

防災研究所における地震活動の研究:

定常観測の理念と活断層研究への貢献

佃 為成 (1973-1985 京大防災研)

地震の研究において予知研究を進める機運が高まり、即戦力としての微小地震が脚光を浴びた時代の研究を振り返り、微小地震観測を中心に据えながら試みられた様々な研究の骨子をレビューする。とくにその研究戦略の根本思想に焦点をあて、京都大学地球物理の伝統の継承の重要性を後輩諸氏に訴える。

1. 兵庫県を中心にした地域のサイスミシティの研究

防災研究所の微小地震研究は、1964年に鳥取微小地震観測所が設置されたことを契機に定常観測点が順次建設されていった。1964年8月には3観測点、1965年6月までに鳥取県と兵庫県に5観測点が設置された。この時代は、民家にドラム式ペン書きレコーダーを預け、記録紙の交換を委託する現地委託観測であった。

震源の決定は最初はS-P時間による図式解法によったが、1969年頃には、和達ダイアグラムを用いて5点のP時刻とS-P時間のデータから地震発生時刻をまず求め、P時刻データに最小自乗法を適用して高精度の震源データが得られるようになった。

活断層を表す線状配列の震源分布が明瞭になり、地殻内の微小地震は20kmより浅い領域に発生していることが確認された。当時、鳥取観測所の微小地震の震源分布の研究は先頭を走っていた。京都大学の成果に刺激されて、東北大学でも以前のS-P時間による震源決定を転換し精密な震源分布が得られるようになり、東北地方でも微小地震は上部地殻に分布することが確認された。

防災研究所では、1970年に北陸微小地震観測所が設置され、滋賀県から福井県、石川県にかけての観測網が建設され、1948年福井地震の余震活動特性や地下構造と地震分布との関係などの研究が進められた。また、岐阜県の上宝地殻変動観測所でも跡津川断層一帯に微小地震観測網が設置され、跡津川断層とその周辺の活断層や1858年飛越地震の余震活動の研究が行われた。

初期の頃の微小地震定常観測の成果は、震源分布に関するもので、その中でも、分布のパターンと活断層のトレースとの対応に注目が集まった。発震機構の解析も進められ地殻内の応力分布と活断層の関係が明らかになった。また、地震波形の研究も行われ、例えば、ペン書き記録の中から、地殻内反射波が鳥取市直下で発見された。これは紀伊半島直下に次ぐもので、その後日本各地で見いだされていった。

鳥取観測所の観測網は基本の5点の観測点に加えて、山崎断層一帯の臨時観測点が設置されたり、鳥取県地域では、倉吉や鹿野、多里に、さらに岡山県にも久米観測点を増設した。

2. 定常観測の考え方とデータベース化

1973年、防災研究所に微小地震部門が設置され、微小地震観測研究の司令塔となった。それに伴い、これまでの微小地震研究の見直しが行われた。

微小地震の空間分布の次の仕事は時間分布である。鳥取観測所の観測データは蓄積されていったが、5点の観測データがそろわなければ震源データに登録されない、すなわち時間的なデータに漏れが生じる欠点があった。これを解決し、さらにデータ処理を簡素化する目的で、1974年に古い読

みとりデータまで遡ってデータを編纂し直し、基準となる3観測点（三日月、大屋、泉）で検出されたすべての地震について震源決定処理が行われた。その際、マグニチュード決定もF-P時間による方法に切り替えた。

さらに、読みとりデータ、震源データは磁気テープに収録され、XYプロッタに震源分布や時間分布を表現する手法を用いた研究が盛んになった。

このとき示された指導原理が、地震活動の安定した時空間分布を得ることであった。そのために、思い切ったデータ処理の簡素化を断行した。そして、データベース（磁気テープ上のファイル）が構築され、地震と気象現象、地球潮汐などの諸現象との相関を研究する土台もできた。

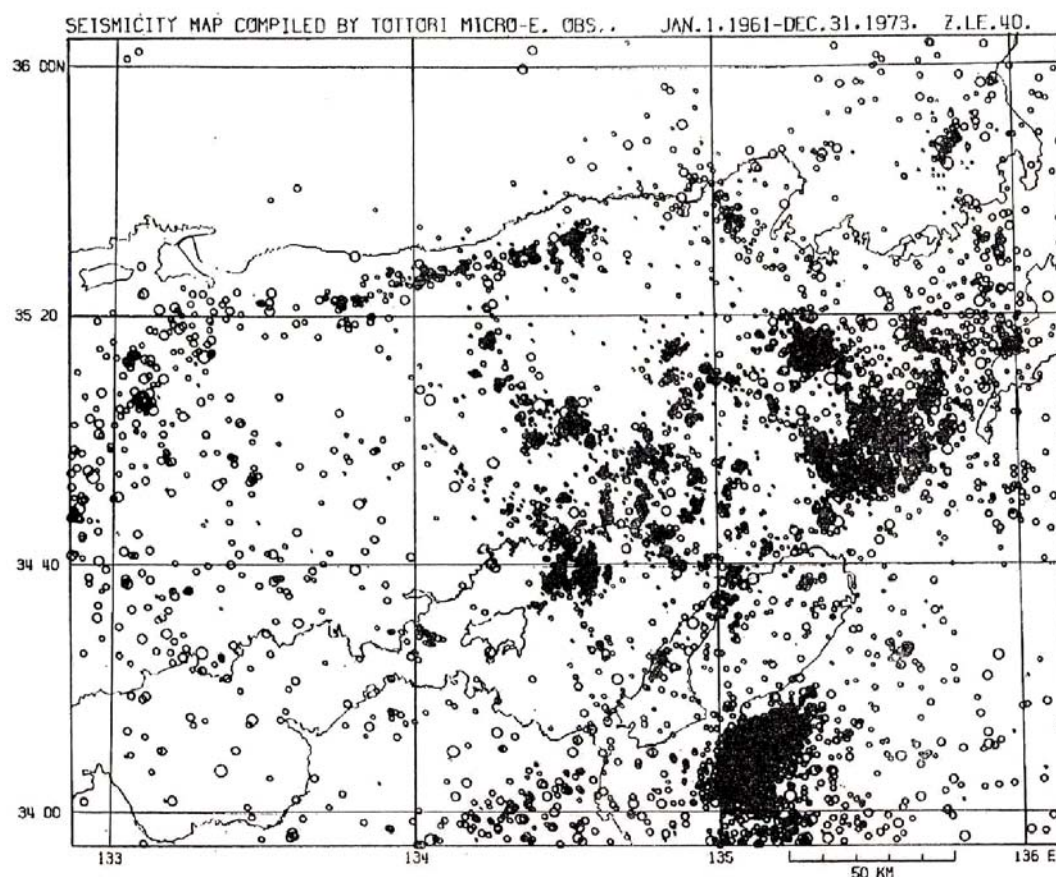


図 鳥取微小地震観測所の三日月、大屋、泉観測点で決定した震源の震央分布（尾池、1975）。

3. テレメータ観測と自動処理

委託観測からテレメータ観測への転換が1976年から始まった。それまで、現地の紙の記録を郵送してもらって、だいぶ時間が経ってから読みとりと計算処理を行っていたが、データがリアルタイムで観測所に届くようになった。

手間の面と精度の面で著しい進歩は、時刻データの高精度化である。以前は、水晶時計の信号にラジオの時報を重ねて記録し、時計に基づく読みとり時刻を各観測点で更正した。テレメータの利点は1つの時計で済むことである。

テレメータ装置とともにミニコンピュータも導入され、以前は読みとりデータをカードにパンチしてそのデータを計算機センターへ持ち込んで結果を得ていたのが、テレメータ集録装置を置く観測所でXYディジタイザを用いて波形を読みとり、直ちに震源計算、結果はファイルに収録されるようになり、データ処理能率が格段に向上した。

さらに、1984 年頃から自動読みとりの実験も始まった。ミニコンピュータシステムもこの頃になるとディスプレイ端末スクリーンエディタを用いて、ソフトウェアの開発やデータ管理が容易になった。ただ、これは実験装置であり、自動読みとりは完璧ではないので、人による読みとりは続けられた。

テレメータ導入は、震源データの生産効率を高めただけではなかった。地震波形データの利用の幅が広まったのである。これまでは、紙の記録のみであった。それに対し、当初はアナログではあったが、地震が発生するとトリガーがかかり、遅延回路を経由して地震波形が磁気テープに記録されるようになった。また、従来のドラム式波形連続記録に代わる独自に開発された長期間レコーダーを用いて連続記録も存続させた。これは 2 台のインク式ペン（ガルバノメータ）と折りたたみ記録紙を用いた。

防災研究所の鳥取観測所、北陸観測所のテレメータは当時、他の地震テレメータに比べて伝送の帯域が広く（ $\sim 100\text{Hz}$ ）、アナログの波形データをサンプリングしてデジタル・データに変換する場合、 100Hz サンプリングを可能にした。したがって、時間軸に対し 5ms の分解能があった。そこを利用して、波形の細かい解析を行い、マグニチュード 0 ぐらいの小さな地震の震源過程を調べ、スケーリングの相似則が成り立っていることや、いわゆる相似地震といえども詳しく波形をみると初動のところで異なっている場合が多いことが明らかにされた。

4. 活断層研究

微小地震の定常観測が行われ、各地の震源分布が明らかになった頃の 1970 年代初め、米国が打ち上げた探査衛星「アーツ」が撮った地球表面の写真から明瞭に判別された地表のリニアメント模様が話題になった。これを契機に活断層の研究が一躍脚光を浴びることになった。

微小地震の震源分布にもリニアメントが見つかり、活断層の表現であると認識されるようになった。そして、地震研究者も「活断層」への関心が深まっていった。さらに地震予知の研究の 1 つのテーマとして活断層において各種の観測を集中させる「テストフィールド」研究が兵庫県の山崎断層でスタートした。

また、活断層の発掘トレンチ調査が、鳥取県の鹿野断層と山崎断層で行われ、歴史地震や大昔の大地震の証拠を我が国で初めて明らかにした。

5. 地震予知

微小地震を組織的に観測研究したのは、地震予知研究の大きな柱の一つであったからである。もう 1 つの柱が地殻変動の観測研究である。防災研究所の微小地震研究グループは、微小地震をいわば基幹業務として、さらなる地震予知研究をも目指していた。基幹業務は定常観測を基礎としていた。そのほかの分野、すなわち地下水、電磁気、ラドンなどの観測は探検的、試験的であった。サーベイという考え方をとった。中には、地下水温観測のように、連続的定常観測に発展し、長期間観測を継続したものもある。鳥取の湯谷温泉の水温観測はその後「温泉観測ネットワーク」によって維持され、1980 年の観測開始から 30 年以上も観測が継続している。

長期的な予知のための基本的な資料には歴史地震に関する古記録と活断層に残された大地震の跡の調査資料がある。鳥取観測所や上宝観測所の観測研究から微小地震分布が明らかにされた活断層においてトレンチ発掘調査が行われた。鹿野断層、山崎断層の成果は、その後のトレンチ調査の出発点となったものである。

また、活断層において大地震が繰り返すことが明確になり、地震サイクルの考え方が一般的になった。そして、大地震の準備期間の研究がすなわち大地震の前兆の研究であって、長期的な予知か

ら短期的な予知への研究の道筋が見えてきた。「山崎断層テストフィールド」のプロジェクトは活断層に照準を合わせた中期・短期予知研究の先駆けであった。

6. 京都大学・地球物理の伝統とは

地球物理の研究において、「連続観測」とか「定常観測」といわれる長期にわたる一定基準の観測が重要であることは間違いない。京都大学の地球物理の伝統の本流にこの観測の維持があった。

さらに、防災研究所の微小地震観測では、時間空間的に均質なデータを集積することを第一義に据えた。これは、理学部阿武山地震観測所の観測理念とも対立した考え方であった。阿武山の観測システムでは、例えば、波形収録においてAGC(Automatic Gain Control)を行い、振幅の情報もできるだけ詳しく取得することをねらった。大学では、困難を乗り越え極限に挑戦する心構えが大切であるとの思想であった。また、阿武山では、丹波山地の微小地震密集発生地域に非常に密な観測網を設置して、微小地震の地震分布や発生過程を詳しく研究する立場をとった。これも非常に大事な研究である。

防災研究所の考え方は、学問のレベルが低いと思われがちではあるが、当面の研究テーマを絞り、そこに精力を集中した。たゆまぬ努力で長期の研究を維持する立場を採用したのである。

微小地震部門を中心にした防災研究所の研究グループは地震予知研究の様々な分野に貢献してきた。その1つの成果が山崎断層テストフィールド研究であった。他大学の多くの研究者の参加もあった。

微小地震観測定常観測の理念は全国的な稠密観測網と一元化されたデータ処理に活かされた。今後は微小地震のつぎに行うべき基盤的な研究を見定め、さらに探検的な研究も加味して、地震予知研究を進めるべきである。

最近、IT技術の発達によって研究活動の可能性は拡大しているが、地震研究者の予知研究への情熱や意気込みがやや後退しているように筆者の目には写る。

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の次の日本付近における超巨大地震は西南日本から沖縄にかけての地域に発生する可能性が高い。それに伴う内陸大地震も頻発するであろう。今、このような地殻の大変動の時代に、さらなる新たな観測研究を展開してもらいたい。これまでの歴史を振り返り、その中から多くの教訓をくみ取って、愚直に見えても、一貫した考え方をもって地道な研究を進めてもらいたい。それを切に願って止まない。

参考文献

- Hashizume, M., K. Oike, and Y. Kishimoto, Investigation of microearthquakes in Kinki District -- Seismicity and mechanism of their occurrence--, Bull. Dias. Prev. Res. Inst., Kyoto University, 15, 35-47, 1966.
- Hashizume, M., Investigation of microearthquakes -- On seismicity --, Bull. Dias. Prev. Res. Inst., Kyoto University, 19, 67-85, 1969.
- 藤田和夫・岸本兆方：近畿地方のネオテクトニクスと地震活動, 科学, 42, 422-430, 1972.
- 岸本兆方・尾池和夫・渡辺邦彦・佃為成・平野憲雄・中尾節郎：鳥取および北陸微小地震観測所のテレメータ・システムについて, 地震 第2輯, 31, 265-274, 1978.
- 松尾成光・尾池和夫・松村一男・竹内文朗：地震観測用長期間連続可視記録装置の試作, 京都大学防災研究所年報, 19B-1, 21-29, 1976.
- 西田良平：山崎断層周辺の詳細な地震分布について, 鳥取大学教養部紀要, 14, 105-140, 1980.
- 西田良平：山崎断層周辺の微小地震の発震機構について, 鳥取大学教養部紀要, 17, 209-234, 1983.
- 尾池和夫：鳥取微小地震観測所の震源表について, 地震 第2輯, 28, 331-346, 1975.

- 尾池和夫・松村一男・竹内文朗・松尾成光・清水昇：地震観測用長期間連続インク書き記録装置の開発，地震，第2輯，29, 2, 127-136, 1976.
- 尾池和夫：微小地震の時空分布と活断層，地質学論集，断層と地震 12, 59-73, 1976.
- 尾池和夫・岸本兆方：地震予知テストフィールドとしての山崎断層，地震予知研究シンポジウム，1976, 83-90, 1977.
- 竹内文朗・澁谷拓郎・平野憲雄・和田博夫・渡辺邦彦・松村一男・西上欽也・大谷文夫・岡本拓夫：北陸観測所 30 年間の地震観測，京大防災研究所年報，第 50 号 B-1, 289-295, 2007.
- Tsukuda, T., Microearthquake waveforms recorded at Tottori Microearthquake Observatory and thier relation to hypocentral distributions and the upper-crustal structure, Bull. Dias. Prev. Res. Inst., Kyoto University, 26, 17-55, 1976.
- 佃 為成・安藤雅孝・岡田篤正：大昔の大地震の痕跡をさぐる，地理, Vol.24, No. 9, 64-71, 1979. (口絵付き)
- Tsukuda, T.: Dynamical source process of microearthquakes deduced from P waveforms and the structure of the fractured region within the crust, Doctoral Thesis (Univ. Tokyo), 1980.
- Tsukuda, T., Long-term seismic activity and present microseismicity on active faults in southwest Japan, Earthq. Predict. Res., 3, 253-284, 1985.
- 佃 為成：京都大学防災研究所における地震波自動処理システムについて，地震予知観測情報センターニュース，東京大学地震研究所, No.12, 4-10, 1986.
- 佃 為成：地震予知定常観測の理念と将来構想，地震予知シンポジウム 1994 年, 87-96, 1994.
- 和田博夫・伊藤 潔・大見士朗・平野憲雄：上宝観測所における跡津川断層周辺における稠密地震観測 -- 30 年間の観測と解析結果 --，京大防災研究所年報，第 50 号 B-1, 313-320, 2007.
- 渡辺邦彦・平野憲雄・岸本兆方：北陸地方のサイスミシティ，地震 第2輯, 31, 35-47, 1978.
- 渡辺邦彦・尾池和夫：安富観測坑で記録された山崎断層の地震(1984 年 5 月 30 日, M5.6) にかかわる地殻変動，京大防災研究所年報，第 28 号 B-1, 99-109, 1985.