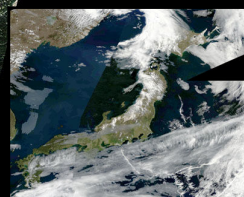
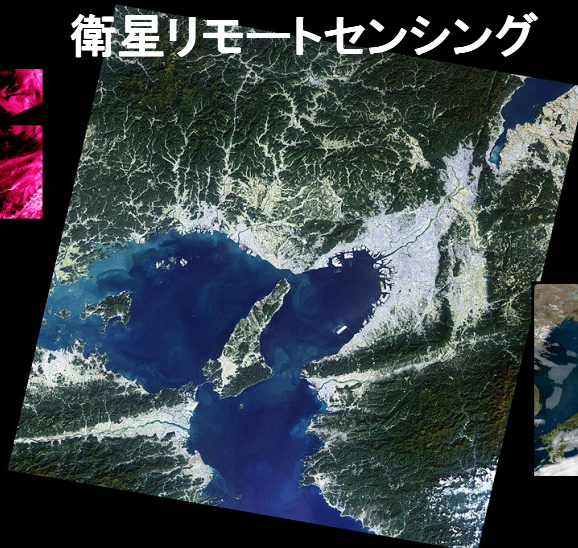
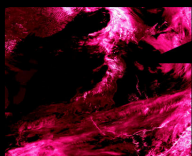


生態環境計測学 2015/11/11

広域植生モニタリングの手法 / 衛星リモートセンシング

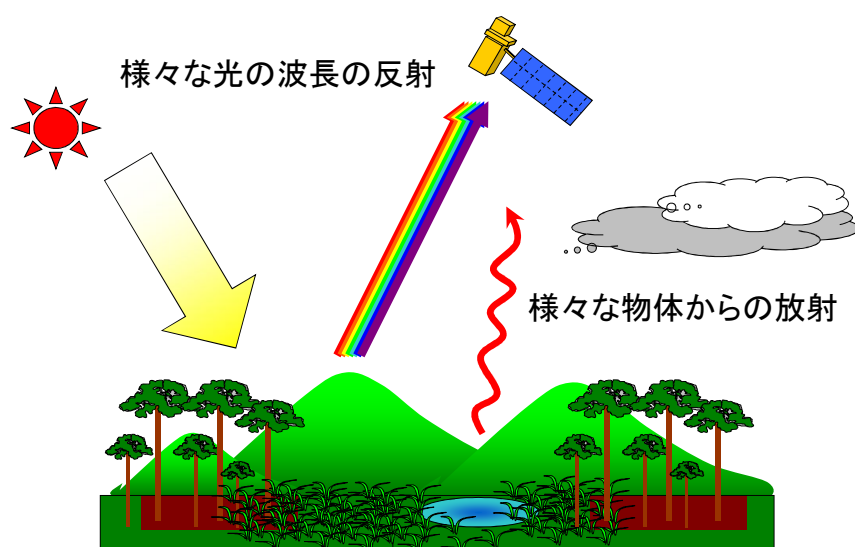


植山 雅仁

2

リモートセンシング

遠隔計測 (Remote sensing)

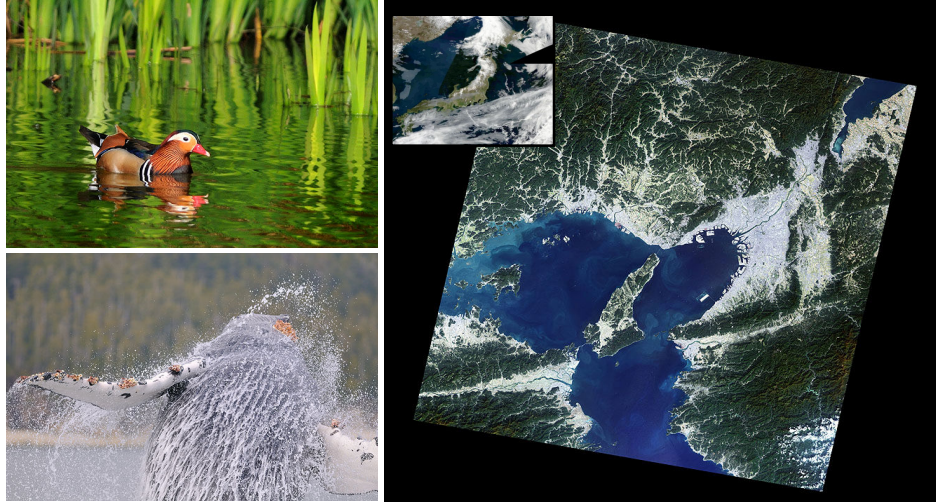


3

リモートセンシング

遠隔計測 (Remote sensing)

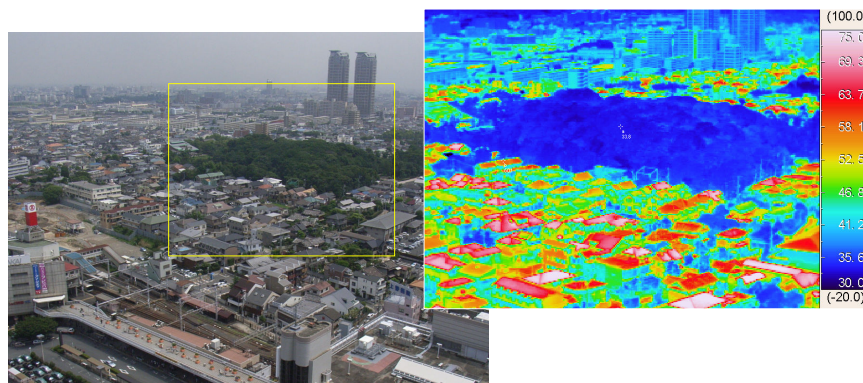
反射の計測 : 写真(可視光線の反射を計測)など



4

リモートセンシング

遠隔計測 (Remote sensing)

放射の計測 : 放射温度計、サーモグラフィーなど
(熱放射から温度を計測)

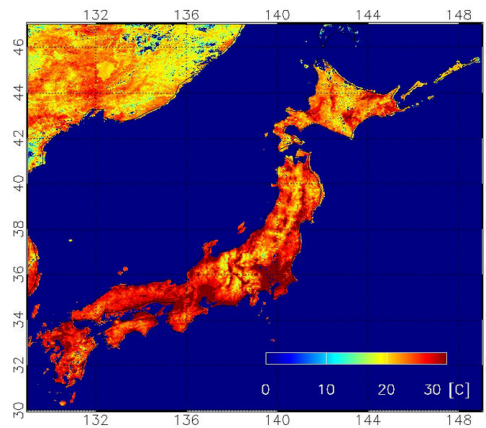
堺市中心部からみた周辺の熱赤外画像 (北宅先生からの提供)

5

リモートセンシング

遠隔計測 (Remote sensing)

放射の計測 : 放射温度計、サーモグラフィーなど
(熱放射から温度を計測)



地表面温度 2000年8月11日

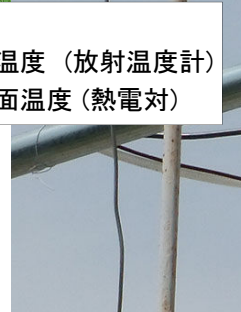
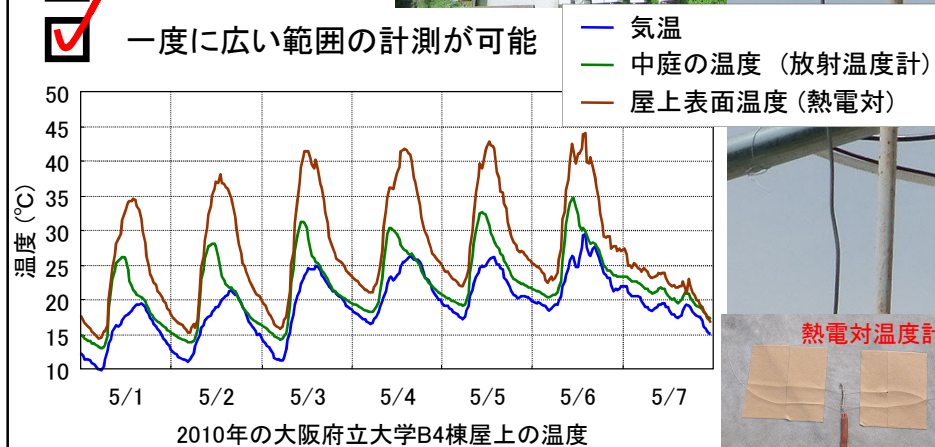
6

リモートセンシング

- ☒ 遠隔計測が可能
- ☒ 定量解析が可能
- ☒ 一度に広い範囲の計測が可能



放射温度計

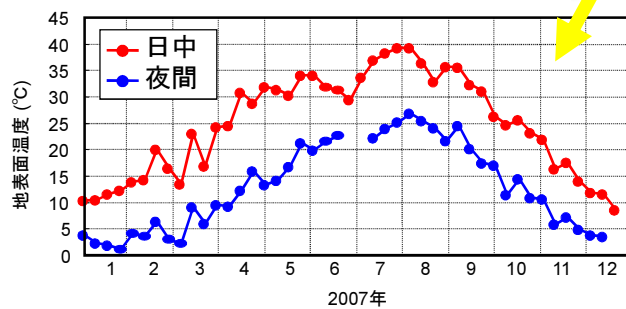
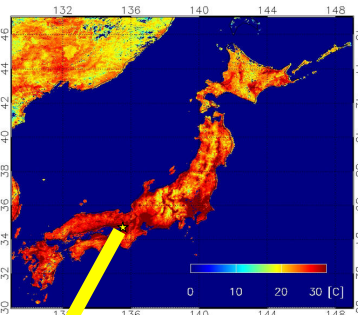


熱電対温度計

7

リモートセンシング

- ☒ 遠隔計測が可能
- ☒ 定量解析が可能
- ☒ 一度に広い範囲の計測が可能

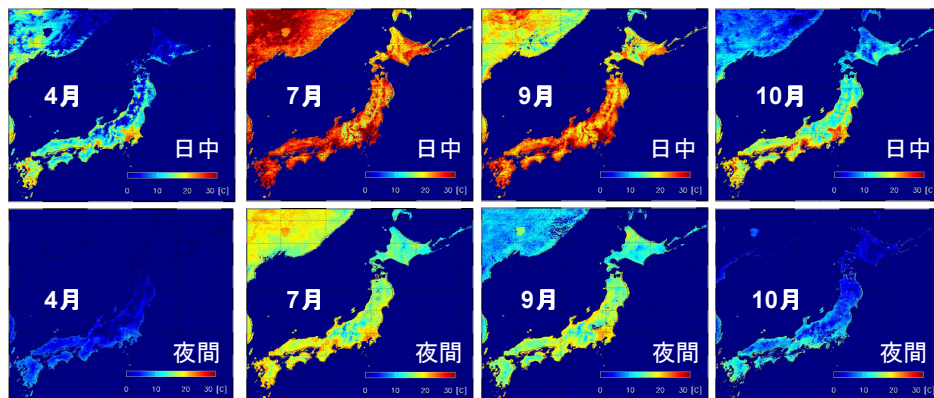


大阪府立大学周辺の地表面温度 (MODIS-LST)

8

リモートセンシング

- ☒ 人がいけないような場所でも計測可能
- ☒ 同じ場所を繰り返し計測可能

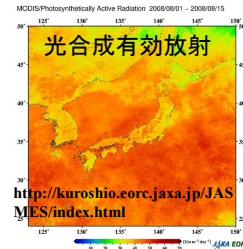
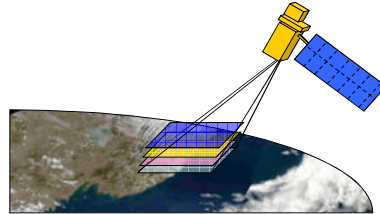


9

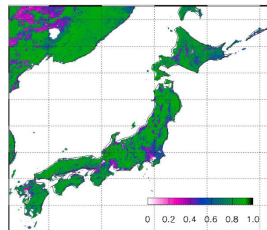
リモートセンシング



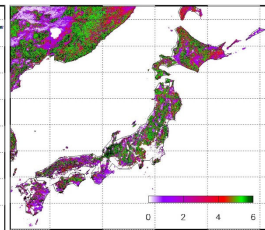
様々な情報を同時に計測可能（マルチスペクトル）



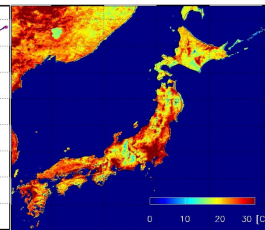
NDVI



葉面積指数



地表面温度



10

リモートセンシング



遠隔計測が可能



定量解析が可能



一度に広い範囲の計測が可能



人がいけないような場所でも計測可能



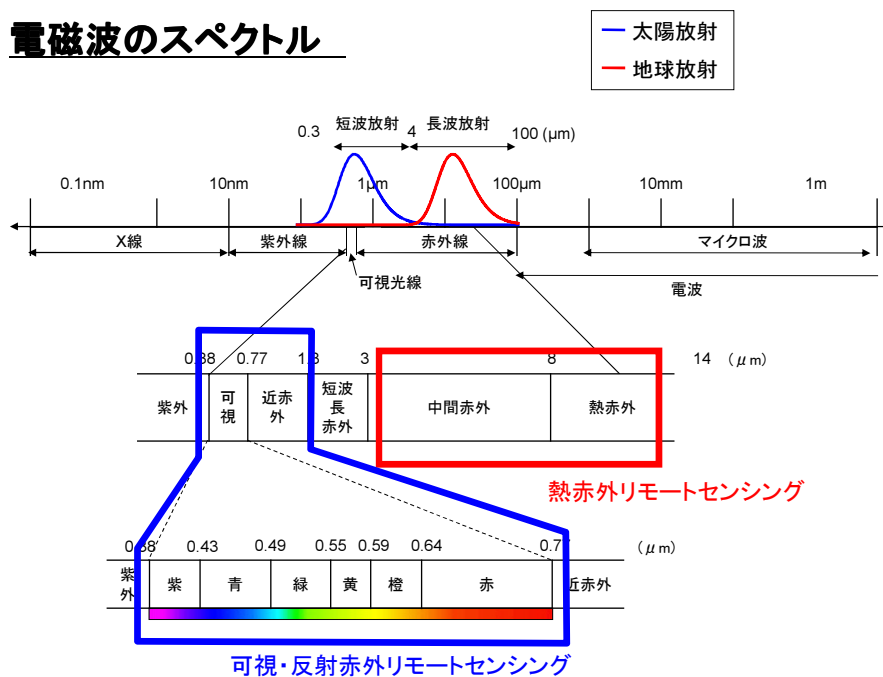
同じ場所を繰り返し計測可能



様々な情報を同時に計測可能（マルチスペクトル）

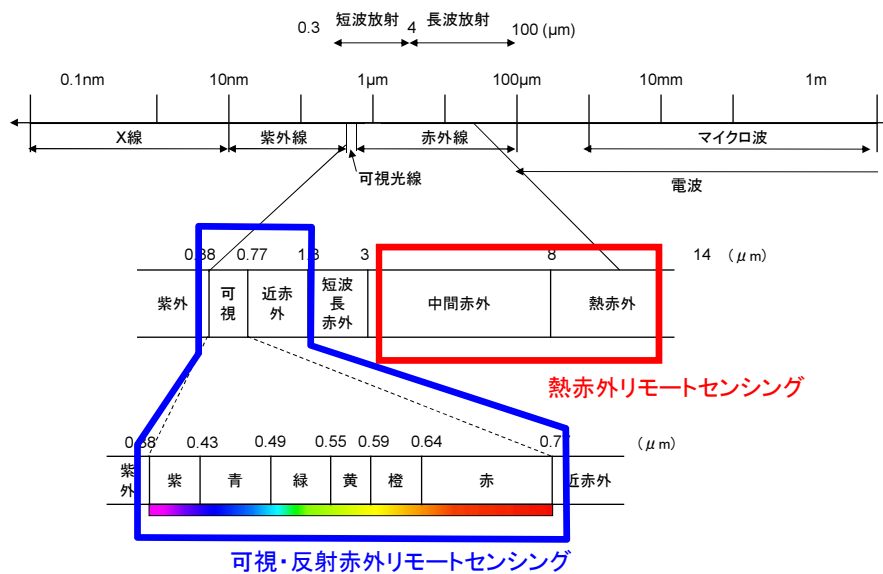
11

電磁波のスペクトル



12

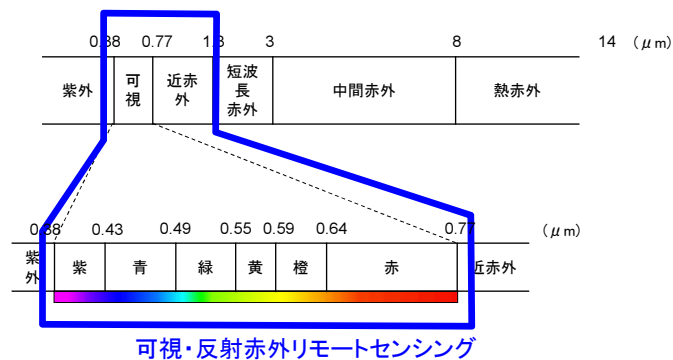
電磁波のスペクトル



13

電磁波のスペクトル

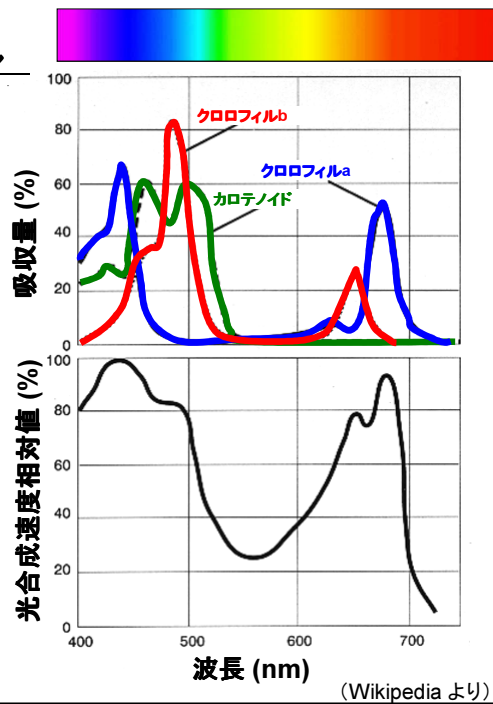
分光反射特性：各波長の反射率の特性



14

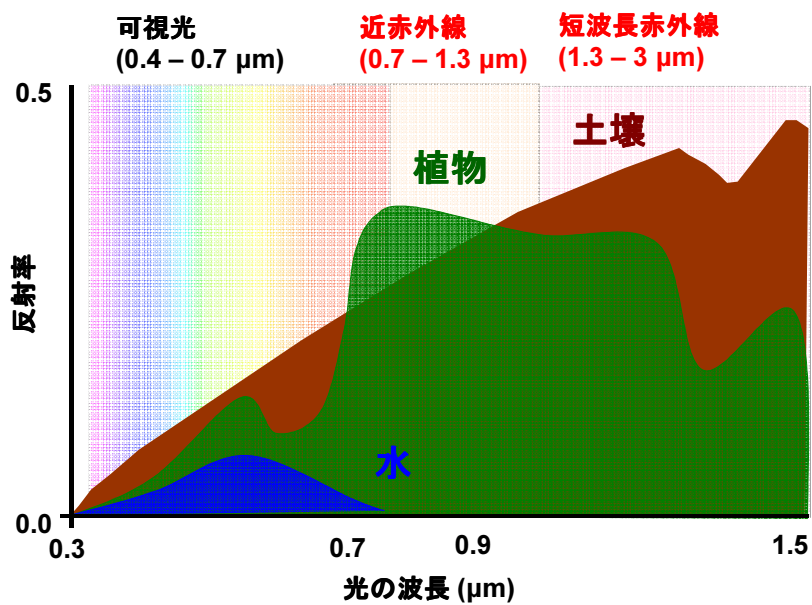
植物の分光反射スペクトル

植物は、
青色と赤色の光を吸収
緑～黄色の光を
あまり吸収しない。



15

電磁波のスペクトル



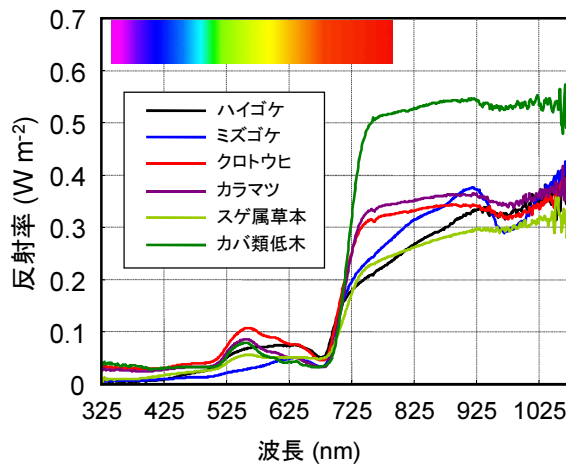
16

植物の分光スペクトルの計測



17

植物の分光スペクトル



夏季のアラスカで計測された植物の分光スペクトル反射率

18

正規化植生指数

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

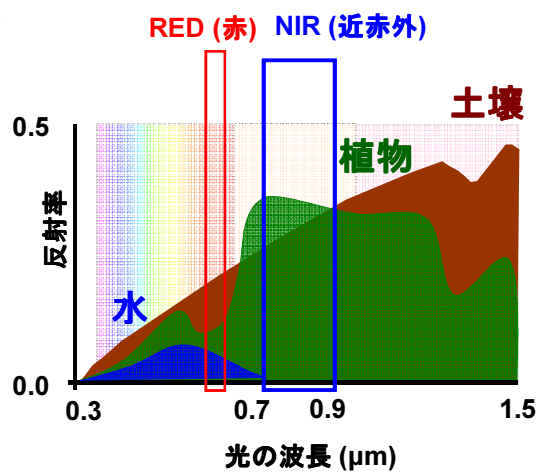
水については、NDVIは？

負の値

土壌については、NDVIは？

ゼロ近くの値

植物のNDVIは、0.3～1.0



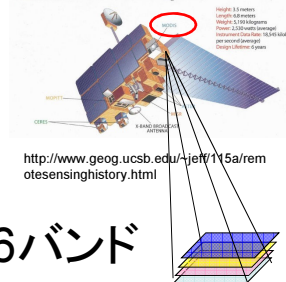
19

マルチスペクトル

地球観測衛星 Terra / MODIS (中分解能撮像分光放射計)

Primary Use	Band	Bandwidth ¹	Spectral Radiance ²	Required SNR ³
Land/Cloud/Aerosols Boundaries	1	620 - 670 赤	21.8	128
	2	841 - 876 近赤外	24.7	201
	3	459 - 479 青	35.3	243
	4	545 - 565 緑	29.0	228
Land/Cloud/Aerosols Properties	5	1230 - 1250	5.4	74
	6	1628 - 1652	7	
	7	2105 - 2155	1	
	8	405 - 420	4	
	9	438 - 448	4	
	10	483 - 493	3	
	11	528 - 536	2	
	12	546 - 556	2	
Ocean Color/ Phytoplankton/ Biogeochemistry	13	662 - 672	9	
	14	673 - 683	8	
	15	743 - 753	1	
	16	862 - 877	6	
Atmospheric Water Vapor	17	890 - 920	1	
	18	931 - 941	3	
	19	915 - 965	1	

Terra and Its Five Climate-Monitoring Sensors



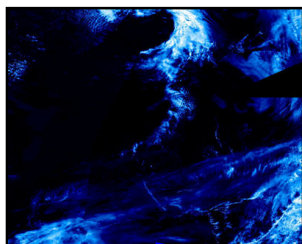
36バンド

Primary Use	Band	Bandwidth ¹	Spectral Radiance ²	Required NE[delta]T (K) ⁴
Surface/Cloud Temperature	20	3.660 - 3.840	0.45(300K)	0.05
	21	3.929 - 3.989	2.38(335K)	2.00
	22	3.929 - 3.989	0.67(300K)	0.07
	23	4.020 - 4.080	0.79(300K)	0.07
Atmospheric Temperature	24	4.433 - 4.498	0.17(250K)	0.25
	25	4.482 - 4.549	0.59(275K)	0.25
Cirrus Clouds Water Vapor	26	1.360 - 1.390	6.00	150(SNR)
	27	6.535 - 6.895	1.16(240K)	0.25
	28	7.175 - 7.475	2.18(250K)	0.25
Cloud Properties	29	8.400 - 8.700	9.58(300K)	0.05
	30	9.580 - 9.880	3.69(250K)	0.25
Surface/Cloud Temperature	31	10.780 - 11.280	9.55(300K)	0.05
	32	11.770 - 12.270	8.94(301K)	0.05
Cloud Top Altitude	33	13.185 - 13.485	4.52(260K)	0.25
	34	13.485 - 13.785	3.76(250K)	0.25
	35	13.785 - 14.085	3.11(240K)	0.25
	36	14.085 - 14.385	2.08(220K)	0.35

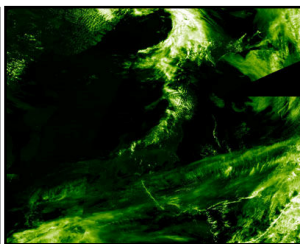
<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>

20

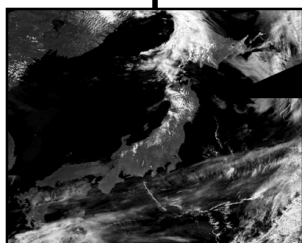
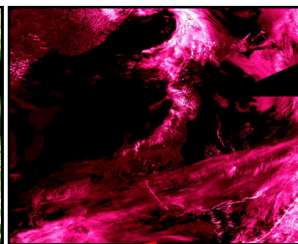
青色反射 (459-479 nm)



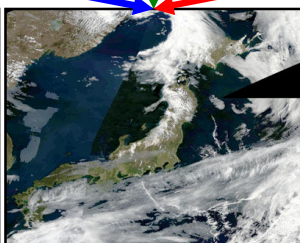
緑色反射 (545-565 nm)



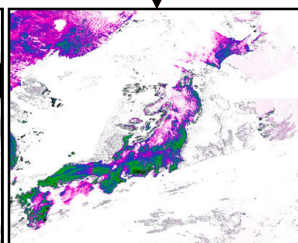
赤色反射 (620-670 nm)



近赤外反射 (841-876 nm)



可視光反射



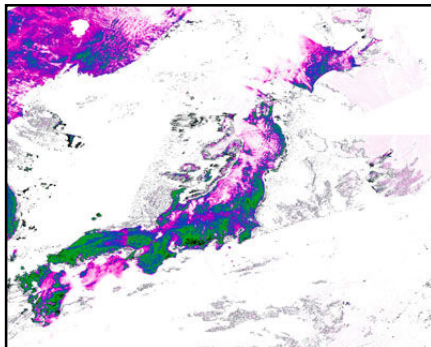
NDVI

人工衛星MODISからみた2006/4/28の日本周辺

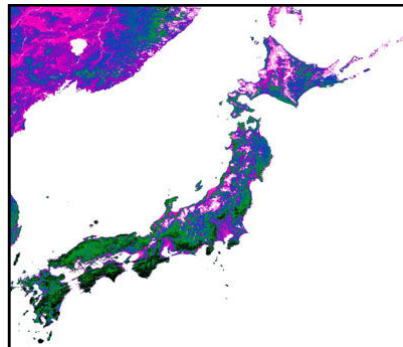
21

雲による影響

2006/4/28



16日コンポジット 4/23-5/8

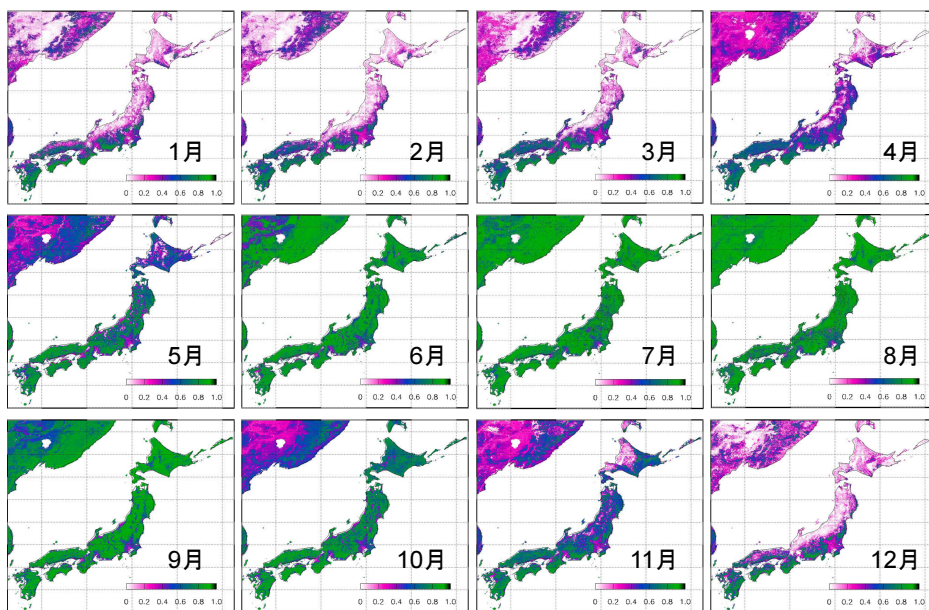


最大値コンポジット (MCV; maximum value composite)
コンポジット : 合成画像

22

植生の季節変化

2005年のNDVIの季節変化
(MODIS data)

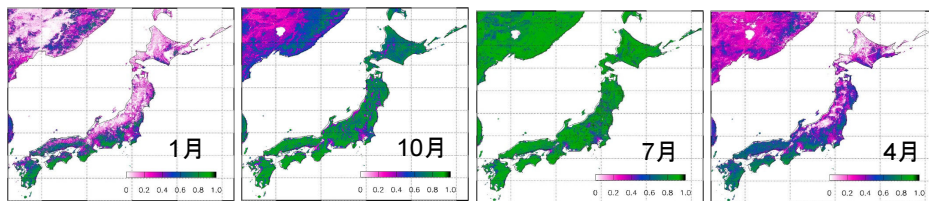
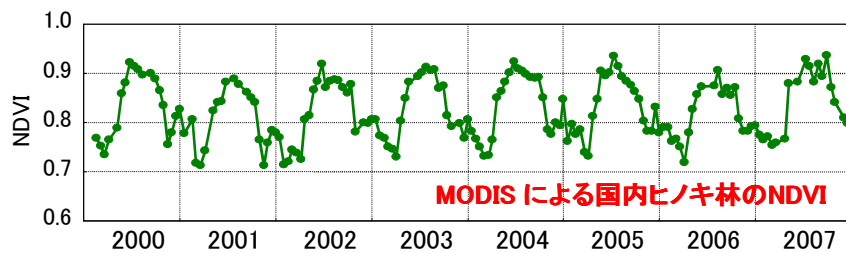


23

植生の季節変化

フェノロジー: 生物季節

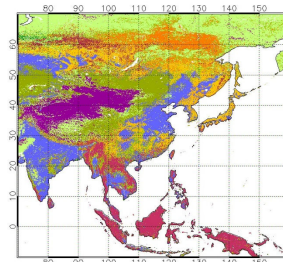
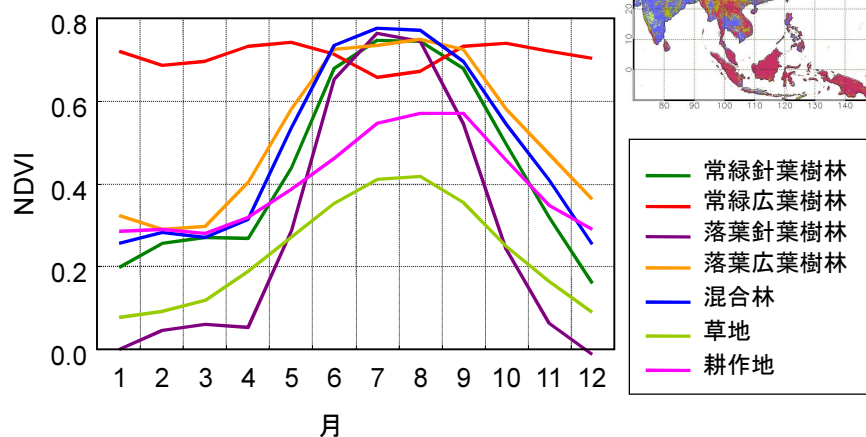
展葉、開花、落葉などの季節によるライフサイクル



24

植生の季節変化

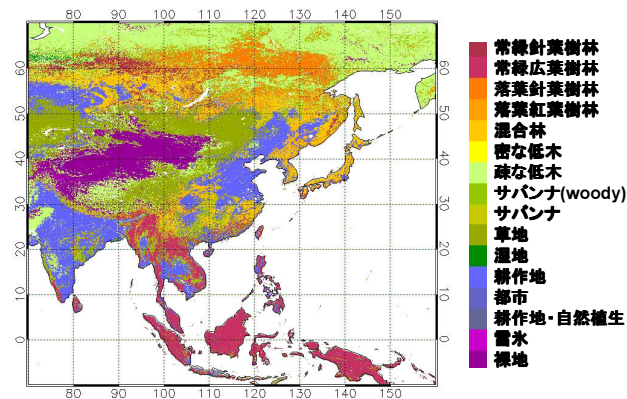
Terra/MODISによるNDVI



アジアの植生のNDVIの季節変化

25

土地被覆分類



北方ユーラシアからアジアにかけての植生分布

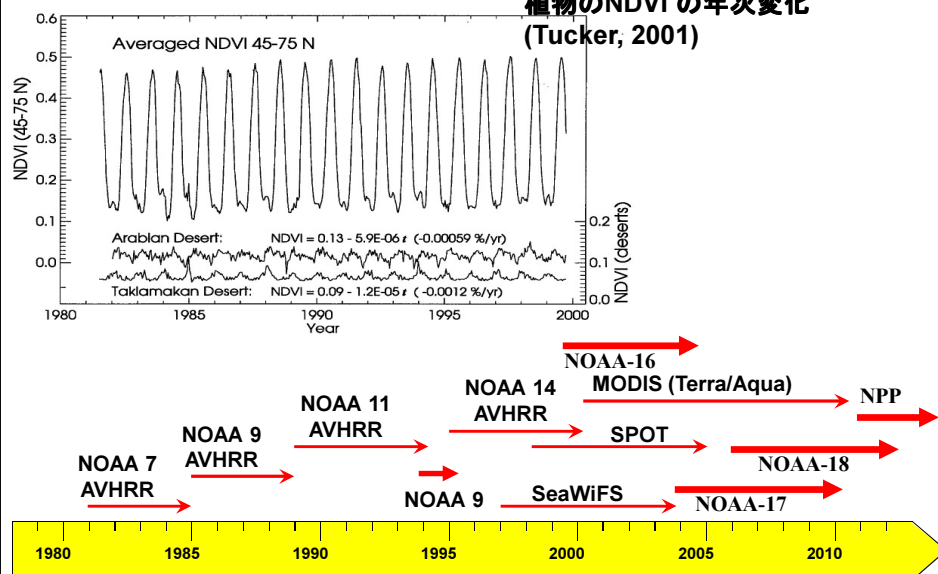
土地被覆データ (MOD12)

: 植生毎の分光反射特性を用いて植生タイプを分類

26

NDVIのタイムレコード

AVHRRによる北緯45-75度における
植物のNDVIの年次変化
(Tucker, 2001)



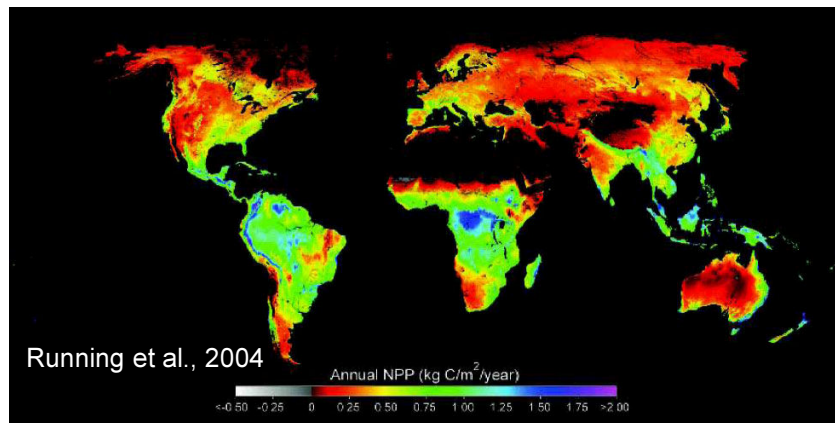
(Tucker, 2006; <http://www.ntsug.umt.edu/VEGMTG.2006/>)

27

人工衛星から植物の生産量を評価する

LUE モデル

(Light-Use-Efficiency; 光利用効率モデル)



人工衛星から推定された純光合成量の分布

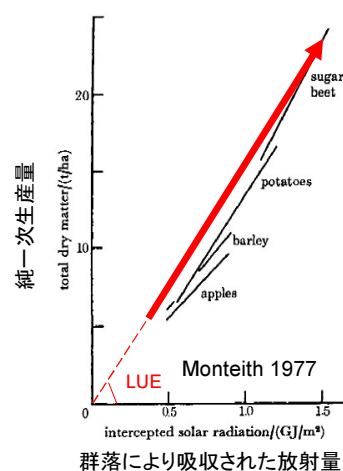
28

人工衛星から植物の生産量を評価する

LUE モデル

(Light-Use-Efficiency;
光利用効率モデル)

$$\text{LUE} = \frac{\text{純光合成量}}{\text{受取った光}}$$



植物生産量(純光合成量)と光の関係
(Monteith, 1977)

29

人工衛星から植物の生産量を評価する

LUE モデル

(Light-Use-Efficiency; 光利用効率モデル)

$$\text{LUE} = \frac{\text{純光合成量}}{\text{受取った光}}$$

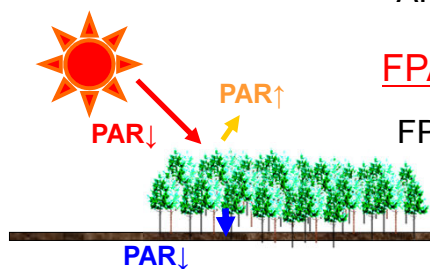
$\text{APAR (Absorbed PAR)}$
 APAR (吸収光合成有効放射)

$$\text{APAR} = \text{PAR}_{\downarrow} - (\text{PAR}_{\uparrow} + \text{PAR}_{\downarrow})$$

FPAR (Fraction of APAR)

$$\text{FPAR} = \text{APAR} / \text{PAR}_{\downarrow}$$

FPAR (光合成有効放射吸収率)



30

人工衛星から植物の生産量を評価する

LUE モデル

(Light-Use-Efficiency; 光利用効率モデル)

$$\text{LUE} = \frac{\text{純光合成量}}{\text{受取った光}} \qquad \text{LUE} = \frac{\text{純光合成量}}{\text{APAR}}$$

$$\begin{aligned} \text{純光合成量} &= \text{LUE} \times \text{APAR} \\ &= \text{LUE} \times \text{FPAR} \times \text{PAR} \end{aligned}$$

$$(\text{FPAR} = \text{APAR} / \text{PAR})$$

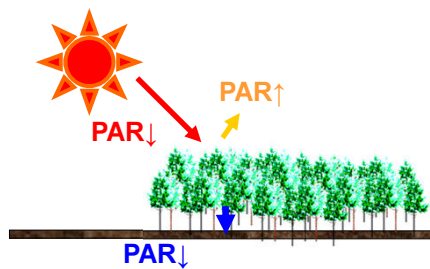
31

人工衛星から植物の生産量を評価する

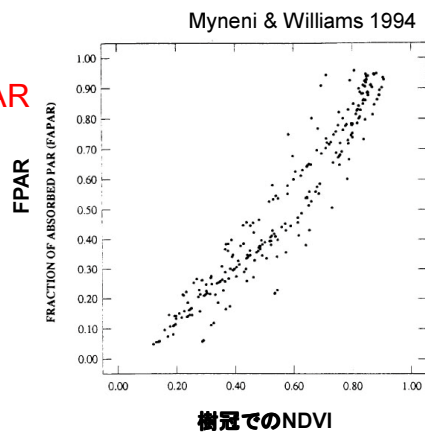
LUE モデル

(Light-Use-Efficiency; 光利用効率モデル)

$$\begin{aligned}\text{純光合成量} &= \text{LUE} \times \text{APAR} \\ &= \text{LUE} \times \text{FPAR} \times \text{PAR}\end{aligned}$$



植生が多い、活性が高いほど、たくさんのPARの吸収率が高まる！



32

人工衛星から植物の生産量を評価する

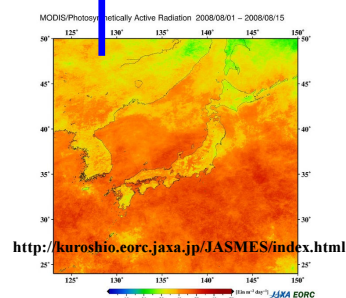
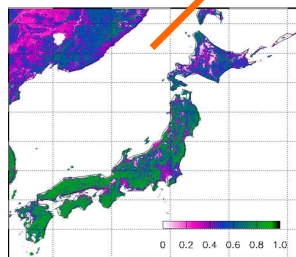
LUE モデル

(Light-Use-Efficiency; 光利用効率モデル)

$$\begin{aligned}\text{純光合成量} &= \text{LUE} \times \text{APAR} \\ &= \text{LUE} \times \text{FPAR} \times \text{PAR}\end{aligned}$$

植生毎に決めておく。

NDVI から推定

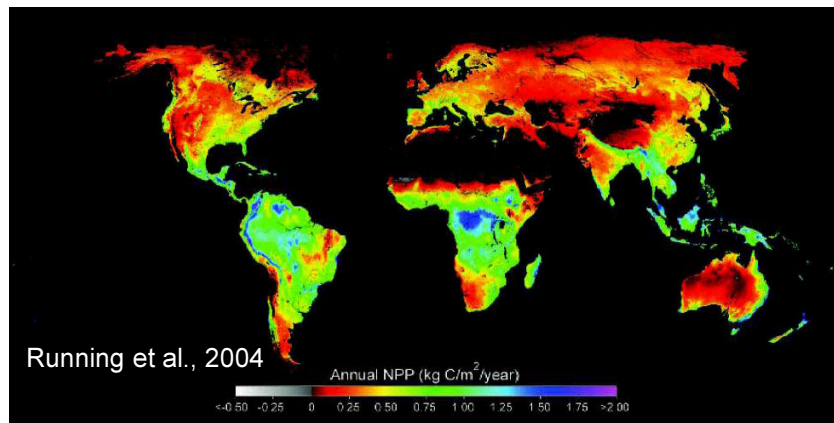


33

人工衛星から植物の生産量を評価する

LUE モデル

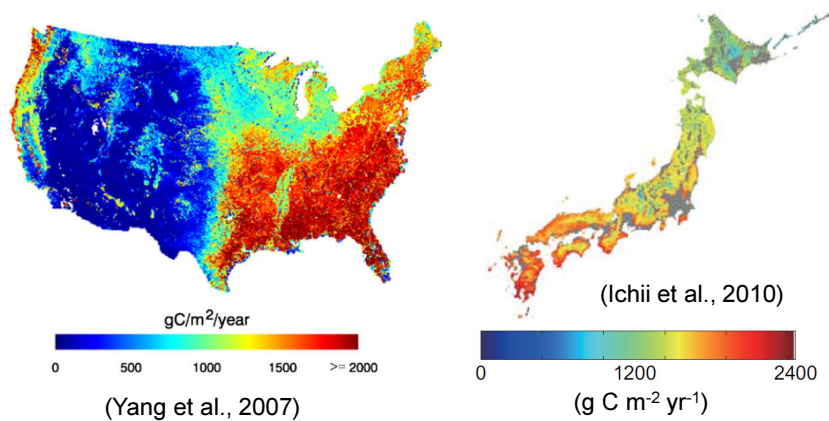
(Light-Use-Efficiency; 光利用効率モデル)



人工衛星から推定された純光合成量の分布

34

タワーフラックスとの統合解析



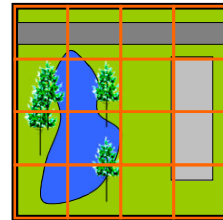
タワーフラックスと人工衛星データの統合解析から得られた
アメリカと日本の森林の群落光合成量 (GPP)

35

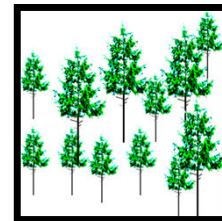
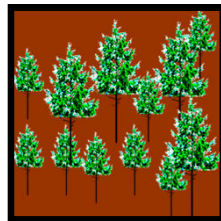
衛星リモートセンシングの弱点・注意点

☑ 空間解像度とミクセル

空間分解能が荒いと、
何を見ているのかが分からない。



☑ 土壌、雪面、下層植生の影響を受ける。



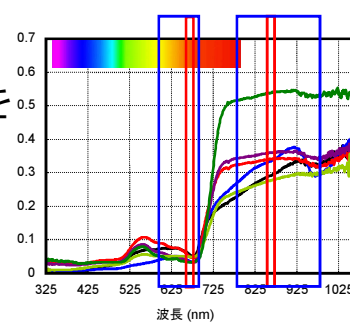
36

衛星リモートセンシングの弱点・注意点

☑ スペクトル分解能

異なるスペクトル分解能の指標を
比較する時は注意が必要

☑ 雲・大気・エアロゾルの影響



☑ 光合成などの複雑な手法によるデータを 検証する事が容易でない。 リモートセンシングでは、直接フラックスは求まらない。

37

復習事項

- ☒ リモートセンシングの利点・欠点
- ☒ 電磁波の基礎と分光反射特性
- ☒ 植生指数(NDVI)の原理とフェノロジー
- ☒ 人工衛星リモートセンシングを用いた広域光合成評価

38

引用・参考文献

Ichii, K., Suzuki, T., Kato, T., Ito, A., Hajima, T., Ueyama, M., Sasai, T., Hirata, R., Saigusa, N., Ohtani, Y., and Takagi. 2010: Multi-model analysis of terrestrial carbon cycles in Japan: limitations and implications of model calibration using eddy flux observations. *Biogeosciences*, 7, 2061-2080.

岩男弘毅, 2005: リモートセンシング読本 ―インターネットの情報満載―, 社団法人日本測量学会, 177pp.

Monteith, J. L., 1977: Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 281, 277-294.

Myneni, R. B. and Williams, D. L., 1994: On the relationship between FAPAR and NDVI. *Remote Sens. Environ.* 49, 200-211.

日本リモートセンシング研究会編, 1992: 図解リモートセンシング, 社団法人日本測量学会, 322pp.

Running, S. W., R. R. Namani, F. A. Heinsch, M. Zhao, M. Reeves, and H. Hashimoto, 2004: A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production. *BioScience*, 54, 547-560.

Tucker, C., Slayback, D. A., Pinzon, J. E., Los, S. O., Myneni, R. B., and Taylor, M. G. 2001: higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999. *Int. J. Biometeorol.*, 45, 184-190.

Yang, F., K. Ichii, M. A. White, H. Hashimoto, A. R. Michaelis, P. Votava, A. -X. Zhu, A. Huete, S. W. Running, and R. R. Nemani, 2007: Developing a continental-scale measure of gross primary production by combining MODIS and AmeriFlux data through support vector machine approach. *Remote Sens. Environ.*, 110, 109-122.