

STUDY ON EARTHQUAKE PREDICTION

BY GEOPHYSICAL METHOD

BY

SEISMOLOGY AND VOLCANOLOGY RESEARCH DIVISION, MRI

気象研究所技術報告

第16号

地震予知に関する実験的及び理論的研究

地震火山研究部

気象研究所

METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE, JAPAN

MARCH 1985

Meteorological Research Institute

Established in 1946

Director : Dr. Kiyohide Takeuchi

Forecast Research Division	Head : Mr. Taiji Yoshida
Typhoon Research Division	Head : Dr. Masahiko Aihara
Physical Meteorology Research Division	Head : Dr. Toshio Okabayashi
Applied Meteorology Research Division	Head : Mr. Tsunehiro Majima
Meteorological Satellite Research Division	Head : Dr. Keikichi Naito
Seismology and Volcanology Research Division	Head : Dr. Masaharu Ichikawa
Oceanographical Research Division	Head : Dr. Hayato Iida
Upper Atmosphere Physical Research Division	Head : Dr. Muneyasu Kano
Geochemical Research Division	Head : Mr. Tsutomu Akiyama

1-1 Nagamine, Yatabe-Machi, Tsukuba-Gun, Ibaraki-Ken, 305 Japan

Technical Reports of the Meteorological Research Institute

Editor-in-chief : Tsunehiro Majima

Editors : Koji Yamazaki Hiroki Kondoh Tomoyuki Ito
 Tomoaki Yoshikawa Jiro Aoyagi Masami Okada
 Masahiro Endoh Kunihiko Kodera Katsuhiko Fushimi

Managing Editors : Keiko Nishida, Yusai Yuhara

Technical Reports of the Meteorological Research Institute

has been issued at irregular intervals by the Meteorological Research Institute since 1978 as a medium for the publication of survey articles, technical reports, data reports and review articles on meteorology, oceanography, seismology and related geosciences, contributed by the members of the MRI.

序

昭和53年6月に大規模地震対策特別措置法が制定されたことに伴い、気象庁は地震防災対策強化地域に係わる各種データの常時監視と、その地域内の大規模地震発生の可能性に関する判定を行う責任官庁となった。これまで、地震予知計画に沿って、気象庁は各種の観測システムの整備を行ってきたが、さらに上記特別措置法が制定された昭和53年には、他機関から傾斜、地下水位、地下水成分などのデータが気象庁にテレメータされるようになった。

これら多種・多様なデータをリアルタイムで処理して大規模地震の前兆現象を常時監視し、かつ、検知した異常現象の評価のため、過去に蓄積された多種・多様なデータの中から必要なものを随時、短時間に検索できる総合的監視システムが必要になった。そこで、気象庁は、昭和54年度から発足した第4次地震予知計画の一環として、気象研究所に総合的監視システムの開発を要望した。これを受けて気象研究所は「地震予知に関する実験的及び理論的研究」と題する特別研究を、昭和54年度から5か年計画で開始した。このテーマは、「常時地震監視システムに関する開発研究」と、「地震予知に関する理論的研究」の2つのサブテーマからなる。

この特別研究を遂行するに当って、地震火山研究部では田望研究部長が主任研究官となり、また、昭和57年度からは渡辺偉夫部長がこれを引継ぎ、多数の研究者の協力の下に研究を進めた。

気象庁における現業システムとして、幾つかの厳しい条件に耐えうることを念頭に本研究は進められたが、関係者の並々ならぬ努力の結果、昭和58年度で当該特別研究は完成を迎えることになった。現在、気象庁はこの開発研究成果の実用化を進めている。

本報告を発刊するに当り、この開発研究に側面から協力された関係者に深甚なる謝意を表すると共に、この報告が関係方面の方々に多大な寄与をするものと期待している。大方の批判をいただければ幸である。

昭和60年2月

気象研究所 地震火山研究部長
市 川 政 治

目 次

概要（和文）	1
Abstract（英文）	3
第1章 研究の背景	7
1.1 研究の位置づけ	7
1.2 研究の必要性	8
1.3 関連技術の動向	9
第2章 地震活動総合監視システムの開発研究	12
2.1 ハードウェア設計	12
2.1.1 装置の構成	12
2.1.2 基本構想	13
2.2 ソフトウェア設計	15
2.2.1 基本的条件	15
2.2.2 地殻変動監視処理関連のプログラム	17
2.2.3 地震活動監視処理関連のプログラム	20
2.3 ソフトウェアの特徴	26
2.3.1 地殻変動関連プログラム	26
2.3.2 地震活動関連プログラム	27
2.4 実用化試験	32
2.4.1 試験の概要	32
2.4.2 地殻変動関連データの処理	33
2.4.3 地震活動関連データの処理	42
2.5 まとめ	49
2.5.1 実験の終了にあたって	49
2.5.2 地震波形処理技術のあゆみ	50
2.5.3 処理技術の展望	52
2.5.4 データ処理体制の強化にむけて	53

第3章 自動検測手法の研究	56
3.1 はじめに	56
3.2 信号検出問題	59
3.2.1 ベイズ(Bayes)の識別手法	60
3.2.2 識別不能状態	64
3.3 雑音の中の信号検出	65
3.3.1 正規定常情報源に対する信号検出手順	66
3.3.2 情報源のモデル	68
3.3.3 エントロピー最大化原理と赤池の情報量基準 AIC	70
3.3.4 マルコフ的信息源モデルによる信号検出	73
3.4 信号出現時刻の決定	75
3.4.1 信号出現時刻決定の統計モデル	76
3.4.2 ベイズの識別手法として見た信号出現時刻の決定	80
3.4.3 信号出現時刻の決定誤差	82
3.5 地震波信号における相の同定	84
3.5.1 地表面での P 波、S 波の振動方向	85
3.5.2 主成分分析の立場から見た polariaztion filter の構成	87
3.5.3 震央方位角の推定	89
3.5.4 P 波、S 波の特徴表現	91
3.6 おわりに	94
第4章 自動処理に関する関連研究	101
4.1 初期の地震波形リアルタイム自動処理システム	101
4.1.1 はじめに	101
4.1.2 処理能力	101
4.1.3 処理手法	106
4.2 マイクロプロセッサによるデータ処理	110
4.2.1 導入の背景と経緯	110
4.2.2 東海テレメータシステム	111
4.2.3 海底地震常時観測システム	111
4.2.4 歪地震計	113
4.2.5 地震資料伝送網(L-ADESS)	114
4.2.6 群列地震観測システム	116

4.2.7 既存のシステムに共通する問題	117
4.3 地殻変動観測データの補間方法	120
第5章 傾斜計による地殻変動の観測と評価	123
5.1 観測の経緯	123
5.2 観測の概要	123
5.3 観測結果	129
5.4 フーリエ解析	138
5.5 まとめ	139
第6章 地震予知にかかわる前兆現象に関する研究	140
6.1 検潮記録による地殻変動解析	140
6.1.1 検潮資料	140
6.1.2 御前崎の沈下	141
6.1.3 地殻変動との関連	144
6.2 東海沖海底地雷位変化と地震	151
6.2.1 はじめに	151
6.2.2 地雷位異常現象	152
6.2.3 まとめ	154
6.3 東海沖地域の地震活動	155
6.3.1 サイスマック・ギャップ	155
6.3.2 「東海地震」をめぐる問題	157
6.4 前震の規模別度数分布-b値の変化について	165
6.4.1 はじめに	165
6.4.2 前震及び余震の震央分布と規模別度数分布	167
6.4.3 前震と余震のb値の比較	175
6.4.4 前震のb値が有意に小さい地震群について	178
6.4.5 まとめ	181
あとがき	183

概 要

いわゆる『東海地震』の可能性が指摘され、それに対処するために「大規模地震対策特別措置法」が制定・施行されてから、6年が経過した。この間気象庁では、大地震の前兆現象監視のための組織と観測体制の強化に努め、データ集中の面ではかなり整備が進行した。しかし、複雑なパターンを示す前兆現象が出現したような場合には、その評価にかなりの時間を要することも考えられる。このようなことから地震課（当時）からの要望を受け、気象研究所では昭和54年度から始まる第4次地震予知計画の一環として、「地震予知に関する実験的及び理論的研究」を、特別研究として採り上げた。本報告はその研究におけるこれまでの成果をとりまとめたものである。

第1章の「研究の背景」は、研究開始の経緯、あるいは関連技術の動向を示し、この研究の位置付けについてまとめたものである。

第2章の「地震活動総合監視システムの開発研究」では、地震発生や地殻変動およびそれらの変化状況を即時的に解析処理するシステムの開発を行った結果について報告する。地震予知を業務として実施するためには、地殻の活動とその履歴をたえず把握する必要があり、そのためのデータ処理に最も適した装置の開発は重要な研究である。このため大構成あるいは小構成を想定した場合、それぞれについて各システムの構成手法を検討した。特にハードウェア、ソフトウェアの設計・作業手順については、それぞれの構成規模における必要条件およびプログラムの主なフローまでを含め、詳しく検討した。また、システムの運用試験と結果の評価に基づいて、今後の問題点について考察し、地震活動を総合的に監視する業務用システムの設計に必要な基本概念をまとめた。

第3章の「自動検出手法の研究」では、統計的方法として知られている Bayes の手法を用いた信号検出問題について考察する。内容的には、雑音の中の信号検出問題の一般的手法とその問題点について記述し、具体例として地震波信号の場合を扱い、従来の手法に対する問題点について明らかにする。特に、地震波信号の場合に重要な信号出現時刻の推定方法とその推定誤差について述べ、P波・S波の同定および、震源位置に対する補助的情報として震源方位の推定方式とその推定誤差について検討する。以上の方式により、地震波信号の同定が、震源も含めた形で評価でき、地震波の自動処理の信頼度が飛躍的に向上し得ることを説明する。

第4章の「自動処理に関する関連研究」では、初期の地震波形自動処理システム、マイクロプロセッサによるデータ処理、および地殻変動観測データの補間方法について調査・考察した成果を今後の参考のために報告する。今回のシステム開発では、これらの経験と成果が活かされている。初期の地震波形自動処理システムは1967年に制作されたものであるが、運用テストの結果について各要素ごとに評価し、それらの処理方法について記述する。マイクロプロセッサによるデータ処

理では、海底地震常時観測システム、歪地震計、地震資料伝送網 (L-ADESS)、群列地震観測システムなどで採用されたマイクロプロセッサ装置について紹介し、これらの既存システムに共通する問題点を検討する。地殻変動観測データの補間方法では、今回のシステムで採用された方法を示し、観測資料の基本的整理として必要な欠測時の処理方法について考察する。

第5章の「傾斜計による地殻変動の観測と評価」では、気泡管式の傾斜計を用いて、伊良湖および尾鷲で1979年から84年まで行った観測と、その解析結果について述べる。連続長期間の記録を得ることができなかったが、数か月までの周期をもつ変動について知見を得た。この期間中には、前兆的な変化が期待できるような規模の地震が近辺に発生しなかったことと、降水時の傾斜変動がかなり大きいこともあって、地震と関連すると思われるような変動を検出することはできなかった。これに関連して前兆的な微小な地殻変動を検出するためには、降水時におきる地域特有の地殻変動を十分把握する必要があることを説明する。

第6章の「地震予知にかかわる前兆現象に関する研究」では、主として東海地域における地殻変動、電磁気学的異常現象、地震活動、および日本とその周辺の大地震に先立つ前震活動について扱う。地殻変動については、検潮記録の解析から御前崎付近における沈下とその速度変化が明らかにされた。電磁気学的異常現象については、主として東海地域海底地震観測システムを利用して、地電位の異常と地震との関係が検討された。地震活動については、最近の地震資料を用いて、東海地域のいわゆる空白域が再検討され、小地震および微小地震活動レベルでは空白域は認められないが、M4.0以上の地震活動では空白域の存在が認められ、この空白域と大地震との関連が検討された。前震活動については、大地震発生との相互関係をみるならば、b値ばかりではなく、前震群の時間系列および規模別度数分布の型にいたる過程の検討が必要であることを示した。

Study on Earthquake Prediction by Geophysical Method

Abstract

In 1979, the Tokai District and its neighbouring area was designated as an "Area under Intensified Measures against Earthquake Disaster" on the basis of the "Large-Scale Earthquake Countermeasures Act". The Japan Meteorological Agency (JMA) is responsible for the short-term prediction of a large-scale earthquake which may take place in the area.

The JMA has developed various real-time systems for monitoring changes in seismic activities and detecting tectonic precursors. In 1979, responsibilities for gathering other data such as groundwater, radon, and ground tilt were transferred from other governmental institutions to the JMA. This has required the JMA to install a new real-time system for routinely processing these various telemetered data, in order to detect anomalous changes which make it possible to discriminate precursory evidence from noise.

Under the circumstances, development of a real-time system for monitoring seismic activities and fundamental researches on the discrimination of precursory phenomena were carried out by the Meteorological Research Institute (MRI) of the JMA, as one of the major items of the fourth Five-Year Plan of the National Program of Earthquake Prediction Research in Japan (1979-1983).

The following is the summary of the results obtained by the project research :

In chapter 1 are stated the position of the research, the necessity of the development of a new system, and the technical know-how which will be used in the development of a new system.

The design of the comprehensive real-time system for processing various telemetered data and for detecting unusual variation in seismic activities and crustal movement are described in Chapter 2. Earthquake prediction as a routine service in the JMA requires the real-time evaluation of changes in seismic activities and other geophysical and geochemical phenomena. Furthermore, it is necessary to discriminate precursory changes from noise by the diagnosis procedures accumulated in the past.

In view of the situation, two different systems were designed, one consisting of a rather large computer and another of many microprocessors. In the report are fully explained the processes through which hard- and software were designed and results obtained by the test run

using the systems. Moreover, detailed descriptions are also given on some problems revealed by the test run and on the fundamental conception for designing a comprehensive system for routine service in the JMA.

In Chapter 3 are described the researches conducted on an automatic extraction of arrivals of P and S waves on a digital seismogram. Fundamental problems in discriminating signal from noise are examined on the conventional procedures as well as the present one developed on the basis of the Bayes method in statistics.

The orientation of the epicenter as well as the phase extraction is one of the merits in the present method. A computer program, which was written on the basis of the developed algorithm, was applied to many seismograms. The test was successful, showing remarkable improvement on the old method in accuracy of the arrival time of P and S waves.

In Chapter 4 is reviewed the automatic processing of digital seismograms by various computers and microprocessors. Particularly the microprocessors used in the existing system for processing digital data such as earthquakes and the crustal movement in the JMA were carefully examined. In view of the merits and demerits of each system examined, a microprocessor system was designed.

In Chapter 5 are given results obtained by simplified bubble tube type tiltmeters. The observation of crustal movement was carried out at Irako and Owase in central and southwestern Honshu during the period from 1979 to 1984. The observation has made it clear that the crustal movement was considerably influenced by precipitations, but no significant change in the crustal movement related with earthquake occurrence was detected. The influence of rainfall on the crustal movement suggests that the study on relationship between local crustal movement and rainfall is required in detecting a weak crustal movement prior to earthquake occurrence.

In Chapter 6 are described researches on various precursory phenomena associated with large earthquakes. Particularly, the crustal movement, geoelectric and geomagnetic anomalous phenomena and seismicity in the Tokai District were studied. Furthermore, foreshocks associated with large earthquakes occurring in Japan and its vicinity were studied. The following are the results obtained :

- i) By tidal observations in the Tokai District, the land subsidence and changes in the subsidence rate at Omaezaki and its vicinity were verified.
- ii) Relation between anomaly in geopotential and earthquakes was studied using the ocean-bottom seismograph system installed off the coast of Omaezaki, central Honshu.

iii) Though there exists a seismic gap for events of magnitude 4 and larger in the focal region of the Tokai District, where the occurrence of a large earthquake has been anticipated, many micro-and small earthquakes have occurred in the gap area. The relation between seismic activity and occurrence of a large earthquake in the gap area was studied.

iv) Statistical studies on many foreshock activities associated with large earthquakes indicate that useful information will be obtained from the magnitude-time sequence and pattern of the magnitude frequency relationship as well as the b value of the magnitude-frequency.