

海洋鉱物資源調査での調査手法課題

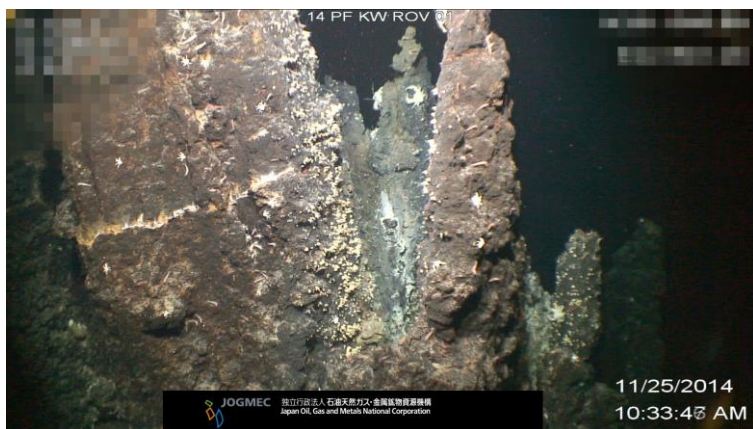
独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構

廣川 満哉

2022年3月2日

海洋鉱物資源とは？

公海を管理する国連国際海底機構（ISA）で対象としている鉱物資源



海底熱水鉱床

銅、鉛、亜鉛、金、
銀など



コバルトリッチクラスト

マンガン、ニッケル、
コバルト、白金、レア
アース

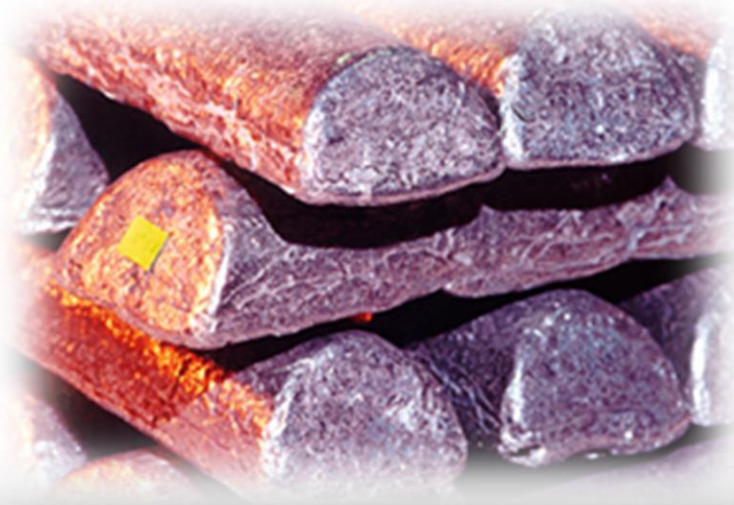


マンガン団塊

マンガン、銅、ニッケル、
コバルト、レアアース

この他、レアアース泥もある

海のカーボンニュートラル、SDGsへの可能性



EVや電動化に必要な金属資源開発

海水中の有用鉱物回収・採取
(リチウム、ウラン、バナジウムなど)



洋上風力発電とセットの海洋資源開発

EV（電動化）に必要な金属

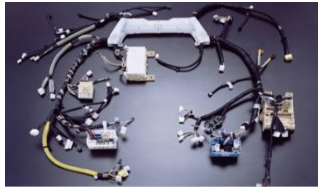
たとえば レアメタル

各元素の特性を活かした特殊用途に利用
少量で十分だが無いと困る →産業のビタミン

【ディスプレイ】
インジウム(In)
錫(Sn)



【ワイヤーハーネス】
銅(Cu)、ベリリウム
(Be)



【ライト】
ガリウム(Ga)



【駆動モーター、
電動パワステ】
ネオジム(Nd)、
ジスプロシウム
(Dy)、銅(Cu)



＜製造工程＞



【超硬工具】
タングステン(W)
コバルト(Co)

【工作機械モーター】
ネオジム(Nd)、
ジスプロシウム(Dy)



【排気ガス触媒】
プラチナ(Pt)、
パラジウム(Pd)、
ロジウム(Rh)、
ジルコニア(Zr)、
セリウム(Ce)



【バッテリー】
リチウム(Li)、
コバルト(Co)/
ニッケル (Ni)、
鉛(Pb)、錫(Sn)



【ボディ・鉄鋼部材】
鉄(Fe)、亜鉛(Zn)、ニッケル(Ni)、クロム
(Cr)、ニオブ(Nb)、チタン(Ti)、モリブデ
ン(Mo)、マンガン(Mn)、バナジウム(V)、

海洋鉱物資源はどこにある？

日本の排他的経済水域（EEZ）と海洋鉱物資源



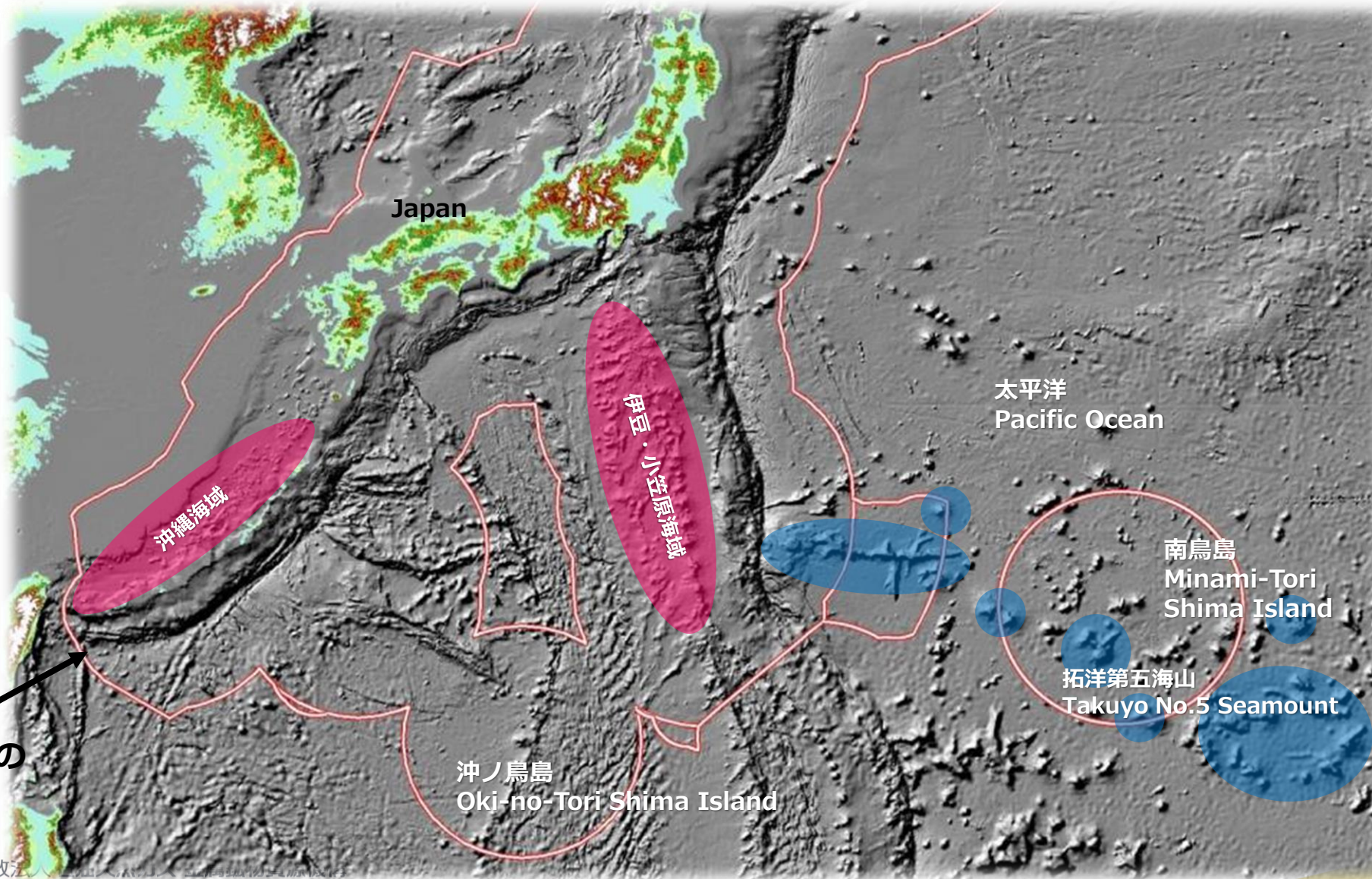
 海底熱水鉱床

火山フロント、背弧海盆
熱水活動海域
(現在、過去)

 コバルトリッチクラスト

平頂海山(過去のホット
スポット)

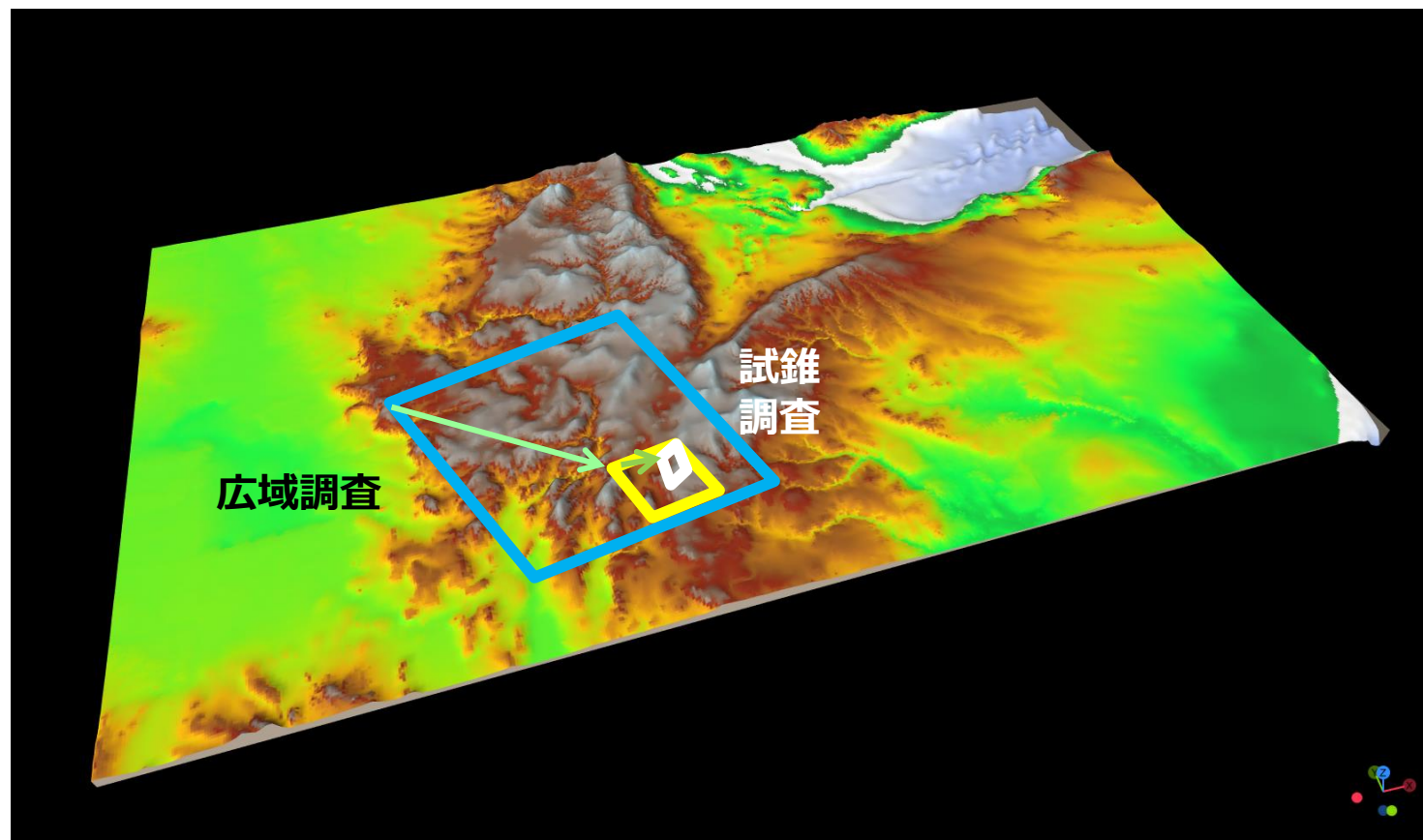
マンガン団塊
ハワイ沖(CC Zone)



日本のEEZの
範囲

独立行政法人 資源エネルギー庁

鉱物資源調査の流れ（陸上の場合）



広い範囲から鉱床のありそうな場所を絞り込んでいく。

既往調査
文献調査

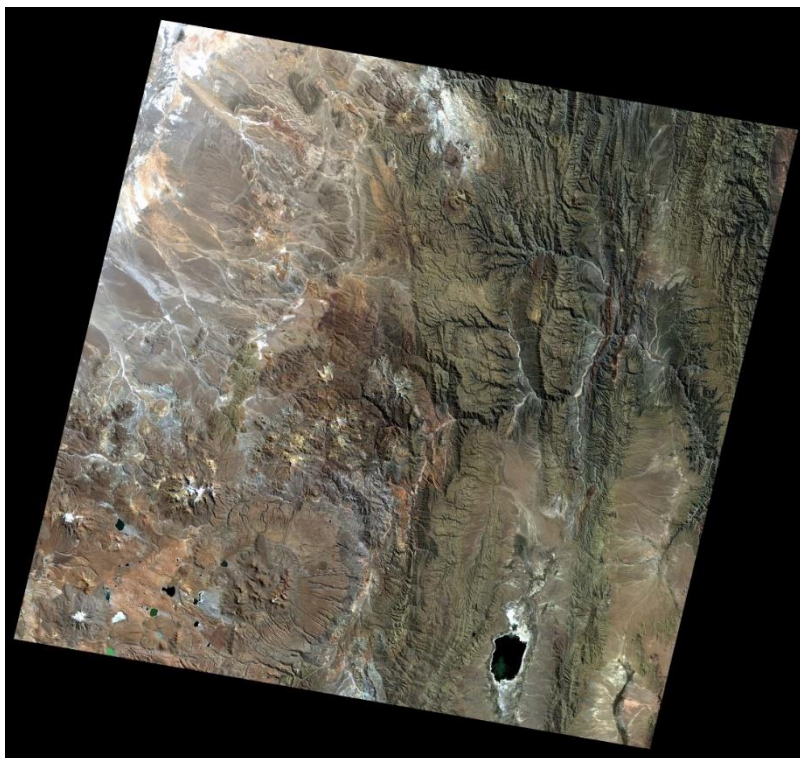
衛星画像
解析

物理探査

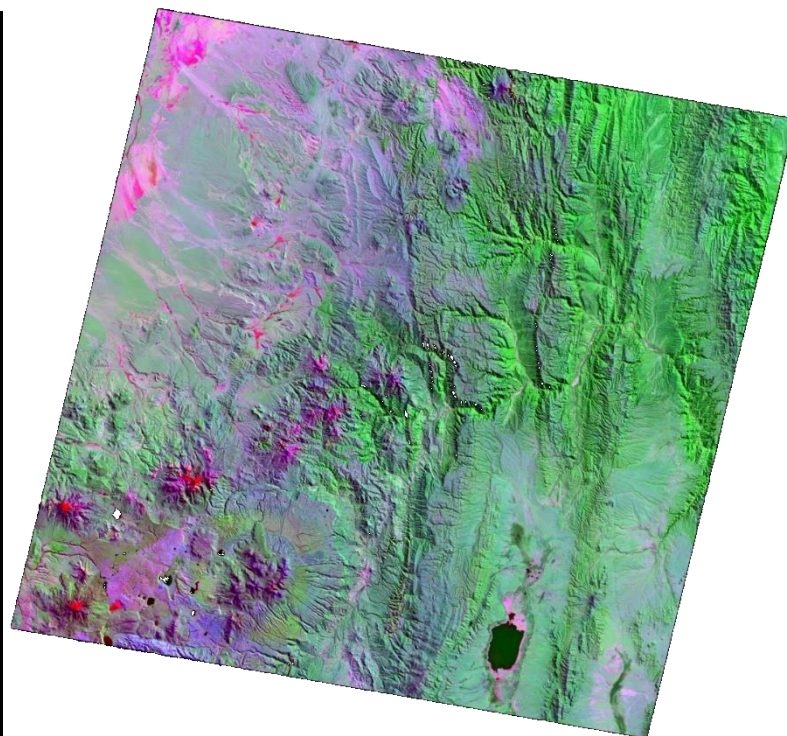
地表踏査
サンプリング

ボーリング調査

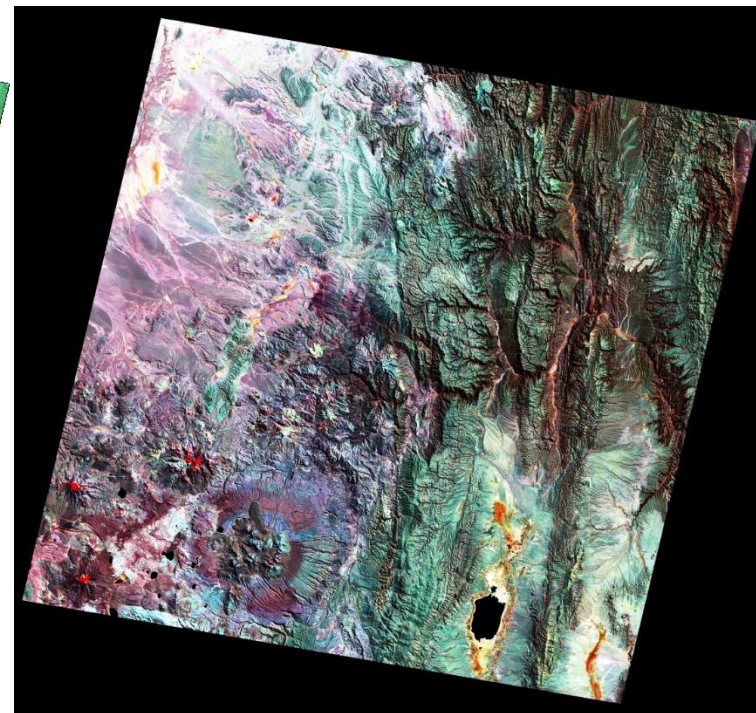
宇宙から見た地表



可視光画像



短波長赤外画像1



短波長赤外画像2

アルゼンチン北西部 地球資源観測衛星TERRA/ASTER画像（空間解像度 15m～30m、一辺60km）

実際の陸上の探鉱現場（銅）



探鉱サイト（銅）
アルゼンチン
カタマルカ州
標高3500～
4000m

石を探す、石を観察、サンプルを取る

広域調査

岩石サンプリング

(鉱物鑑定、化学分析など)

鉱徴地（地下に鉱床がありそう）



地下に電気を流して鉱床を探し出す



精密調査

(物理探査)

地下の電気の抵抗や磁気、重力等の違いによってさらに対象地域を絞り込んでいく。



鉱床のありそうな場所が分かったらボーリングを実施



精密調査

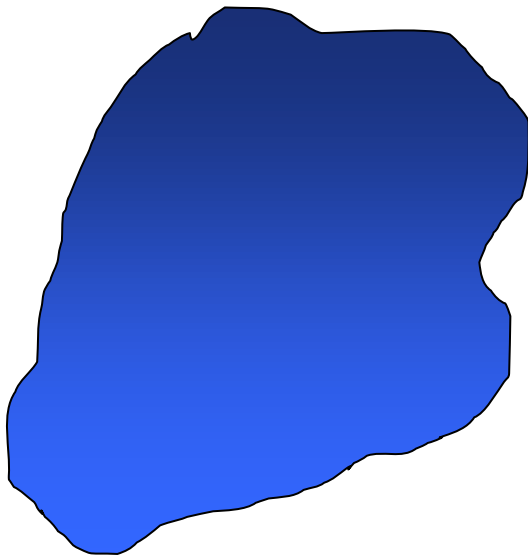
アンデス山脈でのボーリング
(掘削) 調査



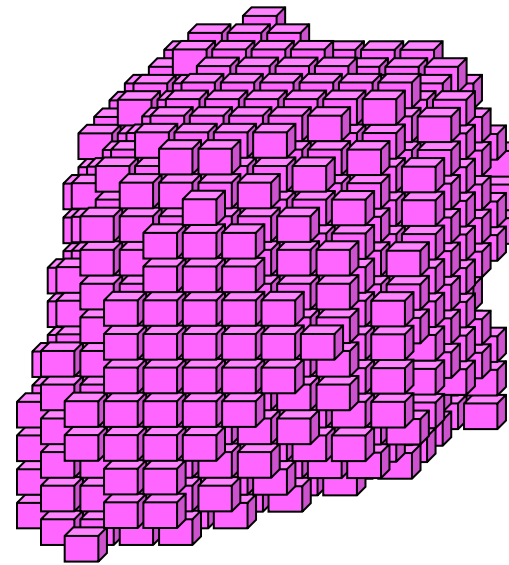
鉱床の形状が分かったら鉱量を計算

鉱量計算ソフトを利用した「ブロックモデル法」

- ・ 鉱体を小さなブロックに区切って、それぞれに品位を割り付けて鉱量を計算。
コンピュータの発達により近年最も多く利用される手法



実際の鉱床の形状

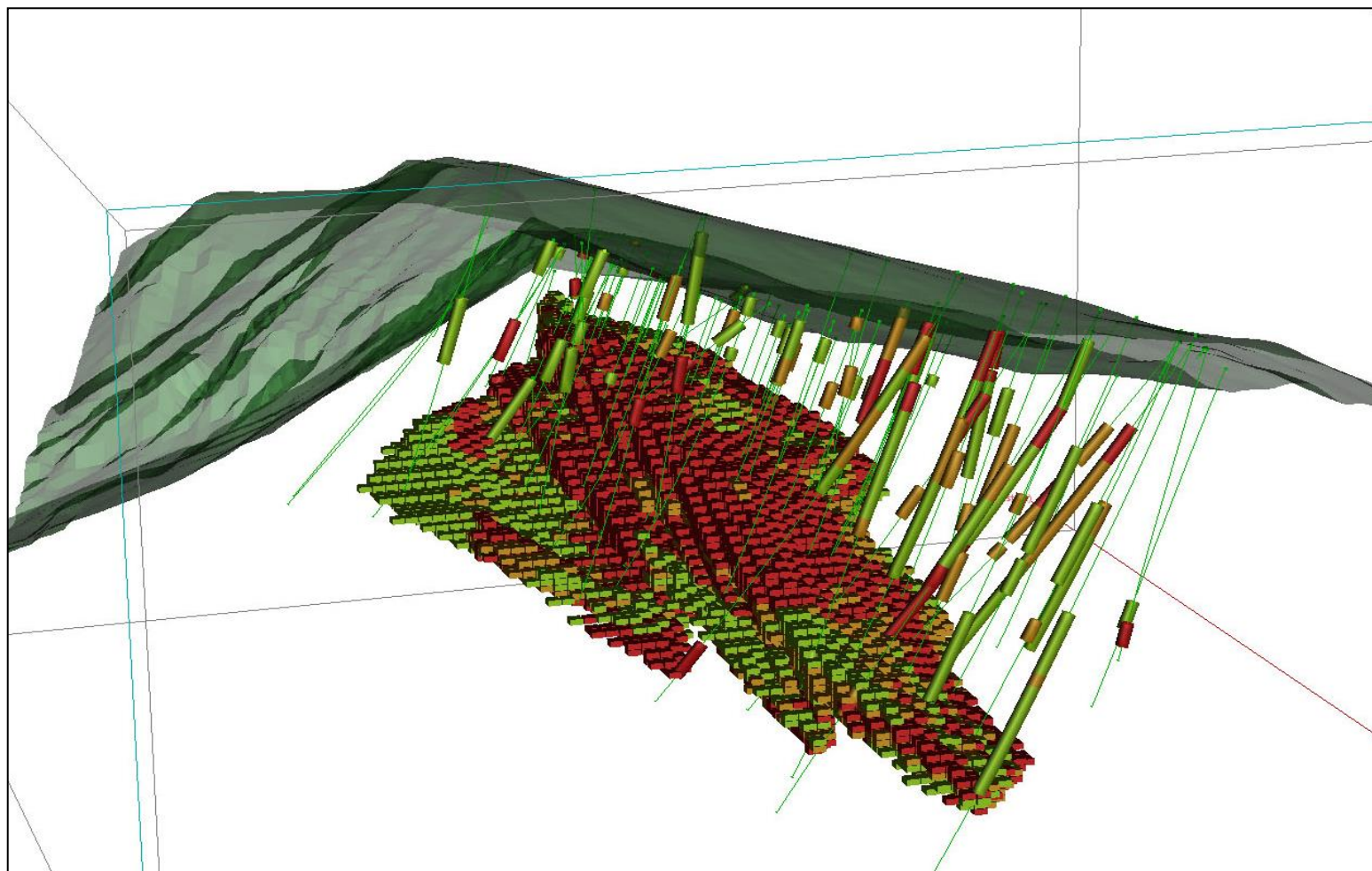


ブロックにより鉱床の形状を近似

(1ブロック毎に体積×比重×品位を計算し、全ブロックを合計して鉱量を算出する。)

鉱床の形状が分かったら鉱量を計算

鉱量計算ソフトを利用した「ブロックモデル法」の例→ボーリングデータから鉱量を計算



露天掘り鉱山開発



銅の露天掘り大鉱山
(チリ)

調査から開発まで通常 10
年以上の時間がかかる

海の資源開発も陸上の資源開発と基本は同じだが、異なる部分も多い



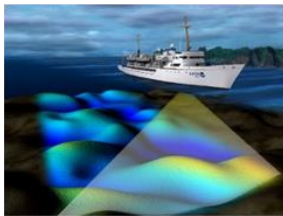
JOGMEC海洋資源調査船「白嶺」 6,300トン

海底熱水鉱床調査の流れ

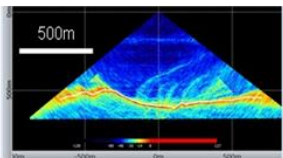
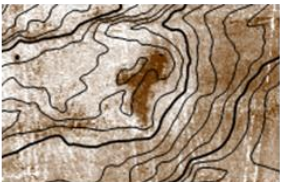
広域調査
海底の鉱化の広がり进行评估

資源量評価
海底下の鉱化の広がり进行评估

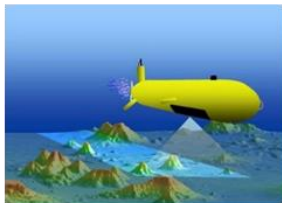
広域地形調査
(船)



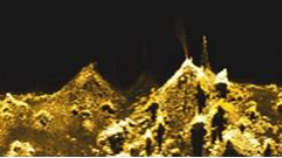
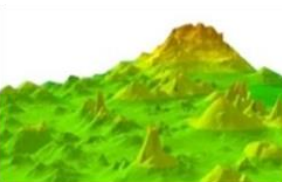
地形
(分解能～30m)
音圧
水中音響異常



精密地形調査
(AUV/曳航体)



微地形
(分解能～1m)
水中音響異常
化学センサー



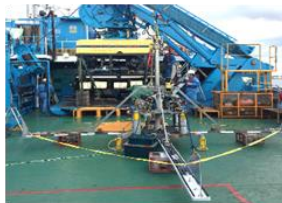
海底観察・サン
プリング
(ROV)



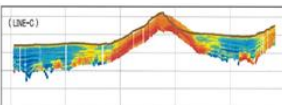
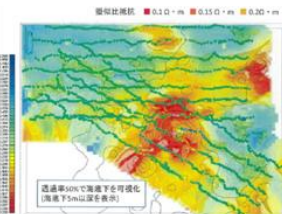
海底観察
サンプリング
(鉱石の有無、
品位、広がり
を把握)



物理探査
(電磁探査等)



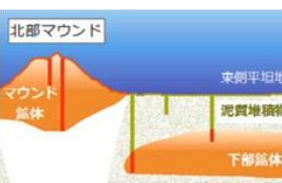
擬似比抵抗
(深度～30m)
等



ボーリング
(船)

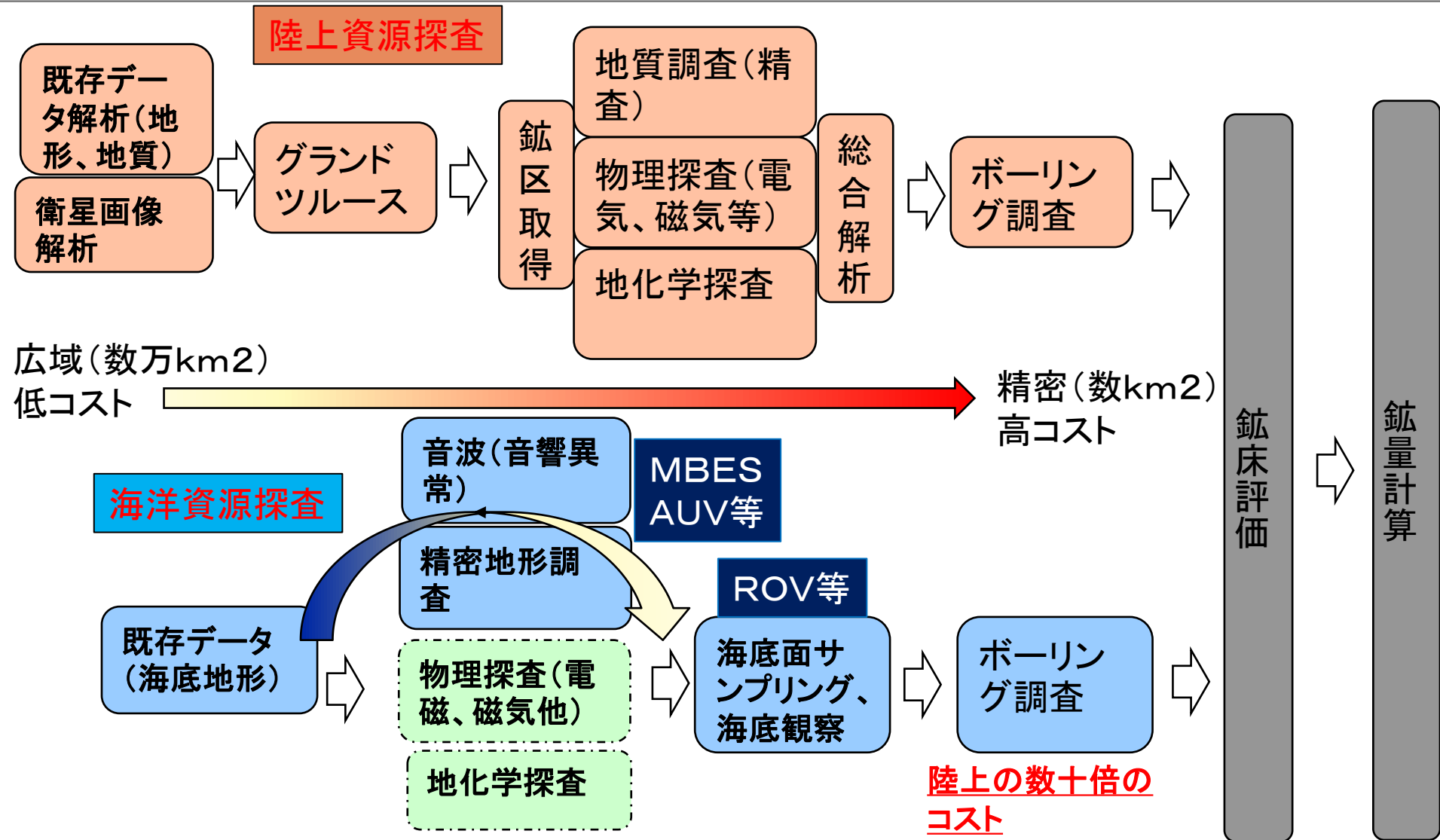


コアリング
(深度～100m)
(鉱石の有無、品位、
連続性を把握)

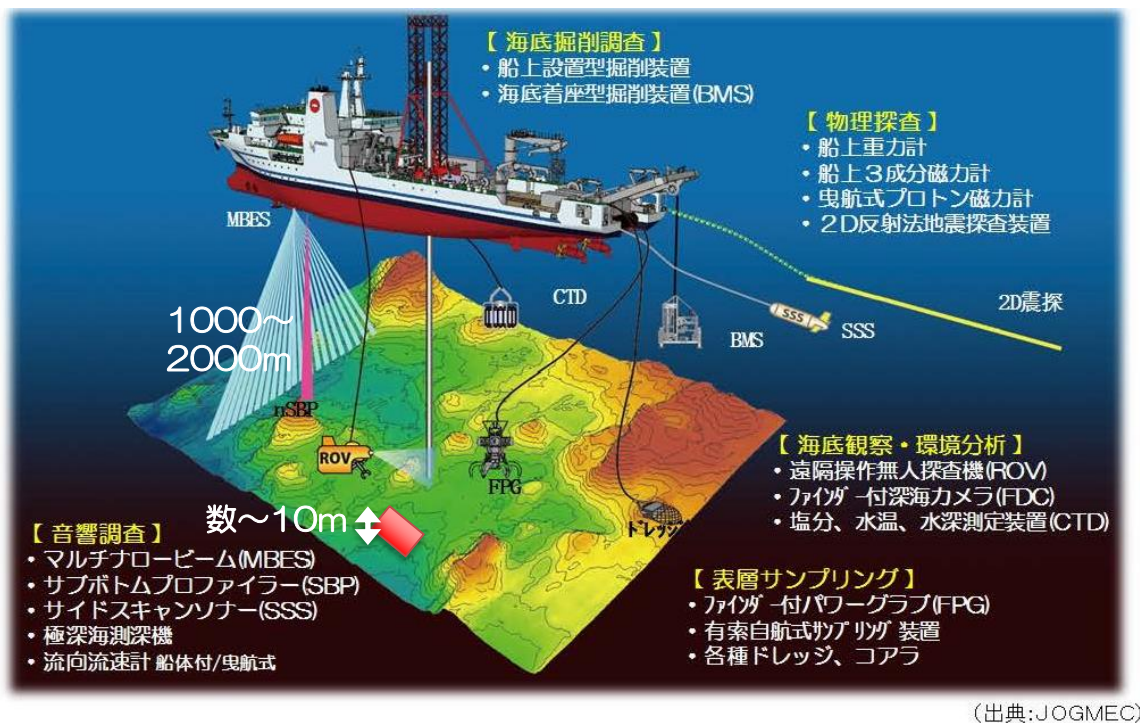


資源量の確定

陸上資源調査と海洋資源調査の比較



調査手法の課題 - (1) 準広域調査の必要性



< 広域地形調査: MBES >

- ・海面から測定 (1000~2000m)
- ・分解能: ~30m程度
- ・測定範囲: 水深の約3倍



< 精密地形調査・海底観察: AUV・ROV >

- ・海底面から数~10m
- ・分解能: 1~数m
- ・測定範囲: ~10km²/潜航

超広域から精密へピンポイントで有望地抽出！！

⇒ 準広域的な調査手法が必要

調査手法の課題 - (2) 海底面下の物性情報 (技術開発)

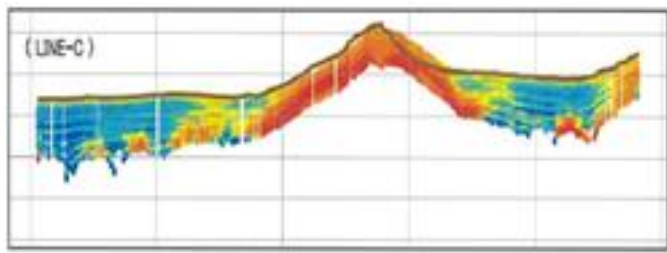
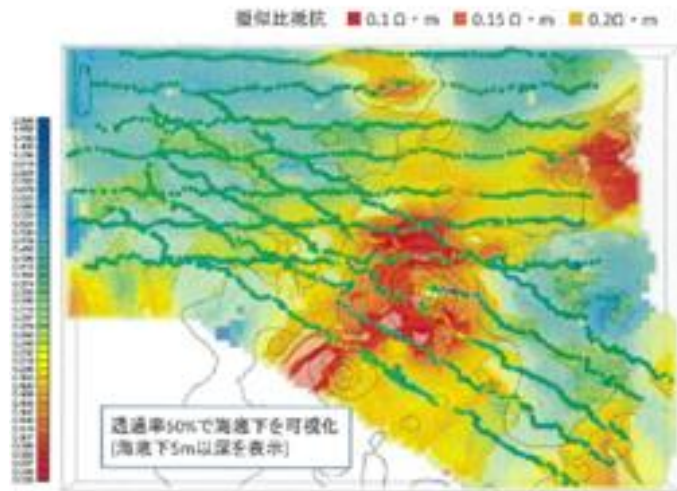


Fig.2 海底の置かれた WISTEM

<ROV-TEM (電磁探査)>

- 海底面から数m
- 航行速度：1(～2)kt程度
- 測定範囲：～0.5km² (測線長～5km) / 潜航程度
- 可探深度：最大20～30m程度

測定範囲 (測線長) が小さい

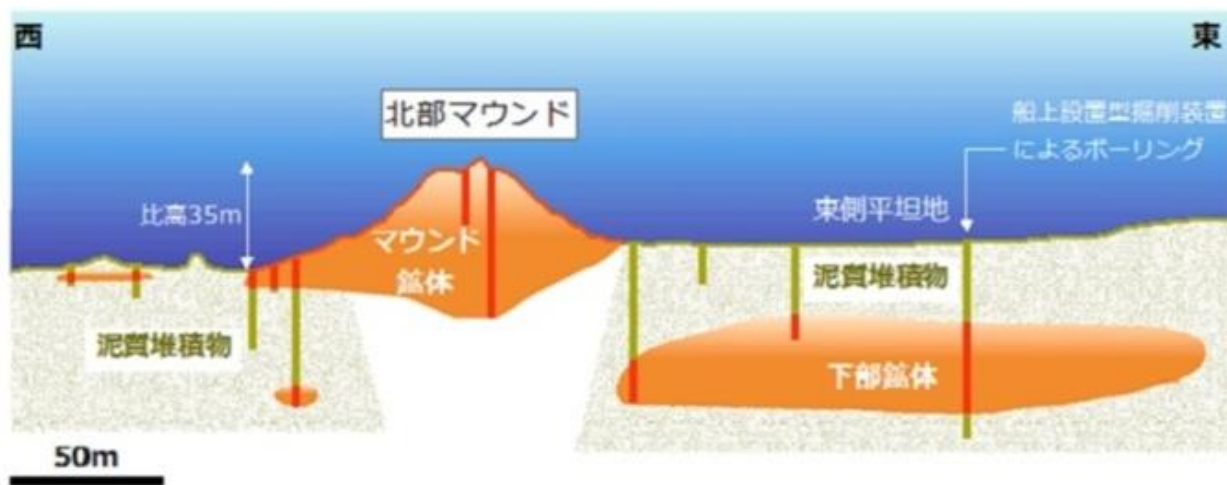


精密調査や資源量評価に利用

準広域調査への適用には航行速度、測定範囲の改善が必要！！

可探深度の向上 (最低でも50m) が必要！！

調査手法の課題 - (3) ボーリング掘削の課題



Hakureiサイト模式断面想定図



Hakureiサイトで船上設置型掘削装置で採取されたコアサンプル一例

<Solwara 1プロジェクト：PEA※>

- 2006年：計380.9m（42孔）、回収率41%
- 2008年：計120.8m（孔数不明）、回収率37%
- 2010/2011年：1,065.7m（66孔）、回収率47%

※PEA：Preliminary Economic Assessment

低いコア回収率、掘削深度の限界
掘削能率（コストが高い）
気象海象の影響



資源量評価、コストのハードル！！

白嶺の特徴（石を掘る！）

海底着座型掘削装置

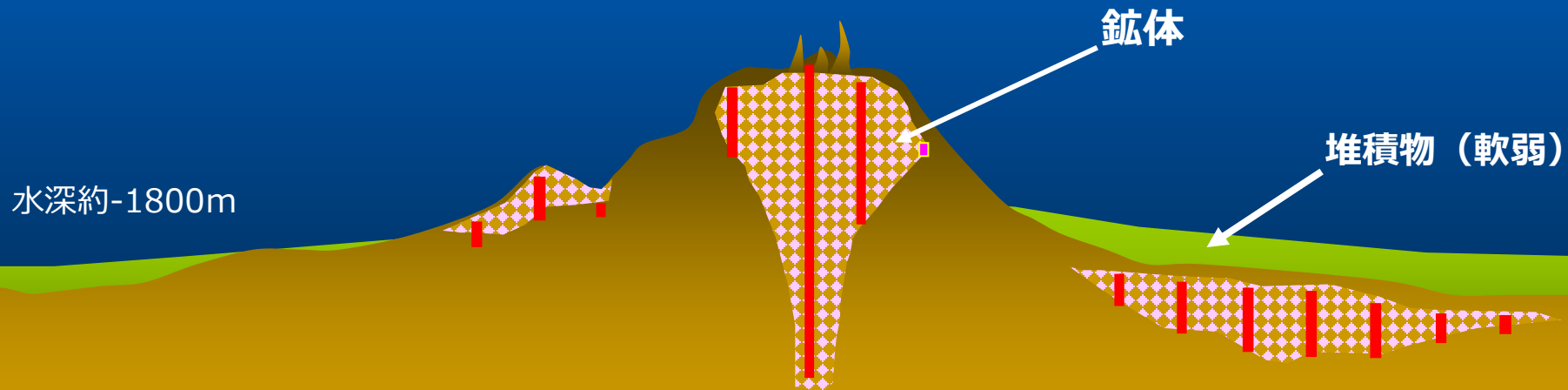


船上設置型掘削装置



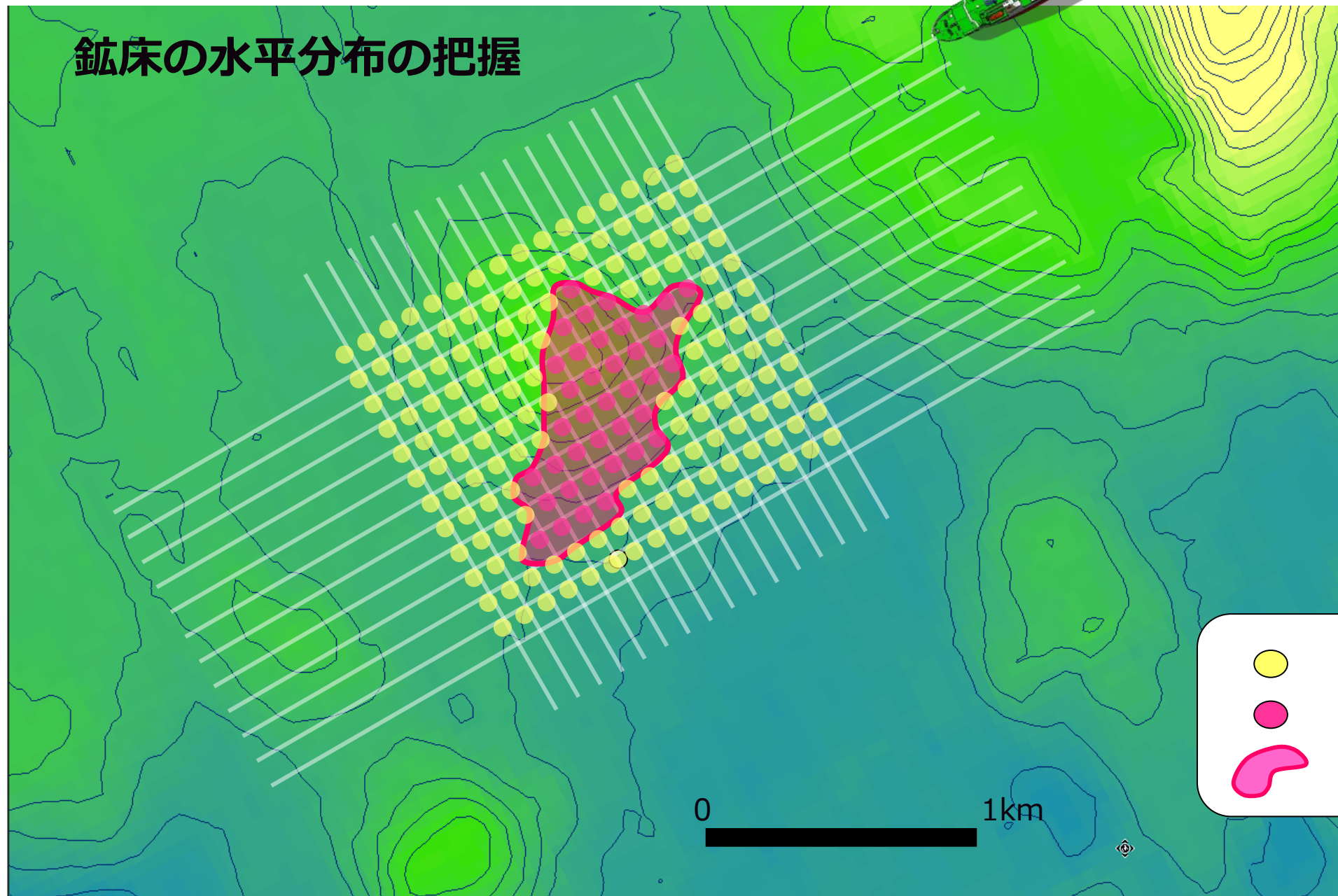
資源量の調査（グリッドボーリング）

- ・ 地下深部の構造の把握
- ・ 鉱床の垂直分布の把握



資源量の調査（グリッドボーリング）

鉱床の水平分布の把握



ボーリング地点



鉱床を確認した地点



鉱床の予想範囲

調査手法課題（まとめ）

現在の海底熱水鉱床調査の現状

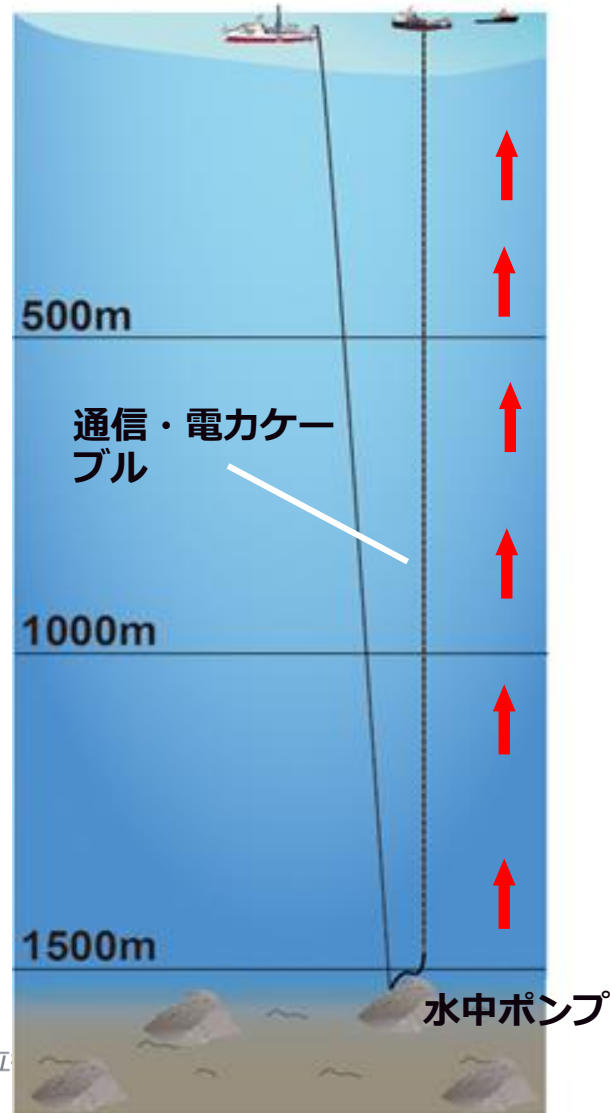
- ①調査船や調査機器の進展により以前より計画的な探査や資源量評価（鉱量計算）が可能となった。
- ②地形異常（チムニー、マウンド）、ウォーターカラム異常（熱水活動）が発見の端緒である。
- ③現在は陸上の露頭（鉱徴）探査レベルにあり、潜頭鉱床は未探鉱である。

海底熱水鉱床調査の課題（陸上調査との比較）

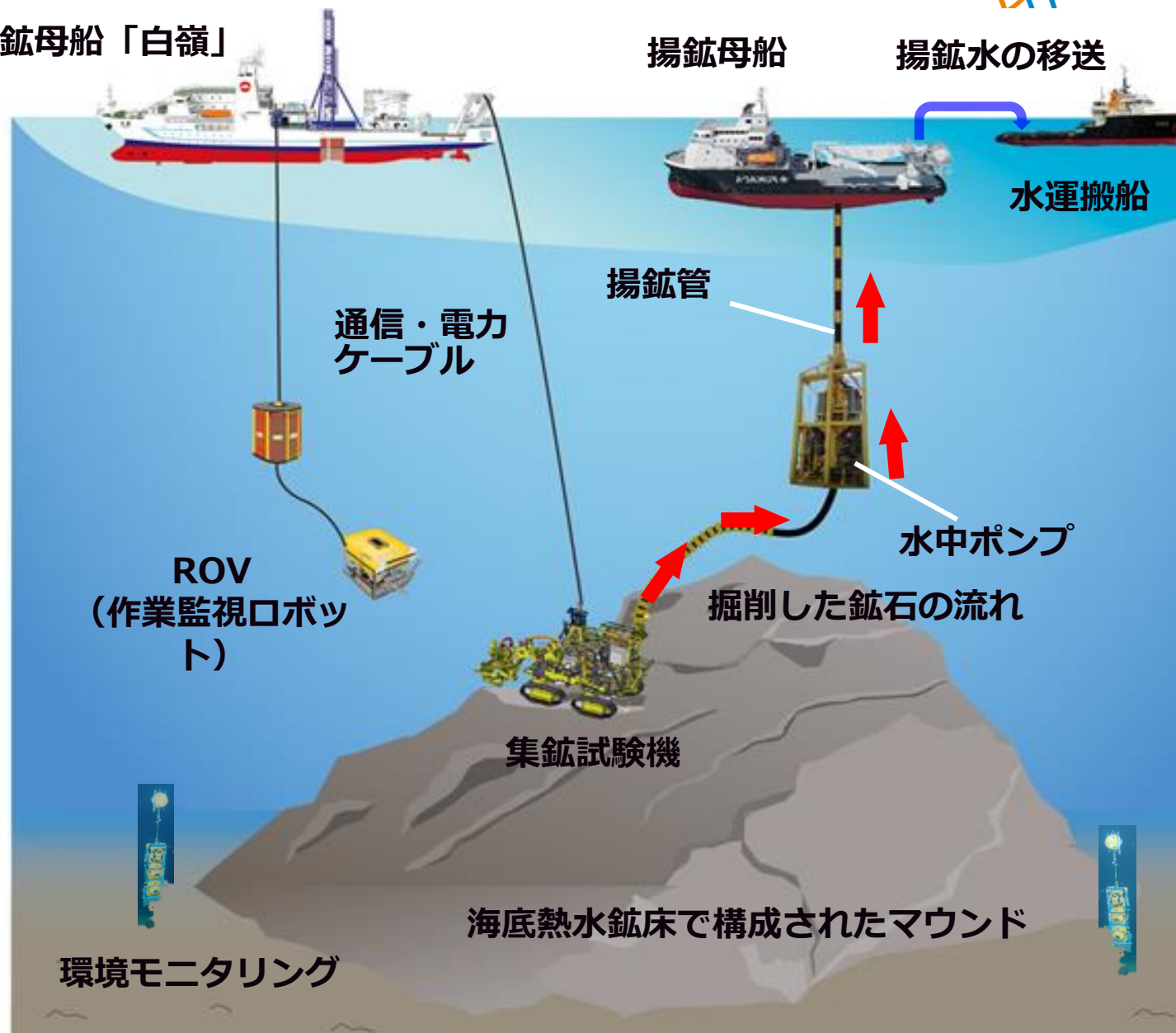
- ①広域探査：海域選定に資する基礎データの充実・整備（基本的地形情報、地質情報が未整備）
- ②広域～精密探査：絞り込みのための準広域調査の必要性
- ③物理探査の能力及び可探深度の向上（潜頭性鉱床の発見）
- ④精密探査：ボーリング調査コア回収率、能率向上、ボーリングコストの低減
- ⑤その他：気象海象の影響、利害関係者との調整

採鉱・揚鉱パイロット試験

試験概念図
(実スケール)



採鉱母船「白嶺」



採鉱・揚鉱パイロット試験(2017)



目指せ！海のアポロ計画



人が行ける宇宙より海はハードルは高いかもしれない

海洋鉱物資源開発商業化への道筋

海洋鉱物資源開発の商業化
民間企業による参入、投資促進

まだまだたくさんの解決すべきステップがある

海底資源開発の投資環境、法制等の整備、確立
実証試験のスケールアップ
鉱石輸送インフラの効率化、最適化
採鉱、揚鉱機器・設備の耐久性向上
高濃度鉱石スラリーのバッファ設備
揚鉱鉱石サイズ調整のための現場での採鉱・粉碎・選鉱技術

現在はこのあたり

実際に鉱石を船上まで揚げることに成功

2018-2019年 経済性評価
2017年 揚鉱実証試験
2013年 揚鉱ループ試験
2012年 掘削試験、採鉱試験
2008年 概念設計～詳細検討



ご清聴ありがとうございました。

独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構