

TECHNICAL REPORTS OF THE METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE No.4

PERMANENT OCEAN-BOTTOM SEISMOGRAPH
OBSERVATION SYSTEM

By
SEISMOLOGY AND VOLCANOLOGY
RESEARCH DIVISION, MRI

気象研究所技術報告

第 4 号

海底地震常時観測システムの開発

気象研究所地震火山研究部

気 象 研 究 所

METEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE, JAPAN

MARCH 1980

Meteorological Research Institute

Established in 1946

Director : Dr. J. Kobayashi

Forecast Research Division	Head : Dr. E. Uchida
Typhoon Research Division	Head : Mr. S. Fujiwhara
Physical Meteorology Research Division	Head : Mr. J. Kubo
Applied Meteorology Research Division	Head : Dr. Y. Kikuchi
Meteorological Satellite Research Division	Head : Dr. K. Naito
Seismology and Volcanology Research Division	Head : Dr. N. Den
Oceanography Research Division	Head : Dr. T. Nan'niti
Upper Atmosphere Physics Research Division	Head : Dr. M. Misaki
Geochemistry Research Division	Head : Dr. K. Saruhashi

1-1, Nagamine, Yatabe-machi, Tsukuba-gun, Ibaraki-ken, 305, Japan

Technical Reports of the Meteorological Research Institute

Editor-in-chief : Dr. E. Uchida

Editors : Dr. T. Tokioka Mr. T. Furukawa Mr. S. Ōtsuka
 Dr. N. Yasuda Dr. T. Takashima Dr. M. Katsumata
 Dr. I. Isozaki Dr. K. Murai Dr. Y. Sugimura

Managing Editors : Mr. Y. Kojima Mr. M. Matsushita

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.

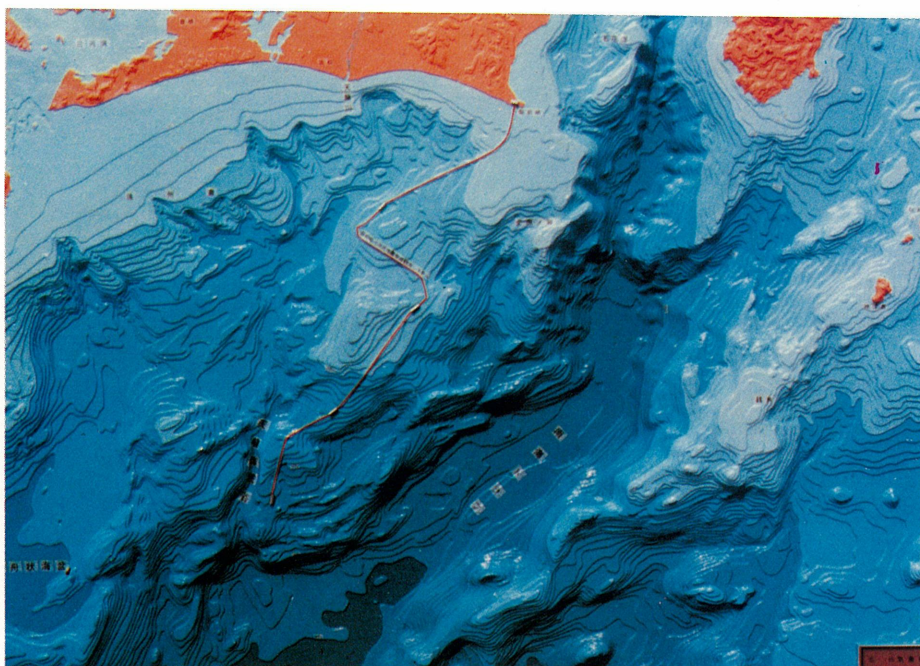


写真 1 東海沖の海底地形と海底地震常時観測システム
Photo.1 Topography off the Tokai District and the System



写真 2 海岸中継所局舎
Photo.2 Shore station

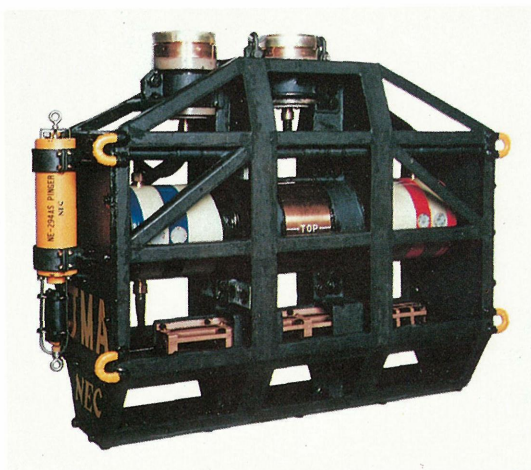


写真 3 先端装置
Photo. 3 Terminal apparatus

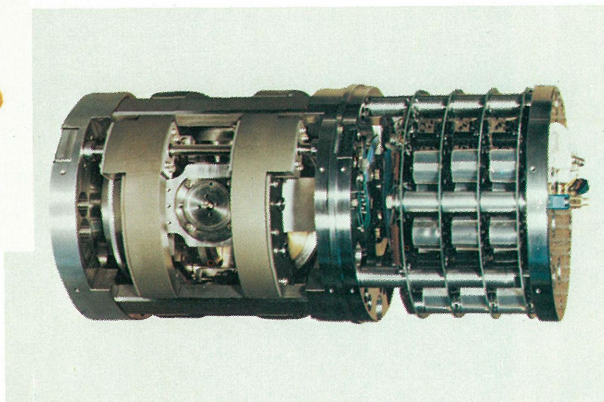


写真 4 先端装置用地震計
Photo. 4 Seismograph for the terminal apparatus



写真 5 海底ケーブル陸揚げ工事
Photo. 5 Landing of the submarine cable



写真 6 海岸中継所内の機器
Photo. 6 Apparatus in the shore station

序

過日東北地方を襲った1978年宮城県沖地震に見られるごとく、近年の都市の過密化や社会機構の複雑化に伴い、地震による災害は国民の生命財産の保全に深刻な影響を与えるものとなってきた。このため、関係諸機関は、地震防災に、或いは地震予知に鋭意努力を傾けており、気象庁においても、地震および地殻変動の観測網を整備し、それらの資料伝送および処理解析等の体制の強化に努めている。

大規模地震の多くは、周辺海域で発生するので、海底で地震を観測しその活動を監視することは、地震を予知し地震災害の防止・軽減をはかる上で極めて重要なことであるが、従来技術的困難さからその実現は遠い将来のことと思われていた。しかし年と共に国民の地震予知に対する要望も強まり、これに応えるために測地学審議会は、第3次地震予知計画の建議において、気象庁が海底地震計の開発とそれによる業務的観測への努力をなすよう要請することとなった。これを受けて気象庁は、この難問解決にあたることを決定し、気象研究所地震火山研究部において、特別研究「海底地震常時観測システムの研究」として昭和49年度より研究開始することとなった。この研究の重要性から、その発足に当たって気象庁は、研究会議に海底地震計開発部会を設けて研究推進の指導に当たり、また本庁および東京管区気象台の関係部課が協力するなどの全庁的な支援体制を整えた。

この特別研究の遂行に当たって、地震火山研究部では諏訪彰研究部長が主任研究者となり、また53年度には田望研究部長がこれを引継いで、強力な研究陣を擁して作業を進めた。海底ケーブルによる群列方式の海底地震常時観測システムは世界でも初めての試みであり、その仕事はすべて未経験の領域の開拓であった。したがって、道のりは決して平坦なものではなかったが、関係者の並々ならぬ努力により、54年3月には全システムの完成を迎えることができた。そしてこのシステムは同年4月より気象庁が実施している地震観測業務の一環に組み入れられた。

この5ヶ年計画の研究を遂行している間、53年には大規模地震対策特別措置法が制定、公布され、気象庁は地震予知に重い責任を負うこととなった。この法律に基き、強化地域に指定された東海地域では、現在陸上に多数設置された地震計および歪計などと共に、この海底地震常時観測システムが地震活動の観測・監視に活躍している。

本報告を発刊するに当たって、システムの研究開発に献身的努力をほらわれた関係者の方々に深甚なる謝意を表すると共に、このシステムによる観測成果と、この報告が国民の強い要望である地震予知の実現に多大の寄与をするものと期待している。大方の御批判を仰ぐことができれば幸いである。

昭和54年11月

気象研究所長 小林 壽太郎

海底地震常時観測システムの開発

目 次

序	
概 要 (和文)	1
アブストラクト (英文)	5
第 1 章 ま え が き	11
1. 東海地域の地震予知について	11
2. プロジェクト発足まで	13
3. 開発研究遂行の体制	14
4. システムの完成とその役割	15
第 2 章 機器の開発・製作	18
1. 方式設計	18
2. 海底部機器	38
3. 陸上部機器	59
第 3 章 布 設	71
1. 布設ルート	71
2. 沿岸海底地形調査	80
3. 布設工事施工法開発とそのリハーサル	87
4. 本布設工事	97
第 4 章 陸 上 施 設	121
1. 海岸中継所	121
2. 管 路	129
3. 海岸アース	132
第 5 章 試 験 観 測	139
1. 地震計成分の試験観測	139
2. 津波計の試験観測	150
3. 給電電圧変化の監視観測	153
第 6 章 システム開発に関連する調査・研究	158
1. 関 連 研 究	158
2. 設計確認に関するメーカーとの協同作業	202
3. センサー部の開発に関連した部分	207

第 7 章	あ と が き	223
1.	本特別研究の終了に当って	223
2.	謝 辞	223
3.	技術報告書をまとめるにあたって	226
付 記	228
付 1.	海底地震計開発部会	228
付 2.	海底地震常時観測システムに関する調査と工事報告書	233

海底地震常時観測システムの開発

気象研究所地震火山研究部

概 要

有史以来、広域にわたり大災害をもたらしてきたマグニチュード8クラスの巨大地震は、太平洋岸と日本海溝・南海トラフ等の間の、プレートの境界に発生してきた。これらの巨大地震はこれからもこの海域で、くりかえして発生するものと考えられる。従って、これらを予知するためにはその海域における小地震の活動度を監視してゆくことが必要である。気象庁をはじめ各大学では数百ヶ所で地震の常時観測を行っているが、その地震計はすべて陸上に設置されているものばかりで、海域に発生する小地震については、震源の決定精度、検知力とも、必ずしも充分とは言えない。

碇置きあるいは自己浮上式の海底地震計を用いれば海域における観測を行うことは可能である。しかし、仮にこの海底地震計が大地震直前の前兆的地震活動をとらえることができたとしても、われわれはそのことをただちに知ることはできないので、地震警報を発表する上では、場合によっては役に立たない。このような情勢下で、海域におけるリアルタイムの常時観測システムの開発が切望されていた。

気象庁は、そのようなシステムを開発し、海域での小地震の活動度を監視しようと計画した。本誌で述べるシステムは第3次地震予知5ヶ年計画（1974—78年度）の主要な柱のひとつとして気象研究所により開発されたものである。システムを布設する海域には東海沖が選ばれた。

日本の地震学者の多くは東海沖に大地震がおきるものと考えている。それゆえ、東海地方とその周辺（静岡県、山梨県の大部分、神奈川県西部、長野・愛知・岐阜3県の一部）は大規模地震対策特別措置法により地震防災対策強化地域に指定された（1979年8月）。

全システムは完成後、気象庁に移管され定常的に運用されている。地震の常時観測と地震予知情報の報告に責任のある気象庁は、同様のシステムを三陸沖、相模湾から房総沖、四国沖に布設することを計画している。これらの地域は東海沖と同様に、くりかえし巨大地震が発生している地域である。

本誌はシステム開発の技術報告書である。他の海域に布設するためにシステムの改良を行う時の助けとなるであろう。

第1章では予知計画の中においてこのシステムの占める位置について述べる。

第2章ではシステムデザインと新たに開発された機器とについて述べる。システムは陸上部システムと海底部システムとで構成されているが、後者の信頼性は非常に高く、1成分当りの平均故障間隔は100年と見積られている。後者は海底同軸ケーブルの末端にとりつけられた先端装置と、そのケーブルで直列に、陸上に致るまでつながれた3台の中間点装置で構成される。前者は海岸中継所（御前崎測候所）に設置された受信・中継装置、陸上電話回線、観測中枢（気象庁地震課）に設置された受信・処理装置で構成され

る。

地震計の周波数範囲と振幅範囲はそれぞれ2~20Hz, $0.01 \sim 400 \mu m^{P-P}$ であるが先端装置については0.2~20Hzの成分も用意されている。先端装置にとりつけられた水晶圧力計が津波計であり、その分解能は約1 mm H₂O, 長期安定度は0.3 mm H₂O/dayより良い。

地震計と津波計のすべての信号は、海底ではFM-FDM方式により72 dBのS/Nで伝送され、海岸中継所で復調される。そこで再び、1成分当り10ビットのデジタルデータに変換され、電話回線により観測中継までPCM方式により伝送される。海底部システムへの電力は直流定電流方式で海底同軸ケーブルを通じて供給される。電流は先端装置近くの電極から放出され海水および大地を経て海岸アース電極に戻ってくる。

第3章ではケーブルルートの調査および布設作業について述べる。ケーブルの断線を避けるために海底の地形・地質をたねねに調べあげ、ルートを慎重に決定した。海底部システムの実際の布設は日本電信電話公社の最新鋭ケーブル敷設船・黒潮丸によって1978年8月に行われ、成功した。先端装置の重量は水中でも1トンを越えるので、その布設には新たに開発された高抗張力海底同軸ケーブルが用いられた。実際の布設に先立ち布設実験を含む数多くの実験が行われた。

第4章では陸上設備工事、すなわち海岸アース工事、附帯設備を含む海岸中継所の建設、海岸ケーブルの防護工事について述べる。水深500mより浅い海域に布設されるケーブル35 kmには一重ないし二重の外装を施こし、底引き網操業によるケーブルの損傷を避けた。更に水深50m以下の極浅海部では、波浪や潮流によるさまざまな障害を経験しているので、二重外装ケーブルを防護管で保護し、更に海底に埋設した。

このシステムの気象庁への移管に先立ち、半年間にわたる試験観測が行われた。第5章では試験観測によって得られた興味深い観測事実を速報する。

このシステムなしでは検知されなかったであろうし、震源も決められなかったであろう地震が数個ある。従って、予想されたように、このシステムで得られたデータを用いることによりこの海域の詳しいサイスミシティが明らかになる。

津波計に関する興味ある事実は津波計が一種の長周期上下動地震計として働くということである。1978年12月6日にエトロフ島近海で発生した地震($M_J = 7.7$)による地震波が津波記録上に見られる。もうひとつの興味あるのは、先にも述べたように津波計の分解能と安定性が良いので、地殻変動の水準器としても使えるということである。破壊直前のプリサイスマックな地殻変動によるレベル変動をとらえるかもしれない。現在まで、この海域に津波はまだ発生していないが、津波記録上には外洋潮位が常に記録されている。津波計によって観測された潮位と沿岸で観測された潮位との間には、密接な相関が認められる。すなわち両者の振幅はほぼ等しく、位相は理論から期待できるとおりのずれを示している。

海底部システムへ供給する電力の電源電圧は常に監視されている。電源電流が充分安定しているにもかかわらず、電圧はわずかに日変化を示している。その変化は地磁気全磁力の時間微分に比例していること

がわかった。それゆえ電源電圧の観測により地電位、導電率等の新種の観測データが得られるものと期待できる。何らかの地球電磁気学的現象の前兆があらわれれば、それも検知されよう。

第6章にはシステムの開発に関連したさまざまな論文を載せる。開発の過程においていくつかのワーキンググループが何回も開かれた。その時の重要な議論も収められている。

第7章にはまとめ、謝辞等を載せる。

最後に付記として、このシステム開発のために気象庁研究会議内に設けられた、部外学識経験者をも含む開発部会における議事等を載せる。

Permanent Ocean-Bottom Seismograph Observation System

by

Seismology and Volcanology Research Division, M.R.I.

Abstract

The interplate great earthquakes with a magnitude greater than eight, which have caused huge damage over a wide area since the dawn of history in Japan, have occurred under the sea bottom between the Pacific coast and the Japan Trench, Nankai Trough, etc. These earthquakes are considered to be repeated in these areas in future. Consequently, for the prediction of them, it is indispensable to monitor the seismicity in those sea areas. While the Japan Meteorological Agency (JMA) and a number of university laboratories are performing permanent seismic observations at hundreds of stations, the seismographs used are all land-based ones, which results in insufficient accuracy of location and detection capability for small earthquakes in the sea areas.

The anchored buoy ocean-bottom seismograph (OBS) or the pop-up OBS could be used for observation in the sea areas. However, even if the OBSs might catch precursory activities just prior to a big event, they are in some cases of no use in issuing an earthquake warning because nobody is immediately informed of it by them. Under these circumstances, the development of a permanent real-time observation system in the sea areas had been ardently desired.

The JMA had plans to develop the real-time system and to monitor the seismicity in those sea areas. The development of the System was implemented by the Meteorological Research Institute of the JMA as one of the major items of the third Five-Year Plan of the National Program of Earthquake Prediction Research in Japan (1974-78). The area off the coast of Tokai District was selected for the area where the System was to be laid.

A number of Japanese seismologists have been afraid that a

great earthquake may occur in the area. Therefore, the Tokai District and the surrounding regions (Shizuoka Prefecture, most of Yamanashi Prefecture, the western part of Kanagawa Prefecture, a part respectively of Nagano, Aichi and Gifu Prefectures) have been designated as "Areas under Intensified Measures against Earthquake Disaster" by the "Large-Scale Earthquake Countermeasures Act" (August 1979).

After its completion, the whole system was transferred to the JMA and has been operated routinely. The JMA, which is responsible for the routine seismic observations and for the issuing an "Earthquake Prediction Information", has plans to lay the same system in the following three areas off Sanriku, from Sagami Bay to off the Boso Peninsula, and off Shikoku. No less than the area off Tokai, these are areas of repeated great earthquakes.

The present paper is a technical report of the development of the System and will be helpful in constructing an improved one when it is required for another sea area.

Chapter 1 is the introduction, in which the position of the System in the National Program is described.

In Chapter 2, the system design and newly developed instruments are described. The System is composed of a land system and a submarine system with a very high reliability (MTBF is estimated to be 100 years per component). The latter system consists of the terminal apparatus set at the far end of a submarine co-axial cable, and three intermediate apparatus linked to the shore by the cable. The former system consists of receiving and repeating apparatus in the shore station (Omaezaki Weather Station), land telephone lines and receiving and processing apparatus in the observation center (Seismological Division, JMA, Tokyo).

The frequency range and the dynamic range of the seismographs are 2-20 Hz and 0.01-400 μm peak to peak respectively. The frequency range of 0.2-20 Hz is also available at the terminal station. A quartz pressure gage attached to the terminal apparatus

is a tsunami-meter, with a resolution of nearly 1 mm H₂O and a long term stability better than 0.3 mm H₂O per day.

All signals of the seismographs and the tsunami-meter are transmitted by an FM-FDM with S/N of 72 dB in the sea, and they are demodulated at the shore station, where they are transformed to digital data of 10 bits per component. By the use of the PCM communication method, all the digital data are transmitted to the center via land telephone lines.

Electric power for the submarine system is supplied through the submarine co-axial cable by a DC constant current. It is released from the electrode attached near the terminal apparatus, and sent back to the electrode of the shore earth through the sea-water and the ground.

In Chapter 3 are described the cable route survey and laying work. After elaborate investigation on the topography and geology of the sea bottom, the route was carefully determined so as to avoid cable breaks. The actual laying of the submarine system was successfully carried out in August 1978 by the Kuroshio-Maru, the newest cable ship of the Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation. Since the terminal apparatus weighs more than one ton in the water, the newly developed high tensile strength submarine co-axial cable was employed in laying the apparatus. Prior to the laying, a number of experiments including trial laying were carried out.

In Chapter 4 are described the construction of the shore facilities: shore earth work, shore station building including appurtenant facilities and the protection work of the shore cable. For the 35 km segment which lies on seabeds less than 500 m below the surface, a single or double armored cable was used in order to avoid trouble caused by dragnet fishing. Furthermore, for seabeds less than 50 m below the surface, various kinds of trouble due to waves and currents have been experienced. Therefore, the double armored cable guarded by a steel protector was buried in the sea

bottom mud.

A half year's test observation was carried out in advance of the transference of the System to the JMA. Chapter 5 includes preliminary reports of some interesting facts observed in the course of the test operation.

There are several earthquakes which would not have been detected and located without the System. Therefore, as has been expected, the details of the seismicity in the area will become clear by use of the data obtained by the System.

One of the interesting facts about the tsunami-meter is that it can work as a kind of long-period vertical seismometer. Seismic waves generated by the earthquake near Etorofu, December 6, 1978 ($M_J = 7.7$), were recorded on the tsunami records. Another interesting fact is that it is available as a level meter to detect crustal movements, because its resolution and stability are good as mentioned above. It may be able to catch the change of the level due to the pre-seismic movement just prior to a break. There has not yet occurred any tsunami in our sea area until now, but the ocean tide level of the open sea is always recorded on the tsunami records. A close correlation is recognized between the tide level recorded by the tsunami-meter and that by the tide gages at shore stations; that is, the amplitudes of the two are almost equal and the phases show systematical lags, as is expected by theory.

The source voltage of the electric power for the submarine system is continuously monitored. In spite of the high stability of the source current, the source voltage shows a slight daily change. It is found that the change is proportional to the time differential of the total force of the terrestrial magnetism. Thus, the observation of the voltage is expected to give new kinds of observational data such as those for geopotential, conductivity and so on. If any precursory change related to geoelectromagnetic phenomena occurred, it might also be detected by observation.

Chapter 6 contains various papers dealing with the development

of the System. In the course of the development, meetings of the working groups were frequently held. Important discussions at the meetings also appear in this Chapter.

Chapter 7 comprises reviews, acknowledgements and so on.

The proceedings in the Congress to establish the fundamental policy of research for the JMA are described in the Appendix.