

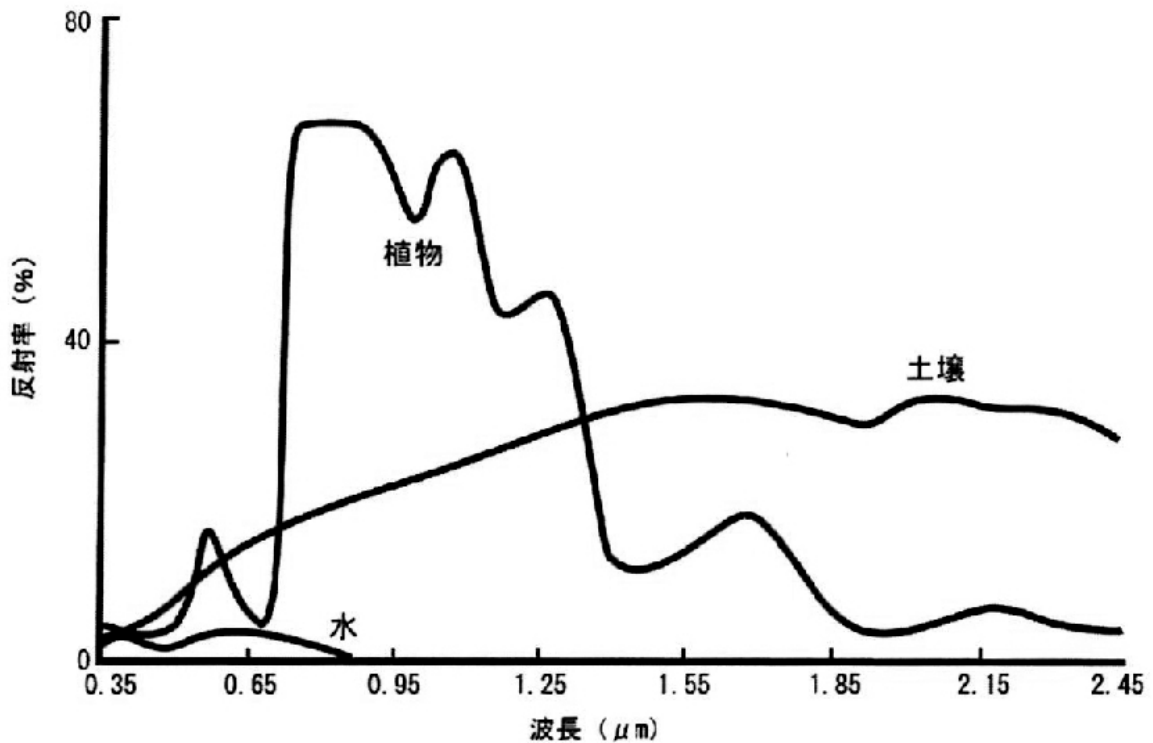
# リモートセンシングの基礎とデジタル画像の基礎的理解

－ MIRINKids による画像判読および画像処理入門（その3） －

## ■ ステップ6：分光特性（スペクトル特性）

### 水・植物・土壌の分光特性（スペクトル特性）

下図は、可視光線～短波長赤外線における水・植物・土壌の分光特性を示している。縦軸は反射率、横軸は波長。



水	0. 35～0.8μmの電磁波が入射すると弱いながら反射するが、0.8μmよりも波長の長い電磁波（赤外線側）はすべて水に吸収される。
植物	0.40μmと 0. 65μm付近では 1.3μmより波長の長い電磁波は植物中の水分によって吸収され、反射が弱くなる。
土壌	可視光線から短波長赤外線にかけて反射率が徐々に増加する。特に、短波長赤外線では水や植物に比べて土壌（鉱物・岩石）からの反射が強く、加えて粘土鉱物による特徴的な電磁波の吸収が見られる。

一般に植物や土壌は、種類によって分光特性（スペクトル特性）がさらに変化する。リモートセンシングでは、物質によって異なる分光特性（スペクトル特性）を画像処理で

強調することで植物や土壌（鉱物・岩石）の分類等を行うことができる。例えば、資源調査では鉱床生成に関係する変質帯に分布する粘土鉱物などを様々なスペクトル解析手法を用いて衛星データから抽出している。

#### 植物の分光特性（スペクトル特性）

植物の分光特性（スペクトル特性）は次のような特徴がどの植物においても共通に見られる。

- ・ 0.45μm付近と 0.65 μm 付近にクロロフィル（葉緑素）による吸収を示す。
- ・ クロロフィルの吸収に挟まれた 0.5μm前後はやや強い反射を示す。
- ・ 0.7～1.3μmにかけては細胞の構造に由来する強い反射を示す。
- ・ 約 1.3μmより長い波長側は植物中の水分による吸収を示す。

地上にてスペクトルメータを用いて各種植物の分光特性（スペクトル特性）を調べた場合、植物の種類・葉の老若・水分・栄養状況などによって分光特性（スペクトル特性）が異なることがわかる。しかし、衛星のセンサは可視光線～近赤外線に数バンドしか持たないため、植物の種類を細かく区分することは困難である。

また、植物を観測する場合には、観測する季節について留意する必要がある。植物の活動は周囲の自然環境や人間活動によって左右される。例えば、日本では春に芽を出し・夏に葉を繁茂し・秋から初冬に葉を落とす落葉樹と、一年中葉をつけている常緑樹がある。

また、稲作は春に田植え・夏に成長し・秋に収穫するが、畑作は作物により収穫する季節が異なるため畑に植物が繁茂する時期もまちまちである。このように植物は季節変化が大きいので、衛星データを植生調査や農作物の調査等に用いる場合は、多時期のデータを活用することで分類精度等を向上させる。

#### ●解説「植生指数」

衛星データのバンド間演算を用いて植物の活性度を推定した式を正規化植生指数（NDVI : Normalized Difference Vegetation Index、以下「植生指数」と省略）という。植生指数は、植物の分布や活性度（活動の度合い）を把握する場合に利用する。

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

NIR : 近赤外線のバンド（葉の構造に由来する強い反射を観測）

R : 可視光線における赤色のバンド（クロロフィルによる吸収を観測）

・ ASTER	NIR : バンド 3	R : バンド 2
・ Landsat TM	NIR : バンド 4	R : バンド 3
・ Landsat MSS	NIR : バンド 4	R : バンド 2

植物が存在する場合、クロロフィルによる吸収でRの反射率が低下し、細胞の構造による強い反射で NIR の反射率が大きくなるため、植生指数は大きい値を取る。一方、土壌や水が存在する場合、R と NIR の両方とも同じような反射率になるため、植生指数は小さくなる。また、植物が存在する場合でも、植物の活性度（植物がどの程度活発に活動しているか？）によって植生指数は変化する。例えば、落葉の時期は葉の中のクロロフィル量が減少して細胞の構造も変化するため、植生指数は低い値を取る。

#### 水と雪氷の分光特性（スペクトル特性）

水は液体・固体（雪・氷）・気体（水蒸気）として存在する。また、ミクロ的にみると、植物の葉などの細胞内では細胞水として、土壌・岩石・鉱物の中では空隙水や分子間の結合水として存在する。水の分光特性（スペクトル特性）は次のような特徴がある。

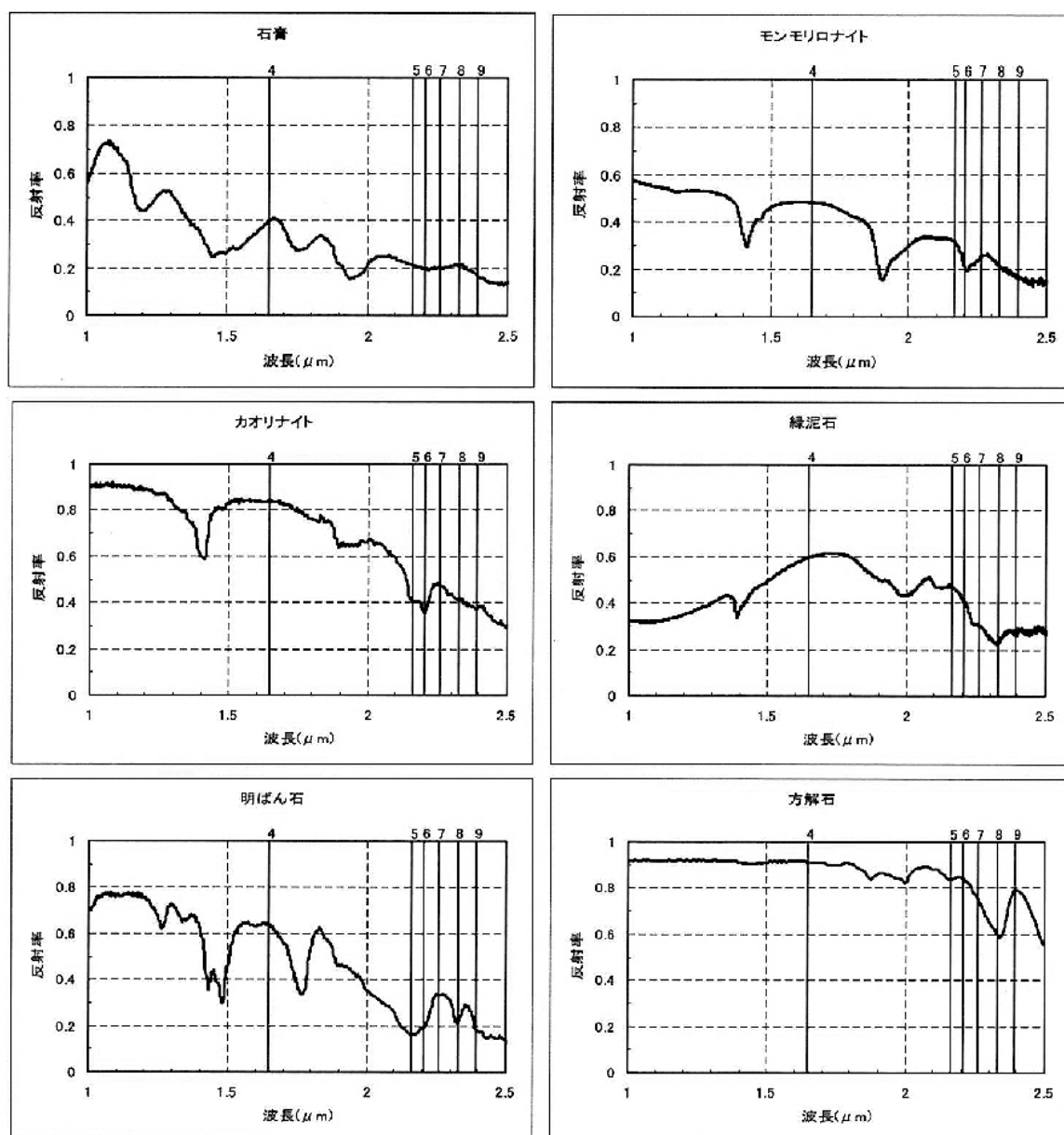
- ・ 清浄な水の場合、可視光線の電磁波を弱く反射し、近赤外線よりも長い波長の電磁波をすべて吸収する。また、 $0.48\mu\text{m}$ 付近の青色～緑色の電磁波を良く透過する。水が深いところまで青く見えるのはこの特性のためである。
- ・ 沈殿物や有機物が混入した水の場合、 $0.4\sim 0.5\mu\text{m}$ の電磁波（青色～緑色）の反射が弱くなり、逆に  $0.5\mu\text{m}$  より波長の長い電磁波（赤色～近赤外線）の反射がやや強くなる。また、全体に透過率が減少し、透過する電磁波もより長い波長側（黄色～赤色）にシフトする。水の透明度が低下して濁って見えるのはこの特性のためである。
- ・ 雪氷の場合、可視光線～近赤外線にて高い反射率を示すが、短波長赤外線では反射率が低下する。一方、雲の場合、可視光線～短波長赤外線にて常に高い反射率を示す。この特徴を用いることで、雲と雪氷の識別が可能となる。
- ・ 土壌に空隙水が存在する場合、近赤外線よりも長い波長の電磁波を吸収する本の分光特性（スペクトル特性）の影響を受ける。そのため、乾いた土壌に比べて湿った土壌は反射率が低下し、全体に暗く見える。代掻きを終えた水田が暗く見えるのはこの特性のためである。
- ・ 岩石や粘土鉱物に存在する分子間の結合水は特定の波長域の電磁波を吸収することから、岩石・粘土鉱物の識別において重要な働きを示す。

#### 変質鉱物の分光特性（スペクトル特性）

岩石は鉱物の集合体であり、岩石の分光特性（スペクトル特性）を知るためには鉱物の分光特性（スペクトル特性）を知ることが必要である。加えて、岩石の主要構成要素である珪酸塩鉱物は可視光線～短波長赤外線の波長域において顕著な分光特性（スペクトル

特性)を持たないため、風化・変質によって二次的に生じた変質鉱物の分光特性（スペクトル特性）が岩石全体の分光特性（スペクトル特性）を示すことが多い。

下図に短波長赤外線における変質鉱物の分光特性（スペクトル特性）を示す。



二次的に生じた変質鉱物の例としては、次のようなものがある。

- 水分子 (H<sub>2</sub>O) と水酸化イオン (OH<sup>-</sup>) による振動

水分子を持つ鉱物が岩石中に存在すると、水分子の振動による電磁波の吸収位置が「1.4 μm, 1.9 μm」付近に現れる。また、水酸化イオンと金属イオンが結合した粘土鉱物（例：石膏、モンモリロナイト・カオリナイト・緑泥石・明ばん石）が岩石中に存在すると、水酸化イオンと金属イオンが結合した場合の振動による電磁波の吸収位置が「2.2 μm, 2.3 μm, 2.4 μm」付近に現れる。

- 炭酸イオン(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)による振動

炭酸イオンを持つ鉱物（例：方解石）が岩石中に存在すると、炭酸イオンの振動による電磁波の吸収位置が [2.5 $\mu$ m、2.35 $\mu$ m、2.15 $\mu$ m、2.0 $\mu$ m] 付近に現れる。

#### ASTER と Landsat TM のバンド配置とイオンによる電磁波の吸収位置との関係

Landsat TM は 2.0~2.5 $\mu$ m に 1 つしかバンドが存在しないため、水酸化イオンと炭酸イオンによる電磁波の吸収位置を区別することができない。そのため、Landsat TM では変質鉱物の分布する領域は「変質帯」として抽出される。一方、ASTER は 2.0~2.5 $\mu$ m に 5 つのバンドが存在するため、水分子・水酸化イオンと炭酸イオンなどによる電磁波の吸収位置を区別することができる。そのため、ASTER では電磁波の吸収位置を用いた変質鉱物の区分が可能である。

#### 熱赤外線の特徴

熱赤外線では、珪酸塩鉱物や酸塩鉱物などの存在により、分子の伸縮振動によって電磁波が吸収されて放射率が小さくなる。特に、珪酸塩鉱物は地殻の主要鉱物であり、熱赤外線における岩石の分光特性（スペクトル特性）に顕著な影響を与える。

珪酸塩鉱物は SiO<sub>4</sub> 四面体の構造によって次のように分類される。

・ネソ珪酸塩（例：かんらん石，ざくろ石）	Si—O 密度小	Si 含有量大
・ソロ珪酸塩（例：緑簾石）		↑
・シクロ珪酸塩（例：ベリル，電気石）		
・イノ珪酸塩（例：輝石，角閃石）		
・フィロ珪酸塩（例：雲母，緑泥石）		↓
・テクト珪酸塩（例：長石，石英）	Si—O 密度大	Si 含有量小

珪酸塩鉱物は Si—O の密度が増加すると共に結合力も強くなる。また、8.5 $\mu$ m~12.0 $\mu$ m では、Si—O<sub>4</sub> 四面体の構造の変化によって放射率の極小の位置が移動する。放射率の極小の位置は、Si—O の密度が小さいネソ珪酸塩では長い波長側（約 11.5 $\mu$ m）、Si—O の密度が大きいテクト珪酸塩では短い波長側（約 9.0 $\mu$ m）になる。

次図に熱赤外線における火成岩と堆積岩の分光特性（スペクトル特性）を示す。

#### ・火成岩

かんらん石（ネソ珪酸塩）や輝石・角閃石（イノ珪酸塩）が多く含まれる玄武岩やはんれい岩（塩基性岩）の場合、放射率の極小の位置は約 10~11 $\mu$ m 付近に現れる。

一方、雲母（フィロ珪酸塩）や石英—長石（テクト珪酸塩）が多く含まれる流紋岩や花崗岩（酸性岩）の場合、放射率の極小の位置は約 9 $\mu$ m 前後に現れる。安山岩や閃緑岩

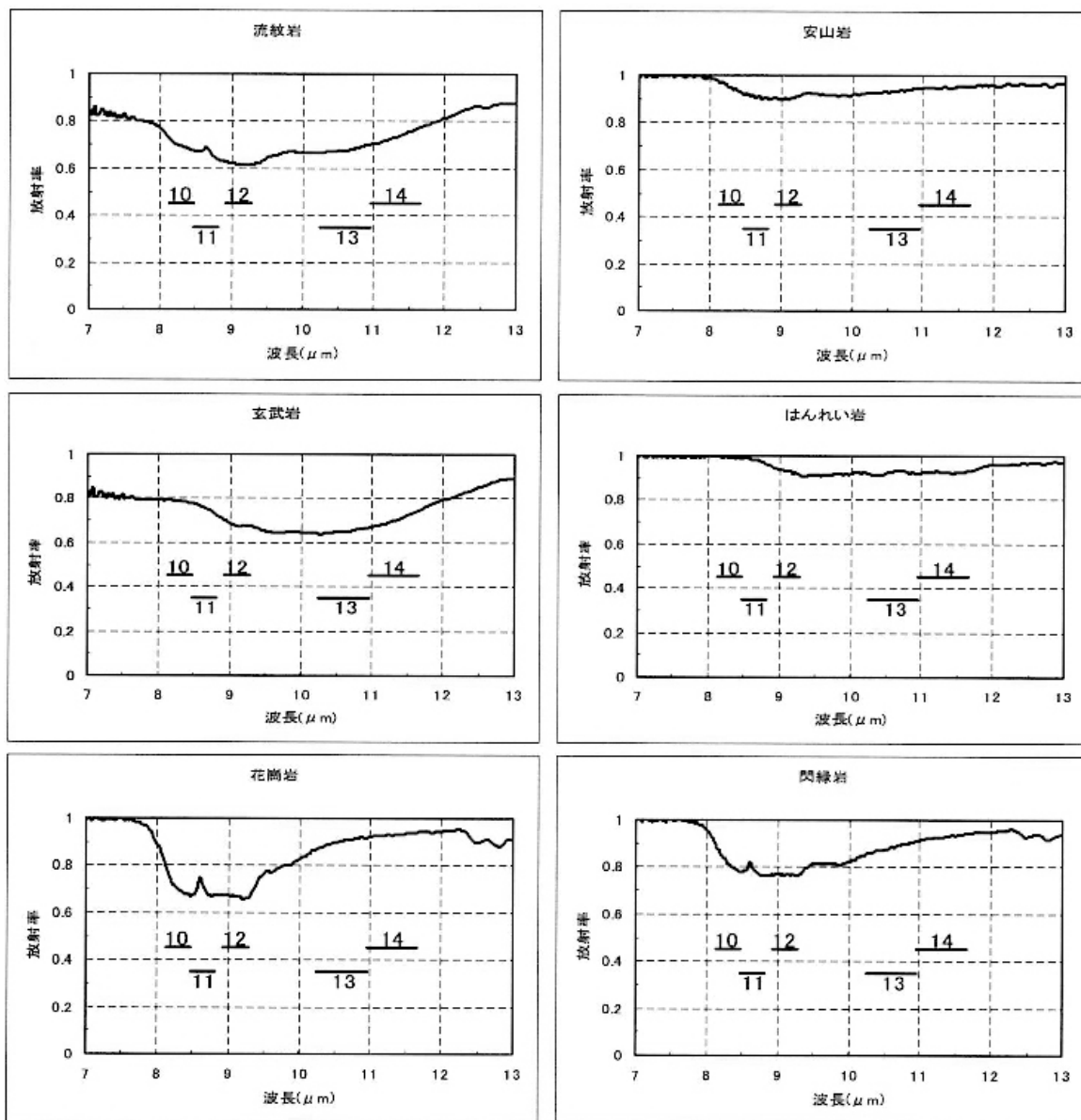
(中性岩)は、両者の中間的な特徴を示す。

#### ・堆積岩

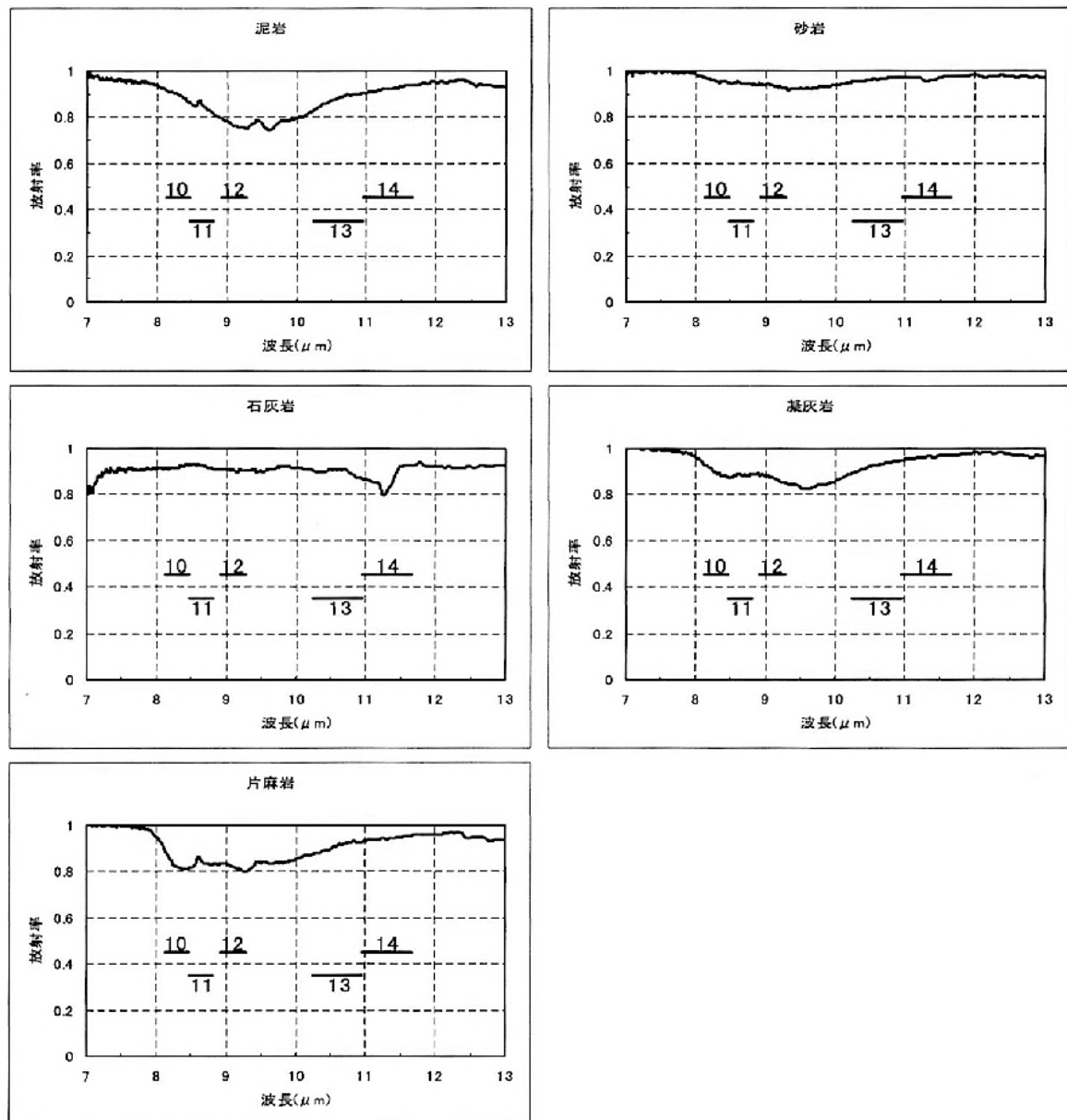
石英・長石（テクト珪酸塩）などを多く含む碎屑性堆積岩では、放射率の極小の位置は9.0nm 付近に現れる。また、炭酸塩岩では  $\text{CO}_3$  の振動により 11.2 $\mu\text{m}$ 付近に放射率の極小が現れる。

#### ・土壌

土壌は主に石英や長石（テクト珪酸塩）を多く含んでいることから、放射率の極小の位置は9.0 $\mu\text{m}$  付近に現れる。ただし、土壌中の含水率や粘土・シルト・有機物の含有率が増加すると、分光コントラストが低下する。



熱赤外線における火成岩の分光特性（図中の数字は ASTER のバンド 10~14）



熱赤外線における堆積岩の分光特性（図中の数字は ASTER のバンド 10～14）

#### 衛星データから温度を読み取る

物質はその温度に対応した電磁波を放射している。ASTER ではバンド 10～14、Landsat\_TM ではバンド 6 が熱赤外線の電磁波を観測しており、各バンドの衛星データを用いることで地表面の温度を調べることができる。衛星データから得られる温度情報は、火山活動に伴う地温分布とその変化の観測、地熱および温泉の探知、工場からの廃熱やヒートアイランド現象などの観測に活用される。

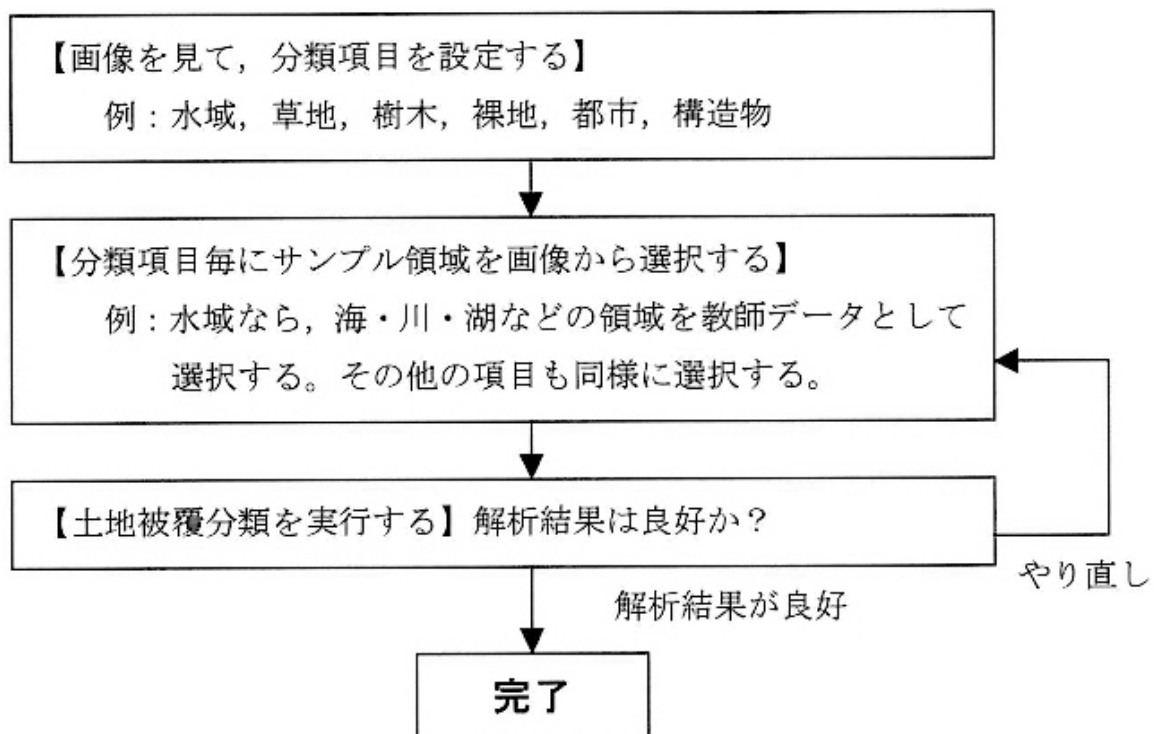
また、ASTER や Landsat TM による衛星データは、地球から放射された電磁波のエネルギーを 0～255 の 256 段階による輝度値（DN 値）で表している。（\*1）このことから、衛星データから相対的に温度が高い・低いという状況を判読することはできるが、温

度そのものを抽出することはできない。衛星データから温度を抽出するためには、輝度値を放射輝度に変換した後に放射率と温度に分離する必要がある。

\*1：ASTER バンド 10～14 の生データは 16 ビット(65536 (216)段階) の画像として配布されるが、教材画像データはすべて 8 ビットデータになっている。

#### 土地被覆分類について

衛星データによる土地被覆分類は、水・植物・土（岩石）・人工構造物などによって分光特性（スペクトル特性）が異なる点を利用して解析を行う。土地被覆分類の手法はいくつか存在するが、演習では「教師付き分類による最尤法」を採用する。下図に教師付き分類による最尤法を用いた土地被覆分類の流れを示す。



手順1 土地被覆の分類項目を決める

分類項目は、「水域・草地・樹木・裸地・都市・構造物」を設定

手順2 分類項目ごとに教師領域となるエリアを画像の中から選択し、教師領域を作成

手順3 各教師領域から抽出された画素情報を元に、最尤法という統計手法を用いて画像中の各画素がどの項目に分類されるかを決定

以上の処理を経て分類項目ごとに色分けされた画像を土地被覆分類画像という。



## ■ ステップ7：土地被覆分類－教師付分類－

教師付分類法は、土地被覆がわかっている領域（教師＝トレーニング・エリア）を MIRINKids に与え、バンドごとの値（分光反射特性）が似ている画素を選び出す分類方法。

- ① MIRINKids の再起動
- ② 「画像を処理する」を選択
- ③ 画像の表示
- ④ 分類作業の開始

### ● 分類項目の決定

まず、何に分類するかを決める。

都市域、住宅地、海、森林、畑、水田、...

注）これらの分類項目は土地利用(Land Use)である。一方、分類されるのは土地被覆(LandCover)である。たとえば、道路は土地利用項目であるが、土地被覆としてはアスファルトになるかも知れない。道路と駐車場は土地利用項目としては別であるが、土地被覆では同じアスファルトになるかも知れない。ソフトウェアがどのような原理で分類を行っているかを知って、「土地利用」と「土地被覆」の違いを理解する。

### ● トレーニング・エリアの選択

MIRINKids の矩形領域選択機能を使って典型的な場所を選択する。

- ① MIRINKids を起動し、よろこ画面で画像処理を選択
- ② 画像表示
- ③ [処理]－[土地被覆分類]
  - ・土地被覆ウィンドウが現れるので、[新規]を選択し、[分類項目]ウィンドウで色と表題を入力し、[OK]を押す。

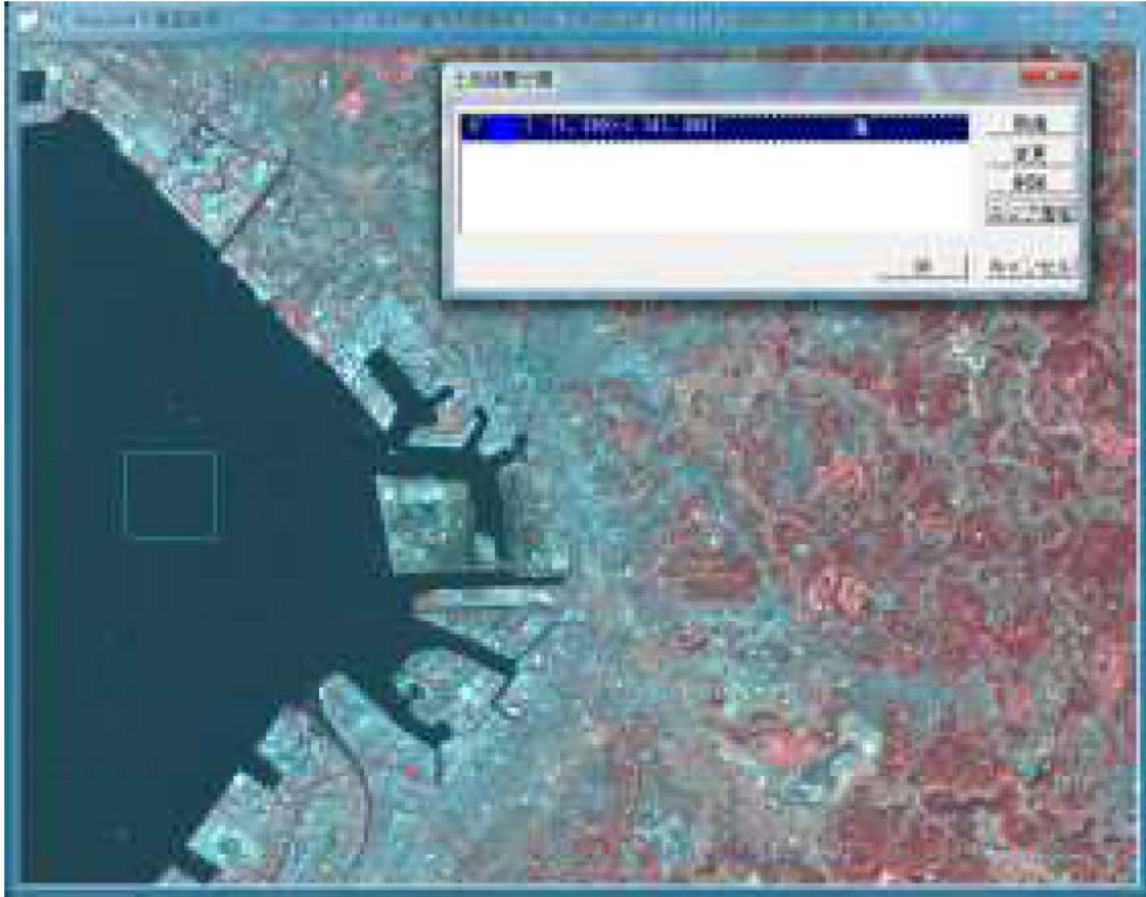


- ④ トレーニング・エリアを選択
  - ・土地被覆分類ウィンドウのリストをクリックして反転させてから、マウスで矩形領域

を選択する。

- ・新規で新しいトレーニング・エリアを作成し、領域を決定する。
- ・この操作を必要回繰り返す。

注)「土地利用」と「土地被覆」は異なることに注意



#### ●分類処理

- ・土地被覆分類ウィンドウの[OK]を押すと、MIRINKids は分類を実行する。
- ・結果の判定

結果が良ければ完成、悪ければトレーニング・エリアの選択からやりなおす必要がある。

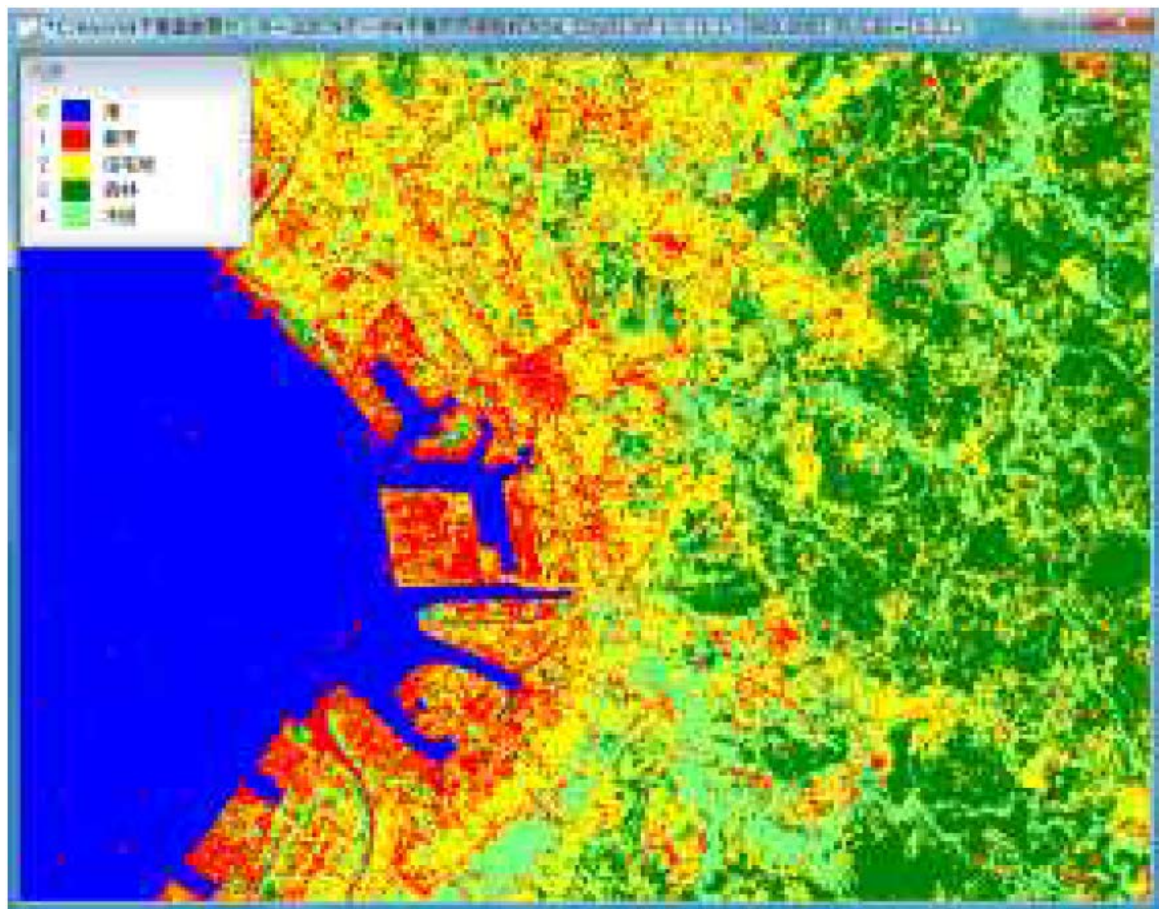
注) 分類のテクニック

- ・MIRINKids では全ての画素を選択したトレーニング・エリアのどれかに割り当てようとするので、分類結果が直感的に実際と合っていないと感じたら「分類項目」を増やす。
- ・例えば、同じ住宅地域でも特性が若干違う住宅1、住宅2、... を別の場所から選択し、同じ色を割り当ててみる。

-----

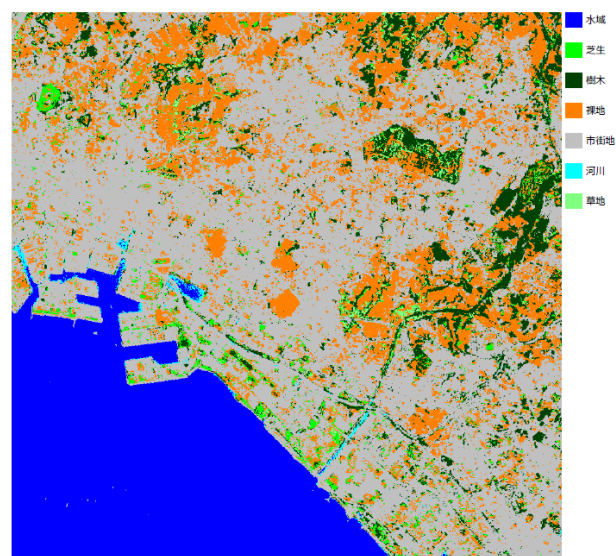
- ・高機能の画像処理システムでは分類手法を選択できるほか、トレーニング・エリアに判

別できない画素は未分類として残すこともできる。



[演習]

Data 植生・都市 - 舟橋周辺 - ASTER2002の aster2002.inf をMIRINKIDS で開き、土地被覆分類を教師付き最尤法で行いなさい。なお、分類項目は、水域、芝生、樹木、裸地、市街地、河川、草地の7項目とする。





## ■ ステップ 8 : 指標の計算

[演習] 次の画像データから植生指標画像を作成しなさい。

画像データ : Data 植生・都市 - 印旛沼周辺 - Landsat\_1984 - landsat1984.inf

① MIRINKids 起動

② 「画像を処理する」 選択

③ 画像表示 - 明るさ調整

④ [処理] - [植生指数] 選択

⑤ Xに近赤外バンド、Yに赤のバンドを選択

・ TM の場合、X はバンド 4(近赤外)、Y はバンド 3(赤) になる。

⑥ 植生指数画像作成

・ 明るいところほど植生のシグナルが強い。

・ 定量的な情報を抽出することは困難だが、植生の被覆率が高い、植生の活性が高い、といったことがわかる。

