

深海調査研究船「かいいい」  
KR05-07 調査航海  
三陸沖日本海溝周辺海域  
クルーズレポート

2005年6月29日（神奈川県横須賀港）  
～2005年7月8日（青森県八戸港）

**研究課題** 沈み込み帯のアスペリティ周辺の動きを探る  
海底測地基準点の設置と海底精密測位観測

## 目次

### はじめに

#### 1．航海ログおよび航跡図

#### 2．乗船者名簿

#### 3．調査目的

#### 4．調査結果

##### 4．1 潜航調査結果

(1) # 3 3 7 潜航

(2) # 3 3 8 潜航

(3) # 3 3 9 潜航

##### 4．2 海底観測機器の設置・回収・位置決め

(1) 海底観測機器の設置・回収

(2) 海底設置機器の測位方法

##### 4．3 海底精密測位観測

(1) 観測システム、その障害と回復

(2) 海底測位観測の概要

(3) XCTD による音速プロファイル

##### 4．4 航走調査結果

(1) 既存の海底地形データ

(2) 本航海のマルチナロービームによる海底地形調査

#### 5．まとめ

#### 6．今後の研究計画

#### 7．データリスト

・画像データ一覧（ビデオ、ステチル写真、デジタルカメラ）

・数値データ一覧（XBT、MNBES、CTD、SOJ 等）

## はじめに

大地震が頻発している日本海溝周辺の中でも、30年から40年の周期でほぼ同じ場所で大地震が起きている宮城県沖は、大地震の発生確率が高く、調査も進んでいる。最近の研究により、海溝型地震はプレート境界におけるアスペリティ（固着域）の間歇的滑りによって起こるといふモデルの検証が進み、アスペリティの大まかな分布も推定されている。宮城県沖地震では陸側のアスペリティの他に、まれに陸側の震源域と連動して大きな津波を引き起こす海側のアスペリティの存在も推定されている(図1の二つの楕円)。アスペリティの分布をより精密に求めるためには、海底における地殻変動観測が不可欠であり、東北大学では、それらの二つのアスペリティの上に海上のGPS測位と海中の音響測位を結合する方式の地殻変動観測点を設けている。

海側のアスペリティは基本的に海溝の陸側の急崖の下に位置しており、安定した地殻変動観測は難しい。幸い、宮城県沖の海底には水深3300m付近にテラス状の限られた平坦面があり、そこに1セットの音響測距用海底局アレイ(GJT3)を設置している。海底地殻変動観測の繰り返し観測精度の評価が求められており、ここに海底局アレイを増設するとともに、堆積層で覆われた海底に設置した既設の海底局の設置状況を確認することが重要である。

東北大学では、海底圧力の長期観測により海底の上下変動を捉える観測にも取り組んでいるが、今後の研究の進展には、安定した海底観測ベースを設置して、その上で海底圧力観測を行う必要がある。

本研究はこれらの課題に取り組み、3次元の海底地殻変動観測を可能とする海底測地基準点を設けることにより、海溝型地震としては世界でも最も発生確率が高いと言われる宮城県沖地震のアスペリティモデルの検証を進めることを目指すものである。そのために潜航調査作業により、段丘の平坦面に新たに3台の音響測距用海底局を設置するとともに、海底観測ベースに据えつけた海底圧力計も設置した。さらに測位観測用のブイを曳航し、海底精密測位観測を行った。海底観測および観測データの解析には、精密な海底地形の情報が不可欠であり、夜間等の時間を利用して、観測サイト周辺の精密地形調査を行った。

航海前には、調査海域における問題は濃霧と漁業活動であると予想していたが、いずれもあまり調査活動の妨げにはならなかった。しかし梅雨前線が活発化し、低気圧が次々と来襲し、潜航調査を翌日に延期したり、開始時間を遅らせるということがあり、最後に予定していた潜航ができなかったのは残念であった。そのような難しい条件の中で、また乗船研究者が少ないにもかかわらず、多岐にわたる調査観測内容の大部分を実施できたのは、漁野船長、平田運航長をはじめとする船側および運航チームの協力と、船側と研究者の間に入って、二人分の働きをしていただいた研究支援員の青木さんのおかげである。陸上で支援していただいた門馬部長はじめ海洋研究開発機構の関係者も含めて、本航海の関係者に感謝の意を表したい。

2005年 7月8日 首席研究者 東北大学 藤本博巳

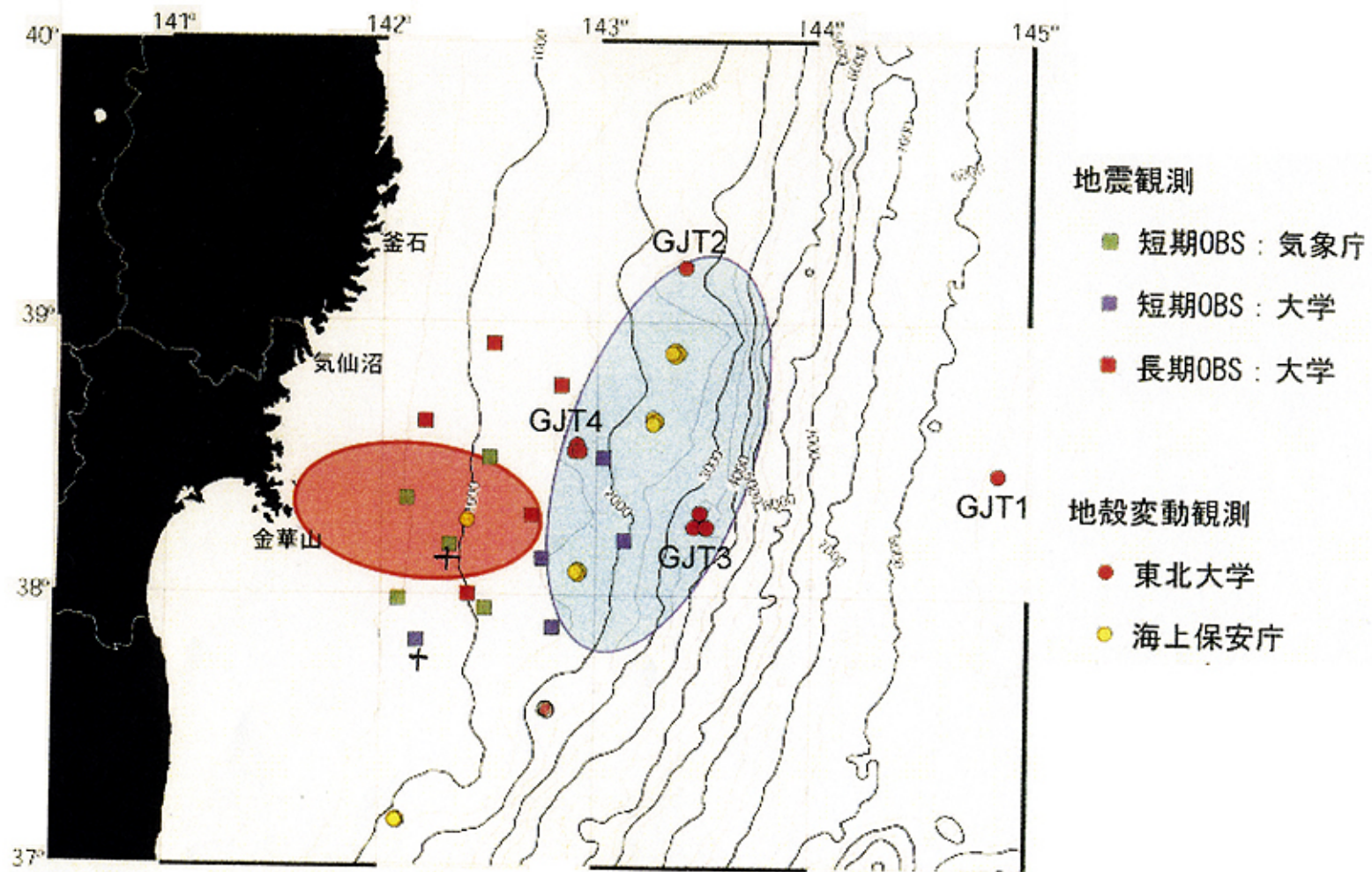


図1 宮城県沖地震で推定される固着域と海底観測点

1 航海ログ

日付・時刻 (船内時間)	記事	備考	天候 / 風向/風力 / 波浪/ うねり/視程(正午)
Wed. 29.Jun.05			曇/NNW/2/1/1/6
10:00	JAMSTEC出港	回航	
13:00-13:25	船内生活・安全レクチャー		
16:40-17:00	金比羅参拝		
Thu 30.Jun.05			曇/NNE/3/2/1/6
07:00-08:58	IES回収作業		
12:56	XBT計測		
12:53-15:53	海底圧力計回収作業	GJT-3海域	
17:00	MNBES調査	宮城県沖日本海溝陸側斜面	
Fri 1.Jul.05			曇/SE/5/3/2/5
-06:05	MNBES調査		
08:00-08:30	海底局C、Dの応答確認	C=応答有り、D=応答無し	
	KAIKO/7K第337潜航(宮城沖日本海溝)	精密音響測位システム海底局(D')の設置および、応答がない既存の海底局(D)の探索。	
10:08	吊り上げ		
10:15	着水		
11:57	着底 3249m		
13:23	離底 3248m		
14:45	揚収完了		
15:56-18:30	海底局Bの位置決め		
19:23-	MNBES調査		
Sat 2.Jul.05			曇/North/6/4/4/8
-06:05	MNBES調査		
08:09-09:52	C点位置決め(3点測位)	海況不良のため潜航中止	
11:55-	MNBES測線開始		
14:00-14:35	「かいこう」ブリーフィング		
Sun 3.Jul.05			晴/WNW/4/3/2/12
5:06	MNBES調査終了		
	KAIKO/7K第338潜航(宮城沖日本海溝)	精密音響測位システム海底局(E')の設置および、設置状況の確認。	
12:52	吊り上げ		
12:59	着水		
14:37	着底 3249m		
15:03	離底 3248m		
16:32	揚収完了		
18:00-19:20	C点位置決め1点追加	海底圧力計用係留系準備	
20:56	MNBES測線開始		
Mon 4.Jul.05			曇/ESE/5/3/2/10
4:15	MNBES調査終了		
7:44	海底圧力計設置用係留系投入(60m/minで下降)		
	KAIKO/7K第339潜航(宮城沖日本海溝)	精密音響測位システム海底局(C')の設置および、既存の海底局(C)の設置状況確認。	
8:49	着水		
10:24	着底 3244m		
14:25	離底 3306m		
15:52	揚収完了		
17:33-18:30	海底圧力計位置決め		
20:46	MNBES測線開始		
Tue 5.Jul.05			雨/NE/4/4/4/3
3:30	MNBES調査終了		
8:00	MNBES測線開始	海況不良のため潜航中止	
Wed 6.Jul.05			曇/ENE/3/3/4/6
2:20	MNBES調査終了		
7:06	係留系切り離しコマンド送信・切り離し確認(100m/minで浮上)		
7:38	浮上		
7:55	揚収完了		
09:00-13:00	海底測位観測用パイ組み立て	海況不良のため潜航中止	
13:01	パイ投入・観測開始(B、E'、D')		
18:00	XCTD観測		
Thu 7.Jul.05			曇/South/4/3/4/8
16:45	パイ一旦揚収、移動	海況不良のため潜航中止	
8:00	パイ投入(B、C'、D')		
15:55	観測終了		
16:07	パイ揚収		
Fri 8.Jul.05		回航	
9:00	八戸港着岸		

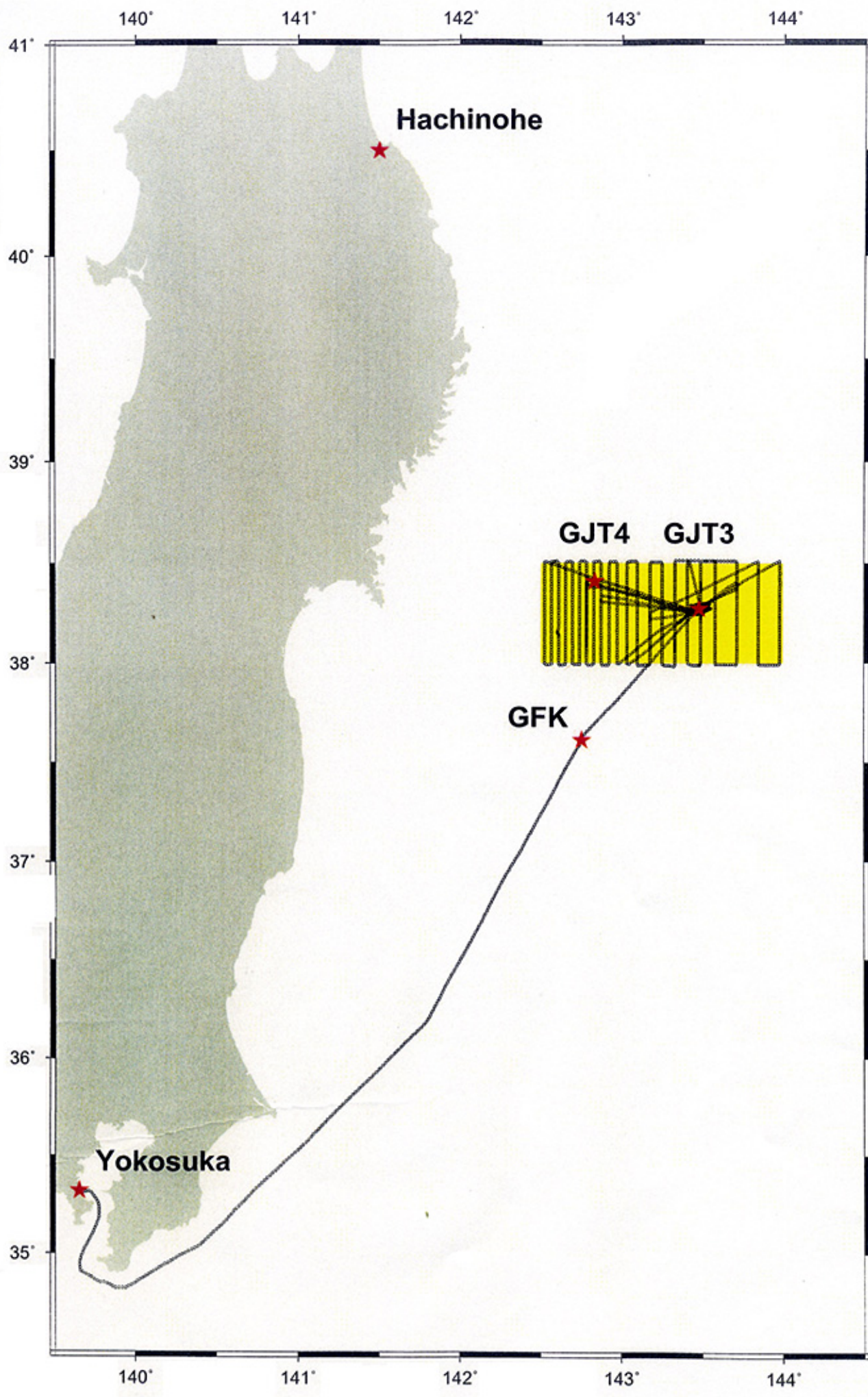


図2 航海の航跡図 (調査海域から八戸の分は書き込んでいない)

## 2. 乗船者名簿

### 研究者

氏名： 藤本 博巳          H. FUJIMOTO  
所属： 東北大学大学院理学研究科

氏名： 木戸 元之          M. KIDO  
所属： 東北大学大学院理学研究科

氏名： 桑野 亜佐子      A. KUWANO  
所属： 東北大学大学院理学研究科

### 観測技術員

氏名： 青木 美澄          M. AOKI  
所属： 日本海洋事業株式会社 海洋科学部

### 3 . 調査目的

日本列島における広域かつ高密度の地震及び地殻変動観測により、海溝型地震はプレート境界におけるアスペリティ(固着域)の間歇的滑りによって起こるというモデルの検証が進み、アスペリティの大まかな分布も推定されている。しかしそのアスペリティは海底下であり、特にプレート境界面の滑りの研究が進んでいる日本海溝では、海溝軸が陸から 200 km ほど離れているので、今後の研究の進展には海底における地震および地殻変動観測が不可欠である。

G P S (Global Positioning System) は微小な地殻変動の分布を面的に捉えることを可能にしたという意味で地殻変動観測に革命をもたらし、その重要性を再認識させた。しかし電波の届かない海底の観測に G P S を直接用いることはできない。陸上から 100 km 以上離れた海底の地殻変動を観測する方法として現在最も有望視されているのは、海上の G P S 観位と海中の音響測位を結合した G P S 音響結合方式の海底測位の繰り返しにより水平変動を検出し、海底圧力の長期観測と繰り返し観測を結合して上下変動を検出する方法である。プレートの沈み込み角度は小さいので、水平変位の検出が重要である。海中の音響測位における最大の問題は音速変化の影響である。その影響を除去し海底の水平変位をセンチメートルオーダーで検出するために、ほぼ等間隔で設置した海底局 3 台のアレイを用いる測位方法を用いる。

大地震が頻発している日本海溝周辺の中でも、30 年から 40 年の周期でほぼ同じ場所で大地震が起きている宮城県沖は、大地震の発生確率が高く、調査も進んでいる。宮城県沖地震には陸側のアスペリティの他に、まれに陸側の震源域と連動して大きな津波を引き起こす海側のアスペリティの存在も推定されている。東北大学では、それらの二つのアスペリティの上に海上の G P S 測位と海中の音響測位を結合する方式の地殻変動観測点を設けている。

精密な海底測位には 3 台の海底局のアレイが必要であり、観測結果の信頼性を検証するためには、2 ~ 3 セットの海底局アレイが必要である。それらの海底局は、顕著な断層が認められず、同一の海底ブロック内にある平坦な海底に設置する必要がある。陸側のアスペリティの上の観測点は、水深約 1500m のほぼ平坦な海底にあり、比較的観測における問題点は少ない。一方、海側のアスペリティは基本的に海溝の陸側の急崖の下に位置しており、平坦面が望ましい G P S 音響結合方式の海底地殻変動観測点を設けることは簡単ではない。幸い、宮城県沖の海底には水深 3300m 付近にテラス状の限られた平坦面があり、そこに音響測距用海底局 4 台を設置した。しかしそのうち 1 台は応答しておらず、海底地形の影響が危惧される。海底地殻変動観測の繰り返し観測精度の評価が求められており、複数点で観測する必要があり、複数の海底局アレイで観測する重必要がある。この平坦面以外には観測に適した場所はなく、ここに海底局アレイを増設するためには、精密な地形観測を行うとともに、無人潜水調査船により海底地形を確認して耐圧ガラス球入りの海底局を設置する作業が必要である。さらに海面から投下し、堆積層で覆われた海底に設置した既設の海底局の設置状況も確認し、1 cm の変動を検出できるほど安定に設置されているか否かを確認する必要がある。

東北大学では、海底圧力の長期観測により海底の上下変動を捉える観測にも取り組んでおり、南米沖の東太平洋海膨や三宅島近海において海底の上下変動の観測に成功している。しかし圧力センサーである水晶圧力計には、水深換算で月に 1 cm 程度のドリフトと呼ばれる経年変化があり、繰り返し観測によりそのドリフトをチェックする必要がある。これまでの海底圧力観測は、耐圧ガラス球入りの海底圧力計を海面から投下し、泥質の海底に設置し、約 1 年間の観測終了後、錘を切り離して浮上させて回収していた。

この方法では、1 cmの分解能で繰り返し観測するという事は不可能であるので、安定した海底観測ベースを設置して、その上で海底圧力観測を行う必要がある。

海底観測および観測データの解析には、精密な海底地形の情報が不可欠であり、夜間等の時間を利用して、観測サイト周辺の精密地形調査を行う必要がある。

本研究はこれらの課題に取り組み、3次元の海底地殻変動観測を可能とする海底測地基準点を設けることにより、海溝型地震としては世界でも最も発生確率が高いと言われる宮城県沖地震のアスペリティモデルの検証を進めることを目指すものである。

## 4. 調査結果

### 4.1 潜航調査結果

#### (1) #337 潜航

- ・潜航年月日： 2005年7月1日（日本標準時）
- ・潜航海域： 日本海溝陸側斜面、宮城県沖
- ・天候： くもり、夕刻より雨。海況は朝方良好、午後はやや悪化。
- ・潜航目的： 音響測距用海底局の設置と、既設の海底局の探索
- ・潜航経過

9時ころまで、パイロード搭載（図4.1）。

音響測距用海底局 EJ24：

本体は耐圧ガラス球入りで、空中40kg、水中-9kg。  
これを60cm x 64cmのFRPのメッシュ状の架台に固定し、  
30kgの錘を装着し、パイロード用台に固縛。

小型海底圧力計： 水中重量約4kg、かいこう7Kの左舷に  
搭載し、海底局の設置水深を計測する。

10時15分 かいこう7K着水、第337潜航開始

11時57分 かいこう7K着底、震度3.249m。底質泥。

周囲の海底が平坦であることを確認し、音響測距用の海底局  
EJ24の固縛を解除し、台から引き出して設置。沈まず、安定。

設置位置： 38度14.9892分、143度28.9904分

その後、設置した装置の写真等を撮り（図4.2）浮上して、2年前に設置  
した音響測距用の海底局EJ14を計測範囲75mのソナーで探索も  
エコーなし。海況悪化のおそれがあり、途中で潜航調査切り上げ。

13時23分 離底。

14時45分 揚収完了。小型海底圧力計を取り外し、観測データ回収。

Dive Log of KAIKO7K Dive #337				Date:	Area: 宮城県沖日本海溝 (1/1)	
				2005/07/01		
Time (Local)	Vehicle Depth (m)	Altitude (m)	Heading (Deg)	Position X(m)	Position Y(m)	Description
10:15						着水
11:56						海底視認
11:57	3249					着底。底質：泥。ナマコ、エビなど
12:15						海底局D'設置完了。Dを探索する。
12:57						設置したD'視認。距離14m
12:58						距離7mに着底し、設置状況の観察・撮影
13:06						北東方向を探索。
13:23	3248					離底

図4.3 かいこう7000 第337潜航航跡図（次次頁）



図 4.1 かいこう 7000 のペイロードスペースに固定された海底局 EJ24

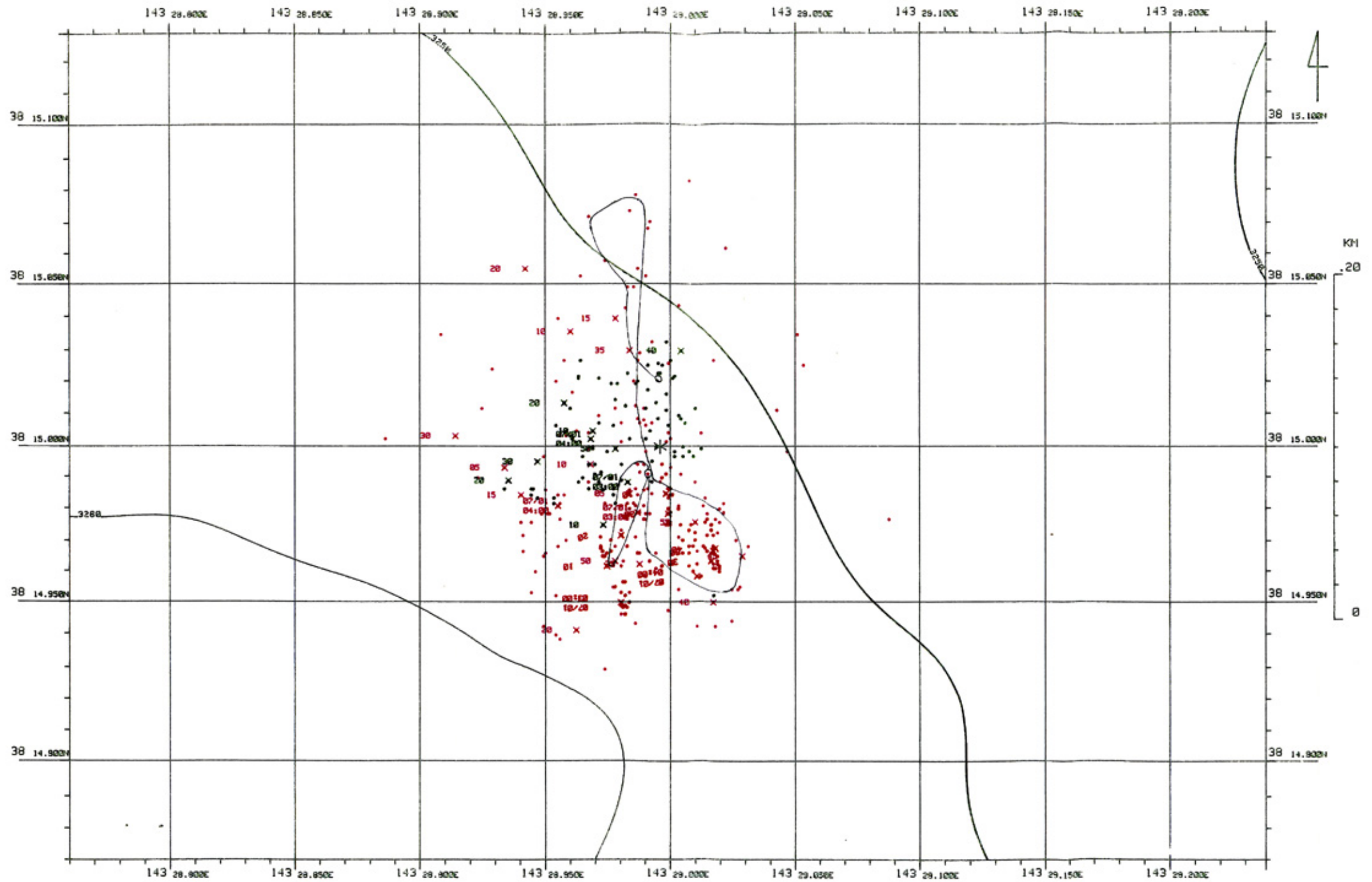


図 4.2 海底に設置後の海底局

PROS-07 KAIKO7000 Dive337  
MIYAGIKENOKI JAPAN TRENCH

Date 2005/07/01

Scale ( 1 / 2000 )



<LL> 38 14.8H 143 28.7E <UR> 38 15.1H 143 29.2E

Datum MGRS Proj. UTM

05/07/01 02:57:00 -> 05/07/01 04:24:00

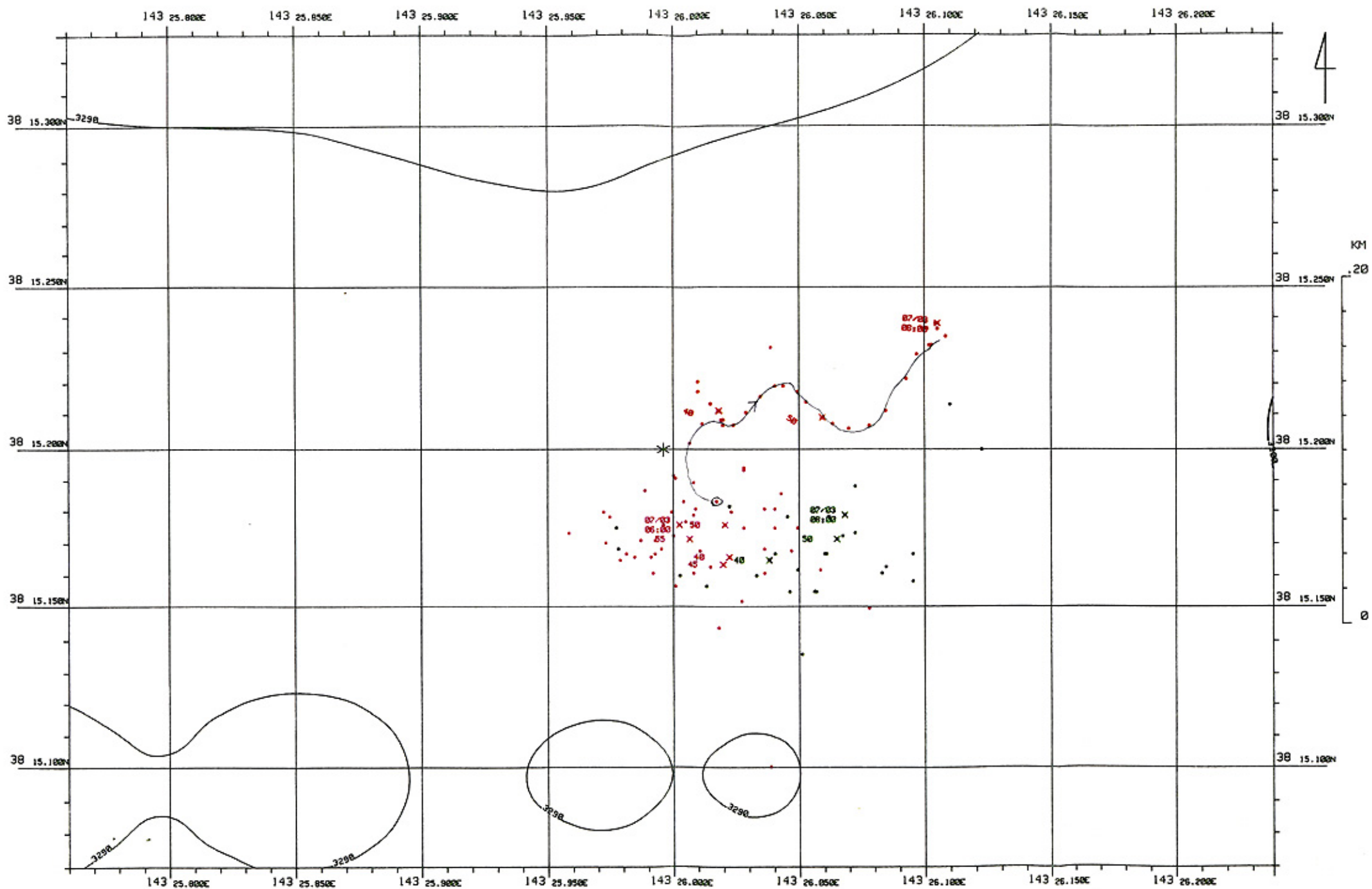
(2) # 3 3 8 潜航

- ・潜航年月日： 2005年7月3日(日本標準時)
- ・潜航海域： 日本海溝陸側斜面、宮城県沖
- ・天候： 晴れ、視界良好。うねりやや大きく、少しずつ減少。
- ・潜航目的： 音響測距用海底局の設置
- ・潜航経過
  - 07時まで、ペイロード搭載(第337潜航とほぼ同じ)
  - 音響測距用海底局(EJ23)： ペイロード用台
  - 小型海底圧力計： かいこう7Kの左舷
  - 12時59分 かいこう7K着水、第338潜航開始。
  - 14時37分 かいこう7K着底、震度3284m。海底は平坦で、底質泥。
  - 海底局設置： 38度15.1841分、143度26.0302分
  - 装置状況を観察。
  - 15時03分 離底。
  - 15時53分 揚収。小型海底圧力計を取り外し、観測データ回収。

Dive Log of KAIKO7K Dive #338 Date: 2005/07/03 Area: 宮城県 (1/1)  
沖日本海溝

Time (Local)	Vehicle Depth (m)	Altitude (m)	Heading (Deg)	Position X(m)	Position Y(m)	Description
12:59						着水
14:36	3279	4.0				海底視認
14:37	3284	0.0				着底。底質:泥
14:51						海底局E'設置完了
15:04	3284					離底

図 4.4 かいこう7000 第338潜航航跡図 (次頁)



(3) # 3 3 9 潜航

- ・潜航年月日： 2005年7月4日（日本標準時）
- ・潜航海域： 日本海溝陸側斜面、宮城県沖
- ・天候： くもりのち晴れ、視界良好。うねりは小さくなったが、午後から少し波浪。
- ・潜航目的： 音響測距用海底局の設置、既設海底局の設置状況観察。
- ・潜航経過
  - 06時30分より、海底観測ベースの上の海底圧力計固縛作業。
  - 07時より07時45分 海底観測ベース投入作業（係留系 図4.5）。  
海底観測ベースと、その上に固定した海底圧力計を図4.6に示す。  
並行して、ペイロード搭載（第337潜航とほぼ同じ）  
音響測距用海底局（EJ22）： ペイロード用台  
小型海底圧力計： かいこう7Kの左舷
  - 08時49分 かいこう7K着水、第339潜航開始。
  - 10時24分 かいこう7K着底、深度3244m。海底は平坦で、底質泥。  
海底局EJ22設置： 38度17.1806分、143度30.2859分  
設置状況を観察。
  - 10時50分 浮上し、C点の海底局EJ15の設置状況観察に向かう。  
母船を移動しながら、東へ約730m航走。途中、落差約40mの斜面を観察しながら下降。平坦面も斜面も泥質。
  - 12時14分 昨晚までの測位観測で求めた推定位置（投入点の北東440m）に到着するがソナーに反応無し。周囲の探索を開始。その後、投入点までの中間点付近までジグザグに戻り、再度推定位置に向かう。途中でソナーにエコーあり。
  - 14時08分 海底局EJ15発見、38度17.0851分、143度30.6783分、水深3306m。投入点の北東約300m（測位誤差要因調査中）。巻き上げた泥が収まるのを待って観察。海底局が非常に安定している状態で設置されていることを確認（図4.7）。
  - 14時25分 撮影しながら離底。
  - 15時52分 揚収。小型海底圧力計を取り外し、観測データ回収。

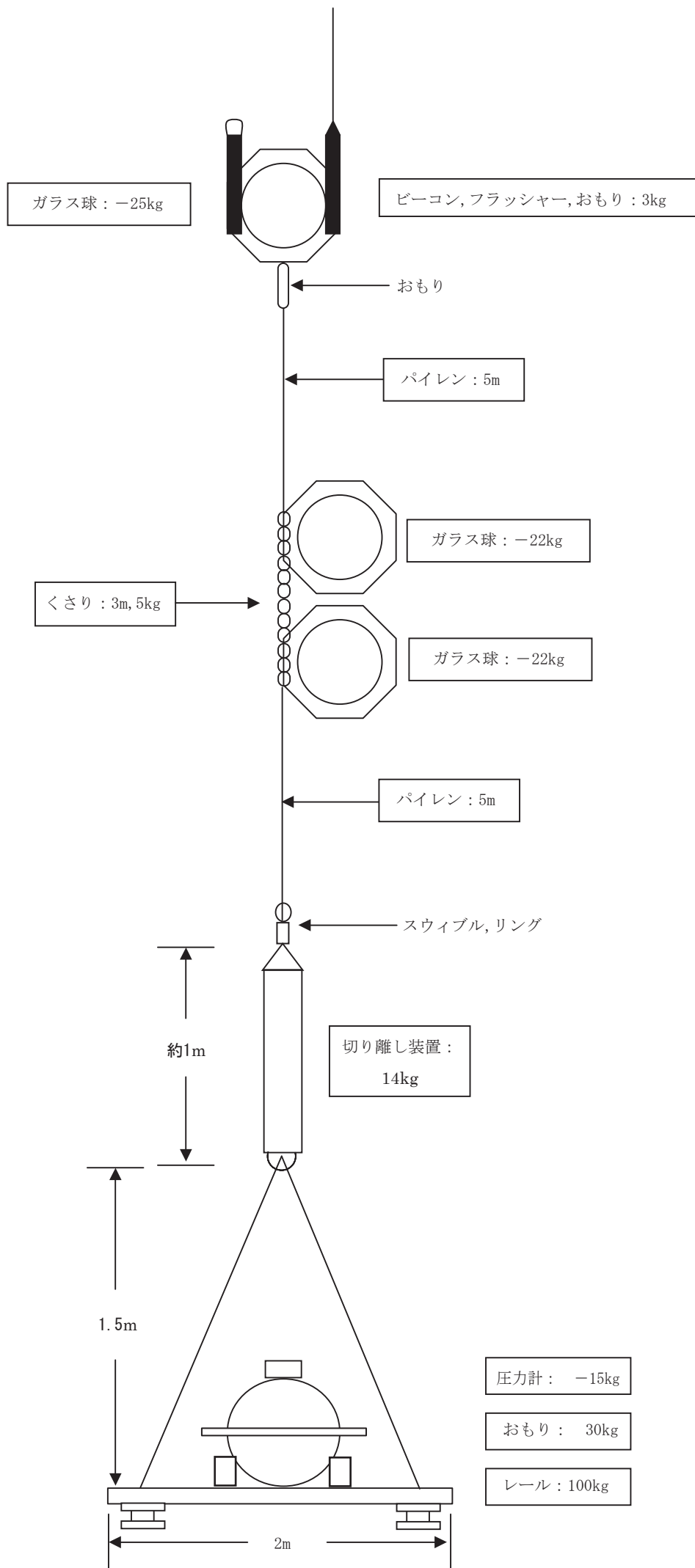




図 4.6 2003 年に設置した海底局の設置状況を示す写真

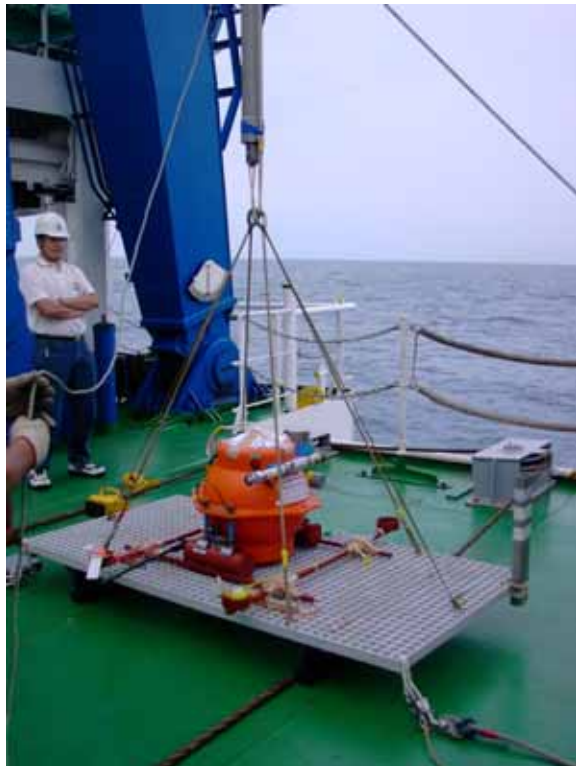
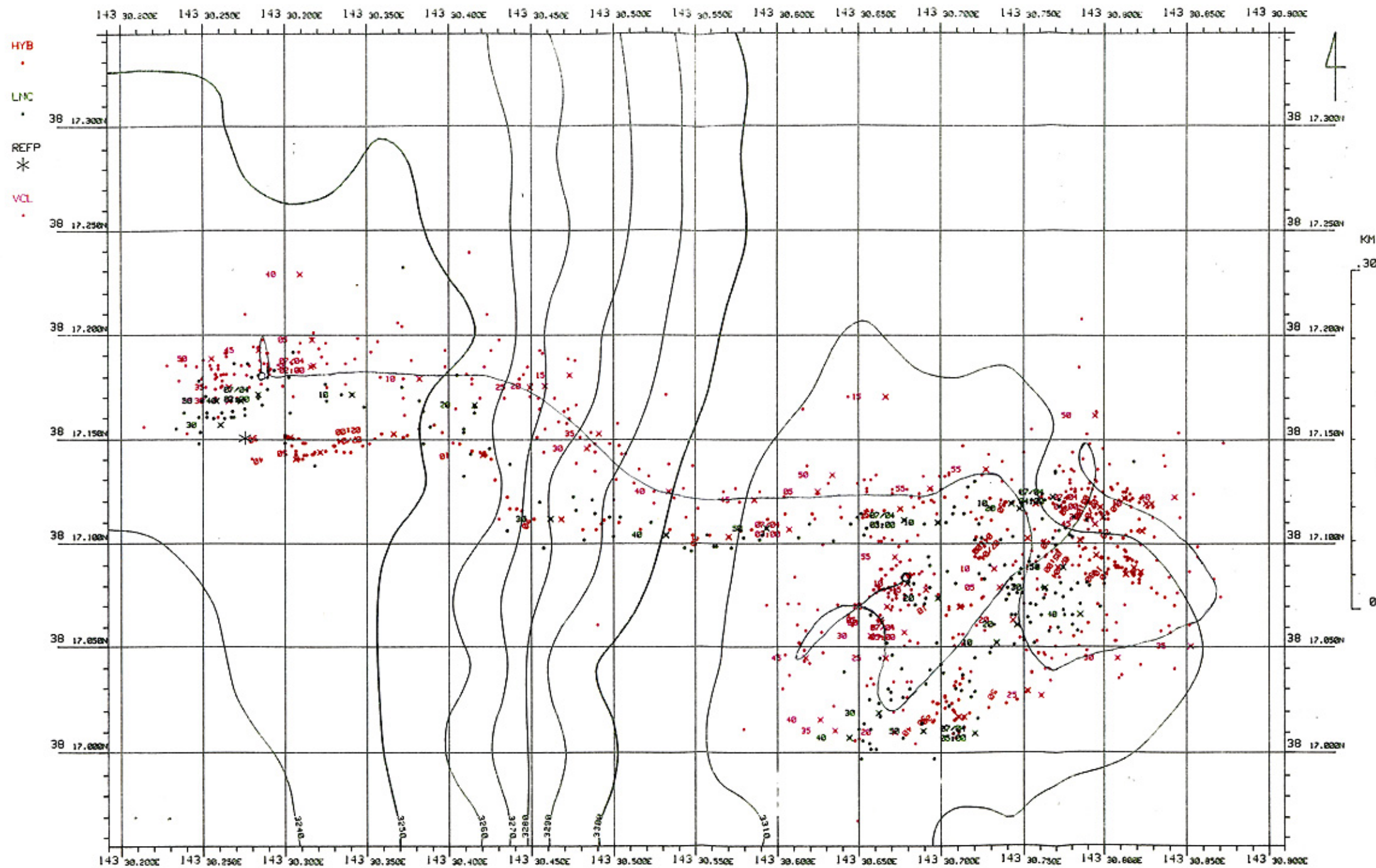


図 4.7 1m x 2m の海底観測ベースと、その上に固定した海底圧力計

**Dive Log of KAIKO7K Dive #339**      **Date:** 2005/07/04      **Area:** 宮城県沖日本海溝 (1/1)

Time (Local)	Vehicle Depth (m)	Altitude (m)	Heading (Deg)	Position X(m)	Position Y(m)	Description
8:49						着水
10:23	3236	8.0				海底視認
10:24	3244	0.0				着底
10:37						海底局 C'設置完了。設置状況確認、写真撮影
10:50						C 探索のため、東へ 750m 移動する。
11:01	3246	2.0				タコ
11:34	3279	1.0	71			斜面下る。
12:12	3302	3.0	156			目標点の少し南に到着
12:17	3302	4.0	180			南を探索
12:26	3303	3.0	81			ソナー反応確認
13:30						探索中
13:53	3306	0.0	26			着底し、ソナー確認
13:58	3306	0.0				少し移動し、ソナー確認
14:04	3306	0.0	39			少し移動し、ソナー確認
14:09	3306	0.0	40			海底局 C 視認。距離=5m。観察。
14:26	3306					離底

図 4.8 かいこう 7000 第 3 3 9 潜航航跡図 (次頁)



## 4.2 海底観測機器の設置・回収・位置決め

### (1) 海底観測機器の設置・回収 (図 4.9 参照)

#### ・GJT3 サイトの音響測距用海底局

##### A 点 (EJ16)

投入位置 2003-08-05 38 19.0070' N, 143 29.0110' E, 3284m

測位結果 2005-07-07 38 19.0654' N, 143 29.0139' E

##### B 点 (EJ13)

投入位置 2003-06-17 38 17.0015' N, 143 27.4978' E, 3254m

測位結果 2005-07-01 38 17.1223' N, 143 27.5221' E

##### C 点 (EJ15)

投入位置 2003-06-17 38 16.9784' N, 143 30.5329' E, 3285m

測位結果 2005-07-03 38 17.1201' N, 143 30.7679' E

海底位置 2005-07-04 38 17.0851' N, 143 30.6783' E, 3306m

##### C' 点 (EJ22)

海底位置 2005-07-04 38 17.1806' N, 143 30.2859' E, 3244m

##### D 点 (EJ14) 応答なし

投入位置 2003-06-17 38 14.9804' N, 143 28.9959' E, 3274m

##### D' 点 (EJ24)

海底位置 2005-07-01 38 14.9892' N, 143 28.9904' E, 3249m

##### E 点 (EJ23)

海底位置 2005-07-03 38 15.1841' N, 143 26.0302' E, 3284m

#### ・GJT3 サイトの海底圧力計

##### OBPGJT3-04

投入位置 2004-08-21 38 16.82' N, 143 29.01' E

回収 2005-06-30

##### OBPGJT3-05@海底観測ベース

投入位置 2005-07-04 38 15.0203' N, 143 29.0942' E, 3250m

測位結果 2005-07-04 38 15.1309' N, 143 29.1101' E, 3240m

#### ・GFK サイトの Inverted Echo Sounder

##### GFK-D IES-Unit5

投入位置 2005-06-16 37 36.6988' N, 142 45.3306' E, 2216m

回収 2005-06-30

#### (注)

投入位置: 投入時の船の位置と音響測深機

海底位置: かいこう 7000 の緯度・経度・水深

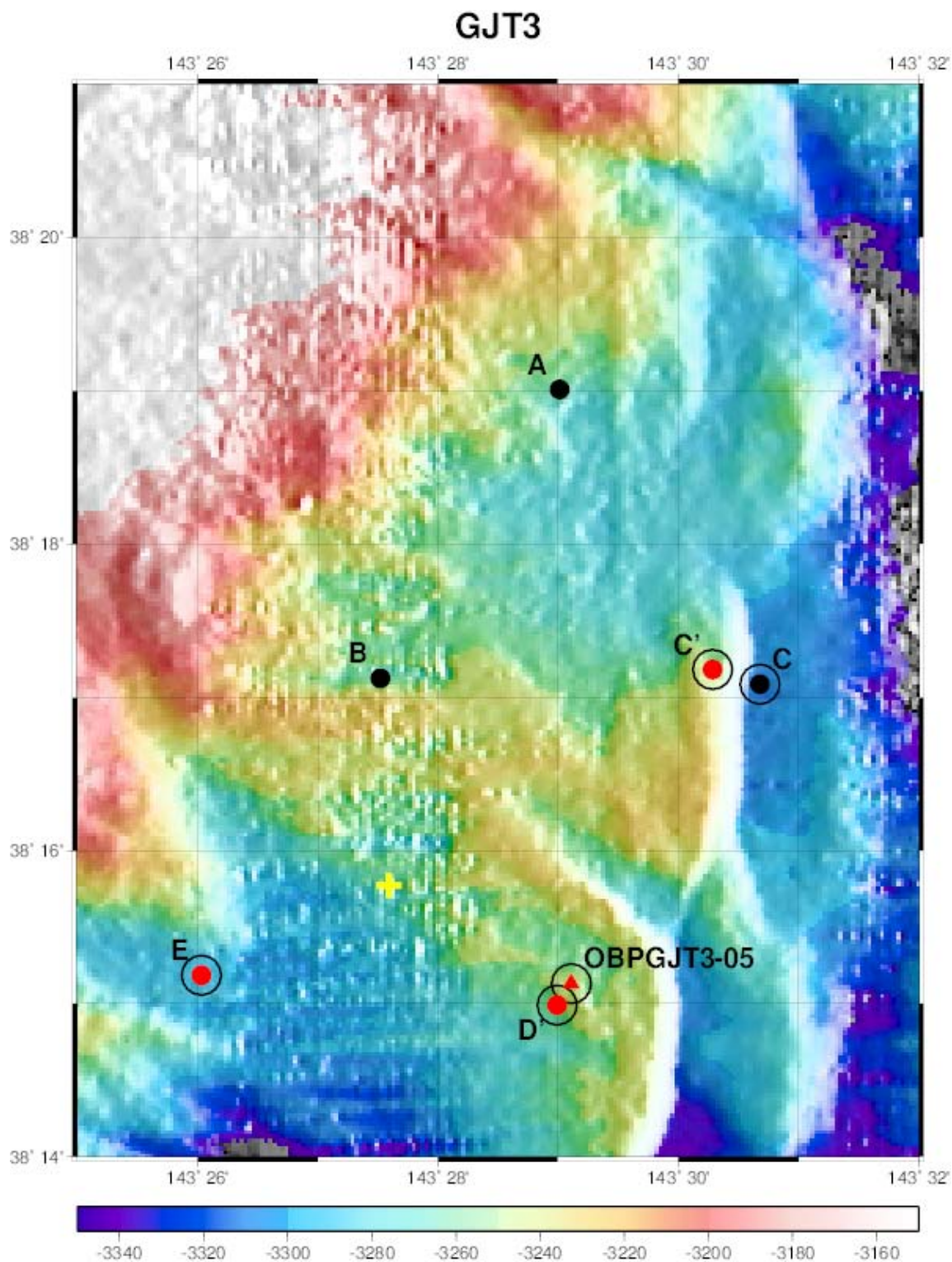


図 4.9 GJT3 サイトの海底地形と計測器の設置点 . solid circle は海底局の位置。solid triangle は海底圧力計設置点。 open circle は潜航点。赤は新設点、黒は既設点。A のみ投入点のまま。位置の推定方法は下の一覧表を参照のこと。背景の地形図は、本航海で得たマルチナロービームによる。

## ( 2 ) 海底設置機器の測位方法

海底圧力計の場合は、海洋電子(株)製の音響切り離し装置を運航チームの部屋に置き、そこから音響トランスジューサを出して舷側から下ろし、バースト波を用いた測距結果(分解能 1 m)を逐次連絡して、電子部で解析して海底位置を求めた。その結果を図 4.10 に示す。

音響測距用海底局の場合は、測距装置の船上部をウェットラボに置き、音響トランスジューサを左舷から下ろして、測距結果および、船の GPS アンテナと音響トランスジューサの位置関係を考慮して海底位置を求めた(図 4.11 およびその解説参照)。この簡易 3 点測距では、目標精度は 10m 程度であるので、船の傾きは考慮せず、heading の時系列データのみから船の GPS 位置とトランスジューサの相対位置関係を把握する。高度方向は、トランスジューサの典型的な水深を繰り出しケーブル長から推定し、固定値として与える。かいいいから提供される SOJ ファイルの GPS データは、船の GPS アンテナの位置ではなく、ブリッジの特定の位置に変換されたものなので、注意を要する。トランスジューサの位置は GPS の位置から後方に 50m、左舷側 8m、水深 7.3m として計算した。また、音速はかいいいから提供された平均音速 1490m/sec を固定値として用いた。海底局の水深はフリーにすることも固定にすることも可能である。B はフリー、C は固定で解いた。この選択による差は高々 10m 程度である。

B 点に既設の海底局の測位においては、舷側から傘を付けたトランスジューサを降ろし測距を行った。その傘の流体抵抗のために、トランスジューサが流され、傾き、南東の点(青)では海底局と反対側に傾いたためほとんど受からず、偶然取れた一点だけの利用となった。図 4.12 は、測距を行った位置と測距結果、走時残差、走時である。測距中の船の heading は南西(~ 230 度)で北に流されている。この時の結果は、投入位置に比べて測位結は東北東に 250m 程度であり、向きも距離も妥当な結果となった。

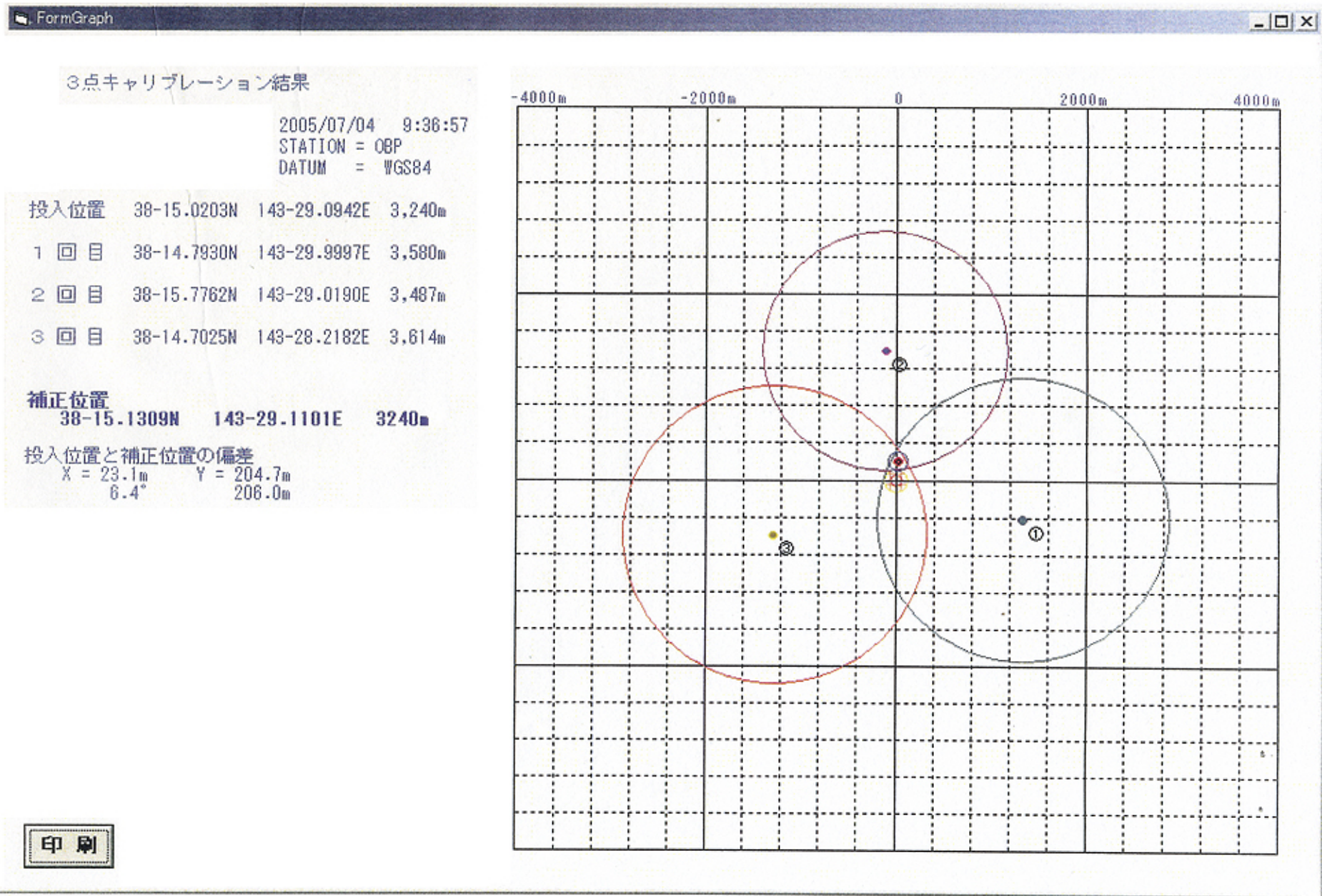


図 4.10 海底圧力計の 3 点キャリブレーションの結果

## 船のGPSとトランスデューサの位置関係の検算

船のGPSの後方距離  $h$ 、中心から左舷  $w$  にトランスデューサがあるとす。このとき、GPS からトランスデューサまでの水平距離  $\ell$  は

$$\ell = \sqrt{h^2 + w^2}$$

である。また、GPS から見たトランスデューサの船尾からの水平角度を  $\theta_d$  は、

$$\theta_d = \arctan \frac{w}{h} = \text{atan2}(w, h)$$

となり、その絶対方位は船の Heading を  $\theta_s$  とすると  $\theta_s + \theta_d + \pi$  であらわせる。よって、船のGPS に対するトランスデューサの位置は、

$$dx = \ell \sin(\theta_s + \theta_d + \pi)$$

$$dy = \ell \cos(\theta_s + \theta_d + \pi)$$

$h = 50\text{m}$ 、 $w = 8\text{m}$  としたスクリプトによる計算結果は、

	x(Easting) [m]	y(Northing) [m]	Heading(North to East) [deg]
船	1896.3	3507.7	219.2
トランスデューサ	1934.1	3541.4	
	dx=37.8	dy=33.7	

と算出されたので、これを手計算で確認する。

$$\ell = \sqrt{50^2 + 8^2} = 50.64\text{m}$$

$$\theta_d = \text{atan2}(8, 50) = 9.09^\circ$$

$$dx = 50.64 \times \sin(219.2 + 9.09 + 180) = 50.64 \times \sin(408.29^\circ) = 50.64 \times 0.7465 = 37.8\text{m}$$

$$dy = 50.64 \times \cos(219.2 + 9.09 + 180) = 50.64 \times \cos(408.29^\circ) = 50.64 \times 0.6654 = 33.7\text{m}$$

となり、スクリプトによる計算結果と一致する。

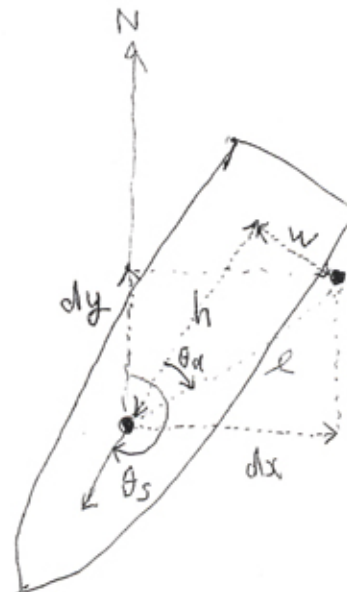


図 4.11 船のGPS測位から音響トランスデューサの位置を推定する方法

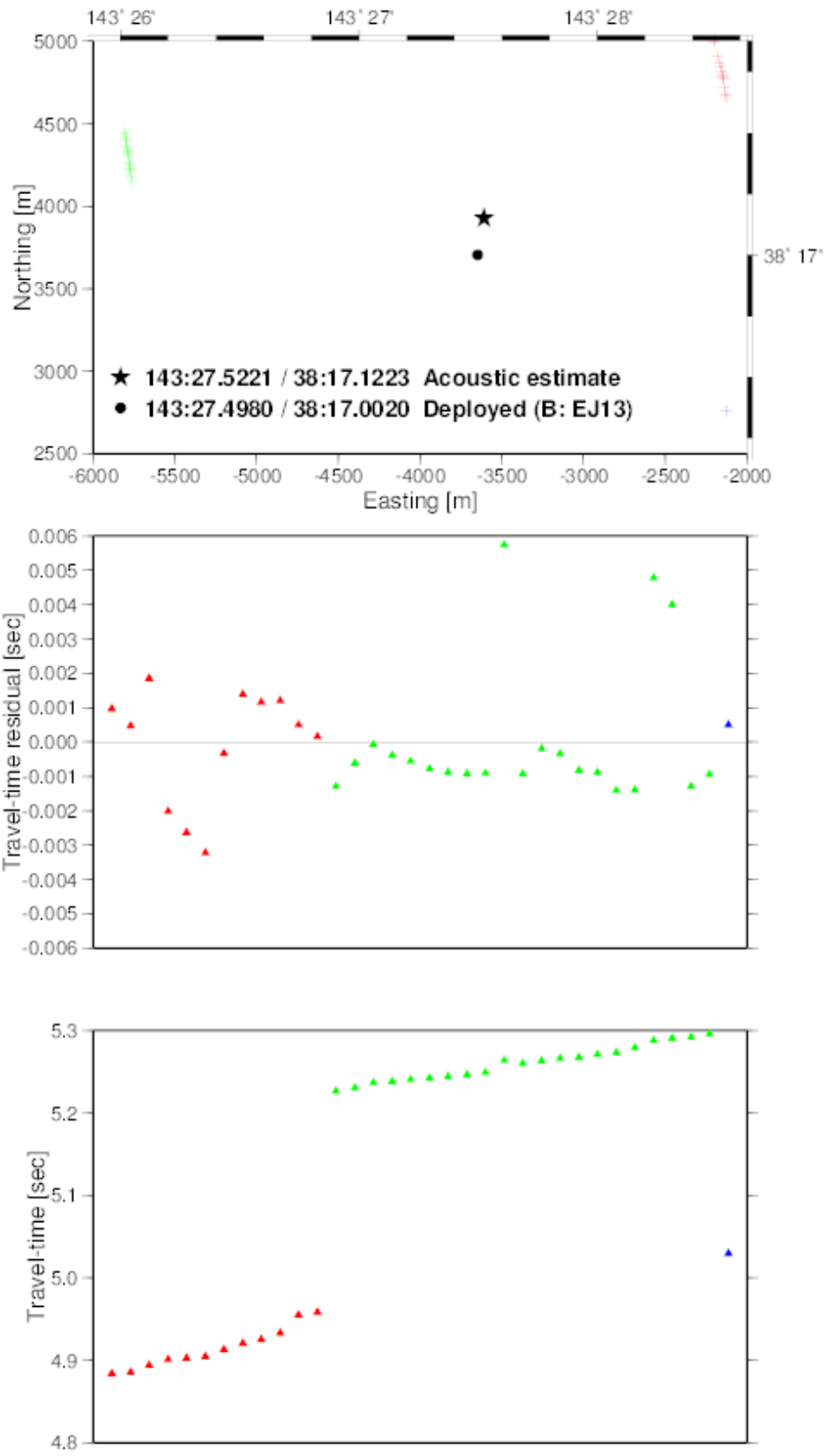


図 4.12 B 点に設置済みの海底局の投入位置と位置決めの結果

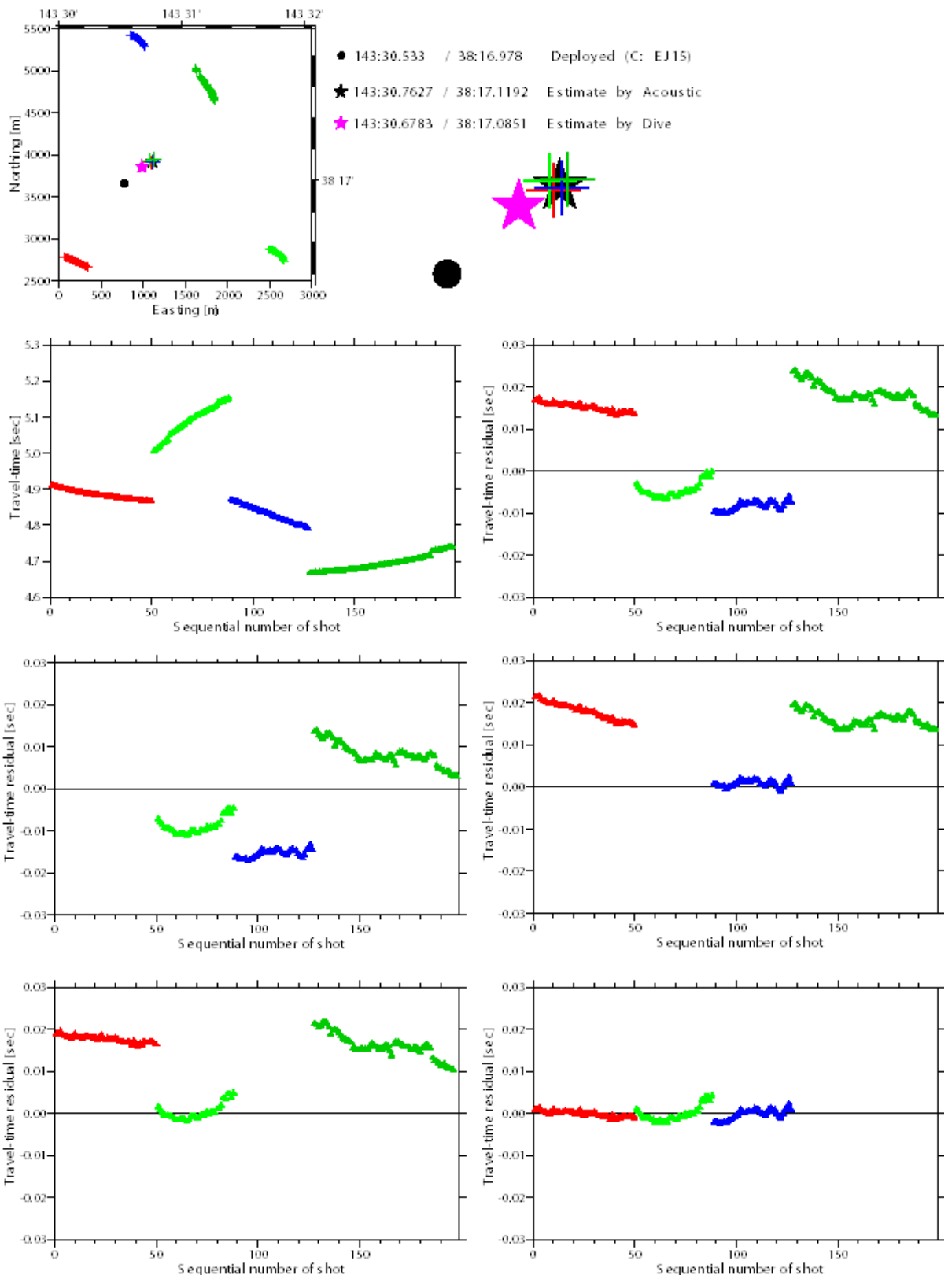


図 4.13 C 点に設置済みの海底局の投入位置と位置決めの結果

C 点に既設の海底局の測位においては、遮音用の傘を用いず、プチプチを巻くに留めた  
 が、測距は順調であった 2005/07/02 08:27--09:51 (JST) に 3 点(赤・黄緑・青)で測距を行  
 い、結果が怪しかったため、2005/07/03 18:05--18:27 (JST) に 1 点(深緑)で追加測距を行  
 った。図 4.13 に、測距を行った位置と測距結果、走時、走時残差、および順に 1 点ずつ除  
 外して求めたい位置の走時残差を示す。7/2 の 3 点の船の heading はそれぞれ 81,65,90 度  
 で南東に流され、7/1 の 1 点は 167 度で北西に流されている。どの点を除外しても、4 点  
 で決めた位置の近くに求まり、ダイブによる推定位置とは 100m 以上ずれる。後述のよう  
 に、円周観測で決めた位置も同様な結果となる。原因は不明である。

ダイブで求めた位置が正しいとして、そのときの理論走時を図 4.14 に示す。特にどの  
 1 点が悪いというわけでは無さそうである。

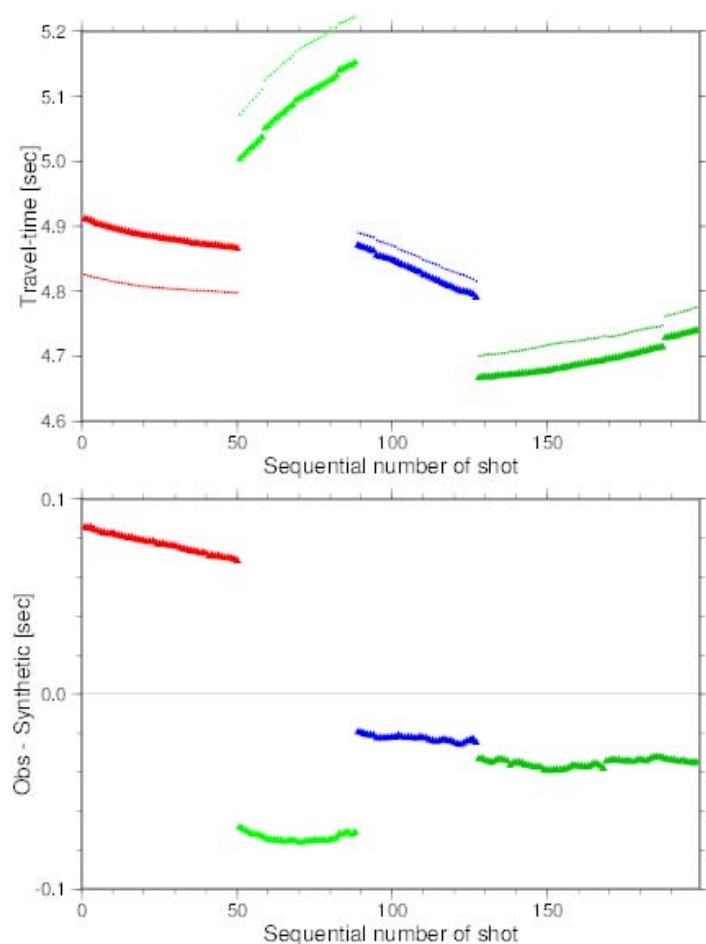


図 4.14 ダイブで求めた C 点の位置が正しいとしたときの理論走時とその残差

A 点独自の位置決めを行う時間はなかったが、後述の C/C' 円周観測の時に EJ16 も受  
 信されたので、推定位置を求めた(図 4.15)。測距位置にかなり偏りがあり、しかも  
 ブイの位置は船の位置から推定した位置なので信頼度は低い、妥当と思われる場所に  
 決まっている。

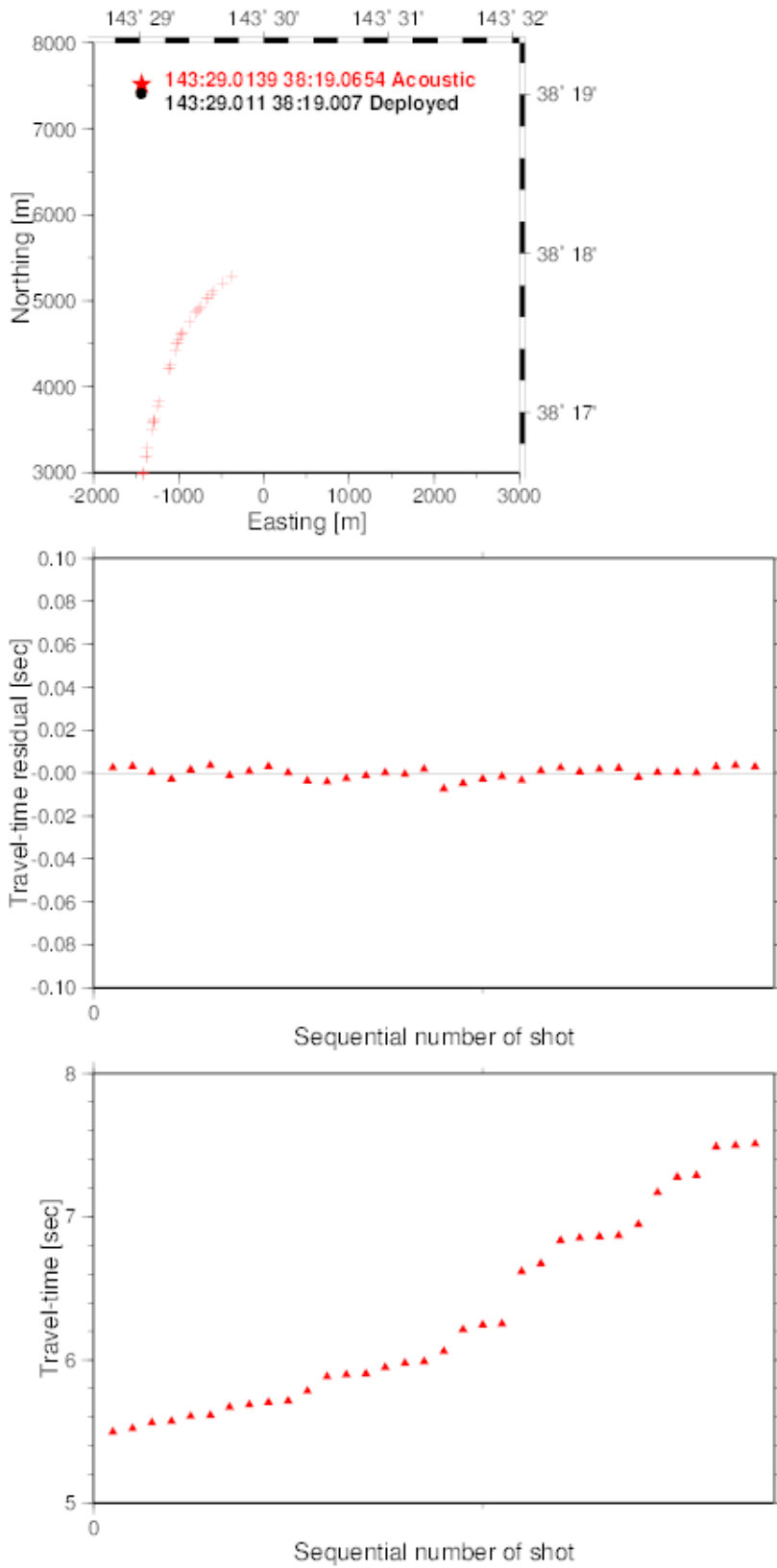


図 4.15 曳航ブイを用いた C 点の周りの測位観測時に推定した A 点の位置

### 4.3 海底精密測位観測

#### (1) 観測システム、その障害と回復

##### CPUの故障

出港前日の6月28日に観測機材を積み込み、GPS音響測距結合方式の海底精密測位観測用の船上装置を試運転したところ、故障が発覚した。仙台での積み込み前には動作確認できていたので、積み込みのとき、炎天下に1時間ほど船上装置を放置したことが原因と思われる。

まず、PCが起動しなかった。バイオス画面も出ず、HDDのアクセスランプも反応しないので、マザーボードあたりが故障した可能性が高い。ファンだけは回っているので、電源は大丈夫と判断した。2004年11月の熊野灘での観測でも同様の症状が現れたことがあった。このときは、観測中に窓からの陽射しでダウンした。窓からの陽射しをウエスで覆って冷ましてやると起動できた。しかし、今回は冷ましても症状が変らなかった。そこでJAMSTECの深海研に行き、デスクトップPC(セロン2.4GHz、メモリ1GB)を借りた。デスクトップのHDDを抜き、壊れたPCのHDDを刺して電源を入れると、あっさり起動した。そのまま船に持ち帰り、壊れたPCからADボードとDual Displayカードをそのまま移植し、再起動した。元ディスクから立ち上げただけあって、ADボードはドライバの再インストール無しで認識した模様である。ADボードのドライバは手元に無かったので命拾いであった。Dual DisplayカードのドライバはCDがあったので、一応再インストールした。

しかし、収録ソフト(LabView)を起動すると、変なメッセージが出てADボードが正常に動作していない模様であった。積み込みに来ていた日野さんの尽力により、National Instrumentsのドライバ設定ソフトで、ADカードの番号を変更したらメッセージが出なくなった。音響トランスデューサをバケツに入れて行った試験で、無事に発信音が確認されたので、これでよしと判断して、その晩の作業は打ち切った。実際に走時データが認識できるか不安が残るので、西野氏と長田氏に仙台からスクリップスの旧システム一式を、翌朝の出港までに車で持ってきてもらうよう手配した。

##### 受信波形にオフセットが乗る問題

7月1日に、舷側から音響トランスデューサを降ろして音響測距装置の試験を行ったところ、海底局からの受信波形に一定のオフセットが乗っており、これが原因なのか、ヘッダの周波数によるタグ自動認識が出来なかった。ヘッダのパワースペクトルを見ると、ピーク位置はあっているが、パワーが正常時の1/10以下で、自動認識の閾値に達しない模様であった。タグ認識モードを「Check Tag」から「Gate Enable」に切替えると、走時データが正常に取得できた。オフセットが乗っていても、相関処理には影響しないようだ。今回は単一海底局に対する測距だったので、Gate Enableでも問題なかったが、アレイ中心での定点観測では、Check Tagモードが使えないと、厳しいかも知れない。

そこでオフセットの原因調査に乗り出した。これまでと違う状況として、(1)今まではアースがまともに取れていなかったが今回は3ピンコンセントなので、アースが取れていると思われる、(2)PC部が外付けになった、などが挙げられる。(1)について、2ピンの電源変換コネクタを噛まして、アースをわざと取らなかったが、全く効果無し。(2)について、ディスプレイ、PC、アンプ等、それぞれの筐体と電源のアースピンの導通をチェックして、全て導通していることを確認した。

始めのうちは、海底局からの返信波形を見ないと、オフセットの有無の確認ができな  
いと思っていたが、送信波形にもオフセットが乗っていることに気付き、室内のバケツ  
試験でチェックできるようになり、確認作業が飛躍的に効率的になった。信号受信部  
(Receiver)の入力(J1)と出力(J3)のシグナルレベルをテスターでチェックした結果、  
入力はほぼゼロなのに対し、出力は約 76mV の DC 成分が常に乗っていることに気付く。  
これは、受信部以外の全ての電源を落としても、また、物理的に絶縁しても変らなかつ  
たので、受信部が壊れたと判断した(後で実際にはこれで正常であることが判明)。

そこで製造元のスクリップス海洋研究所に問い合わせたところ、はじめは原因がわか  
ないようであったが、いよいよアレイ中心での観測が開始される直前、信号のオフセッ  
トはハード的な故障ではなく、LabView 上でのソフトウェア的な問題であるとの連絡  
が届いた。受信部に DC 成分が乗るのは構わないらしい。スクリップスの説明では、AD  
ボードを新しい PC に挿すと、ボードに関する設定がリセットされるらしく、LabView 上  
で再設定し直せば、受信信号のオフセットが消えるとのことであった。指示された通り  
設定してみると、確かに受信波形からオフセットが消え、Check Tag モードでも走時  
データが取れるようになり、一件落着となった。

## (2) 海底測位観測の概要

断層を挟んで設置した海底局 C/C' の位置決めを、海底精密測位観測用の曳航ブイに  
よる円 GPS 音響測距結合方式の周観測で行った。期間は 2005/07/07 09:45:30  
--13:32:40 (JST) である。ブイの精密な位置は航海終了後、陸上の観測点の観測デ  
ータおよび約 2 週間後に得られる GPS 衛星の精密暦を用いて解析して得られるので、  
図 4.16 ではブイの位置を暫定的に船の後方 100m として計算している。舷側での測定  
より信頼度は低く、暫定的な結果である。ピンクの点はダイブで求められた位置で、  
青(C')と黄緑(C)は円周音響観測で得られた結果である。黄緑の点は、先に行った舷  
側での 4 点測距の結果とほぼ同じになった。面白いのは、C/C' いずれもダイブで求め  
た点より、北西に決まっていることである。ブイ搭載のキネマティック GPS の結果が  
上がってくれば、ちゃんとした結果が得られ、白黒がはっきりすると思われる。

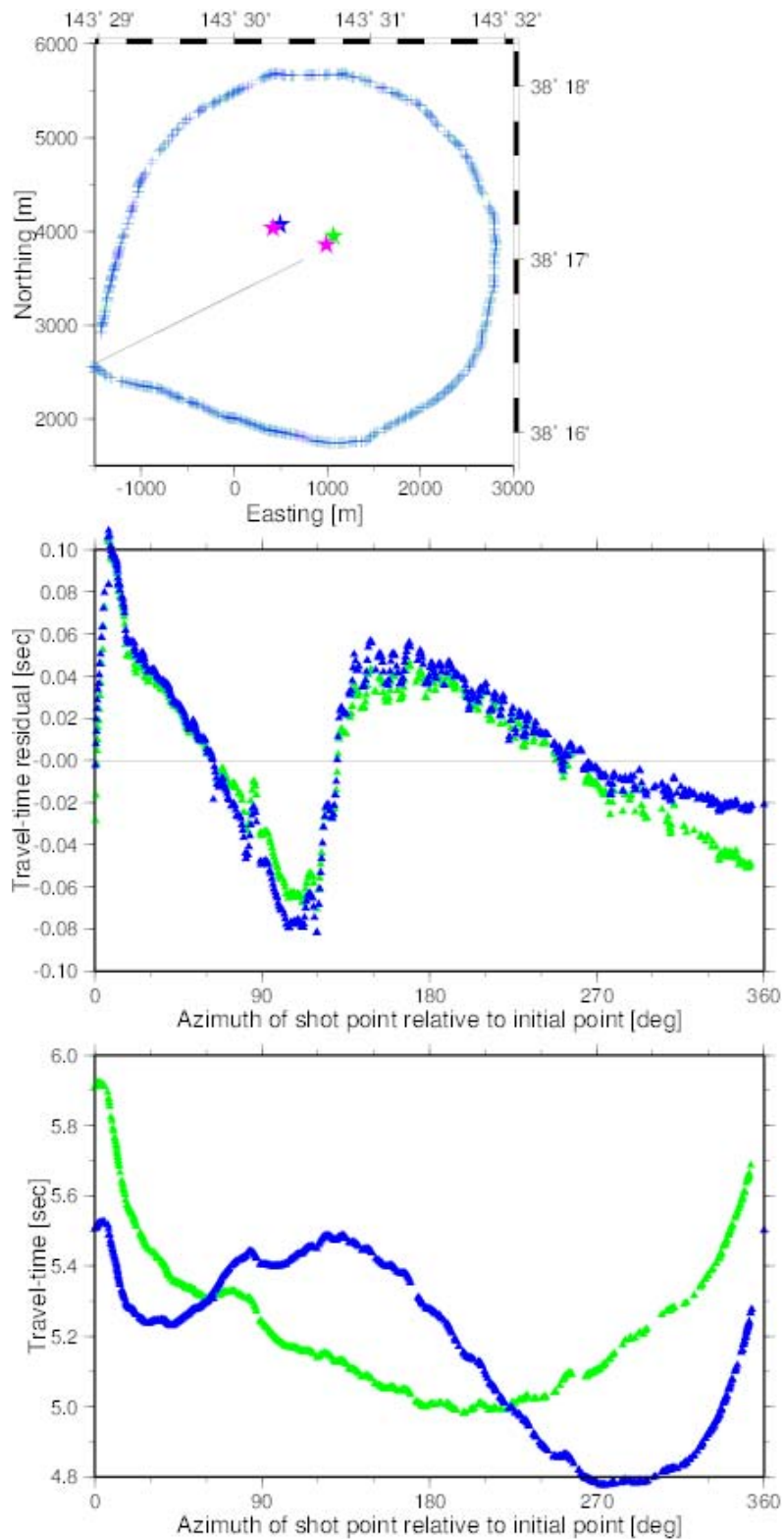


図 4.16 G P S 音響測距結合方式の海底精密測位観測用の曳航ブイを用いて，海底局 C / C の周りで行った海底測位観測の暫定的な結果．

### (3) XCTD による音速プロファイル

三角形 BD'E の中心での定点観測中の XCTD の観測結果を図 4.17 に示す。2005/07/06 18:09 (JST) に XCTD 観測を試みるも、320m のところでヘラに巻き込み失敗(赤)。2005/07/06 18:23 に投入場所を舷側から船尾に変えて再度試み、今度は成功(黄緑)する。

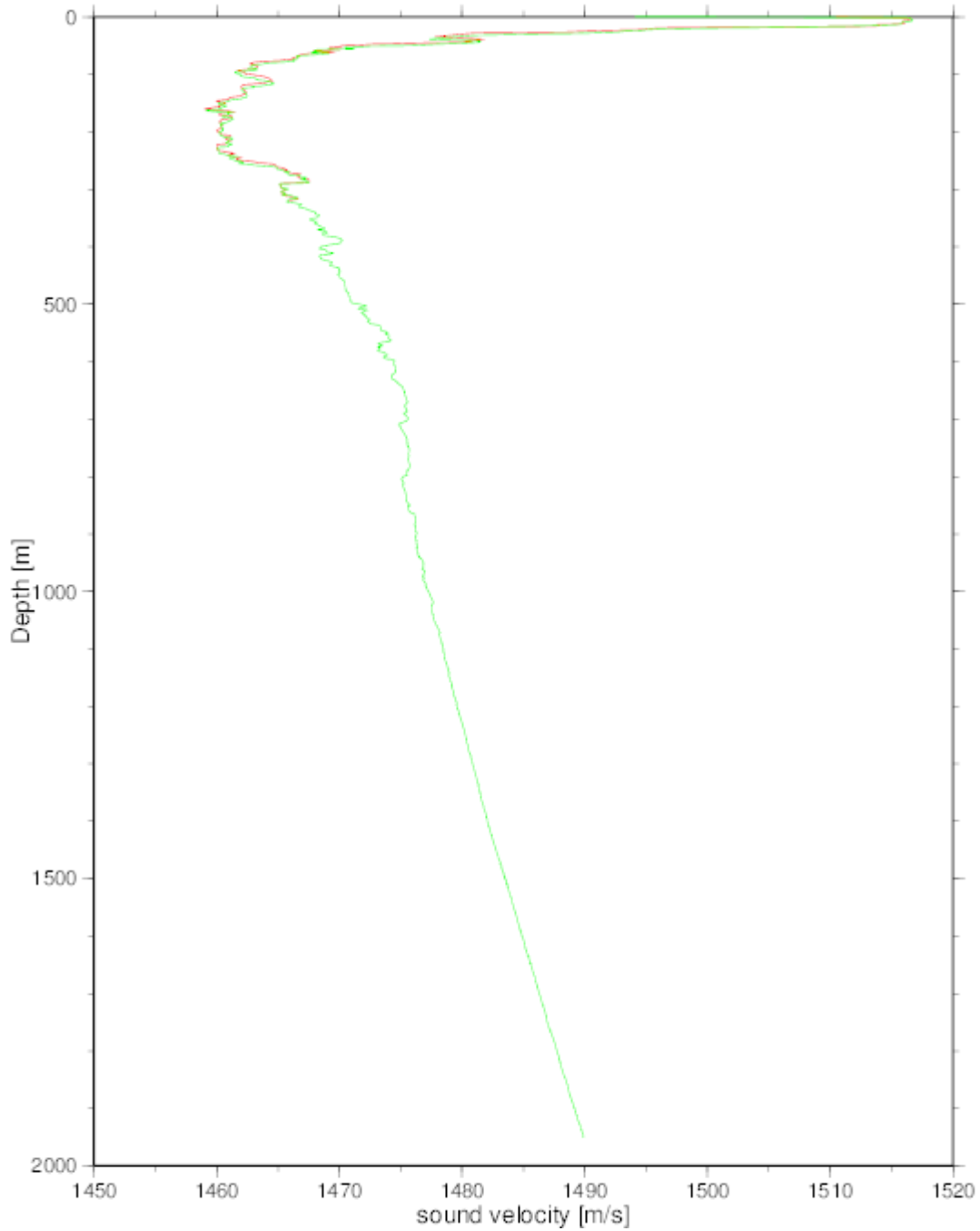


図 4.17 三角形 BD'E の中心での定点観測中の XCTD の観測結果

14分後に同じ場所で計ったデータの深さ軸を拡大した結果を図4.18に示す。深さ20mから30mの極短時間に深さ軸方向に5m程度の差が生じ、深さ260mから290mの間に解消している。これは、センサーの落下速度の差と見るべきか、はたまた内部重力波による音速構造の上下運動によるものか。

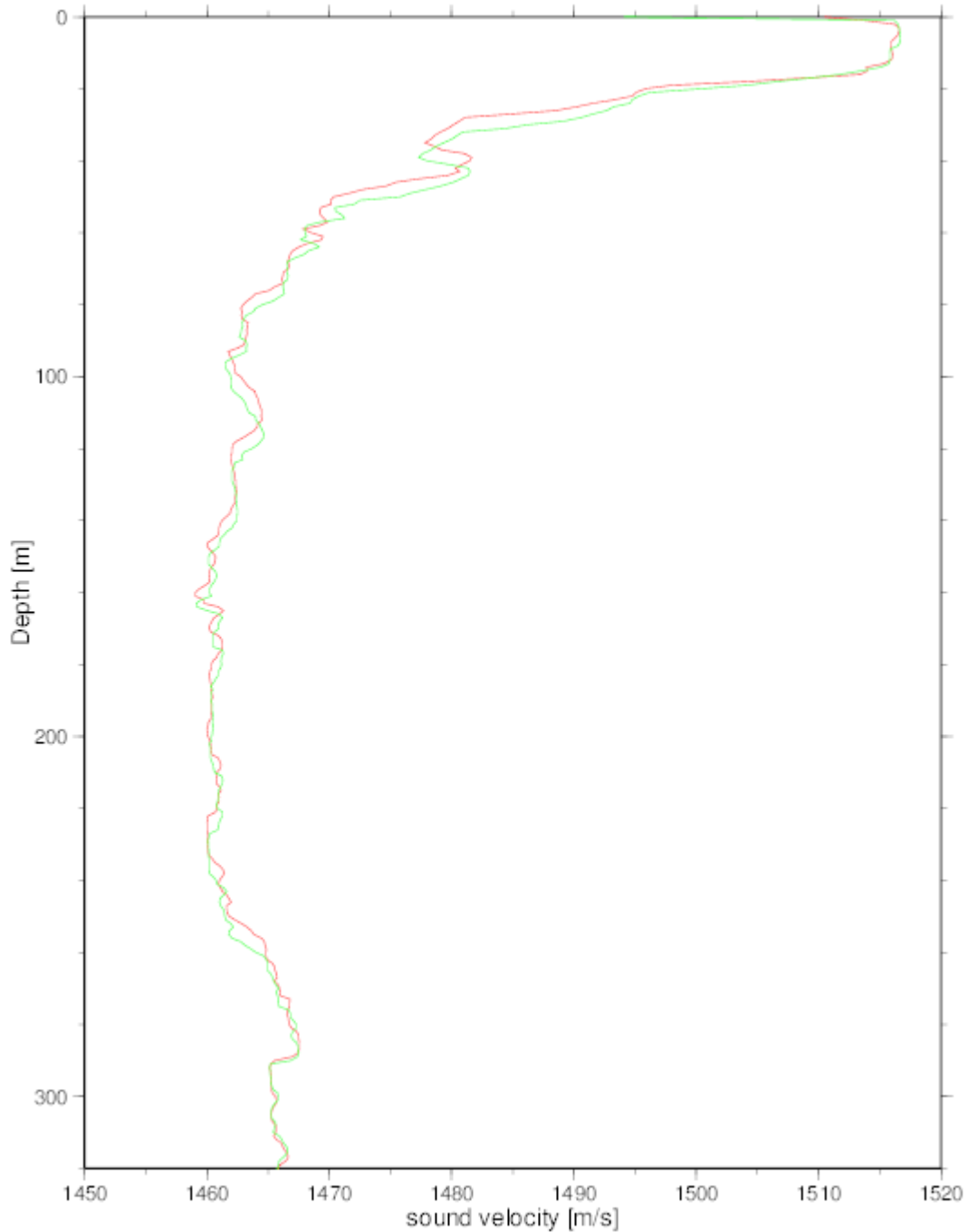


図4.18 図4.13に示した観測と、14分後に同じ場所で計ったXCTDのデータを、深さ軸を拡大して示した図

## 4.4 航走調査結果

### (1) 既存の海底地形データ

水路部の 500 メッシュデータに東大佐々木氏提供のシービームグリッドデータを重ねたものを図 4.19 に示す。四角で囲んだ調査海域の東半分がデータの空白域になっており、さらに東側でも海底局の設置点を含め小さな空白域がいくつか見られる。

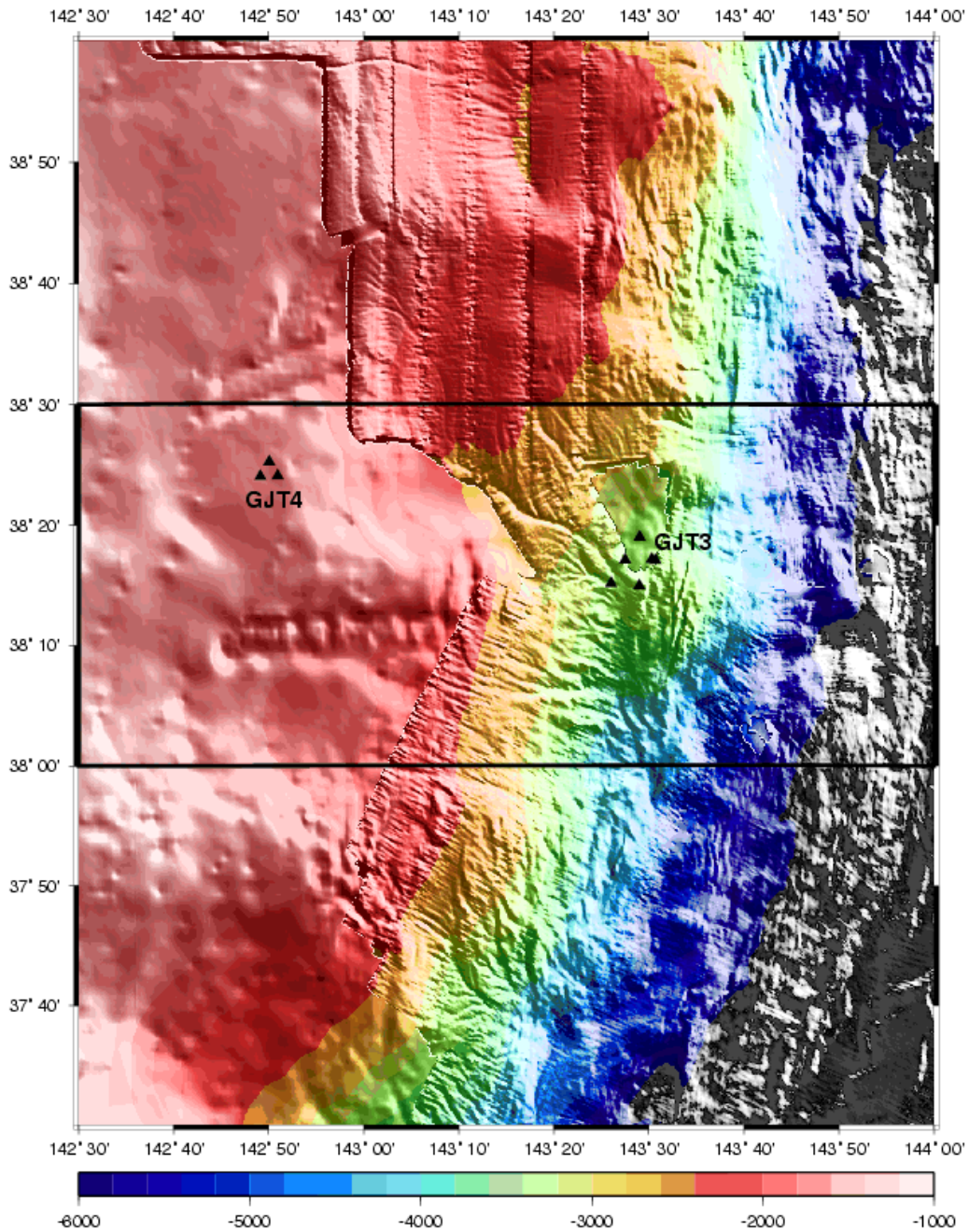


図 4.19 既存の海底地形データと調査海域

## (2) 本航海のマルチナロービームによる海底地形調査

本航海のマルチナロービーム地形調査による海底地形と航跡を図 4.20 に示す。地形図は東から光をあてた場合の結果を示す。北から照らすとデータのあらが目立つ。

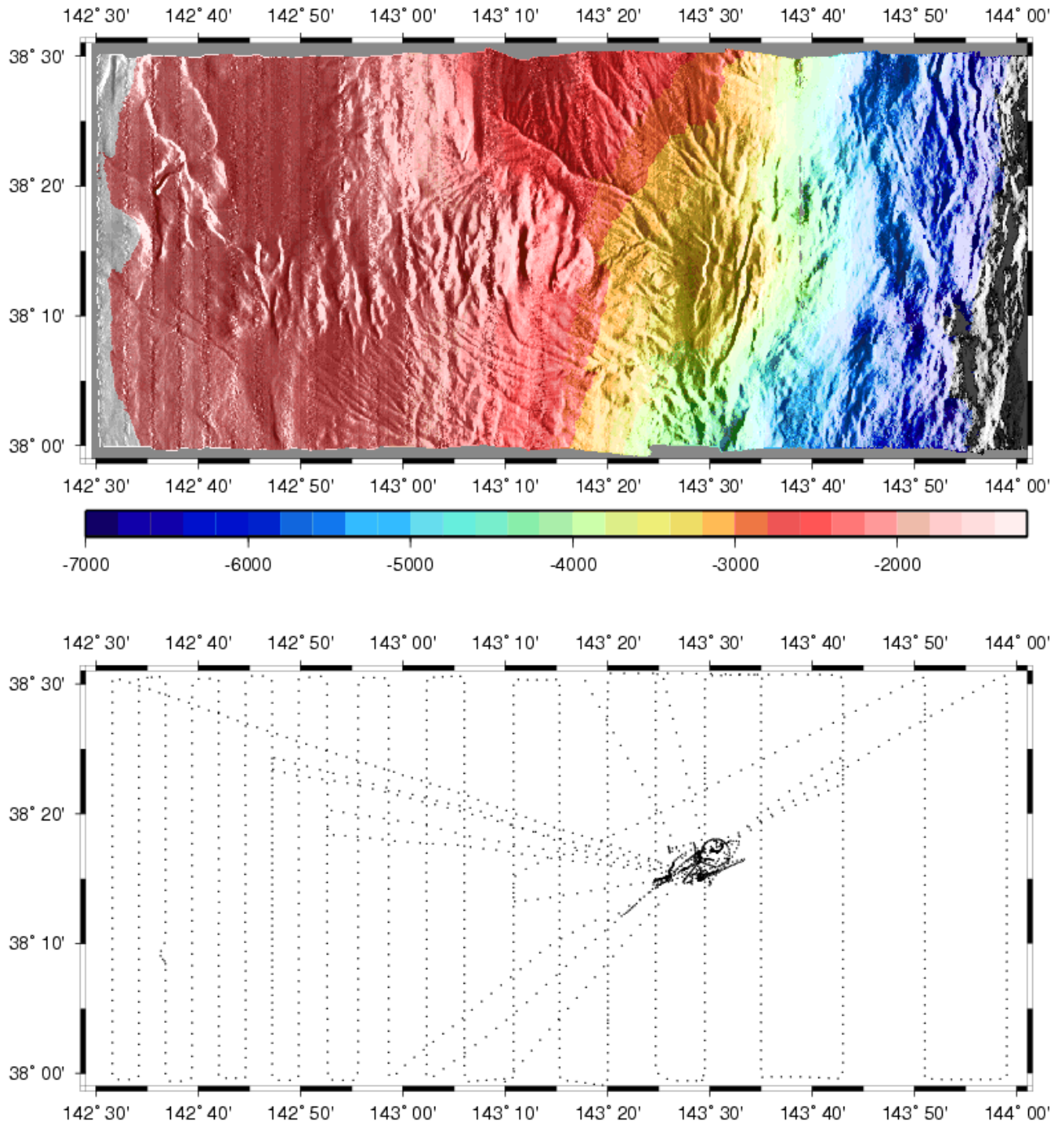


図 4.20 本航海のマルチナロービーム地形調査による海底地形図および航跡図

## 5. まとめ

本航海ではかいこう 7000 の 3 潜航のほか、かいいいによるマルチナロービーム地形調査やブイを曳航した海底精密測位観測を通して、以下の調査観測項目を実施した。

(1) 潜航調査海域の精密な海底地形調査を行い、平坦な場所を探して 3 台の海底局の設置予定点を選定するとともに、既設の 4 台の海底局が設置された場所の地形を確認した。

(2) 舷側から音響トランスジューサーを下ろし、投入点の情報しかない既設の海底局のうち、2 台の位置決めを行った。

(3) かいこう 7000 により以下の地点に合計 3 台の海底局を設置した。

GJT3-C (Unit EJ22) 38 17.1806 N, 143 30.2859 E, 3244m

GJT3-D (Unit EJ24) 38 14.9892 N, 143 28.9904 E, 3249m

GJT3-E (Unit EJ23) 38 15.1841 N, 143 26.0302 E, 3284m

いずれの海底局も 60cm x 64cm x 4cm の FRP 製のメッシュ状フレームに取り付けて、かいこう 7000 のペイロードスペースに固縛して、海底まで運び設置したが、堆積物で覆われた海底でもほとんど沈まず、安定していることが確認できた。

各潜航で、小型の海底圧力計をかいこう 7000 に取り付けて、水深のチェックも行った。

(4) 以下に設置した海底局 1 台の設置位置および設置状況を確認した。

GJT3-C (Unit EJ15) 38 17.0851 N, 143 30.6783 E, 3306m

この海底局も堆積物で覆われた泥質の海底に設置されていたが、ほとんど沈まずきわめて安定していることが確認できた。

(5) 海底圧力計を搭載した海底観測ベースを以下の地点に設置した。

GJT3-Base 38 15.1309 N, 143 29.1101 E, 3240m

(6) 海底測位観測用のブイを 1 日以上曳航し、2 つの海底局アレイの測位観測を行った。

(7) 宮城県沖の二つのアスペリティ周辺の精密な地形観測を行った。断層の分布を明らかにするとともに、沈み込みと地形の関係を調べる予定である。

本調査航海により、過去に大きな津波を引き起こしたと推定されている宮城県沖の海側アスペリティの真上の海底において、水平変動および鉛直変動を捉える海底測地基準点を設けることができた。今後、本格的に海底地殻変動観測を行う基礎を築くことができたといえる。

かいこう 7000 の本格的な運用は今年度からであり、潜航調査においてどの程度の作業ができるか心配な点があったが、計画した作業は想定したように実施することができた。また第 339 潜航では、東西約 900m の範囲の海底を調査し、1.8 km にもわたる航走を行い、広範囲の調査が可能であることを示した。前のかいこうに比べれば、艇の推力は弱く、マニピレータも 1 本しかなく力も弱く動きも悪い等の条件の下で、計画した作業を遂行できたことは運行チームの優れた力量を示している。

しかし限られた艇の能力では、できる作業も限られてくる。海底局はより大きくて安定した架台に取り付け、係留系を付けて海底に投下し、潜水艇で適切な場所に移動して係留系を回収するのが望ましい。今回設置した海底観測ベースの上に海底観測機器を据え付けるには、まず残っている切り離し用の錘を除いて、係留系で吊り上げた装置を設置する必要があるが、現在のかいこう 7000 ではこれらの作業をすることは無理である。早急に以前のかいこう並みの能力を有した無人潜水艇を建造する必要がある。

## 6. 今後の研究計画

本航海で設置した海底局アレイを用いて、本年の 8 月の東北大学備船航海、および 10 月～11 月の白鳳丸航海において、精密な海底測位観測を行う予定であり、宮城県沖の海側アスペリティ周辺におけるプレート境界面の固着状態を調べる研究を開始できる予定である。

本航海で回収した 10 ヶ月以上にわたる海底圧力計のデータは、国立天文台の佐藤忠弘助教授と共同で、三陸沖における海洋潮汐およびより長周期の変動を求め、海面高の変動と海底圧力変動の関係を解析するとともに、海底圧力観測の長期安定性における問題点を明らかにする。

潜航調査計画の立案段階で、東京大学大学院光学系研究科の佐々木博士が編集した海底地形データを使わせてもらっている。今回得られた地形データについては、断層の分布やその解釈について共同研究を行う予定である。

## 7. データリスト

List of Dive Data / KR05-07

Dive No.	CTD Data*1	SOJ*2	Map*3	XBT	Remarks
KAIKO7K#337 (05/07/01)	05070101.AVG 05070101.SUM 05070101.HDR 05070101.DAT 05070101.CFG	0507012200_01.soj			
KAIKO7K#338 (05/07/03)	05070301.AVG 05070301.SUM 05070301.HDR 05070301.DAT 05070301.CFG	0507032200_01.soj			
KAIKO7K#339 (05/07/04)	05070401.AVG 05070401.SUM 05070401.HDR 05070401.DAT 05070401.CFG	0507042200_01.soj			
Others		0506290055_01.soj 0506292200_01.soj 0506302200_01.soj 0507022200_01.soj 0507052200_01.soj 0507062200_01.soj	line1to3_50.grd	BT-006020050630.DAT BT-006020050630.XBT BT-006020050630.pdf	

CDT Data\*1 : 「かいこう7K」CTDデータ  
 [.AVG]: 10m毎に平均した値  
 [.SUM]: センサの最小値・最大値  
 [.HDR]: ファイルのヘッダー情報  
 [.CFG]: コンフィギュレーションファイル  
 [.DAT]: 生データ

SOJ\*2 : 電波航法装置 (GPS) による航海情報および、気象情報。5秒毎

MAP\*3 : Seabeamグリッドデータ

List of Video Tapes

KR05-07

Date	Dive No.	Camera	Maeter*1			Copy	備考
				Start	End	東北大学	
2005.07.01	#337	VTR-1	1/1	11:44	13:34	S-VHS	
		VTR-2	1/1	11:44	13:34		
		VTR-3	1/1	11:44	13:34		
		デジカメ*2	1/1	11:44	13:34		
2005.07.03	#338	VTR-1	1/1	14:25	15:17	S-VHS	
		VTR-2	1/1	14:25	15:17		
		VTR-3	1/1	14:25	15:17		
		デジカメ	1/1	14:25	15:17		
2005.07.04	#339	VTR-1	1/3	10:14	12:15	S-VHS	
			2/3	12:15	14:13		
			3/3	14:14	14:37		
		VTR-2	1/3	10:14	12:15		
			2/3	12:15	14:13		
			3/3	14:14	14:37		
		VTR-3	1/3	10:14	12:15		
			2/3	12:15	14:13		
			3/3	14:14	14:37		
		デジカメ	1/3	10:14	12:15		
			2/3	12:15	14:13		
			3/3	14:14	14:37		

\*1: Master のメディアはS-VHS

\*2: デジカメファインダーの動画

カメラ配置

