



**海底熱水鉱床開発、探査などについて今思うこと
(株) フグロジャパン 代表取締役社長
山野澄雄**

1. **自己紹介** – 或いは他の専門家の方々との考え、意見が違ふ事への予めの言訳及びその他の幾つかの前提の説明
2. **Fugroのご紹介**
3. **海底熱水鉱床の開発の歴史と現状**
4. **海底熱水鉱床開発の為の探査技術**
5. **そもそも「探査」とは**
6. **「探査」に限ったことではないがこの種の開発プロジェクトの進め方**
7. **今後の海底熱水鉱床の探査の技術的課題について**
8. **纏め**

1.自己紹介 — 或いは他の専門家の方々との考え、意見が違ふ事への予めの言訳 及びその他の幾つかの前提の説明

1. 自己紹介 予めの言訳 及び幾つかの前提 (1)

・ 経歴

- 1970年ー2006年 住友商事 (その殆どが海洋開発担当) その間に
 - ・ 深海底のマンガン団塊開発の加・米・西独・日4カ国企業による国際ジョイント・ベンチャーOMI (米国シアトル) に出向 (1975ー79)
 - ・ 日本深海鉱業 (株) (住友グループが中心のマンガン団塊開発会社常務)
 - ・ 住友海洋開発 (株) (住友グループの海洋開発専門会社) 常務 等
- 2006年ー現在 Fugro (本社オランダ) の日本法人 (株) フグロジャパン



写真:1978年国際JV OMIグループは南太平洋で1,000トンのマンガン団塊を採集した。

1. 自己紹介 予めの言訳 及び幾つかの前提 (2)

- 今日のお話の展開の前提:

- 海底熱水鉱床の成因や全般的な資源の探査技術は既に委員各位はよく分かっておられる。従い、これらのお話は原則触れない。
- 民間で海洋開発の仕事をやってきた者としてはどう感じるのかという視点。
- 海外の企業と深海鉱物資源開発の国際ジョイント・ベンチャーのRDプロジェクトを担当した者として現状をどう捉えどのようなことが必要と考えるかという視点。
- 現在民間の海洋調査・コンサルタントを業とする会社の人間として海底熱水鉱床の探査技術の現状や今後の課題をどう考えるか？（探査技術に関してどのような開発要素があるのか）
- そして海洋を愛する一人の日本人としての思い。

2. Fugroの紹介



2. Fugroの紹介 (1)

フグログループの本社：オランダ

**業務： 地質工学分野、測量分野、
地球科学分野を融合させた総合的な
調査・コンサルタント サービス**

歴史：40年以上

**(日本にもお客様は多いが売上の割合は
極めて少ない)**






地質工学分野

陸上・沿岸・海洋の地質調査、環境調査、コンサル業務他

地表面

0 - 100m



測量分野

海洋・沿岸・陸上の測量、ポジショニング、
海象・気象データ、LIDAR計測 他

0 - 600m



地球科学分野

地震探査、重力探査、空中探査、
石油の貯留層エンジニアリング、関連ソフトの開発販売

0 - 6,000m



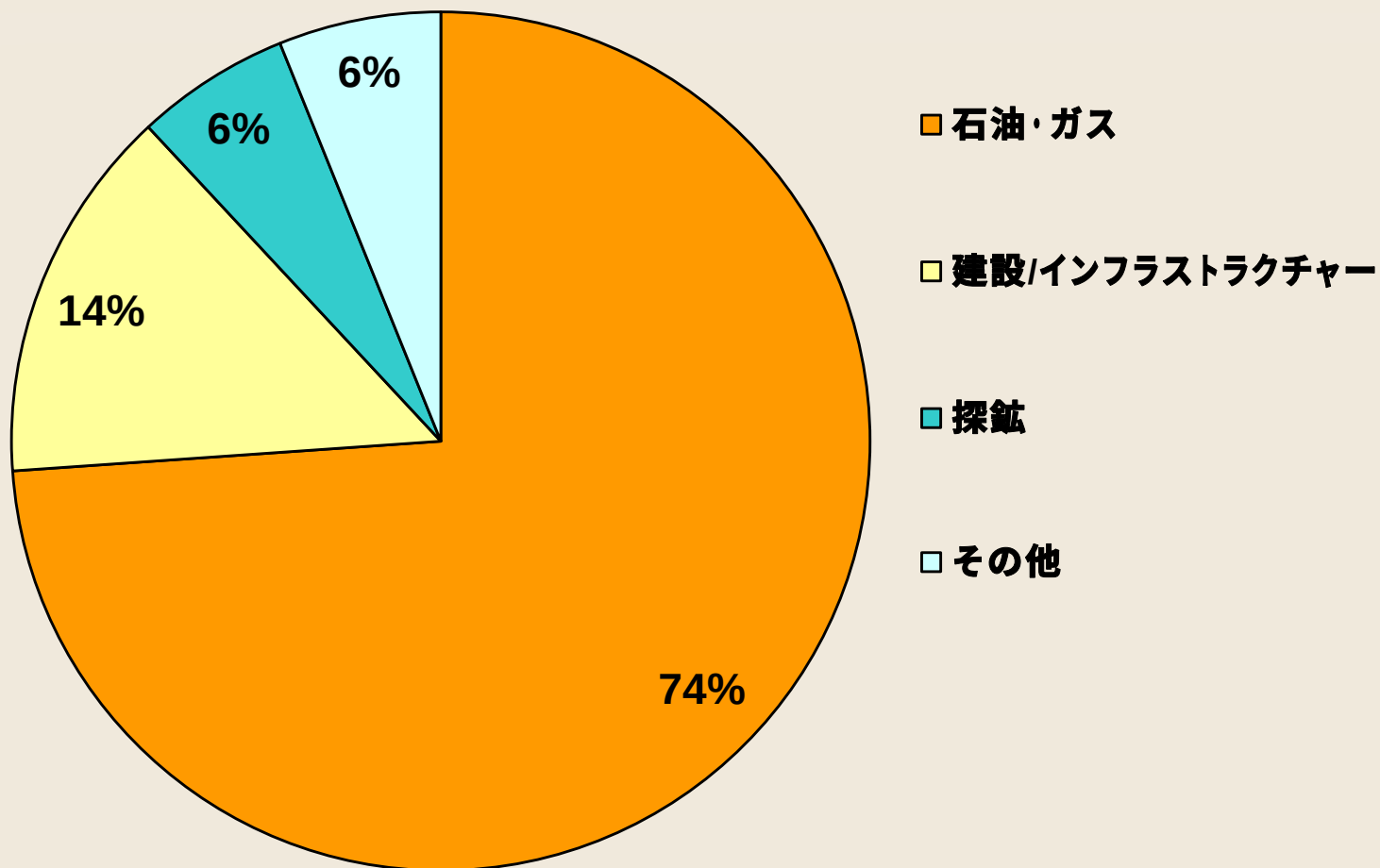
2. Fugroの紹介 (3)



50カ国・地域 事務所275ヶ所 従業員13,000人

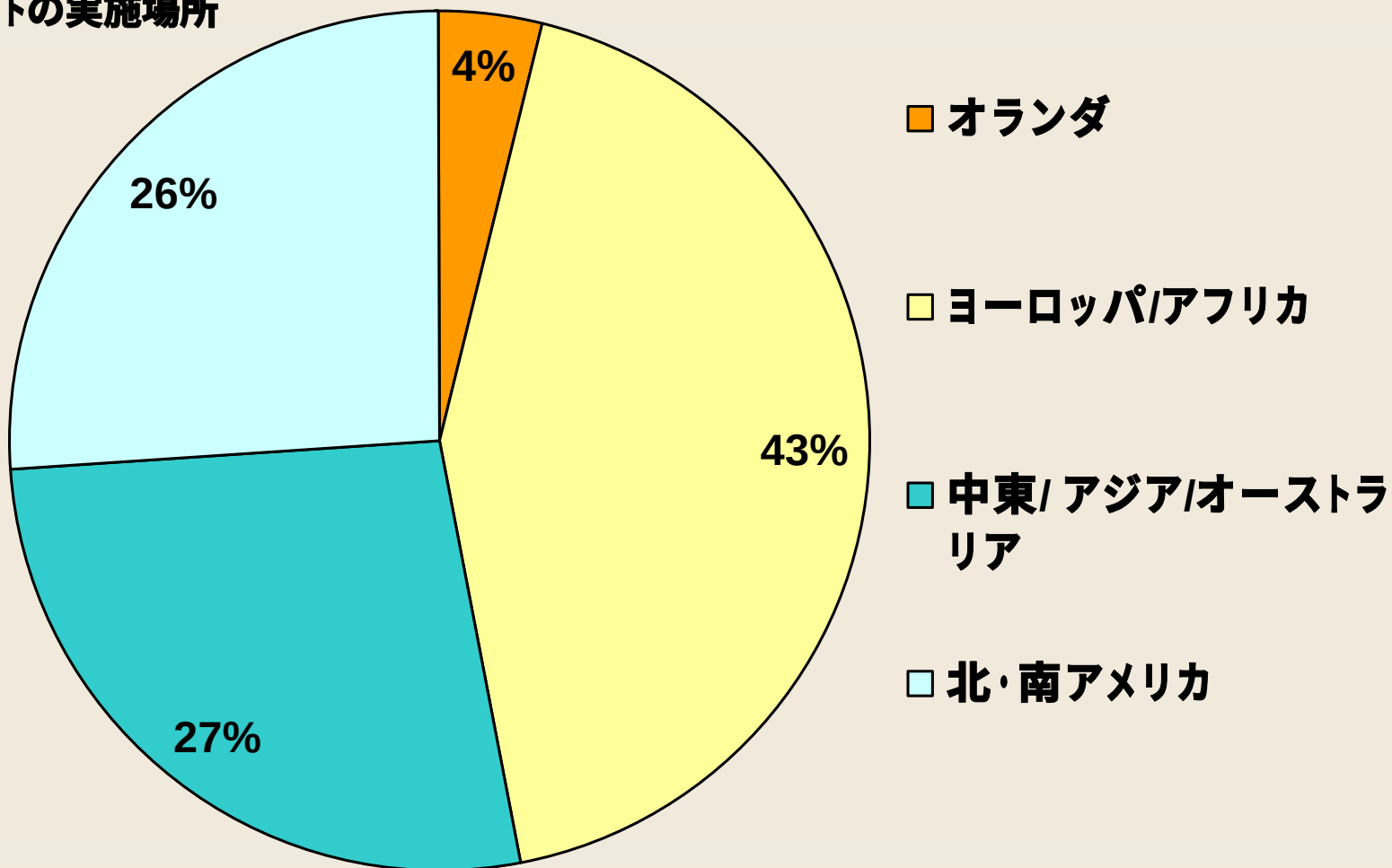


2. Fugroの紹介 (5) 部門別売上内訳



2. Fugroの紹介 (6) 売上の地域分布

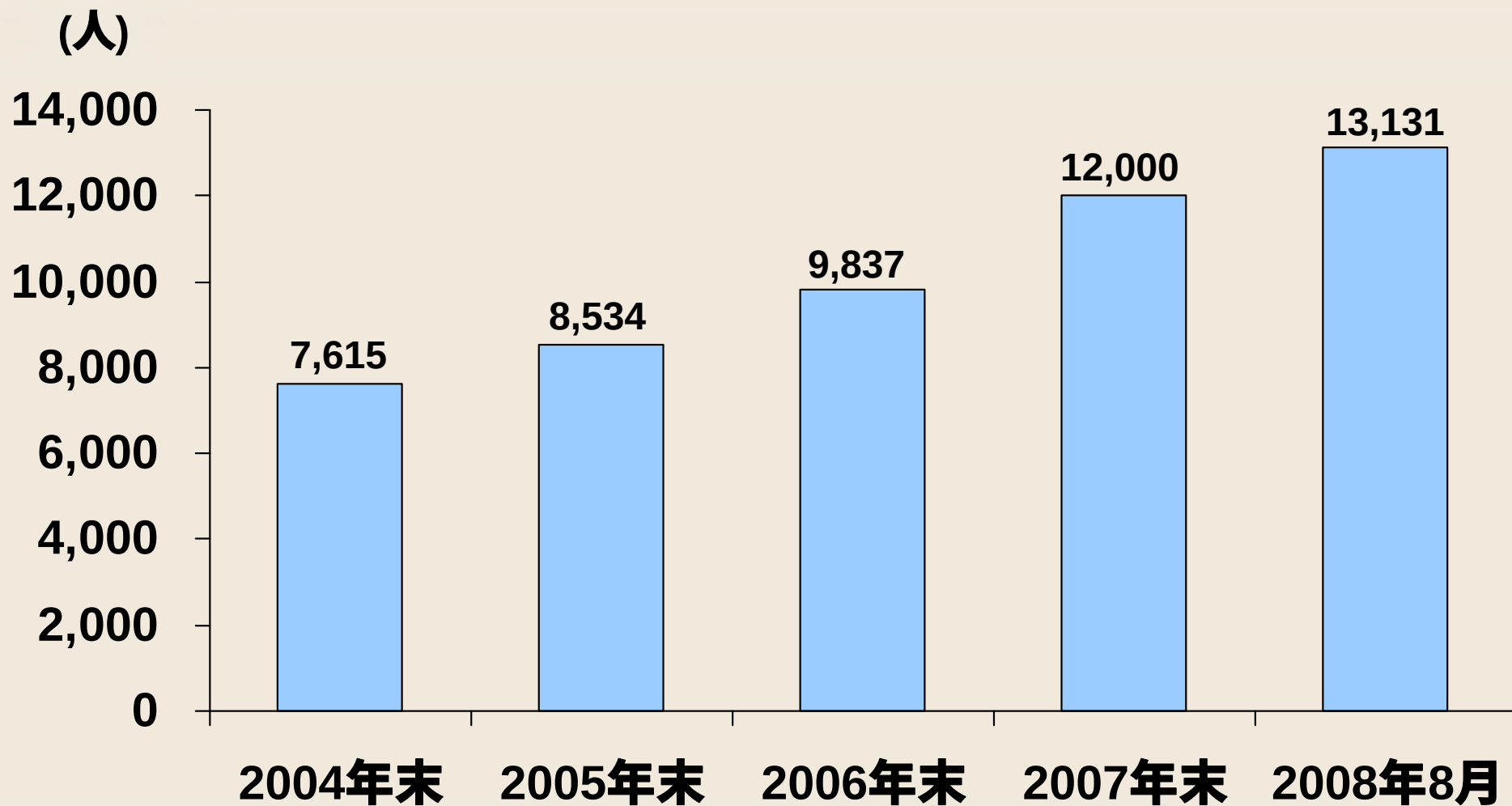
プロジェクトの実施場所

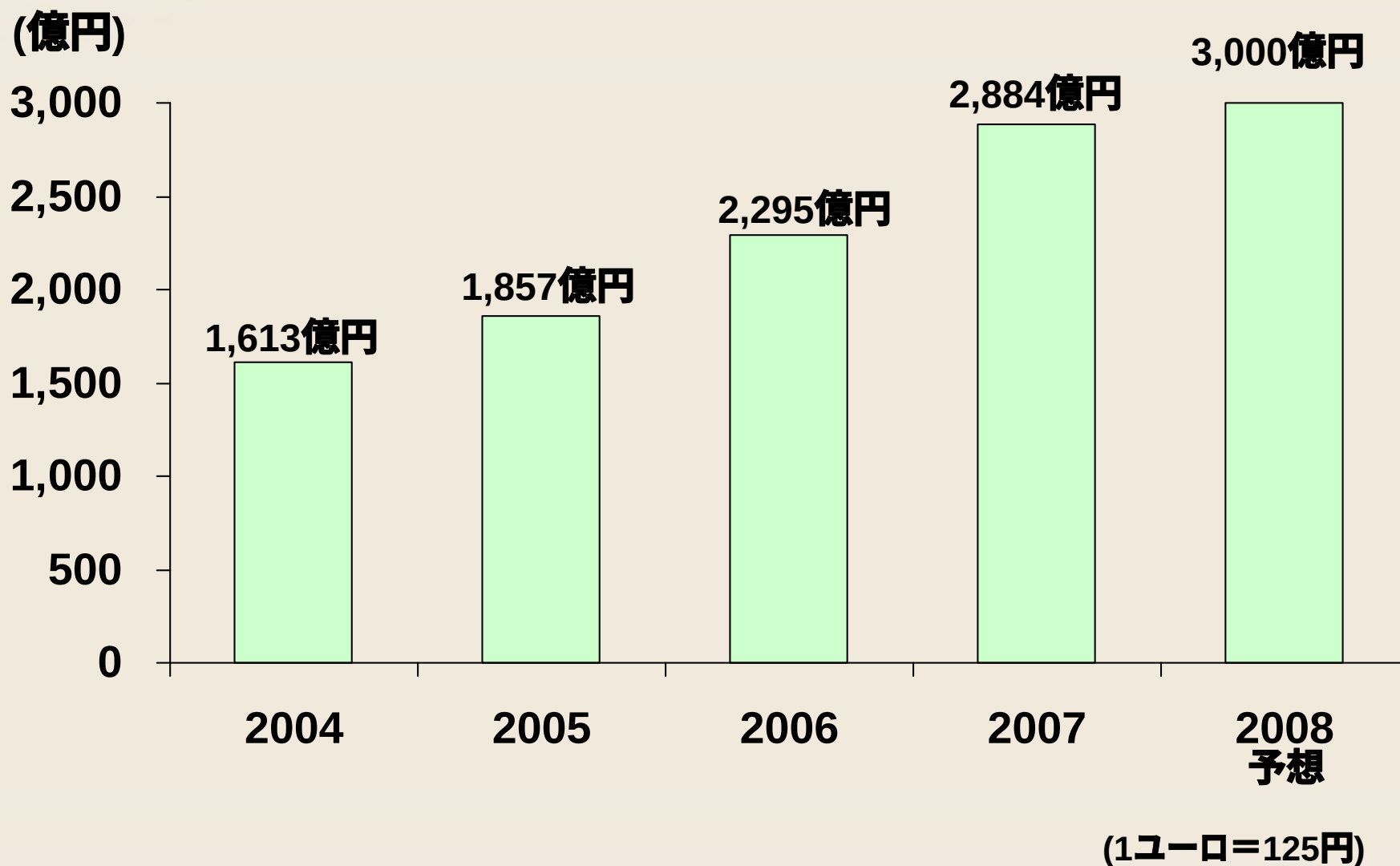




2. Fugroの紹介 (7)

Fugroの従業員数





3. 海底熱水鉱床の開発の歴史と現状

3. 海底熱水鉱床の開発の歴史と現状 (1)

1880年代 紅海でHot brainを発見。

1965年 紅海の重金属濃集体 (Red Clay) 発見
(Atlantis II 世号)

1974年 米仏共同調査大西洋中央海嶺で
熱水鉱床発見

1976年 Preussag AG (西ドイツ) はSaudi Arabia
とSudanから探査権を得て採鉱技術の開発及び
経済性の評価を行った。(9,400万トンの硫化
物鉱量を見積る)

1978年 ガラパゴスで熱水鉱床発見

1982年 Scripps とWHOI AlvinでMexico沖2,000m
水深で海底熱水鉱床発見

1984年 産業総合研究所 (旧地質調査所) が我が国
EEZ内での塊状硫化物鉱床の調査・研究開始

3. 海底熱水鉱床の開発の歴史と現状 (2)

- 1985年 海底熱水鉱床の調査 {2005年まで、2008年から再開} 東太平洋中央海嶺 (SOPAC ODA)、
沖縄トラフ、伊豆・小笠原海域で調査
- 1997年 Nautilus Minerals設立 PNG政府がNautilusに
最初のSMSの探査ライセンスを発給
- 1999年 Neptune Minerals社設立 {2002年NZ海域で
探査鉱区取得}
- 2006年 深海資源開発(株)沖縄経済産業局に鉱区申請
- 2007年 Neptune Minerals、沖縄経済産業局に鉱区申請
- 2007年 海洋基本法
- 2008年3月 日本国政府 海洋基本計画
- 2008年4月 METI 探査予算5億円
文科省 探査用センサー技術開発他の為の4億円

3. 海底熱水鉱床の開発の歴史と現状 (3)

- 2008年10月 エネ庁 総合資源エネルギー調査会鉱業分科会で開発計画を示す (12年度内に存在を確認している鉱床の資源量の把握、採掘システムを開発。18年度までに海洋採掘実験、製錬試験)
- 2008年12月 Nautilus Minerals 2010年の商業化断念
採鉱システム建造契約廃棄。
従業員3割カット。
- 2008年12月 Neptune Minerals 2010年商業化断念、
ロンドンでの株式上場廃止

3. 海底熱水鉱床の開発の歴史と現状 (4)

熱水鉱床探査の歴史： 取敢えずの纏め

- (1) マンガン団塊の探査の歴史と酷似している。(時間の関係でマンガン団塊の探査の歴史認識の説明は割愛)
- (2) 日本は探査活動そのものは早くから始めている。予算も他の国や企業よりも遥かに多く使っている。
- (3) 日本と海外が根本的に違うのは、日本では探査を実行しても制度上、予算上の制約もあり、商業化への具体的ビジョン、戦略が明確でなかったこと。(日本は今では海洋基本計画があるというかも知れないが)。
- (4) 外国が活動を止めると日本は本格に開始。これもマンガン団塊と同じか。

4. 海底熱水鉱床開発の為の探査技術

4. 海底熱水鉱床開発の為の探査技術 (1)

この部分の話の前提

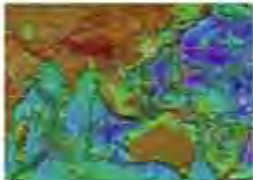
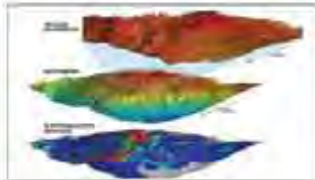
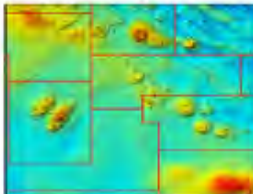
・時間の関係で日本の熱水鉱床探査技術 (即ち、JOGMEC, 深海資源開発(株)等の熱水鉱床探査技術) については触れません。

・ここでは時間の関係で1例としてNautilus社の探査に関する考えをレビューします。

(出典: 2008年10月18日付 Nautilus社 CEO Mr. Steve Rogersの株主への説明資料から)

4. 海底熱水鉱床開発の為の探査技術 (2)

Exploration

Initial Concept Data Research eg cruises, compilation and analysis 	Focused Work Deep tow bathymetric surveys and/or grab sampling 	Resource Def & Exploration Project delineation 
Regional geophysical and geochemical surveys and or grab sampling 	ROV detailed mapping and sampling 	Resource evaluation 

New Vision • New World • New Resources



NAUTILUS

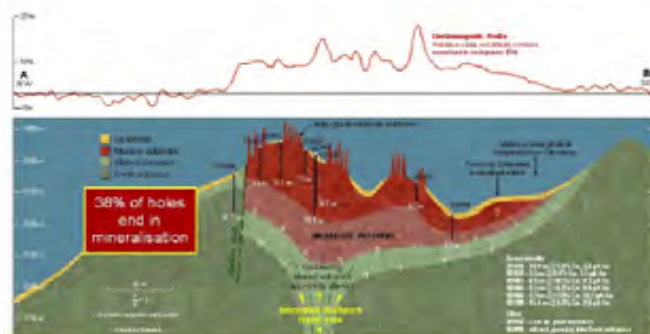
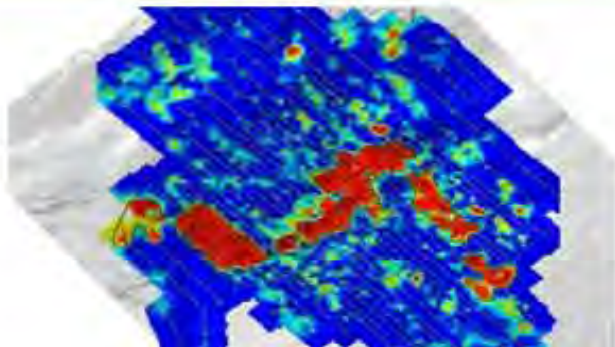
Minerals Inc.

14

出典： 2008年10月18日 Nautilus Minerals社

4. 海底熱水鉱床開発の為の探査技術 (3)

The Exploration "Tool Kit"



出典: 2008年10月18日 Nautilus Minerals社

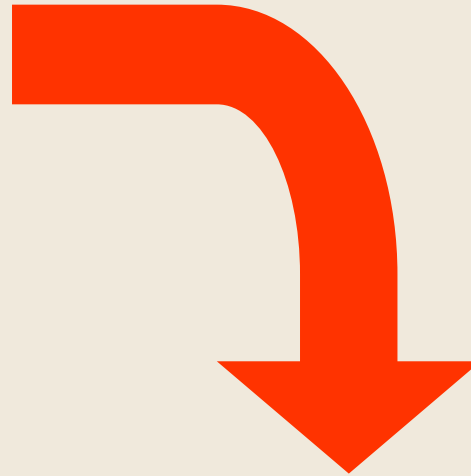
5. そもそも「探査」とは

(このPresentation、特にこの部分を作成するに際して小職の長年のビジネスパートナーである、Fugro Seafloor Surveys Inc. (本社シアトル) のDr. Don Hussong (元FSSI社長、元ハワイ大学教授) より以下の資料の提供を受けました。ご覧戴ければお分かり頂ける内容ですので主として時間の関係で口頭での説明は割愛します。)

(簡単に言えばDr. Hussongが送ってきてくれた資料を以下御参考迄に添付します(デットコピーします)、ということです。)

5. そもそも「探査」とは (FSSI Dr. Don Hussong) (1)

- Geophysical Survey Sensors
- Positioning Aid System
- Height & Depth Sensors
- Motion and Heading Monitoring
- Temperature & Velocity Sensors
- Safety & Supporting Features



Into one of these Remotely Operating Platforms





5. そもそも「探査」とは (FSSI Dr. Don Hussong (2))

Opinion Sharing

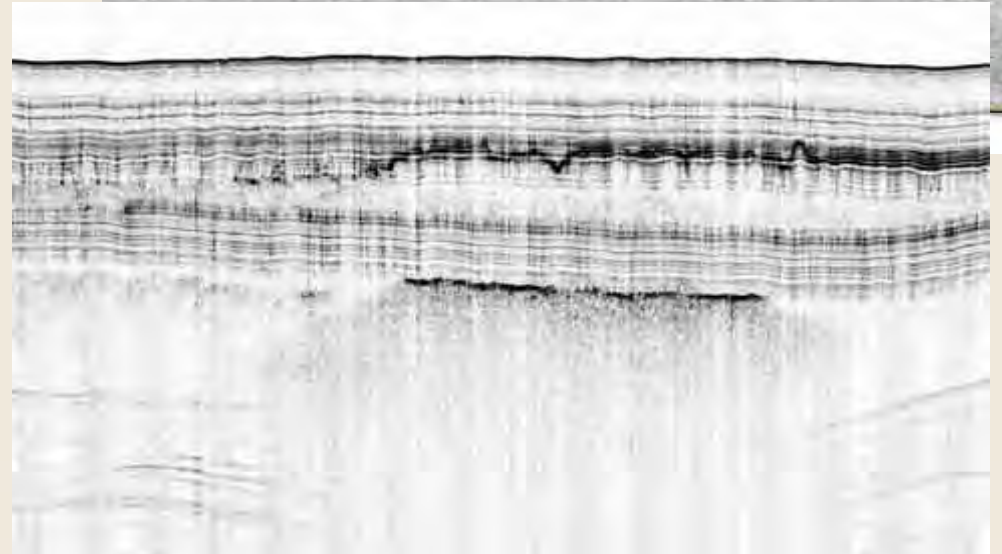
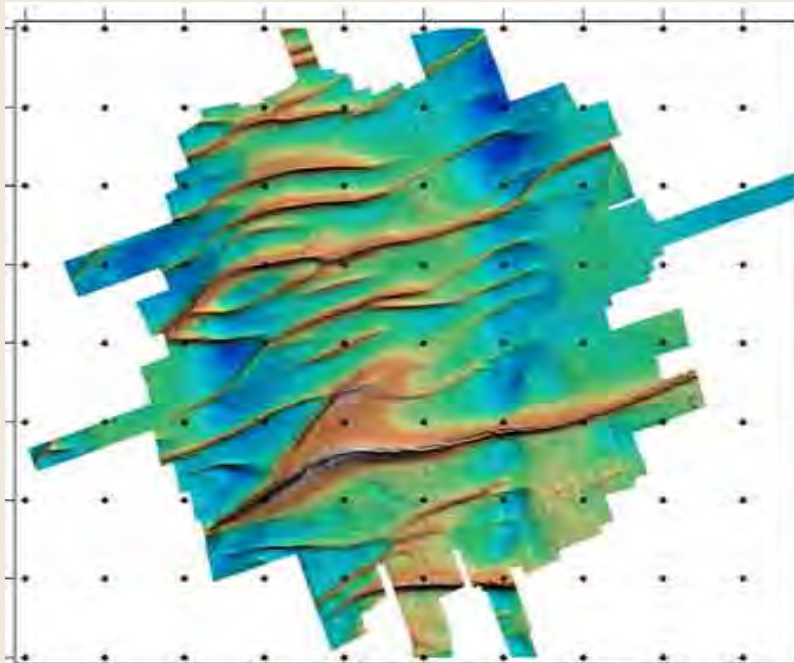
Compare and Contrast the 3 survey platforms:

- **Data Quality:**
 - Positioning issues: accuracy & reliability
 - Course precision & Altitude control: consistency, continuity
 - In-water dynamic stability: integrity, timing & synchronization
 - Noise level
- **Efficiency:**
 - Time & Cost
- **Flexibility / other Advantages:**
 - Value Added Capability

5. そもそも「探査」とは (FSSI Dr. Don Hussong) (3)

Data - Primary Geophysical Data Sets (common on all platforms):

- Side Scan Sonar
- Shallow Sub-bottom Profiler
- Multibeam Echo Sounder



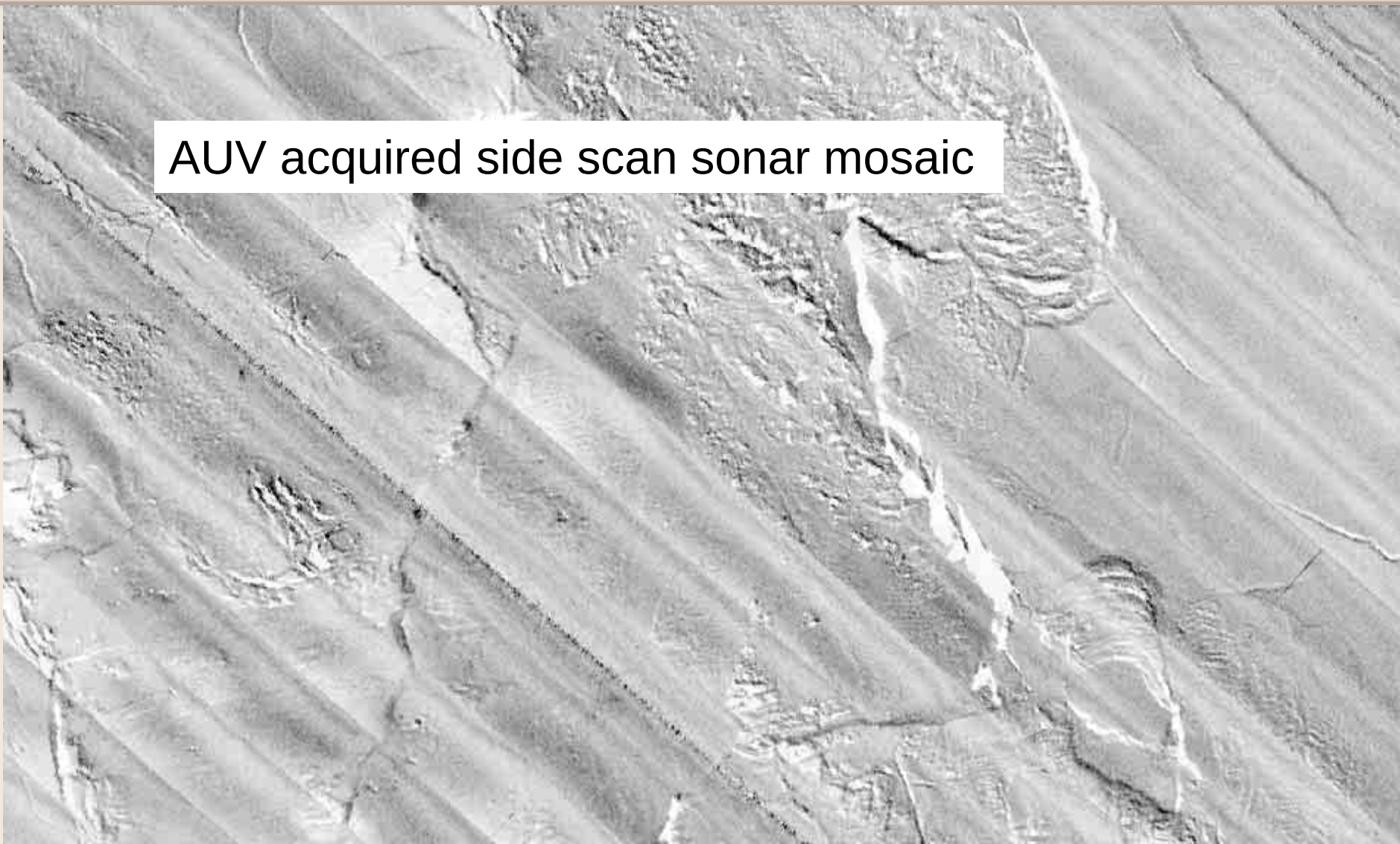
5. そもそも「探査」とは (FSSI Dr. Don Hussong) (4)

AUV or ROV Survey



5. そもそも「探査」とは (FSSI Dr. Don Hussong) (5)

AUV acquired side scan sonar mosaic



5. そもそも「探査」とは (FSSI Dr. Don Hussong) (9)

Survey Efficiency: Time comparison

	ROV	Deep-tow	AUV
Survey Speed	0.5-1 knots	3-4 knots	3-4 knots
Line Turning	15-20 minutes	2 hours (in 1,000m water)	15 minutes (independence of WD)
Maintenance * (duration / period)	2 hour / 24 hours (on average)	2 hour / 96 hours (on average)	3-6 hours / 36 hours (on average)
Dive (deploy) & Surface (recovery)	2 hour (1,000m) for each 24 hour	2 hour (1,000m) For each 96 hours	2 hours (1,000m) For each 36 hours
Survey line km per day	10-25 km	35-80 km	60-110 km



5. そもそも「探査」とは (FSSI Dr. Don Hussong) (10)

**M A D R I D, Spain,
Nov. 19, 2002** — A
damaged tanker
carrying more than 20
million gallons of fuel
oil broke in two off
northwest Spain and
sank today, threatening
an environmental
disaster.

Example ROV Project: Prestige Wrecked Site Survey (1/3)



Example ROV Project: Prestige Wreckage Site Survey

**To Facilitate Salvage and Engineering Planning,
A series of challenging survey services were needed**

- Gather precision bathymetric data
- Shallow seismic survey
- Precise positioning data (0.5m required)
- Determine attitude of hull sections
- Close visual inspection of hull
- Frame and stringer detection
- Geotechnical sampling
- Oil sampling

Geophysical Survey:

- High precision echo sounder
- Multibeam echo sounder
- Chirp sub-bottom profiler



Sub-meter Positioning:

- USBL & LBL integrated with DVL and INS
- Other positioning aid system
- Integrated navigation packages

Twin Work Class ROV Operating to 3850m

Visual inspection & Tests:

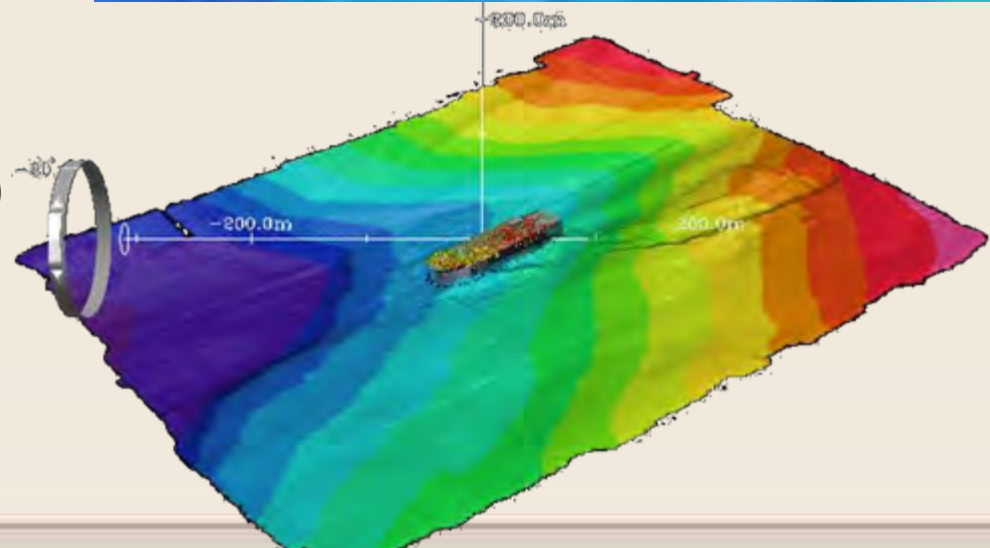
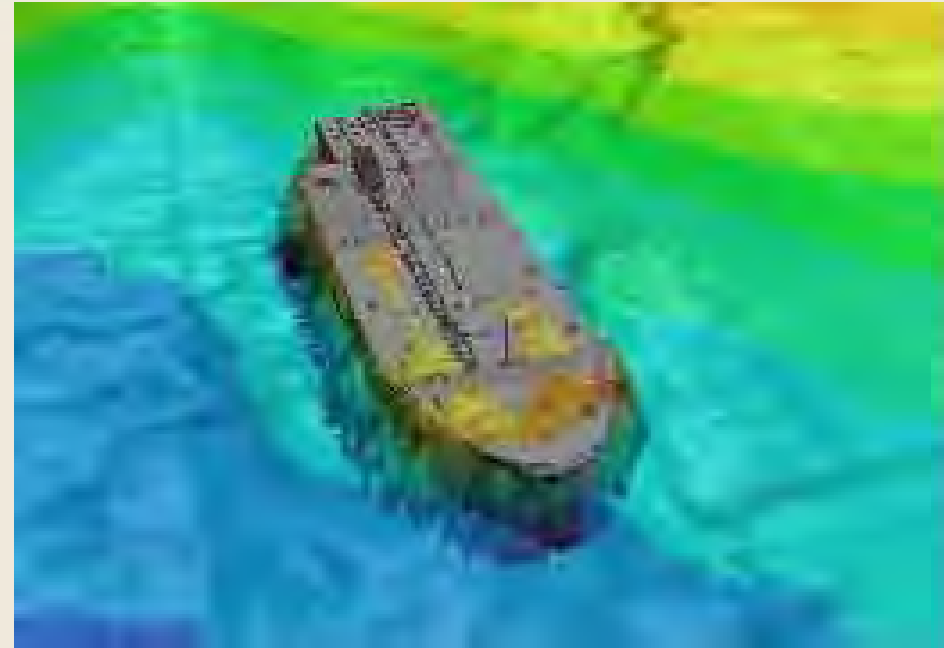
- Digital Video
- Laser Registered camera
- Cygnus, Ultrasonic

Geotechnical Survey:

- PCPT (12 m penetration)
- Sediment sampling

Record achieved:

- Detailed Work class ROV Survey and intervention at 3,850 metres
- Twin Work Class ROV Operation at 3850m
- Deepest ROV-based Multibeam Survey
- Deepest ROV-based CPT
- MCPT data collected on up to 28° slope, immediately next to the wreck itself
- Positioning & repeatability accuracies around 0.5m (relative) at 3,800m
- Deepest ROV deployed Hull Thickness Measurement



Example Deep-tow survey spread: multi-purpose

Fugro mobilised a dedicated geophysical survey vessel with all the required survey system,

And a team of specialists to make it a continuous success.



Example AUV Project :High Precision Engineering Survey

Chevron Indonesia Gendalo deep sea engineering survey:

- Approximately 20 non-linear pipeline routes; km to tens of km long
- Seabed topographically extremely challenging
- 2,300m – 150m water depths
- Up to 45 ° seabed slope

Fugro's Echo Surveyor

Successfully completed in
less than 2 weeks

Deep-tow survey.... not very likely

**ROV base; technically an alternative option.
Practically, months of work**





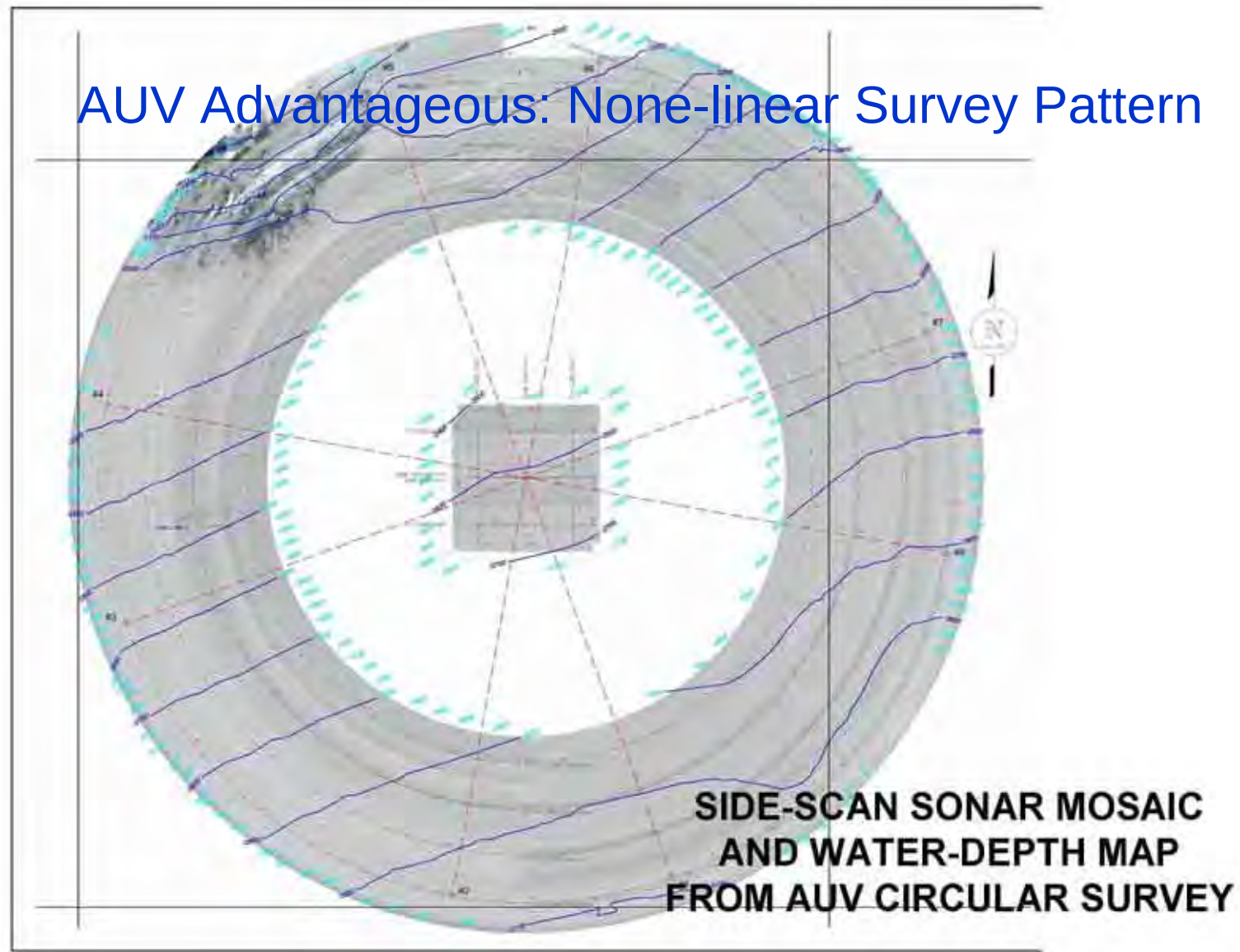
5. そもそも「探査」とは (FSSI Dr. Don Hussong) (17)

Added Advantages of AUV

AUV has the ability to conduct surveys that
would be very difficult,
and impossible with conventional survey approach

5. そもそも「探査」とは (FSSI Dr. Don Hussong) (18)

AUV Advantageous: None-linear Survey Pattern

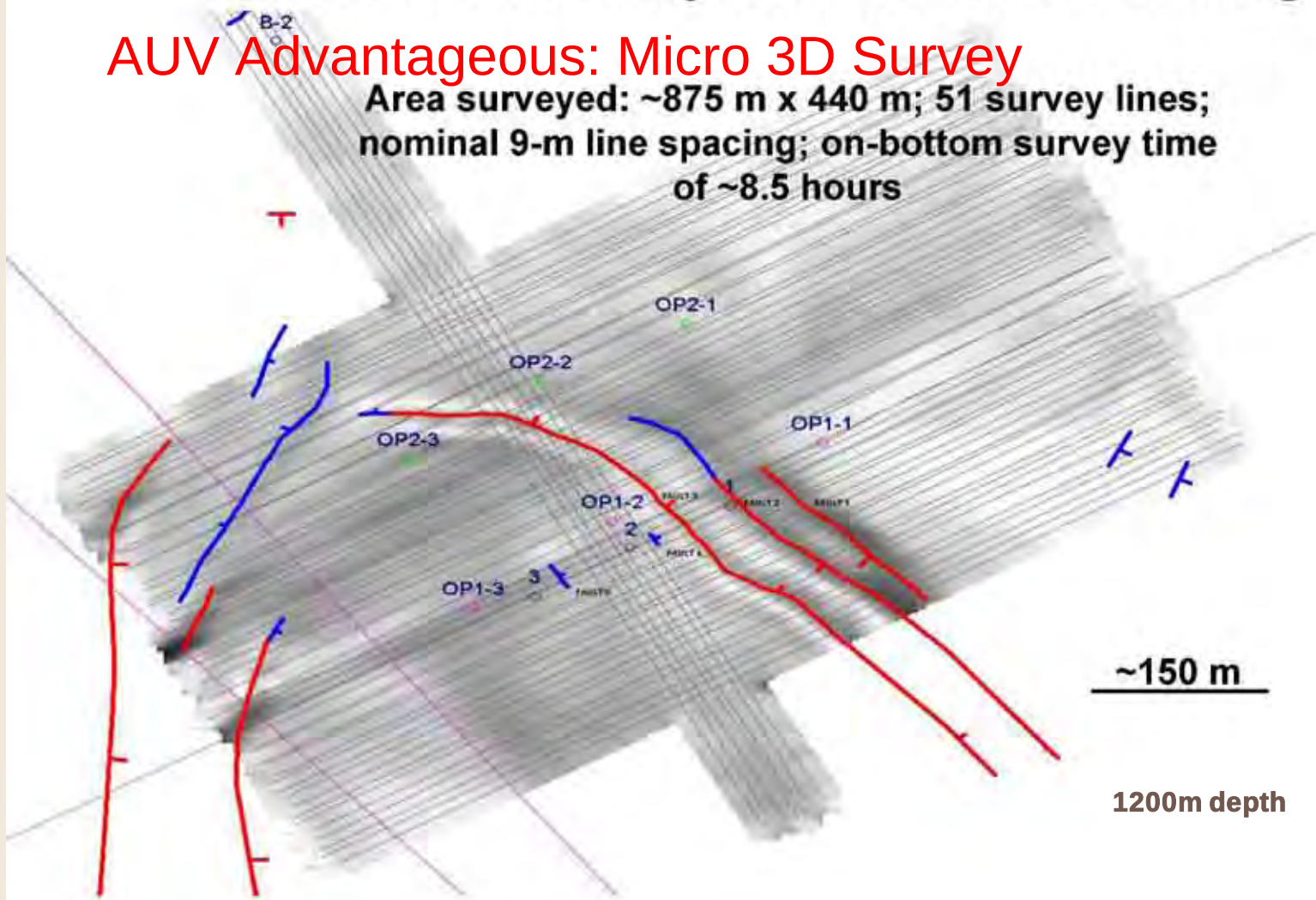


5. そもそも「探査」とは (FSSI Dr. Don Hussong) (19)

AUV Micro 3-D Survey Grid For Anchor- Pile Siting

AUV Advantageous: Micro 3D Survey

Area surveyed: ~875 m x 440 m; 51 survey lines;
nominal 9-m line spacing; on-bottom survey time
of ~8.5 hours

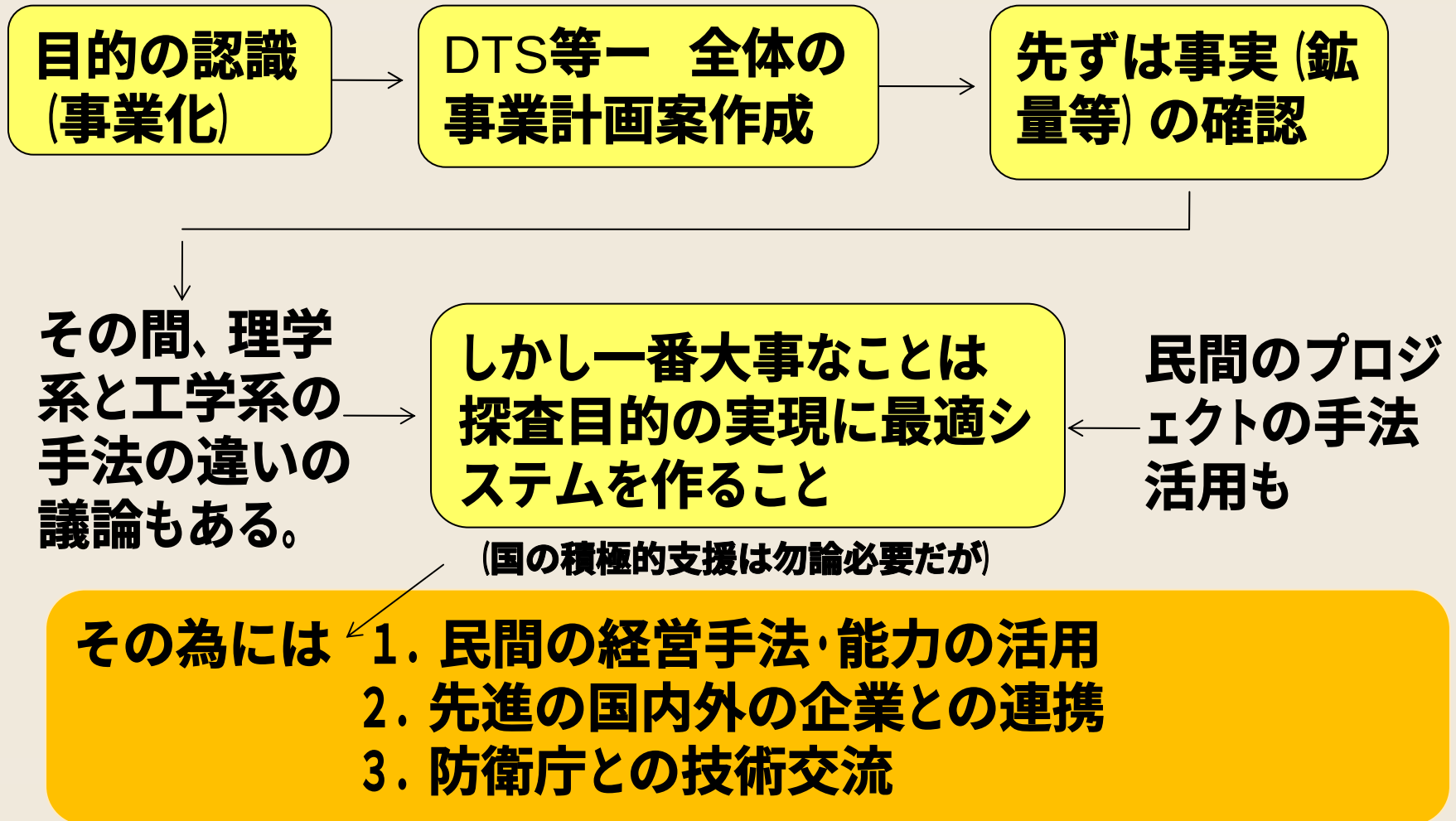


SBP data
stored in
SEG-Y, and
processed as
3D seismic.

Normal HR-
3D resolution
is 2-3
meters, but
SBP data
gives 0.5
meter
resolution

6. 「探査」に限ったことではないが この種のプロジェクトの開発の進め方

6. 「探査」等のプロジェクトの開発の進め方



7. 今後の海底熱水鉱床の探査の課題について

7. 熱水鉱床探査の技術的課題 (1)

- **以上、海底熱水鉱床の探査についての基本的考えを述べましたが、本日の委員会の目的のことも考え、今、海底熱水鉱床の探査に実際に関係している民間企業が今どのようなことを考えているかについて、2つの例を紹介してみたいと思います。**

(1) Fugro はどう考えるのか？

(2) 日本の専門会社のひとつの研究テーマ (株)地球科学総合研究所他のR&D)

Fugroの基本的考え方:

1. 基本的には海洋石油開発の技術の活用を考えるべき。
2. 探査の手法そのものは一般的手法を前提としてよい
 - Wide area bathymetry – vessel surfaced based MBES (Sys 09, EM12, or EM 302)
 - Medium area sonar SSS, SBP (Sys100)
 - Small area sonar SSS SBP MBES (AUV)
 - Small area seabed inspection – ROV, video, surface sampling
 - ・ 又、考えなくてはいけないことは
 - Geochemical surveys (plume detection)
 - Gradiometer surveys (map vent anomalies)
 - Electromagnetic survey (quantities of sediments)
 - Coring (qualities of sediments)
3. DTAGS 及びAUVの活用は当面の具体的課題ではないか。
4. EM探査技術の促進も必要 (Mr. Kim Aitken – Fugro Singapore 深海調査部長)

Dr. Grant Blackinton (FSSI) のアドバイス

1. 熱水鉱床の調査で大事なことの一つ
 - (1) センサーを物理的に調査域に近づけること
 - (2) センサーの high accuracy positioning
2. その為には海上船舶 (着底式USBLの活用) 海底トランスポンダー、AUV (LBL)、DTAGS、あるいはRSCSの組合せなどによる探査の促進も考えてはどうか。
2. 以上のような前提のもと各種 gradient instrument の AUVへの搭載

Electromagnetic Profiling (1)

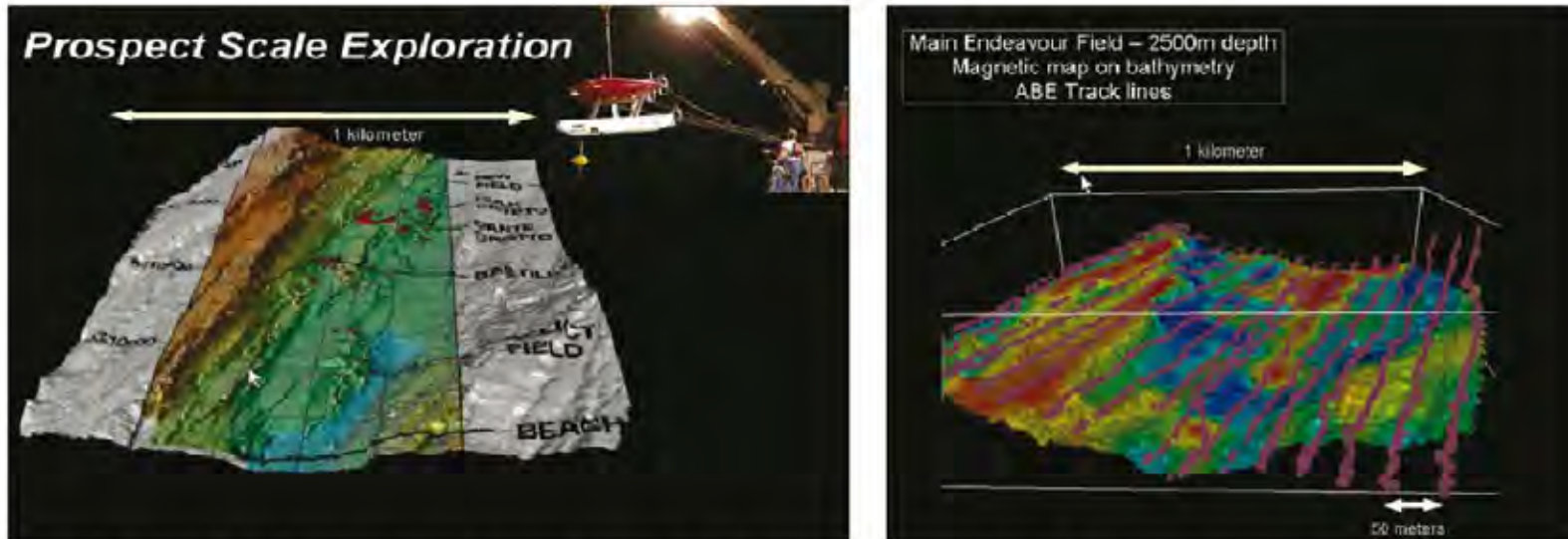


Figure 5 Endeavour Field bathymetry and magnetic anomalies. Left hand plate shows the area of a detailed bathymetry and magnetic survey done using the ABE autonomous vehicle from Woods Hole Oceanographic Institute. The left image is a detailed bathymetric image with the locations of known SMS deposits mapped, the right shows the magnetic anomalies painted upon the bathymetry, with the track lines of the ABE magnetic survey shown above the ocean floor. Note that the track lines are about 50 metres apart. (Data and bathymetric imagery is from Maurice Tivey et al., WHOI).

(Peter Kowalczyk First Break Vol. 26. Nov. 2008)

Electromagnetic Profiling (2)

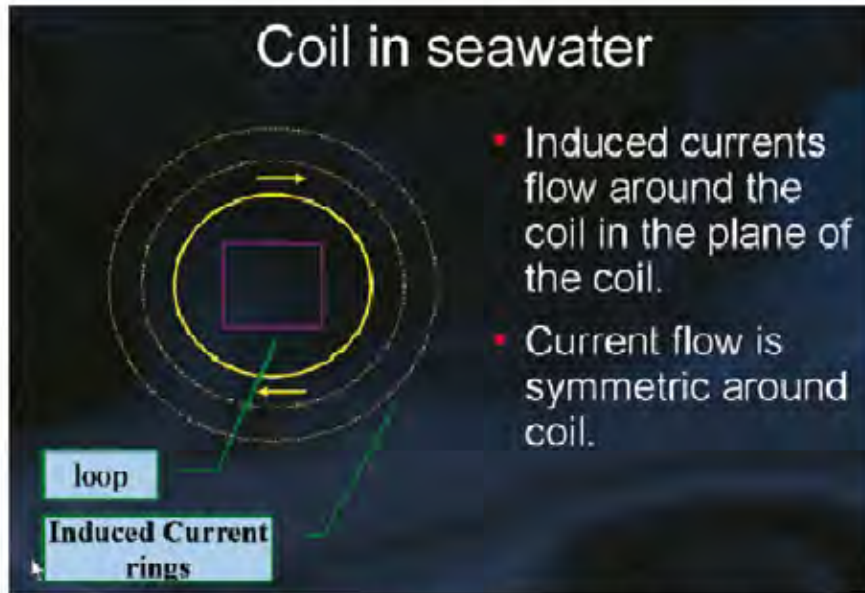


Figure 7 Principle of operation of the OFG EM system. Note that the transmitter coil is vertical and the induced eddy currents flow in the vertical plane around the coil.

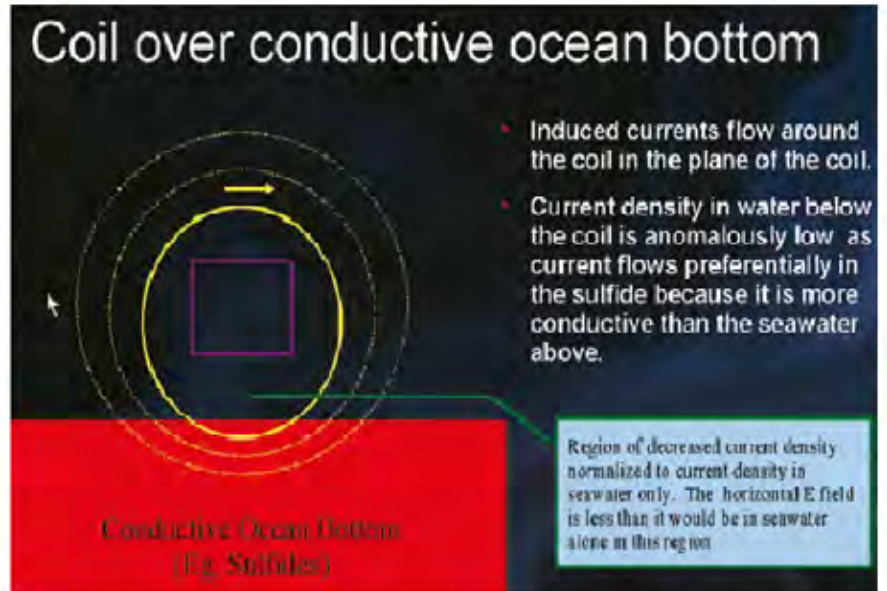


Figure 9 Principle of operation of the OFG EM system. If the transmitters approach an electrically conductive bottom, the eddy currents are channel in the bottom, and in the space between the TX coil and the bottom horizontal electric fields are lower than they are in sea water only.

(Peter Kowalczyk First Break Vol. 26. Nov. 2008)

7. 熱水鉱床探査の技術的課題 (6)

Electromagnetic Profiling (3)

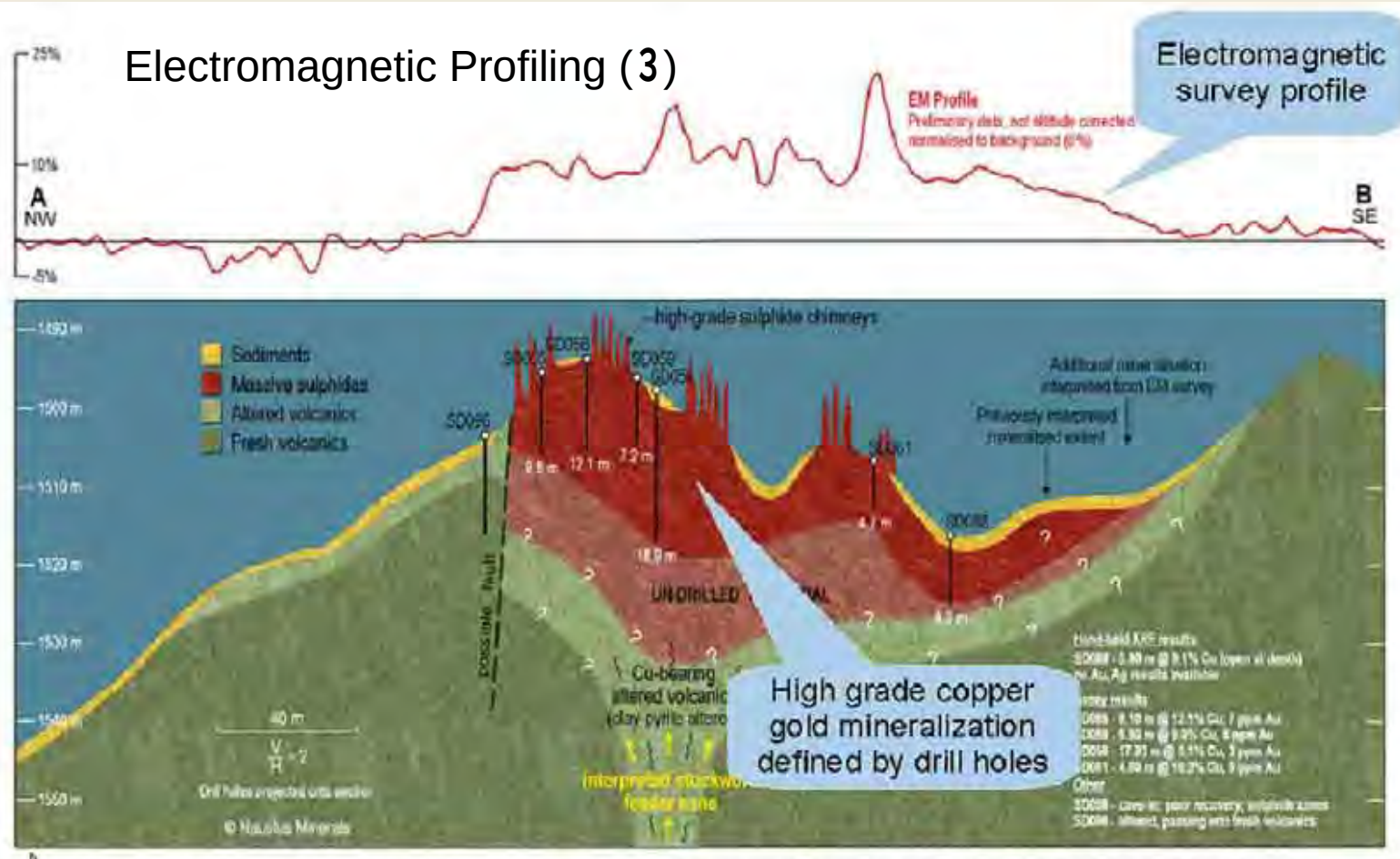


Figure 11 Geological section AB shows the DFG EM response over a mineralized portion of the Solwara 1 deposit. Note the EM anomaly has been inverted to be positive over a conductor. (Image, data processing courtesy of Nautilus Minerals)

(Peter Kowalczyk First Break Vol. 26. Nov. 2008)

Electromagnetic Profiling (4)

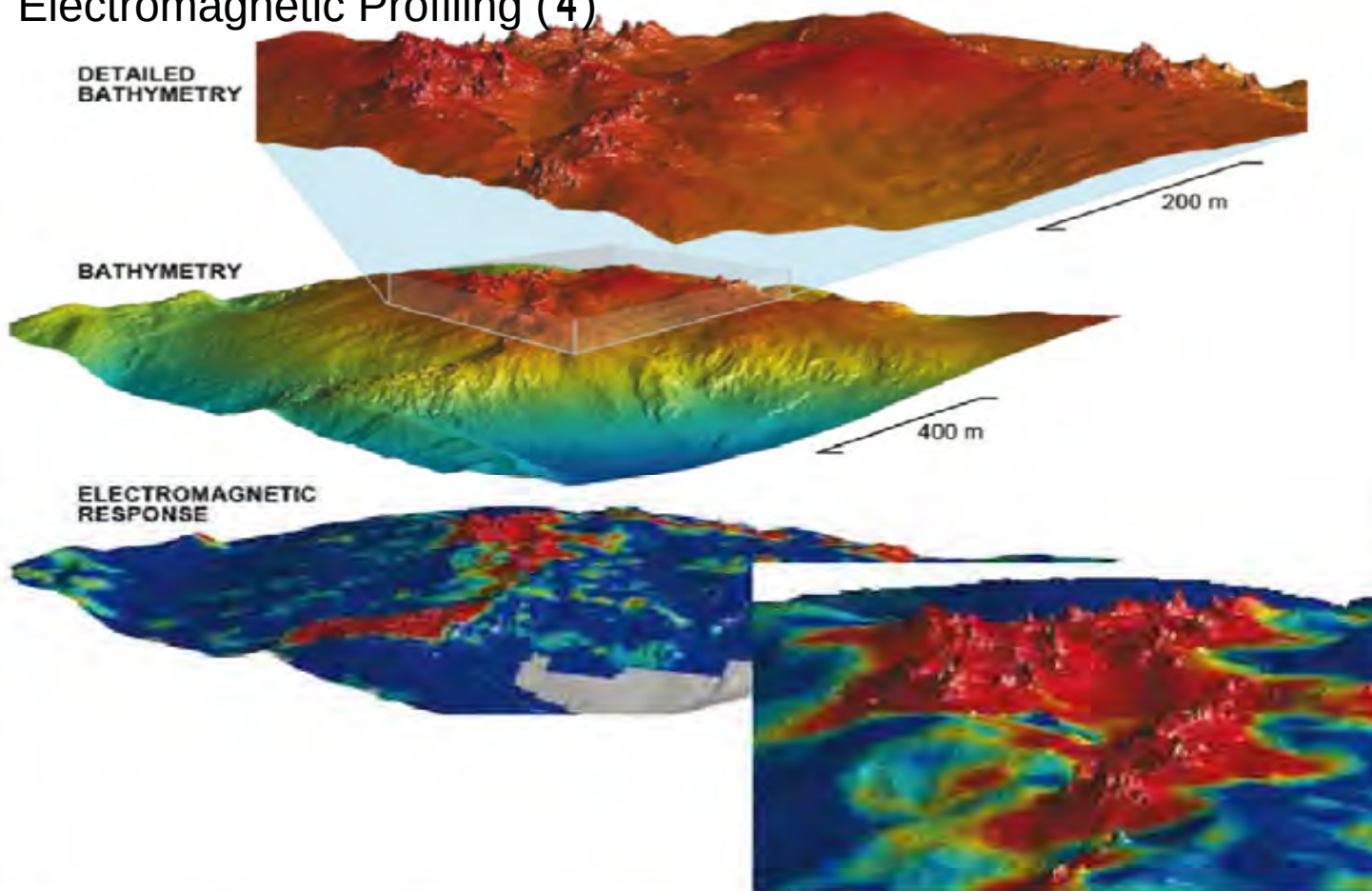


Figure 12 The detailed bathymetry for the Solvaya I SMS deposit, with the conductivity map derived from the EM survey painted over it. In the electromagnetic response image, red is the conductive response mapped - this corresponds to the occurrence of the massive sulfides. The insert at the bottom shows the main chimney field, with the EM map painted on the bathymetry. (Image courtesy of Nautilus Minerals).

(Peter Kowalczyk First Break Vol. 26. Nov. 2008)

(日本の研究者の幾つかの研究から一(株)地球科学総合研究所他の研究のご紹介)

広域探査

高分解能海上反射法地震探査

熱水鉱床概査における海上反射法地震探査手法の有効性

(熱水鉱床システム全体の把握等)

高分解能化のデータ取得、データ処理手法の検討

目標とする時間分解能 $\sim 500\text{Hz}$

詳細探査

深海曳航震源(DTAGS)を用いた多成分海底受振ケーブル(RSCS)反射法地震探査

詳細な構造調査だけではなく、S波情報、速度情報の推定を目的とする。

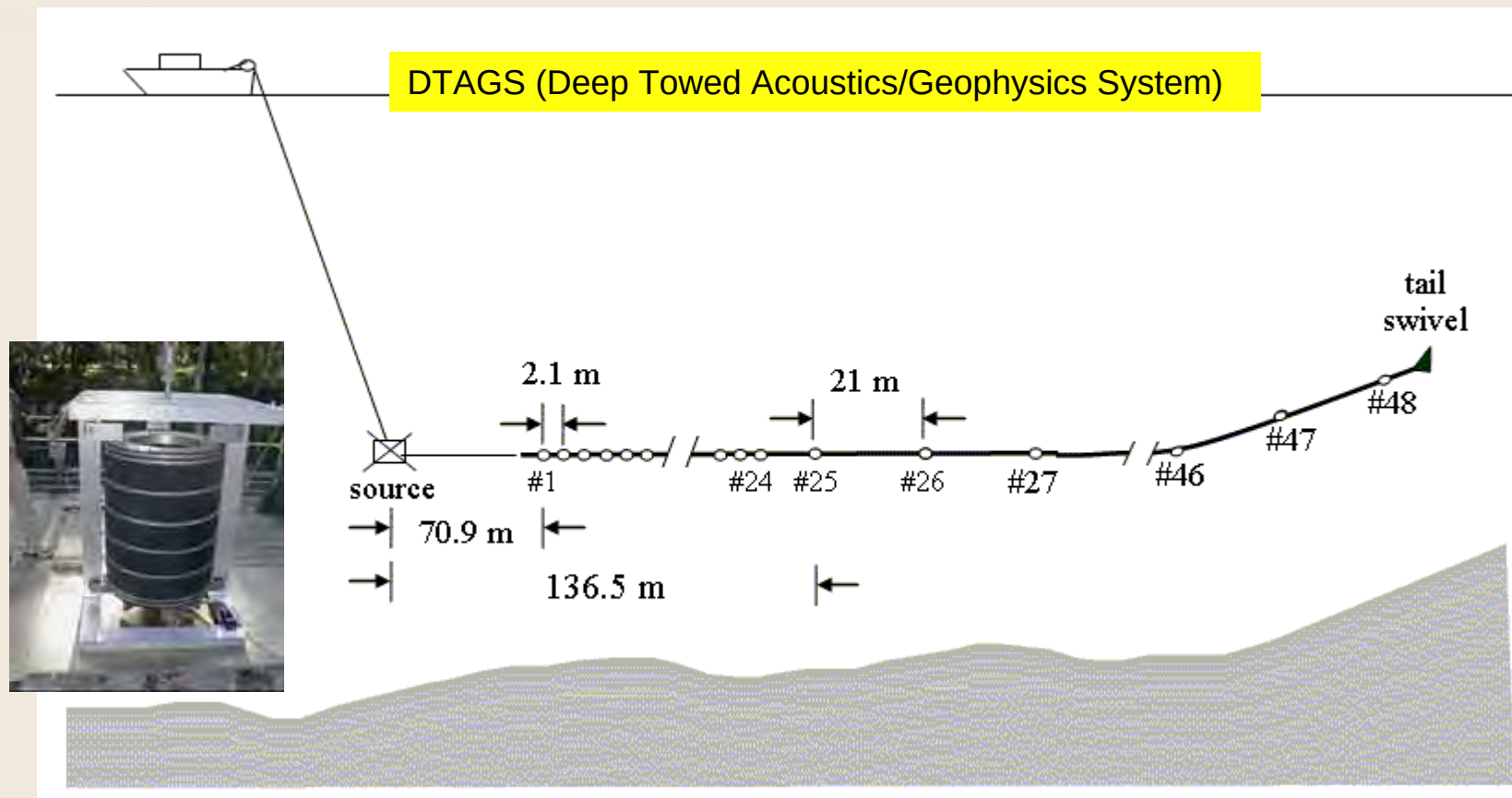
目標とする時間分解能 $\sim 1\text{kHz}$

深海曳航震源(DTAGS)および多成分海底受振ケーブルの個別では実績有り (資料添付)

AUV搭載の高周波数震源(SBP等)を用いた多成分海底受振ケーブル反射法地震探査

目標とする時間分解能 $\sim 10\text{kHz}$

7. 熱水鉱床探査の技術的課題 (9)

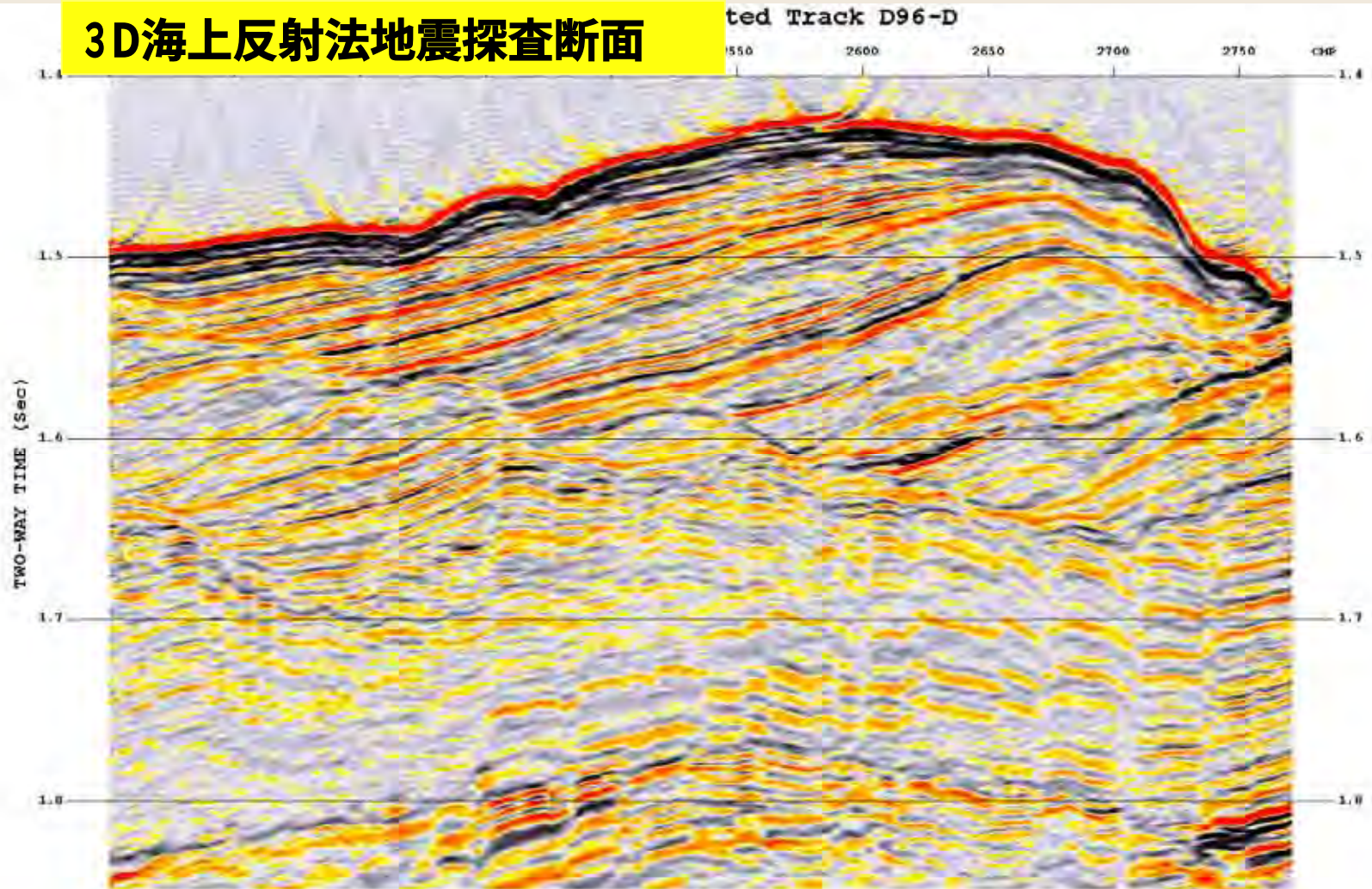


Marine Vivroseis(Piezoelectronic)

周波数帯域：250 Hz – 650Hz (新型：200Hz – 2Kz)

7. 熱水鉱床探査の技術的課題 (10)

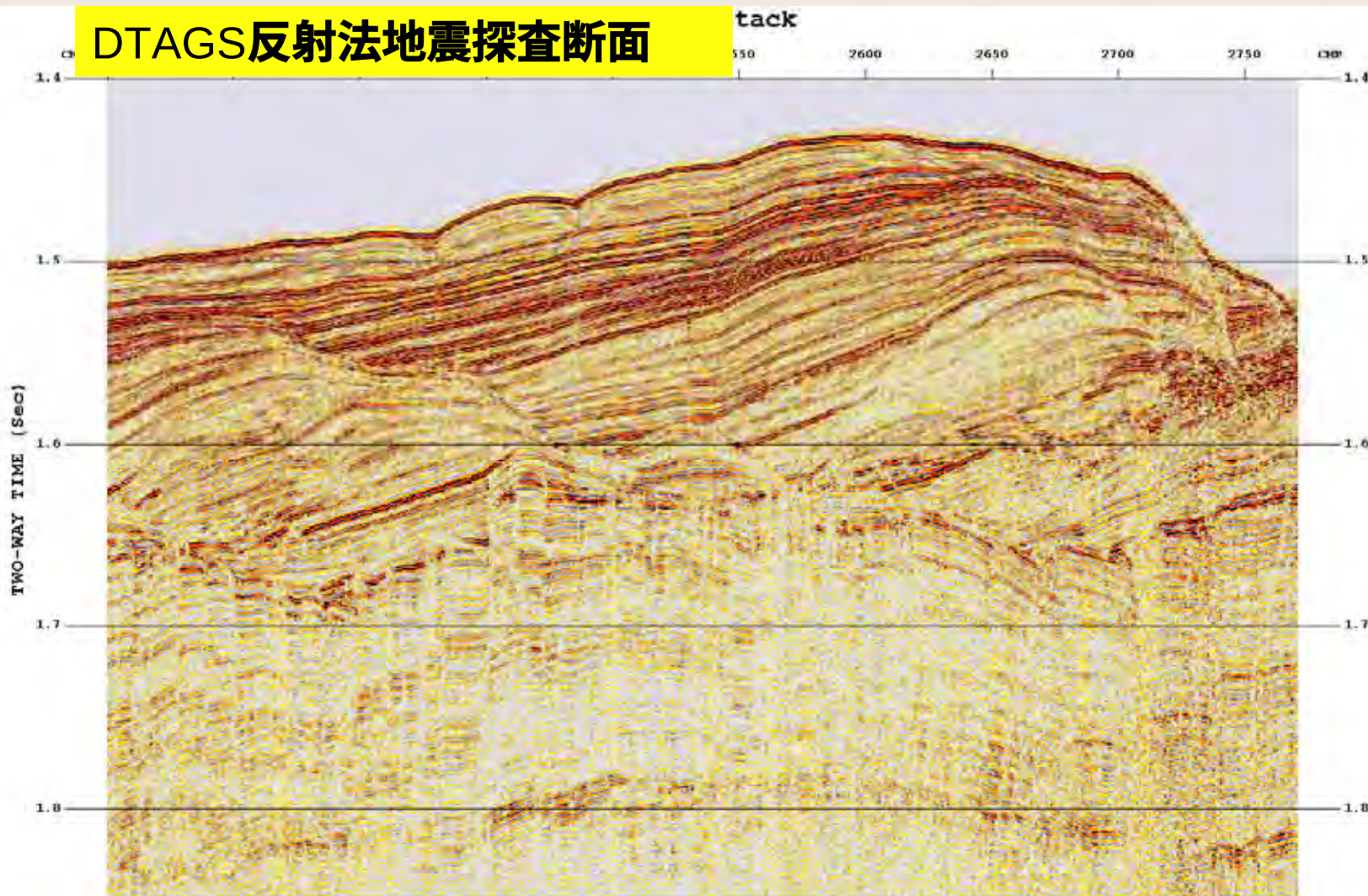
3D海上反射法地震探査断面



JGI Ward et al. (2004)

7. 熱水鉱床探査の技術的課題 (11)

DTAGS反射法地震探査断面

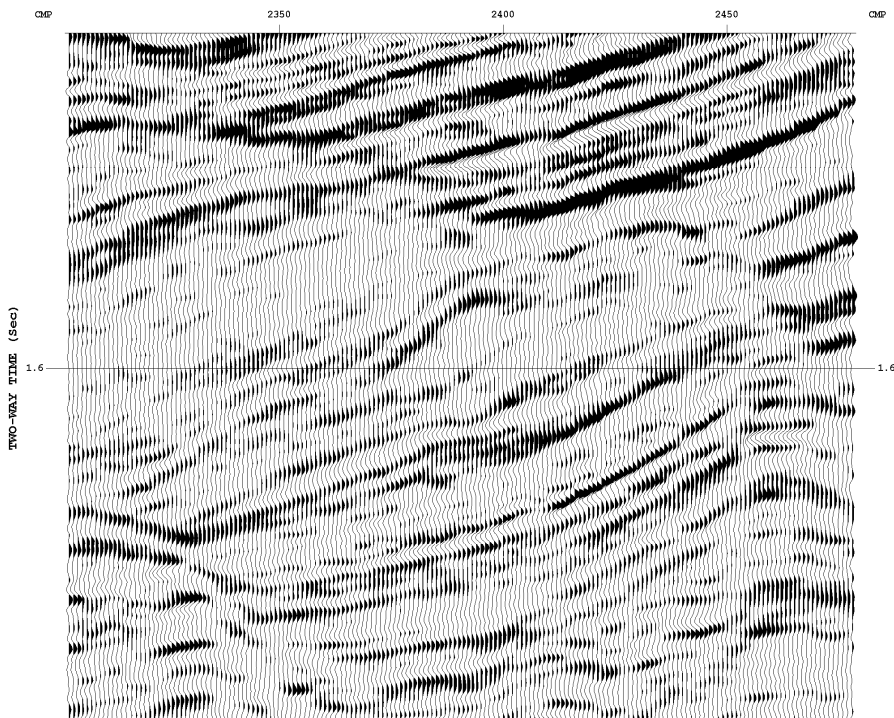


JGI Ward et al. (2004)

3DとDTAGS断面の比較

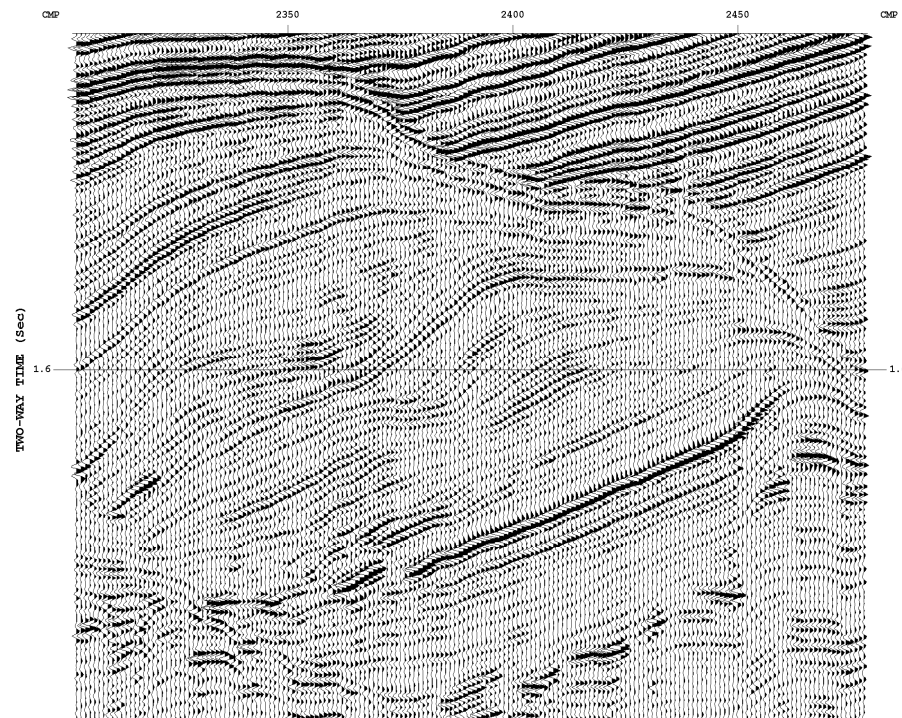
3D 海上反射法地震探査

3D Migration. Shifted Track D96-D



DTAGS 反射法地震探査

D96-D Stack



DTAGS (右図) の方が、分解能が高く、断層および地層が非常に明瞭に認識できる。分解能は約5m程度。図示はしていないが、速度構造も精度良く決定することができる。
(JGI Ward et al. (2004))

7. 熱水鉱床探査の技術的課題 (13)

発震船(航洋丸)

ケーブル敷設・観測船 (KDD Pacific Link)

RSCS (Realtime Seismic Cable System)

エアガン

RSCS敷設

リアルタイムデータ取得・船上データ処理

光海底ケーブル

RSCS 筐体

3成分ジオフォン(ジンバル機構付)

センサー間隔: 50m x 18 units = 850m

233cm
dia.22cm
150kg

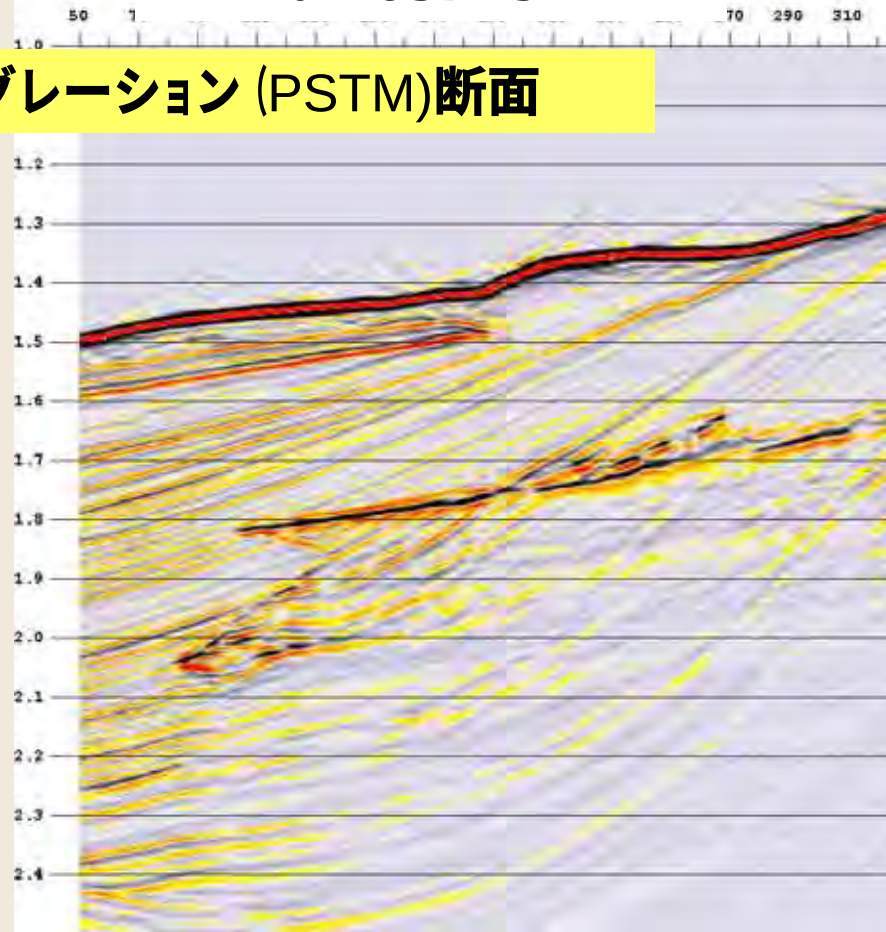
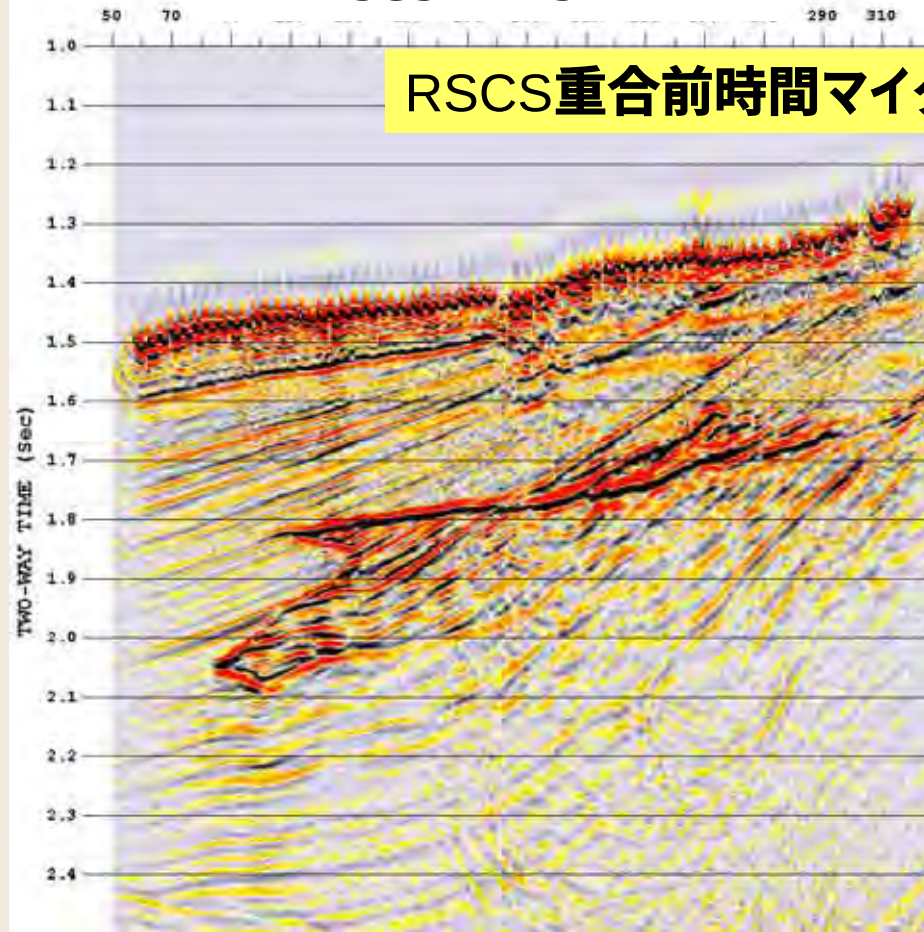
((株)地球科学総合研究所
浅川栄一他(2008))

7. 熱水鉱床探査の技術的課題 (14)

RSCS PP PSTM

Marine 3D PSTM

RSCS重合前時間マイグレーション (PSTM)断面



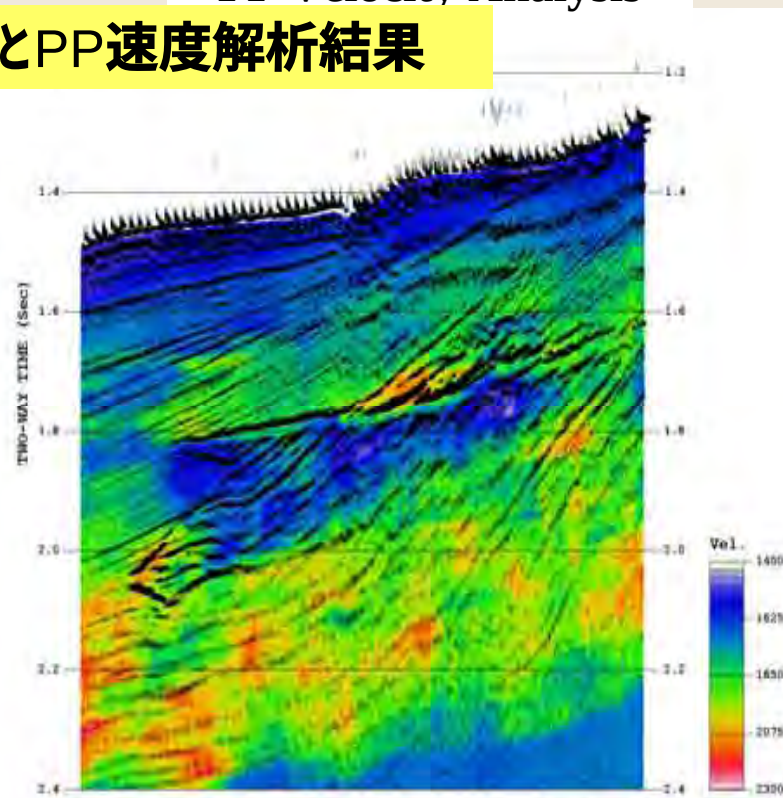
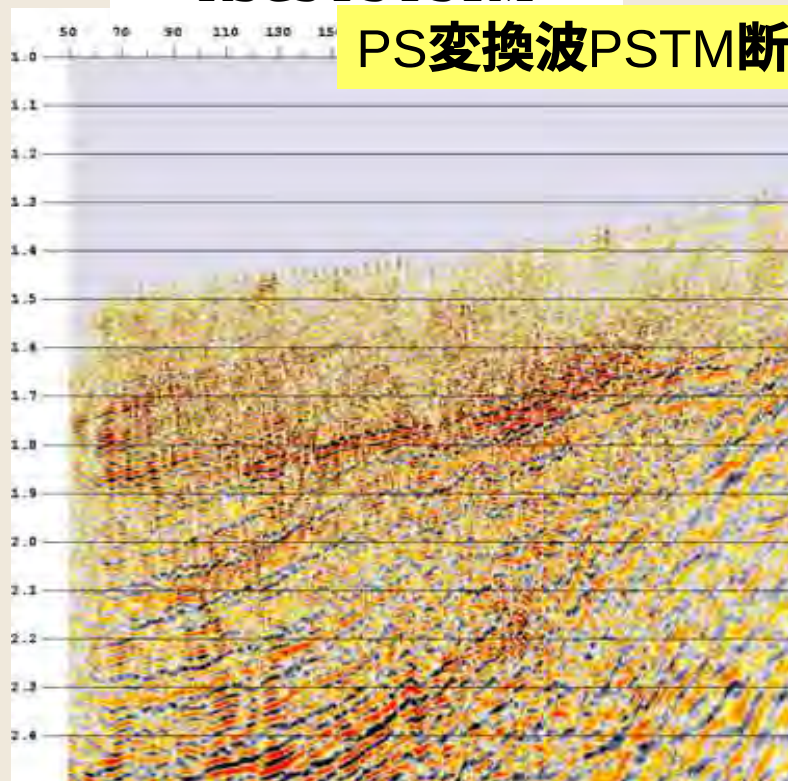
RSCSのPSTM断面では、明瞭なBSRが確認された。海上3D反射法地震探査に比較してより詳細なイメージが得られている。(株)地球科学総合研究所 浅川栄一他(2008))

7. 熱水鉱床探査の技術的課題 (15)

RSCS PS PSTM

PP Velocity Analysis

PS変換波PSTM断面とPP速度解析結果



PS断面でBSRが確認されているが、PP断面で見られるその下の反射は確認できない。これは、流体の層境界のためと考えることができる。速度解析の結果、BSRの上部では「高速度」、下部では「低速度」となっており、ハイドレートおよびガスの存在を明瞭に示唆するものである。(株)地球科学総合研究所 浅川栄一他(2008))

海底における高分解能反射法地震探査

既存の技術（システム）を使って、深海曳航方式反射法地震探査や海底受振ケーブル(OBC)を使った反射法地震探査のよって、従来の海上反射法地震探査に比べ、より高分解能の反射断面がえられることを示した。

・深海曳航方式の震源とOBC(Ocean Bottom Cable)を組み合わせた探査によって、高分解能の構造調査ができるととも、PS変換波や速度解析結果から、「物性」についての知見が得られる。

最後の纏め

1. 探査のビジョン (事業化ということへの組織体としての明確な目的意識) を持つこと。
2. 環境の変化に応じプロジェクトをダイナミックに展開、修正できる仕組みを作ること。
3. 民間のプロジェクト管理能力の活用
4. 国内外の企業の開発能力の積極的活用

日本には優秀な人は多くおり、海底熱水鉱床の分野でもしっかりした開発体制作りを行えば真に役立つ、そして世界をリードできる技術開発も可能だと信じています。要は先ずはどのような制度設計をするかが最も重要な課題だと思います。

以上



ご清聴有難う御座いました。