

しんかい6500潜航データを用いた熱水地帯の 精密マッピング

木下 正高*¹ 伊藤 希*² 赤司 あき*^{1,3} 館川 恵子*¹

最近しばしば行われている海底熱水地帯などの調査では、mのオーダーでのマッピングを行うことが要求されることがある。潜水船の音響測位の精度は概して20m程度と言われているが、相対的には数m程度の精度を持ちうる。しかしこの精度でのマッピングを行うためには、潜水船の大きさや、潜水船からカメラ視野までの距離を補正することが必要である。本研究では、1997年に南部東太平洋海嶺で行った潜水調査のうち、オアシスサイトと呼ばれる長さ150m、幅100mの熱水地帯のマッピングを行うために、その地域で行われた潜航の正確な航跡及び実際のビデオの視野をプロットした。これに基づいて熱水サイトのできるだけ正確なマッピングを行った。また得られたビデオ映像をこの地図上に張り付け、「真の」熱水サイト地図作成を試みた。この結果、これまでに比べてより正確な、潜航間で矛盾のないマッピングを行うことに成功した。将来的には、デジタルビデオ等の使用により、このような航跡図をコンピュータにより自動的に作成することが望ましい。

キーワード：潜水船，トランスポンダー，熱水地帯

Detailed mapping of a hydrothermal field using navigation and visual data of submersible Shinkai 6500

Masataka KINOSHITA *⁴ Nozomi YTOU *⁵ Aki AKASHI *^{4,6} Keiko TAKEKAWA *⁴

Recent submersible investigations revealed the necessity of detailed mapping at hydrothermal sites up to the order of 10 m or better. The official accuracy in positioning the of submersible using acoustics is 20m, whereas its relative precision can be up to a few meters. However, in this spatial scale we need to correct for the dimension of submersible and distance from the pinger to the actual seafloor being observed. In 1997 we conducted an intensive diving survey around a diffuse site at 17°26'S on the EPR ridge crest using "Shinkai6500". The diffuse site, called 'Oasis site', has a dimension of 100m × 150m. We calculated actual view areas of video camera#1 and plotted them on a map; then digitized video images were pasted on the map in order to produce a true hydrothermal area map. Since the quality of video images has to be improved, we recommend, for a future improvement, that *Shinkai* should be equipped with a digital, high-resolution, more sensitive video camera, so that image processing and map production can be made more accurately using computers.

Keywords : Bathymetry, Gravity, Nankai Trough, Kaiko-Tokai

* 1 東海大学海洋学部

* 2 筑波大学生物科学系

* 3 現在 ベネッセコーポレーション

* 4 School of Marine Science and Technology, Tokai University

* 5 Institute of Biological Sciences, Tsukuba University

* 6 Now at: Benesse Corporation

1. はじめに

潜水船による調査範囲は非常に狭いため、「いまどこにいるのか」をできるだけ正確に、しかもリアルタイムで把握することが本質的に重要である。このため、「しんかい6500」での音響測位システムでは、あらかじめ「よこすか」から投入された3台のトランスポンダーによる長基線 (LBL) ネットワークを用いて、「よこすか」及び潜水船内でリアルタイムで自分の位置を知ることができる。その精度はおよそ10-20mとされている (橋本菊夫氏、私信)。

最近の調査では、同じサイトに繰り返し潜航してサンプリングや機器の設置を行うことが行われている。このためLBL測位に加えて、運航チームや研究者による様々な創意工夫がなされており (マーカー設置、フラッシャー、ソナー探知など)、またパイロット・航法管制士の熟練のおかげもあって、機器や特定のチムニーの発見がきわめてスムーズに行えるようになってきた。

一方、これらの観測点の位置を調査後に正確にマッピングし、熱水地帯の地図を作ることは、その後の潜航を行う上でも、あるいは最終的に結果をまとめる上でも極めて重要であることは言うまでもない。ところが、これまでこの作業は基本的にLBL測位データのみを用いて行

われている。この方法は、地質学的サーベイなど大きなスケールを考えている場合には問題がないが、熱水噴出の集中したサイトの総合的・継続的調査研究でしばしば行われるようにごく限られた地点に繰り返し潜航が行われる場合には、同一地点を観測していることがマーカーなどから明らかであるにもかかわらず、測位データに基づく位置決定の結果に矛盾がみられることがある。このようなことが問題となったのは、最近調査を行った大西洋中央海嶺のTAG熱水マウンドと南部東太平洋海嶺の熱水サイトである。どちらも個々のサイトは100m程度の大きさで、その中のチムニーは湧水、あるいは装置の位置を10m以内の精度で決めることが必要であった。この矛盾はLBL測位の繰り返し精度の限界や音響測位に伴うデータの不連続 (とび) によるものとして無視されてきたきらいがあるが、音響測位により求まる位置をそのまま用いるのではなく、潜水艇の艇長、姿勢、実際に操作・観測対象となっている地点との相対関係を詳細に検討した補正を行うことで改善できると考えられる (図1)。

本研究では、潜水中に得られるデータをフルに活用し、LBLで得られる位置からビデオなどで実際に見えている範囲を計算してプロットするプログラムを作成した。また、船内から見える範囲の簡易三角測量による設置機器

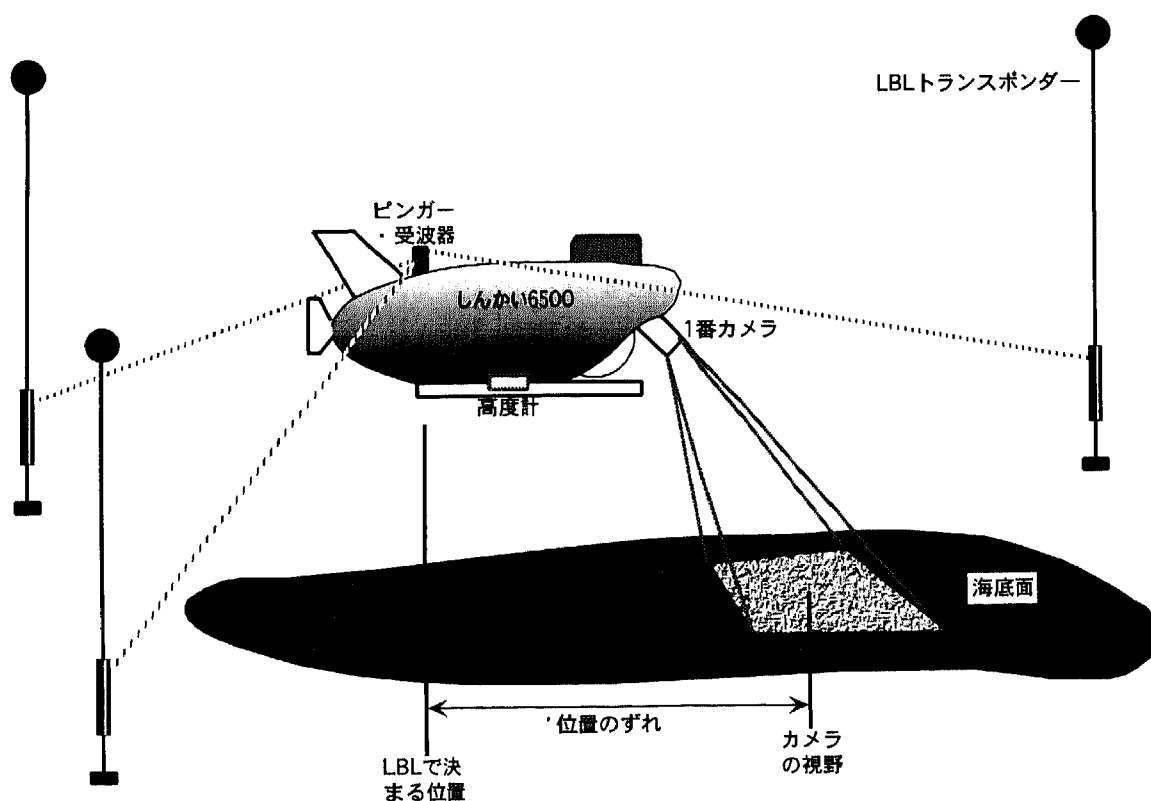


図1 しんかいの音響測位とカメラの視野の関係

の正確な位置決めを行った。これらの方法を用いて、1997年EPR航海の結果から、RM24オアシスサイトの詳細なマッピングを行ったのでここに報告する。

2. 方 法

実際にLBL測位を行う同期ピンガー及び受波器の位置と、実際にビデオで見えている位置は、潜水船の長さ、高度、方位によって10-20m程度ずれる(図1)。これらのデータは、しんかい内部のコンピュータで連続的に記録されており、潜水直後に手に入るものである。これらから、地図上に適当な時間間隔で、ビデオ画面の範囲に相当する部分をプロットするのが第一の目的である。以下にその手順を示す。また手順の概要を図2にまとめた。ただし簡単のために、使用するビデオはしんかいに対し前方に固定された1番のみとし、水平な平面上での撮影範囲として等脚台形の領域を想定した。

1) 潜水データから必要なパラメータ(時刻、位置、方位、高度)を抽出した。3台あるトランスポンダのうち1台でも受信していないデータは除外した。また3台のトランスポンダが全て受信できていても、音響測位による深度と圧力計による深度とが著しく異なるデータも除外した。図3からも分かるように、位置は「しんかい」の上部に取り付けられたピンガーの位置であり、高度計は「しんかい」の下部ほぼ中央に取り付けられている。

2) 潜水艇の幾何学的パラメータ(図3)を用いて、ビデオカメラが撮影している範囲(台形)の4隅の座標を計算し、これを地図上にプロットした。但しこの時に、海底の地形は水平であると仮定した。参考のために、耐圧殻中心の座標の軌跡もプロットした。また、「しんかい」が海底から15m以上離れているときはプロットしていない。このような時にはビデオの画像は海水しか映っていないためである。

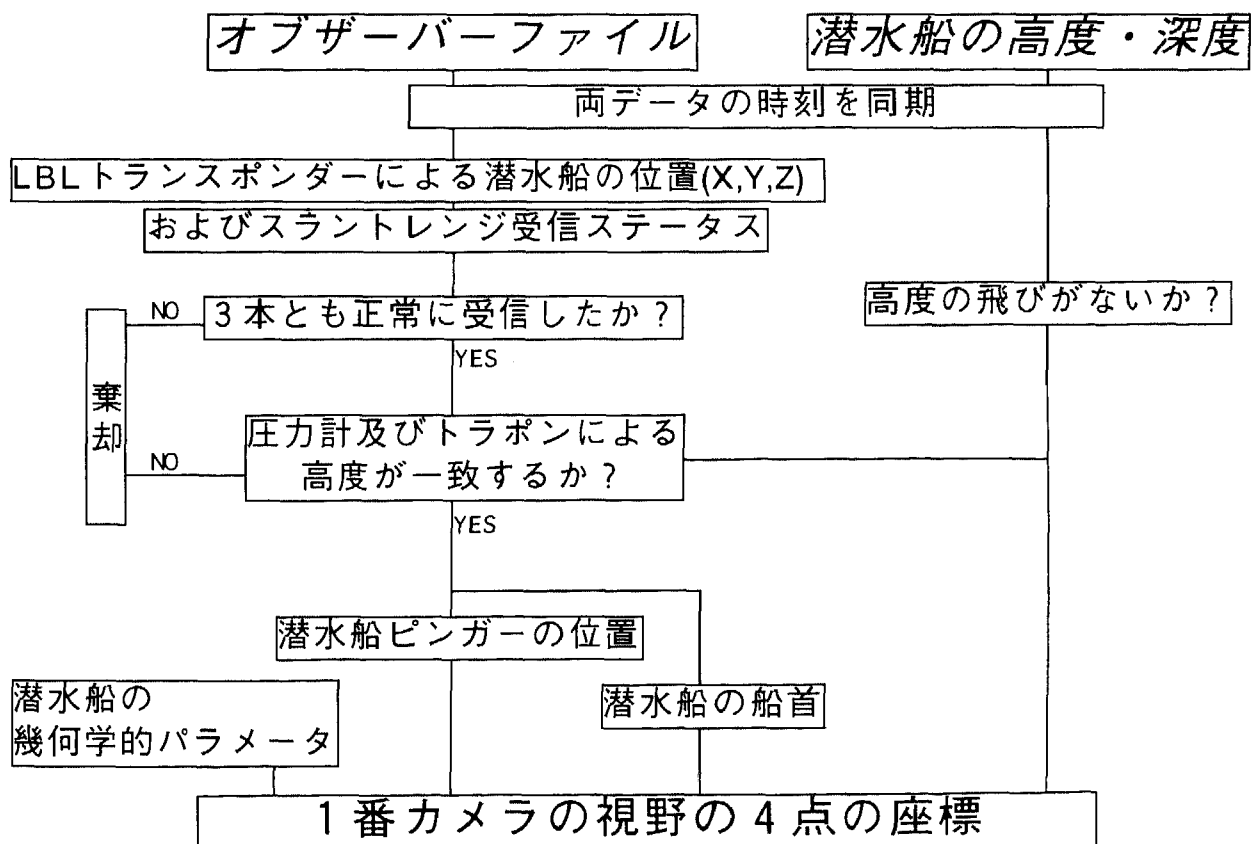


図2 今回行った位置決定のアルゴリズム

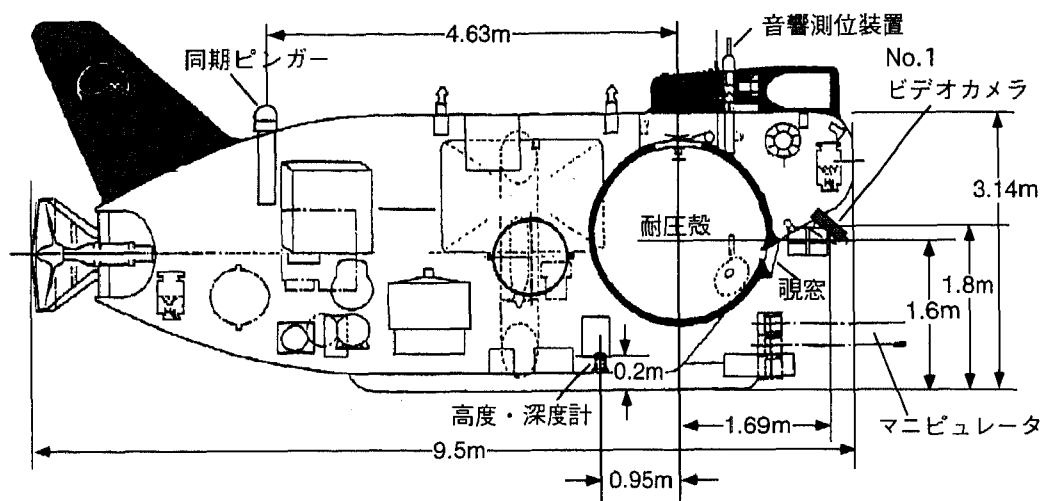


図3 「しんかい6500」の幾何パラメータ

3) これを白地図として活用し、ビデオから得られる情報をこれに記入した。割れ目など方向性を持った構造の角度は、カメラの俯角を考慮した分度器を作成し、画面上で測定した。また各台形に対応する1番カメラの映像をコンピュータに取り込み、画像処理及び変形を行ってこの白地図に貼り付けた。

4) 設置された機器・マーカーなどの目標物の位置は、さらに三角測量によって決定した。すなわち、潜水船を停止させた状態で2番ビデオカメラにより目標を画面の中心にセットし、その時の方位を観測する。これを3箇所以上の異なった場所から行い、目標の位置を示す三角形を求め、その中心が目標の位置とする。

3. 潜航

1997年7月から9月にかけて、南部東太平洋海嶺の17°-18°Sで「しんかい6500」による調査及び機器の設置が行われた。海嶺軸上のいくつかの熱水サイト(RM23, RM24, RM28)を集中的に調査した。このうち、RM24サイト北部には、「オアシスサイト」と呼ばれる、直径100m程度の熱水湧出域が存在する(17°25'S, 113°12'W)。詳細はクルーズレポートなどを参照されたい。

表1に、RM24のオアシスサイトを通過した潜航の概要を示した。全部で7潜航あるが、このうち第393潜航はしんかいの高度データが得られず、したがってプロットを行うことができなかった。

表1 オアシスサイトを調査した潜航一覧

潜航番号	潜航研究者	潜航日	概要
385	T. Tonnerre	1997/8/1	熱水噴出域の発見；Medusa/WaDarの設置
386	西村清和	1997/8/3	座布団型熱流量測定装置の設置；スモーカーでの測定
389	浦辺徹郎	1997/8/6	Medusaの設置；座布団型装置の回収
393	伊藤 希	1997/8/28	レーザーラマン装置による有機物・硫黄のマッピング
394	丸山明彦	1997/8/29	熱水域での微生物サンプル採取
397	満澤巨彦	1997/9/2	マナティー・座布団・プランクトンボックスの設置・回収
398	木下正高	1997/9/3	座布団・係留式熱流量測定装置・WaDaRの設置・観察

4. 結果・考察

図4に第398潜航（木下正高による）における航跡を、また図5にはオアシスサイト内の全潜航の航跡を示す。台形は、各時刻における1番カメラの視野を示す。プロットは、基本的には位置情報が更新される16秒毎に行った。破線は、参考までに示した、LBLによる位置そのものの軌跡である。潜水艇長分だけ、潜水艇の方位の方向にずれていることが視野の方向からみてとれる。特に「しんかい 6500」が回頭をしている 13:27 ~ 13:32 にかけて

では、音響測位で求めた潜水艇の位置に対してビデオカメラの視野が大きく外側に振れており、「しんかい6500」が船尾付近を軸としてぐるりと回った様子がリアルに再現されている。これは、潜水艇内での実際の印象に極めて近いものである（赤澤克文氏、私信など）。また、「しんかい 6500」の上昇下降にともなう視野台形の大きさの変化は、しんかいの鉛直方向運動の様子をよく再現している（12:48 ~ 12:51；14:49 ~ 14:53）。

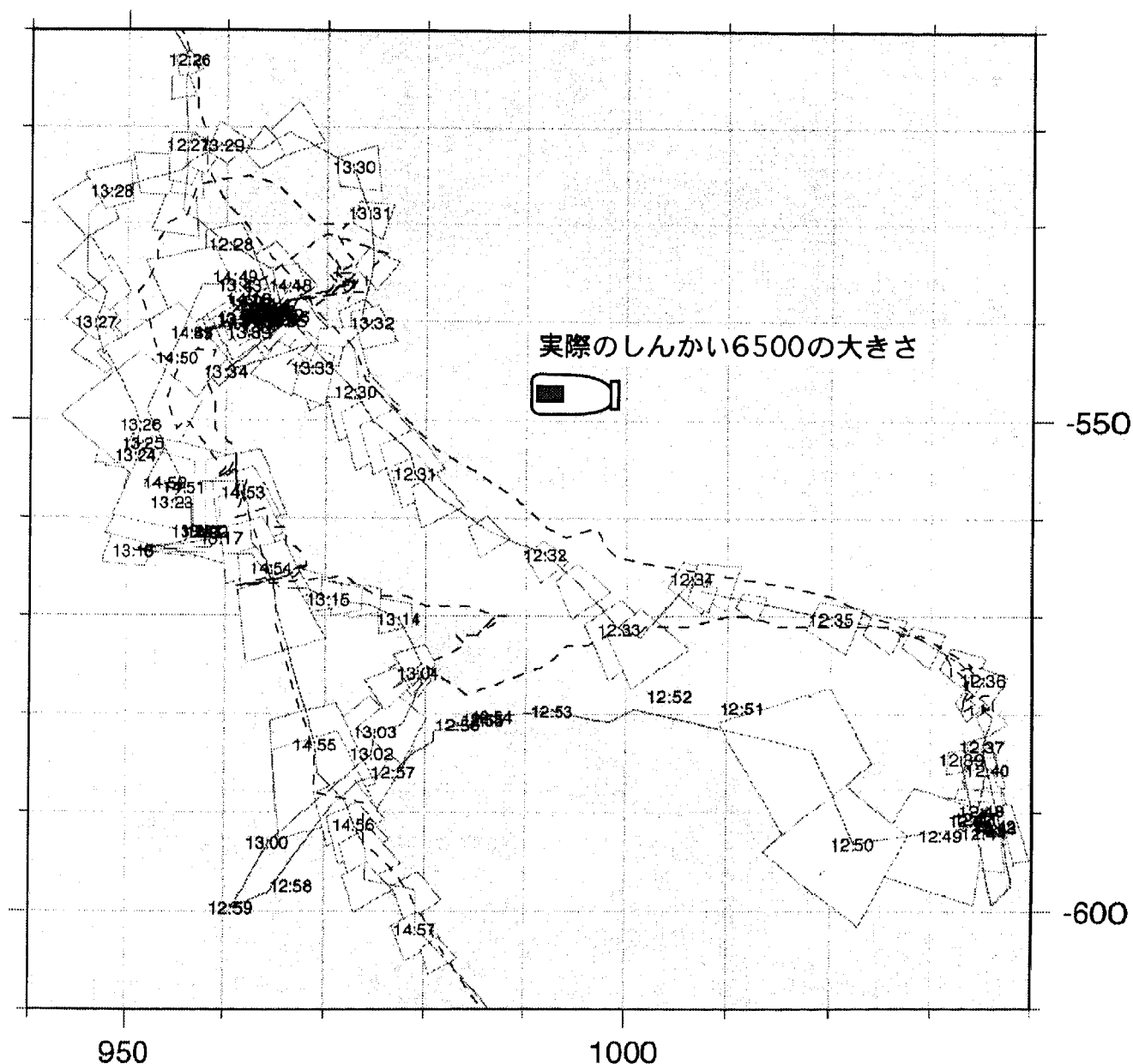


図4 第398潜航の航跡（一部）及び1番カメラの視野を示す台形。上が北を示す（単位m）。実線はカメラの視野中心の軌跡、破線はピンガーの位置を示す。

距離に依存するが、もっとも良く定位できた係留式熱流量測定装置については、“誤差”三角形の大きさにして2-5m程度の精度が得られた。

図6に、オアシスサイトの一部について、台形上にビ

デオの画像を実際に張りつけたものを示す。オアシスサイト全体を示すと各フレームが小さくなりすぎて見えないので一部のみを示した。この図、及び全体の写真図から、生物群集の空間分布が特に明瞭に見て取れる。一方

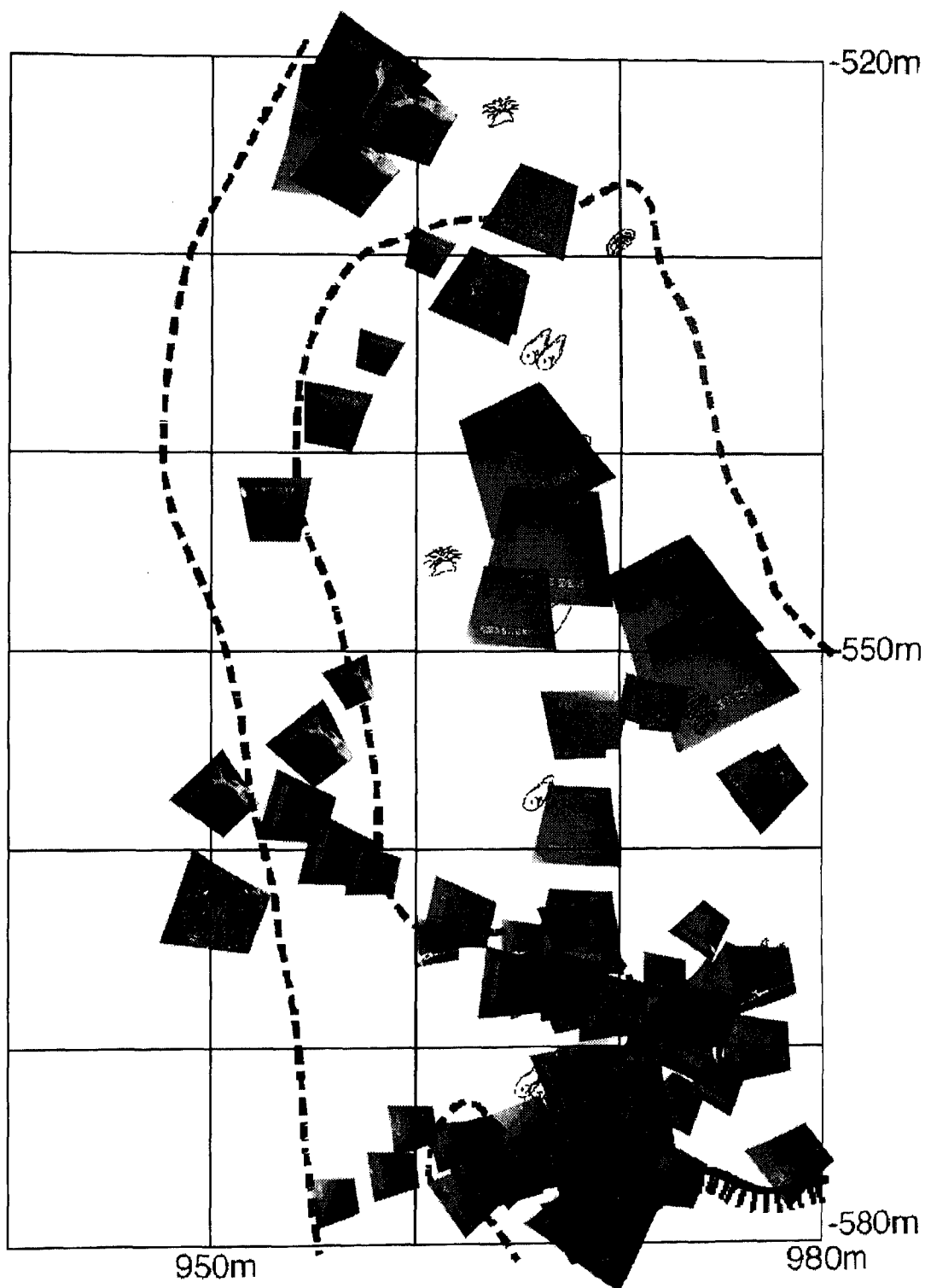


図6 オアシスサイト（一部）の写真図。

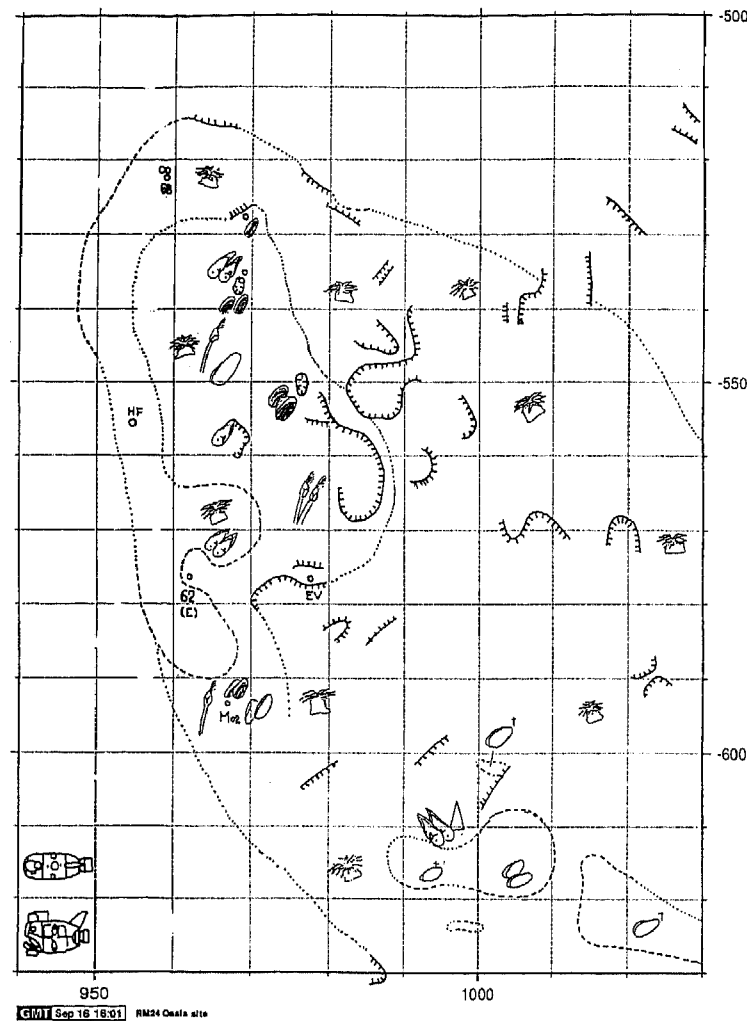


図7 オアシスサイトの記載地図。生物分布、崖及び Collapsed Pits、設置された装置・マーカーの位置を示した。周囲の点線の内側にはイソギンチャクが生息しており、さらにその中の点線の領域にはシロウリガイや底ダラの生息が確認された。

1番カメラが固定であることを反映して、中にはほとんど意味のないイメージも存在する。このようなときは、目視情報や2番カメラの情報を使って記載を行った。

以上から、オアシスサイトを通過した全6潜航について、これらの間でクロスチェックを行いながら Collapsed pits、割れ目、生物などの地形・生物学的特徴の分布と、潜水艇を用いて設置した各種装置の位置を決定できた。この結果を図7に示す。

個々の潜航の結果から推定された、マーカーやデッドチムニーの位置は、最大で5-10m程度のずれがあった。オアシスサイトでは、溶岩の陥没地形の中に湧水や生物群集が多く見られ、これらが近い範囲に多数存在しているため、mのオーダーでナビゲートしないと、同じ湧水域を再訪しそこなうことがあった。高いデッドチムニーの近傍などでは音響測位データのみによる位置決定では潜航により相互に10m以上の違いを生じたが、ビデオカ

メラの視野を考慮した位置決定ではこれが2m以内に収まった。また「しんかい6500」の窓から眺めた時の距離感と、実際の位置との差がある場合があり、これは経験豊富なパイロットとほとんど経験のない研究者の間で顕著であった。結局論文を書くのは研究者であるのだが、それが実際のロケーションとは異なった感覚で記載を行う、ということにもなりかねないのである。

今回の処理により、マーカーやチムニーの位置が相対精度2-5mで同定できた。このことは、LBL測位による位置決定の相対精度が従来考えられていたよりも高く、トランスポンダの設置条件がよければ最高この程度までの分解能が期待できることを示している。実際には回収の必要な装置にはマーカーなどが取り付けられているため、回収時にこんな精度で位置を知っている必要はないかも知れない。しかし、海底の地図を作成するという作業において、これまでは音響測位の精度(20m)以上の精度

では議論できないという常識があったのが、慎重にデータ処理を行うことによって、これが一桁高い、陸上なみの精度で議論を行うことが可能になったのは意義が大きい。今後はこのプログラムを汎用化し、多くの潜航調査で活用できるようにしていきたい。

5. 今後の課題・提案

今回は時間が足りないため、オアシスサイトのみでのマッピングとなったが、このほかの東太平洋海嶺、また大西洋中央海嶺のTAGマウンドでも同様の精査は行われている。これらの地域についても今後マッピングを行ってきたい。

今回の解析では、1番ビデオの画像のみのプロットを行った。これは2番カメラが可動式であり、しかもその方位や視野情報はデジタルで記録されていないため、作業量が膨大となるためである。また当然のことではあるが、目視による情報も直接には反映することができなかった。しかし1番カメラでは撮影されない情報が多く、また「しんかい6500」が上昇するとすぐに何も写らなくなってしまう。画像はS-VHS方式で記録されているが、マッピングにあたってはまずキャプチャー装置による取り込み、コントラストの強調などの画像処理を行ったため、この過程で画像の劣化が避けられない。

以上などから、今後よりよいマッピングを簡単に行うことを可能にするために、以下の事柄を提案したい。

1) 現在リアルタイムで得られている位置情報を、ピンガー位置ではなく例えば耐圧球の真下のものに変更する。これによりその場でのマッピングが正確になると期待される。

2) ビデオカメラをデジタル化・高分解能化し、より高画質の情報を簡単にコンピューターに取り込めるようにする。将来的には、すべての情報をもとに自動的にビデオ地図が作成されるようになれば便利であろう。

3) 2番ビデオの方位及び視野に関する情報もコンピューターに取り込む。これにより2番カメラの画像をもマッピングすることが可能になり、一層リアルなビデオ地図ができることが期待される。

4) 三角測量を行うことにより、マーカーや装置などの位置をより正確に決定する。

謝 辞

「しんかい6500」運航チーム、及び「よこすか」乗組員の方々には、潜航全般にわたり通常の範囲を超えて援助やアドバイスをいただきました。特に小倉整備長と橋本管制長には、しんかいの各部詳細と位置決めの方法について詳細に教えていただきました。今回マッピングを行ったオアシスサイトの潜航を行った各潜航者の方々(松林 修氏、西村清和氏、浦辺徹郎氏、満澤巨彦氏、丸山明彦氏)には、潜航のビデオの使用を許可していただきました。

参考文献

JAMSTEC, 潜水調査船「しんかい6500」利用者の手引き
Leg2 Shipboard Scientific Party, Southern East Pacific Rise
Ridge Flux '97 Second Cruise Onboard Report, 1997.

(原稿受理：1998年7月10日)