

●島村英紀 北海道大学理学部助教 地球物理学 / しまむらひびき

# フィヨルドの地下構造を探る



海底地震計を海面に下ろす。まわりの山は新雪でおおわれている。

フィヨルドの底に海底地震計を並べ、人工地震を行うという世界で初めての実験が、昨年11月に北海道大学など日本の大学とノルウェーのベルゲン大学の共同で行われた。フィヨルドの地下構造がどうなっているかは、ごく浅い地質構造をのぞいては、いままで、あまり知られてはいなかった。

実験の場所は、氷河にとりかこまれた観光地としても有名なノルウェーの西岸にあるソグネフィヨルド。その長さは200km、本州

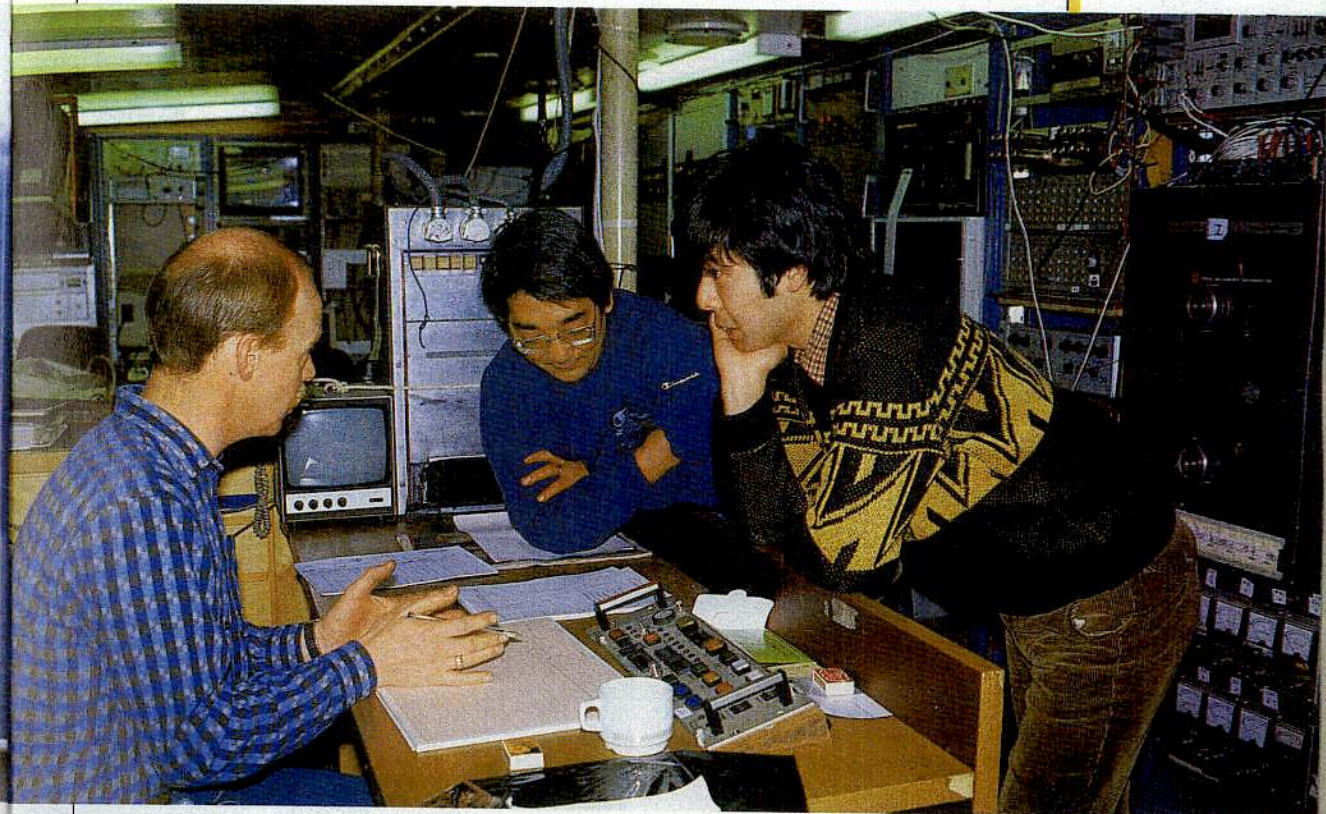
の幅くらいもあり、フィヨルドの多いノルウェーでもいちばん長いフィヨルドである。

ソグネフィヨルドの幅は、広いところでも5km、狭いところでは1kmあまりしかない。しかし、その深さは1300mを超え、ノルウェーのフィヨルドではもっとも深い。フィヨル



日本から運んできた海底地震計の組み立て作業はベルゲン大学で行われた。深海の水圧に耐えるために、直径43cmの強化ガラスの球に入れられる。





ドの両側は、谷川岳の一の倉沢のような切り立った崖が迫っているところが多い。船が、その崖にぶつかりそうなくらいに近づいても、船に備えてある測深儀は700mといった、にわかには信じがたい深さを示す。

実験にはベルゲン大学の観測船「ホーコンモスピー」(490t)が使われた。人工地震の受信機としては、日本から運ばれた6台の海底地震計が、また、音源としては、同船に

「ホーコンモスピー」。ベルゲン大学の海洋観測船。490tと小型だが、海洋地球科学の研究設備は日本の大型船より勝る。



装備された大型のエアガンが使われた。

海底地震計はポップアップ式海底地震計といわれるもので、北海道大学、東京大学などで開発され、日本近海で海底地球科学の研究に活躍しているもの。海面に下ろすだけで、自分で海底に沈んでいって、記録をとり始める。実験が終わったときには、船から超音波の信号を送ると、バラスト錘がはずれて、海底地震計は海面まで帰ってくる仕組みである。

エアガンから出た地震波は地殻の深くまで潜ってから、150mも離れた海底地震計に

「ホーコンモスピー」の観測室。最新設備でぎっしりだ。

エアガンの準備。エアガンは150気圧の圧搾空気を使う「空気の大砲」で、水中でごく小さい人工地震を起す。







「ホーンモスピー」の食堂。朝からバイキング料理、晩にはフルコースなど、日本の観測船とは比べものにならない料理だった。が、酒は飲めない。

記録された。これほどの距離でエアガンが記録されたのは、世界でもはじめてのことであった。これは、ノルウェーをつくっている岩が何億年も前の先カンブリア時代のものなので、硬くて地震波の通りがよいことと、海底地震計の感度が高いためであった。

データ解析は、いま日本とノルウェー両国で進行中だが、フィヨルドに設置した海底地

震計の記録から、フィヨルドの地下深部の構造を解明することが期待されている。(116頁の記事参照)

ベルゲン市の名物、魚市場。海産物は日本よりはるかに安い。ベルゲンはノルウェー第2の都会で人口22万人。



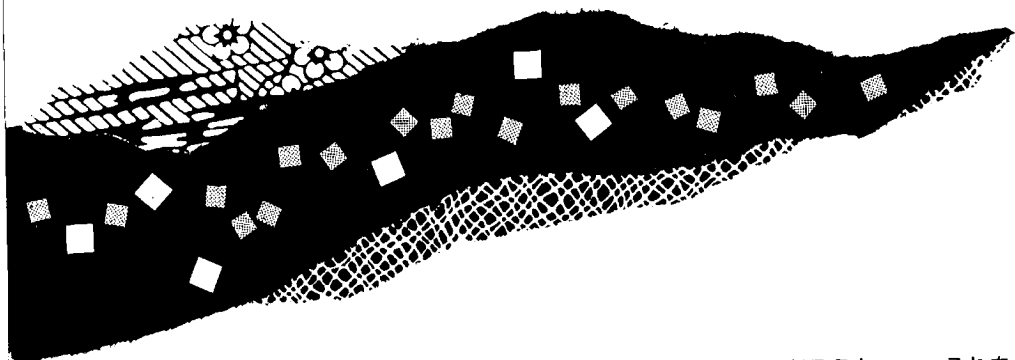
ソグネフィヨルドをいくフェリー。道路があちこちでフィヨルドにより寸断されているので、多くのフェリーが昼夜走り回っている。国の補助があるため料金は安い。



# 北欧で活躍する日本の海底地震計

●島村英紀

北海道大学理学部助教授/地球物理学/しまむら・ひでき



フィヨルドの地下はどんな構造をしているのだろうか——。それを探るため、日本とノルウェーの共同研究が進行中だ。そこでは、高性能の日本製海底地震計が大活躍している。ノルウェー以外からも、ひっぱりだこの人気である。

## 海底地震計使う「逆転の発想」

ノルウェーには、驚くほど多くのフィヨルドがある。その大半は大西洋の海岸から内陸に向かって伸びていて、なかでも、長さ200キロメートルももっとも長いのがソグネフィヨルドである(●)。

このフィヨルドは、ノルウェー西海岸にある同国第2の都市、ベルゲンに近いこともある。観光シーズンには、狭いフィヨルドのなかを、大型の客船や大小さまざまな観光船が行き交い、両側に迫った山岳地帯や氷河の景色に、人々は息をのむ。

フィヨルドは、氷河が削った地形である。しかし、その地下構造がどうなっているのかは、まだよくわかっていない。フィヨルドの両岸にある岩を調べて、表面の地質構造だけはわかっているのだが、もっと深いところ、つまりフィヨルドの地下構造も含めて、そも

そもノルウェーの地下構造はそれほどわかっているわけではないのである。

それを調べるためには人工地震が必要なのだが、ノルウェーではふつうの人工地震の手法がきわめて使いにくい。それは、山や氷河やフィヨルドがいたるところに入り組んでいるために、陸上に地震計を何基かごとに100キロ以上の長さにわたって並べて人工地震を行うことが難しいからであった。

一方、最近では海底地震計を使った、海での人工地震の進歩はめざましい。いままでよりもはるかに能率よく行えるようになったばかりか、陸上の人工地震よりも長い距離を短時間に調べあげることさえできる。その海底地震計をフィヨルドの底に置いて、フィヨルドの地下構造とそのまわりのノルウェーの地下構造を調べようという、いままで誰も考えつかなかった研究が、1987年11月に初めて試みられた。

これは、日本の海底地震計をノルウェーに



運び、ノルウェーの観測船を使って設置し、その海底地震計を受信器として人工地震を行うという、日本とノルウェーとの共同研究として行われた。つまり、この海底地震計を使った実験は、いままでは陸上ではできなかった「大陸」の下の地殻構造の研究を「海底」地震計を使って調べようという、「逆転の発想」の試みでもあった。

ノルウェーは日本と同じく、海のプレートと陸のプレートの境界だが、日本の場合は大地震を起こす「活動的な境界」なのに対し、ノルウェーは大地震は起こさない「受動的な境界」である。このため、ノルウェーでのこの実験は、地球科学や地震発生についての研究を進めるうえで、日本と比べる意味でも重要なのである。

### 狭いが深いフィヨルド

ソグネフィヨルドの幅は、広いところで5<sup>キロ</sup>、狭いところでは1<sup>キロ</sup>あまりしかない。かなり曲がりくねっていて、全長は200<sup>キロ</sup>を超えるが、直線距離は150<sup>キロ</sup>ほどである。しかし、その深さは1300<sup>メートル</sup>を超え、ノルウェーのフィヨルドではもっとも深い。このフィヨルドは、大西洋からの入り口は水深200～300<sup>メートル</sup>と比較的浅く、奥へ入ったほうが深い。フィヨルドの両側の斜面は、切り立った崖が迫っているところが多い。

フィヨルドはこのように狭く長く、しかも入り口にくらべて奥のほうがずっと深い。だから、フィヨルドの中の海水が入れ替わることはほとんどない。このことが悲劇を生んでいる。世界でもっとも美しい自然が残されていると思われているノルウェーのフィヨルドでは、じつは公害が深

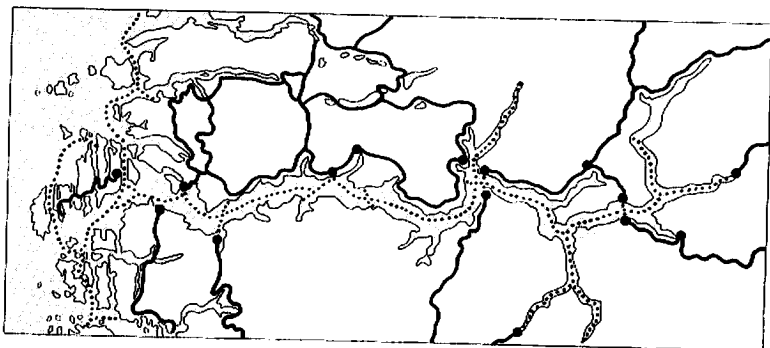
刻な問題になっている。沿岸の工業活動のために、いったん汚染されたフィヨルドでは、もう水をきれいにすることはできないからである。

海底地震計をフィヨルドの底に置くというのは、世界で初めてのことであった。このため、フィヨルドの底は海底地震計が置けるほど平らなのかどうか、海底地震計のバラスト錘を切り離す電気的なメカニズムは海水の中でないと働かないので、フィヨルドの底の塩分はどのくらいかとか、ふだん海の観測では必要のない多くの心配があった。しかし幸い、フィヨルドの底は、ごく入り口では凹凸があるものの、ほとんどのところでは堆積物が深いU字型の海底谷を埋めていて、平らであった。だからフィヨルドは、実際にはもっとずっと深いことになる。

また、底での塩分は約3.5%、ふつうの海とかわらない。

人工地震の受信器として使われる海底地震計の6台は、日本から運ばれた。海底地震計はこの15年ほどの間に日本で急速に進歩したもので、北海道大学、東京大学などで開発され、地震予知研究や海底下の地下構造の研究など、海底地球科学の研究に活躍している。世界で海底地震計を開発しているグループはいくつかあるが、それらの海底地震計の中でも信頼性が高く、もっとも研究実績が多い。1人でもてる程度と、世界でもっとも小

①ソグネフィヨルド。蛇のように曲がりくねっているうえ、支流も多い。ノルウェーの道はフィヨルドで寸断されている。そのため、点線で示したように、フェリーがいたるところを走っている。





②日本から運んだポップアップ式海底地震計。小型軽量のうえ、信頼性も高い。

型軽量につくられているのも特徴である(②)。

この海底地震計はポップアップ式といわれるもので、海面に下ろすだけで自分で海底に沈んでいき、内蔵した磁気テープに記録をとり始める。実験が終わったときには、船から超音波の信号を送ると、バラスト錘がはずれて、海底地震計は海面まで帰ってくる仕組みである。

### エアガンで人工地震起こす

実験にはベルゲン大学の観測船「ホーコンモスピー」(490ト)が使われた(③)。観測船としてはそう大きい船ではないが、海底での地球科学観測のための装備は、日本最大の観測船よりも勝る。じつは、この船はノルウェー唯一の観測船ではなく、数ある姉妹船のひとつでしかない。北海道よりも人口の少ないノルウェーが、日本より立派な観測船を多くもっているというのでは、「海洋国家」日本の看板が泣くのではないだろうか。

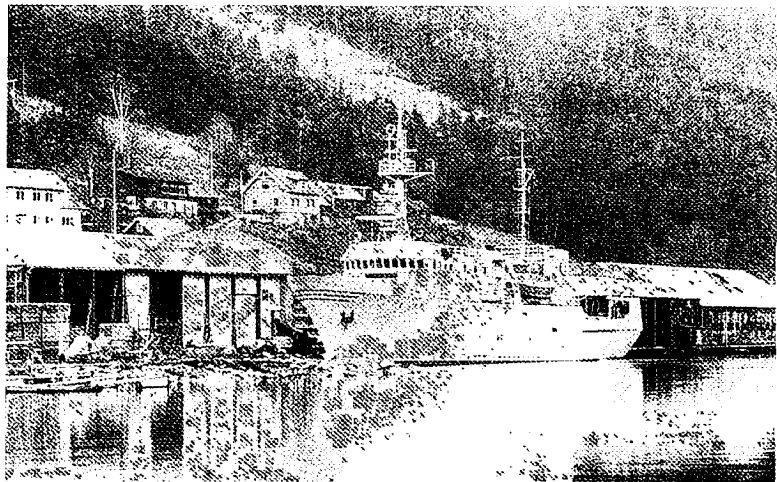
長さ200キロのソグネフィヨルドの端から端まで、約30キロごとに6台の海底地震計を設置したあと、「ホーコンモスピー」はエアガ

ンで人工地震を起こしながら、こんどはフィヨルドを反対側に向けて走った。

エアガンとは、高圧の空気を使う空気の大砲で、海の人工地震に使われる(④)。もともとは海底の石油地震探査のために、海中で地震波を発生する道具である。人工地震といっても、ミニミニ地震。近くにいる魚さえ死ぬことはない。今回の実験では、容積20%のエアガンを4台、並列に運転した。4台のエアガンは、それぞれ微妙に時間をずらせて、全体として1発のパルスの地震波を出すように調整される。この技術は、石油の探査技術の高いノルウェーのお家芸である。

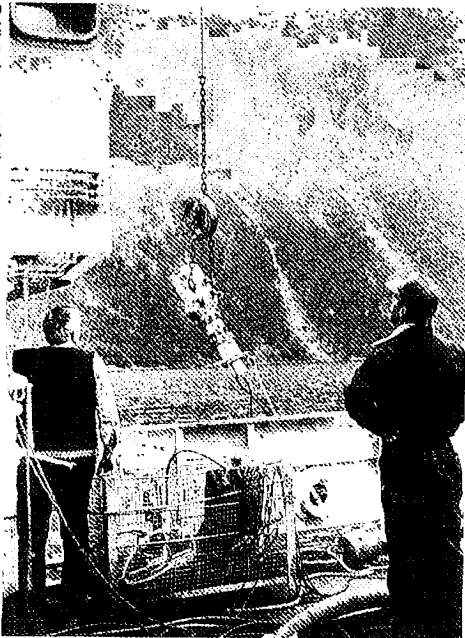
このエアガンから出たミニ地震波は地殻の深くまで潜り、さらに上部マントルまで潜ってから、いちばん遠くの150キロも離れた海底地震計に記録された(⑤)。これほどの距離でエアガンが記録されたのは、世界で初めてだった。これは、スカンジナビアの地下の岩が古くて硬く、地震波の伝わり方が他の地域よりもはるかによいことと、日本の海底地震計の感度が高いことのせいだろう。ちなみに、日本では湖でエアガンをやっても、陸上の地震計にはせいぜい数キロしか信号が伝わらない。

エアガン作業の後、海底地震計はいったん船上に回収され、こんどはフィヨルドの中の別の6地点に設置され、エアガンがくりかえ



③母港ベルゲンに停泊する「ホーコンモスピー」。

海中でミニ地震を起こすエアガン。



された。エアガンによる人工地震は合計2000発。延べ12台の海底地震計で2万4000本もの地震記録が得られた。この大量のデータによって、精密な地下構造が調べられることになる。

### 正確な船の位置測定で苦勞

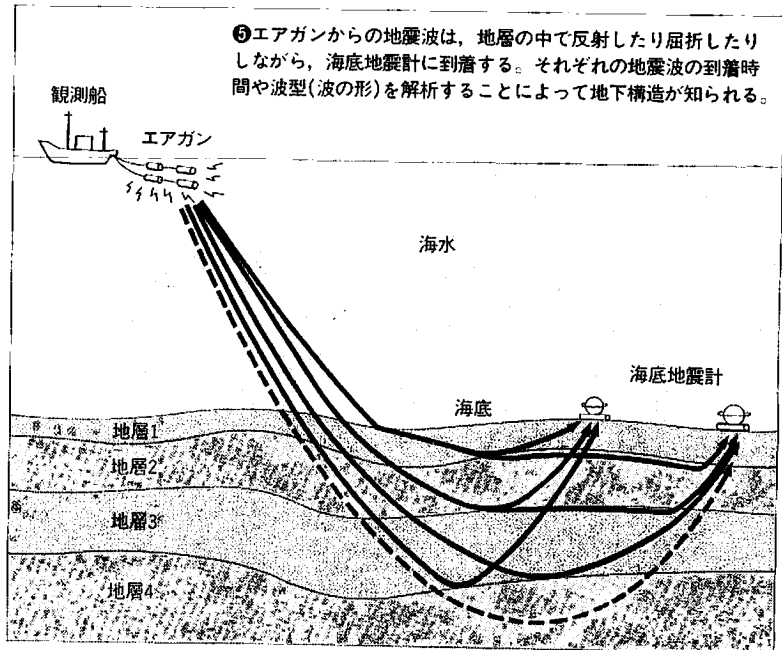
海での地震探査のときには、船の位置が実験の基準になる。このため、精密な解析をするために、正確な船の位置を決めなければならない。今回は、フィヨルドの岸に電波測距儀を臨時に置き、そこから船までの距離を精密に測定して時々刻々の船の位置を決めた。電波測距儀は、精度がよいかわりに約10<sup>4</sup>mまでの距離しか測れず、しかも曲がりくねったフィヨルドでは、船が山の陰にはいつ

しまうと使えない。

このため、フィヨルドの両岸にそれぞれ電波測距儀をのせた観測車を配して、その観測車は船が動くとともに移動した。これは大変な作業であった。フィヨルドの岸の道は、ときには岩山を大きく迂回し、ときにはフィヨルドの支流をフェリーで越える。いちばん見通しのよい岬は陸からは取りつけず、小さな船をチャーターしてやっとたどりついた。フィヨルドでは、移動は船のほうがよほど速いのである。それで、陸上の電波測距儀が移動し終えるまで、船が待機することも何回かあった。その実験の間、観測車の運転者は不眠不休でがんばったのである。

しかし、おかげで実験はじつにうまくいった。すべてのエアガンが海底地震計に全部記録されていることがわかった。データ解析は、いま日本とノルウェー両国で進行中だが、データが大量なだけに、結果がまとまるまでには1年ほどかかる。この実験の成功によって、いままで知られていなかったフィヨルドの深部地下構造を、高い精度で解明することができると期待されている。

今回の実験では、島村英紀、岩崎貴哉（と



もに北大海底地震観測施設)、金沢敏彦(東大理学部)の3人がノルウェーを訪れた。日本側の研究費は、文部省の海外学術調査の費用でまかなわれた。

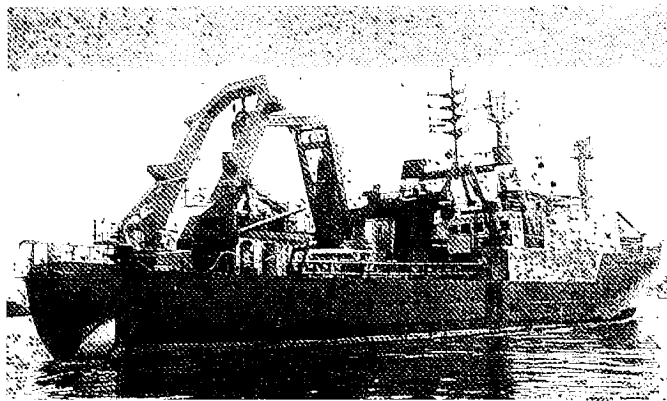
この共同実験の成功によって、今年と来年の夏に予定されている

次の実験では、ノルウェーから大西洋中央海嶺にかけての海域で地下構造をさぐるため、今年よりずっと多い約20台の海底地震計を使った大規模な人工地震と自然地震観測が行われることになった。観測船としては、ノルウェー側から「ホーコンモスピー」が再び提供される。

### ひっぱりだこの海底地震計

この学術調査全体としては、この付近のプレートの現在の動きを知ることを目的としていて、まずその東端から調べ始めたわけである。そのために、精密な地下構造を明らかにすることと、この地域で起こっている微小地震の活動を海底地震計を使って調べあげることが目標である。

たとえばノルウェーの大西洋岸のすぐ沖では、海底の堆積物の上に広い範囲にわたって



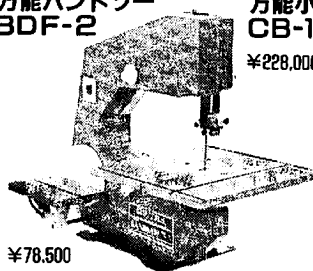
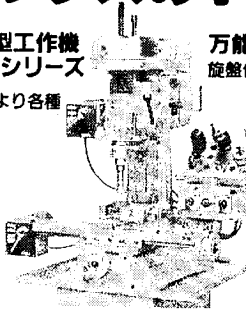

⑥西独の観測船「ソネ」巨大なクレীনをもつ、いかつい船だ。一年中、太平洋とインド洋だけを持ち場にして観測を続けている。

固まった溶岩流がかぶさっていて、海底地震計を使った地震探査を行わないかぎり、その下にある地下構造が見えないところがあるなど、この研究地域は、いわばプレート・テクトニクス研究の「空白の地域」なのである。

なお、日本の海底地震計は前述したように信頼性が高く、小型軽量につくられており、同種のものにはヨーロッパにもアメリカにもない。このため、今回のノルウェーでの実験は欧州各国の注目をひいた。西独とフランスはとくに熱心で、私たちが準備をしているベルゲンまで、わざわざ海底地震計の見学にやってきたほどであった。

こうして、ノルウェーとの共同研究のほかにも、西独のハンブルク大学からも共同研究の申し入れを受けることになった。これは、やはり北大西洋で、本調査のやや西よりの地域が対象。ここで、日本の海底地震計を受信

## エンジニアリングハウス ベルメックスの小型工作機械

<p><b>万能バンドソー BDF-2</b></p>  <p>¥78,500</p>	<p><b>万能小型工作機 CB-15シリーズ</b></p> <p>¥228,000より各種</p> 	<p><b>万能金属工作機 マイフォード7シリーズ</b> 旋盤 旋盤作業・フライス加工・ネジ切り・穴明け・歯車切り・自動送り</p> <p>研究開発・試作・教育・ 模型・ホビー・メンテ ナンス用に便利</p> 
--	---	--

カタログは電話かかぎで請求  
下さい。(機種名お知らせ下さい)

**ベルメックス インターナショナル 株**  
〒103 東京都中央区日本橋本町4番15号11市橋ビル661-3314代



機として、トモグラフィーの人工地震を行いたいというもので、成功すれば世界でもまれな、精密な3次元的な地下構造の「透視」ができることになる。これには、西独の最新鋭の観測船「新メテオール」(4000ト)が用意されている。

このほか、フランスのパリ大学からは、アフリカのジブチで、日本の海底地震計にぜひきてほしいという共同研究も申し込まれている。ジブチはフランスの旧植民地で、紅海の入りに近く、アフリカプレートがこれから2つに分かれていこうという要点の場所にある。ここでは、平原いきなり火山が生まれたり、地震が頻発したりして、大陸の移動がまさに始まろうとしているところだ。

いま起こりつつあるこのドラマを研究するためには、紅海の一部であるタジュラ湾の底で活発に起きている地震の活動を、私たちの海底地震計と、パリ大学が湾のまわりの陸上に展開する陸上地震計を使って、精密に観測することがどうしても必要なのである。

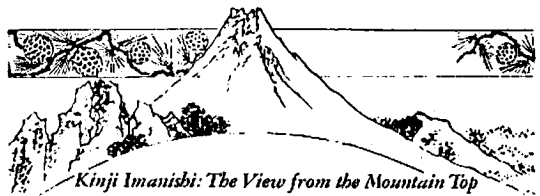
これらの共同研究のほかに、今年の4月には、西独の観測船「ゾンネ」(2600ト、⑥)が日本にやってきて、琉球海溝から沖縄トラフにかけての海域で、西独の大学と共同の海底地震観測を行う計画も進んでいる。これは1984年に九州南方で行った共同研究の続きで、フィリピン海プレートの潜り込みを調べる研究である。

フィリピン海プレートの潜り込みは、東海地震を起こす原因でもあり、その意味では地震予知研究の一環でもある。前回の実験では、当時、世界でももっとも多い海底地震計を投入して、プレートが島弧の下に潜り込んでいくありさまを世界で初めて完全に求めることに成功している。

このように、私たちの海底地震計は、あちこちから共同研究を申し込まれている。これからはしばらくの間、忙しいことになりそうである。

## 築地書館 [新刊案内]

〒104 東京都中央区築地2-10-12 ☎03-542-3731 振替東京1-19057



# 今西進化論 批判の旅

ホールステッド[著] 中山照子[訳] 櫻町翠軒[監修] イギリス古生物学界の権威で「ダーウィンの番犬」と呼ばれるホールステッド博士の日本滞在記。「ネイチャー」誌上での進化論論争、今西錦司博士との会見記を収録。 四六判 ¥2200

# おいしい水は宝もの

大野の水を守る会[著] 全国でも有数の地下水盆をもつ福井県大野市。ここを舞台にくりひろげられている地下水を守る活動の記録。環境保護運動に多くの示唆を与える。 四六判 ¥1500

# 鼻はなぜあるのか

高橋良[著] 世界的な鼻科医である著者がヒトの進化による鼻の異常ということをもてら、サルとヒトの鼻、脳の優位性と鼻の関係から、クオパトラの鼻の考察まで、縦横に書きおろした。 A5判両入 ¥4500



[甲虫シリーズ]2

# ガキリムシの魅力

露木繁雄+斎藤秀生+入江平吉+高桑正敏[共著] 虫好きのあいだで圧倒的な人気を誇るガキリムシ。そのガキリムシの魅力「ガキリ屋」の4人があますところなく語る。「甲虫の生活」につづく[甲虫シリーズ] 待望の第2弾 四六判 ¥2000

