

海底下深部構造フロンティアデータベースシステムについて

木戸 ゆかり^{*1} 鶴 哲郎^{*1} 朴 進午^{*1}
東方 外志彦^{*1} 金田 義行^{*1} 河野 芳輝^{*1}

海洋地球科学データが蓄積し、様々なデータを整理し、汎用性の広いデータベースの構築が求められている。海底下深部構造フロンティアでは、データ精度の良いものを選択し、海底下の構造解析に用い、入出力機能や可視化に優れた支援ツールを搭載した、データベース構築を目指している。フロンティアプロジェクトの目的は、重点的に海溝付近の過去の変動史～現在の現象～未来の予測をすることである。多角的にデータを収集し、集約した機能を持つ目的指向のデータベースが求められている。地震、ポテンシャル、地殻構造、熱流量データを活用し、日本周辺のプレート運動や地震活動シミュレーションの基礎データを提供し、信頼性のある深部構造モデルを確立するための支援ツールとして利用することになる。モデルと現実の海底下の地殻変動との検証を重ね、より具体的かつ現実的なシミュレーションを目指しつつ、データベースの内容も進化させていきたい。

キーワード：海底下深部構造フロンティア、データベース、海溝、地殻構造、重磁力解析

Utilization of the Frontier Database System

Yukari KIDO^{*2} Tetsuro TSURU^{*2} Jin-Oh PARK^{*2}
Toshihiko HIGASHIKATA^{*2} Yoshiyuki KANEDA^{*2} Yoshiteru KONO^{*2}

Marine geophysical data of bathymetry, geomagnetics, gravity, heat flow measurements, and crustal structure have been acquired and integrated since the 1960's internationally by oceanographic institutions including the Japan Marine Science and Technology Center (JAMSTEC). We are developing a global marine geophysical database system and making compilations and analyses of these data. Several research vessels in JAMSTEC are equipped with various advanced marine geophysical instruments. Geophysical data sets obtained during cruises are entered into the JAMSTEC Database after appropriate editing and formatting. The Database is expanded as additional data are collected, employed for realistic parameters in modeling and simulation studies, and used as the basis for planning additional cruises in areas with sparse data. We are in the process of compiling crustal structure, marine geomagnetic and gravity data off northeastern Japan to clarify the geophysical characteristics of magnetic lineations on the subducting plate and trench gravity anomalies in that region. The characteristics of different geophysical properties are related to the tectonic component origins, subsequent deformation and other possible processes of subduction. We will continue to examine several subduction models as additional data are obtained during future Frontier surveys.

Key words : 3-D modelling, Crustal structure, Database, Subduction, Trench

* 1 海洋科学技術センター 海底下深部構造フロンティア

* 2 Frontier Research Program for Subduction Dynamics, Japan Marine Science and Technology Center (JAMSTEC)

1. はじめに

近年地球物理探査の必要性がますます高まり、海陸間わず様々な手段でデータが取得され、測定装置の精度も一昔前とは比較にならないほど向上し、2桁以上進んだ解析ができるようになった。20年前には未知の領域であった海洋も、今や海洋観測網の発達や人工衛星による高速データ通信の確立により、様々な種類のデータがリアルタイムで取得されている。日本周辺の地球物理学的データのコンパイルをすると、日本列島はどこになるのかもわからないほど測線が密集し、データ量の豊富さが伺われる。

良質のデータを用いて詳細な地球史を解明することも可能な時代になった。現在、海洋科学技術センター(以下、センター)では、海洋観測データ(船舶の位置、水深、気象、重力、地磁気などのデジタルデータ)を、ライブラリに収録/編集/保管している。近年計算機器のハードウェア/ソフトウェアの格段の進歩により、取得したデータを用いて精密な作図が可能となり、地球科学的な解釈に貢献できるようになってきている。しかしながら、それらのほとんどは各航海ごとにまとめられ、論文作成や学会発表されるにとどまっている。多数の協力や巨費を投じて得られたデータは、論文や学会発表後にも有効に利用されるべきである。過去に得られたデータをまとめることは、地球の深部構造をより詳細に知るために極めて重要であり、また、将来の探査計画の資料として大いに活用されるべきものである。そのための支援ツールとしてのデータベースの役割とは、精度のそろった多種のデータを系統立って管理し、古いデータと比較

し、より良質なデータへと更新しながら、データの整理を行うことである。利用者が、ツールを駆使しながら、研究活動に役立つ情報を引き出し、理解しやすい作図を行い、場合によっては、研究者の利用し易いようにカスタマイズしていくといった汎用性/融通性のある、地球科学データベースが必要である。本稿では、広範囲にわたるデータ収集を行い、海溝域のテクトニクスを論じるための解析ツールを整備した、目的指向のデータベースについて紹介する。

2. フロンティアデータベース

2.1 概要

海底下深部構造フロンティア(以下、フロンティア)は、地震総合フロンティア研究の1つとして、海洋科学技術センター内に設立された地震研究プロジェクトである。フロンティアの研究目的はセンターの機能を活用して、海溝域で発生する巨大地震の発生メカニズムの解明や地震発生長期予測モデルの構築を行うことにある。その一環として、深海調査船「かいれい」、「よこすか」、「かいよう」等を用いたマルチチャンネル反射法地震(MCS)ならびに海底地震計屈折法(OBS)、地形、重力、地磁気を主とした探査を実施し、深部構造の解明を目指している。また、日本周辺の海溝域の地球科学を総合的に論じるため、平成9年度より、深部構造探査結果と海底地形、活構造、重力、地磁気、地殻熱流量、ならびに生物群集データ等の地球科学基礎データから成るデータベースを構築しつつある(図1, 2)。

このフロンティアデータベースには、既存の地球科学

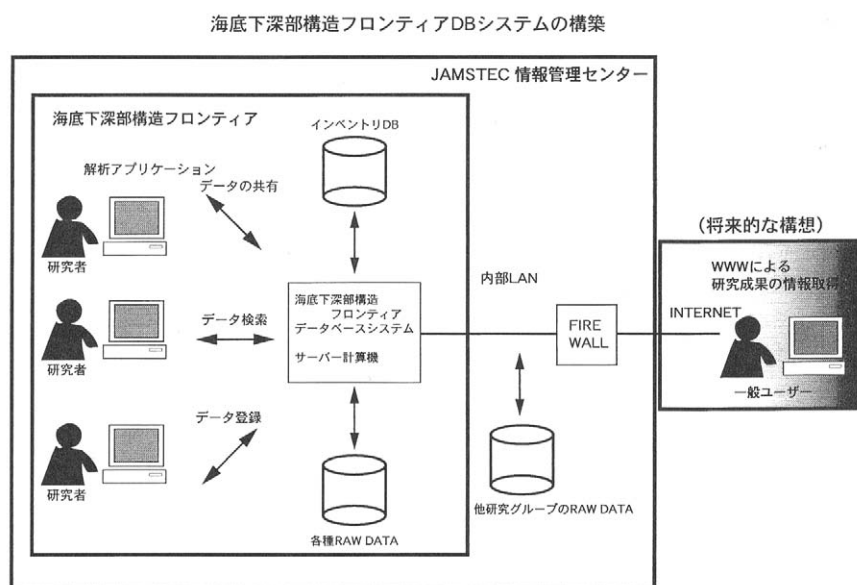


図1 フロンティアデータベースの流れ図、所内のデータベースの枠組みの中で海底下深部構造フロンティア独自のデータベースを構築しつつあり将来的には、インターネットで公開できるような充実度を目指す。

Fig. 1 Systematic figure of Frontier research program for subduction dynamics Database system. The assembly of a database containing datasets ranging from earthquake and potential data to models of crustal and thermal structure, will make it possible to carry out multi-faceted studies.

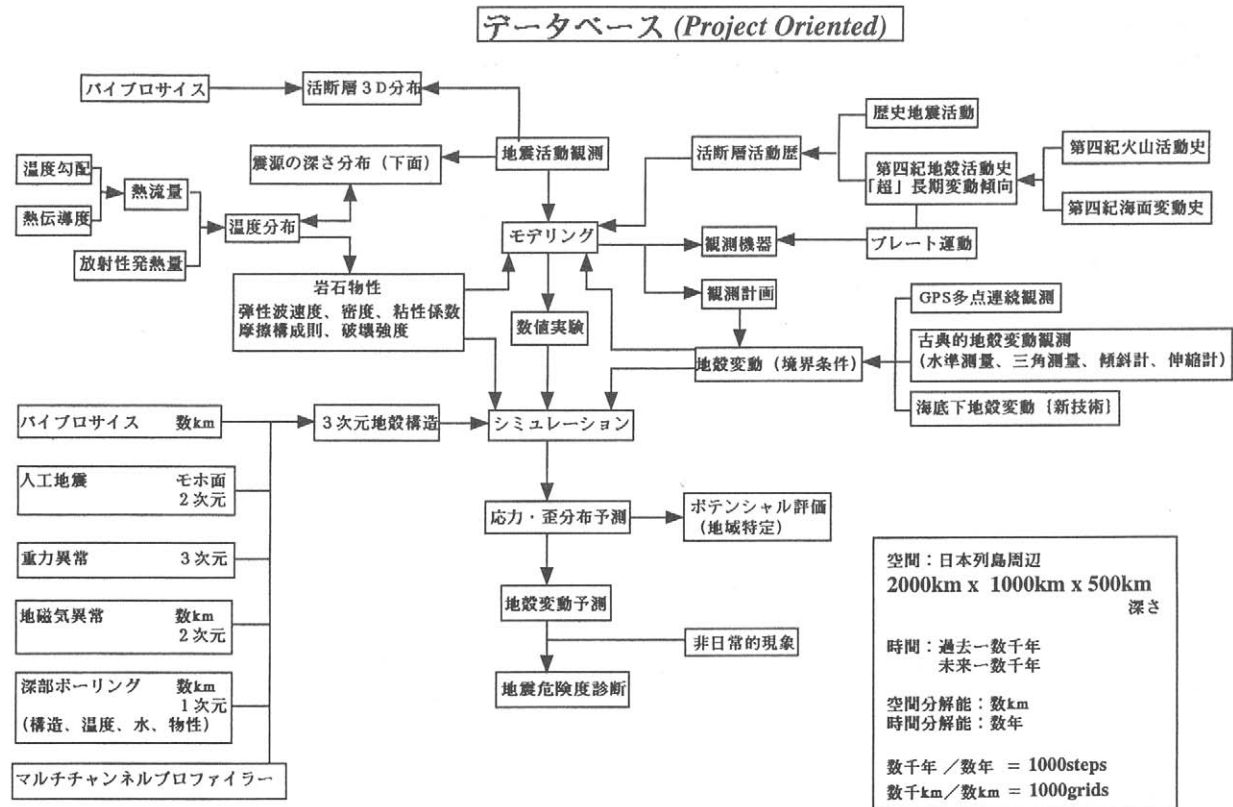


図2 データベース内の諸データの関連図，目的指向を目指すために，必要なデータ配置を示す，この中には，すでにデータの存在するもの，取得中のもの，将来的に取り入れたいものも含まれている。

Fig. 2 Relational datasets chart with coverage of project oriented database. In order to facilitate the study of past, on-going, and prospective future changes to the deep sea environment near ocean trenches, we aim for an object-oriented approach to the collection of data from a variety of sources. Datasets are related each other, including data existence, obtaining on-going, and future planning.

データおよび今後海域で取得するデータを，同じ観点から比較検討できるよう様々なツールを搭載している。地球科学データを参照しながら二次元，三次元地下深部の物理モデルを構築し，逆に二次元の速度モデルから三次元表示を求め，ポテンシャルデータの表示と重ねる，地殻変動の変形モデリングの入力／出力用モデル作成，データやモデルの可視化などに利用する。例えば日本周辺海域の沈み込み帯付近で得られている二次元の地殻構造データから，三次元モデルを作成し，周辺の地球物理学データと併せてマッピングし，双方が矛盾なく観測値を説明するのかどうか吟味する。異常帯が検出された場合，初期モデルの再検討を行い，データ量の不足がある際には，新規航海計画に計上していく。またこのデータベースは，各々のデータを対象としたインバージョンソフト，フォワードモデリングソフトとのインターフェースを持ち，各々のデータから得られるモデルの検証も行えるようにする。成果図面の可視化においても，三次元的な理解を助ける支援ツールを数多く揃え，多角的に海底下の構造を把握できるような機能を搭載している(図3)。

海底下深部構造フロンティア現行システム

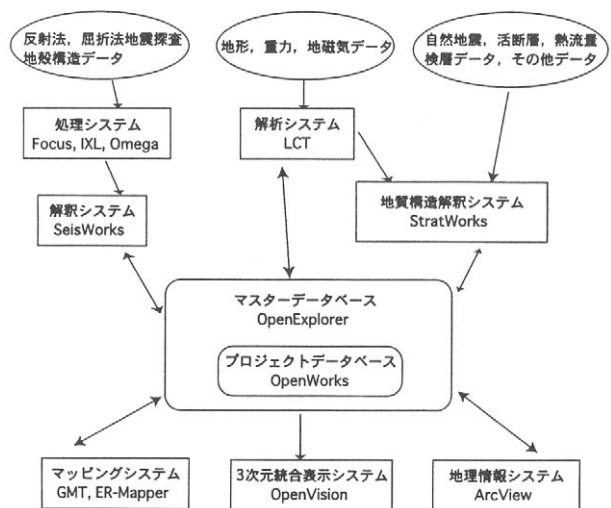


図3 データベース内の諸データ解析ソフトウェアの関連図，目的指向を目指すために必要なデータベース解析用ソフトウェアの相互の配置を示す。

Fig. 3 Relationship among data processing application, core database and graphic tools. Each tools are arranged their position as the object oriented database system.

2.2 既往および新規データの種類

既往データファイル(パブリックドメインにあるデータ)の一覧を表1に示す。これらはデータベースに共有ファイルとして収録されている。共有データは、必要時に精度あるいは海域毎に切り出し、他のデータと併せてマッピングし、テクトニクスを論じるという利用がなされる。

1)地球物理学航海データ

全世界の航海データとして、米国商務省NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) の NGDC (National Geophysical Data Center), 日本では海上保安庁水路部内にあるJODC (Japan Oceanographic Data Center) が管理しているデジタルデータがある。国際標準フォーマットとして、MGD77が定められている。MGD77とは、Hittelman et al. (1977) によって開発されたフォーマット及びファイル形式に対する名称であり、対象としているデータの種類の種類は、船舶の時

間、航跡、深度、重力、全磁力及び音波探査に関する情報であり、1分から15分ごとに120文字/1レコードとして入力され、1クルーズが1つのファイルに対応しているのが特徴である。

2)海底地形データ

英国水路部が取りまとめた全世界の海底地形の線データが、GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) Digital Atlasである。また、水路部作成 J-BIRD (JODC統合水深データセット: JODC Bathymetry Integrated Random Dataset) は、測量原図、沿岸の海の基本図、海図等からデジタル化した水深点や底質点、海岸線、等深線などのデータセットが、識別マークとともに650MBという容量に収められている。また、500mメッシュデータ(浅田、沖野1998)としてほぼ1km四方で統計処理し、格納されたデータが、日本周辺の海底地形図の基本データである。

表1 既往データの種類の種類、共有データとして登録済みデータ一覧、提供元は米国地球物理データセンター、米国地質調査所、英国水路部、国内海上保安庁水路部、地質調査所等。

Table 1 Public domain data list. A list of public domain data held in the Frontier database as shared files from NGDC, BODC, JODC, GSJ, and GSI, etc.

	項目	データ表記および提供媒体
1	地球物理学航海データ	Marine Geophysical Trackline Data Version3.2 Global Relief Data CD-ROM, いずれもNOAA/NGDCによる
2	海底地形データ	GEBCO Digital Atlas Version 1.06 CD-ROM 水路部作成 J-Bird, 500mメッシュデータ(日本周辺)
3	重力データ	GRAVITY CD-ROM 1994 Edition, NOAA/NGDC Sandwell World_grav_data_7.2
4	地磁気データ	Geomagnetic Indices, STEP Project 6.4 (Geomagnetic 1.0 minute values for 1990 and 1991), IGRF Model 1900-2000, IAGA Paleomagnetic Database, Version3.1 Project Magnet Aeromagnetic Surveys 1953-1994
5	地殻熱流量データ	Global Heat Flow Data (3.5" diskette) by Yamano, Yamagata and Kinoshita 1997
6	掘削データ	DSDP CD-ROM, ODP CD-ROM
7	自然地震データ	Seismicity Catalogs (気象庁CD-ROM編より) CMT catalog, ISC, JMA, JUNE
8	年代データ	globalage_1.4.dat, isochrons.dat platebound.dat, platebound_xr.dat
9	活断層	100/300万分の1 日本周辺活断層分布
10	日本周辺域の地殻構造データベース	屈折法地震探査解釈データ(金沢大学による)
11	その他	Geologic Hazard Photos CD-ROM 1993 Edition NOAA&MMS Marine Minerals CD-ROM USGS-WHOI CONMAR Data (3.5" diskette) Global Ecosystems Database Version1.0 CD-ROM Tsunami Database (3.5" diskette)

3) 重力データ

World_grav_data_7.2は、米国スクリpps研究所の Sandwell and Smith (1992)による、全世界の2分メッシュの衛星重力データである。この重力データを用いて Estimated Topography データも公開されている。三陸沖のフリーエア重力異常図を図4に示す。

4) 地磁気データ

日本周辺の地磁気異常図のデータソースは、地質調査所発行400万分の1東アジア磁気異常図CD-ROM平成8年度版である。同データセットは、CCOP (Coordinat-

ing Committee for Coastal and Offshore Geoscience Programmes in East and Southeast Asia)でのデータの収集や処理を経て作成されたものも含む。NEDO (New Energy Development Organization) と地質調査所による日本の陸上とその隣接海域での空中磁気データ、海上磁気データを含んでいる。陸と海との接続は重み付き平均で求めており、陸と海のデータが十分に重なりあっているところでは、両方の単純平均、それぞれのデータの端では、滑らかに繋がるようにコンパイルされている。三陸沖の地磁気異常図を図5に示す。

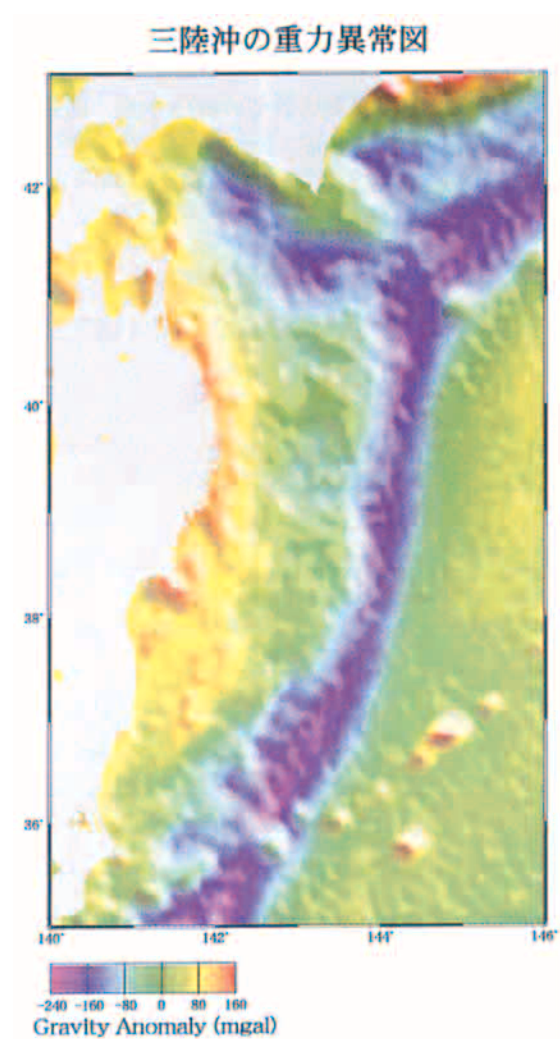


図4 三陸沖の北緯35-43度、東経140-146度の範囲での、フリーエア重力異常図。データは、Sandwell and Smith (1992)による、人工衛星重力値を用いた。

Fig. 4 Free-air gravity anomaly map off Sanriku. Data comes from the worldwide gravity data (2min mesh) compiled by Sandwell and Smith (1992) of Scripps Institute of Oceanography.

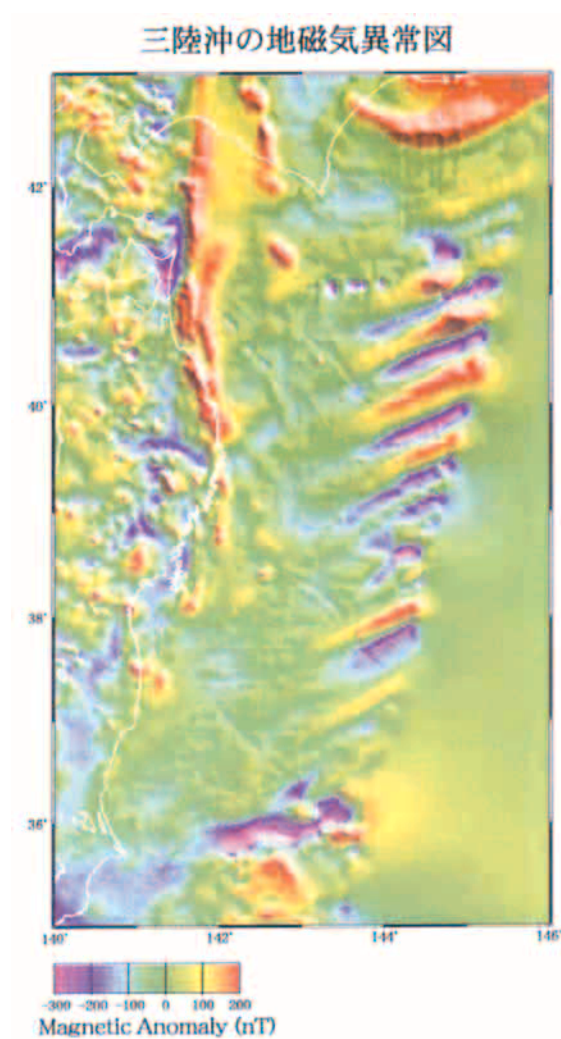


図5 三陸沖の北緯35-43度、東経140-146度の範囲での、地磁気異常図。データは、地質調査所発行400万分の1東アジア磁気異常図、平成8年度版を用いた。

Fig. 5 Geomagnetic anomaly map off Sanriku. The source for geomagnetic anomaly data around East Asia is the Geological Survey of Japan's 1:4,000,000 East Asia magnetic anomaly map in 1996.

日本海溝周辺の地殻熱流量，冷湧水，活断層分布図

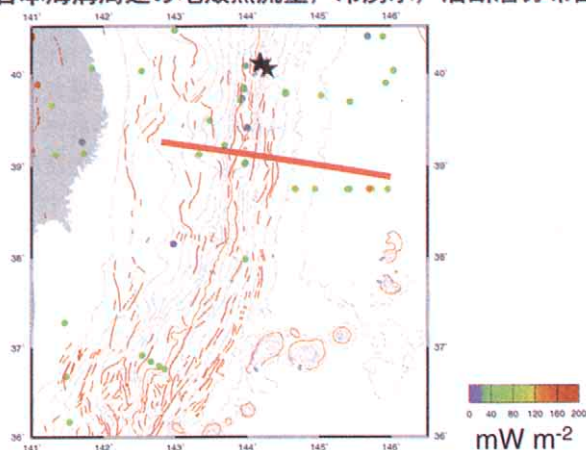


図6 三陸沖北緯36-41度，東経141-147度の範囲での，地殻熱流量データの分布図，色分けは地殻熱流量の大きさを表わし，赤線はMCS測線(SR101)，黒い星印は，冷湧水帯の生物群集の分布域，活断層分布は細い赤線で示す。

Fig. 6 Heat flow, cold seep, and active fault distribution map off Sanriku. Heat Flow value is indicated in colors, asterisk are cold seep areas, and red lines are active fault distribution with a thick red line of SR101.

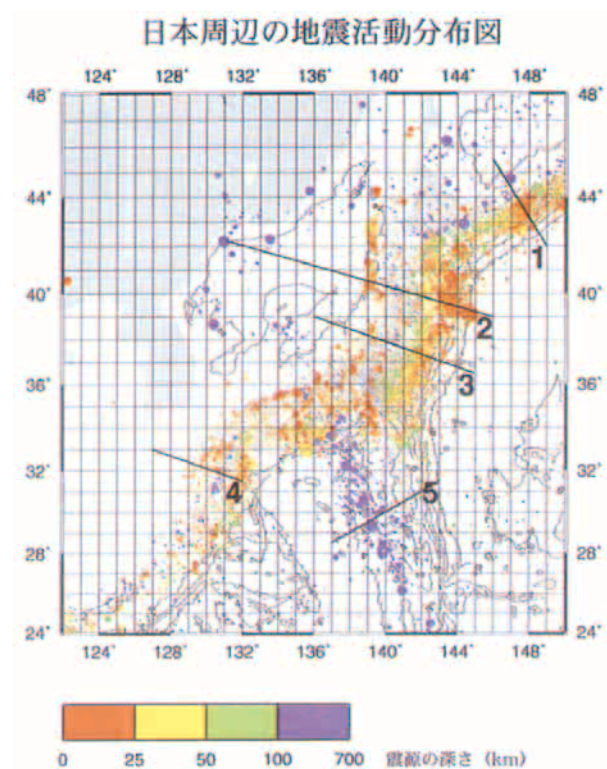


図7 日本周辺の地震活動分布図。色分けは震源の深さを表わす。震源データは，気象庁によってコンパイルされた1926年から1996年までのデータを用いた。1から5の測線に沿った地震分布断面図は，図8に示す。

Fig. 7 Seismicity map around Japan. Hypocenter data set are compiled by Japan meteorological agency including 1926 to 1996 around and vicinity of Japan. Solid lines are section baseline of Fig. 8's. Colored points are different depth of seismic occurrence.

5)地殻熱流量データ

東アジアの地殻熱流量データは，山野 他(1997)によってコンパイルされている。測定点の位置情報，測定機器のスペック，熱伝導率，熱流量値について可能な限り，精度の吟味が付加されたテキストファイルになっている。測定点における地殻熱流量値をカラーインデックスで表示したものが，図6である。

6)掘削データ

DSDP (Deep Sea Drilling Program) /ODP (Ocean Drilling Program) CD-ROMは，過去の掘削による地層区分，物理探査情報が，各航海毎にまとめられている。検索機能とともに，CD-ROMに搭載される。

7)自然地震データ

日本周辺は，気象庁編纂の1926-1996年までの震源分布データがコンパイルされており，時間，緯度，経度，深さ，マグニチュード情報がフォーマットに従って入力されている(図7および8)。同じく日本周辺は，大学連合のデータが機関限定で公開されている(JUNEC: Japan University Network Catalogueファイル)。1977年からの10,000件以上の大地震について記載のあるハーバード大学の

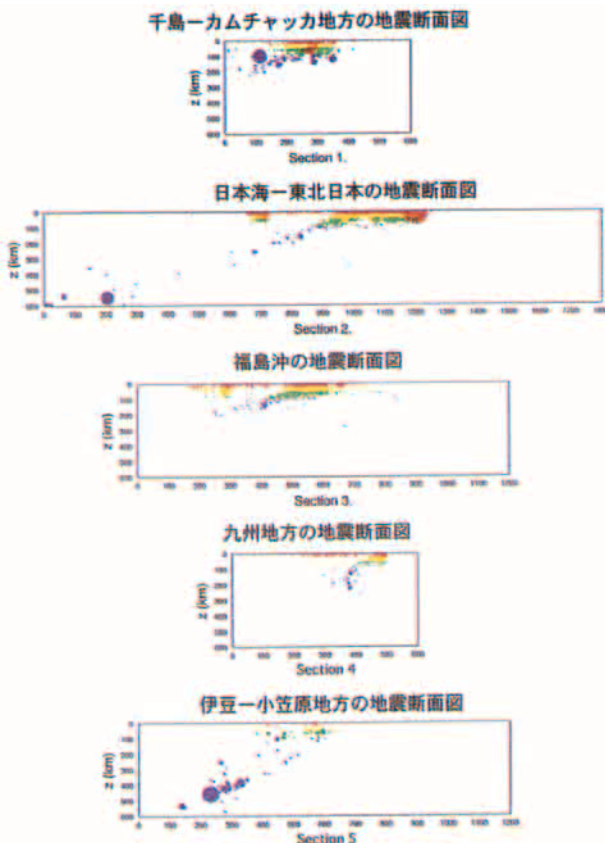


図8 図7の測線に沿った地震分布断面で，上から，千島-カムチャッカ，日本海-東北日本，福島沖，九州地方，伊豆-小笠原地方を各々示す。

Fig. 8 Section map of seismic distribution. From up to down; Kuril Trench, Japan Sea to Tohoku to Japan Trench, Off Fukushima, Southwest Kyushu district, and Izu-Bonin transactions.

CMT (Centroid Moment Tensor) catalog, ISC (International Seismological Centre) catalogも入手可能である。

8)年代データ

全世界の海底年代データ、プレート運動のデータ、プレートの相対運動、プレート境界の位置についてデジタル化されたデータセットが、5分メッシュで提供されている。海底地形図と共にマッピングする、地磁気異常図と比較するといった利用をしている。

9)活断層

日本周辺の活断層分布データが、ジオデータサプライより提供されている。海底地形図や地磁気異常図と共に作図し、地磁気の原因層の二次元性／三次元性分布を考察するなどの利用がなされている(図6)。

10)日本周辺域の人工地震地殻構造データベース

金沢大学でコンパイルされた爆破地震学的地殻構造データ(北川 ほか, 1994)では、日本周辺の地殻構造230編をデジタル化している。関連論文に文献番号を付し、文献内の地殻構造に関するデータ(測線位置、ショットポイント位置、観測点位置、地殻構造断面)をデジタル化し、異なる資料を統合して表示することを試みた。これらは、日本付近の基礎的な三次元地殻構造を把握するのにたいへん役立っている。

11)その他

NOAAあるいは、USGS (U. S. Geological Survey) の所蔵している災害被害写真集、鉱物分布データ、津波／地震被害分布域、被害状況などのデジタルデータがまとめられている。提供媒体としては、CD-ROMあるいは、3.5インチディスクによる。

2.3 新規登録データの種類

上記既往データと併せて、センターで新規に取得したデータ(表2)も随時データベースに登録され、選択範囲に組み込まれていく。5隻の船舶による年間200日余の航海により得られた地球科学データは、編集後にセンターのデータベースに保管されていく。フロンティアデータベースでは、常に航海データのインベントリー情報一覧を更新している。センターのデータベースの中から必要なデータを選択し、過去のデータと併せて、格子データを作り直すといった加工を行い、登録している。

1)地球物理学航海データ

船舶による1秒毎のログデータには、時間、位置、水深、重力、全磁力、風向、風速、気温、水温等が入り、船内のLANで流される。航海終了後、4mmDATに集録され、センターのデータベースへ登録される。フロンティアデータベースでは、これらのデータは、インベントリー情報として、一部登録される。すなわ

表2 新規データの種類の、主として、センターで取得されたもの。

Table 2 Newly acquired data list. Marine geophysical survey data stocked in JCIO (Jamstec Computer and Information Office) for more than 200 days/year records. These are a part of geophysical survey data in JCIO.

	項 目	データ表記
1	地球物理学航海データ	「かいれい」、「かいよう」、「よこすか」、「なつしま」、「みらい」のログデータ(時間、座標値、位置、水深、重力、地磁気、海気象を含む)
2	海底地形データ	HS10, SeaBeam2000による直下水深データ, SeaViewシステムにより編集された格子点データ
3	重力データ	KSS-31 Bodenseewer社, S-63 LaCoste & Romberg社による重力値(定点値と併せて陸地接合する)
4	地磁気データ	プロトン磁力計による全磁力データ, フラックスゲート磁力計による三成分磁力計データ, 船体の姿勢データ, 船体磁気データ
5	日本周辺域の地殻構造データベース	日本周辺域の地殻構造データベース 反射法および屈折法地震波探査解釈データ
6	その他	地殻熱流量データ(ニードルプローブ型測定器), 自然地震データ(海底地震計による震源データ), 分布域データ(主としてJamstec航海で見つけられた日本周辺の冷湧水帯, 生物群集, シロウリ貝等の分布)

ち、いつ、どこで、どのような航海があったかという検索のために、1秒毎のログデータを元に、15分毎に間引き、時間、位置、調査内容の記載をしている。

2) 海底地形データ

主として、海底地形データは、HS10, Seabeam2000による測深データから成る。船上では、スパイクノイズや航行時の海況によって生じる不連続データを編集し、スプライン関数を用いて平滑な海底地形図を作成する。その際に利用した生データ、編集済みデータ、作図のスクリーンショット、PS(Post Script 画像)ファイル、コマンド集などは、各航海毎に8mmEXABYTEテープに集録され、編集済みデータをフロンティアデータベースに登録している。

3) 重力データ

船上重力測定は、KSS-31 Bodenseewerk社(かいれい、みらい船上)とS-63 LaCoste & Romberg社(よこすか船上)による重力計を使用している。いずれの重力データも、フィルタリング処理後、1)での航海データと併せて記録し、LAN(Local Area Network)で船内の他のワークステーションへも転送している。航海前後に、センター岸壁の定点で陸上重力測定を実施し、陸上接続を行っている。フロンティアデータベースへは、1秒値から15分データに間引いたものを登録しており、必要に応じて、海域毎のグリッドデータにまとめている。

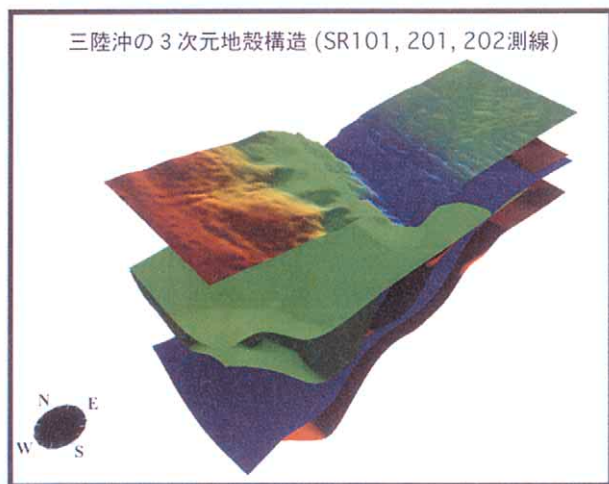


図9 三陸沖の2次元地殻構造モデルから作成した3次元地殻構造図データはSR101, 201, 202を用い、海底地形図は水路部500mメッシュデータを用いた。明瞭な反射面に色分けを行った。

Fig. 9 3-Dimensional crustal structural map. The velocity model was produced by inversion of seismic data along one line SR101 by Tsuru et al. (1998) and two more lines; SR201 and SR202 Takahashi et al. (1998), in which, particularly, the acoustic basement/top of the oceanic crust and Moho were identified.

4) 地磁気データ

全磁力測定は、プロトン磁力計を、船尾後方約300mで曳航し、20-30秒間隔で測定している。船内の実験室では、常時モニターにリアルタイムで波形出力を行い、オシロスコープで周波数表示をしながら、データ品質のチェックを行っている。プロトン磁力計では、地球磁場の絶対値は測定できるが、方向成分の分解能がない。そのため、調査船「よこすか」「かいれい」では、フラックスゲート磁力計による、船上三成分磁力測定も行っている。各航海途中で、船体磁気の補正をするために、均等に全方位のデータを取得する「8の字航走」も数回ずつ行っている。船体磁気を見積もるための12係数を用いて、真の地球磁場方向への座標変換を行い、国際標準磁場(IGRF)との差をもってその海域の磁気異常値と解釈した。生データは、8Hzで収録されており、フィルタリング操作により、ノイズを消去し1分値に間引いた。バイアス補正をした後、3成分地磁気異常値として算出した。この異常値を用いて、その海域における地磁気異常の原因層について、2次元性/3次元性の吟味が行えるデータセットにしてから、フロンティアデータベースへ登録している。

5) 日本周辺域の地殻構造

フロンティアでは、年間90日間の反射法/屈折法地震波探査航海が行われている。解析結果は、それぞれの海域毎に、二次元の構造断面として表わされ、地震活動と併せてまとめられ、随時、論文/学会発表等を行っている。データベースを利用して、明瞭な反射面の基準座標系への投影、緯度/経度/深度分布から、各反射面の形状図を作成し、付近の地殻構造データとリンクし、フロンティアデータベースへの登録および三次元図を作成している(図9)。

6) その他

上記屈折法地震波探査により得られた自然地震データの震源分布、共同研究で得られた地殻熱流量データ、生物学分野との共同研究により得られたCold Seep Communities(冷湧水帯生物群集、シロウリ貝等)のデータも、フォーマット情報と共に登録している(図6)。

2.4 データ登録・構造について

図10にデータ登録の主要な流れを示す。まず初めに、データベースのプロジェクトを作成する。その際に、プロジェクト名、調査海域、解釈者などを定義する。同じ座標で議論するために、基準座標系と地図情報を定義する。その際に、海域の範囲、単位系、データ容量を指定し、データベースの一つのプロジェクトの枠作りを行う。次に、必要なデータを登録する。ポイントデータであれば、検層の情報としてフォーマットを設定した上で、アスキーポイントデータとして入力する。格子点データ、カルチャーデータ、ホライズンデータ、フィール

ドデータ、マップデータ、ナビゲーションデータなど、それぞれフォーマットを確認した上で、データの形式変換を経て入力を行う。一旦登録されたデータは、初めに指定した基準座標系内で、自在に出力できる。利用するアプリケーションを立ち上げ、データのロードを行う。

表3に、データの登録構造をまとめた。前述したように、フロンティアデータベースのプロジェクトを立ち上げると、プロジェクト名、海域、解釈者を定義しなければならない。予め登録してあれば、リストから選択し、なければ、新規に作成する。同じ海域について、違う解釈者が作業をする場合は、あるプロジェクト (ProjectX) の中で、解釈者 (Interpreter) の違うディレクトリができることになる。各データセットと共に、データの入出力情報、変換情報、どのアプリケーションを用いて作業をしたか、という履歴ログが作成され、データベースに登録される。データの入出力可能フォーマットについては、次の表4と表5にまとめた。現在扱えるすべてのフォーマットが記載されている。フロンティアデータベースの中には、フリーソフトや広く流布しているデータの形式に合った様々なデータ変換ツールが提供されており、フリーソフトも含めた一通りのデータの入出力が可能である。今後、新たなデータ形式にも対応できるよう、変換機能を追加する予定である。

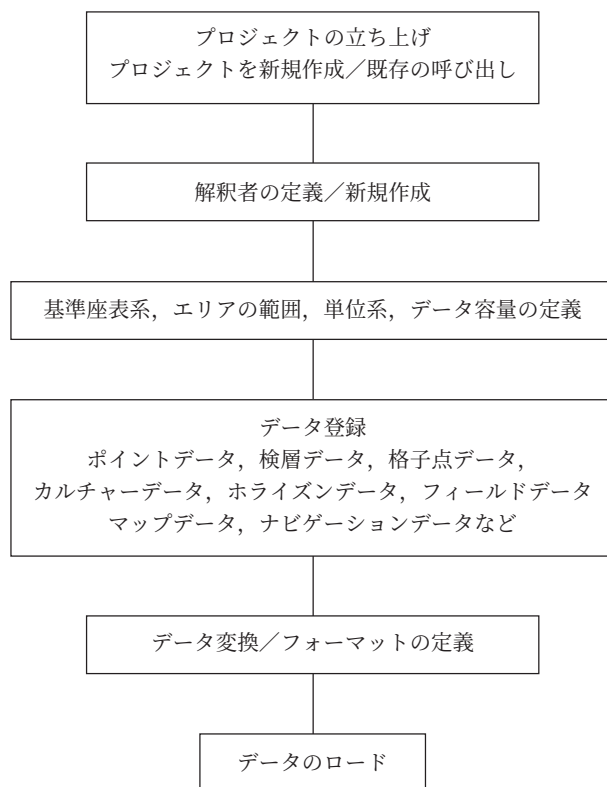


図10 データロードまでの作業流れ図、データベースを立ち上げてから、既存のプロジェクトの呼び出し、あるいは新規の作成を経て、基準座標系の設定、データ登録、アプリケーションの活用に向けてのデータのロードまでを示す。

Fig.10 Data loading work flow chart. They are indicated a flow chart from startup of Database to loading some datasets.

データ登録構造について

表3 データベースへの登録構造について、例として、別の海域をまとめたX, Yというそれぞれのプロジェクトに対して、何名かの解釈者がそれぞれ階層構造を作り、その中に、様々な種類、書式を持ったデータが存在する。

Table 3 Database structure chart. Each project has several interpreters and users with various kinds of datasets editing, analyzing, re-formatting, and calculated via some applications listed on the table.

OpenWorks	Interpreter	データ種・入力例	アプリケーション
ProjectX	A, B, C, etc.	カルチャーデータ 検層データ ホライズンデータ フィールドデータ マップデータ ナビゲーション データ	Geo-data loading StratWorks OpenVision LCT Mak2mod 2MOD LCT Mak3mod 3MOD MAGPROBE ERMapper OpenWorks Query tool

データフォーマットについて

表4 データの入力フォーマットの例，多種にわたって入出力機能が揃っている，元データには，メッシュジェネレータやシミュレーションソフトなど別の体系からのデータの入力も可能とし，入力窓口を広げている。

Table 4 List of database available import format. Various kinds of imported format are available. Original data are made by mesh generator, numerical simulation software, and exchange application.

元データ	OpenWorks(DB)関係	LCT
GMT格子 (ASCII, NetCDFbinary) XYZファイル (ASCII) PostScript GIF (XWD, Sun Raster) メッシュジェネレータ， シミュレーションソフト によるASCII, binary ファイル	緯度・経度， X,Y,Z ポイント・格子 MFD (ZMap plus) MAPI/O text X,Y,Z GoCadファイル	LCT格子 (ASCII, binary) SAVE (各プログラム) 2D 画像(SEG-Y) Mak2mod Formatted Potential Field File Formatted Polygon File 3D LCT格子 (ASCII, binary) Mak3mod初期モデル

表5 データの出力フォーマットの例，データ解析，および可視化を受け持つツールから出力される書式をそれぞれ示す。出力先は，フォーマットにあったプロッタ，プリンタであることが要求される。

Table 5 List of database available export format. Various kinds of exported format are available. Destination plotters and printers can be supported.

アプリケーション	データ形式	出力先
OpenVision	TIFF CGM	Calcomp TechJet Xerox (Zeh plotting tool)
StratWorks	VRML	Xerox (Zeh plotting tool)
LCT	CGM CGM PS	Xerox (Zeh plotting tool) Calcomp TechJet PS printer

2.5 データ解析の一例

日本を取り巻く海溝周辺では，北海道東方沖，十勝沖，南海道，東南海，三陸沖地震など，マグニチュード8クラスの巨大地震が発生している(図7および8)。兵庫県南部地震と比較すると，マグニチュード8クラスの地震エネルギーは数十倍となり，大津波を含めて広範囲にわたり大災害を引き起こすであろう。フロンティア研究の発端は，このような海溝域を重点的，総合的に調査研究を行うことを目指して，観測，監視，データベース，シミュレーションという3つの課題を三位一体として，海洋での地震研究を推進している。ここでは，一例として，今までフロンティア航海で得られたデータを用いた三陸沖の解析を紹介する。1997年10月に調査船「かいらい」により，三陸沖・日本海溝周辺域で，反射法および屈折法

地震波地殻構造探査が行われた。その測線図(図11-1)，MCSプロファイル(図11-2)，調査海域周辺の地殻熱流量プロファイル(図11-3)，反射および屈折法のモデルパラメータを用いた三次元地殻構造図(図9)が得られた。また，先に示したように日本海溝付近のフリーエア重力異常図(図4)，地磁気異常図(図5)，および地殻熱流量と活断層分布図(図6)も作成した。地殻構造図(図9)は，鶴ほか(1998)の1測線，高橋ほか(1998)の2測線の地殻構造モデルを用いて，海底面，音響基盤面，上部地殻，下部地殻，海洋性地殻，モホ面の明瞭な反射面をデジタイズし，各レイヤーのコンターマップを作成し，座標/フォーマット変換をした後に，三次元投影したものである。

日本海溝北部でフランスの潜水艇「Nautile」により，海溝陸側から海側の海底面の形状調査とシロウリ貝のコロ



図11-1 調査船「かいれい」三陸沖航海の航跡図，太い線(SR101)は，MCS反射法探査の主測線を示し，黒い点は，海底地震計の位置を示す。SR201およびSR202は，OBS-Airgun探査のみ行った。

Fig.11-1 Location and survey track line map of R/V Kairei cruise in October of 1997. Thick line shows MCS main track line of SR101, SR201 and SR202 are tracks observed only OBS-Airgun survey with dotted black OBSs.

SR101測線に沿ったMCSプロフィール

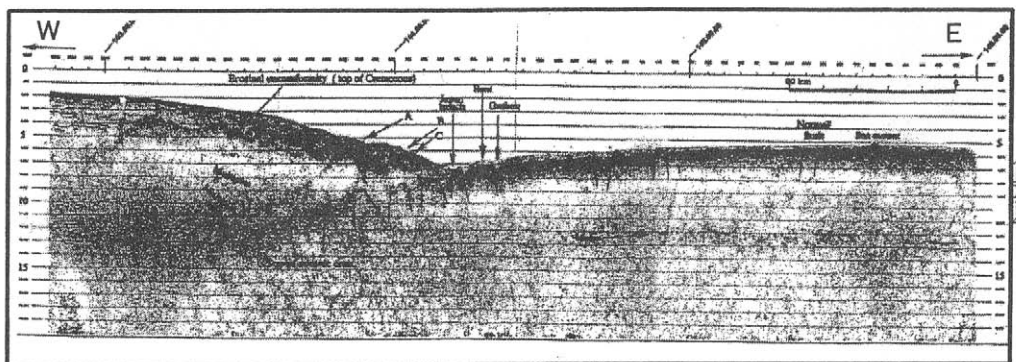


図11-2 SR101測線に沿ったMCSプロフィールを示す。図11-1の太線と記録の両端が一致している。海洋性地殻が，フォールスト／グラaben地形を保ちつつ，海溝軸を越えて50kmほど陸側へ沈み込んでいる。海溝海側では，モホ面とおぼしき明瞭な反射面が見られ，それにより，厚さ7-8kmの海洋性地殻の存在が伺える。海溝陸側では，A-Cに示すように，海底面まで伸びる断層が見られる。

Fig.11-2 MCS profile along the main track line SR101. SR101 is also indicated the location in Fig. 11-1 and 11-3. Well-developed horst and graben structures have subsequently been revealed along SR101. Moho discontinuity can be seen clearly in oceanward with 7-8 km thick oceanic crust above.

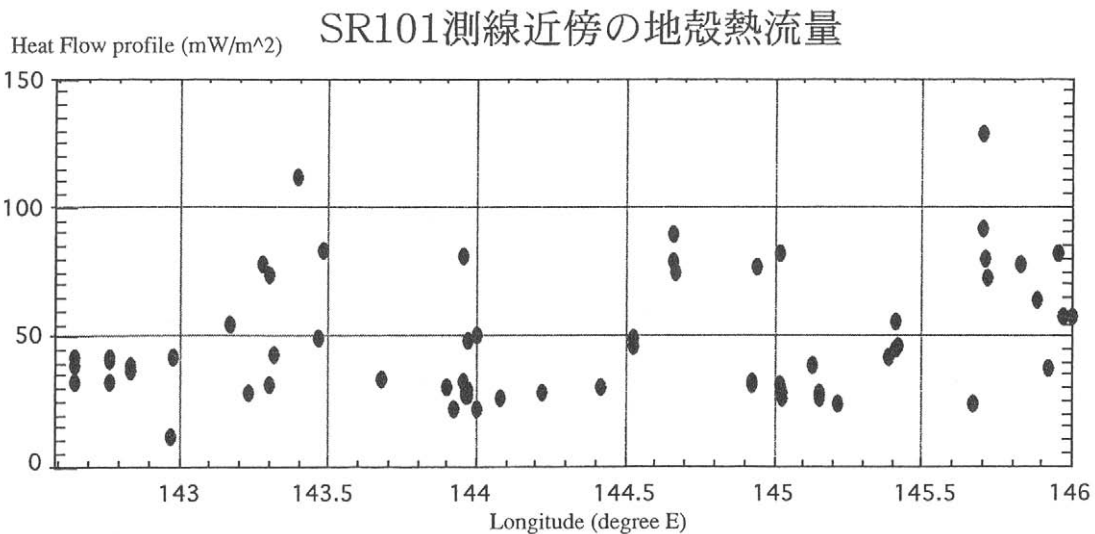


図11-3 三陸沖の地殻熱流量プロフィール。北緯35-41度，東経142.5-146度までの地殻熱流量データをスタックし，投影したもの。海溝軸を切るような断面を取ると，明らかに熱流量の高低が繰り返され，海底面に顔を出した断層の分布と対比できることが示唆される。

Fig.11-3 Heat flow profile along SR101 line. Heat Flow values in latitude as 35 - 41 degree North and longitude as 141 - 147 degree East are stacked and made projection across the trench axis. The profile shows that they are coincident with a position of fault distribution on the seafloor and there are possibly small circulation.

ニーを発見している(Cadet et al., 1987)。このKaiko計画から始まったSeabeamによる詳細なマッピングは、さらに多くのデータを加えて、再編集もなされ、海溝海側斜面での明瞭な正断層崖や陸側斜面での崖崩れや地滑り跡といった崩落地形などが確認されている(Le Pichon et al., 1987)。海側斜面では、水平に移動してきた海洋性プレートが下向きに折れ曲がり陸側へ沈み込んでいく結果、プレート表面には、引張力が働き、多くのひび割れが生じ、正断層の原因となったと考えられている。一方、陸側では、海底面に顔を出した断層上にシロウリ貝の群集が見られ、冷湧水帯の存在が確認されている。

今回の調査主測線上では、MCS記録から細かいフォレスト／グラーベン構造が発見されており、海溝を越えて陸側まで、約50kmにわたり、その形状を保ちながら潜り込んでいく様子が見て取れる(鶴ほか, 1998)。今回の調査では、反射法／屈折法地震探査を主とし、航走中には海底地形、重力、地磁気調査がなされた。既存の地殻熱流量の分布(カラードット表示)と生物群集の存在域(アスタリスク表示)などと併せてマッピングしたものが、図6である。主測線沿いにデータがないため明らかでないが、断層の海底面と交わる付近には、さらに別のシロウリ貝の群集や冷湧水帯の存在が発見されることが期待される。今後の希望潜航調査リストには、こうした結果を踏まえて、具体的な緯度／経度／深度といった潜航ポイントデータが示され、焦点を絞った調査が可能となる。データが少ないが、地殻熱流量分布データからは、一つの断層を単位とする、細かいスケールのサーキュレーションの存在を伺わせる。今後は、主測線に沿って、海溝陸側－海側へと数10kmごとに地殻熱流量を測定し、定量的な議論に進められるよう観測計画を立てたい。

また、周辺域の地震活動図、地震断面図、広域重力異常、地磁気異常図、活断層分布図を作成した。フリーエリア異常値はおおよそ400mGalの変動幅を持ち、海底地形の形状と良い一致をみている。一方、地磁気異常については、日本海溝上において、南からChron M12-8 (135～127Ma)という南南西－北北東の走向を持つ地磁気のリネーションが見られることが知られている。これらの線状異常帯は、海溝軸を越えて最大100km陸側まで追うことができる。しかしながら、日本海溝軸に沿った南北で、海溝軸を越えて観測される距離が異なることが知られている。海溝軸を挟んだ磁気異常の観測は、磁気異常を担う海洋性地殻の変形や沈み込むプレートの形状、キュリー点深度などを考察する上でたいへん重要である。また、陸側の広範囲にわたる異常帯は、北上及び阿武隈の白亜紀の花崗岩類と同じ物性を持つような磁性体の存在で説明できる。また地磁気全磁力値からは、Werner, Euler, Half slope法などにより磁気基盤の深度を求めることができる。これらは、二次元的な地下構造を仮定した磁気異常プロファイルの解析法の一つである。二次元のシートモデルといった理論的な磁気異常の特性を利用し、複数の構造を分離するのが、Werner分解、

異常源の形状に応じた磁気異常の減衰パターンから異常源の深度を見積もるのが、Euler分解である。また、地下構造モデルを設定しモデルによる理論的な磁気異常パターンと実測値との比較からモデルパラメータを決定する逆解析が、Half slope法である(大熊, 1999)。フロンティア航海のように、縦横のプロファイルを走り、大構造に直行する測線が多い場合には、これら解析の特性を活かすことができる、と考えられる。実際に日本海溝軸から東北日本にかけての測線上での磁気基盤推定図を図12に示す。

このような特定海域での多角的なマッピングにより、今まで比較検討しなかった項目についても、相互の関連を説明するようなモデルを構築するべく検討できる。それにより、異分野間との積極的な共同研究の資料となりうる。データ密度の正確な把握により、具体的かつ焦点を絞ったデータ観測計画の立案も可能となるであろう。得られたデータを用いて作成した三次元の表示と併せることにより、従来より具体的なイメージを基盤としたモデリング／シミュレーションが可能となる。

作業を行った計算機の利用スペックおよびソフトウェアは、以下の通りである；

ハードウェア：

Sun Solaris2.6 UltraSPARC-II (300MHz)
メモリ2GB、内蔵ハードディスク4GB、
内蔵3.5FDD、内蔵型CD-ROM
21インチモニター(Dual head仕様)、
解像度1280*1024ドット、
同時表示色1670万色、グラフィックアクセラレーター
Creatorを含む
RAID Array disk装置(実容量72GB)

ソフトウェア：

Landmark OpenWorks, OW Query Tool, Geo Data
Loading, Strat Works
LCT 2MOD, MAK2MOD, 3MOD, MAK3MOD,
MAGPROBE, ERMapper, GMT

3. 今後の展望

フロンティアデータベースは、海溝付近の過去の変動史～現在の現象～未来の予測を重点的に検討するため、多角的にデータを収集しつつ、海溝という特殊な海域のテクトニクスを論じるための支援ツールという集約した目的指向型を目指している。このデータベースは、地震データ、ポテンシャルデータ、地殻構造、地殻熱流量データといった、多方面のデータを収集し、一つの海域の地球科学的特徴を多角的に検討することができる。このデータベースの活用としては、双方向性があるだろう。すなわち、測位データ、構造、ポテンシャルデータは、周辺のプレート運動や地震活動シミュレーションに活用し、シミュレーションや解析アプリケーションからは、フィードバックを受けながら、信頼性のある深部構造モデルを確立していく。データを登録し、アプリケー

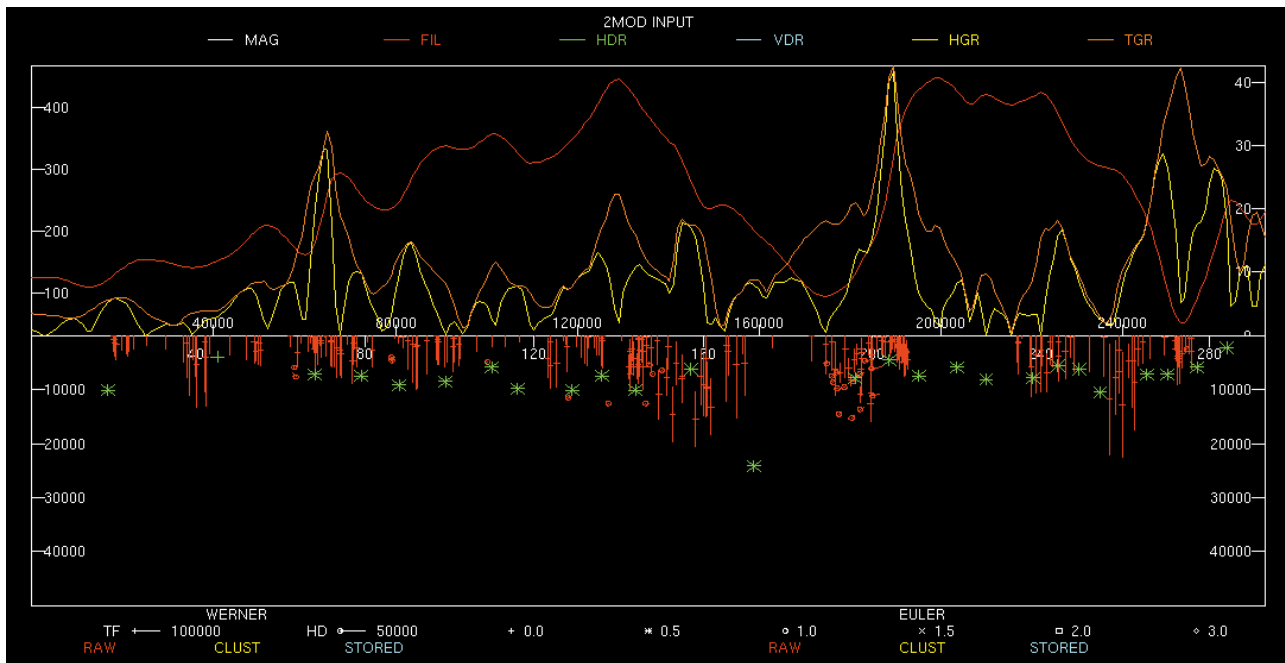


図12 日本海溝を横切る測線上で得られた全磁力、水平分力、鉛直分力プロファイル(上)。下部は、half slope, straight slope, Werner, Euler, Phillips法を用いた磁気深度分布モデルである。左右のスケールは、地磁気異常値(相対値および残差値 nT), 水平スケールは、海溝軸に向かっての距離(m)と測定点数(下), 下部の垂直スケールも深度距離(m)を示す。

Fig.12 Magnetic depth estimation profile and model; (upper) Profiles are magnetic total intensity, vertical and horizontal derivative along SR101. Left and right side scales are relative and residual magnetic value in nT, horizontal scale is 0 to ca. 250km, lower scale shows number of data. (lower) Half slope, Straight slope, Werner, Euler and Phillips methods are applied to the main track line of SR101. They show estimated magnetic depth points. Vertical scale is 0 to 40 km.

ションでの活用後に変更したデータを、再度データベースに戻して、双方向のやり取り可能な、支援ツールとして利用できるようになる。モデルと現実の海底下での変動過程から得られるデータとの比較検証を重ね、より具体的かつ現実的なシミュレーションを目指しつつ、データベースの内容も進化させていきたい。

謝辞

本稿をまとめるにあたり、海洋科学技術センター深海研究部松本 剛氏、藤倉 克則氏、富士原 敏也氏、情報管理室直井 純氏の方々に資料をいただいた。また、データ取得に関しては、「よこすか」、「かわいい」船舶関係者、(株)日本海洋事業担当者にもたいへんお世話になった。この場をお借りして深謝するものである。

参考文献

- 1) 浅田 昭・沖野郷子(1998)日本周辺海域の500mメッシュ海底地形データファイルの作成。「平成10年11月5日の海洋調査技術学会研究成果発表会」における講演要旨集, 15-16p.
- 2) 大熊茂雄(1999)データ解釈技術。物理探査ハンドブック, 506-514p.
- 3) Cadet, J. P., K. Kobayashi, S. Lallemand, L. Jolivet, J.

Aubouin, J. Boulegue, J. Dubois, H. Hotta, T. Ishii, K. Konishi, N. Niitsuma and H. Shimamura (1987) Deep scientific dives in the Japan and Kuril Trenches. Earth Planet. Sci. Lett. **83**, 313-328p.

- 4) 北川 誠・西山 英樹・長尾 年恭・古本 宗充・河野 芳輝(1994)日本列島周辺における爆破地震学的地殻構造データのコンパイルとデータベース化。1994 合同学会予稿集。
- 5) Hittelman, A. M., R. C. Groman, R. T. Haworth, T. L. Holcombe, G. McHendrie, and S. M. Smith (1977) The marine geophysical data exchange format -"MGD77". KGRD 10, NOAA, EDIS, Boulder, Colorado, 18p.
- 6) Sandwell, D. T. and W. H. F. Smith (1992) Global marine gravity from ERS-1, Geosat, and Seasat reveals new tectonic fabric. EOS Trans. AGU, vol.73, no.133.
- 7) 高橋成実・小平秀一・鶴 哲郎・朴 進午・金田義行・木下 肇・西野 実・日野亮太・阿部信太郎(1998)エアガンー海底地震計データによる東北日本弧前弧域(三陸沖)の速度不均質構造。1998 秋季地震学会予稿集。P160.
- 8) 鶴 哲郎・朴 進午・東方外志彦・高橋成実・小平秀一・木戸ゆかり・金田義行・河野芳輝(1998)反射法地震探査データから見た三陸沖日本海溝周辺の沈

み込み形態について。1998 秋季地震学会予稿集。
P159.

- 9) 山野 誠・山形尚司・木下正高(1997)北西太平洋地域の地殻熱流量データのコンパイル。1997 地球惑星科学関連学会予稿集。D41-P05.
- 10) Le Pichon, X., K. Kobayashi, J-P. Cadet, T. Iiyama, K. Nakamura, G. Pautot, V. Renard and the Kaiko Scientific Crew (1987) Project Kaiko - Introduction. Earth Planet. Sci. Lett. **83**, 183-185p.

(原稿受理：1999年12月24日)