

2-3-3. ヒートフロー

地殻熱流量は、地下の温度構造を推定する上で、その表面での境界条件を与える。また湧水のあるような場所ではバックグラウンドよりも高い温度勾配を示し、流体の流れを予見することが可能となる。

本航海では、ユーイング型のプローブを持つ地殻熱流量装置（図 1a）とピストンコアラーにも装備可能なテフロンセンサで作成したバイオリンボウ型熱流量測定装置(図 1b)もしくは小型温度計を取り付けた装置（図 3）を使用して熱流量の測定を行った。以下にこれらの装置の概要を記載する。なお、ベンチマークに設置した長期熱流量測定装置（NABE）にもユーイング型、バイオリンボウ型で用いたものと同じセンサが使われている。

ユーイング型地殻熱流量測定装置

外回り

重量	800 kg
プローブの種類	ユーイング型 (温度センサが外付け)
プローブの長さ	4.5 m

ユーイング型およびバイオリンボウ型、 ベンチマーク設置（NABE）の 熱流量観測で用いた温度センサ

温度センサの数	7 (PC10 でのみ 8) (そのうち、ユーイングが他の場合では 2つは現場熱伝導率の測定も兼ねる)
温度センサの直径	3.5 mm
精度	1/100°C
分解能	1/1000°C
検定範囲	1-10°C
ヒーターの長さ（現場熱伝導率測定用）	80-100 mm
ヒーター発熱量（現場熱伝導率測定用）	500-800 J/m (5 V の電圧を 12 秒間出力)

東京大学地震研究所所有 データロガー [海洋電子製]

耐圧容器	ステンレス合金
直径	830 mm
長さ	100 mm

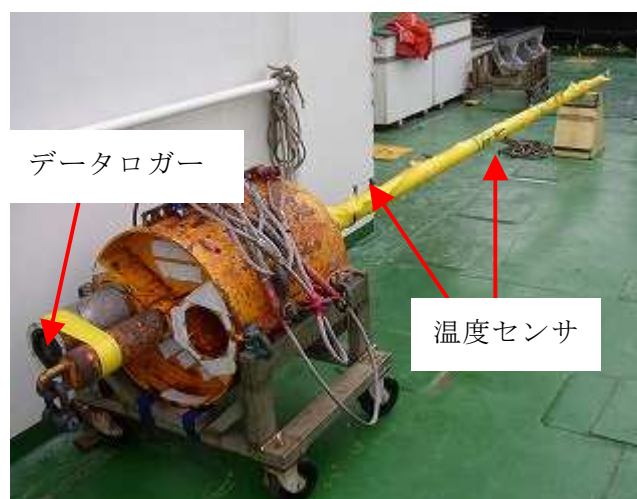


図 1a：ユーイング型熱流量測定装置

チャンネル数	8
ヒーター加熱用チャンネル数	3
傾角の計測範囲	$\pm 45^\circ$
傾角の精度	1°
計測間隔	30 秒
音響信号周波数	12 kHz
外部インターフェース	RS232C (9600BAUD, 8 BIT, Non-Parity, 2 STOP BIT)

※ B-4 チャンネルに 2.7k Ω の固定抵抗を接続

JAMSTEC 所有 データロガー [海洋電子製]

耐圧容器	ステンレス合金
直径	830 mm
長さ	100 mm
チャンネル数	9
ヒーター加熱用チャンネル数	4
傾角の計測範囲	$\pm 45^\circ$
傾角の精度	0.1°
計測間隔	30 秒
音響信号周波数	12kHz, 13kHz, 14kHz, 15kHz のいずれか
外部インターフェース	RS232C (9600BAUD, 8 BIT, Non-Parity, 2 STOP BIT)

※B-4 チャンネルに 2.7k Ω の固定抵抗を接続



図 1b : バイオリンボウ式
熱流量測定装置

I. NSS を用いる場合

a) 構成図

チェーンを介して、地殻熱流量測定装置（以下、HF）を NSS ビークルの切り離し装置に取り付ける。さらに、切り離し装置にはナイロンクロスロープ（ $\phi 24\text{mm} \times 6\text{m}$ ）、SUS 製ワイヤー（ $\phi 12\text{mm} \times 1\text{m}$ ）、スィベル（3t）、SUS 製 V 字ワイヤー（ $\phi 12\text{mm} \times 1.7\text{m}$ ）を取り付ける（図 1-1）。2 回目以降は、図 1-2 の状態でケーブルを繰り出して、海底に貫入させる。チェーンには、切り離し装置作動後にロガーの上に落下しないように、ビニルテープを巻いた上に防水シートを 3 周巻いて固めた。船上でのオペレーションには、NSS ビークルの水中カメラおよび 13kHz のトランスポンダー（NSS ビークルの 50m 上）を用いる。

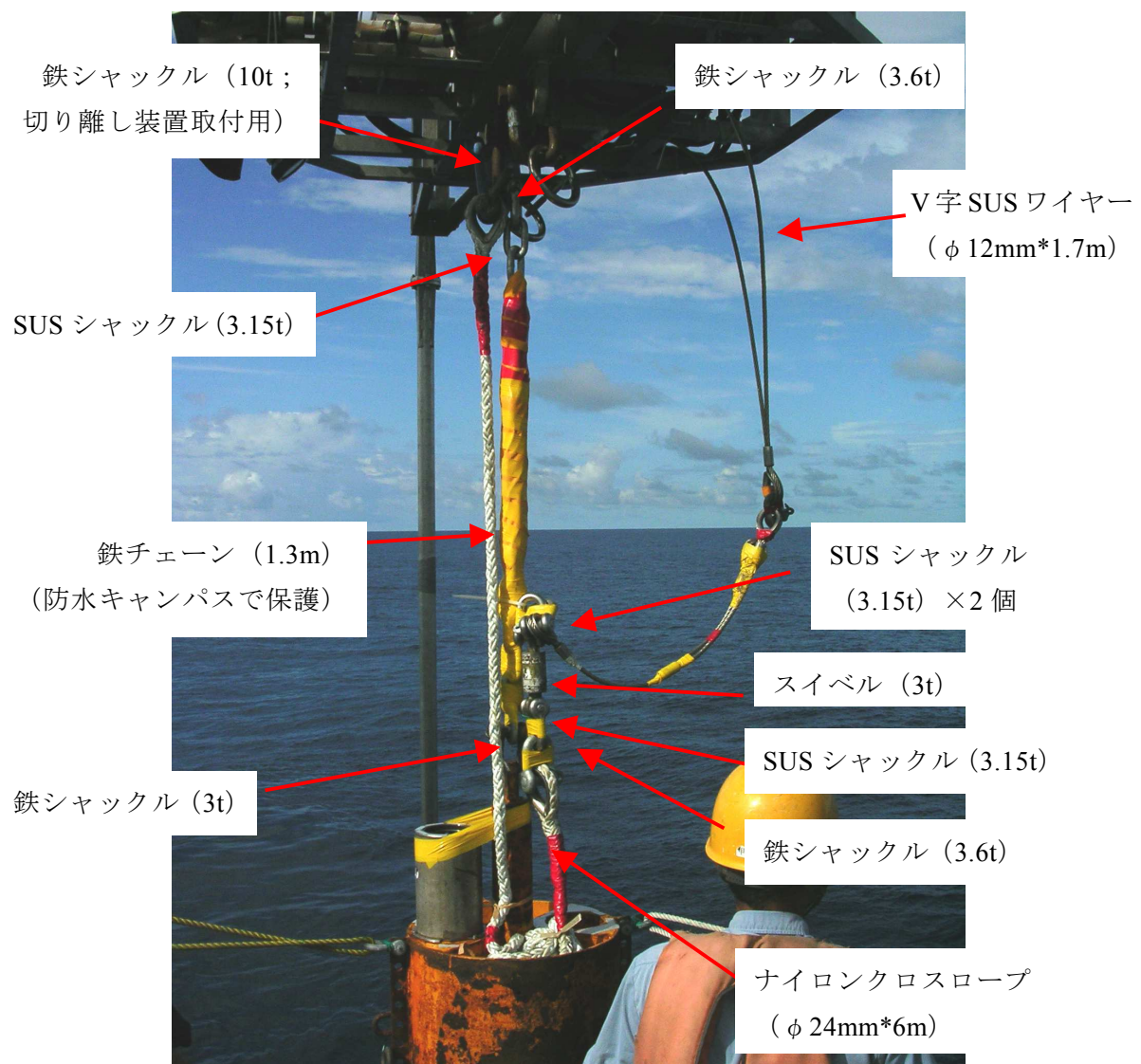


図 1-1 投入時の状態

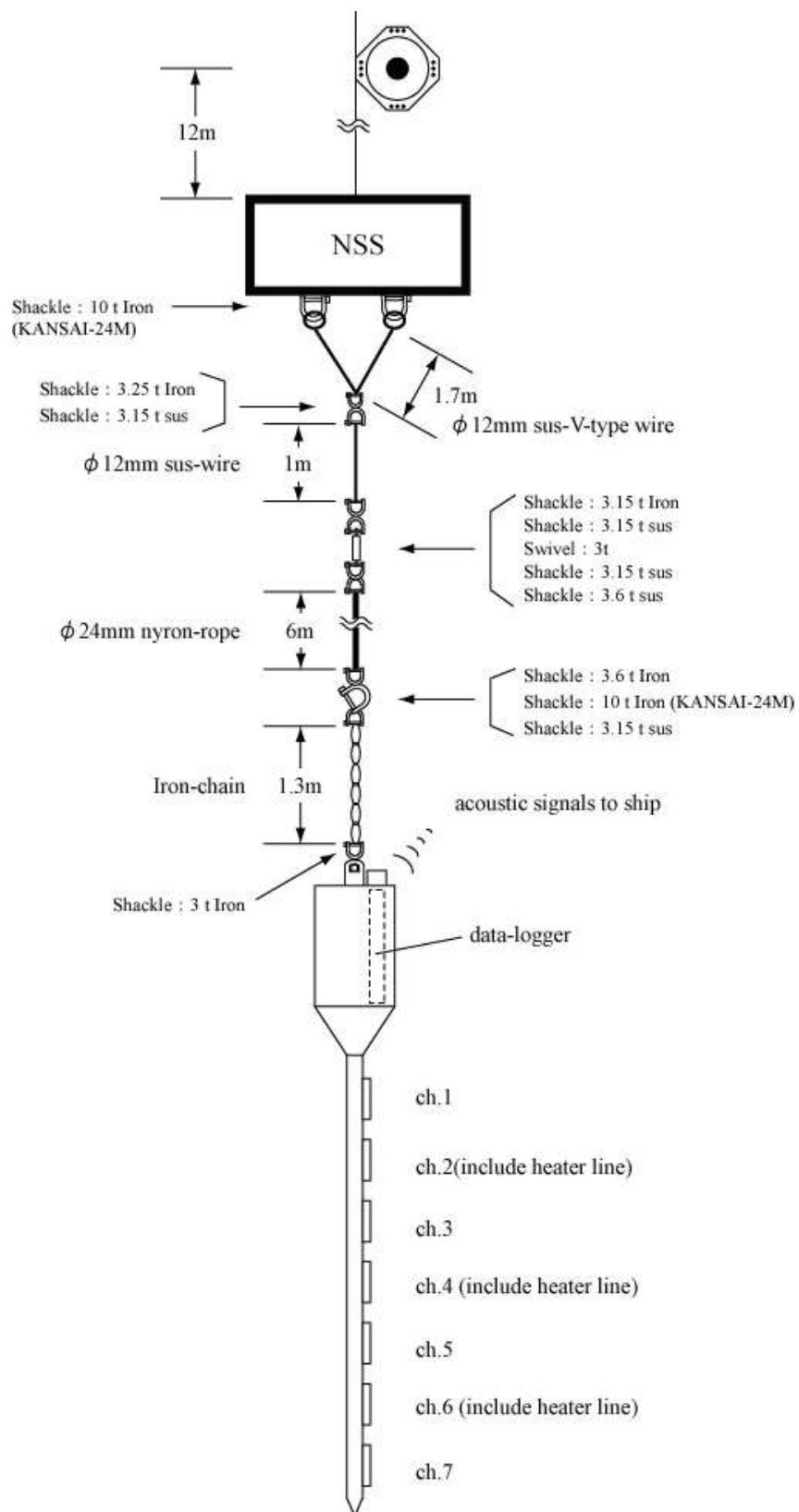


図 1-2 切り離し装置作動後の状態

b) 投入方法

1. HF を船尾の吊り上げ位置へ移動する。
2. 左舷係船機で HF のウェイト部を、右舷係船機で HF のヘッドを吊り上げ、作業甲板へ艀付けする。
3. NSS ビークルを吊り上げ位置まで移動する。NSS ビークルを吊り上げ、台車から平均台へ載せ変える。
4. HF と NSS ビークルを図 1 のように接続する(チェーン、ナイロンエイトロープなど)。
5. NSS ビークルを吊り上げ、ナイロンエイトロープの余剰部分をコイルする。
6. NSS-HF 着水。
7. NSS ビークル振れ止めロープおよびトランスポンダーをプリフォームドストッパーに取り付ける。
8. ケーブル繰り出し再開。

c) 揚収方法

1. トランスポンダーおよび NSS ビークル振れ止めロープ、プリフォームドストッパーを取り外す。
2. ナイロンエイトロープの先端を上甲板に付け替える。NSS ビークルを平均台に揚収した後、台車に載せ変えて格納位置まで移動する。
3. ナイロンエイトロープを右舷係船機で巻き上げる。ウェイト部が作業甲板の高さまで来たら、左舷係船機をウェイト部に取り付ける。
4. 両舷の係船機を巻き上げ、台車に HF を揚収する。
5. HF を格納位置まで移動する。

d) 海底付近でのオペレーションおよび測定方法

1. NSS ビークルの海底カメラで観測点を探索し、決定する。
2. 海底面直上で一時停止させ、キャリブレーションのために水温を約 5 分間測定する。
3. フリーフォールの高度（高度；10.5m，フリーフォール；約 3.5m）までケーブルを巻き上げ、停止する。ヒープコンペンセータを「自動」から「固定」にし、切り離し装置を作動させ、プローブを海底に落下させる。（2 回目以降は、高度 30m の位置から 30m/min でケーブルを繰り出し、海底に貫入させる）
4. 海底カメラならびにテンションメータ、トランスポンダーで着底を確認する。測定装置が倒れた場合は、海底面上 40～50m までケーブルを巻き上げ、再度プローブを落下させる。
5. 着底後、海底監視カメラで着底の状態を確認し、ビークル高度を以下のように調整する（海底観察カメラは、ウェイト部より必ず高い高度とする）。
 - ・プローブが完全に海底に貫入している場合は、ビークル高度を約 10m とする。
 - ・プローブの貫入が不十分で、チェーンが完全に垂れ下がる場合は、「チェーンのビークル側末端」が、ウェイト部の高さになるまでケーブルを巻き上げる。
6. 地殻熱流量を約 25 分間測定する。はじめの 10 分間で温度勾配、その後の 10 分で現

場熱伝導率を測定する。この間、NSS ビークルの高度やテンション、トランスポンダーを監視し、状況に応じてケーブルの繰り出し／巻き上げを行う。本航海では、NSS の姿勢維持の状況により、最短測定時間を 5~8 分とした。

7. 測定終了後、約 10m/min で巻き上げを開始する。テンションメータおよびトランスポンダーによりプローブの離底を確認する。
8. 安全な高度において、巻き上げを一時停止させ、ヒープコンペンセータを「固定」から「自動」にする。
9. 30 秒以上「脱」ボタンを押す。切り離し監視カメラで、切り離し装置が正しく閉となっていることを確認の後、30 秒以上「かん」ボタンを押す。
10. ケーブルの巻き上げを再開し、次の観測点へ移動する。

II. No.2 ウィンチを用いて単独で行う場合

a) 構成図

測定中に船の動揺などによる熱流量測定装置の離底を防ぐために、地殻熱流量測定装置とワイヤーの間に 20m のナイロクロスロープ (φ24mm) を取り付ける。船上でのナビゲーションは、13kHz のトランスポンダー (地殻熱流量測定装置の 65m 上) を用いる (図 3)。

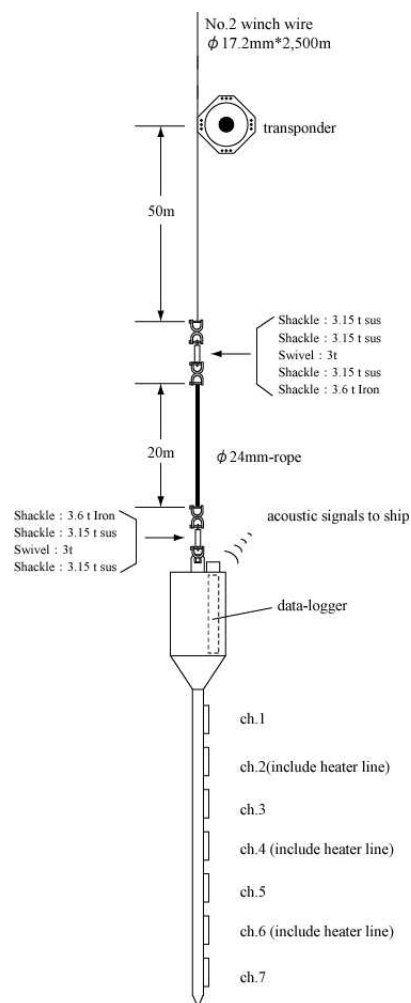


図 2 No.2 ウィンチを使用した場合の構成。

b) 投入方法

1. 地殻熱流量測定装置（以下、HF）を船尾の吊り上げ位置へ移動する。
2. HF のヘッドにナイロンエイトロープ（ $\phi 24\text{mm} \times 20\text{m}$ ）を取り付け、右舷係船機で巻き取る。
3. No.2 ウィンチで HF のウェイト部を、右舷係船機で HF のヘッドを吊り上げ、作業甲板へ艀付けする。No.2 ウィンチを取り外す。
4. 右舷係船機を繰り出し、HF を着水させる。
5. ナイロンエイトロープの先端を No.2 ウィンチに付け替える。
6. 線長 50m の位置に、プリフォームドストッパーを使用して、トランスポンダーを取り付ける。
7. ケーブル繰り出し再開。

c) 揚収方法

1. トランスポンダーおよびプリフォームドストッパーを取り外す。
2. ナイロンエイトロープの先端を上甲板に付け替える。
3. ナイロンエイトロープを右舷係船機で巻き上げる。ウェイト部が作業甲板の高さまで来たら、No.2 ウィンチをウェイト部に取り付ける。
4. 右舷係船機と No.2 ウィンチを巻き上げ、台車に HF を揚収する。
5. HF を格納位置まで移動する。

d) 海底付近でのオペレーションおよび測定方法

1. 海底面上 50-100 m で一時停止させ、キャリブレーションのために水温を 5～10 分間測定する。
2. 海底面上 10-30 m で約 5 分間一時停止させ、姿勢を安定させる。
3. 地殻熱流量測定装置を 60m/min で繰り出し、海底にプローブを落下させる。プローブの着底は、テンションメータおよびトランスポンダーにより確認する。トランスポンダーにより、地殻熱流量測定装置が倒れたと判明した場合は、海底面上 10-30m まで装置を巻き上げ、再度プローブを落下させる。
4. 着底後、ケーブルを 5m 程度繰り出してからウィンチを停止させ、地殻熱流量を約 20 分間測定する。はじめの 10 分間で温度勾配、その後の 10 分で現場熱伝導率を測定する。この間、テンションおよびトランスポンダーを監視し、状況に応じてケーブルの繰り出し／巻き上げを行う。
5. 測定終了後、約 10m/min で巻き上げを開始する。テンションメータおよびトランスポンダーによりプローブの離底を確認し、次の測定点に移動する。

III. 小型温度計(ANTARES Datensysteme GmbH 製)を使用した測定

グラビティーコアのバレル、もしくは重錘に小型温度計(ANTARES Datensysteme GmbH 製)を装着した地殻熱流量測定法である。サーミスタ、データロガーが一体となった小型深海用温度計測器。今回、水温変動、熱流量の観測を行うために使用した。これ自体が独立した

温度計であることから、グラビティコアラなど堆積物中に貫入すると予測される場所に間隔を置いてに取り付ければ、熱流量測定をすることができる。本航海ではバレルの長さが 6m のグラビティコアラ使用時に NSS カメラの支柱に 1 本、NSS 本体に 2 本、バレルと重水部に 2 本、8m のグラビティコアラのバレルに 2 本、重錘に 1 本装着し、温度測定を行った（図 2a,b）。

素材	ステンレス	
長さ	全長:160mm	先端部:20mm
直径	耐圧容器:15mm	先端部:4mm
質量	120g	
保証耐圧深度	水深 6000m まで	
試験耐圧評価	80Mpa	
測定範囲	-5～+40℃	
分解能	20℃において 1.2mK	1℃において 0.75mK
A/D 変換器分解能	16bit	
精度	±1/10K	



図 3a：小型温度計（ANTARES Temperature Datalogger）



図 3b：他の観測機器に取り付けた状態の小型温度計（ANTARES Temperature Datalogger）

写真では左側グラビティコアラのビット方向。上図ではグラビティコアラのバレルに取り付けた状態の小型温度計の赤丸中心部に温度センサが見える。