



# 鉱物資源探査における 光学センサーデータの活用

JAXA ALOS3 ワークショップ  
2012/12/13

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構  
資源探査部 探査技術開発課  
矢島太郎

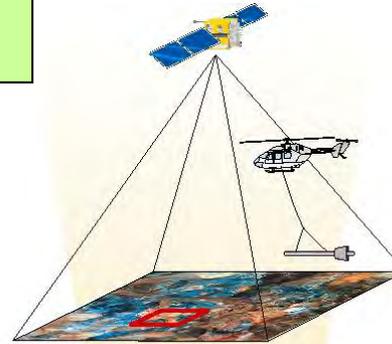
Japan Oil, Gas and Metals National Corporation

各種探査手法による  
探査ターゲットの絞り込み

広域概査  
ステージ

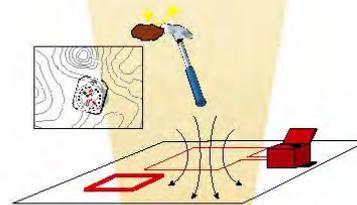
フォローアップ  
ステージ

精密調査  
ステージ

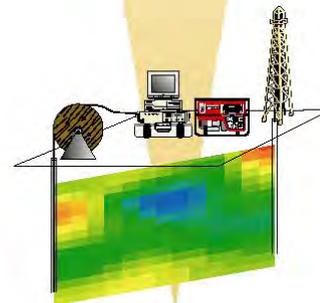


リモートセンシング

空中物理探査



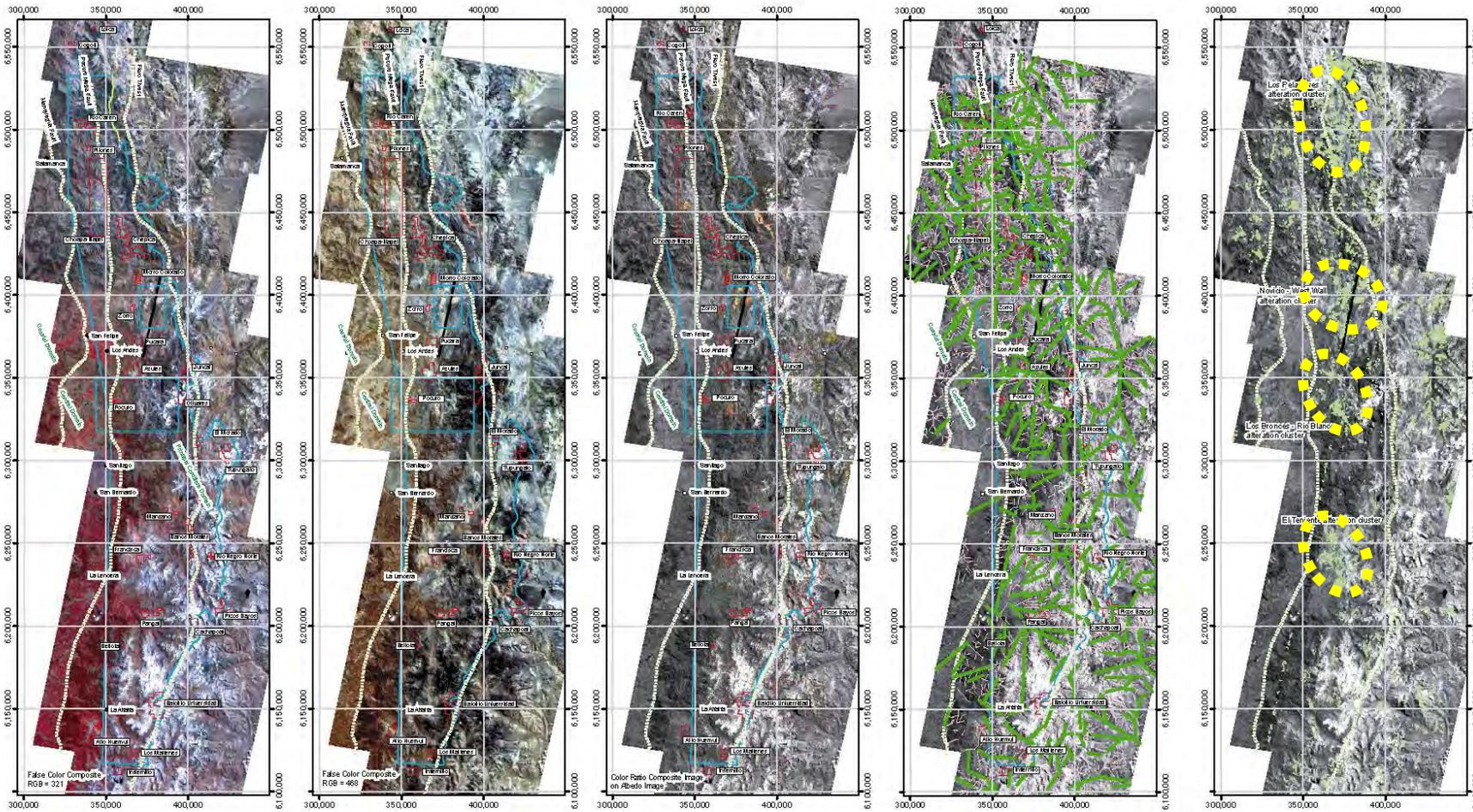
地質調査  
地化学探査  
物理探査



ボーリング

# ASTERデータを利用した広域解析(チリ)

RGB=321 + RGB=468 + 比演算 + リニアメント → 有望エリアの抽出



0 10 20 40 60 Kilometers

- Survey area and Mining claim
- Fault System
- Area of Interest

0 10 20 40 60 Kilometers

- Survey area and Mining claim
- Fault System
- Area of Interest
- Alteration Signature
- Large (Small) Lineament
- Intrusive Rocks:
  - Cretaceous
  - Late Cretaceous - Paleogene
  - Neogene
  - Unknown in Age

# 熱水により形成されるポーフリー銅鉱床

## ポーフリー銅鉱床(斑岩銅鉱床)



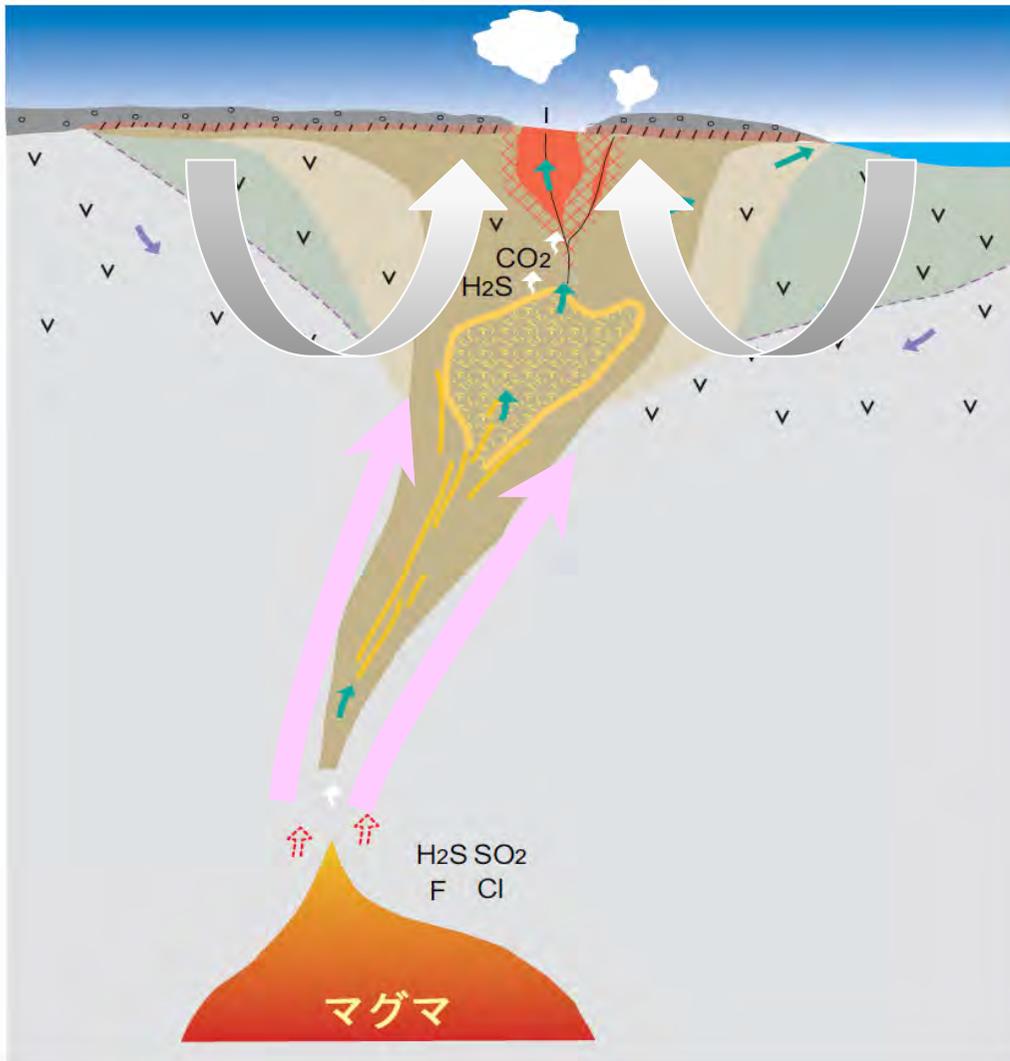
(From BHP Billiton: MINERA ESCONDIDA Merrill Lynch Investor Visit, Nov. 18, 2002)

低品位(<1.0%Cu)だが  
大規模鉱床を形成

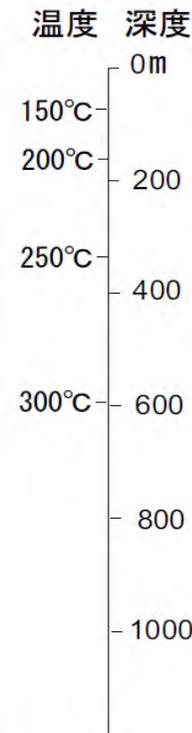
Cu, Mo, Auを伴う

黄鉄鉱 $FeS_2$ 、黄銅鉱 $CuFeS_2$ 等の硫化物が、  
鉱石全体に鉱染状に認められる





(Modified from Corbett and Leach, 1998)



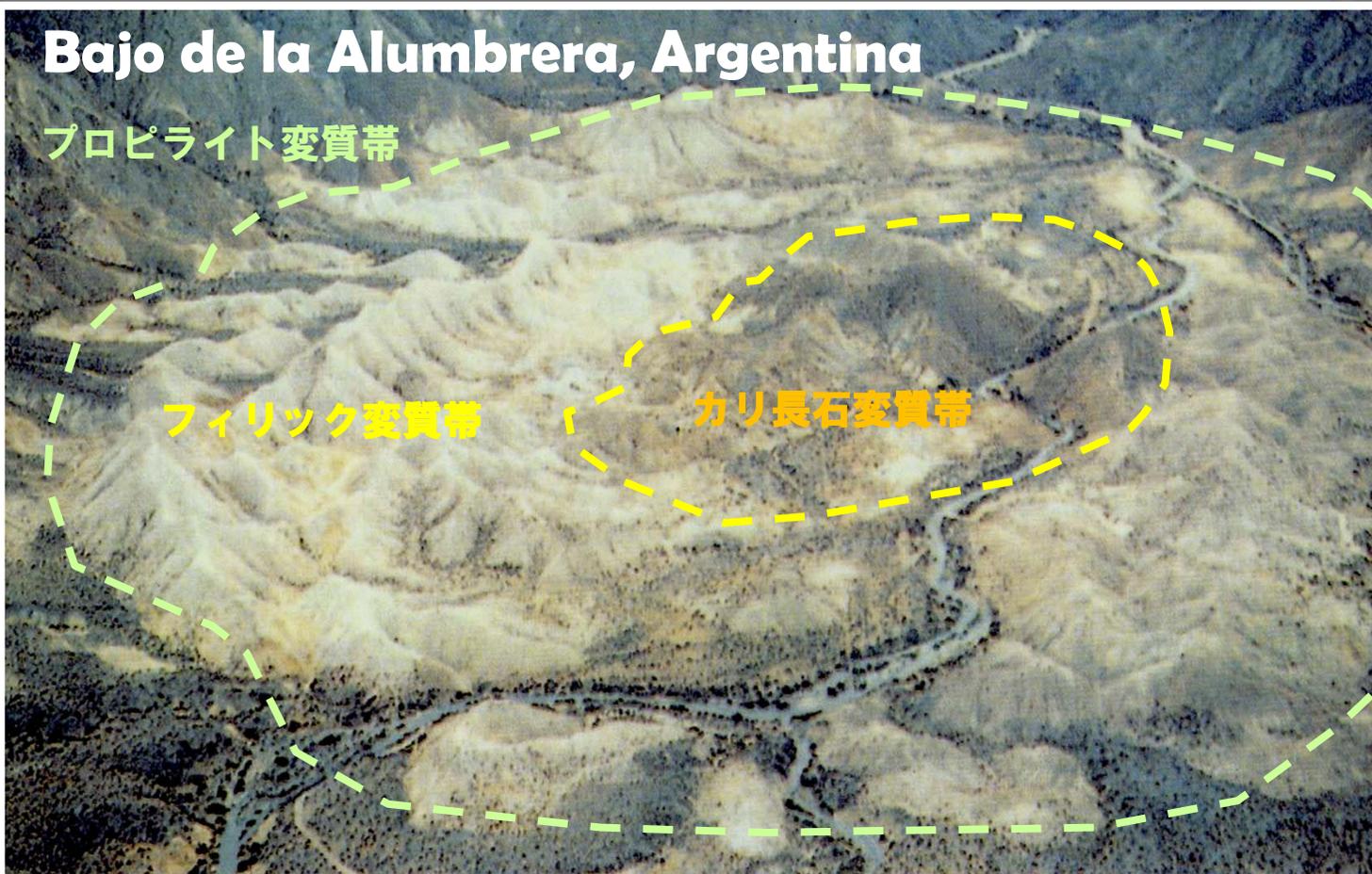
マグマ起源と天水起源の水が鉱床を形成

多くの鉱物は熱水によりもたらされるため、資源探査では熱水が形成した**変質帯**を探ることが重要。

鉱床の大きさ（1km程度）と比較して、**変質帯**は水平的・垂直的に広い範囲で認められる（5km程度）。

鉱床を形成する熱水は中心で高温で、周辺で低温となるため、**変質分帯**を形成する。

# 熱水により形成された変質帯



地表の熱水変質帯の様子  
(チリTambo鉱床)



黄鉄鉱 $\text{FeS}_2$ や黄銅  
鉱 $\text{CuFeS}_2$ 等の酸  
化による鉄ヤケ



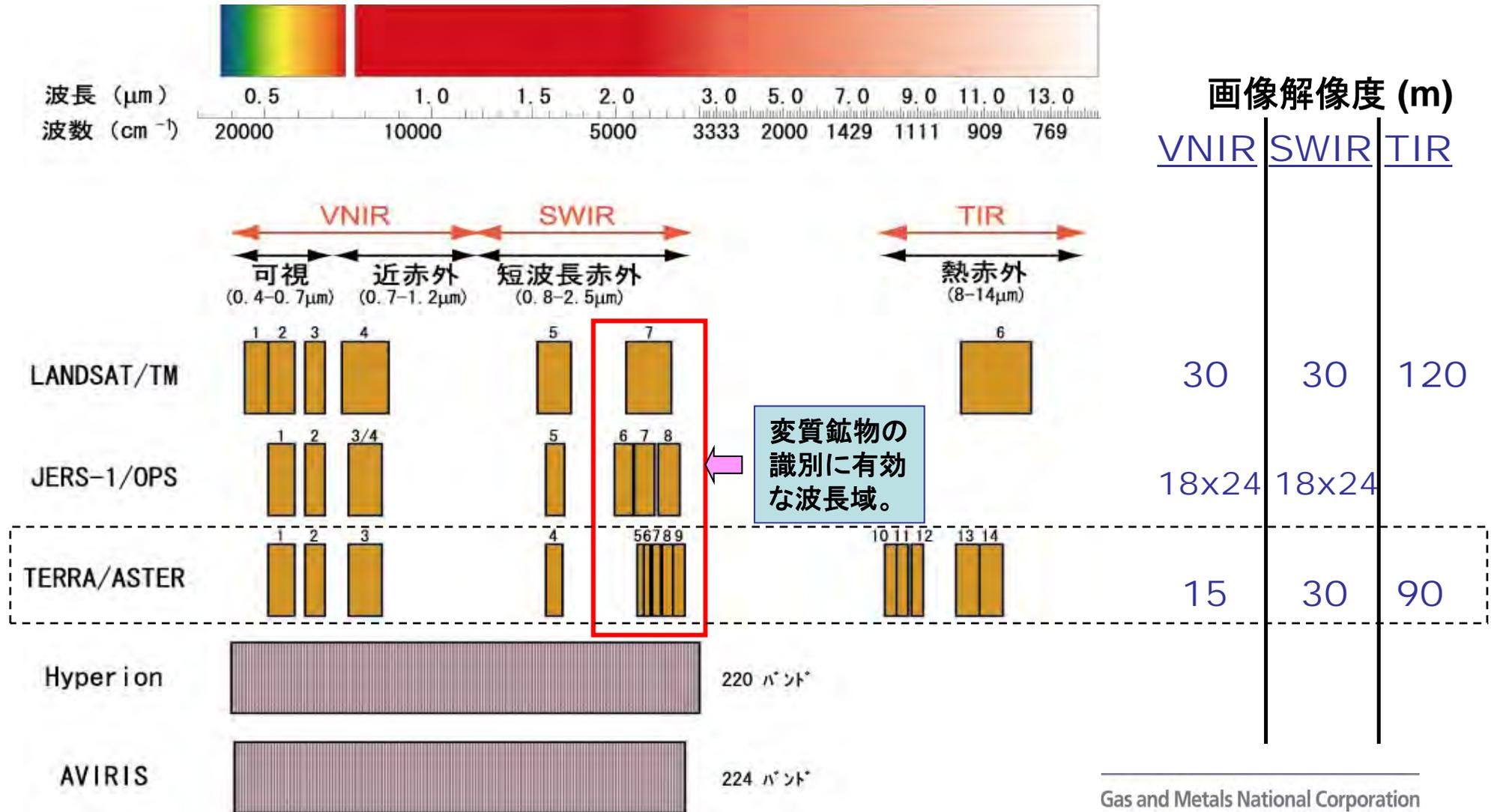
熱水により岩石中  
に生じた変質及び  
変質分帯

鉱床として開発される前のポーフイリー銅-鉛-亜鉛鉱床の変質帯

From Sillitoe (1995)

Photograph by Sillitoe, 1971: looking NE

# 衛星光学センサーのバンド数

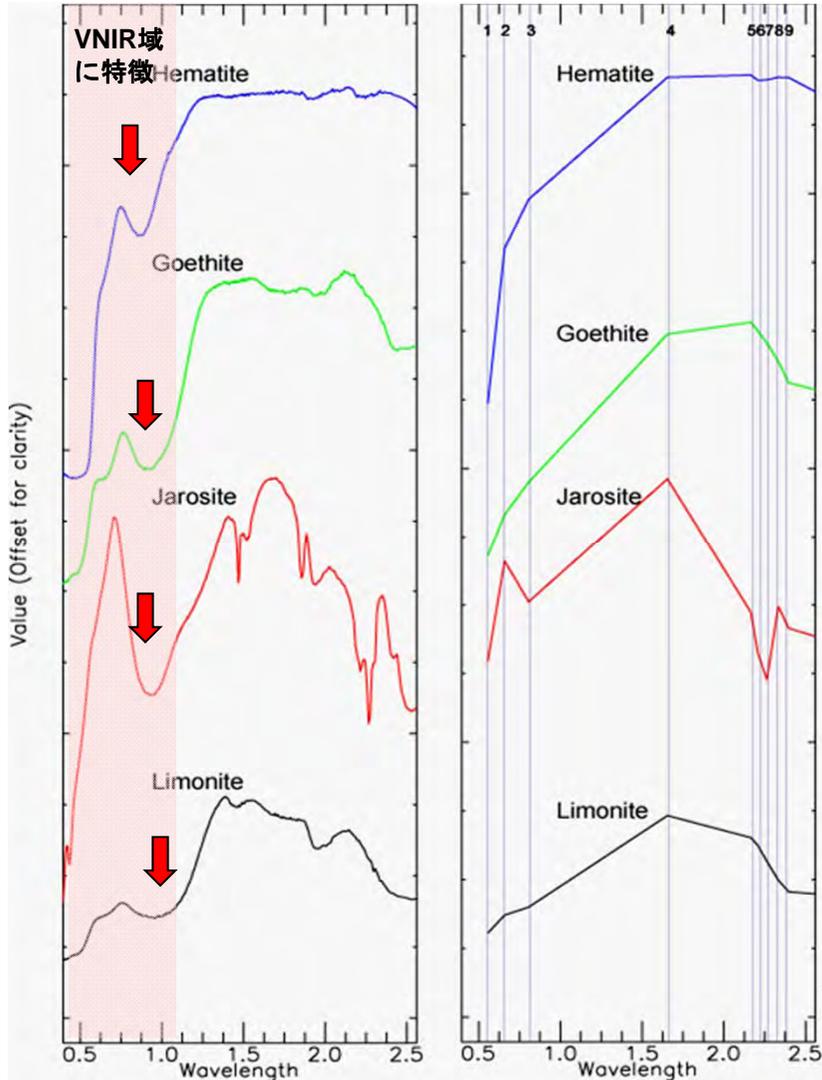


# ASTERのスペクトル解像度で識別可能な鉱物

## 鉄酸化物鉱物のスペクトルパターン

USGS spectral library

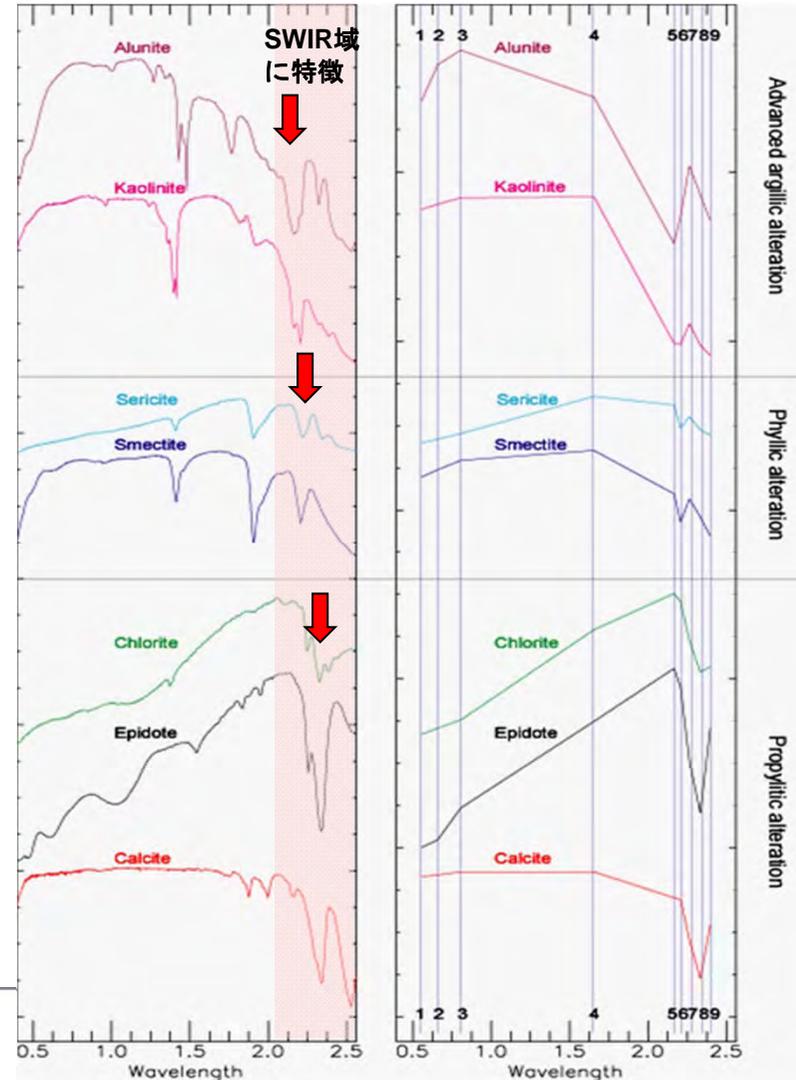
ASTER spectral patterns



## 変質鉱物のスペクトルパターン

USGS spectral library

ASTER spectral patterns



吸収要因の例

SWIR域

Al-OH



分子伸縮



Mg-OH  
等

VNIR域

Fe<sup>2+</sup> - Fe<sup>3+</sup>  
等

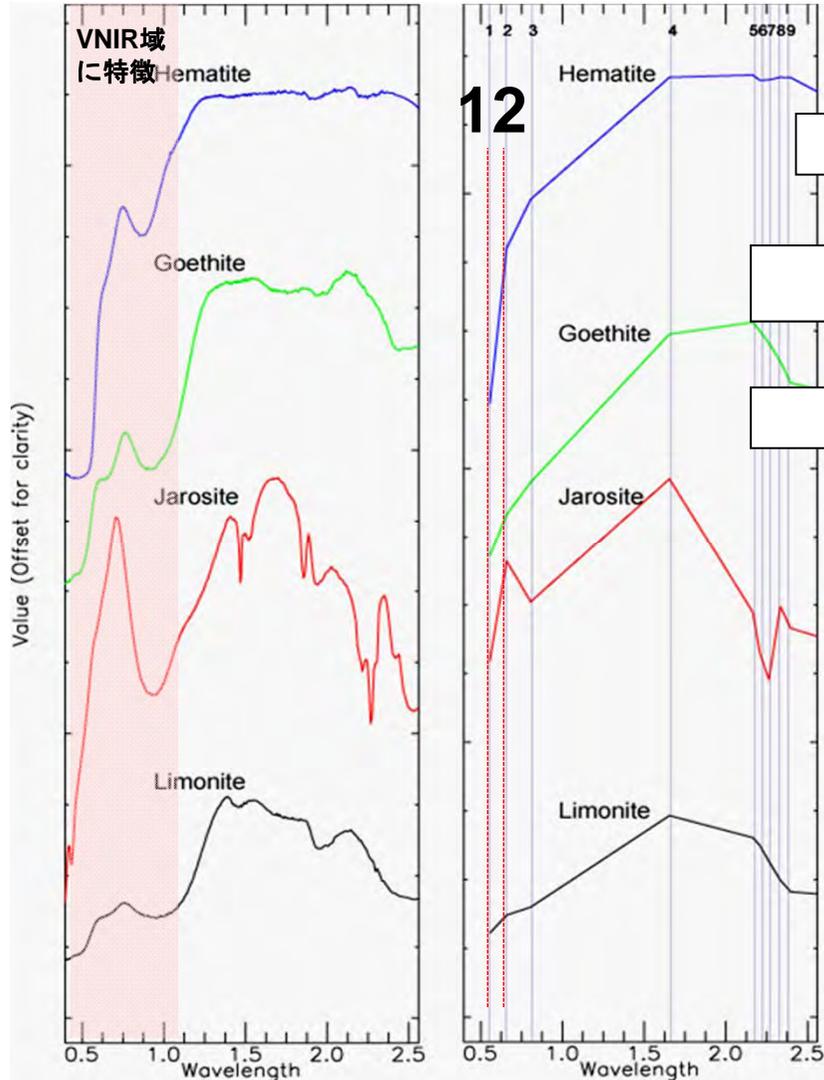
電子遷移  
プロセス

# ASTER 鉄酸化物マッピング

## 鉄酸化物鉱物のスペクトルパターン

USGS spectral library

ASTER spectral patterns



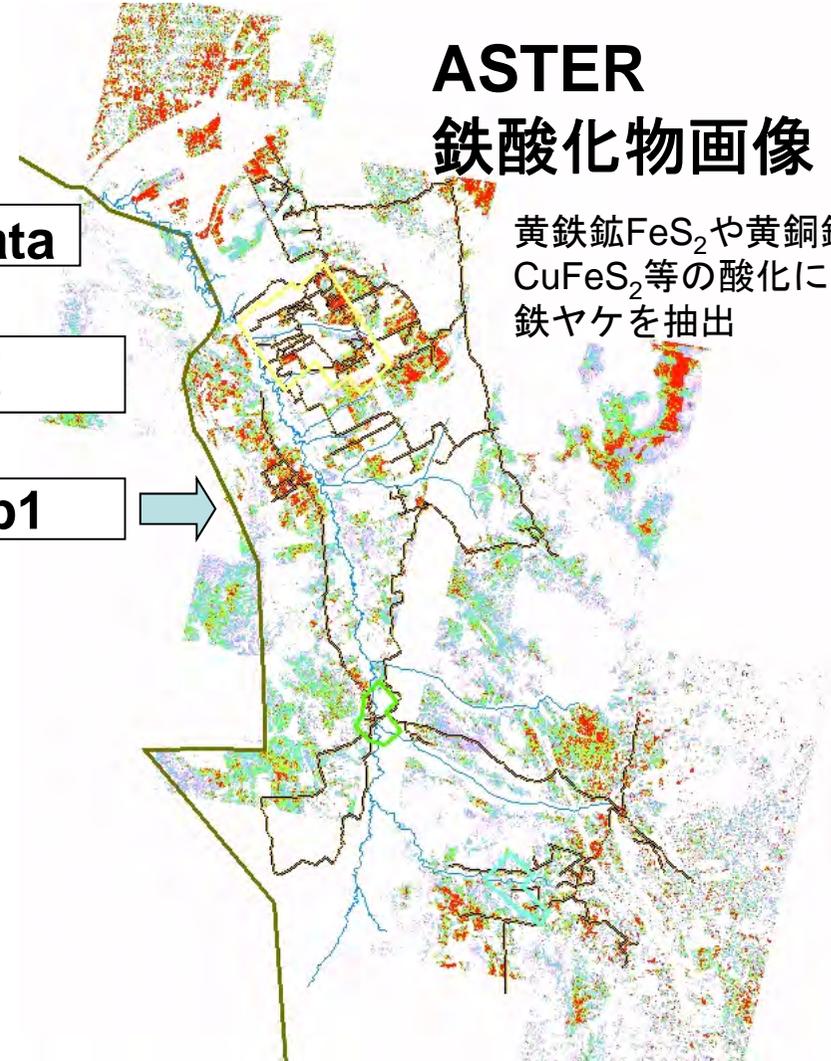
ASTER data

大気補正

比演算b2/b1

## ASTER 鉄酸化物画像

黄鉄鉱 $\text{FeS}_2$ や黄銅鉱 $\text{CuFeS}_2$ 等の酸化による鉄ヤケを抽出



# ASTERによる変質帯抽出

## Escondida mine (Chile)

SWIRフォールスカラー画像

SWIR比演算画像

変質帯の識別

ピンク色を呈する部分が酸性～中性変質帯

緑色を呈する部分がプロピライト変質帯



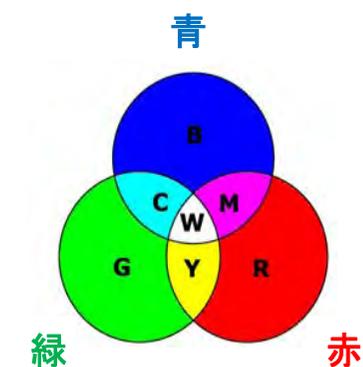
R:G:B=B4:B6:B8



R:G:B=B4/B6:B5/B6:B5/B8

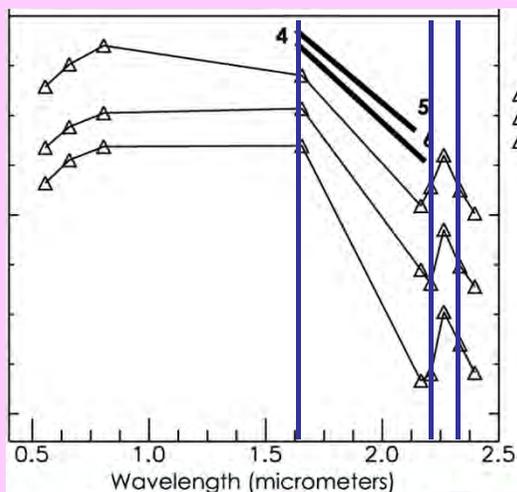
変質分帯の識別

赤:アルーナイト変質  
カオリナイト変質  
緑:イライト変質  
青:プロピライト変質



# ASTER SWIRフォールスカラー画像 (R:G:B=4:6:8)

## アルーナイト、カオリナイト



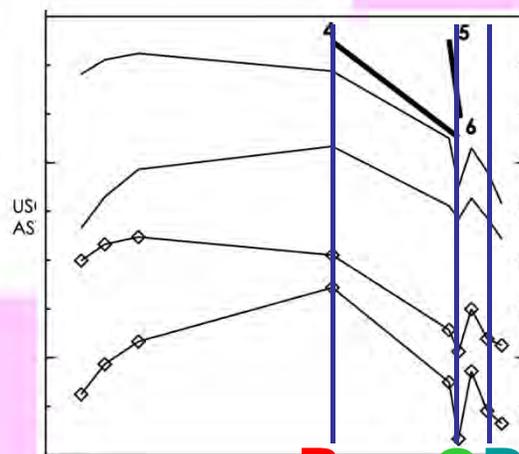
high band ratio 4/6, 4/5

- alunite3.spc Alunite GDS82 No82
- kaolini2.spc Kaolinite KGo-1 (wxy)
- dickite1.spc Dickite NMNH106242

R GB

バンド6に吸収が認められる変質鉱物は

## セリサイト



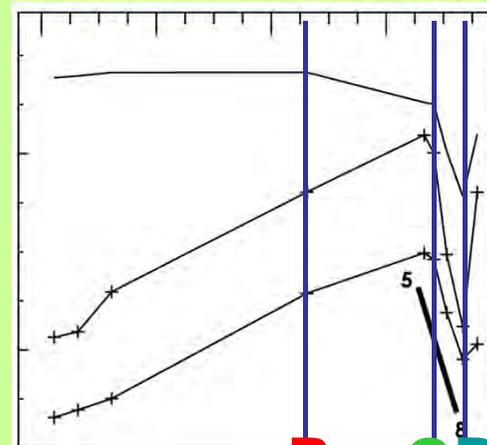
high band ratio 5/6, 4/6

- montmor8.spc Montmorillonite STx-1
- kaosmec5.spc Koolin/Smect KLF511 12%K
- illite4.spc Illite IL101 (2M2)
- muscovi1.spc Muscovite GDS107

R GB

ピンク～赤色を呈する

## 緑レン石、緑泥石



high band ratio 5/8

- calcite1.spc Calcite WS272
- epidote1.spc Epidote GDS26.a 75-200um
- chlorit1.spc Chlorite HS179.3B

R GB

緑色を呈する

バンド8に吸収が認められる変質鉱物は

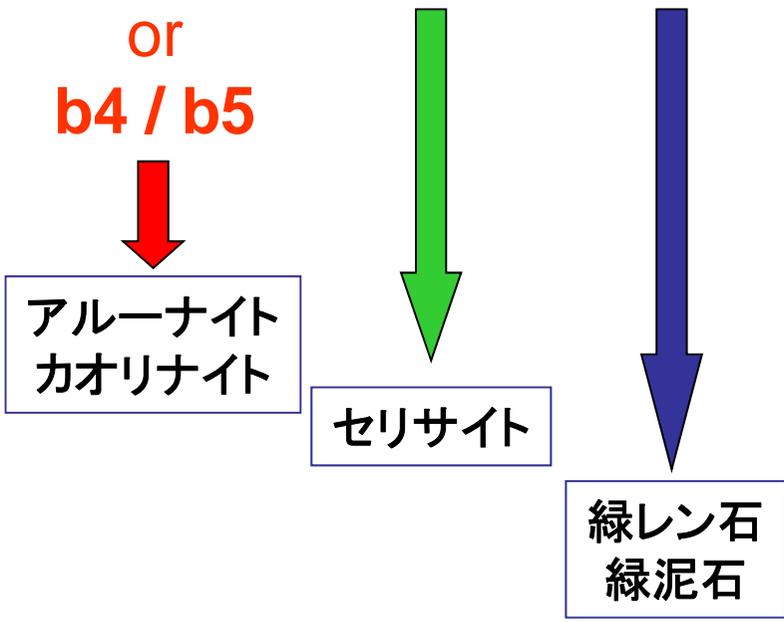
# ASTER SWIR 比演算カラー画像

比演算により、変質分帯を識別

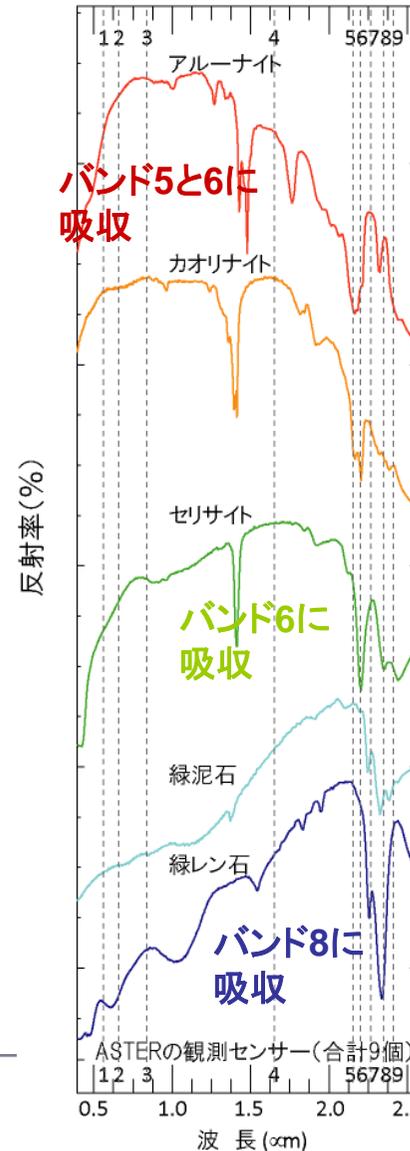
ASTER SWIR比演算カラー画像

$$R:G:B = b4 / b6 : b5 / b6 : b5 / b8$$

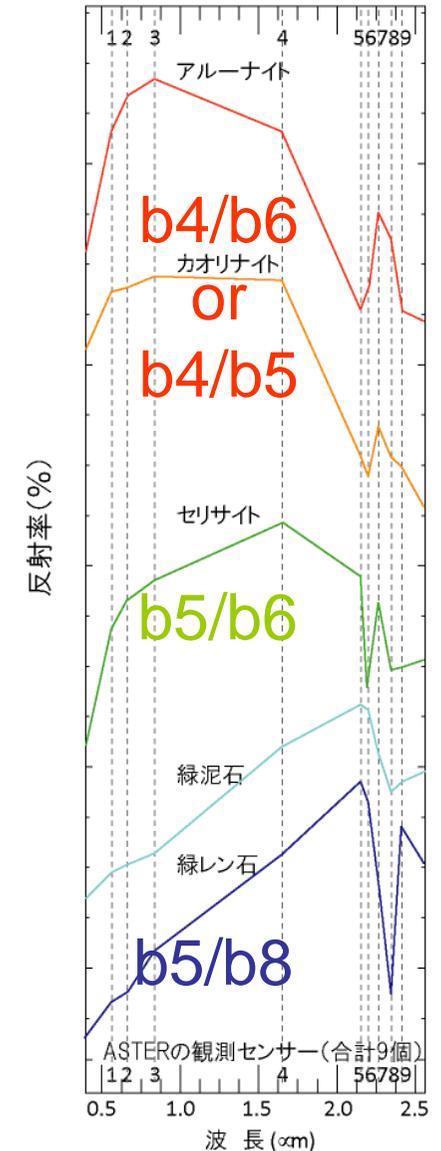
or  
b4 / b5



鉱物の反射スペクトル



ASTERで得られる反射スペクトル



# ASTERによる変質帯解析

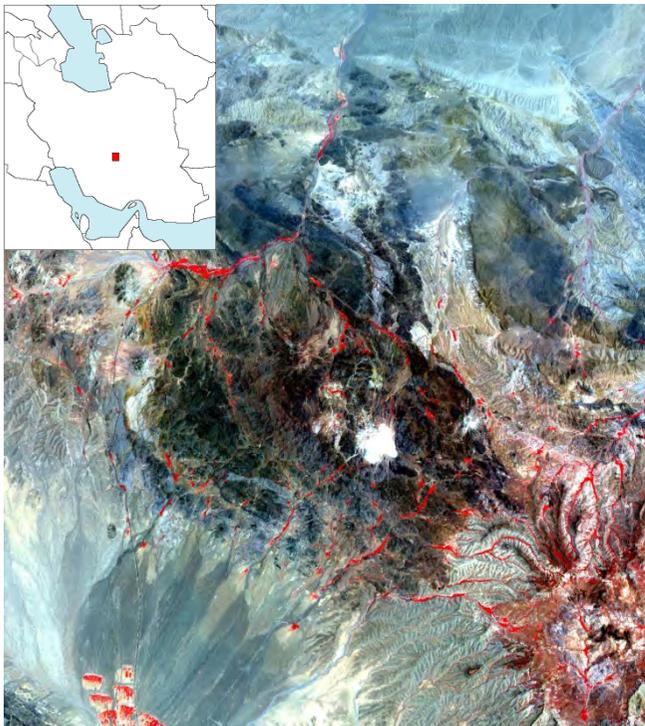
ポーフィリー銅-鉛-鋅床

Meiduk mine (Iran)

VNIR フォールスカラー画像

SWIR 変質帯画像

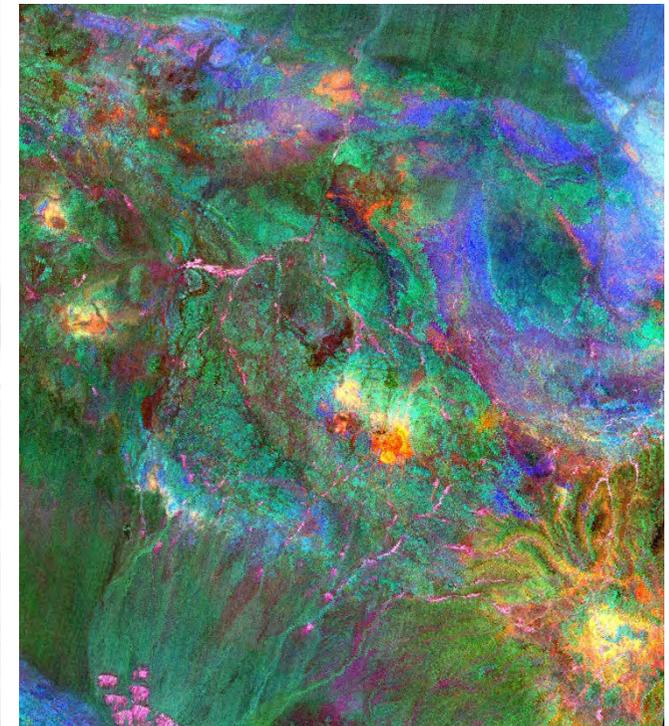
SWIR 比演算画像



R:G:B=b3:b2:b1



R:G:B=b4:b6:b8



R:G:B=b4/6:b5/6:b5/8

(JOGMEC, 2007)

# ASTERによる変質帯解析

ポーフィリー銅・高硫化銅金鉱床

El Tambo / El Indio mine (Chile)

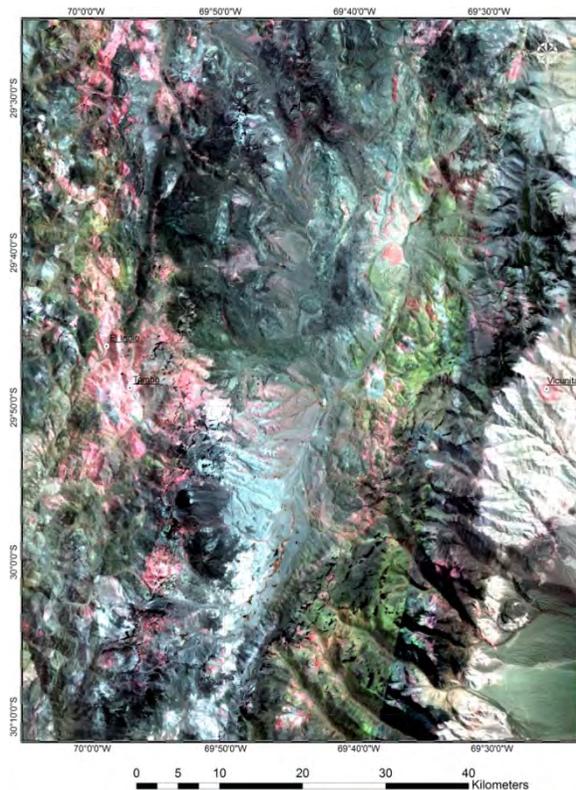
VNIR フォールスカラー画像

SWIR 変質帯画像

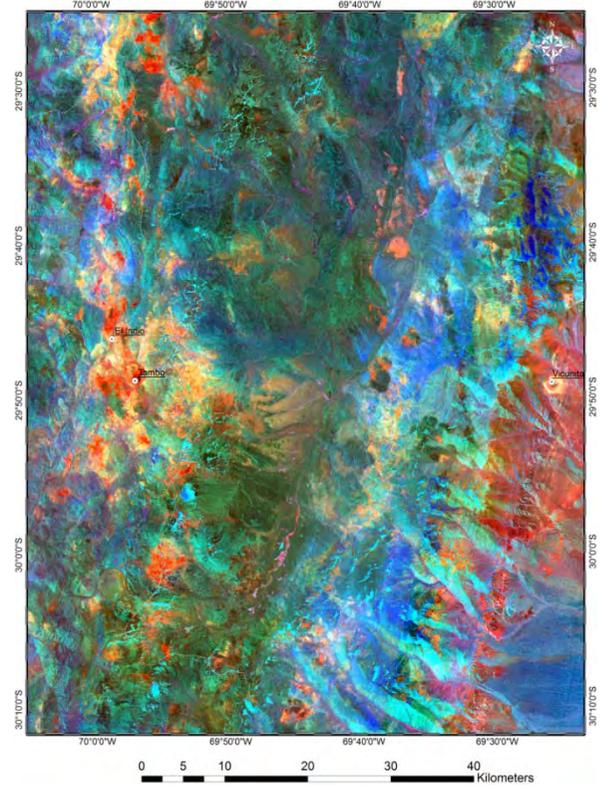
SWIR 比演算画像



R:G:B=b3:b2:b1



R:G:B=b4:b6:b8



R:G:B=b4/6:b5/6:b5/8  
(JOGMEC, 2012) O plus E 12月号

# ASTERデータを用いた技術移転



JOGMECはボツワナに地質リモートセンシングセンターを開設し、SADC諸国にリモセン技術の技術移転を行い、各種レアメタル確保のための共同調査等を実施している。



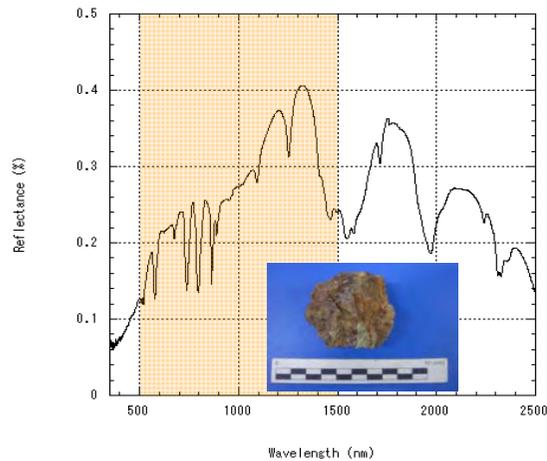
日本製のデータを利用することが技術移転する上で重要である。

# ASTERのVNIR、SWIRデータで識別できない 探査上重要な鉱物

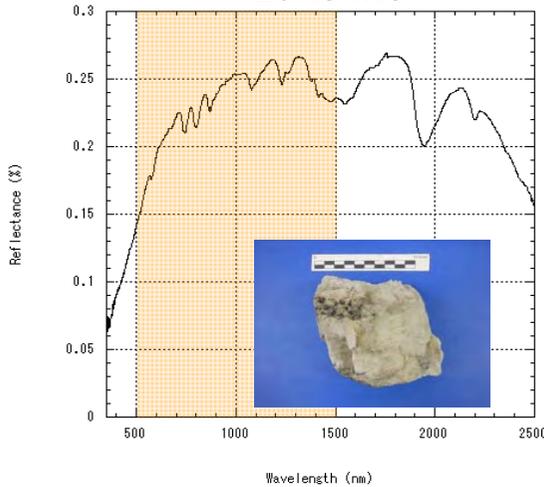
レアアースを含む鉱物はVNIR域に特徴的な吸収パターンを有する。

→識別にはハイパースペクトルデータが必要。

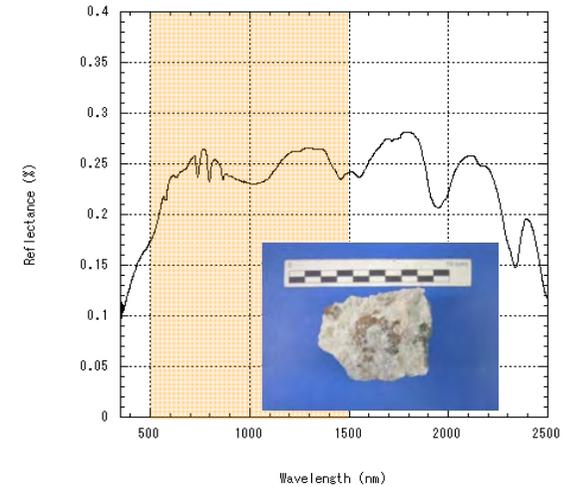
### Bastnaesite



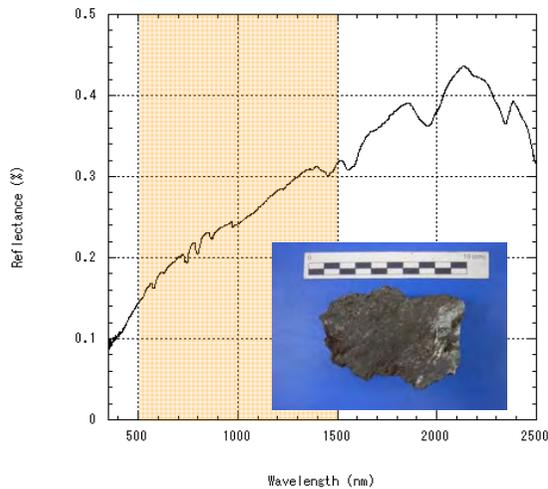
### Euxenite



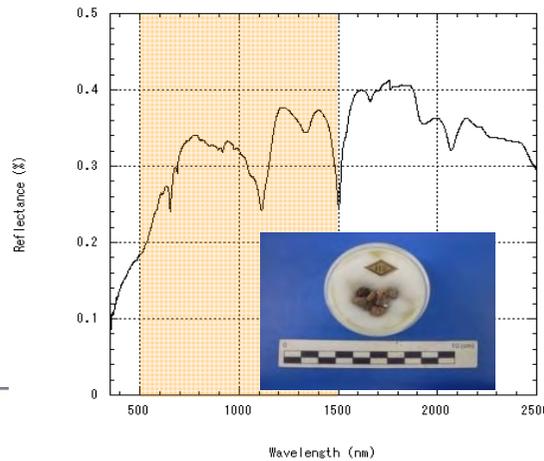
### Synchysite



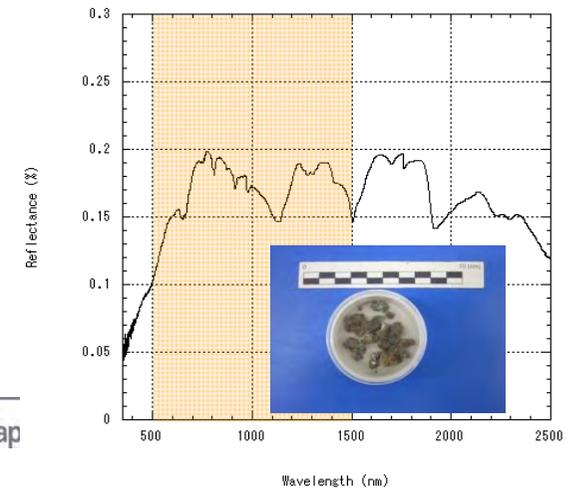
### Carbonatite



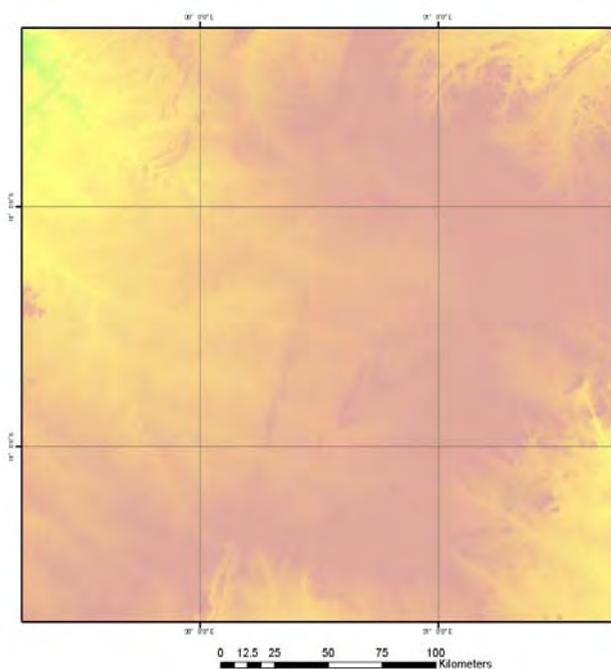
### Zircon



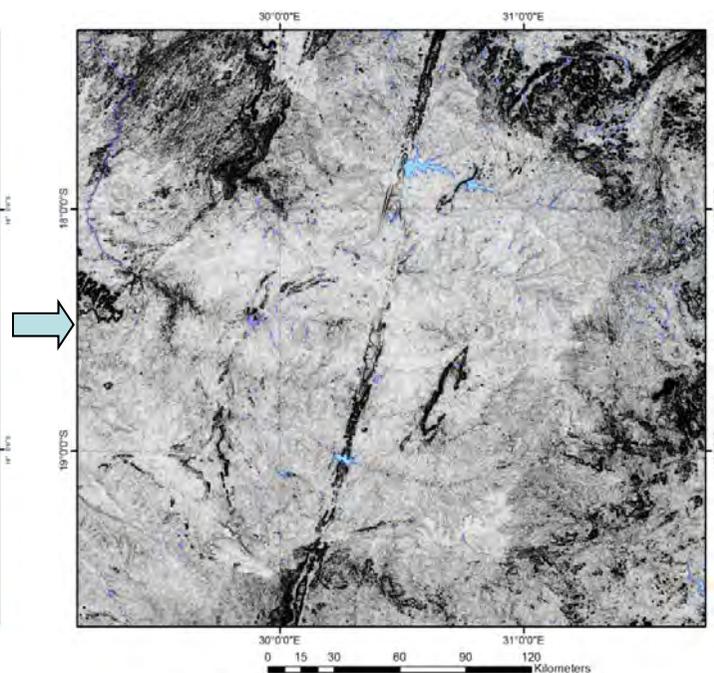
### Xenotime



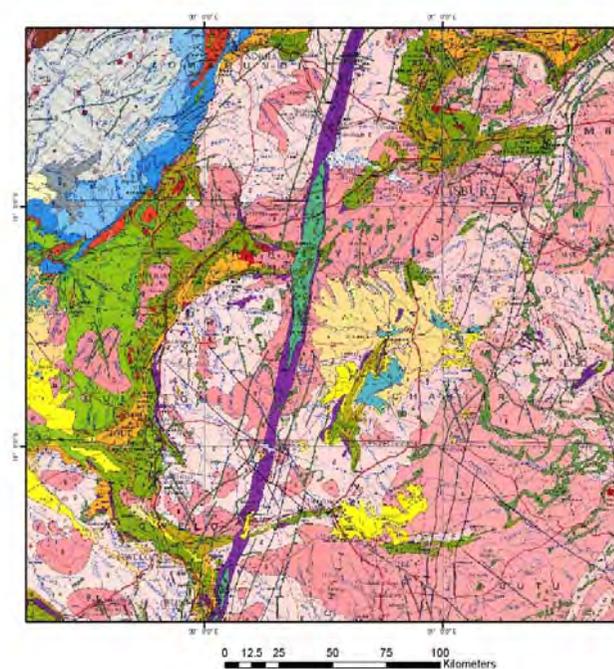
DEMデータ解析により、客観的な地質情報が得られる。



DEMデータによる地形図



DEMによる解析図



既存地質図

- ASTERのVNIR-SWIRデータは熱水性鉱床の探査における変質帯を明らかにするための変質帯解析に有効である。
  - 実際に日本への資源獲得に寄与している。
- しかし、ASTERのVNIR-SWIRデータは基本的にはバンド1、バンド2を用いた鉄酸化鉱物の識別、バンド5、バンド6、バンド8に吸収が認められる鉱物しか識別できない。
- 変質帯・変質分帯の抽出は、基本的に誰もがASTERデータを利用することで可能となるため、ASTERデータを用いて、新たに有望な変質帯を抽出することは難しい状況となっている。

- 今や資源はお金では買えない状況になりつつある。日本は自身で資源探査・開発を行い、資源を獲得しなければ生き延びることができない厳しい状況にある。
  - リモートセンシング技術は資源探査にとって欠かせない重要なツールとなっている。
  - リモートセンシングによる技術移転は資源保有国との友好関係を構築し、さらに資源保有国における資源開発を行うための重要なツールにもなっている。
- これからはASTERのVNIRやSWIRデータが識別できない鉱物を識別することが資源探査では重要となる。
- そのためにも、競争力を有する「国産」のハイパースペクトルセンサーの開発と打ち上げは、資源探査への寄与と日本への資源の安定供給のために重要である。