

TECHNICAL REPORTS OF THE METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE No.40

Study on Stress Field and Forecast of
Seismic Activity in the Kanto Region

BY

Seismology and Volcanology Research Department

気象研究所技術報告

第 40 号

南関東地域における応力場と
地震活動予測に関する研究

地震火山研究部



気 象 研 究 所

METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE, JAPAN

MARCH 2000

Meteorological Research Institute

Established in 1946

Director-General : Mr. Takashi Nakayama

Forecast Research Department	Director : Dr. Sadao Yoshizumi
Climate Research Department	Director : Mr. Hiroki Kondou
Typhoon Research Department	Director : Mr. Shouin Yagi
Physical Meteorology Research Department	Director : Mr. Toyooki Tanaka
Atmospheric Environment and Applied Meteorology Research Department	Director : Dr. Tatsuo Hanafusa
Meteorological Satellite and Observation System Research Department	Director : Dr. Tsutomu Takashima
Seismology and Volcanology Research Department	Director : Dr. Akio Yoshida
Oceanographical Research Department	Director : Dr. Takeshi Uji
Geochemical Research Department	Director : Dr. Katsuhiko Fushimi

1-1 Nagamine, Tsukuba, Ibaraki, 305-0052 Japan

Technical Reports of the Meteorological Research Institute

Editor-in-chief : Hiroki Kondou

Editors : Masakatsu Kato	Toshiro Inoue	Naoko Kitabatake
Masashi Fukabori	Naoko Seino	Yoshimasa Takaya
Osamu Kamigaichi	Tamaki Yasuda	Hidekazu Matsueda

Managing Editors : Hiroshi Satoh, Takafumi Okada

The *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 technical reports, data reports and comprehensive reports on meteorology, oceanography, seismology and related earth sciences (hereafter referred to as reports) contributed by the members of the MRI and the collaborating researchers.

The Editing Committee reserves the right of decision on acceptability of manuscripts and is responsible for the final editing.

©2000 by the Meteorological Research Institute.

The copyright of reports in this journal belongs to the Meteorological Research Institute (MRI). Permission is granted to use figures, tables and short quotes from reports in this journal, provided that the source is acknowledged. Republication, reproduction, translation, and other uses of any extent of reports in this journal require written permission from the MRI.

In exception of this requirement, personal uses for research, study or educational purposes do not require permission from the MRI, provided that the source is acknowledged.

Study on Stress Field and Forecast of Seismic Activity
in the Kanto Region

BY

Seismology and Volcanology Research Department, MRI

南関東地域における応力場と地震活動予測に関する研究

地震火山研究部

気 象 研 究 所

序

南関東とその周辺は、わが国の中でも非常に地震活動が活発な地域の一つであり、過去には、関東大地震(1923年)、(明治)東京地震(1894年)、江戸地震(1855年)、元禄地震(1703年)など深刻な被害地震が発生している。また、南関東地域は現在、人口、諸機能が著しく集積しており、今後もし直下型の大地震に見舞われた場合には、これまでも増した大被害が生じることが予想される。こうしたことから、関東地域は東海地域とともに地震予知のための観測強化地域に指定されているほか、平成4年8月に中央防災会議により決定された「南関東地域直下の地震対策に対する大綱」は、この地域に対する地震予知研究の推進がますます緊急であることを提言している。これらの社会的要望を背景として、気象研究所では平成6年度から特別研究「南関東地域における応力場と地震活動予測に関する研究」を発足させ、5か年計画で研究を進めた。この研究開始後、わが国は度重なる大地震に見舞われたが、特に平成7年1月に発生した兵庫県南部地震は、大都市直下に発生する地震が及ぼす被害の甚大さを改めて認識させ、南関東地域における地震の調査研究の重要性がさらに増したといえる。

本研究の実施に際しては、3つのテーマ——地震活動評価・予測手法の研究、データベースの構築、および力学モデルの作成——に分けて研究を進めた。ここで得られた数々の成果が、今後の地震予知研究の推進や気象庁地震業務に寄与することを期待する。研究成果をまとめるにあたっては、関係各方面のご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

平成11年1月

気象研究所 地震火山研究部長

望月 英志

概 要

本報告は、特別研究「南関東地域における応力場と地震活動予測に関する研究」の3つの大きなテーマについて記述したものである。地震活動評価・予測手法の研究の成果を第1章に、データベースの構築を第2～5章に、力学モデルの作成を第6章に記す。

第1章では、地震活動度の評価と地震発生の予測に関する研究について報告する。まず、地震活動度の客観的かつ定量的な評価の手法として活動度の偏差を地図上に表示する方法を導入し、その手法を関東地域に適用することにより、1987年千葉県東方沖地震の前の地震活動の変化を検出した例を紹介する。次に、関東地域の地震の巣の1つである茨城県南西部における1950年以降の地震活動について調べ、ほぼ10年周期の規則的活動の特徴を見いだした。この特徴は、プレート運動のゆらぎと関連すると見られることから、次の大地震発生時期の長期予測に有効となる可能性がある。地震発生を予測する基礎となる前震活動の特徴に関する研究では、はじめに、活発な前震活動を伴うことが知られている伊豆地域の地震データを用い、地震活動の集中度に着目した前震の経験的識別法と確率的な本震の予測手法について調べた。次に、一般に活発な前震活動を伴った事例について調査し、火山性や群発性のものを除くほとんどの事例で、本震直前に前震活動の静穏化が生じていたことを明らかにした。また、多数の本震直前の前震活動を重ね合わせることで、その発生頻度が逆べき分布で近似できることを示した。

第2章では、南関東地域に展開した強震観測網から得られた成果について報告する。観測された地震波形を解析して、震源特性、伝搬経路の減衰特性、観測点近傍の増幅特性をインバージョンによって分離し、それらの特徴を調べた結果、関東平野の縁の観測点で増幅特性が大きいこと、深い地震ほど高周波の輻射が大きい傾向が見られた。また、この観測網から得られた地震波形データを用い、小さな地震の地震モーメントと断層パラメータを推定するためのツールの開発を行い、 M_w が3.4までの地震モーメントの推定を可能にした。

第3章では、南関東地域で過去に発生した主な被害地震を再検討した結果について報告する。1894年東京地震と1921年竜ヶ崎地震の2つの地震について、現存する地震記録を調査し、地震のメカニズムの再決定を行った。従来から得られているプレート構造・地震活動のデータを元にこれらの地震の震源、発震機構、およびテクトニクスの性質などについて論じた。

第4章では、全国の地震波形収集のために導入された衛星通信地震観測テレメタリング・システムおよび収集された各種データをデータベース化するシステムについて解説する。このシステムで得られた広帯域地震波形を使い、地震のメカニズム解を決定する手法を開発した。

第5章では、歪計、GPSおよび検潮データのデータベース化と、これらのデータの解析によって得られた南関東地域の最近の地殻変動について報告する。歪計については、気象庁体積歪計の原データをCD-ROMデータベース化した。このデータベースから地震発生時の観測記録の切り出しとその理論地震波形との比較を可能とするツールを開発した。このツールにより、地震波応答を利用した体積歪計の絶対感度の決定が容易になった。一方、小田原に設置した二層式体積歪計の最近のデータを検討した結果、上下2式の歪計データを用いることによって降水の影響がかなり低減できること、および下部歪計が広域的な歪変化を反映している可能性が明らかになった。次に、検潮所においてGPS観測を実施し、精密解析を行うことにより1日間の観測値で数mm程度、月平均値で2～3mmの精度で上下変動を把握できることを示した。検潮データによる上下変動は、GPS観測による結果と調和的であり、房総半島南端と伊豆大島の間の相対的変動が1990年頃から大きくなっていることを明らかにした。

最後に第6章では、理論的側面からの地殻活動予測手法について報告する。地震発生に伴う周辺の応力変化の指標としてクーロンの破壊関数に着目し、その値が増加した地域で地震活動を誘発したと思われる過去の事例について調

査を行った。数多くの事例を収集し、クーロンの破壊関数の変化が次の地震の発生場所の予測に有効であり得ることを示した。また、南関東地域に発生する地殻内の地震の分布に着目し、新たなテクトニック・モデルの提案を行った。さらに、南関東地域の複雑なプレート構造を有限要素モデル化する手法を開発し、プロトタイプ・モデルを作成した。作成されたモデルを用いてプレートの沈み込みやプレート間地震によるクーロンの破壊関数、ならびに応力・歪の変化について調べた。

Summary

This is a comprehensive report titled “Study on stress field and forecast of seismic activity in the Kanto Region”, conducted from fiscal 1994 to 1998 by the Seismology and Volcanology Research Department, MRI, as a special research project. This study consists of three subjects,

- 1) The objective evaluation and forecast of seismicity,
- 2) A database for seismic processes and crustal activities, and
- 3) Kinematic modeling for estimating crustal activities.

The results are summarized in the six chapters in this report.

Chapter 1 details a study on objectively evaluating and forecasting seismicity. We adopted a method to evaluate seismicity objectively and quantitatively, applied it to the Kanto region, and succeeded in detecting seismicity change before the earthquake off the east coast of Chiba prefecture in 1987 ($M=6.7$). We also found a periodic change of seismicity, of about 10 years, in south-west Ibaraki prefecture, one of the most active regular seismicity areas in the Kanto region. This characteristic can be considered valid for the long-term prediction of large earthquakes in this region because such a periodic change in seismicity is considered to be related to the plate motion fluctuation. The other important topic covers the characteristics of foreshocks, which has long been a key issue in earthquake prediction. It is been well known that many earthquakes in the Izu region have been accompanied by active foreshocks. By using the seismicity data in this region, we developed an empirical discrimination method of the foreshocks, focusing on the spatial and temporal concentration of seismicity, and studied the forecast of the main shock in a probabilistic manner. We then applied this method to the events accompanied by active foreshocks in the Izu region, and clarified that in most cases except volcanic origin events and swarms, foreshock activities showed quiescence just before the main events. We also found that the temporal variation of foreshock frequency can be approximated by the inverse power law of time, by stacking many foreshock activities.

Chapter 2 reports the results of strong ground motion observations in the Kanto region. Source process effect, attenuation along the propagation path, and amplification near the site are decomposed from the observed record by inversion, and some characteristics are studied. We also developed a tool to determine the seismic moment and fault parameters of small earthquakes from the seismogram, and enabled the estimation of those parameters for events with M_w down to 3.4.

Chapter 3 presents the source processes of the 1894 Tokyo earthquake and the 1921 Ryugasaki earthquake, which both caused significant damage to the Kanto region, estimated from old seismograms surviving to date. In addition, the tectonic characteristics of those events are discussed taking the plate structure and seismicity into account.

Chapter 4 explains the seismic data telemetry system via communication satellite. This system was installed to collect seismic waveform data from all over Japan for the studies relevant to this project. Chapter 4 also explains the database creation system. We developed a method to determine earthquake mechanism solutions by using broadband seismograms collected by this system.

Chapter 5 discusses the recent crustal deformation of the Kanto region estimated from the strain, GPS and tide gauge observation. We created a CD-ROM database of volume strain data in the Kanto and Tokai regions with an original sampling rate, and developed a tool to extract a seismic waveform and compare it with the synthetic waveform, enabling the in situ calibration of the strainmeter by using the seismic responses. We also analyzed recent data of the Double Coaxial Strainmeter in Odawara, and found that the precipitation effect can be considerably reduced by combining upper and lower data, and that the lower data records the representative strain field of this area. We have been conducting continuous GPS observations at tide gauge stations of JMA in the south Kanto region. Precise baseline analysis revealed that the vertical change of the relative displacement can be detected within an accuracy of a few millimeters by using monthly averaged results, and that the vertical crustal movement deduced from tide gauge observation is consistent with GPS observation, both of which indicate a relative movement between the south end of the Boso peninsula and Izu Oshima.

Chapter 6, the final chapter, covers a study on kinematic modeling for estimating crustal activities. This chapter reports on a theoretical approach in forecasting crustal activities. We showed that the Coulomb's failure function (CFF) value, which represents a stress change in a surrounding area due to an earthquake occurrence, is valid for predicting the focal area of the next earthquake invoked by a preceding one. We proposed a new tectonic model of the south Kanto region based on the spatial distribution of the earthquakes occurring in the crust in this region. We also created a prototype finite element model of the very complicated underground plate structure of the south Kanto region. Using this kinematic model, we studied the stress and strain field change by the subduction of the plate or the occurrence of inter-plate earthquakes in a three-dimensionally heterogeneous medium.

目 次

第1章 地震活動評価・予測手法の研究

1.1 関東地域における地震活動度変化の統計的評価	1
1.2 茨城県南西部の地震活動に見られる周期的変化	15
1.3 伊豆地域における前震の経験確率的識別法	21
1.4 本震直前における前震活動の静穏化	36
1.5 重ね合わせによる直前前震の時間分布	48

第2章 強震観測

2.1 強震観測システム	55
2.2 震源特性・伝搬経路特性および観測点近傍の増幅特性	64
2.3 小地震の波形合わせによる地震モーメント推定	73

第3章 過去の地震の発震機構

3.1 明治の東京地震(1894年)	87
3.2 竜ヶ崎地震(1921年)	94

第4章 地震データ収集とデータベース

4.1 通信衛星を使った収録システム	101
4.2 データベース開発装置	108

第5章 地殻変動観測・解析手法の研究

5.1 体積歪計による成果	111
5.2 GPSと検潮の複合観測	127

第6章 力学モデルの作成

6.1 クーロン破壊関数と地震活動	143
6.2 関東地方のプレート構造モデル	150
6.3 三次元有限要素モデル	156