

衛星リモートセンシングデータの  
地形補正・大気補正の方法論の検討

— 正規化法の紹介 —

JAXA/EORC 小野朗子

# ○ 地上観測データと人工衛星データの比較

## ◆ 地上観測データ（分光放射計データ）：

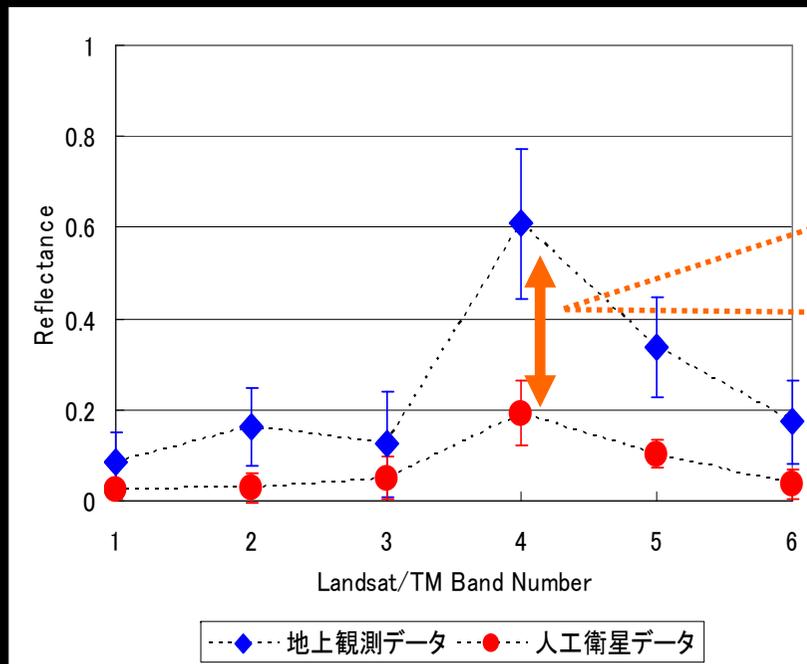
1997年4月19日 地上（屋外）にて82サンプルの樹木の葉を分光放射計 Field Spec FR で計測した平均反射率データ

## ● 人工衛星データ（Landsat/TM データ）：

1997年4月19日 人工衛星 Landsat/TM にて観測された森林植生域の反射率データ



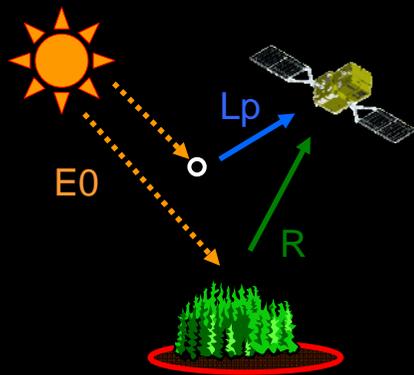
## ▽ オリジナルデータ（正規化前）



地表の傾斜  
日射量  
入射角  
反射角  
標高  
大気効果

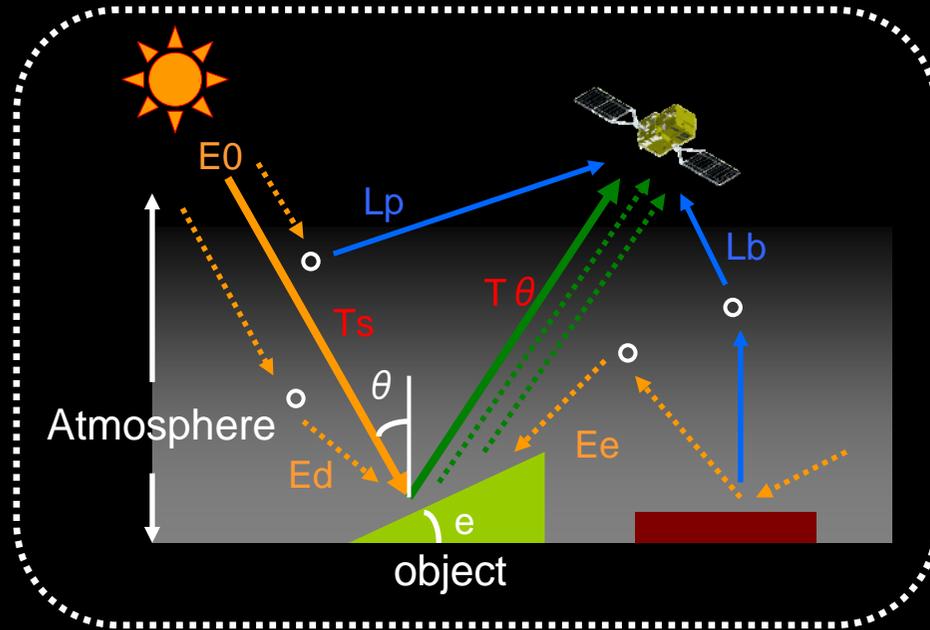
.... の影響

# ○ 人工衛星データで観測される見かけの反射率



E0: direct solar irradiance  
 R: object reflectance  
 Lp: path radiance  
 re : apparent reflectance

$$re = (R - Lp) / E0$$



$$re^{(i)} = Ts^{(i)}(z) \cdot T\theta^{(i)}(z) \cdot \cos \beta \cdot R^{(i)}(x, y)$$

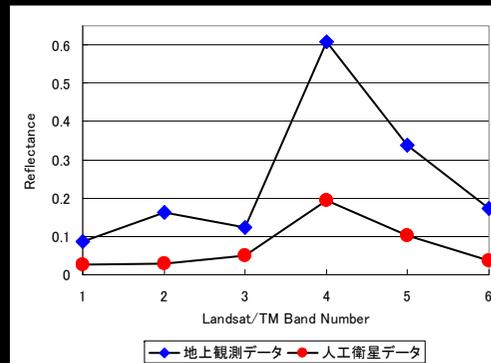
Ts: transmittance  
 from the object to satellite sensor  
 Tθ : transmittance  
 from sun to the object  
 R: object reflectance  
 z: altitude of the surface object  
 β : solar incident angle  
 cos β : factor of the topographic effect  
 (x, y): pixel point  
 i: band number

# ◆ 1. 研究の背景

同じ地表被覆物に対する反射量:

地表の傾斜, 日射量, 入射角, 反射角,  
標高, 大気効果などの影響大

反射スペクトル



大きさ  
↓  
変動大

×

形状  
↓  
変形小  
↓  
ほぼ相似形



スペクトル  
形状の  
相似性

## ◆ 1. 研究の背景

同じ地表被覆物に対する反射量:

地表の傾斜, 日射量, 入射角, 反射角,  
標高, 大気効果などの影響大

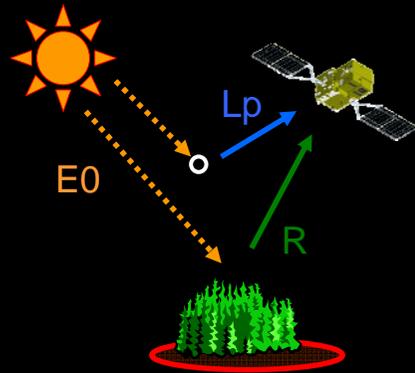


スペクトル形状の相似性に着目



反射スペクトルのバンド和平均で  
正規化する手法(**正規化法**)を開発

## ◆ 2. 正規化法の算出方法



path radiance の補正

標高0mにおける Rayleigh 散乱の寄与分

$$re = \frac{(R - Lp)}{E0}$$

E0: direct solar irradiance  
R: object reflectance  
Lp: path radiance  
re : apparent reflectance

正規化法 [小野, 2002]

$$Re(i) = \frac{re(i)}{1/N \cdot \sum_{j=1}^N re(j)}$$

re: apparent reflectance  
Re: normalized reflectance  
N: the number of channels  
i: channel number

スペクトル形状の相似性に着目

# ○ 地上観測データと人工衛星データの比較

## ◆ 地上観測データ（分光放射計データ）：

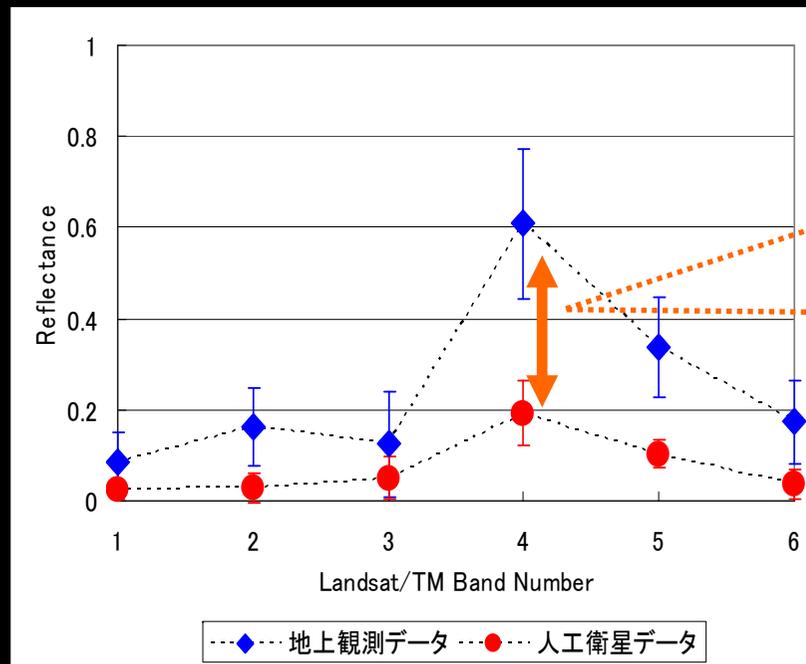
1997年4月19日 地上（屋外）にて82サンプルの樹木の葉を分光放射計 Field Spec FR で計測した平均反射率データ

## ● 人工衛星データ（Landsat/TM データ）：

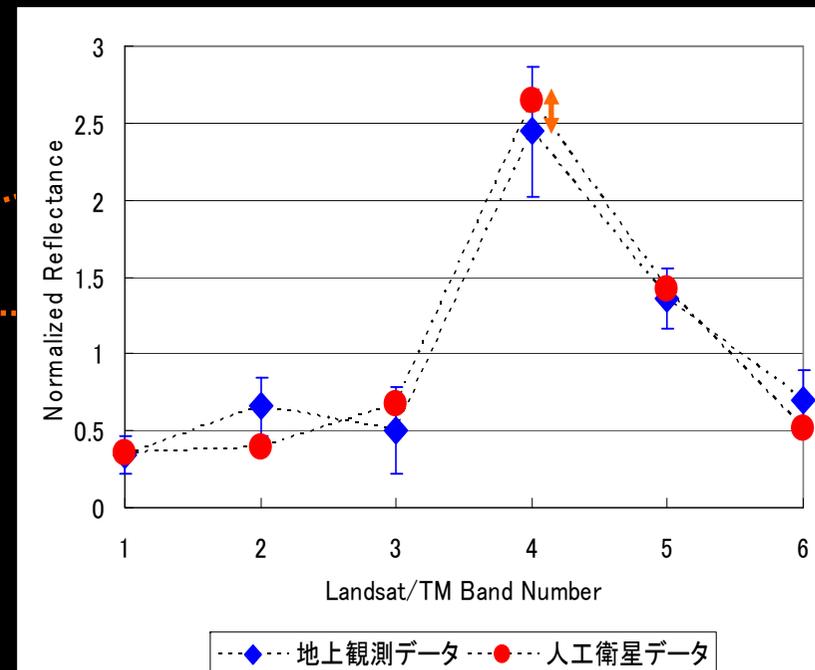
1997年4月19日 人工衛星 Landsat/TM にて観測された森林植生域の反射率データ

同期  
観測

### ▽ オリジナルデータ（正規化前）



### ▽ 正規化後のデータ



### ◆ 3. 正規化法の効果

正規化法:

- 地形効果の抑制
- 大気効果の抑制
- カゲ(山陰, 雲の影)の抑制 に有効

# ◆ 3. 正規化法の効果

## ◇ 3.1. 地形効果の抑制

### ○ 奈良県大峰山系 (1985/8/24)

▽ False color  
(TM Bands (5, 4, 3))



370 × 400 pixels

▽ 正規化前反射率 NIR (TM Band 4)



▽ 正規化反射率 NIR (TM Band 4)



$$Re(4) = \frac{re(4)}{1/6 \cdot \sum_{j=1}^6 re(j)}$$

# ◆ 3. 正規化法の効果

## ◇ 3.1. 地形効果の抑制

### ○ 奈良県大峰山系 (1985/8/24)

▽ False color  
(TM Bands (5, 4, 3))



370 × 400 pixels

$$Re(4) = \frac{re(4)}{1/6 \cdot \sum_{j=1}^6 re(j)}$$

▽ 正規化反射率 NIR (TM Band 4)



▽ 正規化植生指数 NDVI

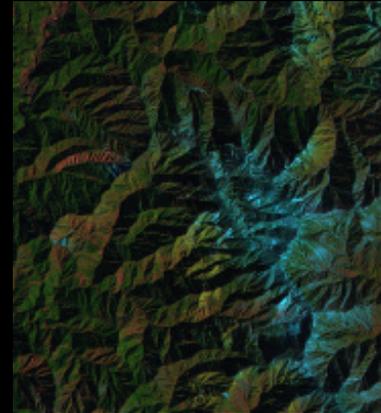
$$NDVI = \frac{re(4) - re(3)}{re(4) + re(3)}$$



# ◇ 3.1. 地形効果の抑制 — 奈良県大峰山系 —

▼ 1985/8/24 [ EL: 54 ] ▼ 1988/2/22 [ EL: 34 ] ▼ 1997/3/18 [ EL: 44 ]

▽ False color  
(TM Bands (5, 4, 3))



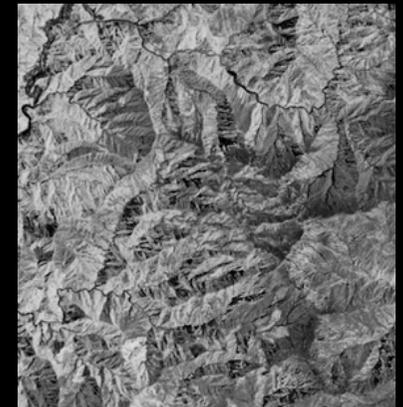
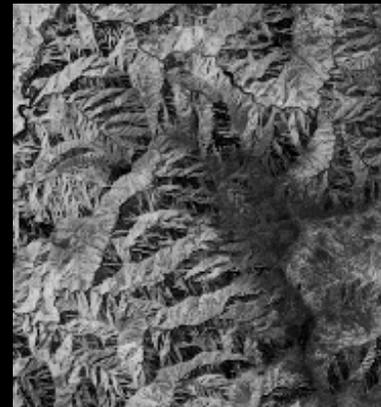
▽ 正規化反射率 NIR  
(TM Band 4)

$$\text{Re}(4) = \frac{\text{re}(4)}{1/6 \cdot \sum_{j=1}^6 \text{re}(j)}$$

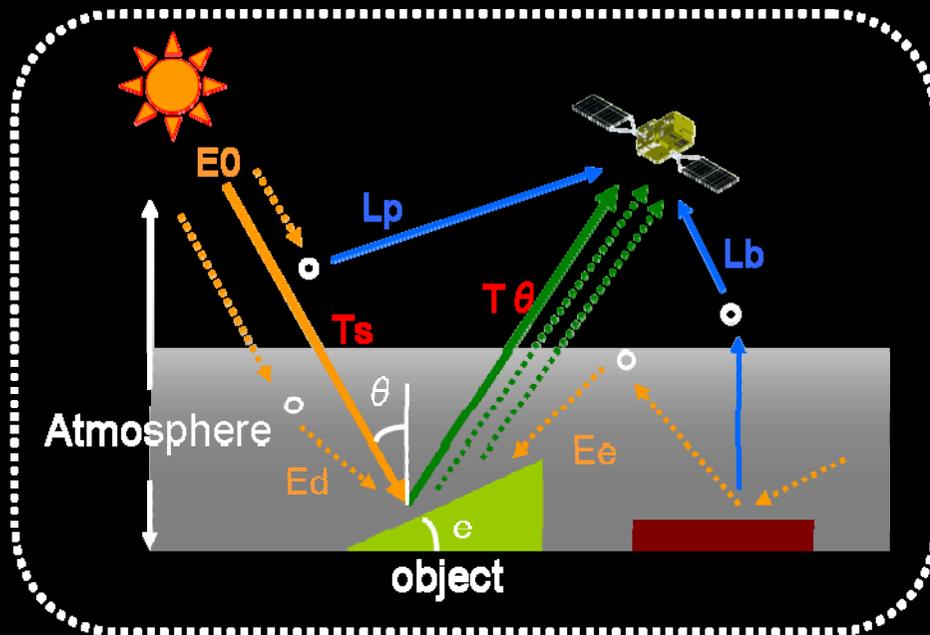


▽ 正規化植生指数  
NDVI

$$\text{NDVI} = \frac{\text{re}(4) - \text{re}(3)}{\text{re}(4) + \text{re}(3)}$$



# ○ 正規化法の理論



$$re^{(i)} = Ts^{(i)}(z) \cdot T\theta^{(i)}(z) \cdot \cos \beta \cdot R^{(i)}(x, y)$$

Ts: transmittance  
 from the object to satellite sensor  
 T $\theta$ : transmittance  
 from sun to the object  
 R: object reflectance  
 z: altitude of the surface object  
 $\beta$ : solar incident angle  
 $\cos \beta$ : factor of the topographic effect  
 $\cos \beta = \cos \theta \cdot \cos e + \sin \theta \cdot \sin e \cdot \cos(\phi - A)$   
 $\phi$ : dip azimuth angle on the surface point  
 (x, y): pixel point  
 i: band number

Normalized reflectance (Re):

$$\begin{aligned}
 Re^{(i)} &= \frac{Ts^{(i)}(z) \cdot T\theta^{(i)}(z) \cdot \cancel{\cos \beta} \cdot R^{(i)}(x, y)}{1/6 \cdot \cancel{\cos \beta} \cdot \sum_{j=1}^6 Ts^{(j)}(z) \cdot T\theta^{(j)}(z) \cdot R^{(j)}(x, y)} \\
 &= \frac{Ts^{(i)}(z) \cdot T\theta^{(i)}(z) \cdot R^{(i)}(x, y)}{1/6 \cdot \sum_{j=1}^6 Ts^{(j)}(z) \cdot T\theta^{(j)}(z) \cdot R^{(j)}(x, y)}
 \end{aligned}$$

# ◆ 3. 正規化法の効果

## ◇ 3.1. 地形効果の抑制

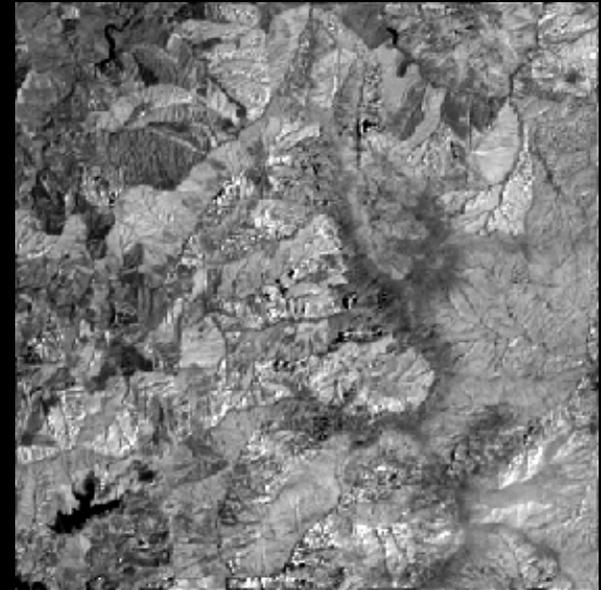
○ 奈良県大峰山系 (1985/8/24)

▽ False color  
(TM Bands (5, 4, 3))

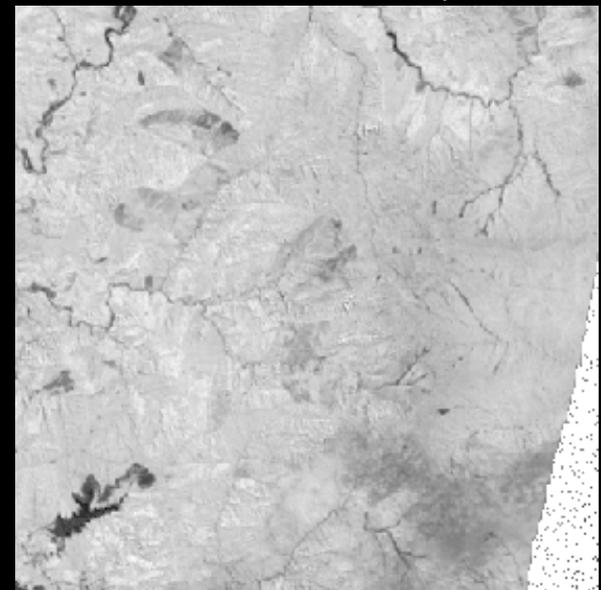


370 × 400 pixels

▽ コサイン補正法 [飯倉, 1999]  
- DEM 補正 - (TM Band 4)



▽ 正規化反射率 NIR (TM Band 4)



$$Re(4) = \frac{re(4)}{1/6 \cdot \sum_{j=1}^6 re(j)}$$

# ◆ 3. 正規化法の効果

## ◇ 3.1. 地形効果の抑制

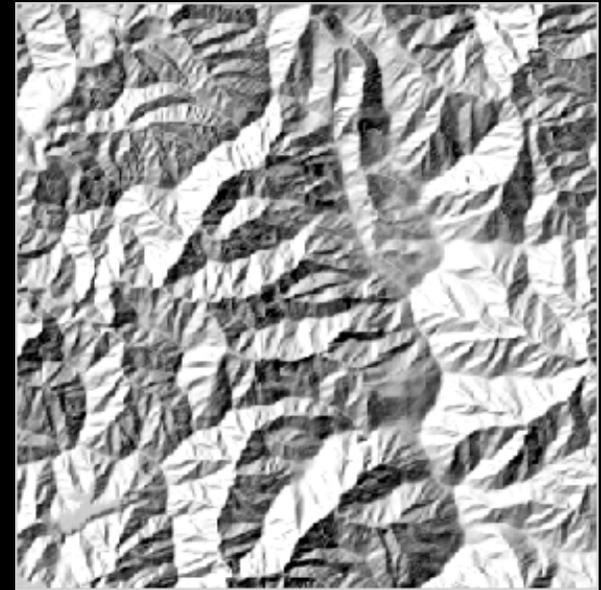
○ 奈良県大峰山系 (1985/8/24)

▽ False color  
(TM Bands (5, 4, 3))



370 × 400 pixels

▽ DEM (数値標高モデル:  
Digital Elevation Model)



▽ 6バンドの総和



$$\sum_{j=1}^6 re(j)$$

# ◇ 3.1. 地形効果の抑制 — 他の地形補正法との比較 —

▽ 正規化反射率 NIR  
(TM Band 4)



▽ 正規化植生指数 NDVI

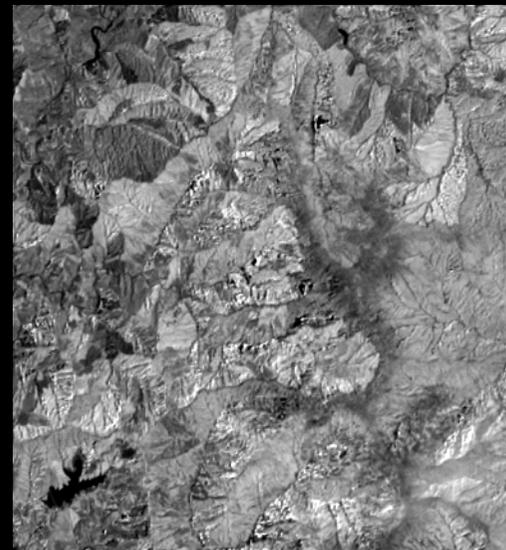


▽ False color  
(TM Bands (5, 4, 3))



Area: 奈良県大峰山系  
Date: 1985/8/24

▽ コサイン補正法 [飯倉, 1999]  
- DEM 補正 - (TM Band 4)



▽ Log Residual 法  
(TM Band 4) [Green, 1985]



# ◆ 3. 正規化法の効果

## ◇ 3.2. 大気効果の抑制

□ 放射伝達モデル (6S) [Vermote et al. 1997]

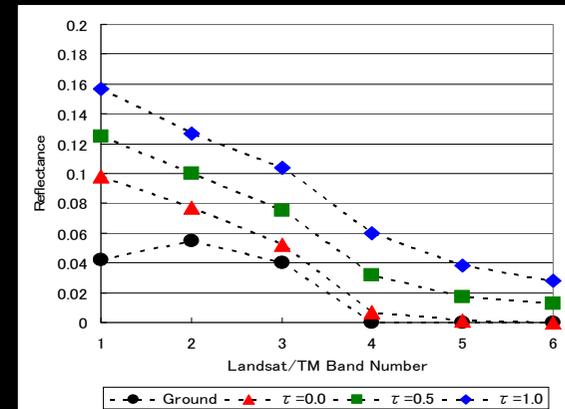
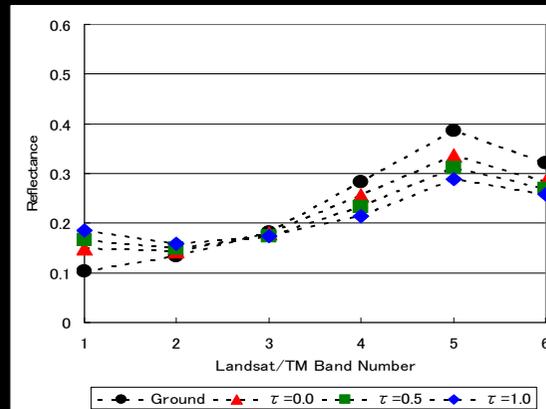
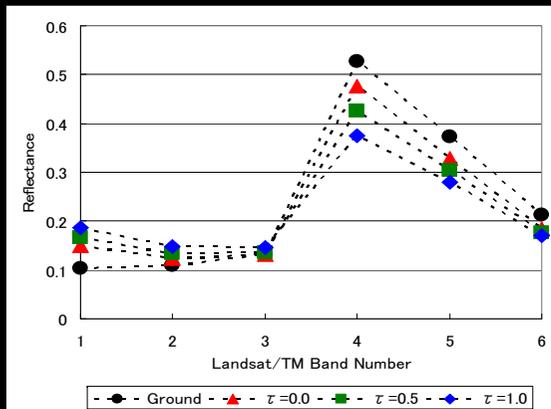
- ・ 中緯度の夏の大气モデル
- ・ 植生, 土壤: 大陸型, 水: 海洋型のエアロゾル
- ・ 太陽天頂角: 40.80度, 太陽方位角: 114.70度
- ・ エアロゾルの光学的厚さ  $\tau_{(550\text{nm})}$ : **0.0**, **0.5**, **1.0**

▽ 植生

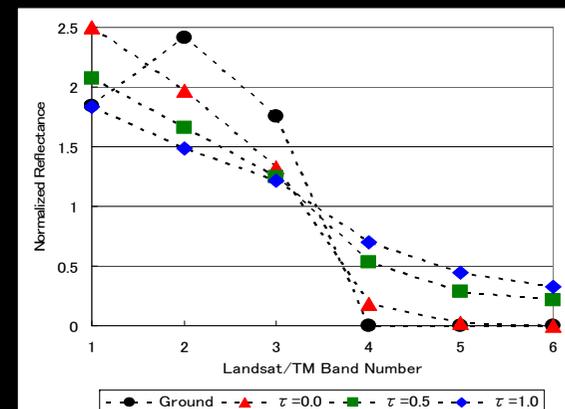
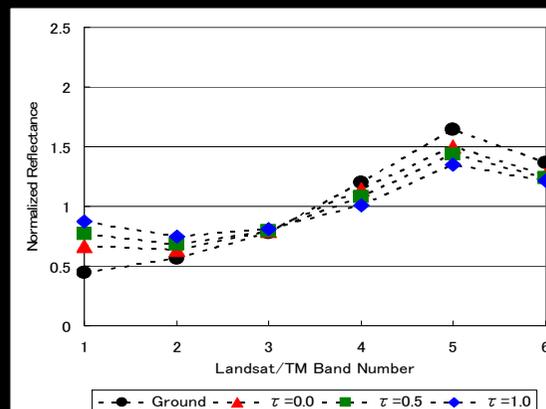
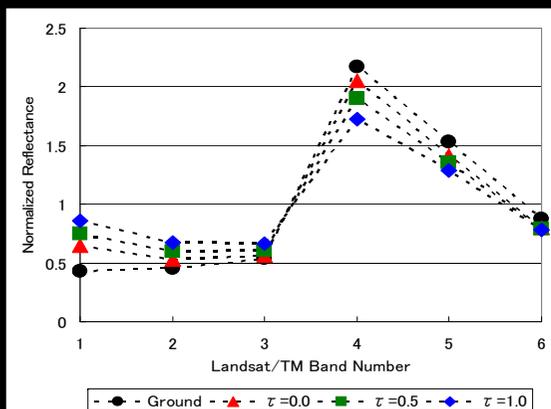
▽ 土壤

▽ 水

○ 反射率



○ 正規化反射率



# ◆ 3. 正規化法の効果

## ◇ 3.2. 大気効果の抑制

＜ パスラディアンズを補正 ＞

標高0mのRayleigh  
散乱の寄与分

▽ 植生

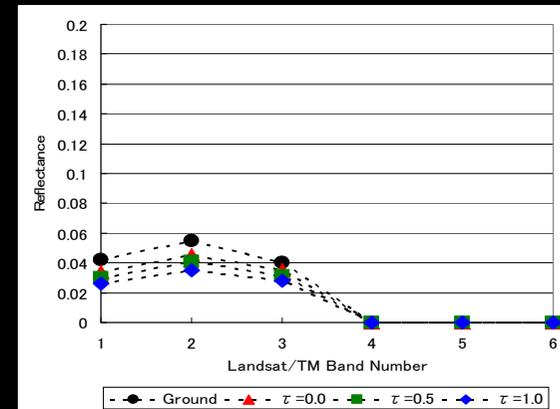
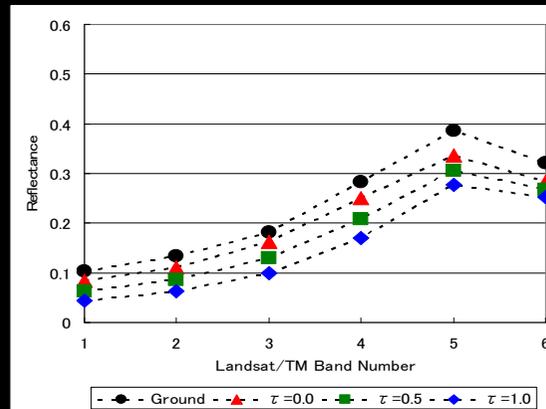
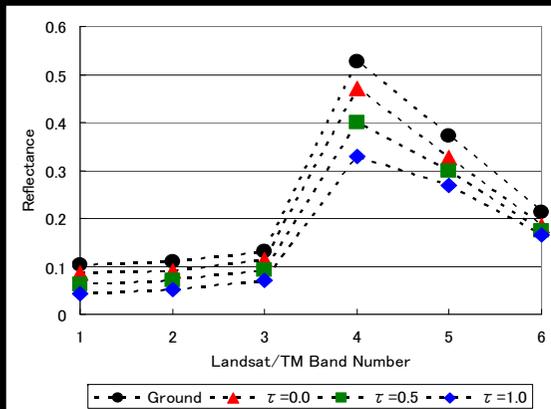
▽ 土壌

▽ 水

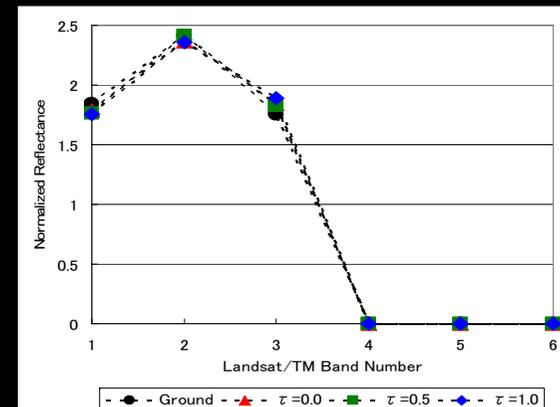
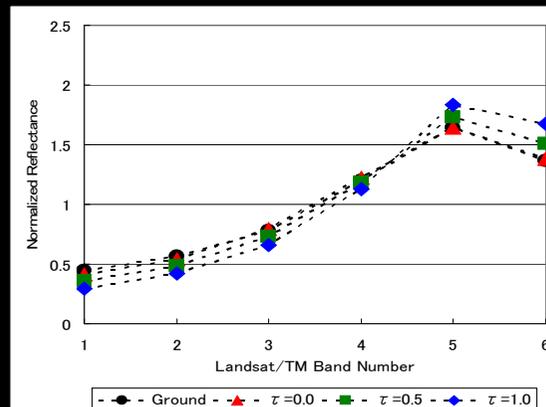
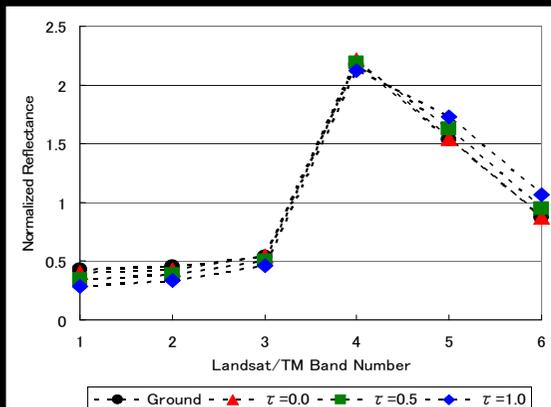
□ 放射伝達モデル (6S) [Vermote et al. 1997]

- ・ 中緯度の夏の大气モデル
- ・ 植生, 土壌: 大陸型, 水: 海洋型のエアロゾル
- ・ 太陽天頂角: 40.80度, 太陽方位角: 114.70度
- ・ エアロゾルの光学的厚さ  $\tau_{(550nm)}$ : 0.0, 0.5, 1.0

### ○ 反射率 (パスラディアンズ補正済)



### ○ 正規化反射率



# ○ 奈良県大峰山系 (1985/8/24)

標高0mにおける Rayleigh 散乱の寄与分

▽ 正規化 DN NIR  
(TM Band 4)



▽ 正規化 DN NIR  
(TM Band 4) ペDESTAL補正



▽ False color  
(TM Bands (5, 4, 3))



▽ 正規化反射率 NIR  
(TM Band 4)



▽ 正規化反射率 NIR  
(TM Band 4) ペDESTAL補正



### ◇ 3.3. カゲの抑制 — デジタルカメラ画像 —

#### ▽ RGB image



#### 正規化 処理

⇒ カラー画像を画素ごとに (R, G, B) に分離



(R, G, B) デジタル値の相加平均 ( $A_m$ )を算出  
<  $A_m = (R+G+B) / 3$  >

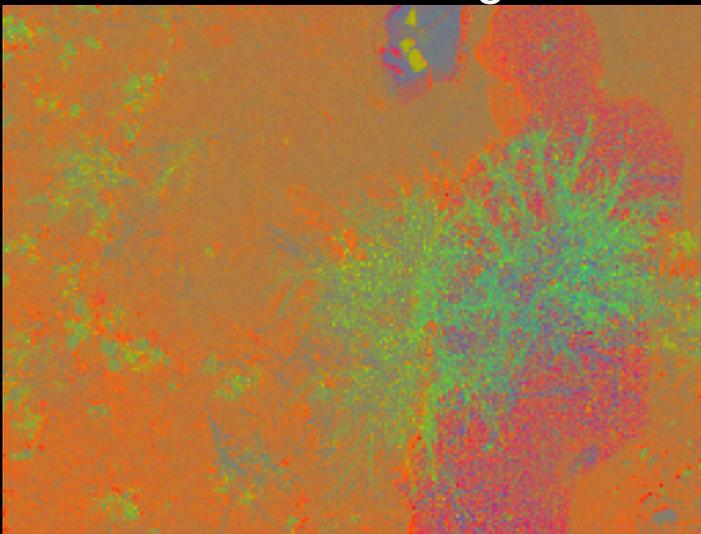


相加平均値で (R, G, B) を正規化  
< 正規化 (R, G, B) =  $(R/A_m, G/A_m, B/A_m)$  >



正規化 (R, G, B) 合成

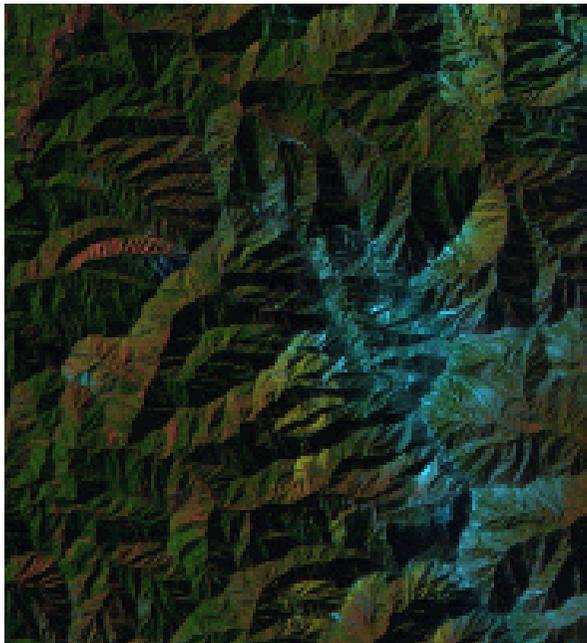
#### ▽ 正規化 RGB image



### ◇ 3.3. カゲの抑制 < 山陰 > — 人工衛星データ —

○ 奈良県大峰山系 (1988/2/22)

▽ False color  
(TM Bands (5, 4, 3))



▽ 正規化反射率 NIR  
(TM Band 4)



▽ 正規化植生指数  
NDVI



370 × 400pixels

### ◇ 3.3. カゲの抑制 < 山陰 > — 人工衛星データ —

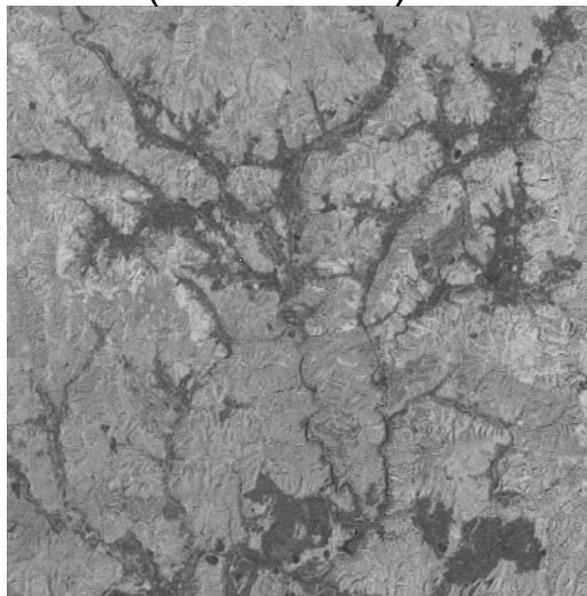
○ 兵庫県豊能郡能勢町 (1996/11/26)

▽ False color  
(TM Bands (5, 4, 3))

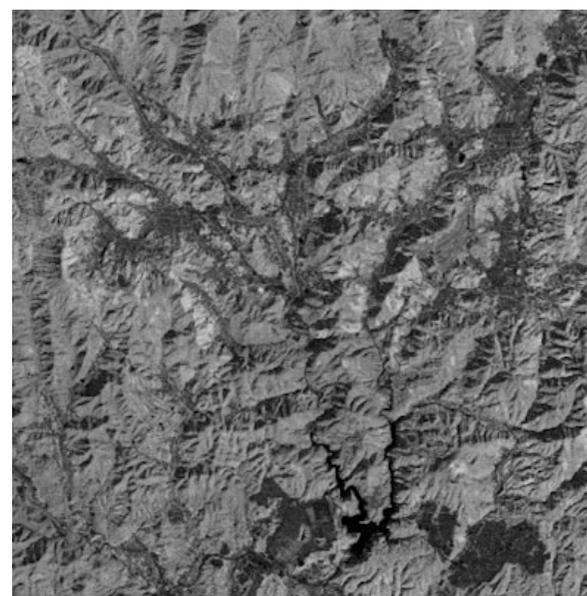


400 × 400pixels

▽ 正規化反射率 NIR  
(TM Band 4)



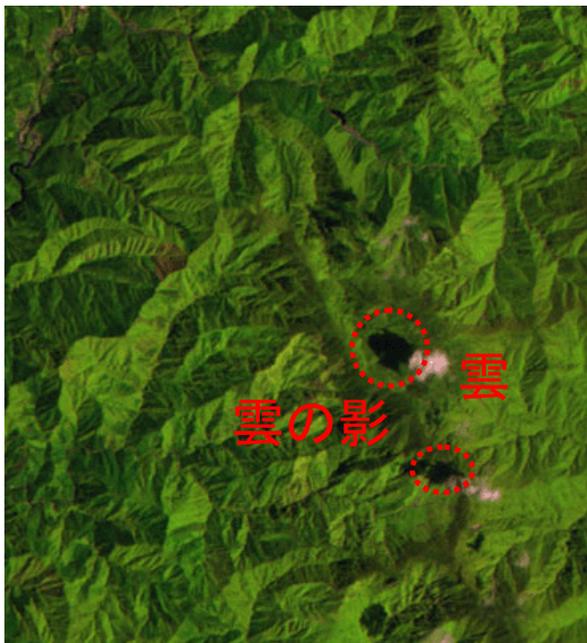
▽ 正規化植生指数  
NDVI



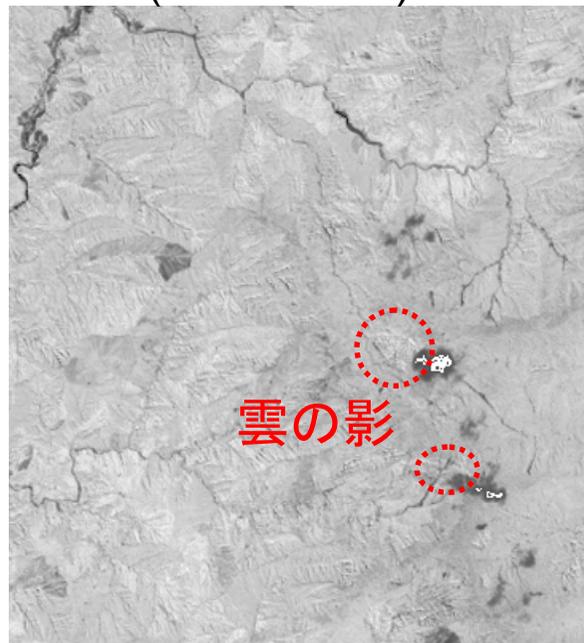
# ◇ 3.3. カゲの抑制 < 雲の影 > - 人工衛星データ -

○ 奈良県大峰山系 (1987/8/30)

▽ False color  
(TM Bands (5, 4, 3))



▽ 正規化反射率 NIR  
(TM Band 4)



▽ 正規化植生指数  
NDVI

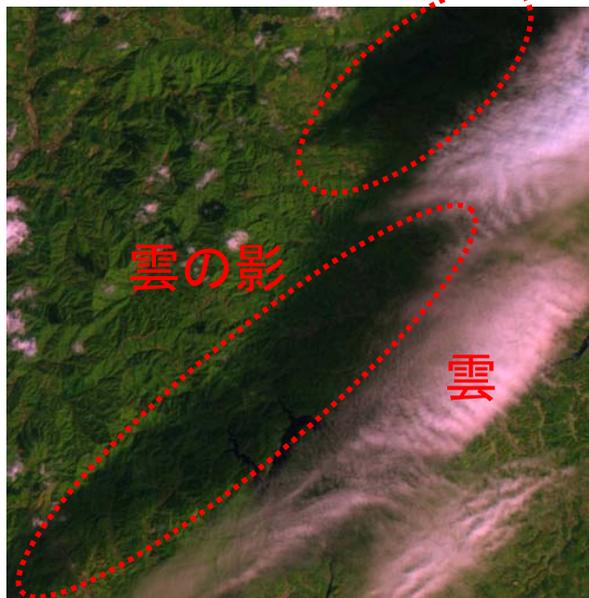


370 × 400pixels

# ◇ 3.3. カゲの抑制 < 雲の影 > — 人工衛星データ —

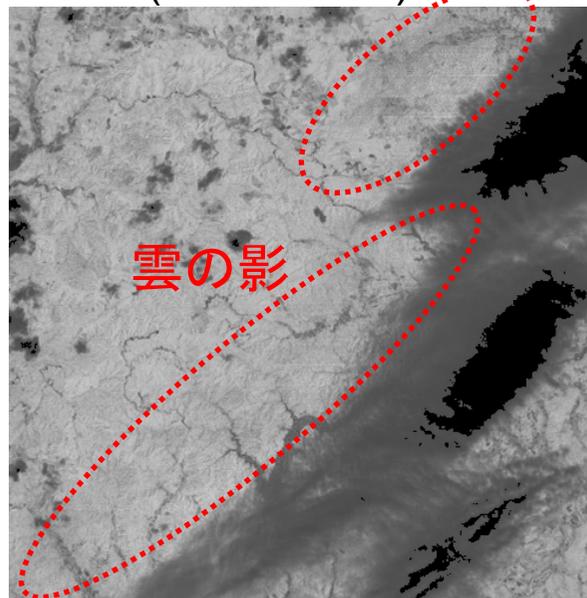
○ 鹿児島県鶴田ダム (1999/10/16)

▽ False color  
(TM Bands (5, 4, 3))

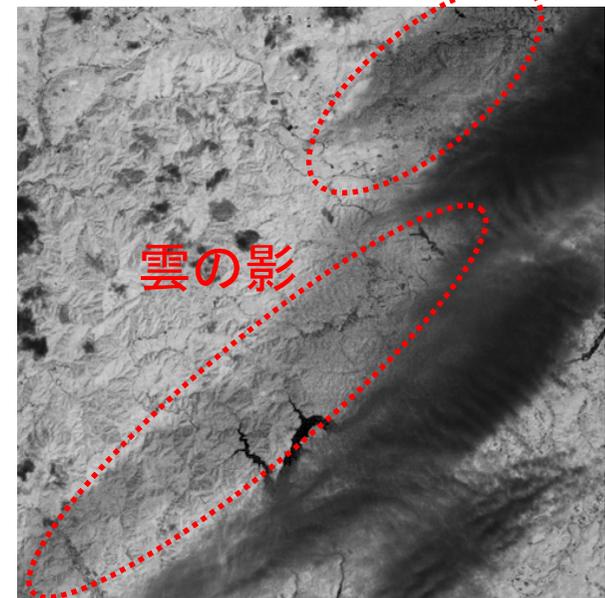


650 × 650pixels

▽ 正規化反射率 NIR  
(TM Band 4)



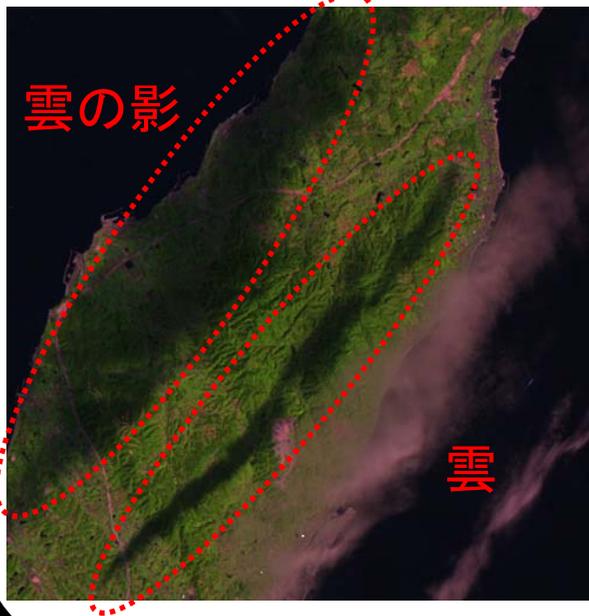
▽ 正規化植生指数 NDVI



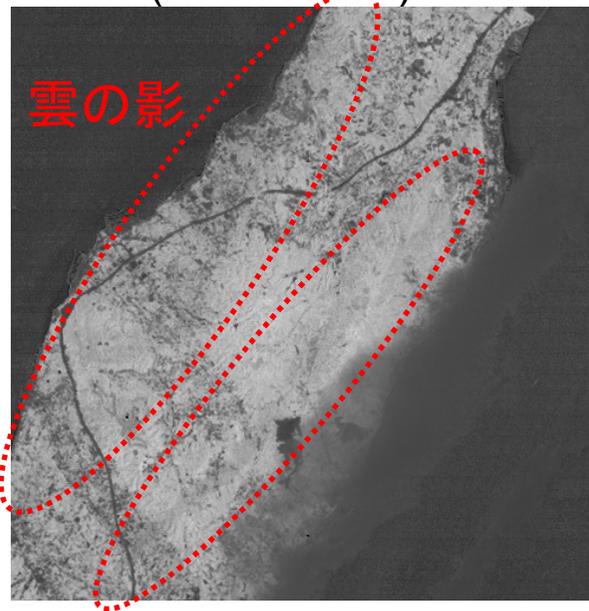
# ◇ 3.3. カゲの抑制 < 雲の影 > — 人工衛星データ —

○ 兵庫県淡路島 (1996/9/23)

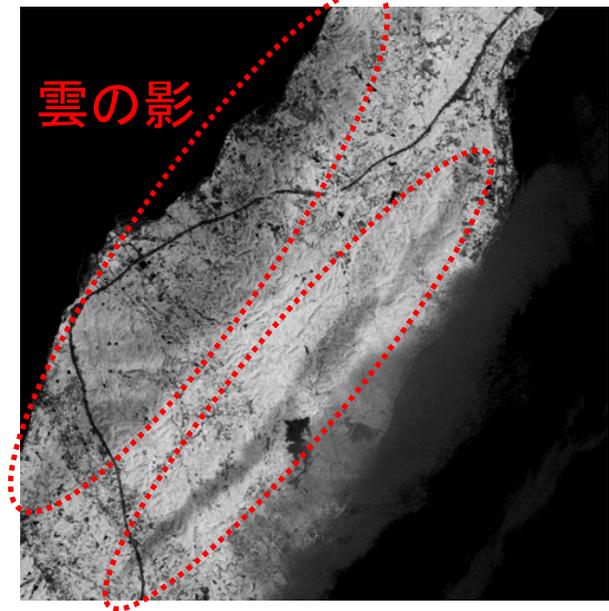
▽ False color  
(TM Bands (5, 4, 3))



▽ 正規化反射率 NIR  
(TM Band 4)



▽ 正規化植生指数  
NDVI



### ◇ 3.3. カゲの抑制効果 < 雲の影 >

#### ○ 奈良県大峰山系

▽ 1987/8/30



**Hidden by clouds**

▽ 1985/8/24



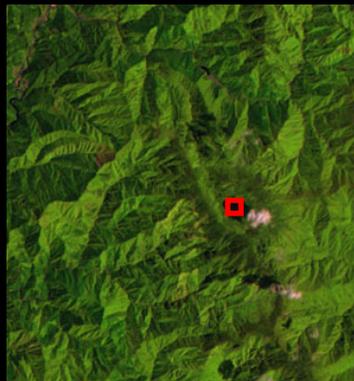
**Sunny**

# 反射率

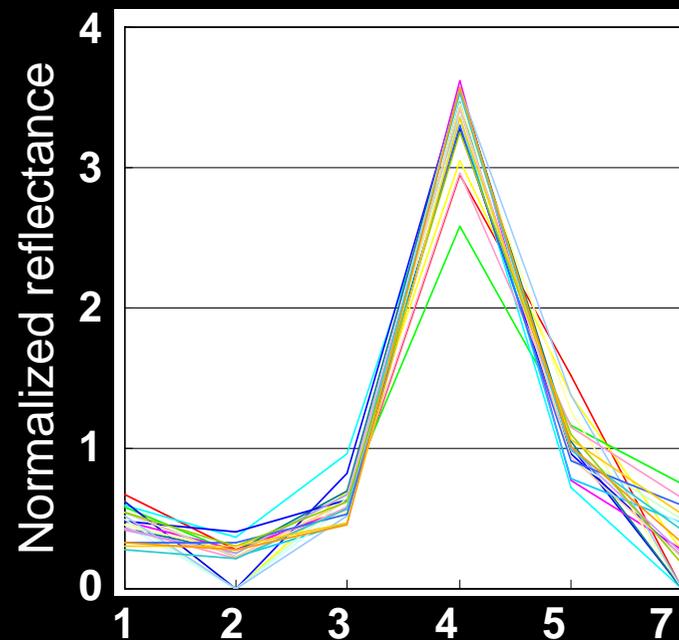
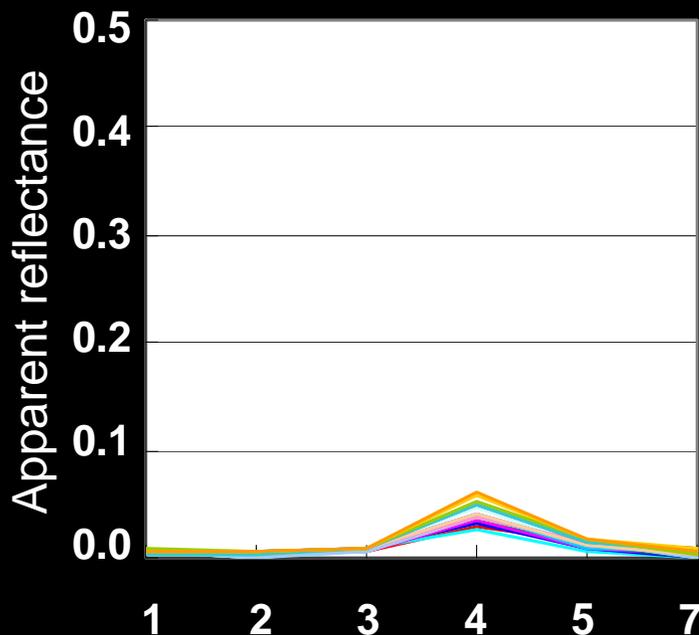
## 正規化前

## 正規化後

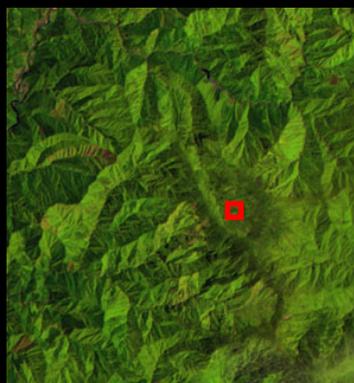
Hidden by clouds



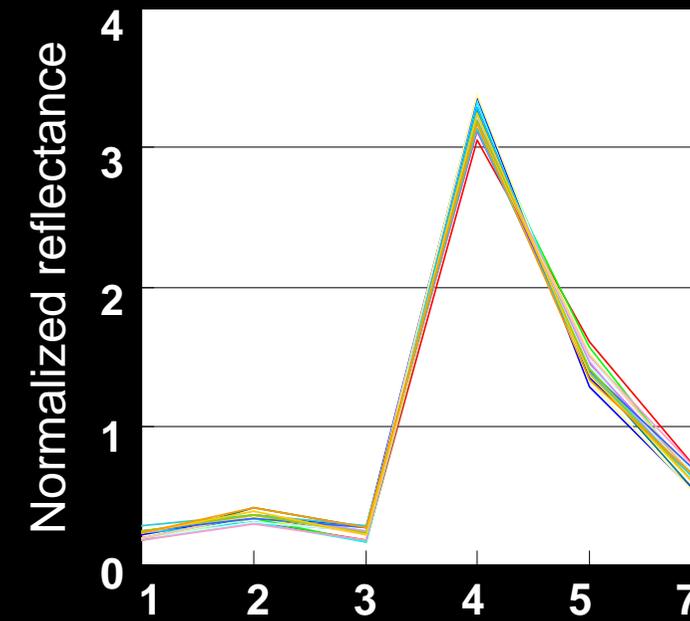
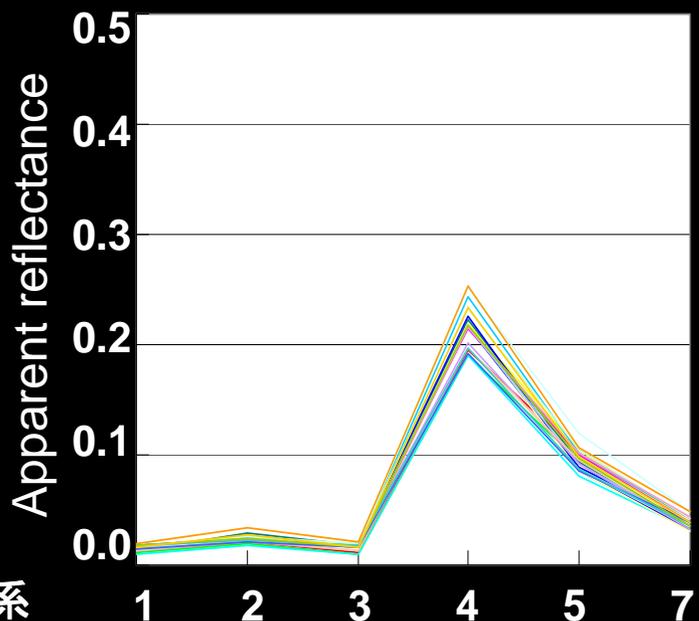
87/8/30



Sunny



85/8/24



Area: 奈良県大峰山系

## ◆ 4. まとめ

### 正規化法:

- 地形効果の抑制
- 大気効果の抑制
- カゲ(山陰, 雲の影)の抑制 に有効
  
- 人工衛星データ, 分光放射計データ,  
デジタルカメラ画像データなどに適用可能
  
- DN, 反射率に適用可能
  
- ペDESTAL補正を行った方が正規化の効果が大きい

# ○ 中国の海南島 (1999/12/31)

▽ False color  
(DN TM Bands (5, 4, 3))



▽ **DN NIR**  
(TM Band 4)



▽ **正規化 DN NIR**  
(TM Band 4)



標高0mにおける Rayleigh 散乱の寄与分

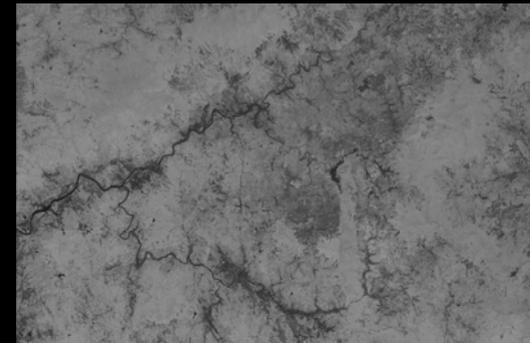
▽ False color  
(反射率 TM Bands (5, 4, 3))



▽ **反射率 NIR**  
(TM Band 4) ペDESTAL補正



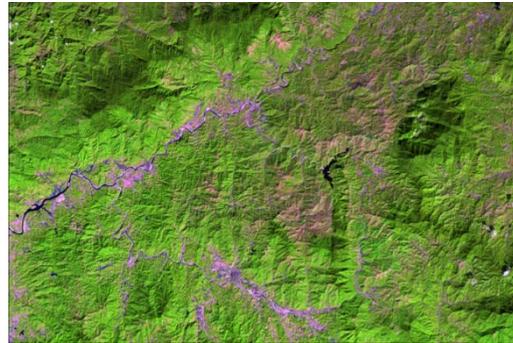
▽ **正規化反射率 NIR**  
(TM Band 4) ペDESTAL補正



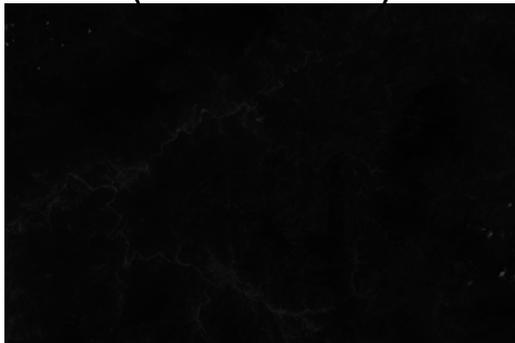
# ○ 中国の海南島 (1999/12/31)

▽ False color  
(反射率 TM Bands (5, 4, 3))

ペDESTAL補正



▽ 反射率 Blue  
(TM Band 1)



▽ 反射率 Green  
(TM Band 2)



▽ 反射率 Red  
(TM Band 3)



▽ 反射率 NIR  
(TM Band 4)



▽ 反射率 1.6  $\mu$ m  
(TM Band 5)

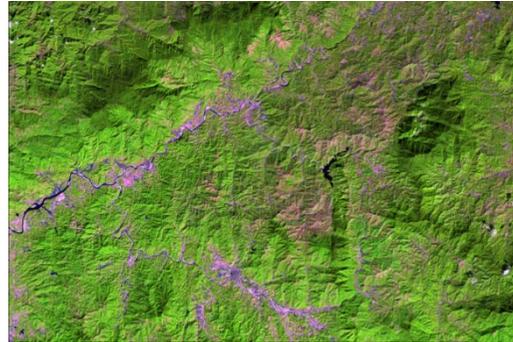


▽ 反射率 2.2  $\mu$ m  
(TM Band 7)



# ○ 中国の海南島 (1999/12/31)

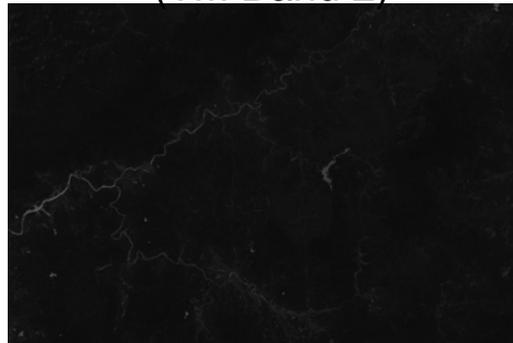
▽ False color  
(反射率 TM Bands (5, 4, 3))  
ペDESTAL補正



▽ 正規化反射率 Blue  
(TM Band 1)



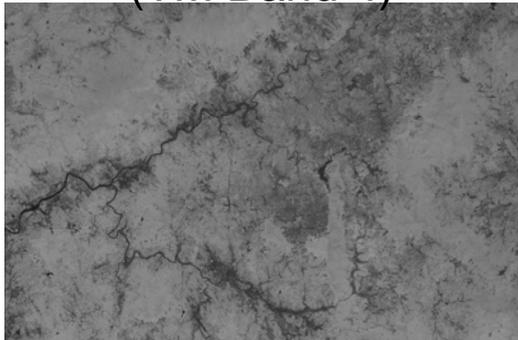
▽ 正規化反射率 Green  
(TM Band 2)



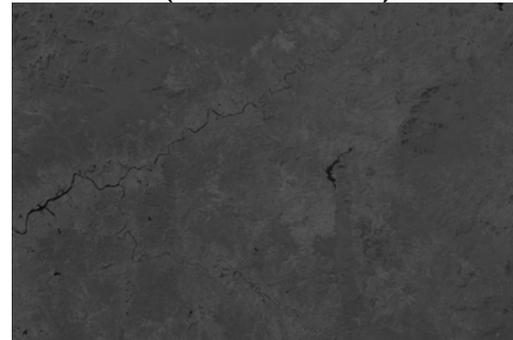
▽ 正規化反射率 Red  
(TM Band 3)



▽ 正規化反射率 NIR  
(TM Band 4)



▽ 正規化反射率 1.6  $\mu\text{m}$   
(TM Band 5)



▽ 正規化反射率 2.2  $\mu\text{m}$   
(TM Band 7)

