

地震予知と海底の調査

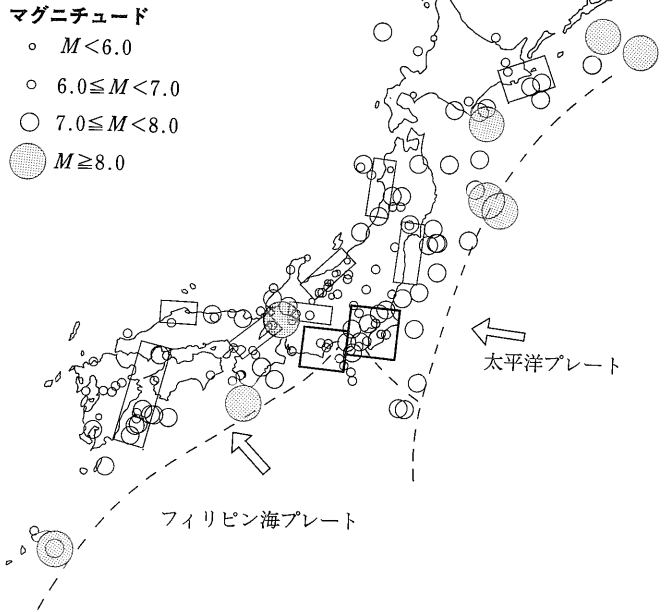
桂 忠 彦¹⁾

1. 海と地震

我が国は世界でも有数の地震・火山の国である。過去何回も壊滅的な大地震や悲劇的な火山の噴火に直撃され多くの人命や経済的被害を被ってきた。この原因は、日本列島がアジア大陸の東縁にあり、太平洋に面する東北日本沖合の海底では太平洋プレートが1年に約10cmの速度で、また房総半島から西南日本の前面ではフィリピン海プレートが1年に約4cmの速度で日本の下に潜り込むため、莫大なエネルギーが継続的に日本列島の下に蓄積され続けていることにある。この地理的・構造的な位置が細く長い日本列島を形づくる弧状列島の宿命でもある。ひとたび人口の密集する地域のそばで大地震が発生すれば、人々の生活を破壊し、社会的に甚大な被害を与える事は、つい最近起きたサンフランシスコ付近のロマプリータ地震(1989年10月;本誌8月号参照)やフィリピン北部のルソン地震(1990年7月)で記憶に新しい。

日本付近の大地震の震源域は海のプレート(太平洋プレート、フィリピン海プレート)が陸のプレート(ユーラシアプレートまたは北米プレート)にぶつかり、潜り込む部分に集中する。細長い海底の凹地である千島海溝、日本海溝、伊豆一マリアナ海溝、相模トラフ、駿河一南海トラフ等の海域や大陸斜面、その陸側延長部に大きな地震の巣が存在する事は良く知られている。

駿河一南海トラフのある東海沖でM8クラスの大地震が発生する可能性が指摘されてからはや30年近く経った。また、最近では神奈川県西部地震(小田原地震)や首都圏直下型地震の発生が切迫しているとも言われる。日本は地震研究先進国として、かなり高い学問レベルにあると考えられ、地震の予知への期待も大きいものがある。第1図に1885年以降の被害地震と地震予知のための観測強化地域、特定観測地域を示す。



第1図 日本周辺の被害地震と観測強化地域・特定観測地域(科学技術庁, 1986). 1885年以後の被害地震(○印)と観測強化地域(太枠), 特定観測地域(細枠).

これまでの記録によれば、今世紀最大のエネルギーを放出した地震は1960年のM9.5(巨大地震を示すのに良く用いられるモーメントマグニチュードによる)のチリ地震で、その放出エネルギーは1923年に東京を襲ったM7.9の関東大地震の250個分にあたると言われる。このチリ地震を起こした地殻の破壊面は大きさが800km×200kmで、ずれの大きさが24mという巨大な断層を形成した。このチリ地震による三陸地方の津波大被害は我が国に防災上の大きな教訓を与えた。

日本周辺で大正時代以降に起きた主なM7クラス以上の被害地震震源は、千島海溝での十勝沖地震(1952年M8.2)、根室半島沖地震(1973年M7.4)、日本海溝での十勝沖地震(1968年M7.9)、三陸地震(1933年M8.1)、宮城県沖地震(1978年M7.4)、相模トラフでの関東大地震(1923年

1) 海上保安庁 水路部: 〒104 東京都中央区築地 5-3-1

M7.9), 南海トラフの東南海地震 (1944年M7.9), 南海大地震 (1946年M8.0) などで, プレート境界で生じている海溝型地震のものが圧倒的に多い。

第1図にも見られるように日本の地震の半数以上, 特にM7.5クラス以上の大地震は海底を震源とするものが70%以上を占め, 付近の海底に大きな断層, 隆起, 沈降, 地滑り地形を形成し, さらには津波を発生して被害をもたらしてきたと見られる。

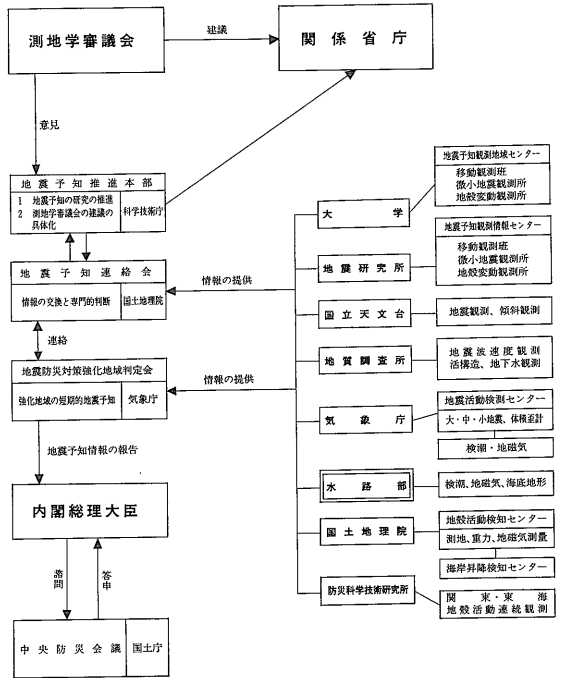
しかし, 海底の様子は直接目で見られないため現在でも十分に把握されていない。地震予知の研究にたずさわる人々が, 日本で起きる地震の本質を理解しようとするには, 海底の事を知り, 海で生じるプロセスを良く理解しなければ, 陸上の事が全て分ったとしても, 半分の事しか分からないのではなかろうか。ここでは, 海上保安庁水路部で実施している調査・研究の概要を紹介する。なお, 図面の多くを提供された浅田 昭氏に深謝する。

2. 地震予知計画

我が国の政府は国民の生活に被害を及ぼす地震災害の大きさに鑑み, それを予知し未然に被害を軽減するため地震予知計画を1965年(昭和40年)度からスタートさせた。これは測地学審議会の「地震予知計画の実施について」の建議(1964年7月)に基づくもので, この計画は第1次地震予知計画以降, おおむねか5か年ごとに見直されている。現在は1988年(昭和63年)度に見直され, 翌年度から始められた第6次地震予知計画が実施中である。

地震予知計画の大きな役割は国の各調査・研究機関が分担・協力して地震予知に関係する調査・研究を効果的に推進するところにある。計画では地震予知の方法として地震エネルギーの蓄積を検知するための長期的予知と直前現象を検知するための短期的予知を進める。このため, 長期的・短期的前兆現象, 基礎的調査・研究, 海底観測, 宇宙技術の応用, 地震観測, 地殻変動統観測, 海岸昇降の検知など多岐にわたる観測・調査を大学(地震研究所), 国立天文台, 地質調査所, 気象庁, 国土地理院, 防災科学技術研究所および海上保安庁水路部など, 各機関が分担して行う事となっている(第2図)。

海上保安庁は地震発生後の海上避難支援, 警備, 航行警報, 水路通報, 緊急測量を行うのは勿論のこと, 従来から蓄積してきた海洋測量の技術や測地・驗潮業務の専門性を生かす分野で, 地震予知計画に当初から参加してきた。この中で水路部は, 海に係わる基礎情報収集・提供機関としての役割を果たしてきた。具体的には, 海での地震発生の原因となる断層(活断層を含む)の構造や規模とその分布を明らかにする海底地形図・海底地質構造



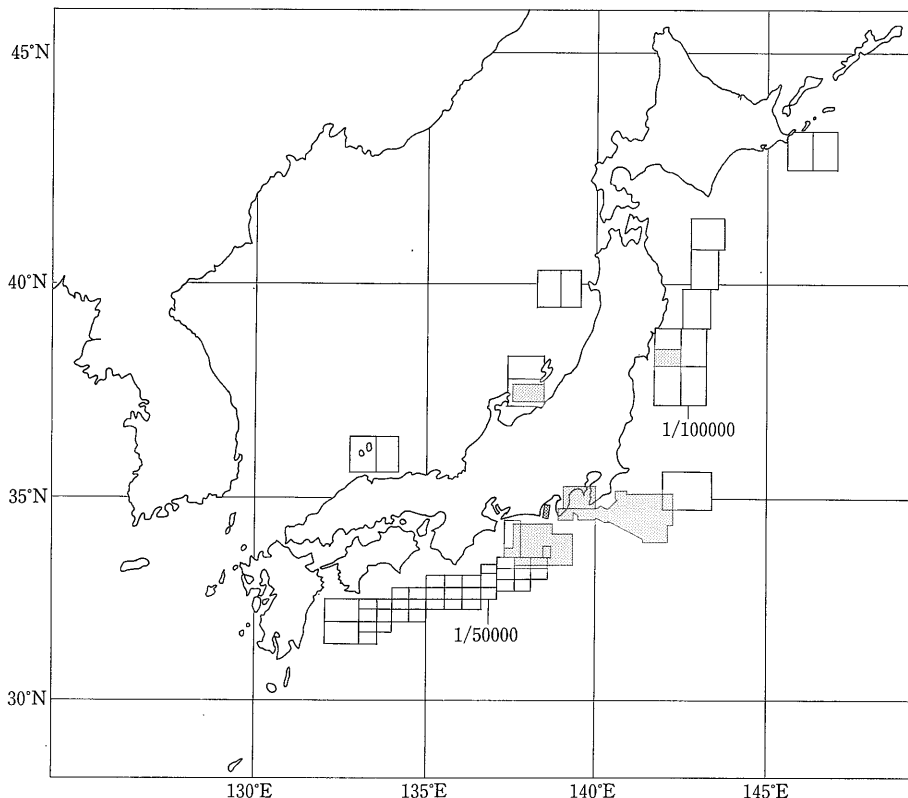
第2図 地震予知計画体制(国土地理院(1988)を簡略化)。

図・地質断面記録の提供, 地盤の昇降を検知するための驗潮, 地殻の歪みなどの地殻変動を検出するためのGPS等による測地観測や地磁気異常観測などを行い, 成果を地震予知連絡会を始め大学や関係政府機関に提供してきている。

3. 地震予知のための水路部海底調査プロジェクト

海底調査に限っての話としては, 水路部は地震予知計画のなかで指定されている特定観測地域, 観測強化地域の海底調査を重点的に進めている(第3図)。現在は次のようなプロジェクトが進行中である。

その一つは地震予知計画の中での長期的予知作業の一端として, 1. 測地・驗潮観測の分野での, ①海底地形・地質構造測量(主として特定観測地域の1/20万~1/10万スケールの精密測量), および②相模・南海トラフ海底活構造調査(主として観測強化地域の1/5万スケールの活構造調査)を年次計画に従って実施している。また, 2. 地震予知の基礎研究の推進と新技術の開発の中でも, ③プレート境界域の地震テクトニクス調査を科学技術庁の予算により進め, 海域の地殻構造調査と海域の変動地形に関する研究を行っている。このプロジェクトに参加する中で調査機器の開発, 改良を図っている。



第3図
海上保安庁水路部の地震予知測量区域。網かけの部分は完了もしくは進行中。

①の海底地形・地質構造測量については昭和43年度から、大陸棚の海の基本図測量と並行しつつ、地震予知調査として1/20万のスケールで、順次主に大陸棚の海底地形図・地質構造図・地磁気全磁力図・重力異常図を作成、刊行してきた。最近の5か年には次の海域を測量した。昭和61年度…鳥島付近、昭和62年度…八丈島東方、昭和63年度…須美寿島東方。なお、平成元年度からの調査では第6次の建議に移行したこともあり、また、より精密な海底地形図を作るシービーム、ハイドロチャートを用いることも可能となったため、測量スケールを1/10万として成果図を作成することとした。調査海域は平成1年度…宮城・福島沖、相模湾～房総沖、平成2年度…伊予・日向灘沖である。

②の相模・南海トラフ海底活構造調査については昭和54年(1979年)度に予算が認められ、調査が開始された。対象海域は相模トラフ・南海トラフとその周辺海底で大規模地震が予想される観測強化地域(東海地域、南関東地域)の予知基礎データの収集を目指して、1/5万スケールの活断層、活褶曲等の海底活構造調査を進めている。最近5か年の調査海域は、昭和61年度…房総沖勝浦海底谷付近、昭和63年度…南海トラフ、伊豆半島付近、等、昭和63年度…南海トラフ(銭州海嶺付近)、遠州灘(天竜海

底谷付近)、平成1年度…南海トラフ(銭州付近)、平成2年度…房総沖、遠州灘沖、相模トラフ(房総東方)で、この調査についても極力ナローマルチビーム測深機で測量できるように調査体制を整備しているところである。

③のプレート境界域の地震テクトニクス調査としては、科学技術庁の予算による、中部日本活構造地域の地震テクトニクスに関する研究やマグニチュード7級の内陸地震の予知に関する研究プロジェクトに参加し、海底地形・地球物理的データの提供を図るとともに、海底屈折波受信装置、データ処理ソフト等の技術の開発や改良を進めてきた。特に、海底屈折波受信装置(OBSH)に光ディスクを組込んで大容量記憶メモリー化を図ったりしている。これらの調査成果は主として水路部から簡潔な報告書や色刷りの海底地形図や地質構造図等として刊行されてきた。口絵に成果の例としての海底地形図などを示す。

成果は図の刊行以前に速やかに地震予知連絡会に報告され、連絡会報にも掲載される。また関係者より適宜、地震学会・地質学会・地震関係シンポジウムなどで発表されている。

4. 利用可能な海底調査技術は？

地球の表面の71%は海であって、海底は現在の進んだナローマルチビーム測深機（シービーム、ハイドロチャート、ハイドロスイープ等）によるスワスサーベシステムや進んだサイドスキャンソナーシステム（グロリアやシーマークなど）の調査によって、海底の詳細が所によっては陸の5万分の1の地形図並に分ってきた。

海底の地層プロファイルを得ることが出来る反射法音波探査法についても機器が進歩し、堆積構造の、より高分解能で、より深部までのクリアな情報が得られる種々の調査手法が開発されてきた。沿岸部から水深150m位までの大陸棚の地層構造についてはスパーカー、サブボトムプロファイラー等の浅海・高分解能地層探査機からウォーターガン等の分解能良い記録を得られる音源を用いたシングルチャンネル反射音、波探査装置が利用できる。大陸斜面外縁部から斜面下部法深海底にいたる数千mに至る中深海でも大容量音源を持つシングルチャンネルあるいはマルチチャンネル反射法音波探査装置が活用され、さらに石油資源探査に用いられている三次元構造解析手法までが利用されている。相模湾内では反射法音波探査と屈折法音波探査の手法の併用やエクステンディング法およびロングオフセット法によるマルチチャンネル音波探査が実施され、深部地殻の速度構造が得られつつある。とは言ってもそれはまだ北米大陸周辺、アメリカ経済水域内や日本周辺海域など海洋先進国の周囲や、北海、中央海嶺など経済的、科学的にスポットライトを浴びたごく限られた特定海域の話である。日本周辺の水深1000m以浅の大陸棚と斜面上部の地形は水路部で行った1/20万大陸棚海の基本図測量の成果で初めて包括

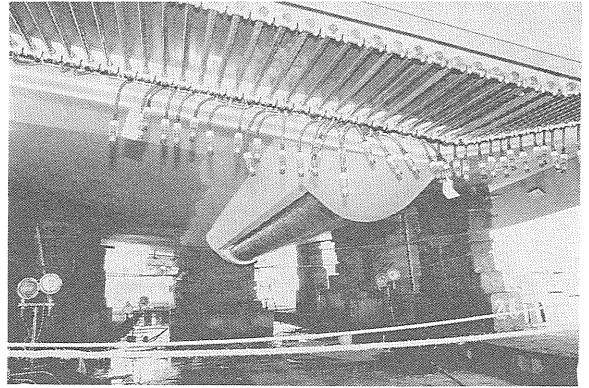
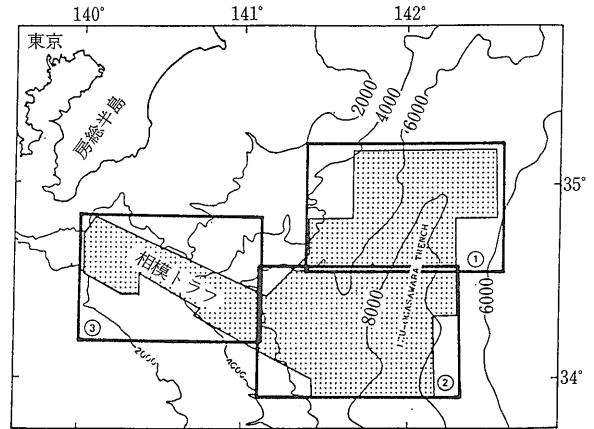


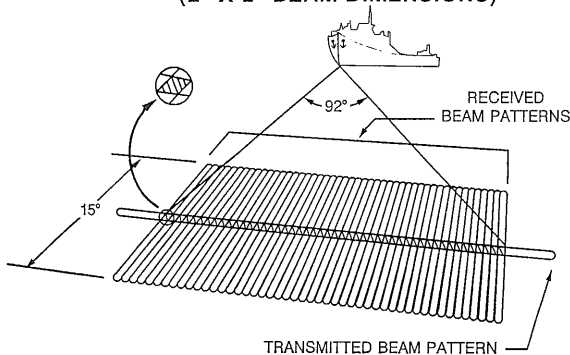
写真1 海上保安庁水路部の「明洋」船底のシービーム受波器。カバーをはずした状態で、ハイドロフォン（受波器）やプロジェクトター（送波器）の列が見えている。



第5図 房総半島沖の調査区域。①の区域の調査結果を第6図と口絵4に示す。

SEA BEAM 2000

46 FORMED BEAMS
(2° X 2° BEAM DIMENSIONS)



第4図 シービーム2000の原理とビームパターン。

的に明らかにされた。しかし、その地形の分解能は、当時とすればいかに高密度測線でのシングルビーム測深機による測量であっても、最新のナローマルチビームマッピングに比べると遜色がある。というのは、例えば最新の“シービーム2000”では船から発射、受信される測深ビームは左右・前後2度に絞られた鋭い合成ビームだからである。このため、細かい海底地形の起伏が従来のシングルビームの測深機に較べはるかに良く分ること、また横幅92度に広がった多数の水深データ（シービーム2000では見掛上46点）が船の航走とともに同時に得られるスワス（芝刈り）サーベなので従来のシングルビームに較べ46倍の作業効率が上がること、さらに船上でリアルタイムで海底地形素図が描出されること、またデジタルデータの収録によりエラー等の諸補正、三次元描画などの後処理が容易な点などの利点がある。第4図にシービー

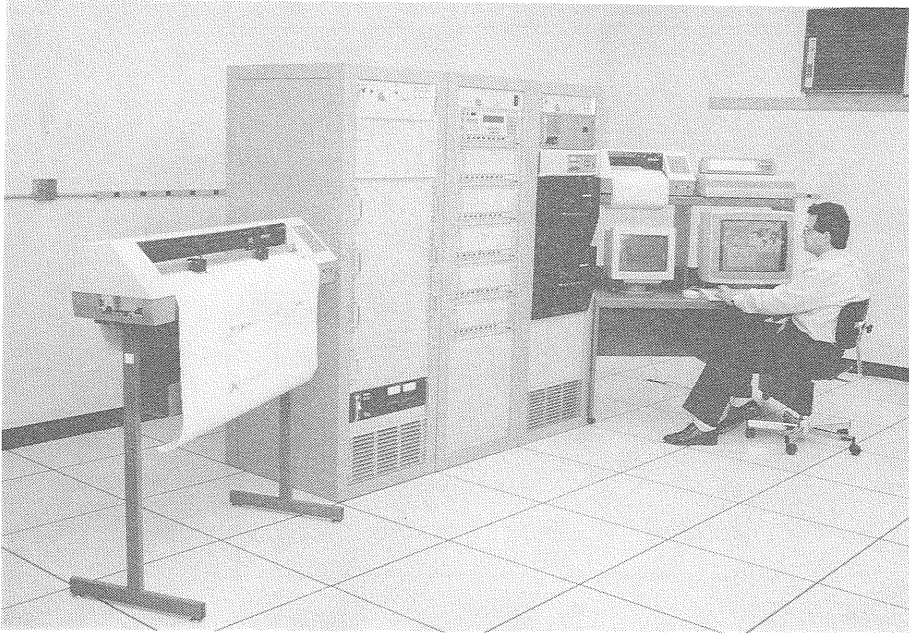
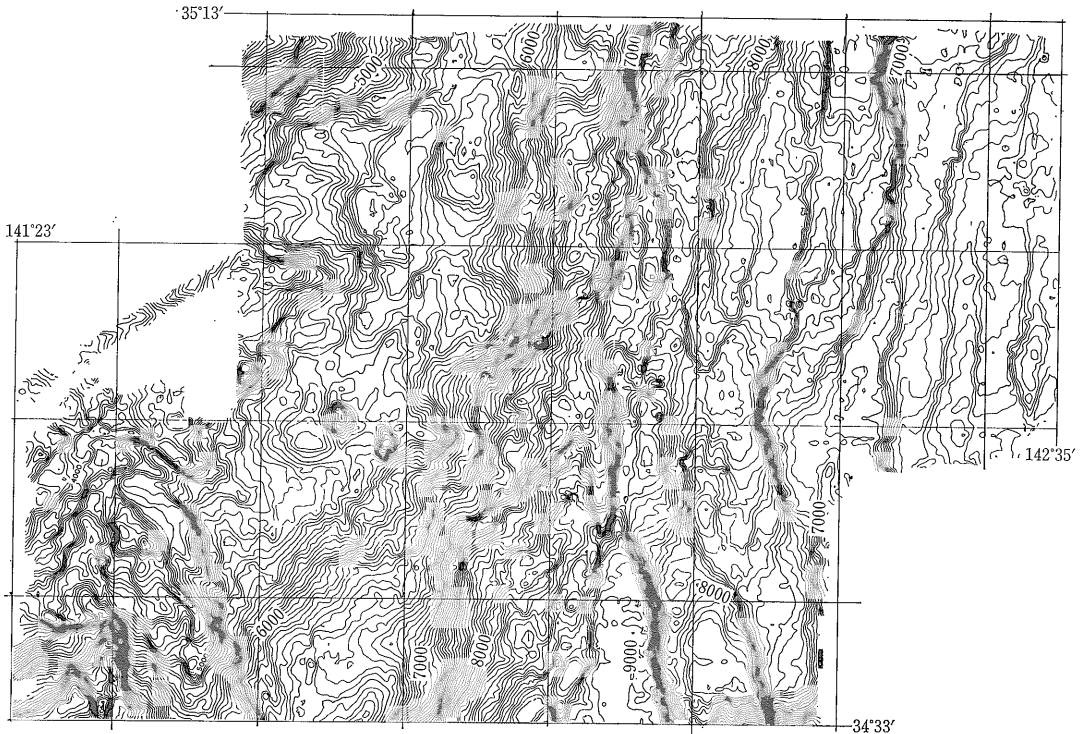


写真2 新「明洋」に搭載されたシービーム2000/12のデータ処理装置全景（設置直前の状態）。

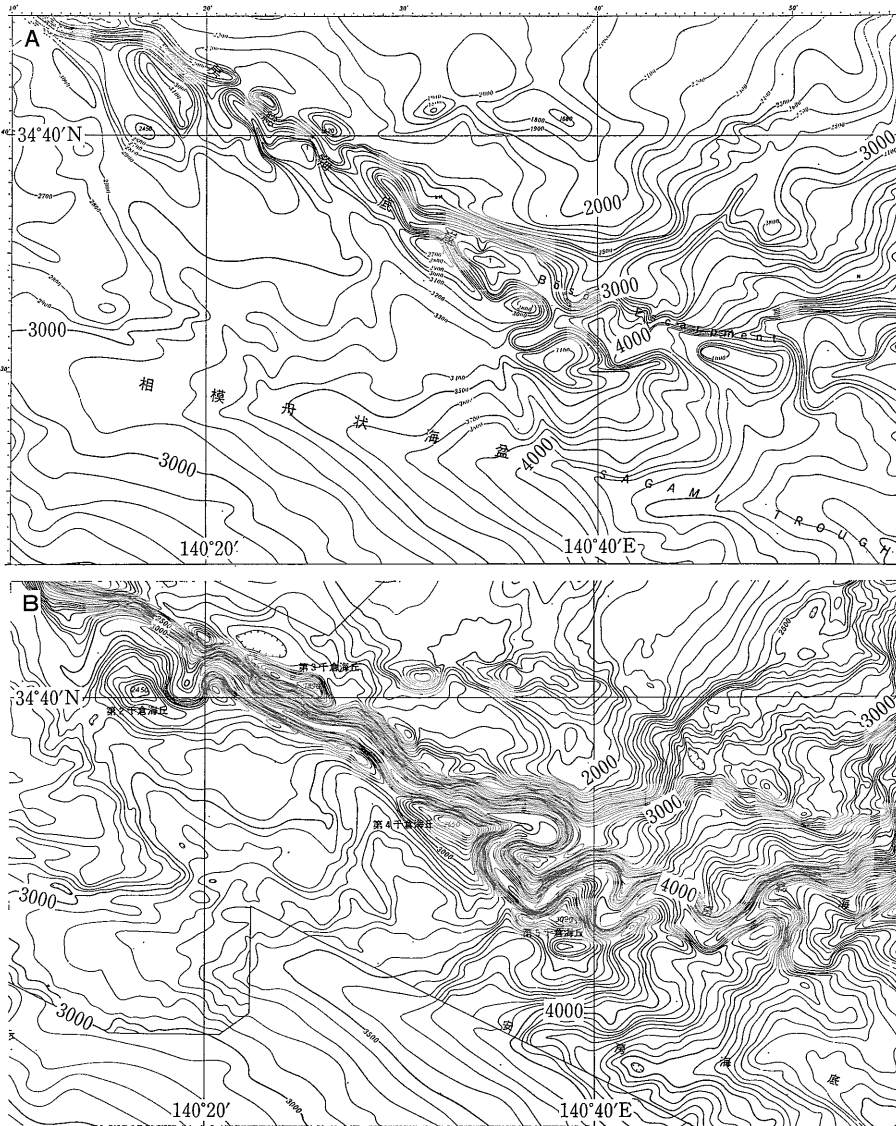


第6図 房総半島沖海溝三重点北側のシービームマップ。地形の急変するところはコンターが密になり、この図では黒くみえる。同一範囲を立体視した図を口絵4に示す。

ム2000による海底測定の概念図を示す。第6図と口絵の一部はシービームマップ、そのデータから描いた海底地形図とその3次元表示である。

地形の非常に複雑なところや蛇行している海底谷の実
1990年12月号

態解明には、シービームによるスワスサーベヤシーマークによる海底画像マッピングで砥めるように海底地形を浮上らせる調査に抛らなければはなはだ困難である。調査実例として、第7図に従来のシングルビーム測量デ



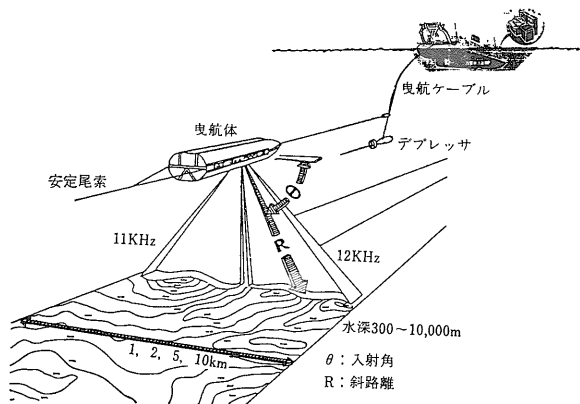
第7図
房総半島沖，房総海底地形図の新旧比較。第5図の③の区域。原図は25万分の1地形図。A(上)：従来の音響測深機による(1980年)，B(下)：ナローマルチビーム測深機による(1988年)。

ータで描いた房総沖海底地形と，新たにシービームで同一箇所を測量して描いた海底地形の比較を示す。この例で示すように，シービームによる測量は飛躍的な多量・正確な海底情報を得られる事を証明し，海底地形にあらわれた地震などによる複雑・微細な変動地形をより正確に把握できるようになった事を示している。

現在，グローリアやシーマーク，その改良型であるイザナギシステムなど広域のサイドスキャンソナーが開発，利用され始めてきた(例えば，USGS, 1986)。第8図にシーマークによる海底調査の概念図を示す。システムの精度，分解能も次第に向上し海底の正確で微細な画像情報とデジタル水深値までが得られる様になっている。

海底の音響画像情報は地形の凸凹とともに底質の違いを色調で現わしてくれるので，これまでデジタル値から等深線を描き海底の崖や地滑り地形の判別を行っていたものが，目で直感的に把握出来るようになった。これにより海底に残っている，地震断層崖や裂隙，地震による崩壊地形や地滑り，海底に生じた地動，圧縮力等による噴砂マッドダイアピルなどが判別出来るようになると期待される。これらは，その地域の変動史や地殻応力方向を示す指標となる。

水路部では地質調査所と協力して地震予知の特定観測である常盤沖でマルチチャンネル音波探査を実施した。また観測強化地域である首都圏近傍の相模湾，駿河湾，



第8図 シーマークの原理と曳航概念図 (大塚, 1989)

遠州灘沖などでもマルチチャンネル音波探査を実施し、海溝から陸側海溝斜面にいたる地質断面プロファイルを提供してきた。特に、駿河トラフから遠州灘沖ではフィリピン海プレートが陸部地塊の下に潜り込もうとし、陸側斜面下部の撓曲した海溝付加体構造やその下に斜めに潜り込む海側プレート上部反射面の様子が得られた(第9図, 第10-a, b図参照)。最近では房総半島沖の海溝会合三重点での調査を実施し、太平洋プレート、フィリピン海プレート、ユーラシアプレート(日本列島)の各プレートの重なり状態を明らかにするデータを提供した。これらの最近の海底調査技術の成果は地震予知調査作業への強力な支援となる。

5. 海底調査と地震予知に有効なデータの具体例

海底調査によって得られる地震予知の参考となるデータの例として、次のようなものがあげられる。

調査の種類と得られる地震予知データ

1) 海洋測量

A. 水深測量……水深変化

地震の前後の海底の地盤の変動量を探知(第11図参照)。

B. 海底地形調査……海底地形

海底の一般的な地形情報の他、①歴史的断層跡や活断層 ②海底地滑り地形 ③海底地割れと海底湧水等に関連する底棲生物コロニー分布地形 ④噴砂現象跡やマッドダイアピル、⑤海底段丘変位等(第12図参照)。

これらの海底変動地形をとらえ、地域応力場等を推定。

[手法]

1-a. スワサーベイ…デジタルマッピングによる海底地形の把握

1-b. 広域・高分解能サイドスキャン調査…海底画像マッピングによる海底地形の把握と音響的底質

分布の把握

1-c. ROV, 潜水船調査…目視地形調査による変動微細地形観察

2) 海底地質調査…表層地質分布…地層分布
[手法]

2-a. 底質採取と地質分析

2-b. ROV, 潜水船調査…海底露頭観察による岩種、地層の判別、海底年代の推定

3) 海底物理探査…海底下の構造

海底の構造、(活)断層、(活)褶曲、撓曲、異常堆積などの海底地殻変動状況の把握。

[手法]

3-a. 地層探査(サブボトムプロファイラー, スーパーカー, エアガン等の地層探査)…堆積層の構造調査

3-b. マルチチャンネル反射法音波探査…深部地質構造調査

3-c. 屈折法探査…深部地殻の速度構造推定

3-d. 地磁気調査…地殻歪みによる地磁気全磁力値の変動検知, 地磁気基盤深度の推定

3-e. 重力調査…基盤構造の推定

6. 将来展望

地震予知の3要素は時間, 場所, 規模と言われる。即ち, いつ, どこで, どの位の大きさの地震が起こるかを事前に, 出来るだけ早く, 正確に知ることが究極目標である。

海底の実態が明らかになるにつれ, 海底の地震の震源域には, 過去の多くの地震の化石(痕跡)が良い保存状態で残されていることが分ってきた。また, 将来は震源予想域である特定観測地域などでは地殻歪みエネルギーの蓄積状態の推定が海底調査でも可能となる。さらに, 陸だけでなく海でも, 過去の海底活動史解明から地震発生周期, 規模と具体的な地点の予想がたてられるようになる。地震を予知する努力の前には, 陸上部の情報(データ)だけでは片手落ちで, 陸・海間の不連続部分の無い予知データの供給が望まれている。このためにはシームレスに沿岸部から海岸を通して浅海部までの断層や地質構造情報が得られる新しい調査手法が期待される。しかし, この種の調査には沿岸レジャー業者や沿岸漁業者との利害対立など社会的制約も大きく, 調査実施には多くの苦勞を伴うのが通例である。

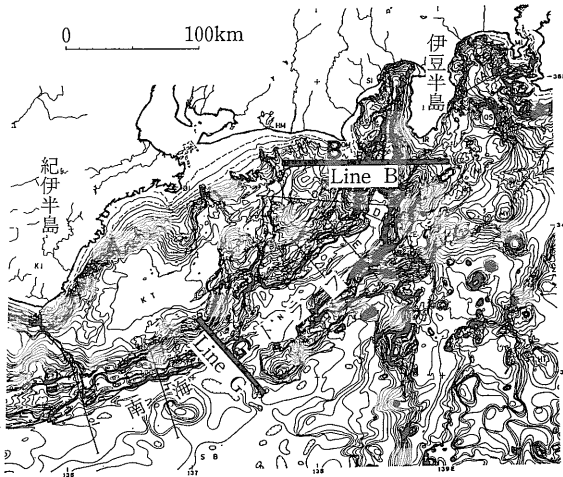
プレート説やオロジニーなどの理論的考察にもとづく地震発生予想に対し, 理場の実証データの提供もそれに劣らず重要である。データと理論とは両輪となって地震予知の知識を深めていく。このためには, より進んだ海底

調査技術を地震予知のために応用し、海底表層から深部地殻までの、高分解能な精密地形・地質・地球物理情報

を入手出来るようにすべきである。また海洋調査の分野では新しい調査機器・手法の発明が、従来にないすぐれたデータを提供し、それまでの概念を覆す新知見をもたらすことも多い。

震源に出来るだけ近く、特に被害地震の多く発生する海底に地震予知のセンサーを設置することは極めて効果的な手法の一つである。現在、雑音の少ない海底の特徴を生かして海底の地磁気・地電流データや湧出ガス・地下水などの地球化学データの収集と地震の前兆現象把握を結び付ける試みがある。さらに海底地盤変動検出のため、潜水調査と協調させた海底観測ステーションの設置などの計画も一部実現しかかっている。但し、海の調査は陸のそれに較べ多額の経費がかかる事を忘れてはならない。

これまで地震予知関連の国の予算は年間約60億円、これまで費やした国の予算は1千億円以上にのぼる。幸いにも首都圏を直撃する大地震は1923年（大正12年）の関東大震災以降起こっていないが、もし起れば前回の約15万人にのぼる人命の損失や莫大な経済的被害総額を上ま



第9図 遠州灘沖マルチチャンネル反射法音波探査記録位置図。第10図に結果を示す。

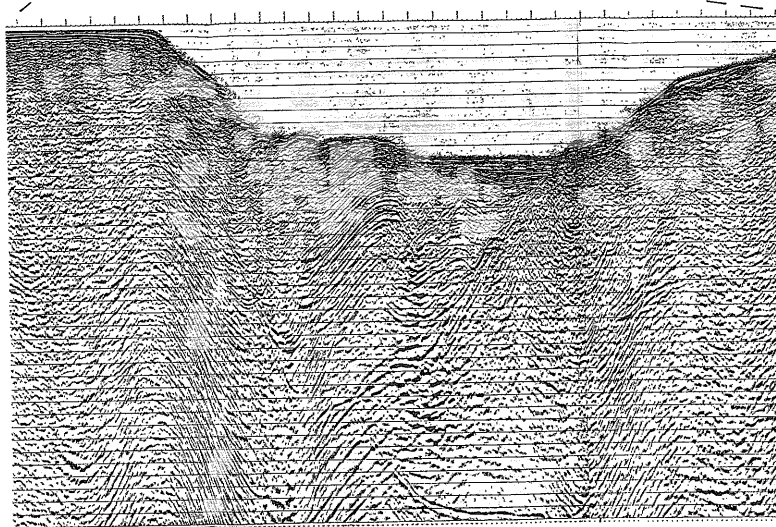
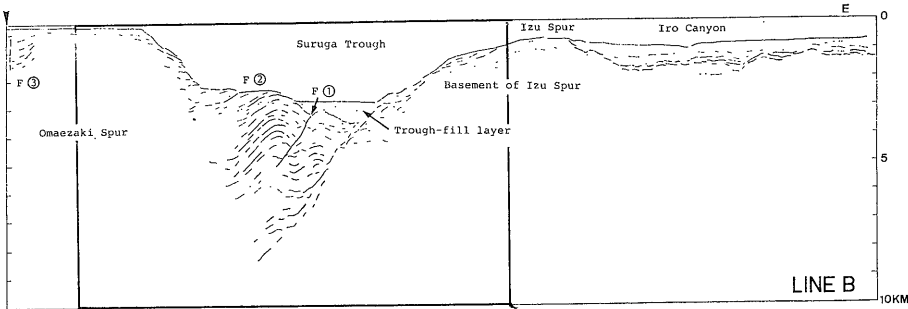
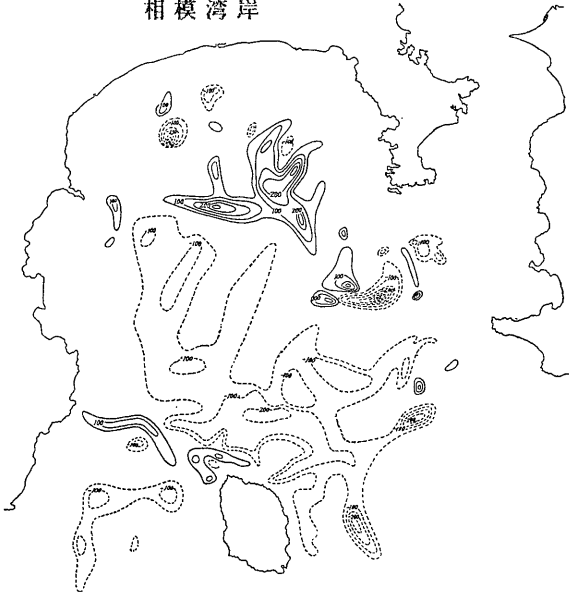


Figure 9-B

第10図 a
第9図の Line B のマルチチャンネル反射法音波探査記録（加藤ほか，1983）。

相模湾岸



第11図 関東大地震後の相模湾の水深変化図(茂木, 1959).
実線は海底の隆起を, 点線は沈降を示す等値線.

わる恐れもある。

これら, 国土を襲う破滅的大被害を未然に防ぐため, さらに詳しく, 高度な海底調査成果を生産することが, 我が国の地震予知に大きく貢献するのではなからうか。

文 献

石橋克彦 (1976): 東海地方に予想される大地震について. 地震学会予稿集, 2, 30~34.
 地質調査所 (1990): 地質ニュース no.432, 84p.
 萩原尊禮監修 (1983): 「地震の辞典」三省堂, 255p.
 国土地理院 (1988): 「地震とその予知」40p.
 測地学審議会 (1989): 「第6次地震予知計画の推進について(建議)」24p.
 丸善 (1990): 「理科年表」平成2年版, 1032p.
 科学技術庁 (1986): 「地震予知便覧」173p.
 海上保安庁水路部 (1979): Bathymetric Chart of the Area Adjacent to Sagami and Nankai Trough (1/50万).
 海上保安庁水路部 (1988): 房総半島東方海底地形図 (1/25万).
 海上保安庁水路部 (1983): 相模湾海底地形図 (1/10万).
 浅田 昭 (1986): シービームデータによる三次元表現法. 水路部研究報告, 21, 113-133.

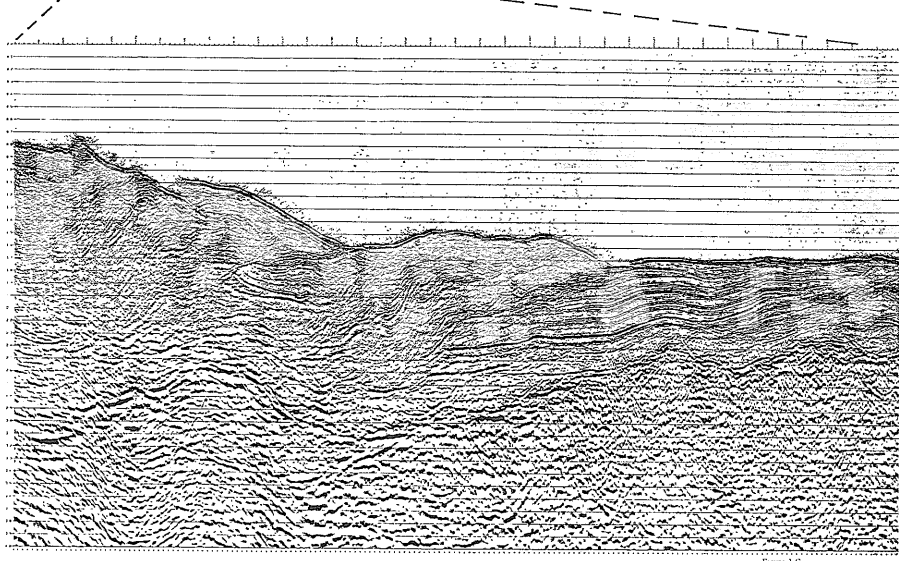
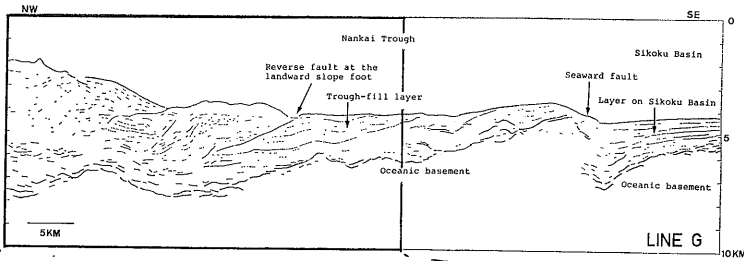
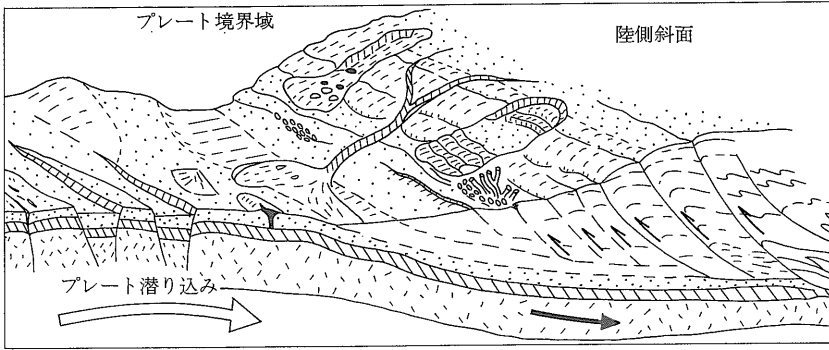


Figure 1-G

第10図b
第9図の Line G のマルチチャンネル反射法音波探査記録(加藤ほか, 1983).



第12図

海底の諸変動地形模式図 (平, 1989 を一部改変). プレート境界付近は, 地殻歪の蓄積により震源域となる. また多様な変動地形が観察される.

茂木昭夫 (1959): 関東大地震における相模湾海底変動について. 水路要報, 60, 52-60.

海上保安庁水路部 (1989): 「海洋調査機器」40p.

General Instrument (1988): 「シービーム 2000 について」. G.I.社資料.

大塚 清 (1989): Sea MARK システム. JAMSTEC, 1 (4), 60-61.

山本富士夫・徳山英一・依光和夫・平 朝彦 (1989): 海底イメージングシステム IZANAGI の概要. 海洋調査技術, 1 (2), 45-5117.

U. S. Geological Surevey (1986): 「Atlas of the Exclusive Economic Zone, Western Conterminous United States, U. S. G. S.」

Miscellaneous Investigations Series, I-1792.

桜井 操・佐藤任弘・中条純輔・宮崎光旗 (1981): 常磐沖のマルチチャンネル反射法音波探査. 水路部研究報告, 16, 1-17.

加藤 茂・佐藤任弘・桜井 操 (1983): 南海・駿河・相模トラフのマルチチャンネル反射法音波調査. 水路部研究報告, 18, 1-24.

KATSURA Tadahiko (1990): Earthquake prediction and sea-bottom surveys.

<受付: 1990年10月8日>