的まとまっているのは、地震研究所の余震観測の資料を利用でき、精度、検知能力が他の場合に比べ改善されているためである。また 1943 年の鳥取地震や 1978 年の伊豆大島近海地震など、余震が断層の両端に集中する場合は、精度が低いために余震の分布がばらついているばかりでなく、アスペリティの分布などが、他の地震と異なることを暗示している。余震には本震と共役な断層による地震が含まれる場合が珍しくなく、断層の長さ、余震と断層の位置関係、余震の時間空間分布は、同じ横ずれ断層型の地震でも様々であるが、Fig.16 は震源決定精度の時間的な移り変わりを象徴的に示している。

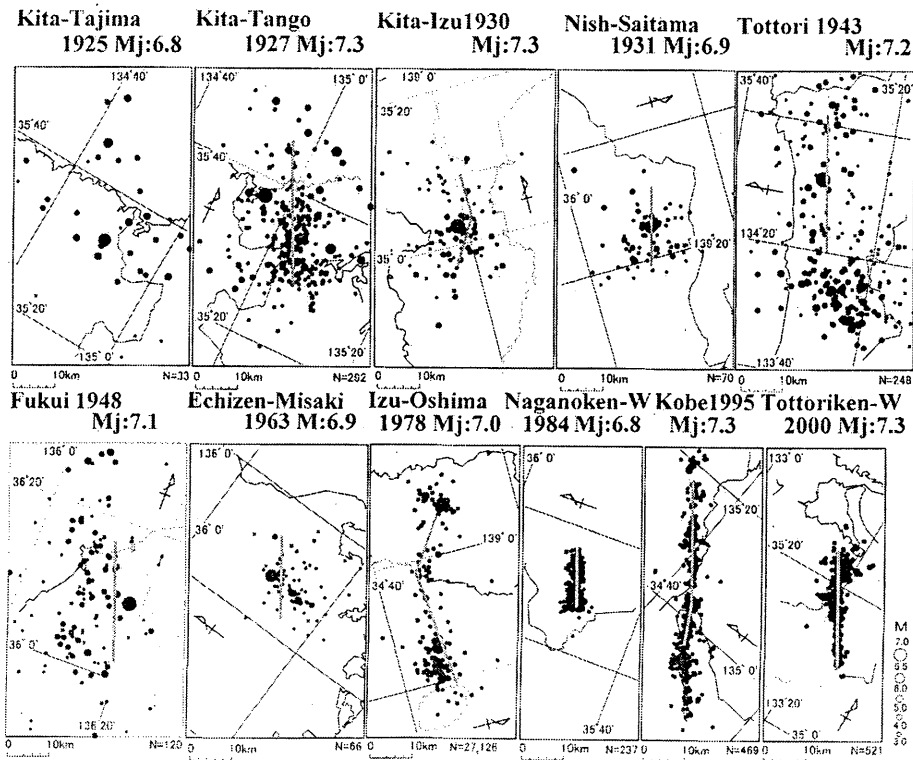


Fig.16 Linear alignments of aftershocks along the faults of the eleven prominent inland earthquakes that have originated from strike slip faults showing not only temporal variation of earthquake location accuracy through the period from 1925 to 2000, but also individual characteristics of aftershock patterns of each earthquake. Aftershocks are plotted on the maps with the same reduced scale and with the same orientation along the earthquake fault (bold lines). Faulting parameter is after Sato et al. (1989). Mj indicates JMA magnitude and some names of the earthquake are abbreviated (1995 Hyogoken-nanbu → Kobe1995, 2000 Tottoriken-seibu → Tottoriken-W2000 etc.).

7. 議論

7.1 震源とマグニチュード決定地震数の時間的推移

今回の地震カタログの改善の主目的は、震源の質の改善が中心であり、震源が決まった地震の数は、調査の完了した期間では気象庁(1982)に比べ若干増加しているが、新たな観測資料の発見がほとんど期待できないことから、地震カタログに含まれる地震数の大幅な増加は期待できない。しかし震源の質の改善により1923年以降の地震検知能力のより詳しい分析が可能になってきた。

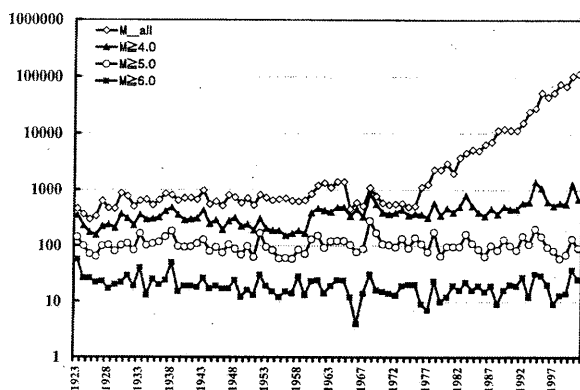


Fig.17 Annual frequency of earthquakes included in the new earthquake catalog. Annual numbers of earthquakes (open rhombus), those of $M \geq 4.0$ (solid triangles), those of $M \geq 5.0$ (open circles) and those of $M \geq 6.0$ (solid squares) are respectively indicated with logarithmic scale.

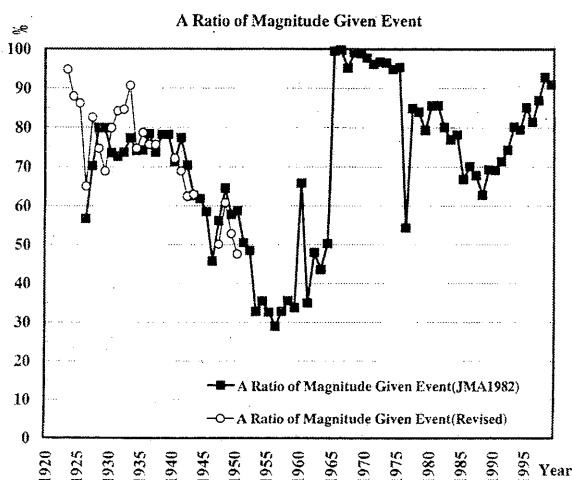


Fig.18 Yearly variation of rate of earthquakes of which magnitudes were given among total number of earthquakes listed in the old JMA earthquake catalog (solid symbol) and those revised by this study (open circles).

Fig.17は、地震カタログに含まれる地震の規模別回数の内訳の、時間変化を示している。Fig.17によれば、 $M \geq 5$ 、 $M \geq 6$ の地震に限れば、1923年以降今日に至るまで地震の発生数は、一定で変化はほとんど認められない。いっぽう $M \geq 4$ クラスの地震の場合、1960年前後を境に数は増加している。また1960年以前についてもよく見ると1940年頃を中心に数が多く、1950年代は少なくなっていることが分かります。また $M \geq 4$ クラスの地震については、一様には検知できていないことが分かる。いっぽう地震カタログに記載されている地震の内、 M が与えられている地震の割合も時代により大きく変化している (Fig. 18)。1920年代から1930年代にかけてカタログの改訂作業が進んでいる部分では、観測原簿の活用などにより M が与えられている地震の割合が、気象庁(1982)に比べ改善されていることが分かる。いっぽう1950年代は全体の期間を通じて、 M の与えられる地震の割合が最も低いことが分かる。この理由は、1952年観測業務規定が改正され、記録全振幅10mm以下の記録については振幅の検出が不要とされたためと考えられる。

このことは、全国から報告される検出値の総数と、振幅の読みとりを持つ検出値の数、及びその割合の変化からも理解できる (Fig.1)。すなわち大正末期から昭和初期にかけて、中央気象台の地震観測網が整備されると共に検出値の数も年々増加し、1930年代初めには3万件を超えるようになる。しかしその後は、検出値の総数には消長があるものの、振幅の読みとりのある検出値の数は戦前、戦後の期間に向けて漸減する。1950年代に入り、機械式1倍強震計や普通地震計の展開など、観測網の復旧により検出値の総数は再び増加に転じているが、振幅つきの検出値については1950年代が全期間を通じて最低となっており、上記検出基準の改正が大きな影響を与えたことが分かる。

1952年に改正された検出基準は、その後1965年になって再度改正され、検出の対象とする地震記象に全振幅1mmという下限が設けられるいっぽう、すべての検出値には振幅の読みとりが原則として含まれるようになったため、 M の与えられていない地震は劇的に減少した。なお Fig.18 による1970年代後半以降の M が決まらない地震の大半は、速度振幅による M 決定式が適用できない深さ60km以上の小地震である。

以上から気象庁地震カタログを用いる場合、 M の決

まっている地震を対象とする場合、1950 年代が一番の弱点になっていることが分かる。長期間の地震活動変化を議論する場合には、絶えずこの点に注意する必要がある。

これまでの調査により、気象庁本庁に調査原簿が保存されている 1923 年 8 月以降の地震カタログの整備、改善が行われ、1923 年から 1960 年の期間のうち、1943 年までの期間について新たな地震カタログが完成し、1944 年から 1950 年の期間についても作業が進んでいるが、第二次大戦前後の期間は、多くの観測点が直接間接の戦争の影響で観測の中止や中断を余儀なくされている。その影響は、戦争末期の 1945 年から 1946 年 12 月の南海地震発生までの期間が著しい。この時期については、調査原簿の記載が不完全であることから、地震カタログの改善には、観測原簿など残された資料の悉皆調査により資料を補い、地震検知能力の低下の影響を最小限にする努力も必要である。

7.2 1923 年以前の地震カタログの整備

1923 年 7 月以前については、関東地震により資料が焼失しており、同様な方法で地震カタログを整備するには、各官署の観測原簿から、検測値を再収集する必要がある。このような状況について宇津(1979)は、「1925 年以前(明治・大正時代)の観測資料を再調査して震源事項を再調査することが望まれる。しかしこれは面倒な仕事である。将来一つの事業として観測された全地震の全資料を集めて組織的に再調査がなされることが期待されるが」と述べているが、残念ながら今日に至るまでほとんど実現していない。

また当時の観測網の状況を考えると、トリガー方式のグレー・ミルン・ユーイング普通地震計に代わり、P 波から記録が得られる不断観測(大森, 1905)の大森式地震計や各種簡単微動計が普及するのは、大正時代になってからである。S-P 時間を用いるにしても、震源計算による震源決定が可能な期間は、1923 年からたかだか数年程度遡るだけと考えられる。それ以前については、宇津(1979)のように震源を求めるには、震度分布その他の情報を総合的に利用するしかない。1885 年以降の地震について現在使われている宇津(1982b)のカタログには、M6 以上及び被害地震のみが掲載されており、年間あたりの地震数は 10~20 個に過ぎない。

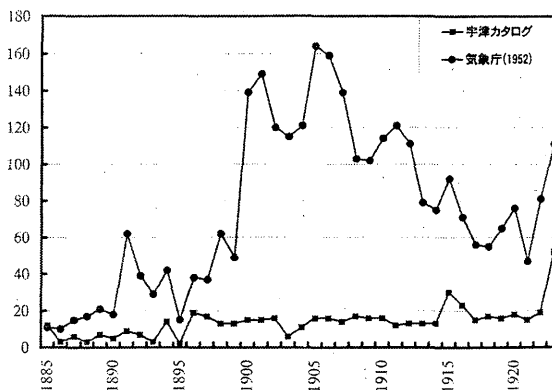


Fig.19 Yearly frequency of earthquakes reported by Utsu (1982) (solid squares) and CMO (1952) (solid circles) during the period from 1885 to 1923.

一方宇津(1982b)のカタログが作られるまで利用されてきた「日本付近における主な地震の規模表」中央气象台(1952)は、後で述べるように震源はともかく M の値が、今日の気象庁 M (M_j) と異なり、内容も均一でないことから、今日ほとんど利用されなくなっている。この地震表には、1885 年から 1923 年の間に 2930 個の地震が記載されている (Fig.19)。掲載されている地震数は 1900 年以前の初期を別にしても変動が大きく、地震検知能力、調査の方法が均一とは考えにくい。平均では年間 100 個程度の地震が記載されていることになる。これらの地震の震源は、地震年報、気象要覧に基づいており、カタログを延長する場合、暫定的にそのまま利用することも選択肢として考えられる。しかし、宇津(1982b)により改訂された地震について震源を比較すると、深発地震など震源が大きく移動するものもある。また地震表に記載されている地震の M は、有感半径を基にした河角式 M であり、宇津(1979)によれば坪井の式による気象庁 M に比べ有意に過大な値が与えられているばかりでなく、時期によりその差も変化している。さらに有感半径の定義も途中で変わっており、そのままでは規模の推定などには使えない。また時刻の誤りも結構見受けられる。以上の問題点を考慮すると、中央气象台(1952)を新たな地震カタログに暫定的にせよ利用することは妥当とは考えられず、最初から作り直す必要がある。

7.3 1960 年代以降の地震カタログの改善

今回の調査では 1923 年から 1964 年までの地震カタログの改善を行っている。しかし 1983 年までの地震月

報では、震源の深さを 10km, 20km きざみで与えてあるが、Fig.14 などが示すようにたとえ精度が低い場合でも地震活動の詳細を調査するためには、細かく表示する方が適切であり、1965 年以降少なくとも 1982 年までは震源の再計算が必要である。しかしこの期間中、1965 年に地震の検測基準が改正された際に、報告される検測値の数が顕著に減少し、気象庁観測網の地震検知能力の低下をもたらした。それまでは記録されたすべての地震が検測の対象になっていたが、1965 年以降、新たに記録全振幅 1mm 以降の地震だけを検測の対象にするように基準が改正されたためである。この一時的な検知能力の低下は、Fig.17 では 1965 年からの松代群発地震や、1968 年の十勝沖地震とその余震などの活動に隠れてあまり顕著ではないが、67 型磁気テープ記録式電磁地震計など高感度短周期地震計の展開が本格化する 1970 年代前半まで認められる。いっぽうこの時期には、大学の微小地震観測が始まり、各地の微小地震観測所から地震観測報告が発行されている。これらの高感度地震観測のデータを気象庁のデータと併合した処理は、Matu'ura et al.(1988a,1988b)など一部の地域や期間を別すればほとんど行われていない。出来るだけ均質な日本列島の地震カタログを整備するためには、これら微小地震観測点の資料の活用を進める必要がある。

8. まとめ

期間が長く精度が高く均質な内容を持つ地震カタログの整備は、地震に関する各種研究、調査の基盤になるものである。現実には観測点の配置や密度、地震計の感度、時刻精度などは、時代と共に大きく変化しており、震源検知能力や決定精度に関して完全に均質な地震カタログを作ることは不可能であるが、時々の観測網の能力に見合う品質を確保し、また最新の地震学の知見を地震カタログに反映させることは可能である。また地震カタログをうまく利用するためには、その時々の観測の背景など品質についての理解も求められる。

今回の調査では、地震記象紙から検測値が作成され、調査原簿にまとめられるまでの業務の形態についても考察を加え、また震源決定についても複数の方法を適用して反復し、最適な震源解を得られるように工夫した。その結果調査原簿が残されている 1923 年 8 月まで

時間を遡って地震カタログを延長することが可能になった。1926 年以降についても震源の見直しを進めることにより、当時の被害地震、群発地震活動について新たな特徴を見いだすことが可能になった。また古い地震記象紙を用いた過去の地震に関する調査が行われるようになった現在、すべての検測値と震源を計算機で再利用可能なデジタルデータとして整備したことは、今後の様々な研究調査を進める上でも大きな意義を持つと考えられる。

謝辞

地震カタログの整備改善は、検測データを計算機で利用出来る形式（電子媒体）に変換することから始まる。各時代の原簿に記載されている検測値の電子媒体化を 20 年位前から進めて来た。1960 年代のデータの電子媒体化については地震予知情報課データ処理係が主に担当した。1960 年以前のデータについては、主な被害地震の前後の期間については、気象研究所で実施してきた。しかしその他の大部分の期間については地震予知総合研究振興会の援助により実施した。このように地震カタログの整備は、気象庁内外の多くの方々の協力を得て初めて可能になったものである。

気象庁外では元地震予知総合研究振興会の相田勇氏、茅野一郎氏、寺島幸造氏、東京大学地震研究所の佃為成氏、静岡県庁の岩田孝仁氏、防災科学技術研究所の石田瑞穂氏には多大の協力を頂いた。国立天文台の田村良朗氏からは、水沢のデジタルの検測値の提供を受けた。京都大学阿武山地震観測所元研修員の山崎純一氏からは、長年に亘るウィーヘルト地震計記象紙の読みとり結果を提供して頂いた。また気象庁では火山課の山本雅博、地震津波監視課の竹内新、仙台管区気象台の草野富二雄、軽井沢測候所の斉藤進、地磁気観測所の吉田明夫、気象研究所の石川有三の各技官を初めデータ処理係、その他の地方官署の職員から多大の協力を得た。また古い地震資料については気象庁OBの津村建四朗、故勝又護の両氏初め先輩方から様々な助言を得た。これらの方々ならびに実際のデータの打ち込みに携わった非常勤職員の方々に感謝します。

Appendix 1 検測資料

1 地震調査原簿

地震調査原簿は、古くは全国地震調査原稿とも呼ばれ、全国の地震観測結果を時間順に整理記入したもので、気象要覧の地震に関する記事、地震月報作成のための基礎資料となるなど、各種の調査に利用されてきた。原簿は 1960 年以前は全部手書きで、1961 年以降は電子計算機処理により作成されている。気象庁(1982)による地震カタログは、この地震調査原簿を基に作成された。地震調査原簿は、1923 年関東地震による火災のため、1904 年から 1923 年 7 月までの資料が全部失われている。また一番古い 1923 年 8 月の原簿は、関東地震の後に作成されたと見られるが、地震直後の混乱のためか、観測データが存在するにも拘わらず、調査原簿から抜け落ちていく観測点が多い。

またその後の災害により 1936 年の約 5 ヶ月分、1938 年 4 ヶ月分の原簿も失われており、これについては 1960 年代になって改めて各官署からの報告を基に作り直されているが、観測点の洩れが多い。さらに第二次世界大戦前後の期間については、観測を休止した官署が多いばかりでなく、全国からの資料の集計作業が不完全であることも明らかになっている。後述するようにそれ以外の時期についても、記入ミス、記入漏れなどが見受けられ、全国の地震結果をまとめた資料として決して完璧な資料ではない。なお 1960 年以前の地震調査原簿はすべてマイクロフィルム化されている。

2 地震観測原簿

各官署での地震観測の結果は、地震観測表にまとめられ、中央気象台に報告されるとともに、地震観測原簿として各官署に保管されてきた。しかし戦災その他の理由により、今日地震観測原簿が失われた官署も多く、調査原簿に転記された観測値しか残っていない観測点も多い。地震観測原簿は、1960 年代にマイクロフィルム化されたが、一部の官署の明治大正時代の資料についてはマイクロフィルム化されていない(宇津, 1982a)。また沖縄気象台管内については、後の 1990 年代になってマイクロフィルムが作成されている。

3 印刷物

1939 年に全国の測候所が国営に移管されるまでは、

多くの測候所は県営測候所として観測業務を行っており、観測結果の印刷物などへの公表も統一された様式はなく、それぞれ独自の方針で行われていた。印刷物の質も様々であり、ガリ版刷の資料もある。地震観測の結果は、気象観測の結果とともに、これら測候所別の気象年報や気象月報などの印刷物に様々な形で含まれている。内容は、1923 年関東地震以前は有感地震に関する記事が主なもので、地震計による検測値まで記載している測候所は、非常に数が少ない。しかし 1923 年関東地震以降、地震観測網の整備が行われるとともに、地震計による検測値がこれら印刷物の中に記載される例が増加した。しかしこれらの印刷物の多くは、測候所の国営移管を機に多くは廃刊、変更され、1939 年以降は地震の検測値を記載した印刷物は、中央気象台が発行している地震年報や気象要覧のみとなっている。Table 1 に、気象庁の図書資料管理室に保管されている報告物の内、1922 年以降の各測候所発行の報告物の中で、地震の検測値を記載した刊行物名、記載されていた期間の一覧を示す。Table 1 に示した報告は、すべてではなく、その他にも同様の報告物が存在するものと推定される。台湾や朝鮮半島、パラオなどの観測点の地震報告も発行されており、特に朝鮮半島については、1915 年から 1939 年までのすべての検測値が印刷されている。前述のように検測値の記載内容、形式などは各測候所ごとに異なっており同一ではない。

官署や時期によっては、気象年報の別冊として或いは独立した印刷物として地震観測表を刊行した例もある(熊谷、横浜、銚子、熊谷、沼津、新潟、富山、名古屋、大阪(府立)、神戸、高知、福岡、長崎、宮崎など)。しかしこれらのケースは少数であり、大部分の測候所では気象月報や年報の中に気象観測結果などといったように記載されている。記載の詳しさも測候所ごとに異なっており、府立大阪測候所の例のように、観測原簿に記載した内容を後続相も含めほぼ全部記載してある場合もあるが、大部分の場合、相名を省略し、初動、初期微動継続時間を中心に記載している例が多い。簡単な場合では、和歌山や盛岡、熊本のように有感地震や主な地震の検測値に限定して記載した例もある。また神戸、大阪、名古屋、沼津などでは英文で出版されており、時間も日本標準時(JST)でなくグリニッジ標準時(GMT)で記載されている場合もある。これらの地震観測表には、地震計の常数もしばしば記載さ

れており、当時用いられた地震計の特性を知ることができる。

調査原簿の記載内容の確認のため、あるいは観測原簿が失われている官署については、これらの印刷された資料は貴重な補足資料となっている。

4 中央気象台・気象庁以外の機関の資料や臨時観測結果

1945年以前は、地震観測における気象官署の役割は、今日に比べ圧倒的に大きかった。戦前、気象官署以外で地震観測が行われていた観測点は、水沢の緯度観測所、東北帝国大学の向山観測所、東京帝国大学地震研究所による観測点（本郷、駒場、三鷹、筑波、鎌倉、三崎、清澄、秩父、東金、佐倉、小山（駿河小山）、吉原）や伊豆下田にあった三井地球物理研究所（須崎）、京都帝国大学の下賀茂、阿武山、別府、阿蘇などに限られる。また今村明恒が南海地震に備えて、1928年以降紀伊半島に展開した私設の地震観測所の記録は、現在東京大学地震研究所に保管されている（菊地他、2002）。

これらの中で、水沢の観測結果は初めから中央気象台に報告され調査原簿に記載されている。地震研究所による観測結果は、東京帝国大学地震研究所（1934,1935）などにより整理公表されている。須崎については、観測報告が発行されている他、地震研究所の観測報告にも掲載されている。

その他の観測点については、一部の地震記象紙が保管されている以外に、検測値など直ちに利用できる形での整理は行われていない。これらの観測点の資料を利用するためには、記象紙から直接検測を行う必要がある。それらの中で最近山崎(2001)及び山崎・許斐(2001)は、1929年以降の長期間の阿武山の記象紙を検測した結果に基づき、近畿地方の地震活動の変化を調査している。今回の調査では労力的な制約から、地震研究所関係の資料および山崎純一氏から提供を受けた阿武山の検測値（S-P時間）の観測結果のみを活用している。

これら定常観測以外に、大地震の余震観測、群発地震の臨時観測結果が論文や報告物に記載されている例もある。例えば1927年北丹後地震、1930年の伊東の群発地震などについては、那須(1929a, 1929b)、Nasu et al.(1930)などによる観測報告に、臨時観測の検測値が

記載されており利用することが可能である。地震課技術係・新島測候所(1958)には、1957年新島付近の群発地震についての検測値が記載されている。これら気象台・測候所以外の観測資料の活用は、検知能力や震源精度の改善に役立つであろう、地震カタログに地域的、時期的な検知能力に偏りをもたらす恐れがある。しかし、当時の気象台、測候所の観測網自体地域的な偏りが大きく、部外の資料を利用した場合でも状況が大きく変わる訳ではない。残された資料を最大限活用し、地震活動を出来るだけ詳しく再現することの方が、利点が大きいと考えられる。

Appendix 2 地震検測作業に関する問題

1 観測者の意識

検測作業を行う際の観測者の関心は、時期や観測設備によって違いがあり、今日まで終始一貫した方針で実施されてきた訳ではない。Table2に、1920年代、1930年代の地震観測報告に掲載されていたおもな検測項目を示す。CやLなど定義も曖昧で検測はしてもほとんど活用されなかった検測項目もあるいっぽう、逆に地震の規模を推定するに重要な振幅など、時代によっては検測が軽視されてきた要素もある。また県営測候所が多かったため、職員の技術レベルも今日ほどには一様でなかったと考えられる。

まず当時の検測内容を見ると、全体として近地地震よりも遠地地震の観測が重視されていたことが分かる。一部の観測点では、depth phase の他 PP、ScS などの反射相などの後続相が多く記載されている。当時は地球内部構造の解明が進んだ時期であり、それらの観測点では、職員のこれら後続相に対する関心が高く、地球内部構造や、後続相に関する知識が今日の職員に比べても豊富だったことが窺われる。また地殻内を伝わる直達P波（Pg、当時の表現ではP*）と地殻、マントル境界（モホ面）を伝搬する屈折波（Pn、当時の表現ではPの上に-）を区別して検測していた観測点も多い。地殻構造に関する知識や、各観測点に中央気象台から還元される震源に関する情報の精度にも限界がある中で、このような区別をすることの意義については、疑問もあるが、当時の地震学の知識、関心の方向をそれなりに反映した作業が行われていたことが分かる。

2 検測項目（初期微動継続時間と L 相, M 相, C 相, F 相）

観測原簿や印刷された観測表の多くに, P 相, S 相以外に L 相の記載がある。P 波, S 波はそれぞれ第一種初期微動, 第二種初期微動とも呼ばれていた。L 相は, 周期の長い大振幅の相を意味するが, 観測点により P, S あるいは P, L あるいは P, S, L の組み合わせで検測が行われており, 一様ではない。また初期微動継続時間として, S-P を記載してある場合と L-P を記載している場合があり, 今日の震源計算に用いる S 相がどれに相当するのか, 判断に困る場合も多い。M 相は最大振幅波の到達を表し, 最大振幅とともに検測されている。

多くの観測点で, S 相の検測がなく L 相の検測がある場合には, 初期微動継続時間が L 相までの時間になっており, L 相を今日の S 相と同等に扱うことができる。しかし S 相, L 相の両方の記載がある場合の取り扱い, 観測点によりまた地震により違っていたと考えられる。遠地地震の場合は, S 相と L 相の時間差が大きく, L 相は表面波の到達を意味している。しかし, 近地地震の場合には, 実際に震源計算を行ってみると, L 相が S 相の走時に乗る場合も多い。宮崎などの例では, 日向灘の地震については S 相よりも L 相が S 相の走時に合う場合が多い。S 相の前に現れる SP 変換波を S 相と検測していた可能性が考えられる。さらに通常は S, L の両方の相が検測されているにも拘わらず, 余震など地震が多発すると, L 相の検測が省略され S 相だけになり, S 相を震源計算に使うことが妥当かどうか疑問が出てくる場合もある。このように L 相の取り扱いは, 実際に震源計算を行いながら検討していく必要がある。また M 相は, 極近地地震で規模が小さく初動が読めない場合には, S 相とほぼ一致し S 相として取り扱える場合がある。このように相の取り方は, 観測点により異なっており, 観測点の事情を考慮した取り扱いが必要となる。

C 相は, 終期微動の中での顕著な相という意味と考えられ, 地震観測報告に図解の説明が掲載されている場合もあるが, 定義のはっきりしない相である。

F 相は地震動が認められなくなる時刻を意味することから, 今日の震動継続時間に対応する。

各観測点の観測原簿には上記の検測項目が克明に記載され, そのまま中央気象台に報告されていたが, 調

査原簿には, 各測候所からの観測表から検測値を転記する際に, 大幅な省略が行われている。1950 年代の途中までは, 原則として相名は省略され数値だけが記載されている。このため, IP, EP, P など立ち上がりの明瞭度の区別が出来ないばかりでなく, 初期微動継続時間の記載がなく時刻だけが記載してある場合, それが P 相であるか S 相であるかの区別がつかない。また初期微動継続時間が記入されている場合でも, S 相, L 相の区別がつかない場合が大部分であり, L 相, C 相のほとんどは記載されなかった。このようにせっかく検測したにも拘わらず, 何ら利用されずに終わった項目も多い。

3 読みとり精度

1920 年代頃からの地震観測には, クロノメーターや電気式の振り子時計が用いられ, 時計の日差は数秒程度はあった。また地震計の倍率も低く, 記録ドラムの回転ムラや遊びも大きく, 記録速度も 1cm/分から 3cm/分と遅かったことから, 秒単位の精度の確保は難しかったことが分かる。

当時のドラム記録は, 大森地震計のように 1 成分の記録, 単微動計のように 2 成分を同時に記録する場合, 強震計のように 3 成分を同じ記象紙に書かせる場合と様々な場合がある。時刻の信号も地動とは独立した刻時専用の描針により記録される場合と, 電磁石により描針を記録から浮かせてタイムマークとする方式が採られている場合がある。このような状況では, たとえ時計が同一で誤差が少ない場合でも, 機械的な誤差や狂いにより, P や S の到達時間の読みとりは, 成分や地震計の間で一致しない場合が多くなる。今日では P の発現時の読みとりには, 立ち上がり明瞭な上下動成分を用いるのが原則であるが, 当時は単微動計のように水平動だけの地震計が多く, P の発現時も主として水平動成分から読みとられていた。このような状況のもとで, 観測原簿を見ると P や S の発現時は, 成分ごとに, また地震計の種類ごとに検測される場合がしばしば認められる。しかし調査原簿に記入される値は一つしかない場合がほとんどで, どのような基準で検測値が選択されたのか今日となっては不明な点が多い。中には水平 2 成分の発現時を平均して記載された場合もある。

発現時の読みとりの単位については, 1920 年代から

1930年代にかけては、秒までの観測点が多い。1923年関東地震当時の検測値の大部分は秒単位である。1920年代後半には0.1秒まで報告している観測点が多くなるが、水沢など1937年になって変わった観測点もある。ほとんどの観測点で0.1秒単位の読みとりが行われるようになったのは、1930年代後半になってからと考えられる。また一部の観測点では、秒を分の小数として0.1分単位で報告している場合が見いだされる。これらの場合は読みとりの最小単位は6秒となる。しかし調査原簿の記述では、最小単位が0.1秒であったか1秒であったか明確でない場合も多い。また0.1分単位の報告を間違えてそのまま分、秒に分けて記入した誤りも認められる。

4 振幅の読みとり

初期の地震観測では、振幅の読みとりは、各相の発現時の読みとりに比べ比重が軽かったことが推定される。これはマグニチュードなど、地震の規模を観測された振幅から推定する方法が確立されるまでは、振幅の読みとりに関するはっきりとした必要性、目的意識が存在しなかったことによるものと考えられる。1923年関東地震前後の調査原簿を見ると、大部分の観測点からは水平動1成分、振幅の大きい方の成分の値が記載されているだけである。2成分の読みとりがほとんどの官署で行われるようになったのは、1927年頃からである (Fig.1)。しかし観測原簿と調査原簿の厳密な照合をしていないので量は不明であるが、1927年前後の期間では、振幅の記載の省略がところどころに認められる。甚だしい場合、一定の期間 (10日前後) ほとんど記載が途絶える場合もある。また地震が多い時期にもまとまって省略される傾向があり、調査原簿への振幅の記載が、記入を担当する担当者の裁量に委ねられていたことを示唆している。振幅の読みとり値の有無は、マグニチュードの決定に直接関わるので、調査原簿への記入が省略されたことが判明している場合には、その他の資料で補うことが必要になる。振幅データは1940年代に入ると逆に減少し、1950年代にはマグニチュードの決定にも支障を来すようになる。第2次世界大戦前後の混乱期にあたり、検測しても利用目的がはっきりしていなかったことが影響したものであろう。

Appendix 3 資料の電子媒体化と編集

1 検測値の電子媒体化

気象庁の地震カタログは、早くから電子媒体で利用可能なファイルが作られているが、検測値については、地震観測データの処理が電子計算機を用いて行われるようになった1961年以降の部分が作成されたにすぎず、特に1961年から1970年までの検測値は紙カードにパンチされていたため、その後廃棄された部分も多く、また途中でフォーマットの変更等もあり、印刷物だけが残っている部分が多い。1971年以降については、磁気テープやその他の電子媒体にすべての検測値がコピーされ保存されている。気象庁(1982)により1926年から1960年までの地震についての震源の調査が行われた際には、使用した検測値は紙カードに穿孔されたが、カードは使用後すべて廃棄され、印刷された結果だけが地震予知情報課に保管されている。また調査に利用された観測点は、調査原簿に記載された観測点のうち、震央距離の短い一部の観測点に限られていた。

地震カタログの改善には、これら検測値の電子媒体化は、必須である。また研究者が地震に関する色々な調査研究を進める上でも、検測値は多くの場合必要であり、資料の有効利用、公開を進めるためにも不可欠である。岩田・浜田 (1986)、浜田(1987)、浜田他(2001)などは、過去の地震の震源再決定を行うために、調査原簿の検測値の電子媒体化を進めたが、調査原簿が保存されている1923年8月以降1960年までの期間の内、延べ約2割の期間の電子媒体化が完了するに留まっていた。このため残された期間については、主として地震予知総合研究振興会の協力のもとに、検測値のデジタルファイル化を進め、すでに1923年から1960年までの期間の98%の期間のファイル化が終了している。Fig.1に電子ファイル化した部分の検測値の総数の変遷を示した。

2 検測値の点検と整理

前述のように、調査原簿の記載内容は完全なものではなく、観測資料を整理する過程で色々な省略が行われ、誤りも混入している。現存する資料の網羅的で完全な照合は、労力的にも短時間には困難であり、今回の調査では、調査原簿からデジタル化した検測値を基に、震源の再決定を行う過程で、震源決定の必要性

に応じ、観測原簿、各種印刷物など資料の照合や補足を行った。誤りの多くは、調査原簿への記入と、デジタル化の入力の際に起きている。手書きの調査原簿は必ずしも読みやすくない、観測点名の誤りが起きやすい。長崎と長野、福岡と福島、宮崎と宮津、宮崎と富崎、熊本と熊谷、松本と松山、広島と鹿児島など似た漢字名の混同は、調査原簿への記入時及びデジタル化の段階の両方の過程で起き得る。また調査原簿へは、宇和島を松山、伊東を沼津、追分を長野、富山を伏木、高山を岐阜など観測点名に当時の親官署の観測点名で記入されている場合も認められる。時間の記入の間違ひは、分の間違ひ、時の間違ひ、日付や月の間違ひまで色々な場合がある。ドラムの記録紙からタイムマークを数えて時間を読みとる過程で、時分を間違える誤りは結構あり、検測段階での時分の誤りは2%から5%程度と見積もられる。分を読み間違えた検測値は、1970年代初めになっても認められる。検測値を相互に比較し出来るだけ修正を試みたが、一つの観測点の検測値が、他の観測点の検測値と対応がなく、時間的に孤立している場合の多くは、このような誤りを含んでいると推定される。

3 委託気象観測所(区内)の有感資料の扱い

調査原簿には、気象観測を委託していた区内観測所からの有感地震の報告も記載されている。ただし戦時中の一部の期間などには、まったく記載がなく、省略されていた時期もある。記載内容は気象要覧の有感地震の記事と対応しており、調査原簿から気象要覧の記事が作成されたことが分かる。区内観測点の有感資料については津村(1998)、三浪(2000)などによりデータベース化が試みられているが、期間が限られ、すべての地震を網羅したものではない。気象庁においても、気象官署の有感地震のデータベース化は行われているが(石垣・高木, 2000 など)、区内観測点の資料の整理は期待の割には進んでいない。今回の調査の目的は、あくまで地震カタログの改善であるが、最終的には、震源、検測値、有感資料のすべてを網羅した、総合的な地震データベース作りが望ましい。1960年以前は年間の震源決定数は数百個のオーダーであり、有感地震の多くは震源が決められていない。震源が決まるとしても当時の決定精度を考えると、区内有感の報告は、地震活動を評価する上で重要な情報になる。例えば和

歌山県龍神村では、2001年頃から有感地震を含む小規模な群発地震活動が続いているが、1920年代、1930年代の調査原簿には、龍神村のみ有感の地震の記載がところどころ見いだされ、今回の群発地震のような現象が過去にも繰り返していたことが推測される。このようなことから、総合的な地震データベース作りの第一歩として、有感地震の時間や総数が分かるように、検測値がない有感地震については、区内観測点の資料を追加した。区内観測点は観測点リストが作成されていないこと、震度を気象官署の震度とは区別できるようにするための最小限の記述として、最寄りの測候所の付近有感(符号X)として扱うことにして検測値ファイルに追加した。区内観測点の資料は、時刻が正確とは限らず、他の観測点の地震との時刻の対応が明確でない場合が多い。地震が少ない地域では、震度の値が気象官署の値よりも大きめに報告されているのではないかという疑問もある。また複数の地震が発生したと解釈すべきか、一つの地震と解釈すべきか判然としない記載もある。さらには、地鳴りだけ(震度0)なのか有感だったのか区別がつかない例も多くあり、資料としては多くの曖昧さを含んでいる。今日計測震度計による震度の観測点が日本全体で3000点を超え、従来の区内観測点よりはるかに充実した震度観測が実現しているが、長期間に亘る有感地震資料の有効活用を考えると、曖昧な資料も整理しておく意義があると考えられる。このようにして整理した区内観測点の有感地震資料は、例えば1944年東南海、1946年南海地震発生以前の紀伊半島周辺の地震活動の変遷がどのようであったかなどを網羅的にさぐる手がかりとして活用できる。将来的には、すべての区内観測点座標のリストを整備し観測点、震度等を置き換えるべきであろう。

参考文献

- 石川有三(1987) 気象庁震源データの変遷とその問題点、験震時報、**51**、47-56。
- 石垣祐三・高木朗充(2000) 気象庁震度データベースの整備活用例について、験震時報、**63**、75-92。
- 岩田孝仁・浜田信生(1986) 1944年東南海地震前後の地震活動、地震2、**39**、621-634。
- 植木貞人、浜口博、森田裕一、西村太志(1990)、1930年と1989年伊東群発地震の比較、地震学会秋期大会講演予稿集、122

- 上野寛・畠山信一・明田川保・舟崎淳・浜田信生(2002) 気象庁の震源決定方法の改善-浅部速度構造と重み関数の改良-, 験震時報, **65**, 123-134.
- 宇佐美龍夫(2003) 日本被害地震総覧 [最新版 416-2001], 東京大学出版会, 605pp.
- 宇津徳治(1979) 1885年~1980年の日本の地震活動, 震研彙報, **54**, 253-308.
- 宇津徳治(1982a) 1885年~1925年の日本の地震活動 (訂正と補遺), 震研彙報, **57**, 111-117.
- 宇津徳治(1982b) 日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表: 1885年-1980年, 震研彙報, **57**, 401-463.
- 宇津徳治(1982c) 各種マグニチュード間の関係, 震研彙報, **57**, 465-497.
- 宇津徳治(1999) 地震活動総説, 東京大学出版会, pp876.
- 大森房吉 (1905): 地震験測法一斑, 震災予防調査会報告, **50**, 1-100.
- 勝又護(1964) 深い地震の Magnitude を決める一方法について, 地震2, **17**, 158-165.
- 菊地正幸、島崎邦彦、鷹野澄、山中佳子、野口和子(2002) 地震研究所の煤書き記録の整理と利用環境の整備、地震学会秋季大会講演予稿集、A03
- 気象庁(1958) 日本付近の主要地震の表(1926年~1956年), 地震月報別冊, No1
- 気象庁(1966) 日本付近の主要地震の表(1957年~1962年), 地震月報別冊, No2
- 気象庁(1982) 改訂日本付近の主要地震の表(1926年~1960年), 地震月報別冊, No6
- 気象庁(2001)平成6年(1994年)三陸はるか沖地震の概要, 験震時報, **64**, 23-166.
- 佐藤良輔、阿部勝征、岡田義光、島崎邦彦、鈴木保典 (1989)日本の地震断層パラメーター・ハンドブック、鹿島出版会、pp390
- 地震課技術係・新島測候所(1958)昭和32年(1957)11月伊豆新島の群発地震について, 験震時報, **23**, No1, 15-35.
- 渋谷拓郎、中尾節郎、西田良平、竹内文郎、渡辺邦彦、梅田康宏 (2001) 鳥取県西部地震 (2000年10月6日、 $M_j=7.3$) に先行して発生した1989年、1990年および1997年の群発的地震活動、地震予知連絡会会報, **65**, 576-577.
- 武村雅之(1994) 1923年関東地震の本震直後の余震活動-岐阜測候所の今村式二倍強震計記録の解析, 地震2, **50**, 377-396.
- 中央气象台 (1915) 地震観測法 (初版), pp86.
- 中央气象台 (1952) 日本付近におけるおもな地震の規模表, 地震観測指針 12.
- 坪井忠二(1954) 地震動の最大震幅から地震の規模Mを決めることについて, 地震2, **7**, 185-193.
- 津村建四朗(1998) 明治時代の地震資料のデータベース化に関する研究、平成7年度~平成9年度科学研究費補助金研究成果報告書
東京帝国大学地震研究所 (1934,1935) 地震観測報告 (1924-1934)
- 那須信治(1929a) 丹後地震の余震観測調査報告 (第一報), 震研彙報, **6**, 245-331.
- 那須信治(1929b) 丹後地震の余震観測調査報告 (第二報), 震研彙報, **7**, 133-152.
- 浜田信生・吉田明夫・橋本春次 (1983) 気象庁震源計算プログラムの改良 (1980年伊豆半島東方沖の地震活動と松代群発地震の震源分布の再調査), 験震時報, **48**, 35-55.
- 浜田信生(1984) 近地地震用走時表の再検討, 気象研究所研究報告, **35**, 109-167.
- 浜田信生(1987) 日本列島の内陸部に発生した被害地震に伴う地震活動の再調査とその地震学的意義, 気象研究所研究報告, **38**, 77-156.
- 浜田信生(1990) 地震月報別冊6号震源カタログの部分修正について, 地震2, **43**, 307-310.
- 浜田信生・吉川一光・西脇誠・阿部正雄・草野富二雄 (2001) 1923年関東地震の余震活動の総合的調査, 地震2, **54**, 251-265.
- 浜松音蔵 (1981) 地震観測史, 地震2, 34 特別号, 73-92.
- 三浪俊夫(2000) 気象要覧地震記事要約集第3.5版、福岡教育大学地学教室
- 保田柱二・小平孝雄(1938) 東京地震観測 (明治5年9月-大正12年12月), 震災予防評議会, 107pp
- 山崎純一(2001) 阿武山観測所のウィーヘルト地震計による観測とその成果, 地震2, **53**, 303-321.
- 山崎純一・許斐直(2001) 丹波地方の地震活動と周辺地域の大地震との関連について, 京都大学防災研究所年報, **44**, B-1, 251-262.
- 渡辺晃・黒磯章夫(1970) 岐阜県中部地震-1969年9

- 月 9 日 - の余震について, 震研彙報, **48**, 1195-1208.
- Abe, K.(1981) Magnitude of large shallow earthquakes from 1904 to 1980, Phys. Earth Planet. Interiors, **27**, 194-205.
- Eaton, J.P., M.E. O'Neill and J.N. Murdock (1970) Aftershocks of the 1966 Parkfield-Cholame, California, earthquake: A detailed study, Bull. Seismo. Soc. Am., **60**, 1151-1197.
- Engdahl, E.R. and A. Villasenor (2002) Global seismicity: 1900-1999, International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Part A, Academic Press, 665-690.
- Ishida, M.(1992) Geometry and relative motion of the Philippine Sea Plate and Pacific Plate beneath the Kanto-Tokai district, Japan, J.Geophys.Res., **97**, B1, 489-513.
- Katsumata, A.(1999) Attenuation function of displacement amplitude for magnitude calculation, Papers. Meteor. and Geophys., **50**, No1, 1-14.
- Matsu'ura R. S., I. Karakama and K. Tsumura (1988a) List of earthquake in the Kanto area and its vicinity, Part 1, Earthquake Research Institute, pp578
- Matsu'ura R. S., I. Karakama and K. Tsumura (1988b) List of earthquake in the Kanto area and its vicinity, Part2, Earthquake Research Institute, pp562
- Nasu, N., F. Kishinoue and K. Kodaira (1930) Recent seismic activity in the Idu peninsula, Bull. Earthq. Res. Inst., **9**, 22-35.
- Nasu, N. (1935) Supplementary Study on the Stereometrical Distribution of the After-shocks of the Great Tango Earthquake of 1927., Bull. Earthq. Res. Inst., **13**, 335-399.
- Okada, Y. and E. Yamamoto(1991) Dyke intrusion model for the 1989 seismovolcanic activity off Ito, Central Japan, J. Geophys. Res., **96**, B5, 10361-10376.
- Yoshida, A. and N. Hamada (1991), Redetermination of hypocenters of foreshocks, Main shock and aftershocks of the Kita-Izu earthquake and the Ito earthquake swarm of 1930, J. Phys. Earth, **39**, 329-344.
- Wadati, K., K. Sagisaka and K. Masuda(1933) On the Travel time of earthquakes(Part 1). Geophys. Mag., **7**, 87-99.