

## 第1章 ま え が き\*

昭和49年度より5ヶ年計画で地震火山研究部が開発を行ってきた海底地震常時観測システムは同54年3月に完成し、翌4月より本庁地震課および東京管区气象台に移管され、東海沖海域の地震活動等の監視に活躍している。このシステムは海底同軸ケーブルを用いた世界でも最初の群列方式の海底地震観測装置であり、その設計、製作、布設などの各段階においては、海底ケーブル伝送その他の分野の最新の技術を広範に利用したし、また多くの新しい技術を開発して困難を克服してきた。それらの詳細について記述しておくことは、今後このシステムによって得られる観測データを利用する人々のためにも、また今後海底における地震観測のみならず各種の観測のための装置を作るであろう人々のためにも必要なことであり、また私どもの責任でもあると考え、気象研究所技術報告の一冊にまとめて報告する次第である。

本章においては、このシステムの開発研究の背景をなす東海地域の地震予知の問題、プロジェクト発足の経緯、及び研究遂行の体制などについて述べる。

### 1. 東海地域の地震予知について

昭和40年度より開始された地震予知計画は第1次(昭和40~43年度)、第2次(昭和44~48年度)、第3次(昭和49~53年度)の計画が終わり、現在第4次計画(昭和54~58年度)の各種観測、測量および研究が実施されている。これらの観測などを重点的に行う地域として、特別観測地域、観測強化地域及び集中観測地域の3段階の地域指定をすることが定められていた。東海地域は当初より特別観測地域として扱われていたが、第5回地震予知連絡会(昭和44年11月28日)において再確認され、更に第24回地震予知連絡会(昭和49年2月28日)において、同地域での過去の巨大地震の発生の歴史、および地震活動と地殻変動の観測結果が考慮されて、観測強化地域に指定された。

この地震予知計画による観測等、およびこの期間におけるプレートテクトニクス説や断層モデルに関する理論などを含む近代地震学全般の急速な発展により、地震予知の諸課題に関しても目覚ましい進展が見られた。1923年関東地震や、1944年東南海地震および1946年南海地震(Kanamori, 1972, Ando, 1975その他)の断層モデルに関する研究およびフィリピン海周辺部における地震の発震機構の研究(Katsumata and Sykes, 1969)などから、フィリピン海プレートの運動の様相や南海トラフの性格が解明されてきた。それとともに地殻変動観測データなどを用いて将来発生すると考えられる大地震の震源の諸要素を定量的に推定する研究がなされるようになった。南海トラフ北側の海域では、昔からマグニチュード8クラスの巨大地震が相連なって約120年の平均再来期間をもって繰返して起っている。1854年に2回起った安政地震IおよびIIの震源域を合わせると、南海トラフ沿いの全海域を覆うが、それ以後この海域の中西部を震源域とする1944年東南海地震及び1946年南海地震が起ったものの、その

\*執筆担当 田 望

東部は取り残されたままであり、また明治以来の三角測量及び水準測量の結果を見ても、東海地方には大きな歪エネルギーが蓄積されていることは明瞭である。このような事情から、前述のように東海地域が観測強化地域に指定されたのであるが、将来発生が危惧されている巨大地震の震源域の推定に関しては、学界でも多くの議論が戦わされてきた。その震源域を推定するには、それに隣接する東南海地震の震源域の決定が大きな影響を与える。Kanamori (1972), および図 1.1 に示した Ando (1975a) による東南海地震の断層モデルの研究などにおいては、震源域は熊野灘と考えられており、したがって東海沖に予想される地震の震源域は、図 1.2 に示した Ando (1975b) の断層モデルに見られるように、御前崎と渥美半島間の沖合いの遠州灘の全海域と考えられていた。その後津波や地殻変動の研究から、東南海地震の震源域は熊野灘だけでなく、東は天竜海底谷に及ぶ広い範囲にわたっていたという考えが強くなった(例えば Inouchi and Sato, 1976)。

そして石橋(1977)は1854年安政地震Iについての調査研究から、その地震の震源域が熊野灘から駿河湾奥まで達していたことを明らかにし、また1944年東南海地震の震源域は図1.1に示したように、熊野灘から天竜海底谷付近に至る海域であると結論した。したがって遠州灘東半から駿河湾奥までの地域では安政地震以来120年以上にわたって大地震空白域であり、図1.2に示したような断層モデルを持つ地震が将来起ると考えて地殻変動を計算すると、実測されたものを定量的に説明できることを示した。これにより「東海地震」あるいは「駿河湾地震」と言われる将来この地域に起こるであろう大地震のイメージが具体的になってきた。

地震予知計画の進行とともに、社会の地震に対する関心も次第に強くなり、特に1974年伊豆半島沖地

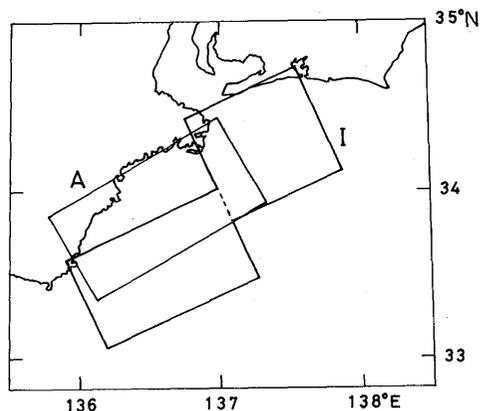


図 1.1 (A)Ando (1975a) および (I) 石橋 (1977) による 1944 年東南海地震の断層面の地表投影

Fig.1.1 Surface projection of the fault planes inferred by (A) Ando (1975a) and by (I) Ishibashi (1977) of the 1944 Tonankai earthquake.

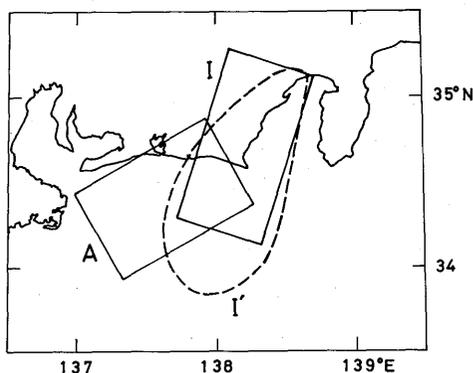


図 1.2 (A)Ando および (I および I') 石橋により推定された東海地震の予想断層面の地表投影

Fig.1.2 Surface projection of the hypothetical fault planes inferred by (A) Ando (1975b) and by (I and I') Ishibashi (1977) of a future Tokai earthquake.

震以後はその傾向は加速された。さらに上述の石橋の研究成果の発表が新聞その他に大きく報道されたことも手伝って、社会の地震予知に対する要望は極めて強くなった。そして昭和53年には大規模地震対策特別措置法が公布・施行され、また気象業務法も改正されて、気象庁長官は地震予知情報を報告する責任を負うこととなった。そして昭和54年8月には静岡県全部、神奈川県西半、山梨県の大部分、長野、愛知、岐阜3県の一部が地震防災対策強化地域に指定されるなど、地震の予知と防災のための施策が着々と進められている現状である。この強化地域の指定の根拠となる将来の大規模地震の推定には上述の石橋の説が大きく貢献していた模様である。

海底地震常時観測システムの開発のプロジェクトを立案した当時、海底地震計を設置すべき地域について研究部内で種々討議を行ったが、将来巨大地震の発生する可能性が最も高いと考えられる東海沖を選定した。その後上に述べたように、学界における東海地震についての考えに進展があったが、私どもは開発の各段階でそれを考慮に入れつつ作業を進めてきたのである。

## 2. プロジェクト発足まで

海底に地震計を置き自然地震あるいは人工地震を観測しようという研究の歴史はかなり昔に遡るが、初期の頃は試験的なものであった。海底地震計が米国、ソ連、日本などで盛んに用いられるようになったのは1960年代半ば頃からであり、浅田教授（東京大学）、島村助教授（北海道大学）のグループや、南雲教授（東京大学）のグループなどが研究を続けており、興味深い成果が報告されている。

気象庁においても、1968年十勝沖地震の後運輸大臣の指示によって気象協会が実施した海底地震計の試作とそれを用いての観測の技術指導を、当時地震課に在勤した飯沼現第3研究室長らが行った（飯沼・吉田1970）。これらの観測に用いられた装置は、海底に置かれた地震計類および錨と海面にあるブイの間をロープで繋いだアンカード・ブイ方式の装置や、海底の地震計類に繋がれた錘をタイマーあるいは観測船からの超音波指令信号により作動するレリナーで切り離して地震計類を浮上させる自己浮上方式の装置である。これらの観測方式は、遠洋においても比較的簡単に観測できるなどの長所を持つ半面、1回の海底地震計の設置によって普通は10日間程度、長期用のものでも1ヶ月程度の期間記録し得るだけであり、また地震計類を回収してデータを処理解析するまでに相当の日数を要するなどの短所を持っている。したがって短期地震予知のため、予想震源域付近の地震活動の監視に用いるには、これらの方式の装置は適当とは言い難い。

ところで米国コロンビア大学のラモント・ドハーティ地質学研究所は、1960年代後半に海底ケーブル方式の海底地震計を開発し、カリフォルニア沖約100海里の海底に設置し、観測研究することを試みた。この装置は海底ケーブルの先端にのみ付けられた耐圧容器群の中に長・短周期地震計や重力計その他のセンサーを入れたものである。1966年5月布設されて以来、6年余観測に用いられたが、ケーブルの破断により廃棄された。

このラモント・ドハーティ地質学研究所の意欲的な試みは日本にも大きな影響を及ぼした。地震の2/3

以上が周辺海域で起こる我が国では、陸上観測点のみの資料では地震の震源位置やその他の諸性質の決定の精度に限界があり、海底ケーブル方式海底地震計の開発およびその実用化を望む地震研究者も多かった。このような背景のもとに昭和44年秋に、南雲教授の呼びかけにより、この方面に関心を持つ研究者や海底ケーブルおよびそれによる伝送技術の専門家の主導的立場にある人々などが集まって、「海底ケーブル方式海底地震計研究会」が開かれた。この研究会はその後毎年1回程度の割合で開かれ、装置に備えるべきセンサーの種類、ケーブルの種類、群列方式の接続の可能性とその場合の伝送方式、耐圧容器、布設方法その他につき検討を行った。この研究会は出席者の専門分野における知識や経験を話し合っ、システムの理想像を画くというような性格のものであり、実際に試作や実験を進めるということとはしなかった。したがって現実の「海底地震常時観測システム」の開発に際して、この研究会での討議が直接に役立ったとは必ずしも言い難い。重要なことはこの研究会が存在したことが、今回のプロジェクトの発足と遂行に大きな役割を果たしたことである。地震火山研究部において、その立案や遂行を担当した人々もこの研究会に参加していた。また研究会の討論の結果は、第3次地震予知計画を立案する準備として昭和47年12月に地震学会により開催されたシンポジウムに報告された(南雲, 1973)。

このようにして海底ケーブル方式海底地震計は公式の場で議論されることとなり、昭和48年6月29日測地学審議会より出された第3次地震予知計画の建議に盛りられることとなった。その建議には「海底地震活動監視のため、テレメタリング方式の海底地震計を気象庁が開発し、速かに業務的観測を開始できるように努める。」と述べられている。

昭和48年春地震火山研究部では海底ケーブル方式海底地震計を開発するための予備実験的な小規模な研究計画の立案作業を進めていた。その年の6月17日に起った根室半島沖地震(M=7.4)をも配慮されたことと思われるが、6月下旬に運輸大臣より防災に役立つプロジェクトを作成せよとの命令が気象庁に下された。

これに応じて地震火山研究部では開発する機器をそのまま業務的観測に実用することを目的とした海底ケーブル方式海底地震計の開発研究を行うことを決意し、提案した。この提案は気象庁の計画として採択され、前記命令への答申とされた。この「海底地震常時観測システムの研究」の特別研究は昭和49年度より別枠で予算も認められ、発足することとなった。このプロジェクトのように、未知の領域を多く含む開発を行うには、基礎的なものから実験を積み重ねて段階的に進めるのが常道であるが、地震予知のために海底地震計を必要とする度合いが逼迫していたことと、前記研究会の討論を通じ或る程度の見通しを持てたこともあって、いわばぶっつけ本番の仕事に踏み切った次第である。

### 3. 開発研究遂行の体制

プロジェクトの発足に当たり気象庁としては昭和49年2月21日の研究会議で、気象研究所長を部長とする「海底地震計開発部会」を設けて開発計画の技術的事項その他を審議することを、また開発部会内に専門技術的な事項を審議するワーキンググループを設けることを決定した。開発部会は研究の各段階

において9回にわたり開催され、指導的な役割を果たしたが、その詳細は巻末の付記にゆずる。

地震火山研究部では昭和49年度より諏訪彰研究部長（現地震観測所長）を主任研究者としてこの「海底地震常時観測システムの研究」を開始した。当時地震火山研究部は、2研究室制であったが、第2研究室がこの研究を担当した。研究開始に当って山川宜男研究室長（現大阪管区气象台技術部長）の下に観測部地震課よりアンカードブイ方式海底地震計の経験者である飯沼龍門現第3研究室長を、また東京大学地震研究所より地震計測全般に経験の深い松本英照現主任研究官を迎えるなどして、強力な体制を整えた。この特別研究のため新規に増員も認められ、昭和52年度より研究室の増設が認められて、研究部は3研究室制となり、第3研究室が飯沼第3研究室長の下にシステム開発を担当することとなった。昭和53年4月には諏訪研究部長は地震観測所長に転出され、田望が研究部長と主任研究者の役を引継いだ。研究発足より完了までの5年間にその遂行に当たった研究者を表1.1に掲げておく。

表 1.1 海底地震常時観測システムの研究の担当者一覧

a テーマ：海底地震常時観測システムの開発

b テーマ：地震予知理論および解析的研究

研究室名等	氏名	研究担当年度（昭和）	
		a テーマ担当	b テーマ担当
地震火山研究部長 （主任研究者）	諏訪 彰	49～52	49～52
	田 望	53	53
第2研究室（49～51年度）	山川 宜男	49～51	49～52
第1研究室（52～53年度）	長宗 留男		53
	吉田 明夫	50～51	50～53
第2研究室（49～51年度）	飯沼 龍門	49～53	49～53
第3研究室（52～53年度）	松本 英照	49～53	49～53
	高橋 道夫	49～53	49～53
	塚越 利光	51～53	51～53
	長山 靖夫	49～51	49～51

#### 4. システムの完成とその役割

このような体制によって開発研究を進めたが、このシステムが完成後に地震予知のため東海沖地震活動監視に用いられることを考慮し、長期間故障せずに良好に動作することに最大の重点をおいて作業を行った。特に機械的に弱く、かつ信頼性の試験方法の確立されていない地震計センサー部の設計や試験には苦心した。衝撃試験、振動試験、温度試験などを繰り返し実施し、またその結果の検査方法を案出するなどの努力を続けた。昭和53年8月に海底部装置を布設して以来今日まで1年以上経過したが、現在その全機器は良好に動作しており、今後の見通しも明るいものと考えている。また海底部装置からの信号伝送およ

び陸上の諸装置の設計・製作にも最新の技術を多く取り入れてあり、例えばそのシステム管理機構なども今後の地震観測装置の一つのモデルとなるであろう。

構成や機能についての記述は後章にゆずるが、今回完成を迎えた本システムは当初計画を上廻る性能を持っている。この使命達成は研究部において仕事にたずさわった人々の努力によるところが多いとは言うものの、気象研究所だけでなく気象庁内の多くの部課の方々の協力によってなされたものであり、その意味で本研究は気象庁の一大プロジェクトであったと言えよう。それだけでなく、第7章に述べるように、官・学・公・民の多くの機関の方々の御尽力によりなし得たチームワークの成果と言うべきものである。

本年4月より観測部地震課で開始された本システムによる東海沖の海底地震の観測成果はすでに地震防災対策強化地域判定会に提供されつつある。一方、試験観測によって得られた資料を解析した結果、津波計の記録から海底地殻上下変動を検出し得る可能性が、また海底部装置への給電電圧の変動値から海底地電位差を検出し得る可能性が見出された。これらが有効に利用できれば、地震予知のための新しい観測手段となるので、それらについての研究を地震火山研究部で計画している。これらを通じ、私どもは本システムが地震予知と地震災害の軽減に役立つことを期待し、念願している。

昭和53年7月12日に測地学審議会より出された第4次地震予知計画の建議に「気象庁は、御前崎沖にケーブル方式の海底地震計の設置を進めているが、この完成は東海沖の海底地震の監視能力を格段に向上させるものとして、強い期待がもたれている。本計画においては、その成果を踏まえて更に他の予知上重要な海域に設置して常時監視を進めることとする。」と述べられている。巨大地震のほとんどすべてが周辺海域で起こる我が国において、今回開発したものと同様のシステムが、他の海域にも展開され、地震予知のために貢献するであろうことが予想される。

#### 参 考 文 献

- Ando, M., 1975a: Source mechanisms and tectonic significance of historical earthquake along the Nankai trough, Japan. *Tectonophysics*, **27**, 119-140.
- Ando, M., 1975b: Possibility of a major earthquake in the Tokai district, Japan and its pre-estimated seismotectonic effects. *Tectonophysics*, **25**, 69-85.
- 飯沼龍門, 吉田 弘, 1970: 定浮標方式海底地震計の装置と海上作業について. うみ(日仏海洋学会), **8**, 121-126.
- Inouchi, N and H. Sato, 1976: Vertical crustal deformation accompanied with the Tonankai earthquake of 1944. *Bull. Geogr. Surv. Inst.*, **21**, 10-18.
- 石橋克彦, 1977: 東海地方に予想される大地震の再検討—駿河湾地震の可能性. 地震予知連絡会会報, **17**, 126-133.
- Kanamori, H., 1972: Tectonic implications of the 1944 Tonankai and the 1946

Nankaido earthquakes. Phys. Earth Planet. Inter., 5, 129-139.

Katsumata, M. and L.R.Sykes, 1969 : Seismicity and tectonics of the Western Pacific : Izu-Mariana -Caroline and Ryukyu-Taiwan Regions. Jour. Geophys. Res., 74, 5923-5948.

南雲昭三郎, 1973 : 地震予知研究における海底地震観測の役割. 地震予知シンポジウム(地震学会), 61-65.

Sutton, G.H., W.G.McDonald, D.D.Prentiss and S.N.Thanos, 1965 : Ocean-Bottom Seismic Observatories. Proc. IEEE, 53, 1909-1921.