

第十章 物体判読の基礎

1. 物体判読の概念
2. 電磁波の波長帯域
3. 物質と電磁波との関り
4. 地表面の反射特性
5. 地表面の放射特性

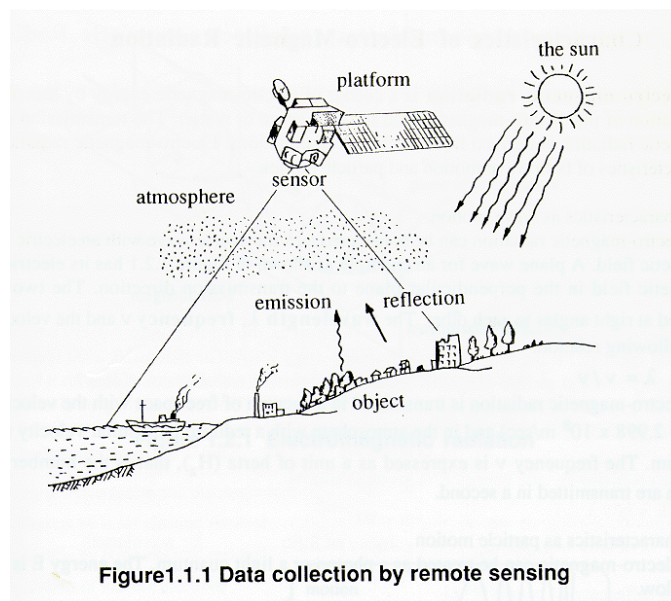
問題

1. 空の色，海の色，夕焼けの色，雲の色について電磁波の特徴から解説しなさい．
2. 人間の目は，電磁波の波長域でおよそ0.4～0.7mmの範囲を認識することができる．さて，目の感じる範囲が0.2mm長い方へずれているとしたら（0.6～0.9mm），自然の光景はどのように見えるであろうか？推察しなさい．

物体判読の概念

1. 目視判読と自動判読

- 写真や画像を用いて人間が手作業で対象物を認識し，図面に落としていく作業を目視判読と呼んでいる．人間は，様々な経験を通して写真や画像に写っている物体が何であるかを判断することができる．
- 一方この作業を計算機による自動化を実現すると，知識も経験もない計算機においては，判読のアルゴリズムを構築しなければならない．現在判読のアルゴリズムには，物質の分光反射特性を用いる方法と統計量を用いる方法とがある．本章では，分光反射特性を用いる方法について解説する．
- 光は，電磁波の一種で，あらゆる物質は電磁波を放っている．そして我々が見ているもののほとんどは，太陽や何らかの光源によって照らされているものが見えている訳である．したがって，電磁波の性質を知ることは物体の判読にとって極めて重要な位置を占める．



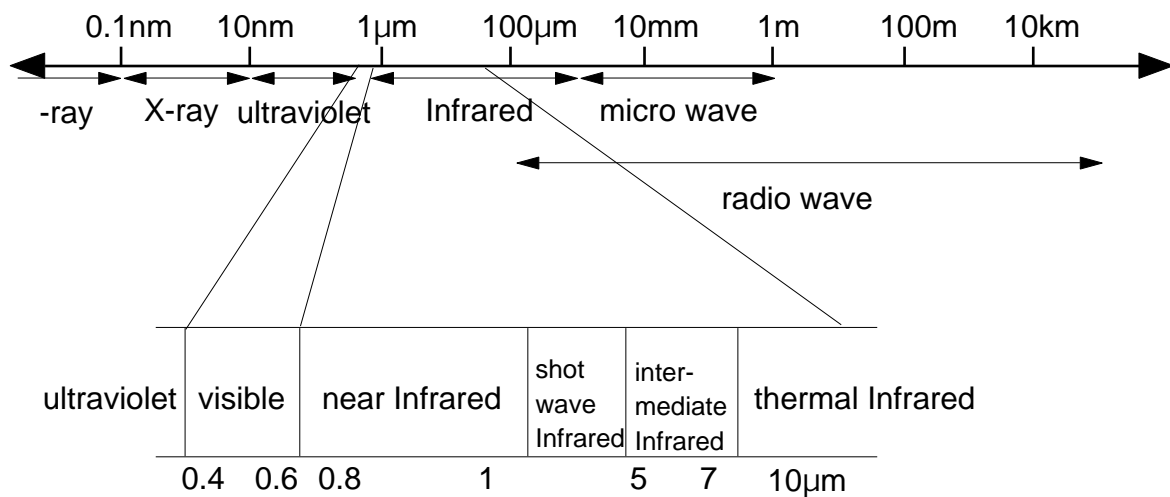
電磁波の波長帯域

1. 電磁波とは？

- 電磁波とは物質中を電磁場の振動が伝搬する現象をいう。真空中では電磁波は高速で伝搬し、電場と磁場との振動方向はどちらも進行方向と直角のめんないにあって互いに直角である。

2. 電磁波の波長帯域

- 現在までに解っている電磁波は、 $10^{-5} \sim 10^{22}$ Hzの範囲にある。短いものから順に 線、エックス線、紫外線、可視光線、赤外線、電波等と俗に呼ばれている。このうち、リモートセンシングで用いられている電磁波の波長は、紫外線の一部（ $0.3 \sim 0.4 \mu\text{m}$ ）、可視光（ $0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$ ）、赤外の一部（ $0.7 \sim 14 \mu\text{m}$ ）とマイクロ波（約 $1\text{mm} \sim 1\text{m}$ ）である。



$$E = h$$
$$C =$$

リモートセンシングの種類

1. 可視・反射赤外リモートセンシング

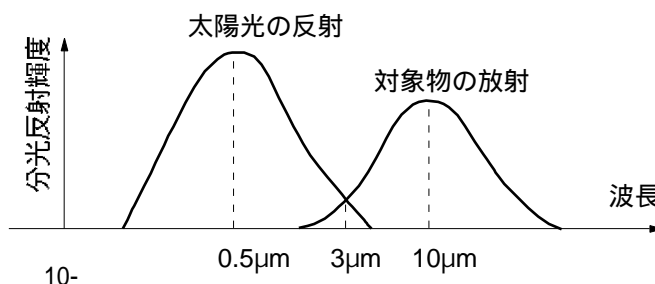
- 太陽光の反射を利用している．太陽光は $0.5\mu\text{m}$ をピークに持つ放射源である．一方物質からの放射は $10\mu\text{m}$ をピークに持つ．当然，太陽光の反射と物質の放射とが混在する部分が存在し，それらが $3\mu\text{m}$ 付近で均衡状態となっている．したがって反射赤外域は $0.7\sim 3\mu\text{m}$ の範囲とされている．この領域では，地上物質の反射特性の違いから物体の判別を行うものである．すべての物質は，それぞれ固有の性質として電磁波を反射・吸収・透過し，それ自身放射する．たとえば植物が緑に見えるのは葉中のクロロフィルが青・赤の光を吸収し緑をよく反射するからである．このように電磁波に対する物質固有の波長特性を分光特性と呼ぶ．

2. 熱赤外リモートセンシング

- 物体の放射する電磁波を検知することによって行われる．対象となる電磁波の波長域は，先に述べた反射赤外域よりも長い波長の $3\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ の範囲である．放射量は温度に依存するため熱赤外と呼ばれ，海水面温度を推定するのに利用されている．

3. マイクロ波リモートセンシング

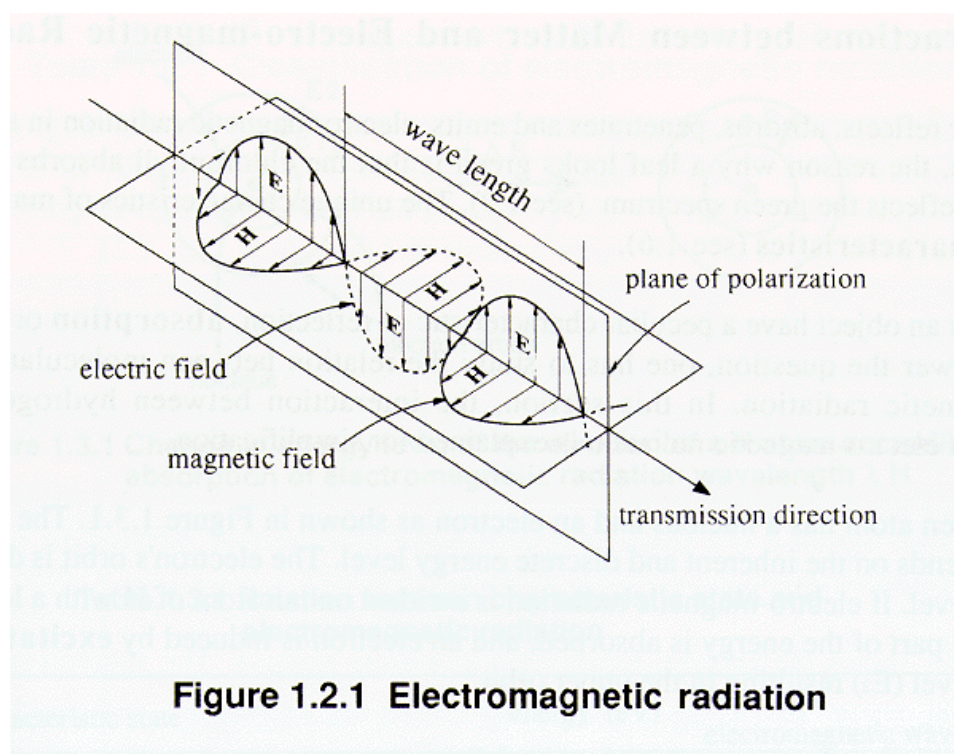
- さらに長い波長帯域を利用するものである．この領域になると物質からの放射は少なくなる．したがって，物体からの放射量を測定する受動型センサの他に，センサ自身がマイクロ波を放射し地上で散乱されて戻ってきた受信電力を測定する能動型センサがある．受動型センサは，先の熱赤外リモートセンシングと同様，対象物体の出す放射輝度を測定するが，能動型センサは，センサの出す電波の対象物体による後方散乱成分を測定する．



物質と電磁波との関り1

1. 物質と電磁波の相互作用

- 電磁波は基本的に直進する性質を持ち、電磁波を構成する電気と磁気のは進行方向に対して垂直に振動する横波である。その性質は電解と磁界を伴った横波であり、基本的には波動的性質をもつ。しかし、周波数が高いほど粒子的性質が強くなる。粒子（光子）が持つエネルギーは周波数に比例し、高周波数の電磁波はエネルギーが検出されやすくなるためである。電磁波には、周波数（または波長）、伝播方向、振幅、偏波面（偏向面）という4つの要素がある。振幅は振動する電界の強さで、振幅の2乗は電磁波で運ばれるエネルギーの大きさに比例する。



物質と電磁波との関り2

+ 大気による吸収と散乱

- 分子・原子レベルでの電磁波の吸収・散乱については既に解説した．ここでは，大気による吸収・散乱について解説する．光学式センサは，大気を透過してくる電磁波を受けているため，この現象は把握しておかねばならない．一般に，大気による吸収・散乱は，電磁波を減衰させることを意味し，消散と呼ばれる．特に消散の割合を消散係数という．
- 大気は，大きく分子とエアロゾル (aerosol) で構成されている．分子は，窒素 (N₂) ，酸素 (O₂) の他炭酸ガス (CO₂) やオゾン (O₃) ，などが該当し，粒径が小さい．一方エアロゾルは，霧や霞みなどの水蒸気，スモッグ，塵などが該当し，粒径の大きいものをさしている．これら大気中の分子やエアロゾルは，電磁波を吸収・散乱するが，波長帯によってその割合が異なる．一般に分子による散乱をレーリー (Rayleigh) 散乱，エアロゾルによる散乱をミー (Mie) 散乱と呼んでいる．

- レーリー散乱

$$k = \frac{8}{3} \frac{\pi^3}{4N} (\frac{2}{\lambda})^2 \quad 1.10$$

N : 単位体積あたりの微粒子の数， : 大気の屈折率，
 : 波長， : 大気の密度

- ミー散乱

$$k = \pi^2 K \left(\frac{2}{\lambda} \right)^2 b^2 \quad 1.11$$

b : 粒子の半径， K : 散乱断面積係数

物質の放射

1. 黒体放射

- 物質は電磁波を放射しており、特にその放射が熱に依存しているものを熱放射と呼んでいる。逆に、熱を持っている物質はすべて熱放射しているといえる。この熱放射は、通常物質ごとに放射特性を持っている。つまり、ある波長帯は放射効率が高く、ある波長帯は放射効率が低いという、選択的放射体がほとんどである。また、入射する電磁波をよく吸収するものほど、よく放射するものである。したがって完全吸収体の場合は、温度だけで放射量が一意的に決まることになる。このような物体を黒体 (black body) と呼び、黒体の熱放射を黒体放射 (black body radiation) という。つまり黒体は、入射するすべての電磁波を完全に吸収し、反射も透過もしない物質で、ある温度において、他のどの物質よりも大きい放射をするものである。また、波長 λ と温度 T にのみに依存するというキルヒホッフの熱放射法則に従うものである。

2. プランクの法則

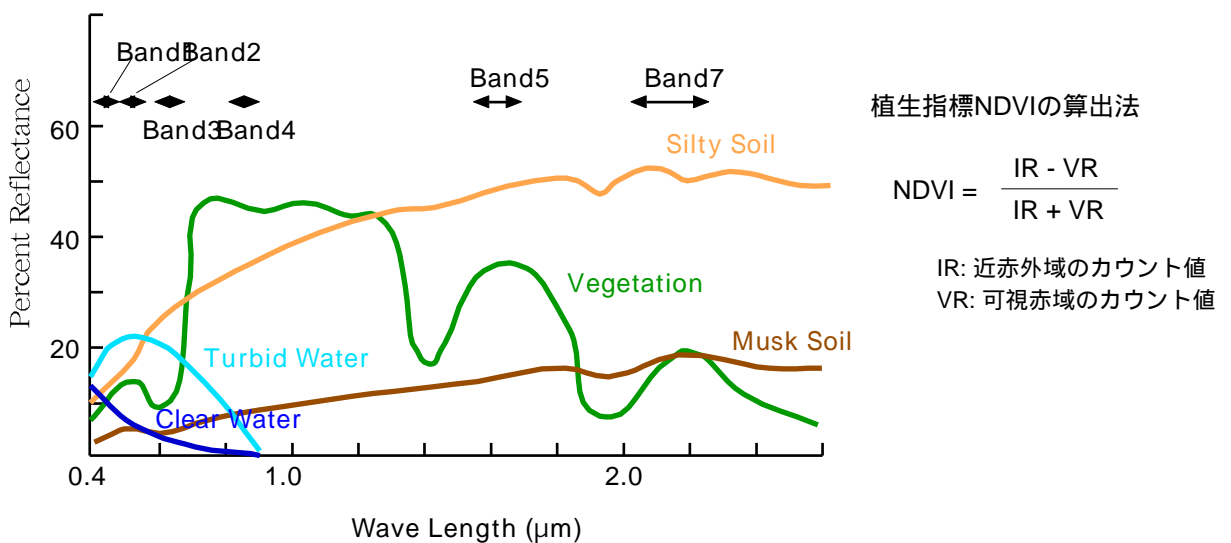
$$B = \frac{2 h^3}{C^2} \frac{1}{e^{(h/\lambda kT)} - 1} \quad 1.7$$

B : 黒体の分光放射輝度, λ : 周波数, T : 絶対温度,
 h : プランク定数, k : ボルツマン定数

地表面の反射特性

1. 分光反射特性

- 分光反射特性は一般に、波長ごとの反射率で表す。反射率は、ある面への入射光束に対する反射光束の比率であり、0から1の範囲で表現される。地表面は大まかに植物・土壌・水で構成される。図はそれらの分光反射率を表している
- 植物は近赤外の領域で最も強く反射し、可視の赤の領域の反射は非常に弱いことが解る。この特徴を利用し、センサに入射する近赤外域のカウント値と可視域のカウント値の比を用いて植生指標を算出することができる。もちろん、植物の種類に応じて分光反射率に違いは生じるが、傾向は同一である。
- 水は透明度の善し悪しに関わらず赤外域では反射しない特徴を持つ。ただし濁った水は反射率が高くなる傾向がある。
- 土壌は波長が長くなるにつれて次第に反射率が大きくなる。土壌もそれぞれ種類があり、微妙に分光反射特性は変わってくる。また構成される粘土鉱物、水分量に依存する。土壌は、それを構成する物質は単一でなく水分量によっても分光特性は極端に変わる。一般に水を含むと反射率は下がる傾向にある。水が、赤外域において電磁波を吸収する特性に依存している。したがって、状況によって分光反射特性に変化が見られ、リモートセンシングによる土壌の判別は困難を極める。



地表面の放射特性

1. 赤外領域での放射特性

- 赤外領域でも $3\mu\text{m}$ までは太陽光の反射が強いため、地表の放射を直接測定しているわけではない。したがって対象物体の熱放射を観測するには、それ以上の波長帯に的を絞らなければならない。
- 赤外領域における放射特性はプランクの法則を変形したウィーナーの法則に基づく。
- 地表・水面の温度を推定するには、この赤外放射を観測する必要がある。温度と放射計の値とは、先の放射則と放射計の分光感度特性により関係づけられ、これにより推定可能である。水面の場合は、一様な物質で構成されていると仮定できるので容易に推定できる。しかし陸域は、様々な物質で構成されており、一様な条件とは言い難いためその推定は困難を極める。

2. マイクロ波の放射特性

- マイクロ波における放射特性はプランクの法則を変形したウィーラー・ジーンズの法則に基づく。 $\lambda = 3\text{mm} \sim 30\text{mm}$ の範囲で使用できる。
- 放射率は、物体の誘電率や表面の粗さなどの物理的性質と周波数・偏波特性・入射角・方位角により変化する。図1.13は粘土・海水の放射率の入射角依存性を示している。物性・入射角・偏波方向によって放射率が異なることが解る。
- マイクロ波放射計は輝度温度を測定できるが、地表面の放射率と物理温度に依存しているため、物理温度を求める場合はその放射率と大気の吸収及び放射を考慮しなければならない。