

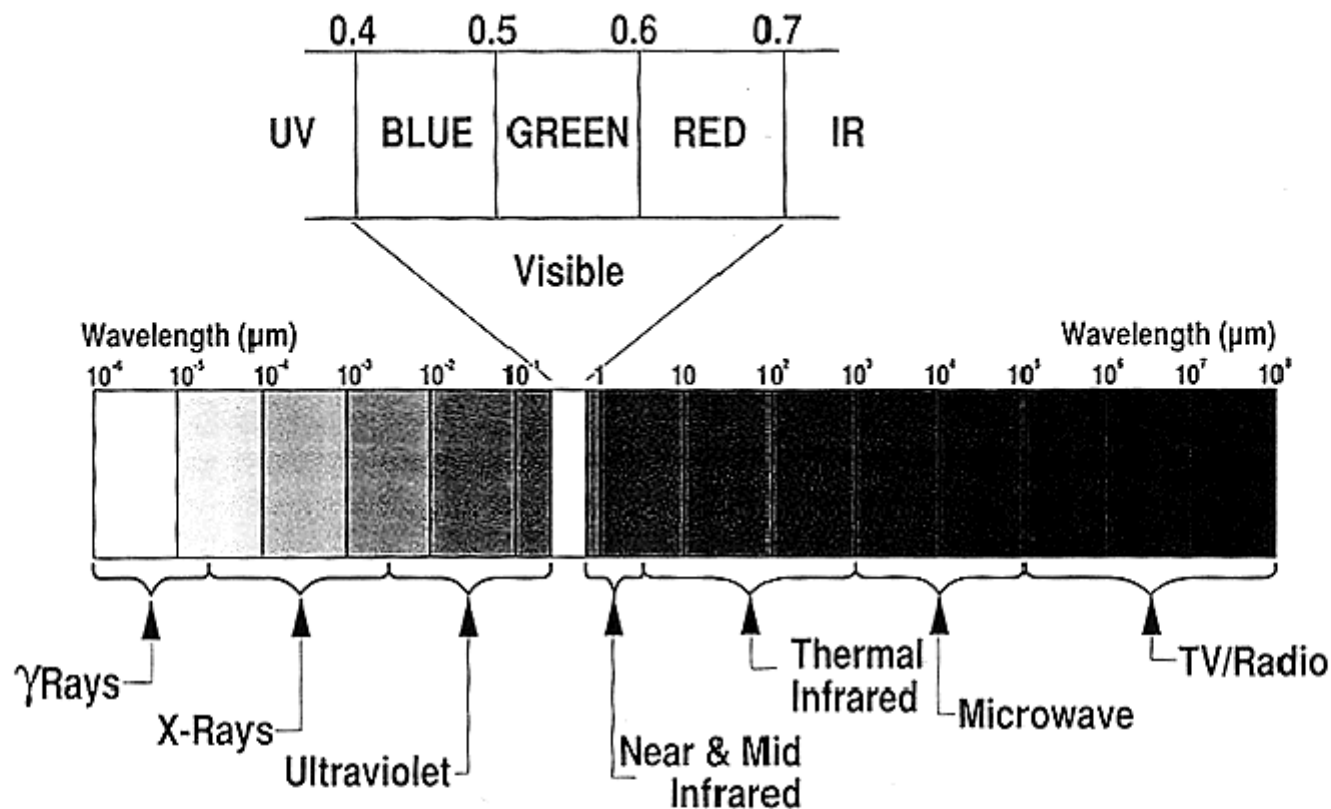
## リモートセンシングの基礎 II : 電磁波の基礎



- ・リモートセンシングでは何を計測しているのか
- ・キーワードは電磁波 光は電磁波である

電磁波の呼び方 電磁波の呼称は分野によって異なる

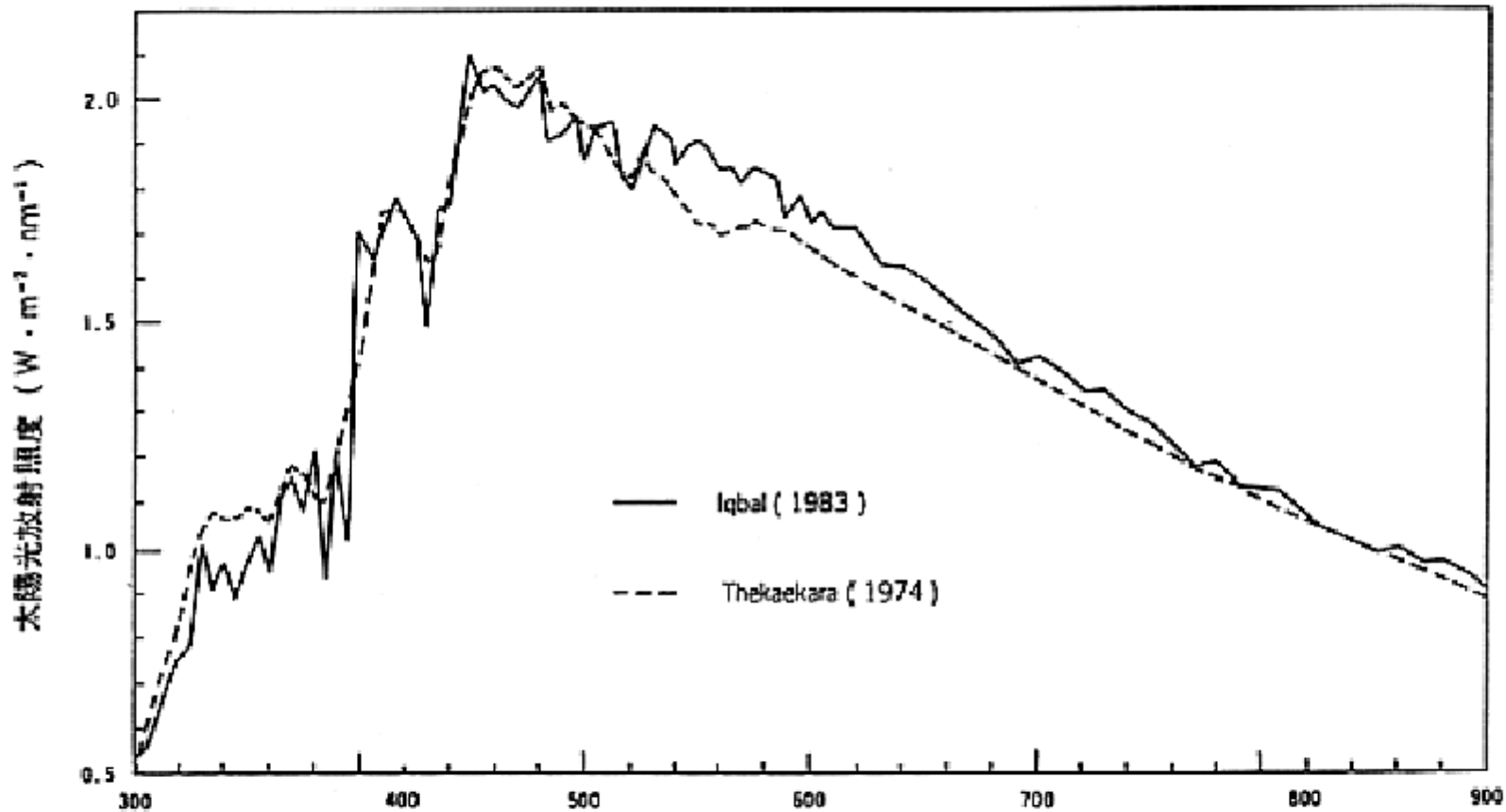
波長	0.4~0.7 $\mu\text{m}$	可視光
	0.7~1.0 $\mu\text{m}$	近赤外域(NIR)
	1.0~2.5 $\mu\text{m}$	短波長赤外域(SWIR)
	8.0~14.0 $\mu\text{m}$	熱赤外域(TIR) (地表面の温度計測に利用)
	1.5~5 $\mu\text{m}$	中間赤外域(MWIR)



- ・太陽から届いた光は**反射**される
- ・熱を持った物体は必ずエネルギーを**放射**している
- ・電波の波長の電磁波もリモートセンシングに使われる

マイクロ波の**放射**を計測する  
 マイクロ波の**散乱**を計測する... レーダー

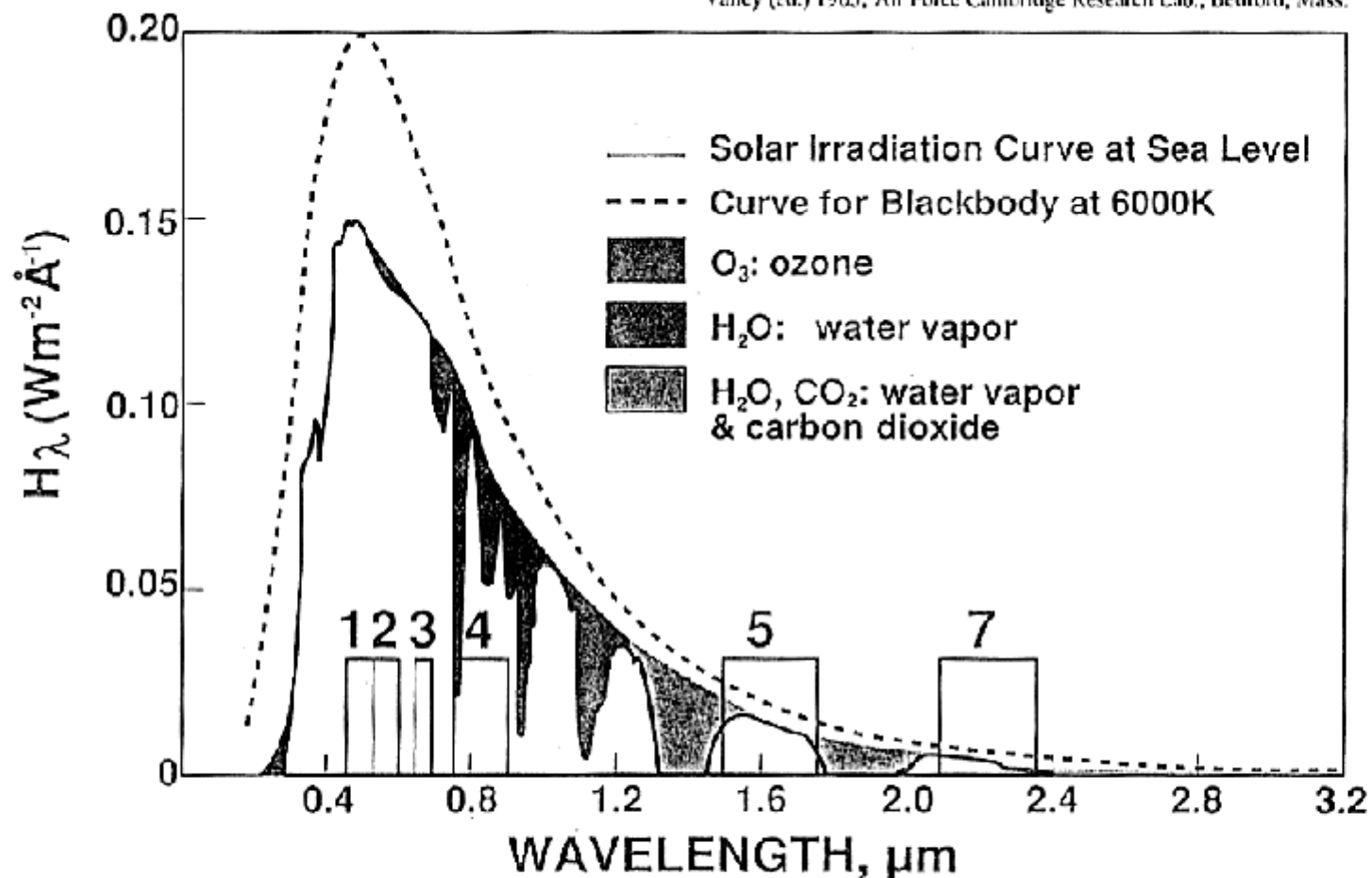
# 大気圏外における太陽光の分光放射照度



- ・太陽光のエネルギーの強さは波長によって異なる
- ・エネルギーのピークは約 $0.5 \mu m$ 付近にある
- ・エネルギーの範囲は概ね $0.3 \sim 3 \mu m$ 程度
- ・積分すると太陽定数 ( $1.37 kWm^{-2}$ )

# 地表面における太陽光の分光放射照度

Adapted from *The Handbook of Geophysics and Space Environments*.  
Valley (ed.) 1965, Air Force Cambridge Research Lab., Bedford, Mass.

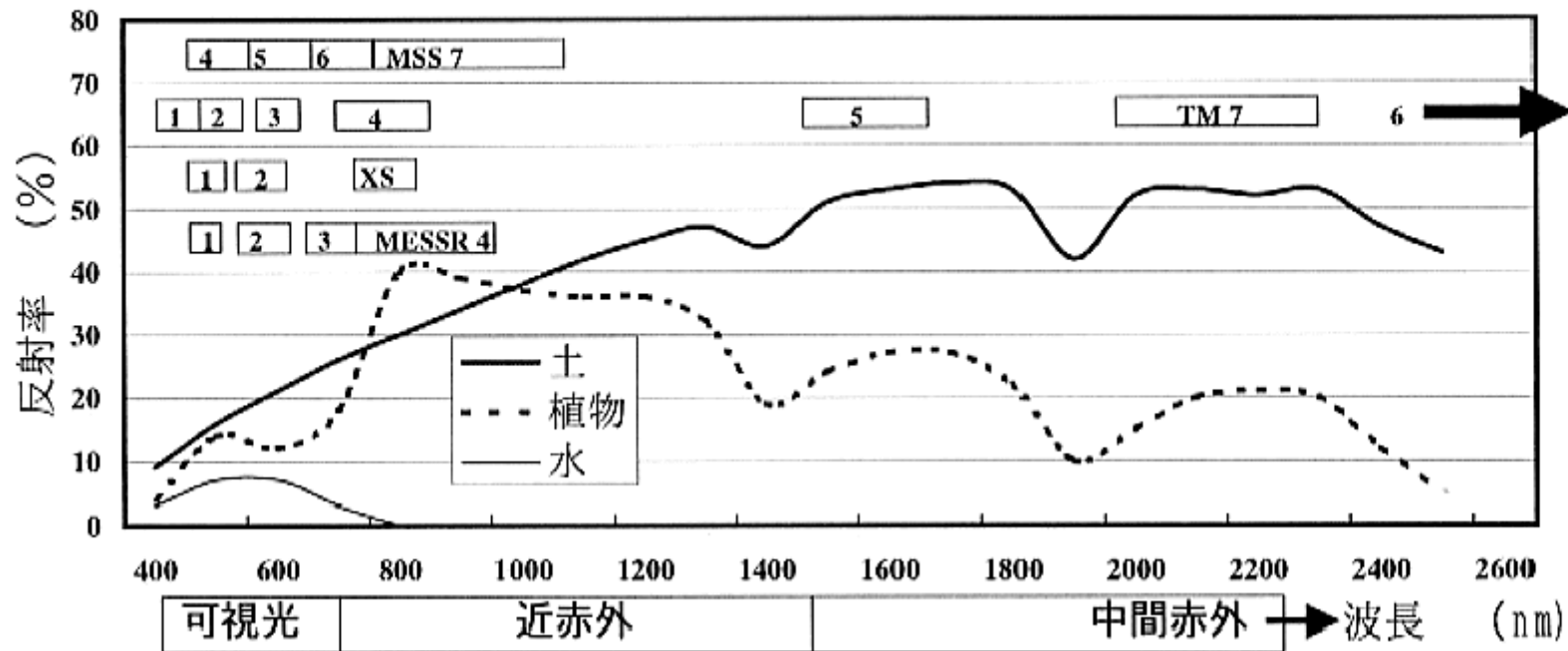


・人間の眼は太陽光の一番エネルギーの強い部分を感じるように進化してきた

・波長0.4  $\mu\text{m}$  (青) から0.7  $\mu\text{m}$  (赤) 程度の範囲を**可視光**と呼んでいる

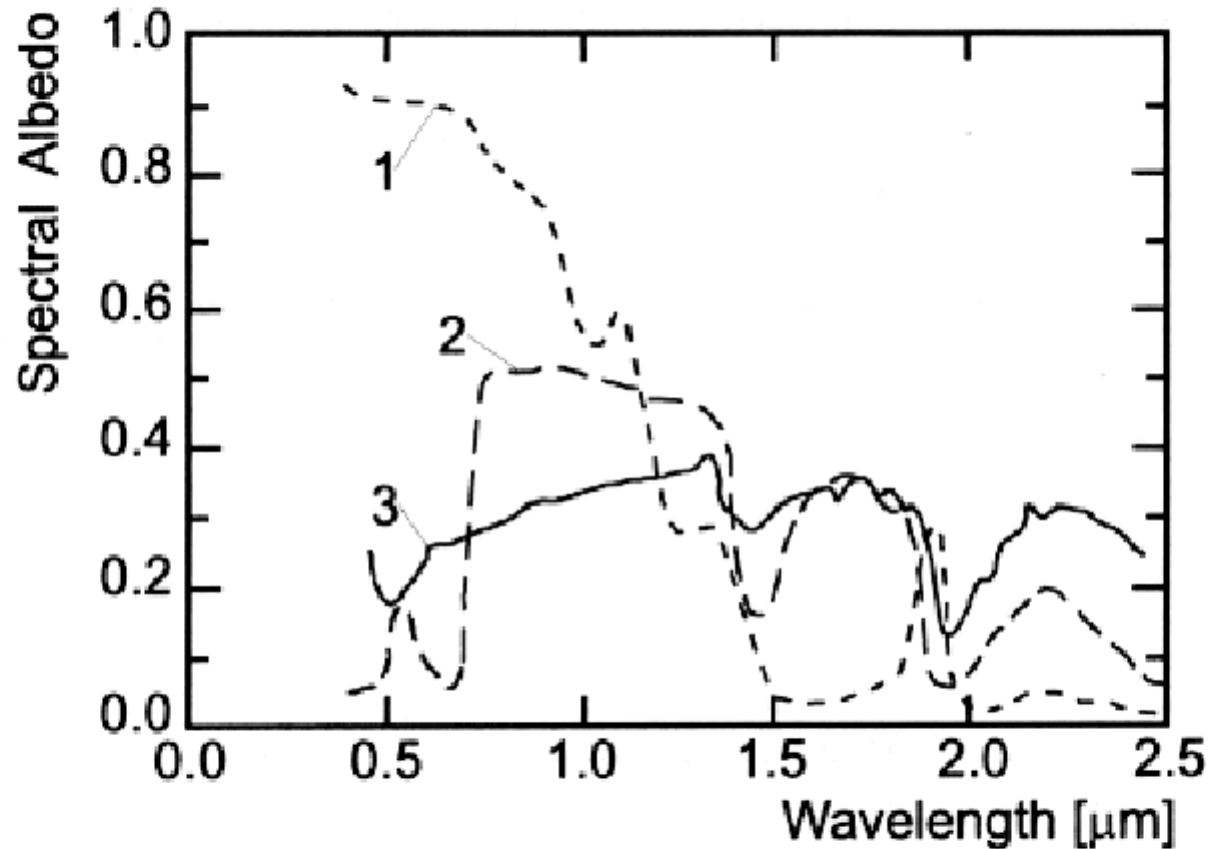
・さらに波長が長い領域は**近赤外** (0.7~1.0  $\mu\text{m}$ )、**短波長赤外** (1.0~2.5  $\mu\text{m}$ )と呼ばれる

- ・太陽から来る電磁波の波長は概ね0.3~3  $\mu\text{m}$ の範囲にあり、エネルギーのピークは0.5  $\mu\text{m}$ 付近にある
- ・大気中のオゾン、水蒸気、二酸化炭素等の吸収やエアロゾルによる散乱によって、地表面における波長ごとのエネルギー分布には多くの吸収帯が認められる



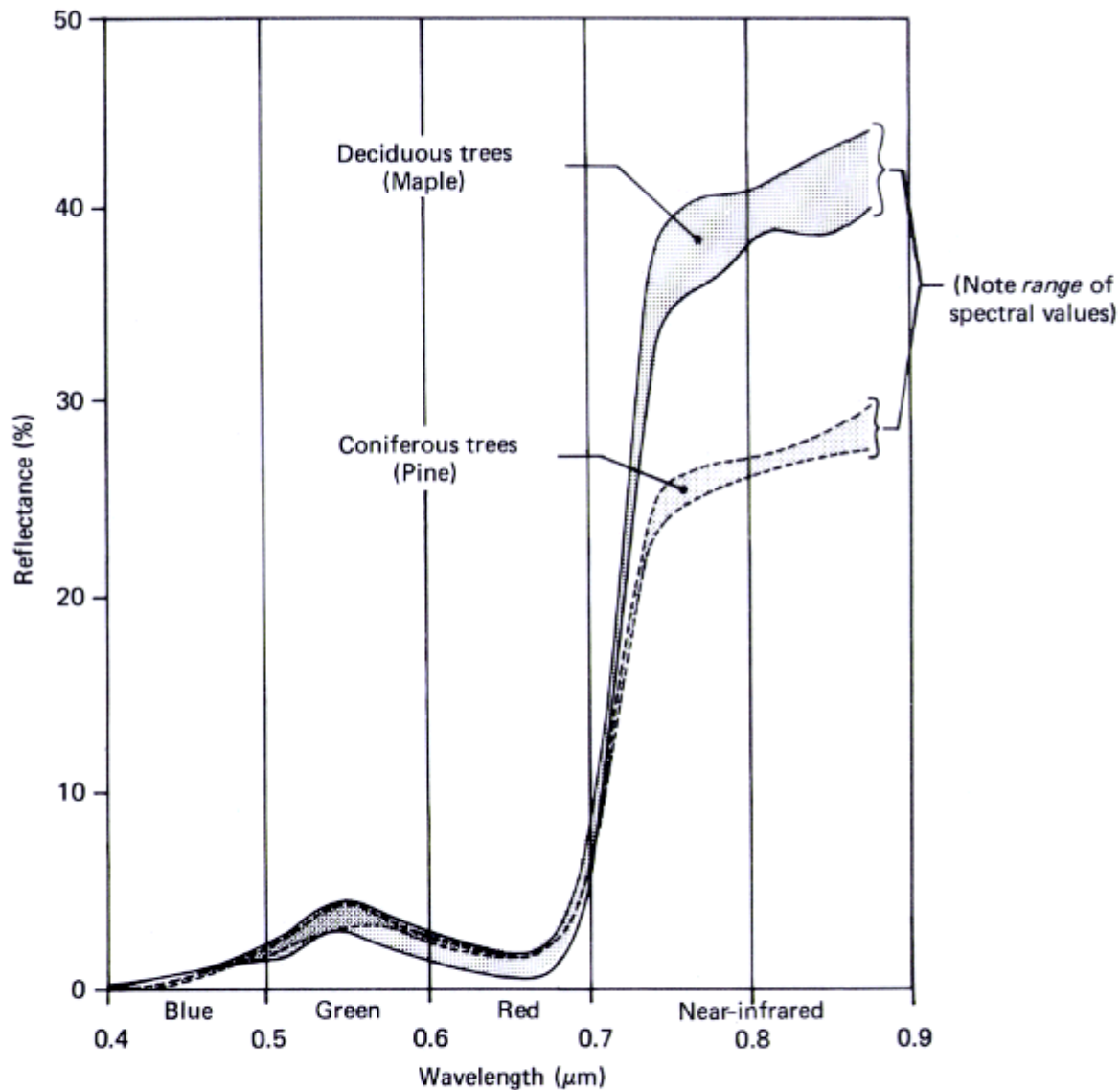
- ・地表面に到達した太陽光は反射されるが、反射率は波長によって異なる(分光反射特性)
- ・例えば、植物の葉が緑に見えるのは $0.5\mu\text{m}$ 付近に可視光の領域に反射率の極大値があるからである
- ・近赤外領域は眼には見えないが、植物の葉の反射率は極めて高い
- ・水は波長が長い電磁波を吸収する
- ・これらの性質を利用すると、宇宙から分光反射率を観測することによって、対象が何かを判別できる

# 様々な対象の分光特性



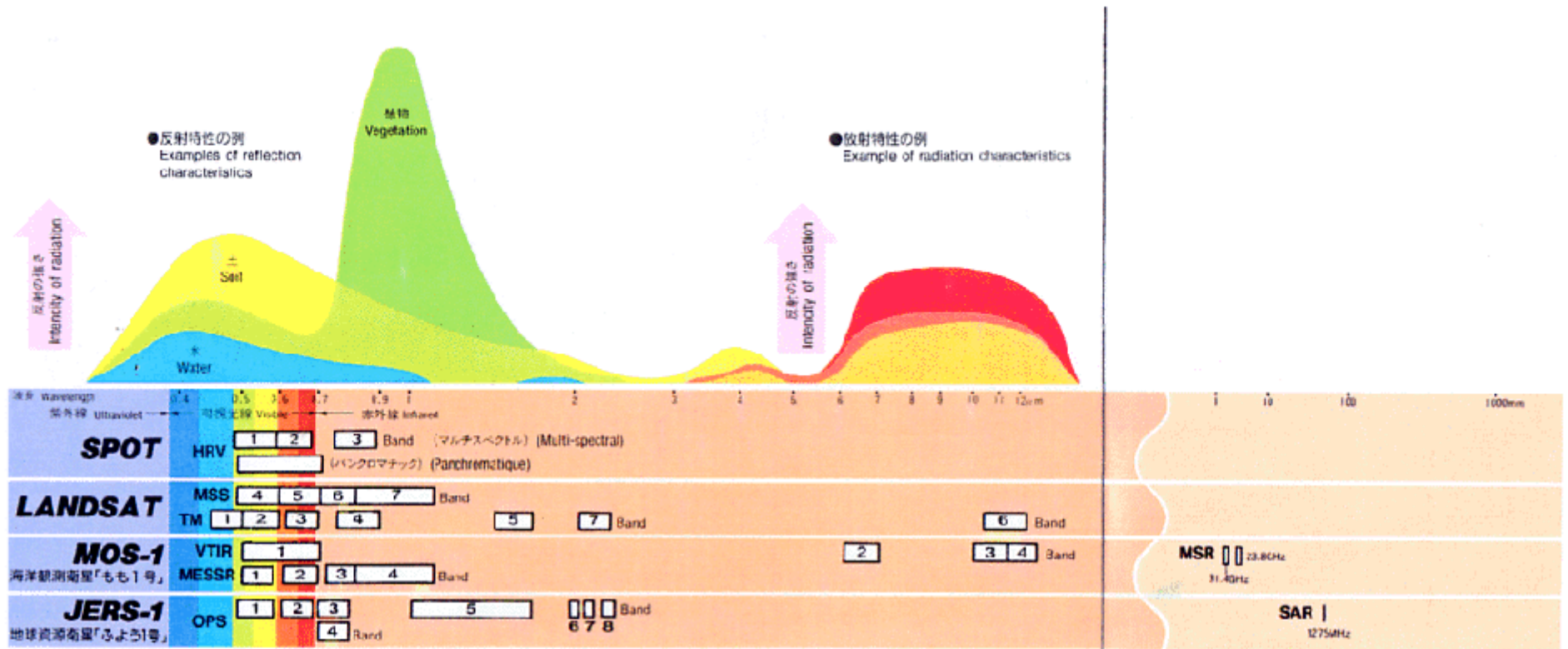
**Fig. 2.10.** Characteristic spectral reflectivity in the visible and shortwave infrared for (1) fresh snow, (2) a soybean leaf, and (3) wet clay

1. 新しい雪、 2. 大豆の葉、 3. 湿った粘土



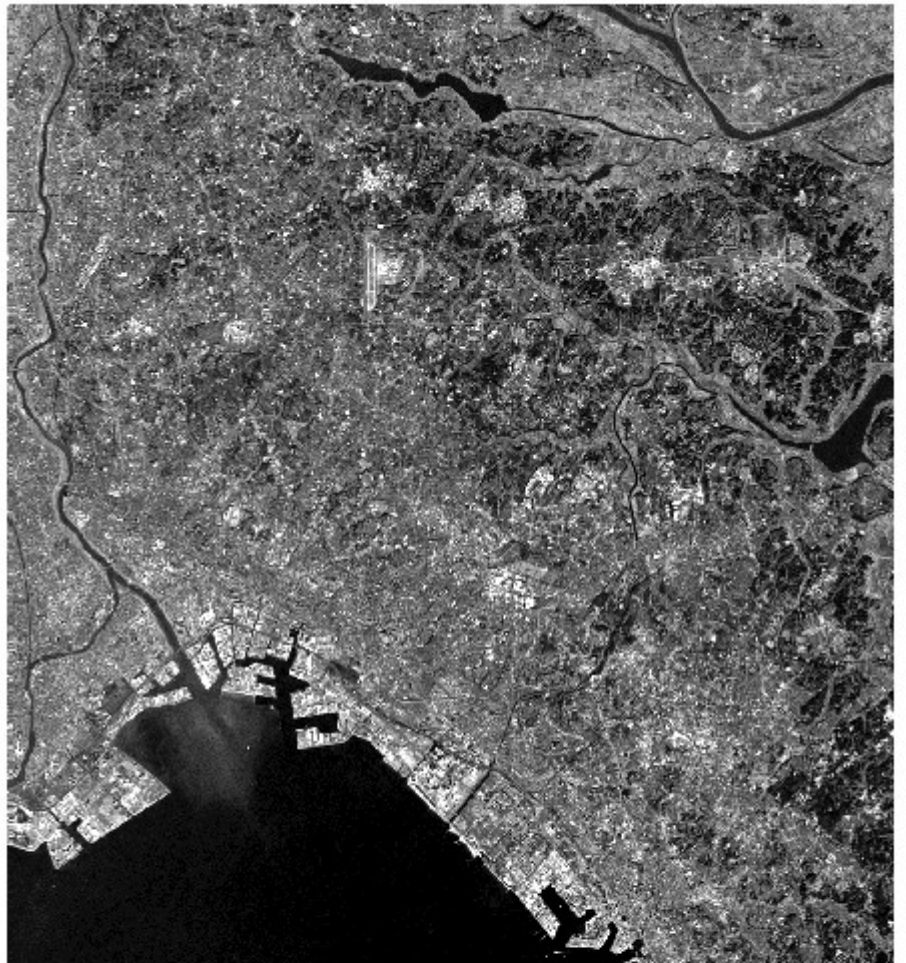
可視光の範囲では、同じような色で区別は付けがたいが、近赤外の光で見ると、カエデの方が明るい。

**Figure 1.8** Generalized spectral reflectance envelopes for deciduous (broad-leaved) and coniferous (needle-bearing) trees. (Each tree type has a range of spectral reflectance values at any wavelength.) (Adapted from [36].)



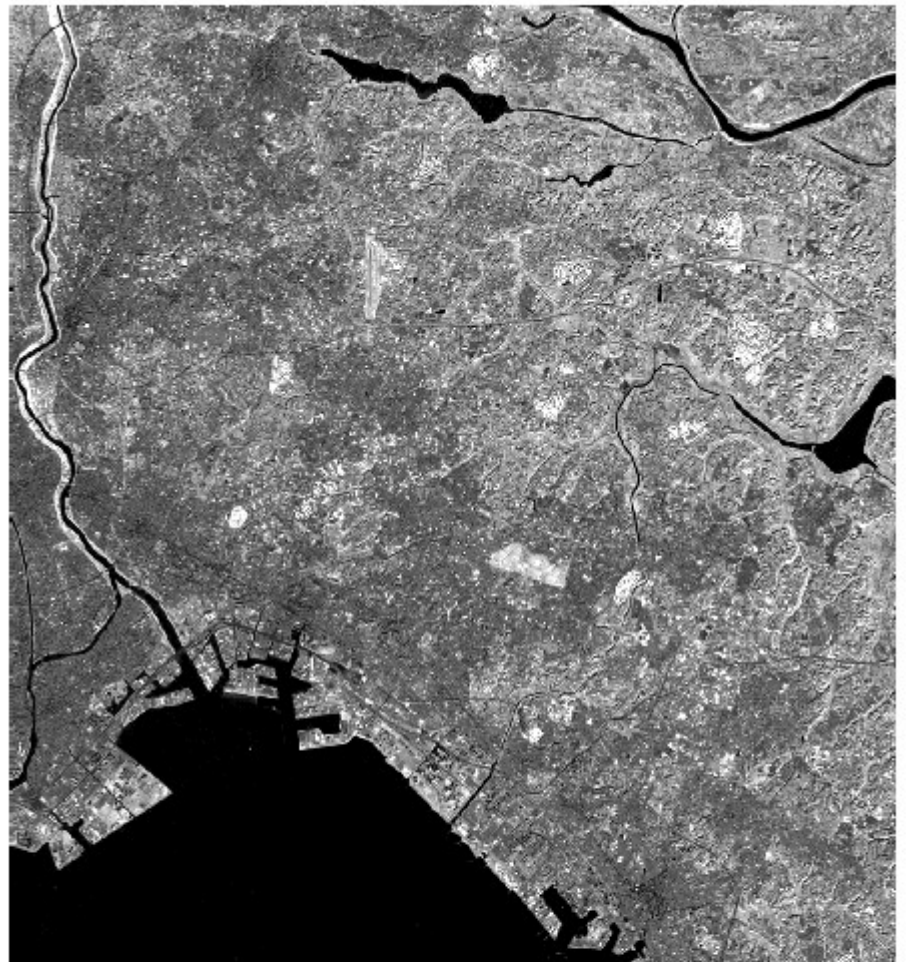
- ・人工衛星によるリモートセンシングでは、様々な対象の分光反射特性を計測しているが、すべての波長を計測しているわけではない
- ・設定された複数の波長範囲の**反射輝度**(反射された電磁波の強さ)を計測している
- ・画像データの解析では、それぞれの**バンド**の観測値をコンピューターのRGBに割り振って画像化している
- ・したがって、画像の色合いは任意に決定することができる
- ・**画像を表示してみよう**





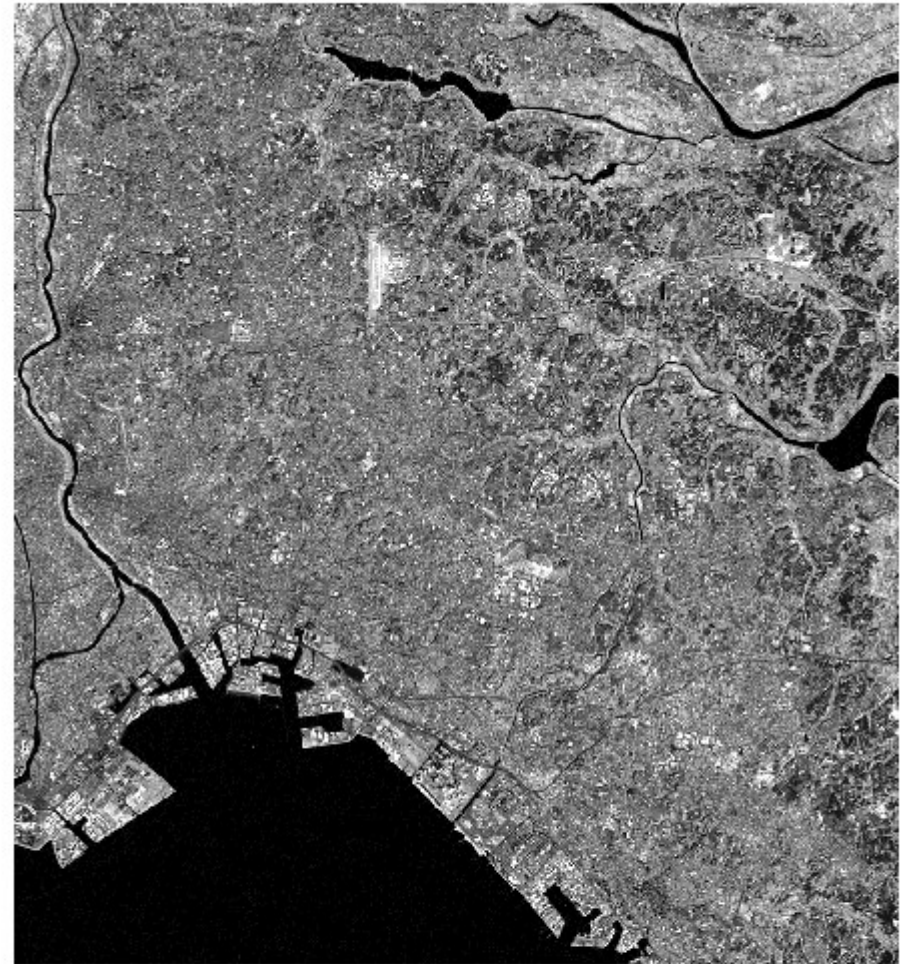
ランドサット7号ETM+によるバンド1(左)とバンド2(右)の画像

- ・可視光の青と緑の波長域なので、自然に見える
- ・水域の情報も多い



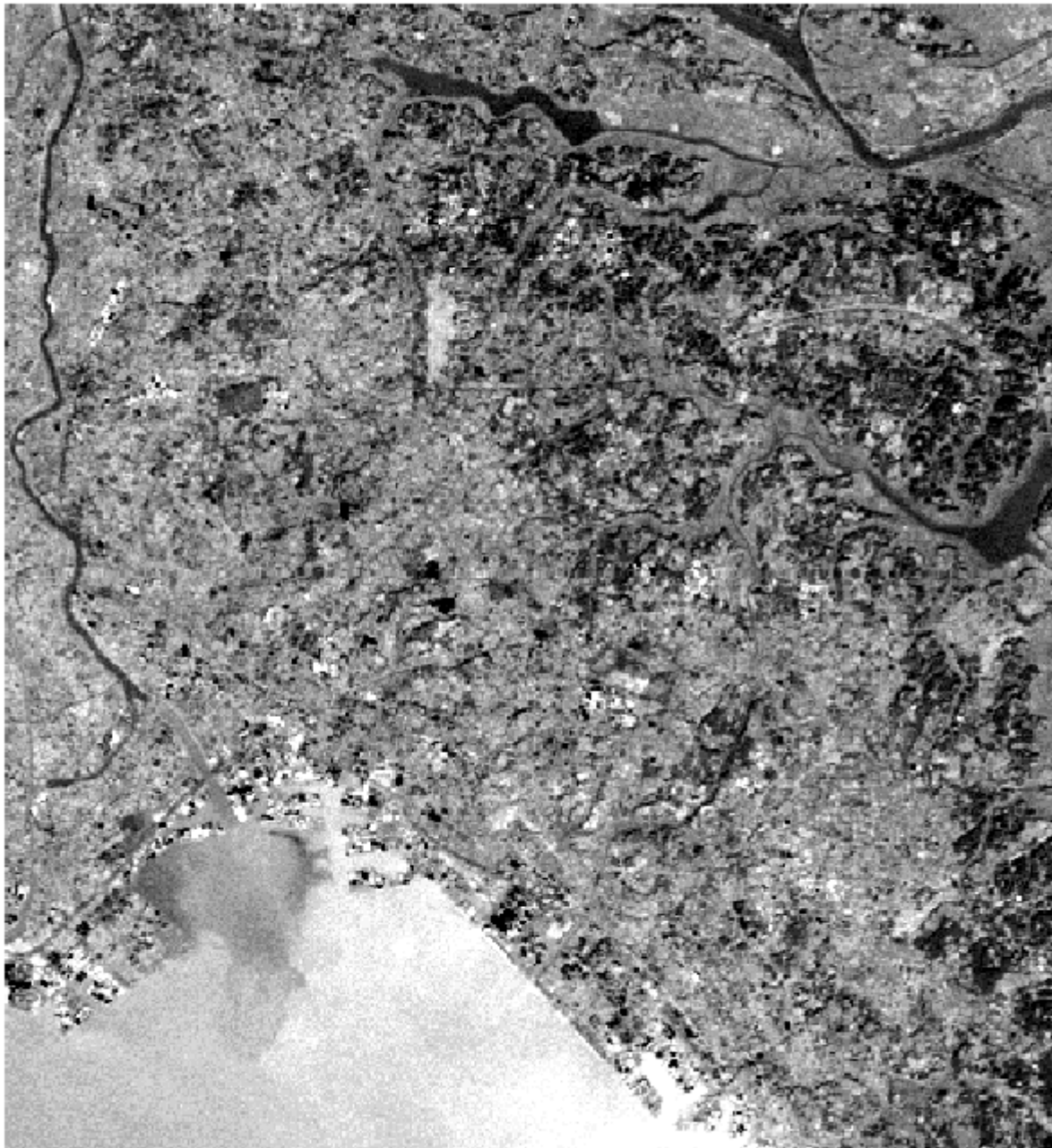
バンド3(左)とバンド4(右)の画像

・クロロフィルによる吸収帯(赤)と反射が強い波長域(近赤外)に対応



人間の眼には見えない短波長赤外のバンド

・いろいろな対象によって”見え方”が異なることに注目

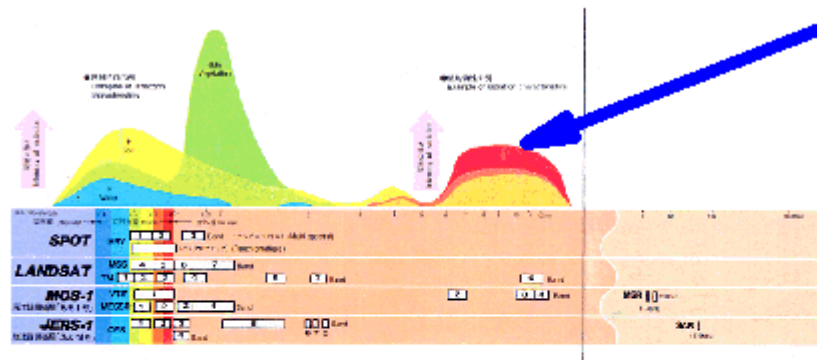


ETM+のバンド6は空間  
分解能60mの熱赤外  
バンド

その画像は相対的な  
地表面温度の高低を  
表す

左は2001年11月、すな  
わち秋の画像、明るい  
部分ほど温度が高い  
(気象衛星とは逆)

では、どうして宇宙から  
温度を計測できるのだ  
ろうか？



太陽光のエネルギーは $3\mu\text{m}$ 程度でほとんどゼロになるはずだが、波長 $10\mu\text{m}$ 付近にあるピークは何か？

## 熱放射

- ・あらゆる物体はエネルギーを放射している
- ・そのエネルギーは絶対温度の4乗に比例(シュテファン・ボルツマンの法則)

$$E = \sigma T^4$$

ここで、 $\sigma$ :シュテファン・ボルツマン定数

・ということは、物体から放射されるエネルギーがわかれば、その物体の表面温度を求めることができる

・**ウィーンの変位測**: 物体の温度が高くなるに従って、その色は波長の短い方へずれる

- ・放射量が最大となる波長  $\lambda_m$  は絶対温度  $T$  に逆比例

$$\lambda_m T = \text{定数} = 0.2898 \text{ cm} \cdot \text{deg} (\text{実測値})$$

- ・ということは、 $\lambda_m$  を測れば、その物体の温度がわかる

太陽の場合:  $\lambda_m = 0.5 \mu\text{m}$  を代入すると、 $T = 5800\text{K}$  を得る

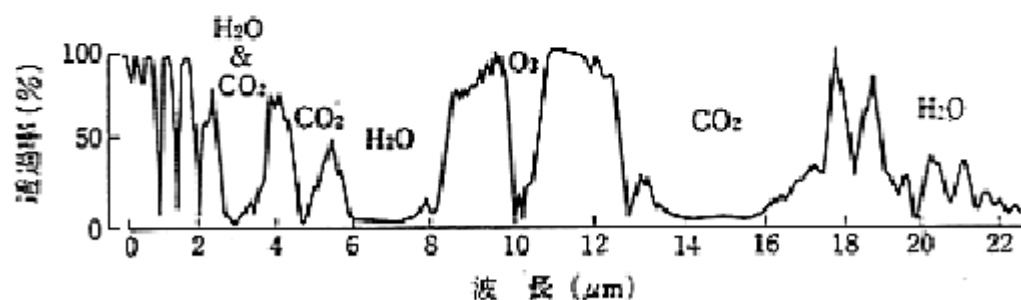
- ・また、温度がわかれば最大放射を示す波長を求めることができる

太陽の場合:  $T = 6000\text{K}$  を代入すると、 $\lambda_m = 0.5 \mu\text{m}$  を得る

常温の物体:  $T = 300\text{K}$  を代入すると、 $\lambda_m = 10 \mu\text{m}$  を得る

- ・大気の窓  $10 \mu\text{m}$  帯は大気による減衰が少ない窓領域

- ・よって、 $10 \mu\text{m}$  帯の放射を宇宙から計測すると 地表面近傍の温度が得られる



## TMの熱バンド(バンド6)の放射輝度と絶対温度の関係

TMの熱バンド(バンド6)のデータにおける放射輝度  $R$  ( $\text{mW}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$ ) と絶対温度  $T$  (K) の関係は,

$$R = 5.1292 \times 10^{-5} T^2 - 1.7651 \times 10^{-2} T + 1.6023 \quad (6-2)$$

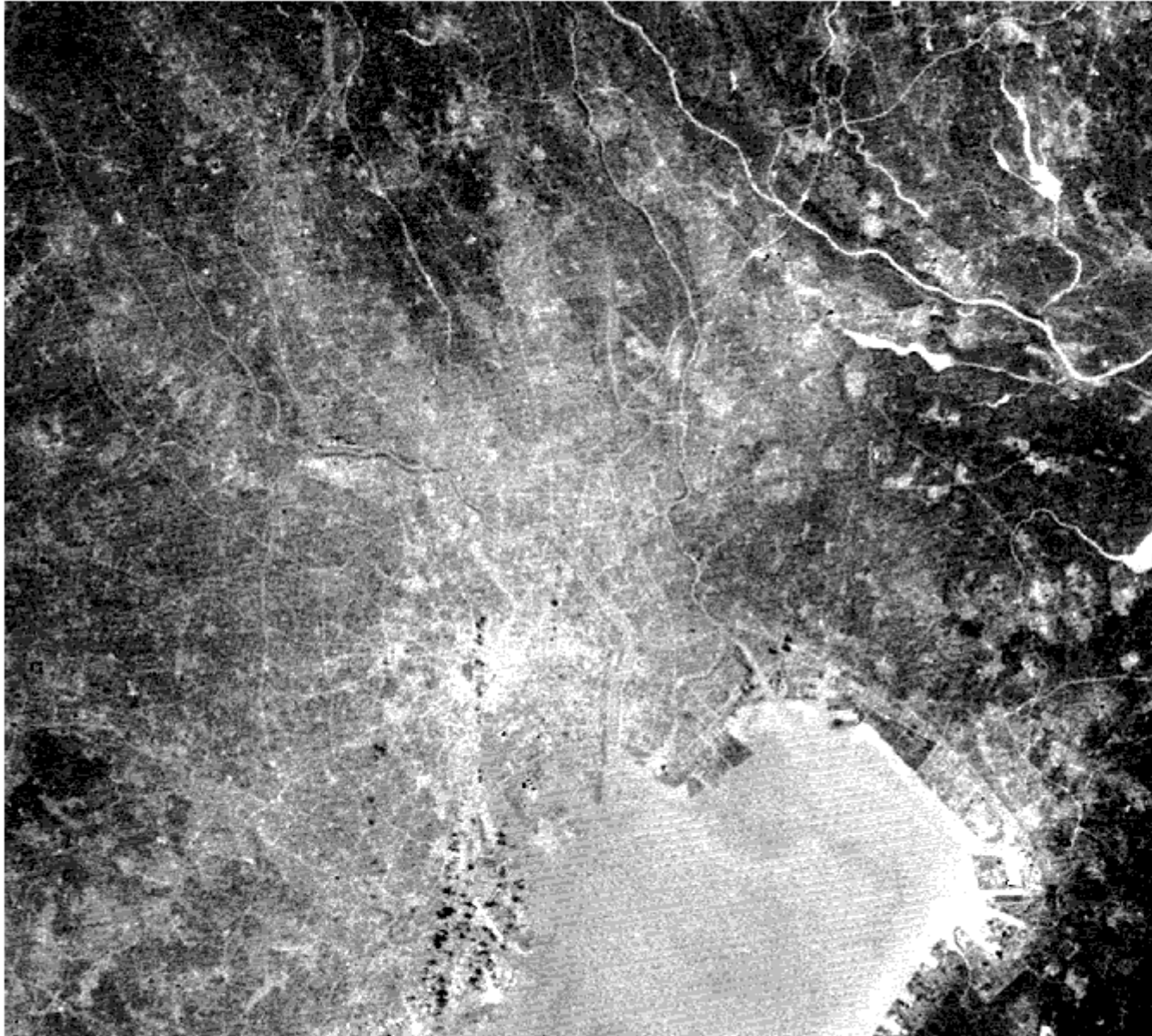
により与えられる。デジタル値0に対応する温度は 200 K, 255 に対応する温度は 340 K である。

表 6-1-2 ランドサット5号TMの最大・最小放射輝度

(単位  $\text{mW}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr}$ )

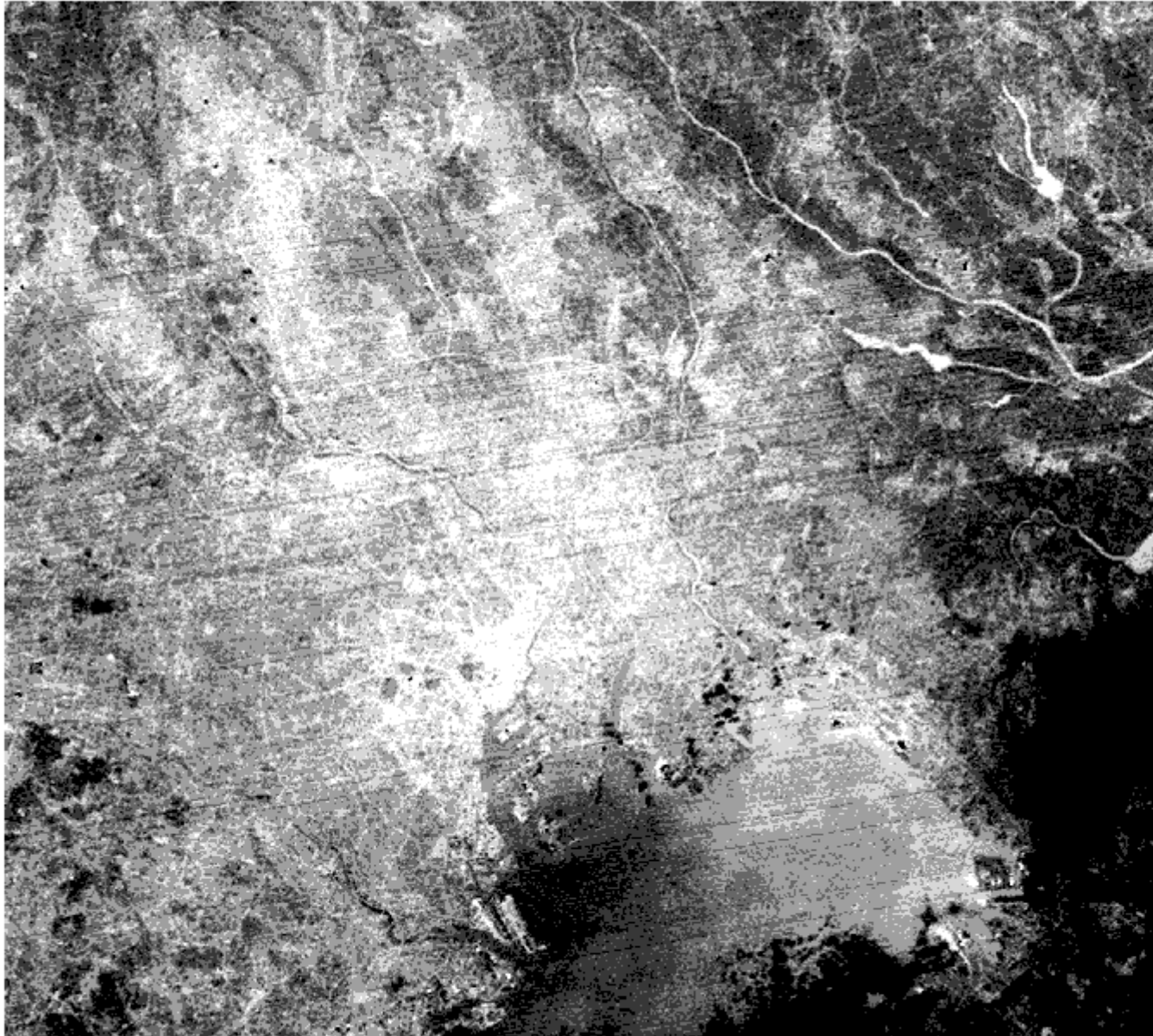
バンド	$R_{\min}$	$R_{\max}$	バンド幅 ( $\mu\text{m}$ )
1	-0.0099	1.004	0.066
2	-0.0227	2.404	0.081
3	-0.0083	1.410	0.069
4	-0.0194	2.660	0.129
5	-0.00799	0.5873	0.216
7	-0.00375	0.3595	0.250
6	0.1534	1.896	1.239

- ・ **デジタルナンバー (DN) を放射輝度に変換**
- ・ **放射輝度と絶対温度の関係は二次式**



1984年8月14日の午後9時頃(すなわち、夜間)の東京の地表面温度(観測輝度温度分布)





1994年8月10日の同  
じ範囲の温度分布

10年経つとセンサー  
の劣化もあるが、相  
対的(空間的)な温度  
分布は正しいと見て  
良いだろう

郊外で高温化が進ん  
でいる？

## 物理温度への変換

$$E = \sigma T^4$$

ここで、 $\sigma$  : シュテファン・ボルツマン定数

・物体から放射されるエネルギーがわかれば、その物体の表面温度を求めることができた

・しかし、一般の物体は完全な黒体ではないので、物質に特有の放射率を持つ。よって、

$$E = \varepsilon \sigma T^4$$

ここで、 $\varepsilon$  : 放射率 (→ 様々な物質の放射率)

・常温付近の比較的狭い温度範囲を対象とする場合は、平均的な放射率を採用して良い場合が多い

## 物理温度変換に対するその他の問題

- ・太陽光の反射
- ・大気補正

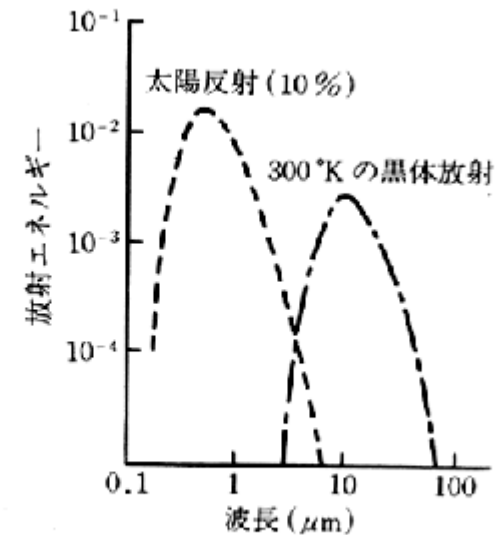


表 1.3.1 いろいろな物質の常温における赤外線放射率

物質	放射率	物質	放射率
石	0.92	枝	0.98
花こう岩	0.28~0.44	やぶ	0.98
砂利	0.28~0.44	耕作地	0.28~0.38
大理石	0.92	水	0.98
コンクリート	0.94	氷	0.98
石板	0.92	霜(柱)	0.98
赤レンガ	0.94	鏡	0.02~0.03
木材	0.78	紙	0.92
葉	0.98	繊維(各色)	0.95

## まとめ

人工衛星によるリモートセンシングは大きく、

- ・太陽光の反射を計測する可視・赤外リモートセンシング

- ・熱放射を計測する熱赤外リモートセンシング

に分けられ、さらにマイクロ波リモートセンシングでは、

- ・対象からの微弱なマイクロ波放射を計測するリモートセンシング

- ・衛星からマイクロ波パルスを放射し、散乱の強さを計測するリモートセンシング(レーダー)

に分けることができる

