

衛星軌道を理解しよう

～人工衛星はどこをどのように飛んでいるか？～

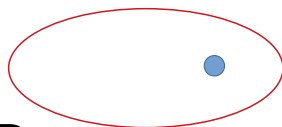
衛星が上空を飛んでいるところでないとは観測できない！

いつどの地域に衛星が飛んでくるかを理解し制御することが重要。

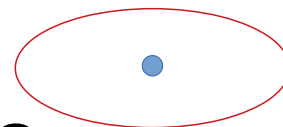
問題: 地球(青丸)のまわりの衛星軌道(赤線)として, **実現不可能**のものを選んでください。



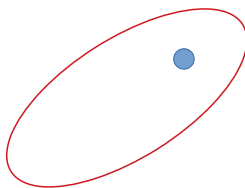
A



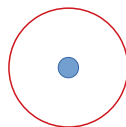
B



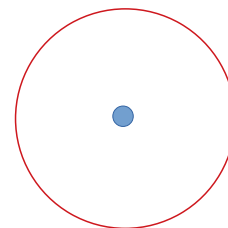
C



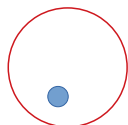
D



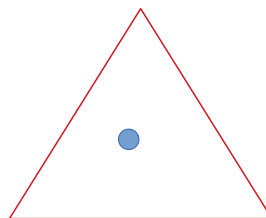
E



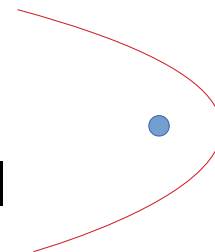
F



G



H



I

ニュートンの運動方程式

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

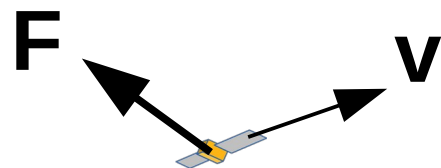
\mathbf{F} : 力

m : 質量

\mathbf{a} : 加速度

\mathbf{v} : 速度

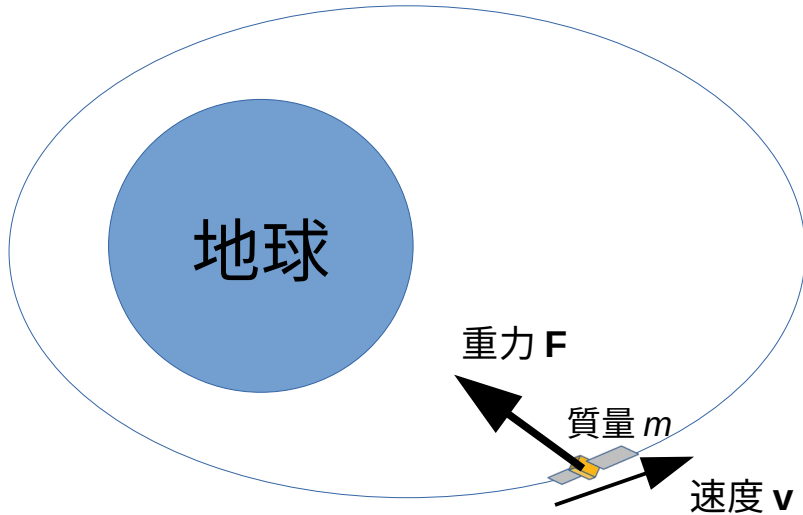
$$\mathbf{a} = d\mathbf{v}/dt$$



これが全てを教えてくれる。

衛星軌道の物理学

軌道は二次曲線（楕円・放物線・双曲線）。
焦点（複数ある場合は片方）に地球中心が位置する。
ただし地球の重力は厳密には等方的ではないので軌道は徐々にズれる。



人工衛星は、打ち上げのときはロケットの推進力を借りる。
打ち上がった後は、推進力無しに勝手に飛び回る。
それは地球の重力と運動方程式で決まる運動。
ただし人工衛星には小さなロケットがついていて、たまにそれで軌道修正をする。

衛星を好きなときに好きな場所に持ってくるのはほぼ無理。
→ 見たい対象がよく見えるような軌道を設計・実現する必要がある。

衛星軌道の物理学

特に、単純な円軌道の場合

R : 軌道半径 (地球中心と衛星の距離)

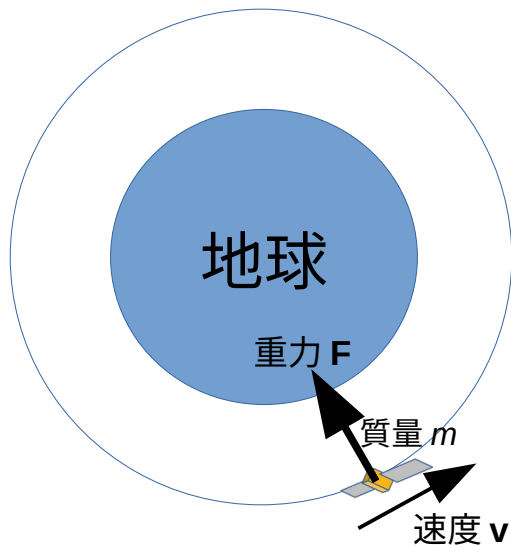
G : 重力定数

M : 地球質量

m : 衛星質量

ω : 円運動の角速度 (角度÷時間)

T : 円運動の周期



球状物体の重力の法則

$$F = \frac{GMm}{R^2}$$

円運動の運動方程式

$$F = ma = mR\omega^2$$

角速度と周期の関係

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

周期

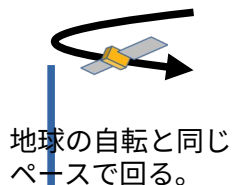
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM}}$$

軌道半径 R が大きいほど周期は長くなる。
楕円軌道では R を長半径 a に変えればこの式が成り立つ。

代表的な人工衛星軌道

静止軌道

気象衛星「ひまわり」



$R = 42000 \text{ km}$

→ $T = 24 \text{ 時間}$

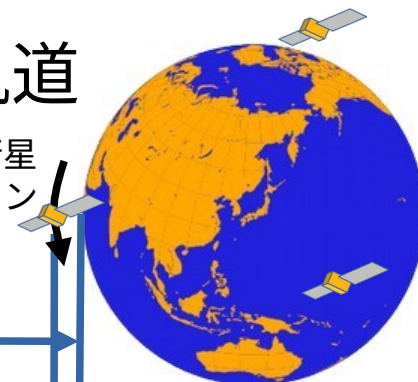
1日1回地球一周

低軌道

多くの地球観測衛星
国際宇宙ステーション



19,000 km GLONASS
20,200 km GPS
24,000 km ガリレオ



6,400 km

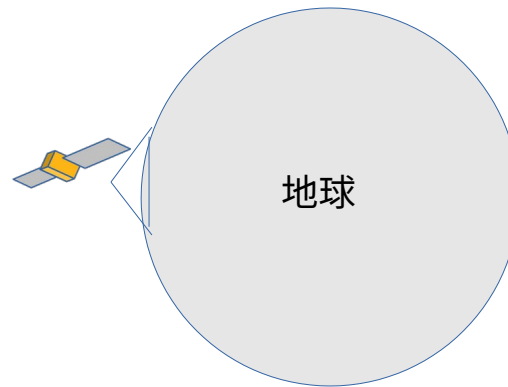
300 km~800 km

$R = \text{約}7000 \text{ km}$

→ $T = \text{約}100 \text{ 分間}$

1日14~15回地球一周

低軌道…多くの地球観測衛星



- 地球直近の上空を飛ぶ。
ハイスピード。約1.5時間で地球1周。秒速約8 km。
- 近くから見る。
細かく見える。
そのかわり、一度に広く見ることはできない。
→ 再観測のタイミングはだいぶ先になる。
→ 同じ場所を頻繁に観測するのは不得手。



Terra / MODIS



ALOS / AVNIR2

静止軌道…気象衛星

- 地球の自転と同じ角速度で飛ぶ。

地上からは、常に上空の同じ場所にいるように見える。

地球の片面だけを見続ける（裏側は見えない）。

同じ場所を高頻度で継続的に観測できる。

- 赤道上空に居続ける。

直下はよく見えるが、端の方はつぶれてしまう。

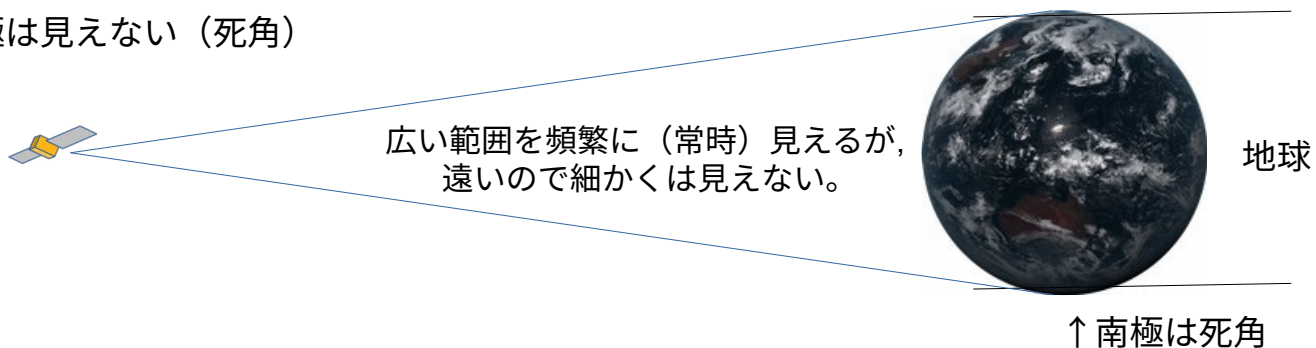
- 遠くから見る。

広い範囲をいちどに見える。

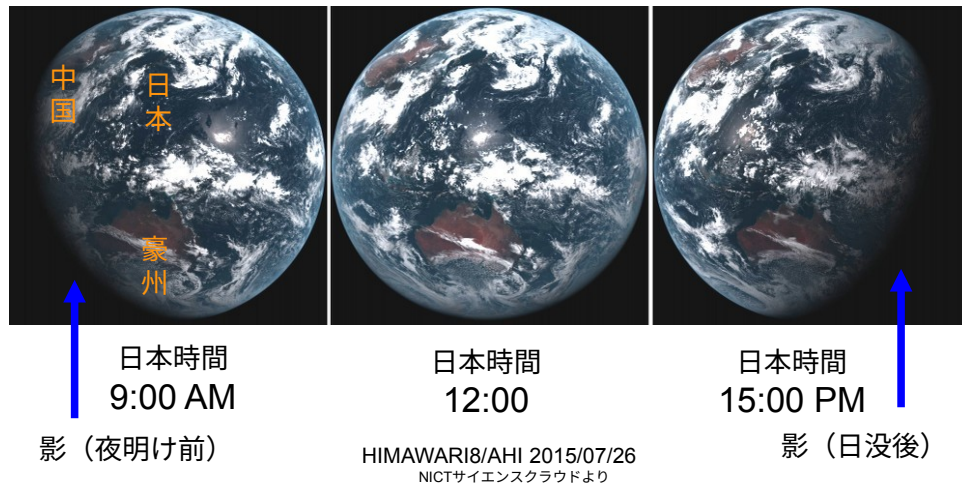
細かく見ることは難しい（せいぜい1 km程度）

- 遠くとは言え、無限に遠くからではない。

北極や南極は見えない（死角）



気象衛星ひまわり8号



運動方程式

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a} = m\mathbf{dv}/dt$$

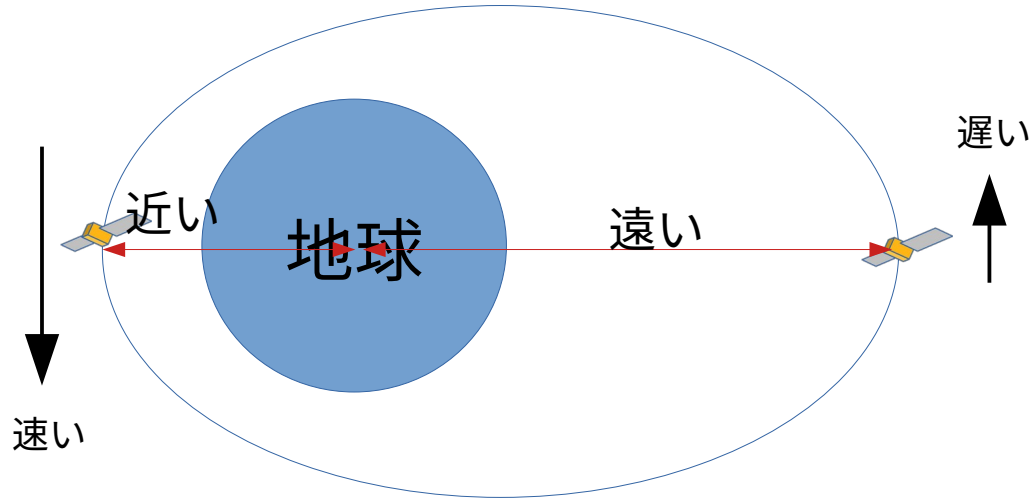


角運動量保存則 (の結果のひとつ)

「地球中心からの距離」 × 「速度」 は一定

↑
ベクトルの外積。ただの掛け算ではない。

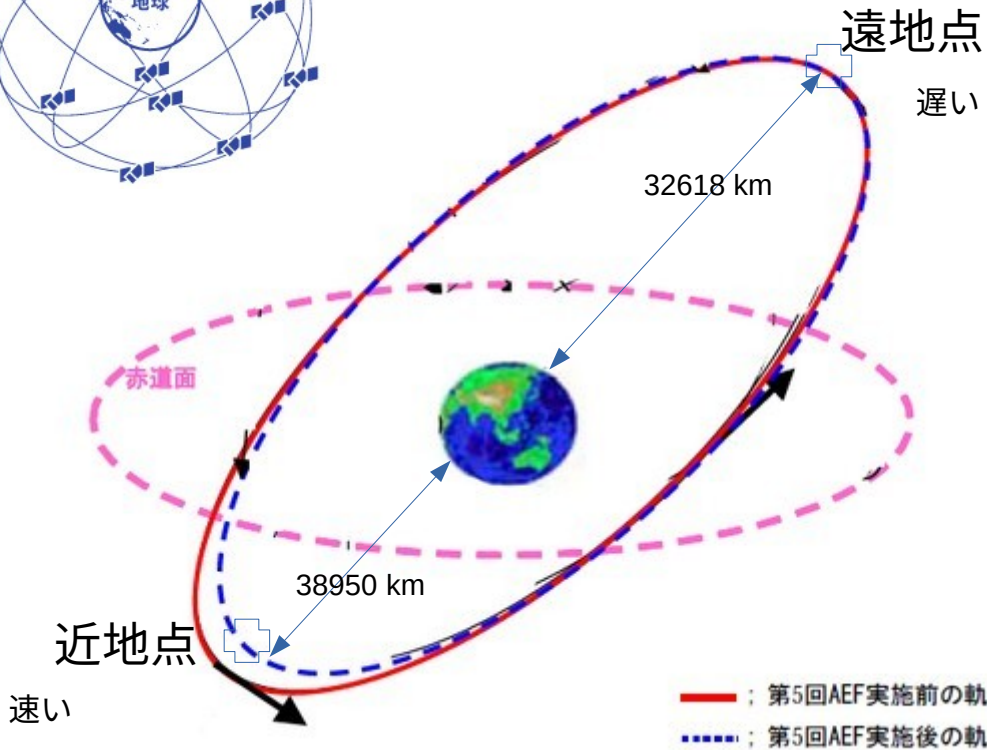
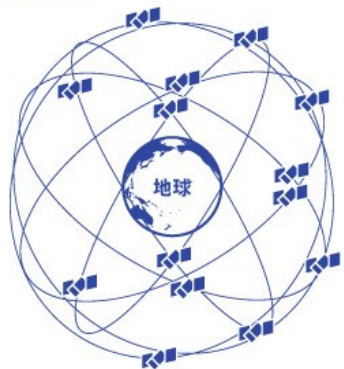
楕円軌道では、「近地点」で速く、「遠地点」で遅い。



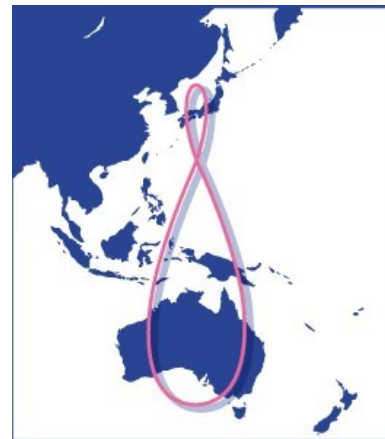
実験

特殊な人工衛星軌道: 準天頂衛星「みちびき」

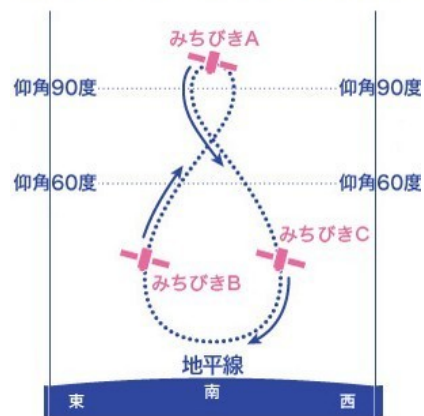
GPSの軌道



静止軌道に似ているが、傾いた楕円軌道にして遠地点を日本上空に置くことで日本上空になるべく長く滞空させる。



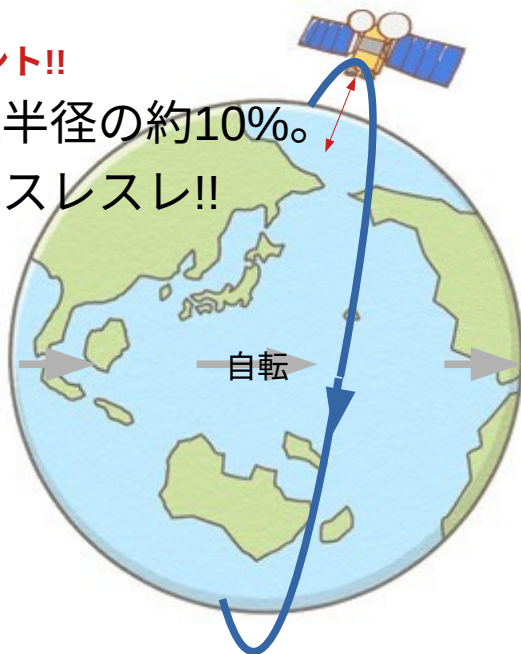
東京付近から観測したみちびきの動き



極軌道（低軌道のひとつ）... 縦に飛ぶ!!

ポイント!!

地球半径の約10%。
結構スレスレ!!



ポイント!!

北極→南極ではなく、
ちょっと傾いてる!

だから

ポイント!!

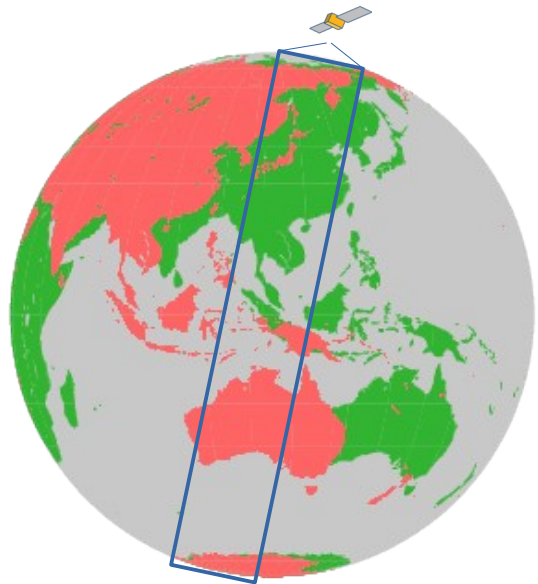
画像が斜め!!

なぜ縦に飛ばすのか？

なぜちょっと傾けるのか？

なぜ縦に飛ばすのか？

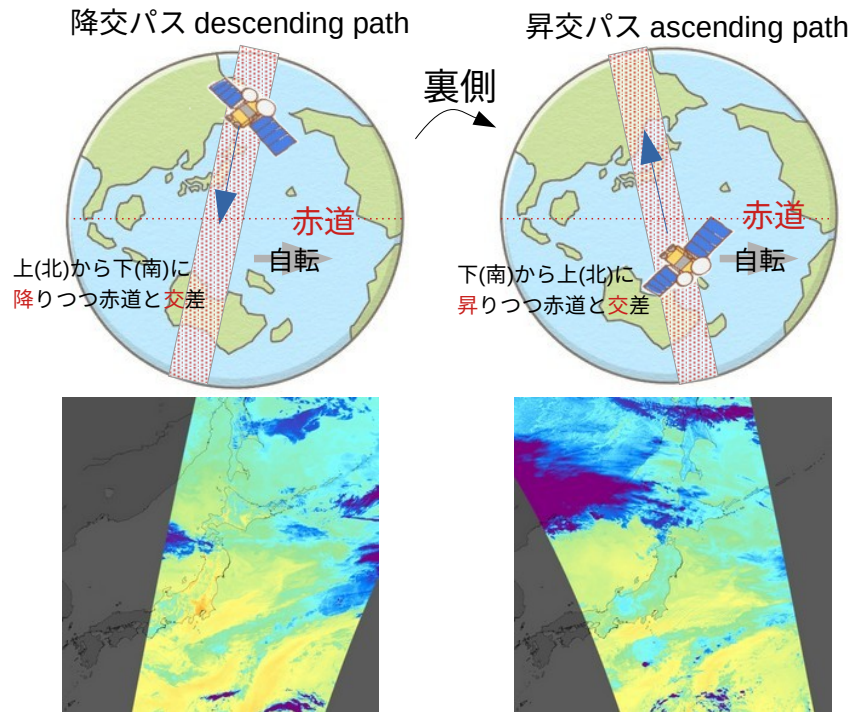
↓ 赤色の陸地は100分後（低軌道衛星 1 周後）に緑色の位置に来る。



地球の自転をスキャナーのように使う。

→ 地球全体を観測できる。

ただし、ちょっと傾けるので北極点・南極点は死角!!



GCOM-C 「しきさい」 衛星のサーモグラフィー画像, 2021

右に傾いた画像は降交パス
左に傾いた画像は昇交パス

なせちょっと傾けるのか？

太陽同期のため

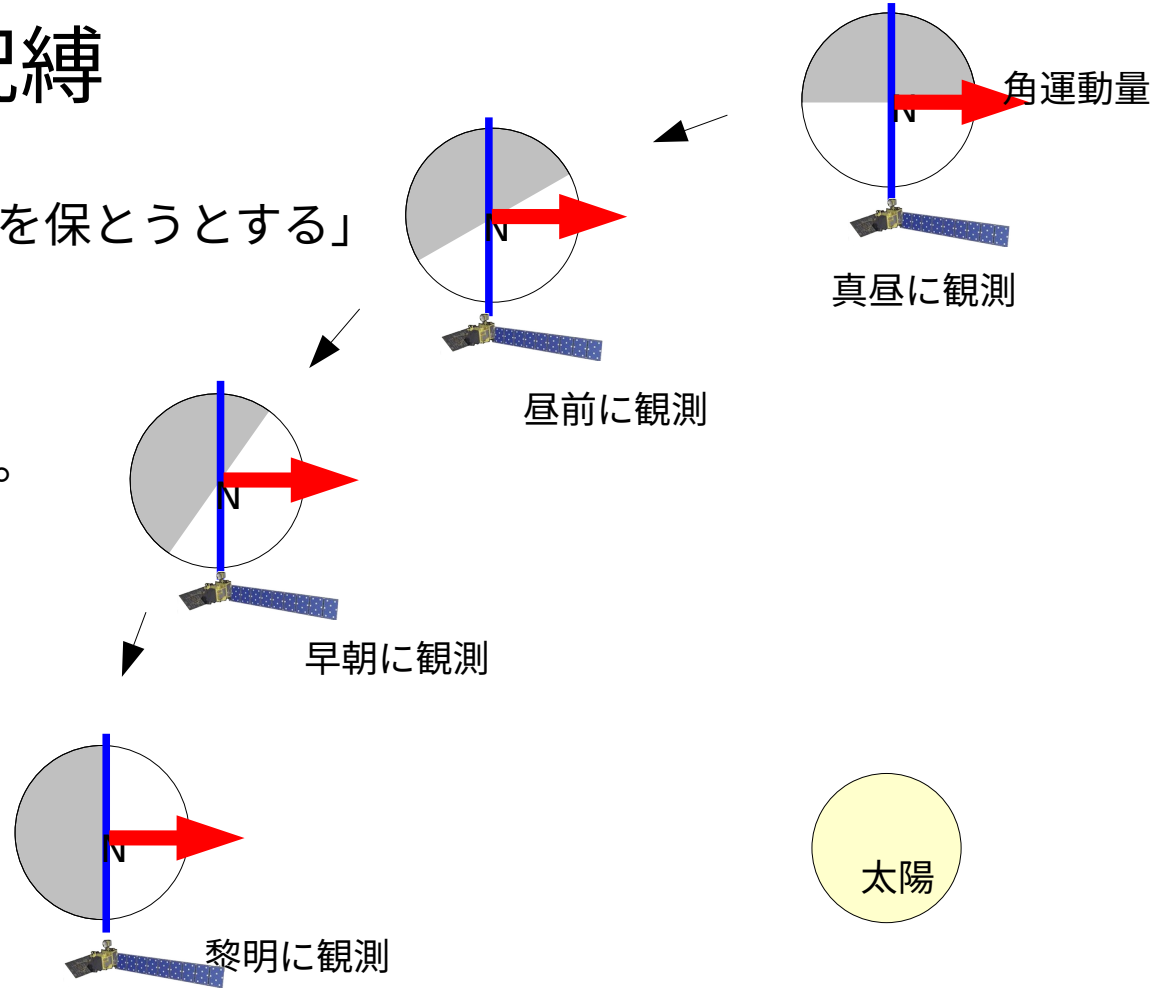
角運動量保存則の呪縛

「回転する物体は回転の向きと勢いを保とうとする」
(角運動量)

- 軌道面の方向が変わらない。
- 観測時刻が季節変化してしまう。
- 季節によっては役立たず！

軌道面の向きを、地球の公転と合わせて徐々に変える必要がある。

でもどうやって？



角運動量保存則の正しい表現

角運動量 (ベクトル) = 位置ベクトル×運動量

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \mathbf{N}$$

「力のモーメント」ともいう。
トルク (ベクトル)
= 位置ベクトル×力

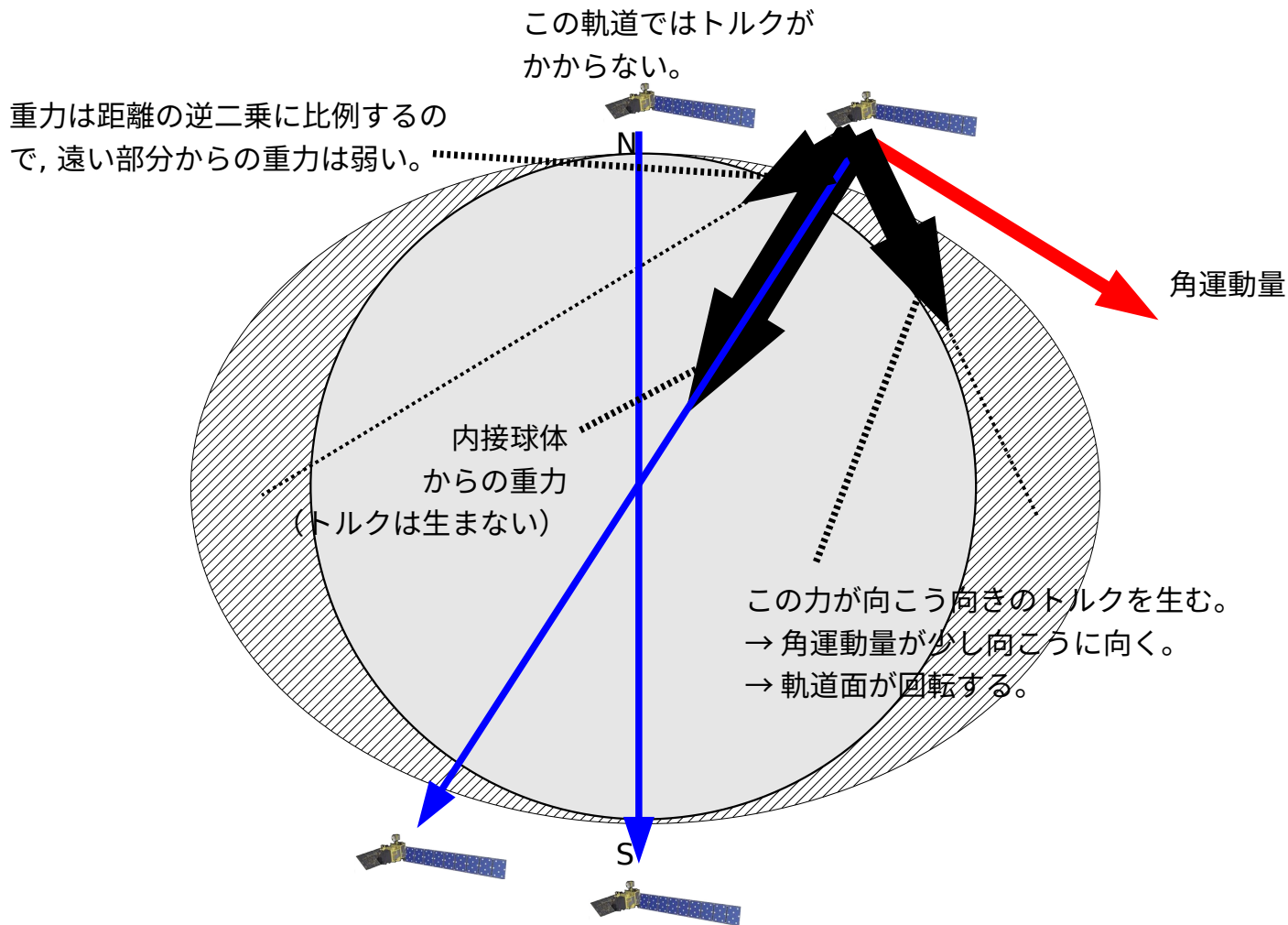
「角運動量の時間変化 (時刻による微分係数) はトルクに等しい」

つまり, 角運動量の変化 = トルク × (微小な) 時間

てことは, トルクをかけてやれば角運動量 (回転の向きや大きさ) を変えられる!!

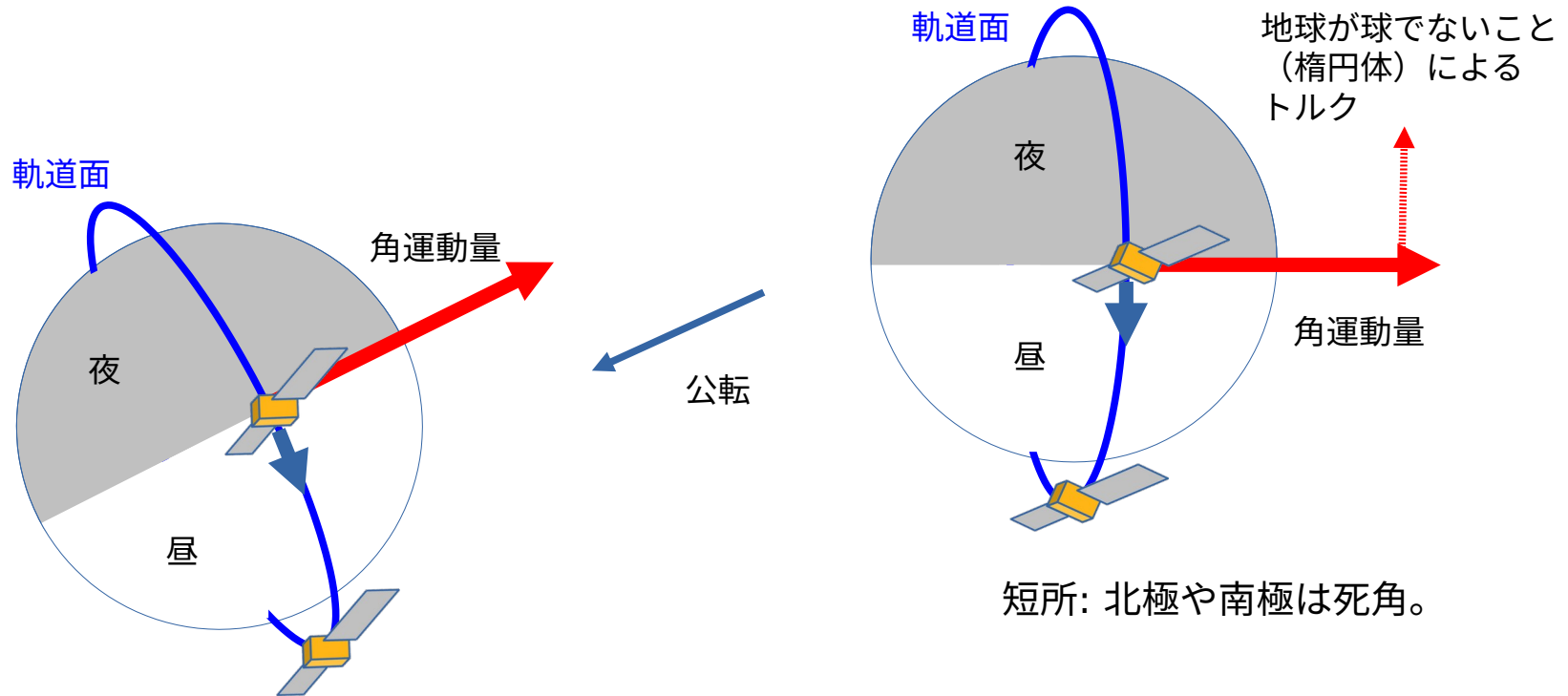
実験

地球が楕円体であることを利用してトルクをかける！

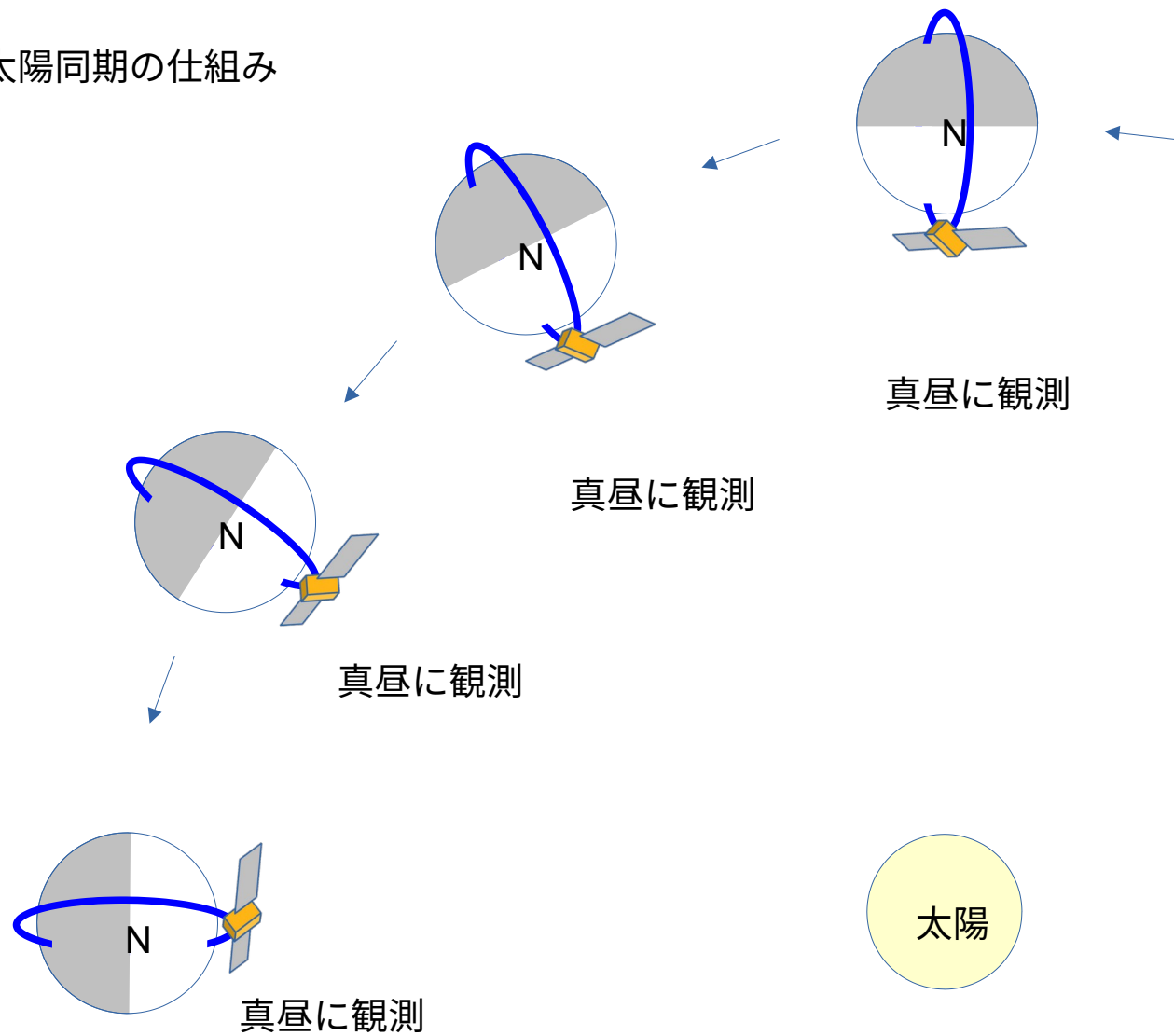


太陽同期のマジック … 北極・南極をはずして斜めに飛ぶ。

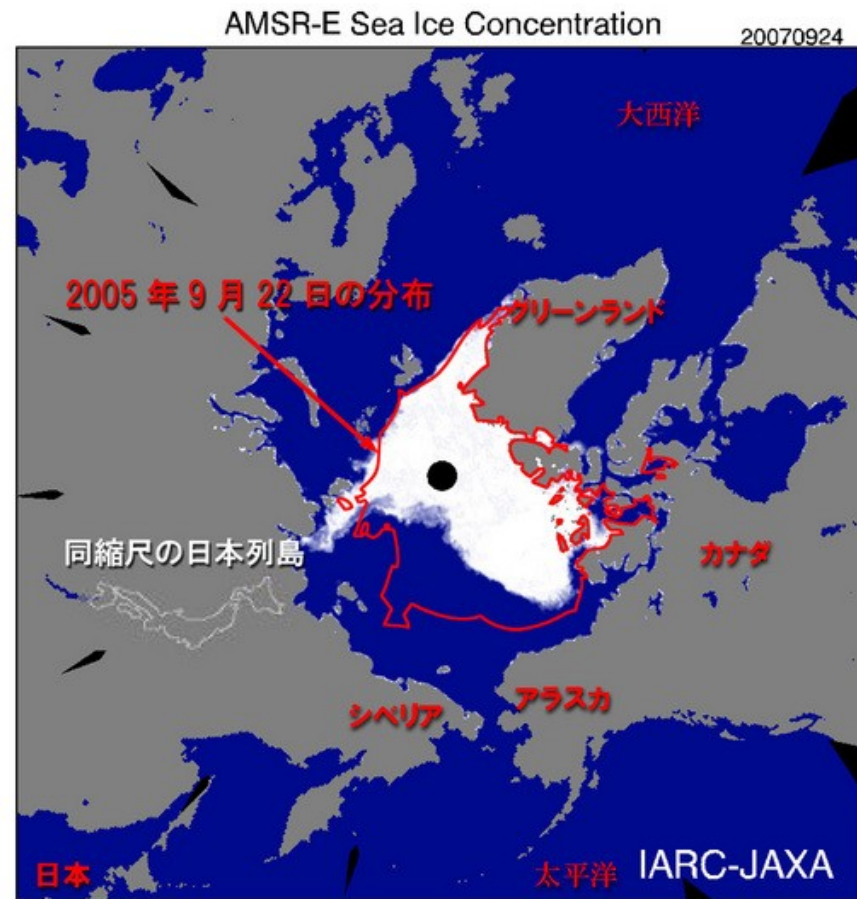
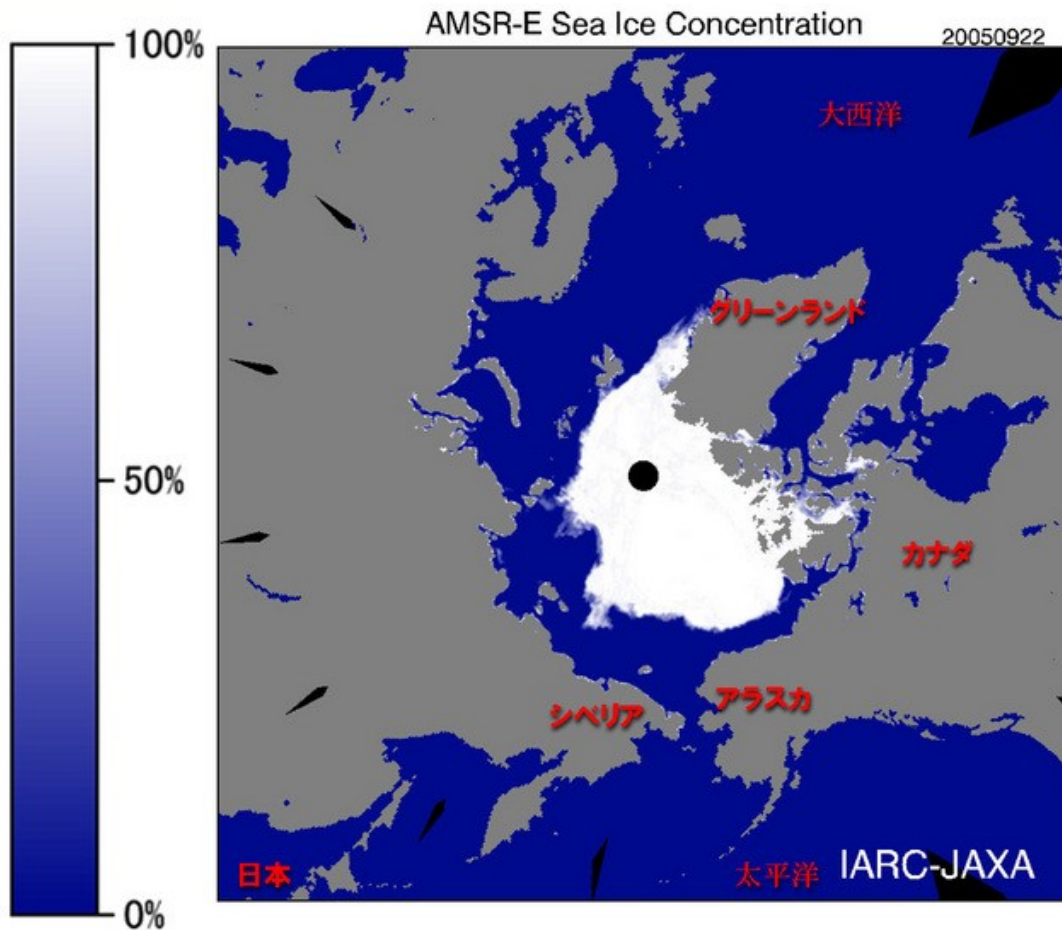
- 軌道面が地球の公転と同じ周期で回転する（歳差）。
- 太陽を基準とする相対的な方向を一定にできる（太陽同期）。



太陽同期の仕組み



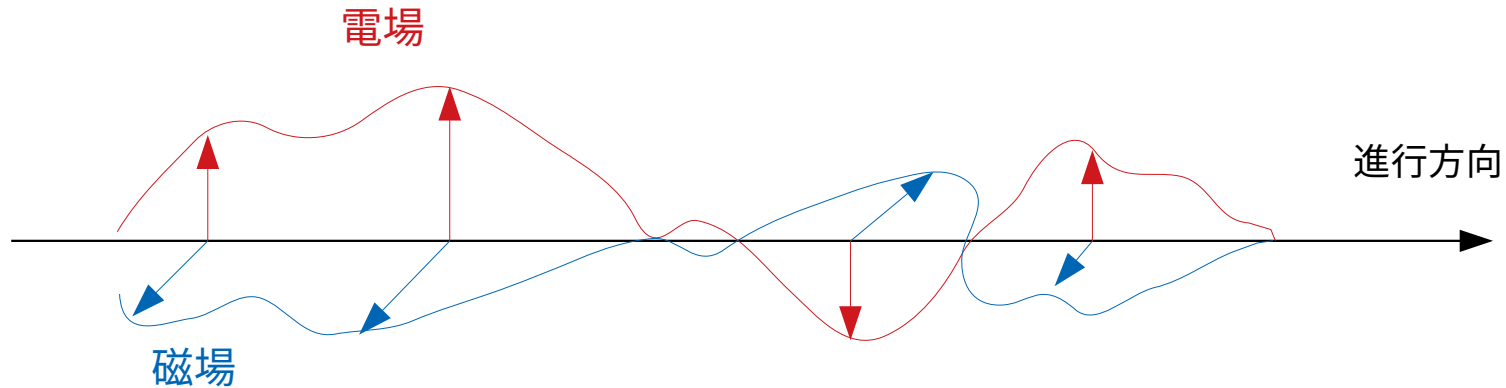
極軌道衛星による北極海の海氷観測



なぜ北極に穴が開いているか、皆さんおわかりですね。

光（電磁波）とは？

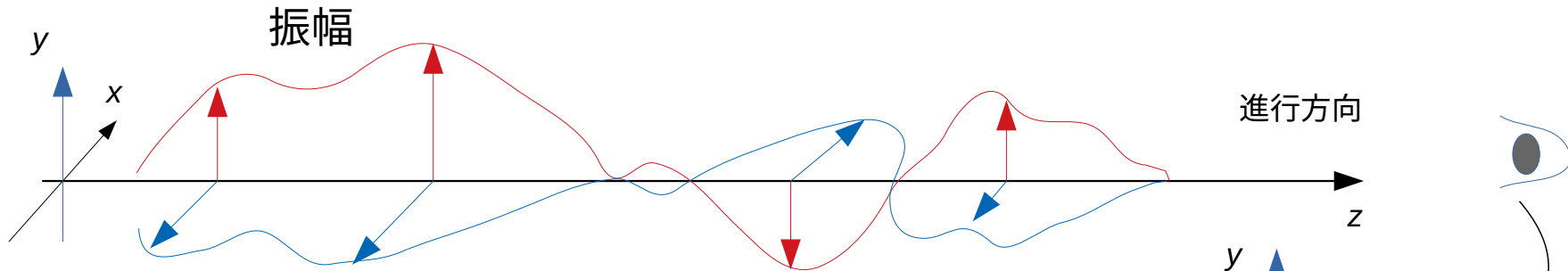
電場と磁場のパターンが空間を伝わる波



Maxwell方程式（電磁気学の基本法則）に従う。それによれば、

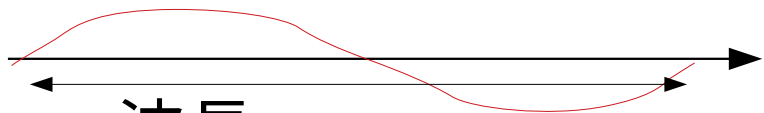
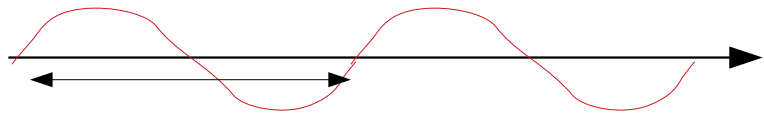
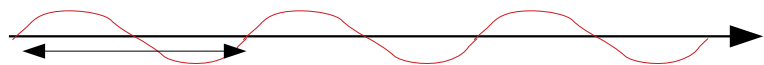
- 電場と磁場は互いに直交する。
- 電場×磁場の方向（×は外積）の方向に進行する。
- 速さは $c = 1/\sqrt{\epsilon \mu}$ （ ϵ は誘電率、 μ は透磁率）

光（電磁波）の特徴



振幅

(とりあえず磁場のことは忘れよう)

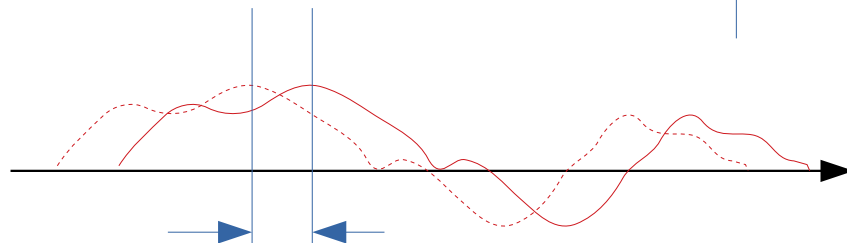


波長

=正弦波で分解したとき、どのような波長のパターンが強いかな？

偏光

=電場がどっちを向いているかな？



位相

=どれだけ波がズれているかな？ (波の到着のタイミング)

波長が特に重要！

物体と電磁波の相互作用は波長に大きく依存する!!

(要するに色情報)

空の青 …

大気分子によるレイリー散乱

虹の七色 …

水の屈折率の波長依存性 (分散)

水の濁った色 …

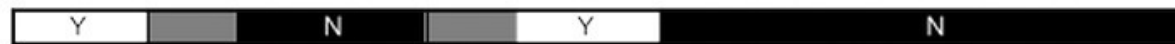
水中の懸濁粒子による散乱



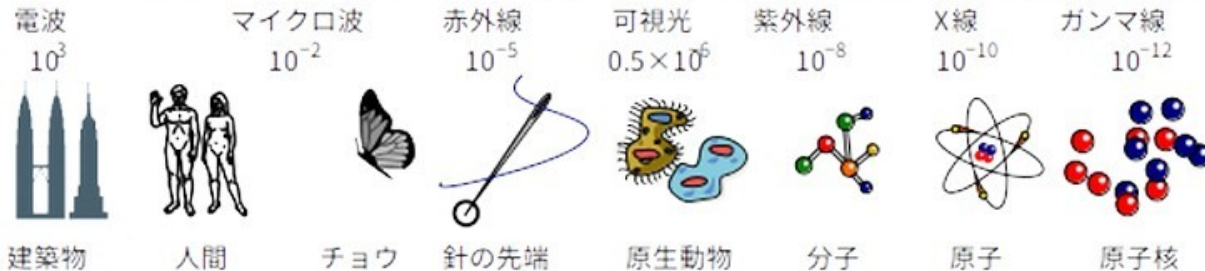
植物の緑色 … 光合成色素による青と赤の吸収

波長別の電磁波の性質

地球の大気を
透過できるか?



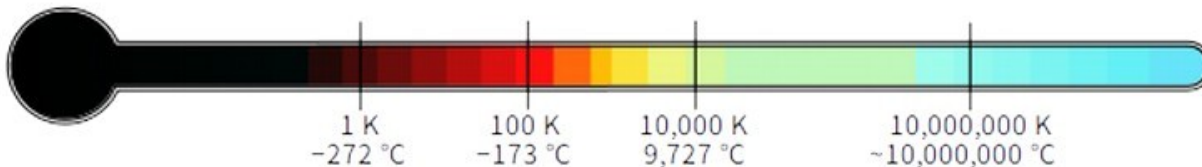
電磁波の種類
波長(m)



周波数 (Hz)

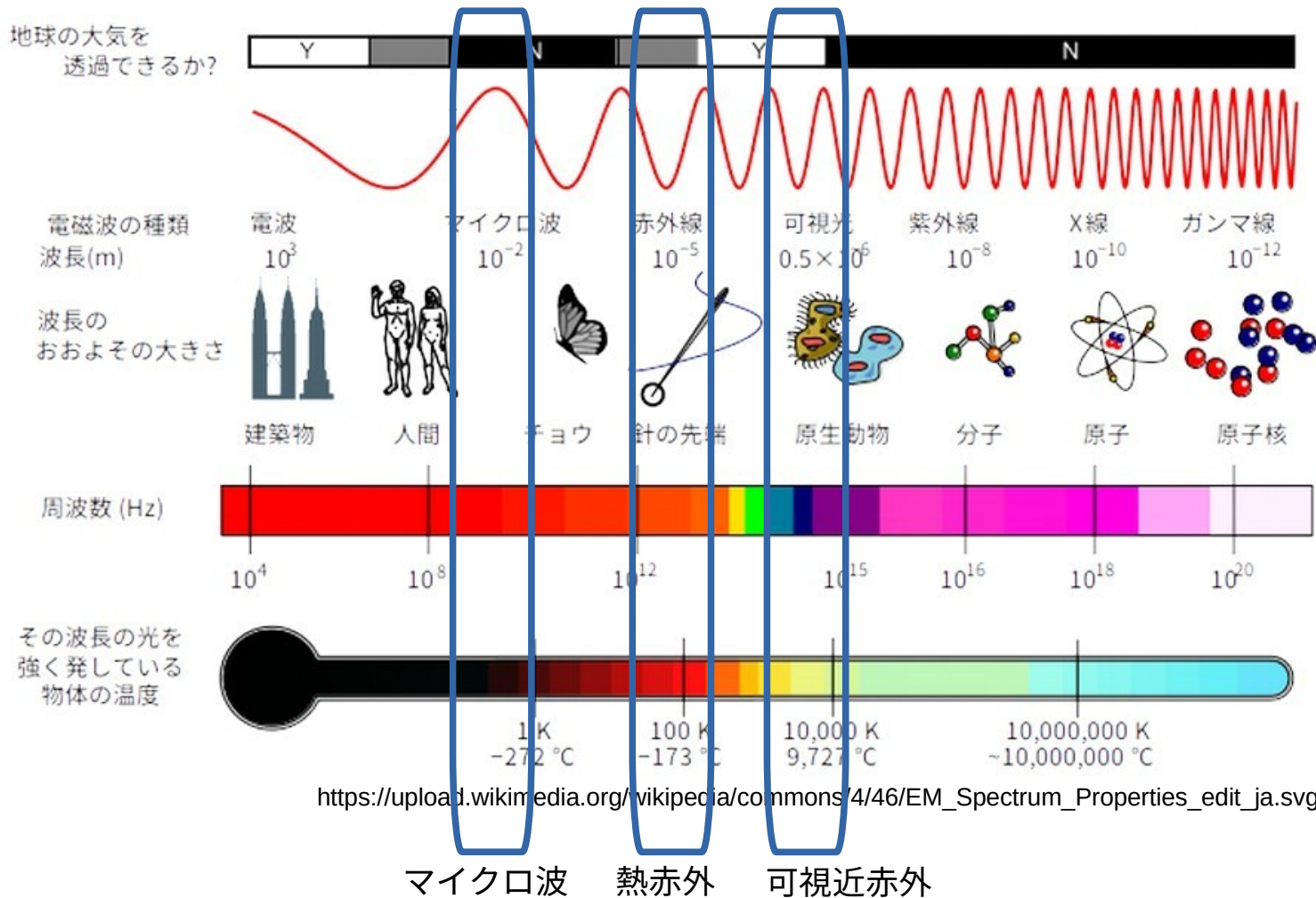


その波長の光を
強く発している
物体の温度



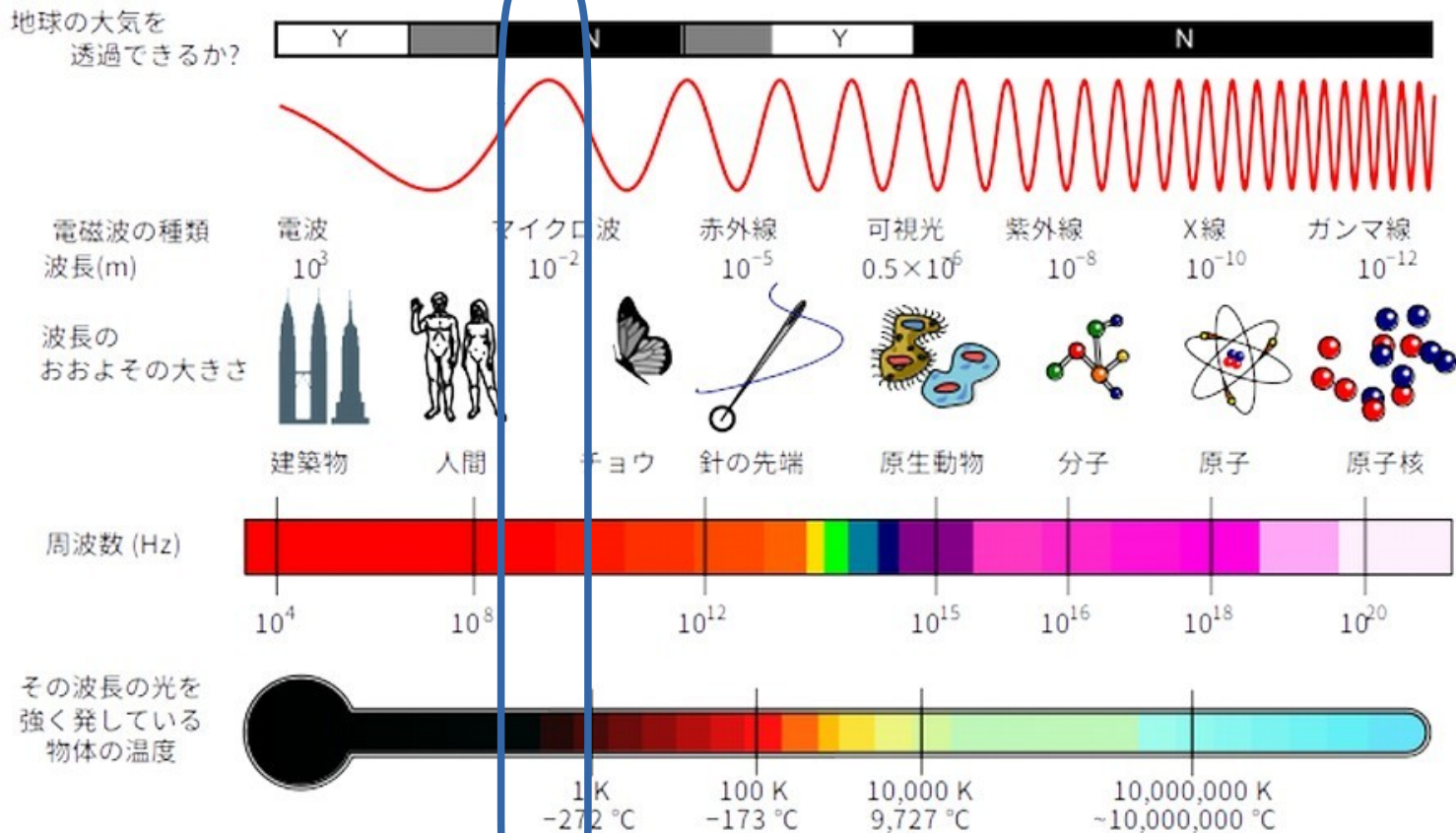
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/EM_Spectrum_Properties_edit_ja.svg

波長別の電磁波の性質



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/EM_Spectrum_Properties_edit_ja.svg

波長別の電磁波の性質



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/EM_Spectrum_Properties_edit_ja.svg

マイクロ波

マイクロ波センサー(波長数cm～数10cm)

長所: 大気粒子(雲や雨や火山灰)などに邪魔されず地表を観測できる。

短所: 可視・近赤外のような直感的なわかりやすさに乏しい。

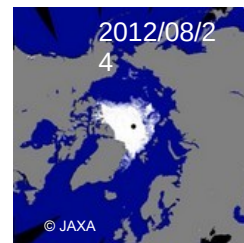
マイクロ波放射計

(物体が出すマイクロ波を受動的に観測)

温度, 雨, 土壌水分, 海氷などがわかる。

解像度は悪い(数10 km)

GCOM-W / AMSR2



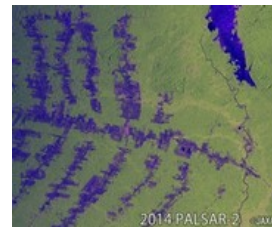
合成開口レーダー

(マイクロ波を能動的に出し, 反射を観測)

地形, 森林状態, 水面(洪水)などがわかる。

解像度は良い(数10m ~ 数m)

ALOS-2 / PALSAR2



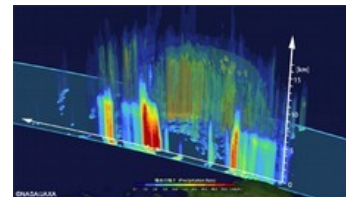
降水レーダー

(マイクロ波を能動的に出し, 反射を観測)

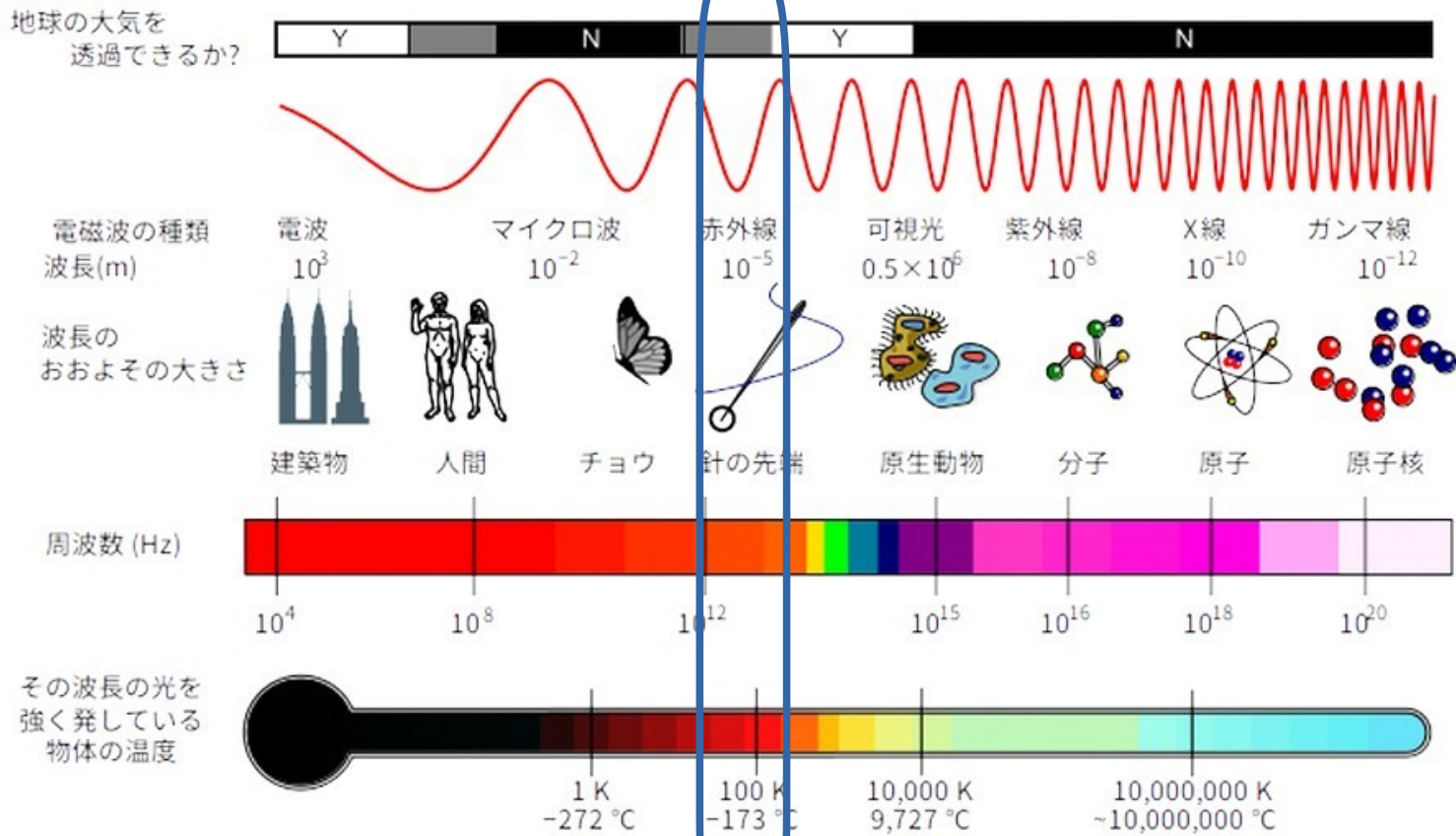
雨雲の立体構造がわかる。

解像度は数 km。

GPM / DPR



波長別の電磁波の性質



熱赤外

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/EM_Spectrum_Properties_edit_ja.svg

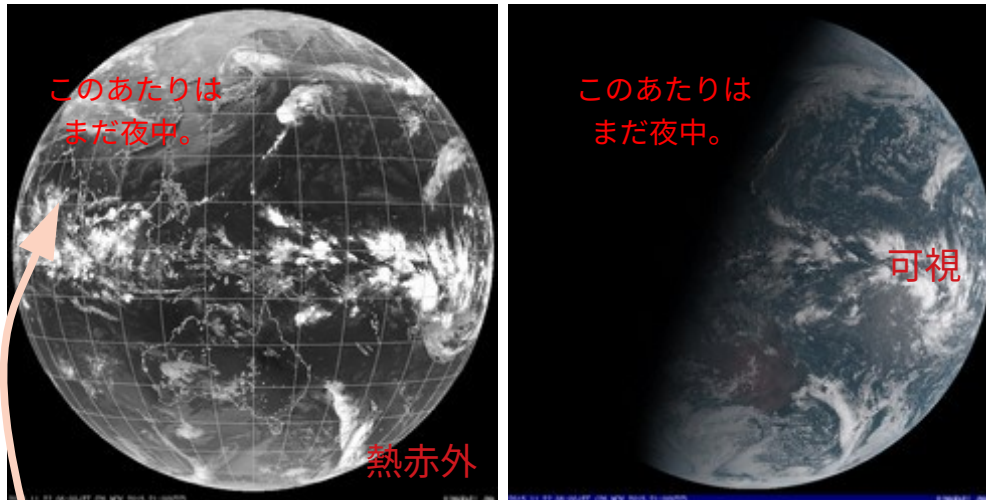
熱赤外センサー(波長10 μm 程度)

長所: 温度がわかる! 夜でも画像が得られる!

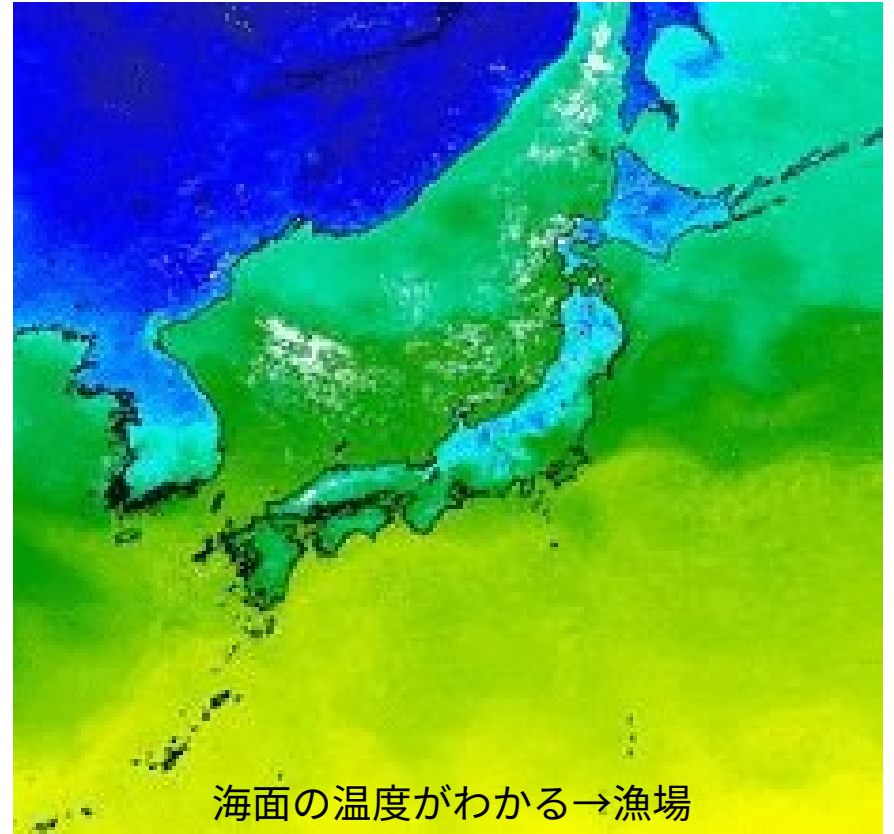
短所: 大気粒子(雲・塵・火山灰など)に邪魔されてしまう(泣)。 Terra / MODIS, Aqua / MODIS

短所: 可視・近赤外センサーほどは解像度は良くない。

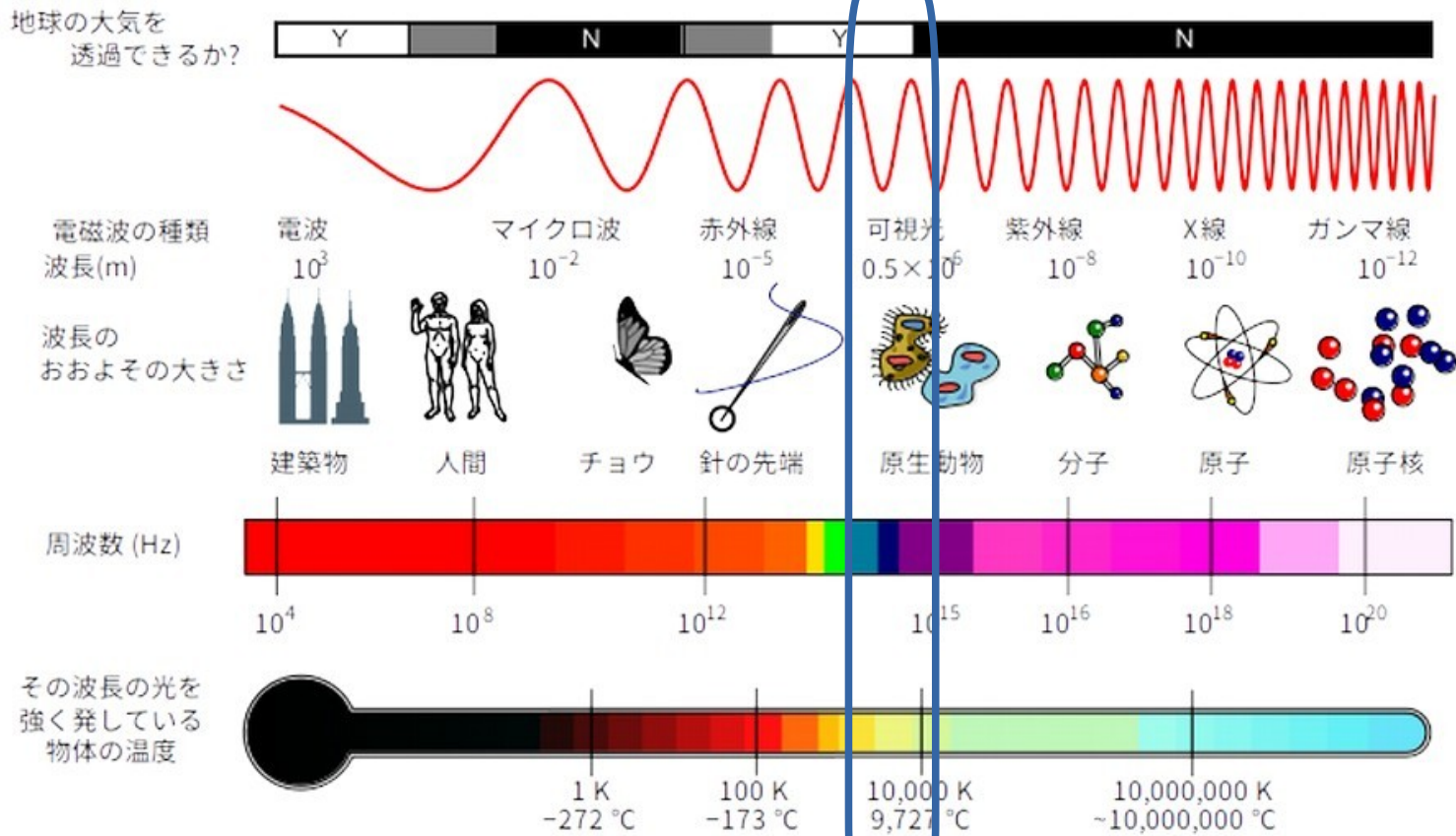
Himawari-8 / AHI 2015/11/27 6:00AM (日本時間。早朝)



夜の部分も雲が見えてる!



波長別の電磁波の性質



https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/46/EM_Spectrum_Properties_edit_ja.svg

可視近赤外

可視・近赤外センサー(波長0.3 μm~1 μm)

長所: 解像度が高く, 肉眼に近い直感的な画像が得られる。

短所: 大気粒子(雲・塵・火山灰など)にガンガン邪魔されてしまう(泣)

短所: 特別なセンサー以外は夜間は無力。

HIMAWARI-8 / AHI

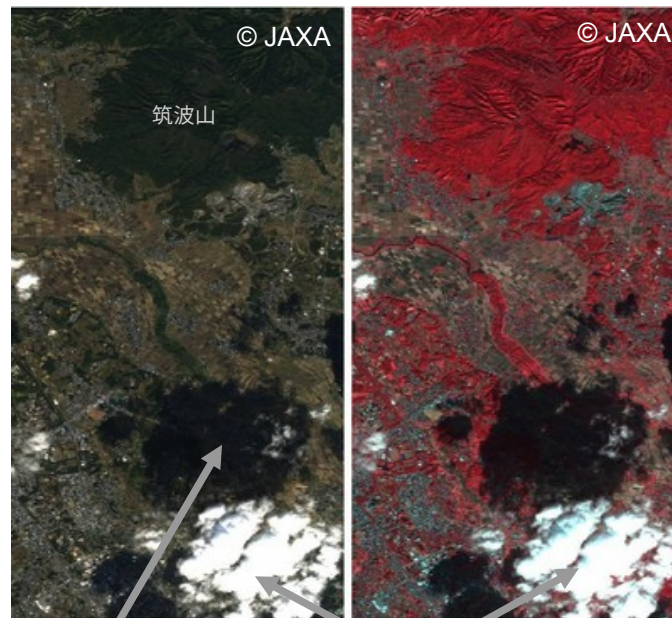


このあたりは
まだ夜中。

夜の部分が真っ暗(泣)

ALOS / AVNIR-2

JAXA/EORC
ALOS/AVNIR2-HLP
2006/11/12
Tsukuba, Japan



© JAXA

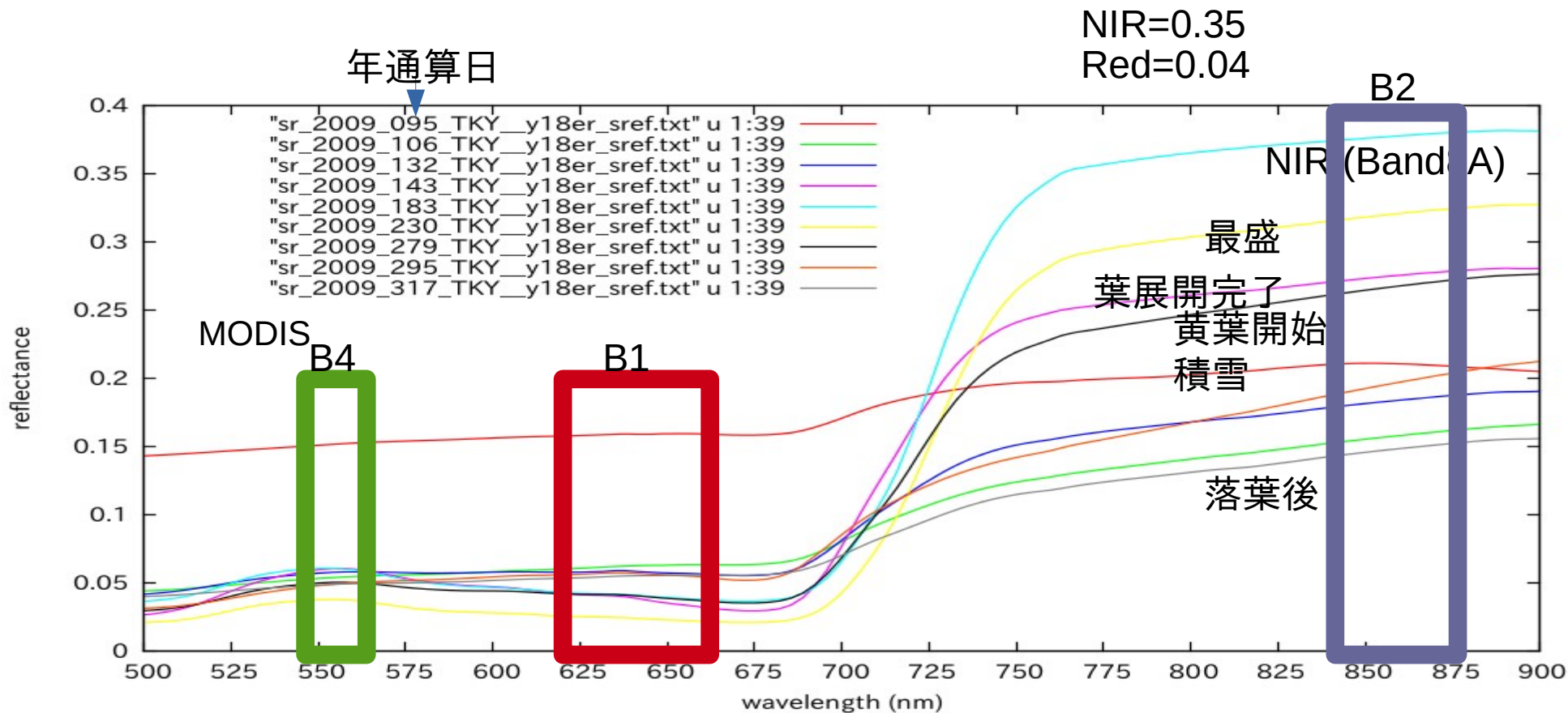
© JAXA

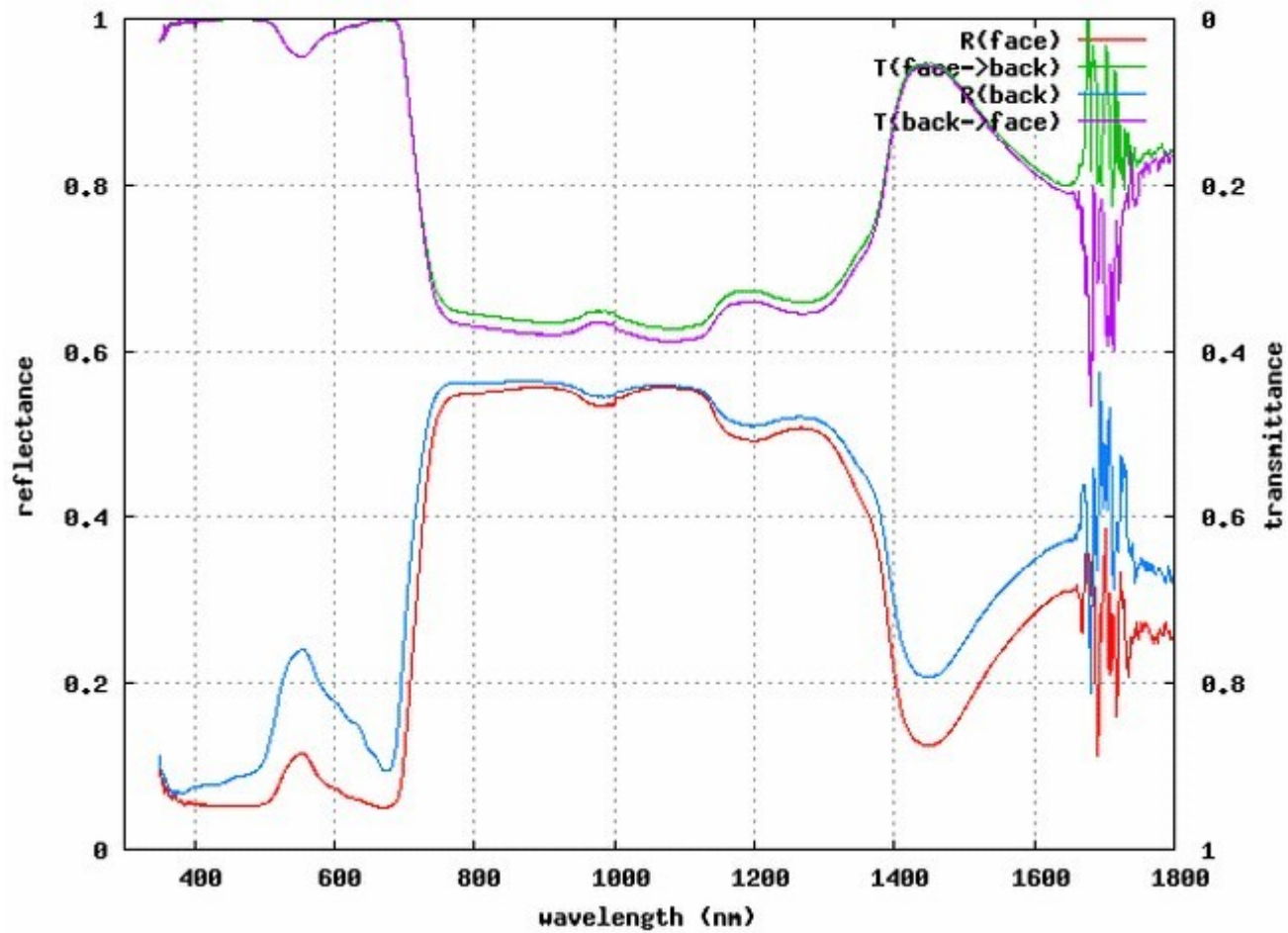
筑波山

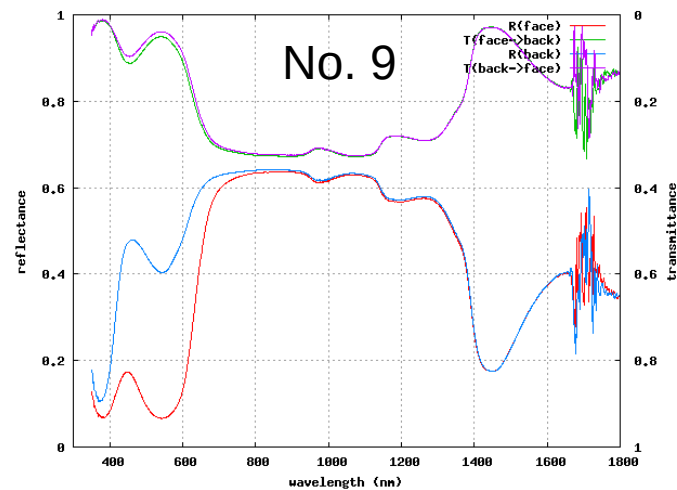
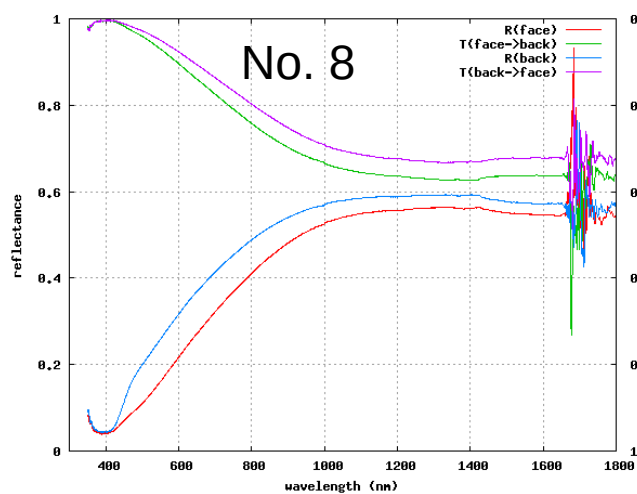
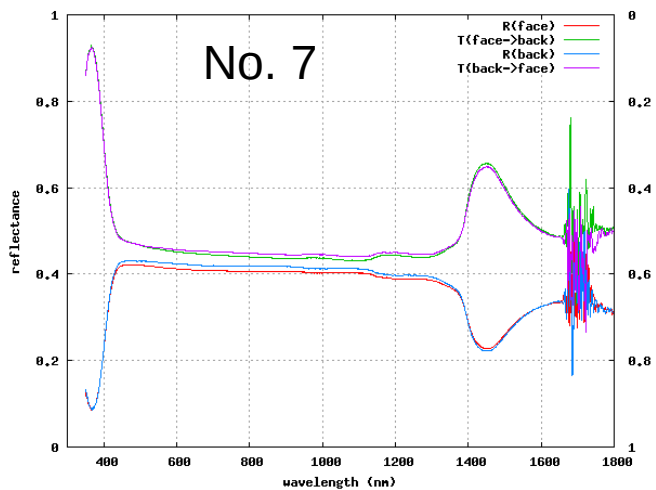
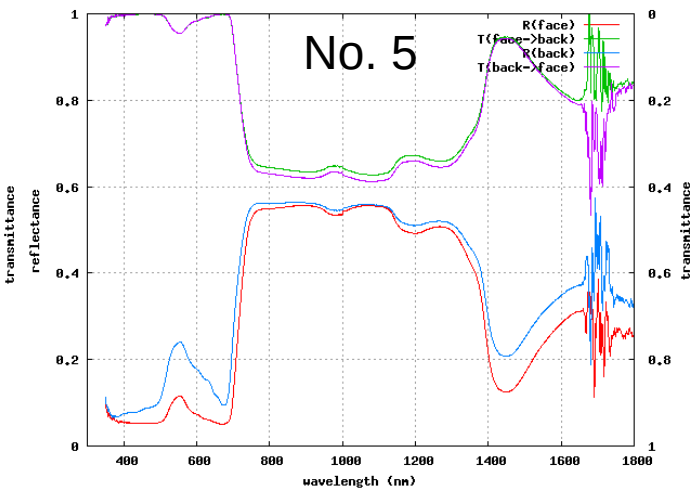
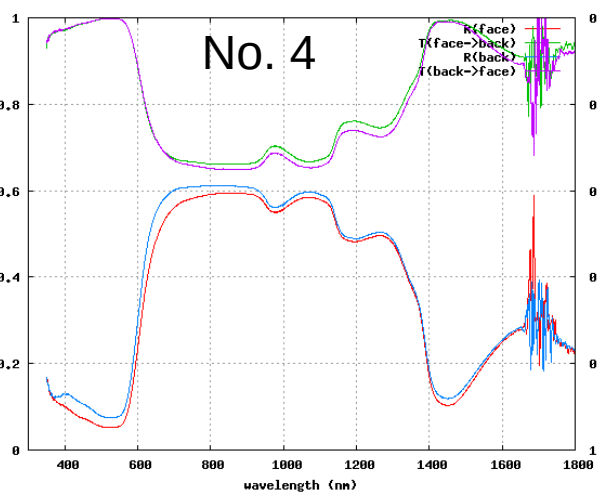
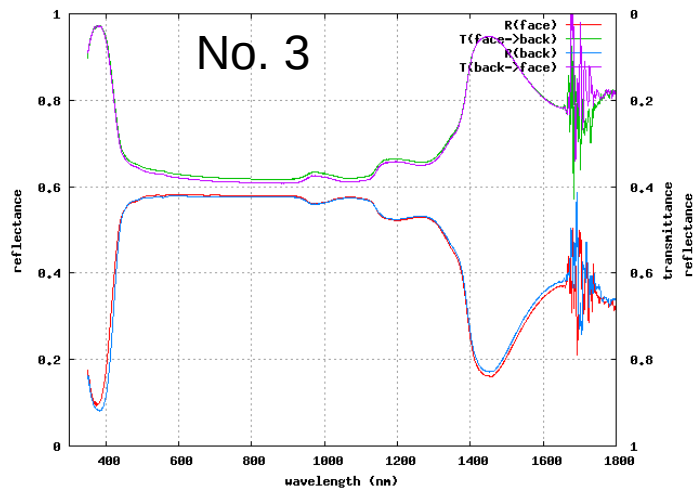
雲の下は見えない。(泣)
雲の影で暗くなっちゃってる(泣)

植生の分光アルベド (波長ごとの反射率)

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







A



B



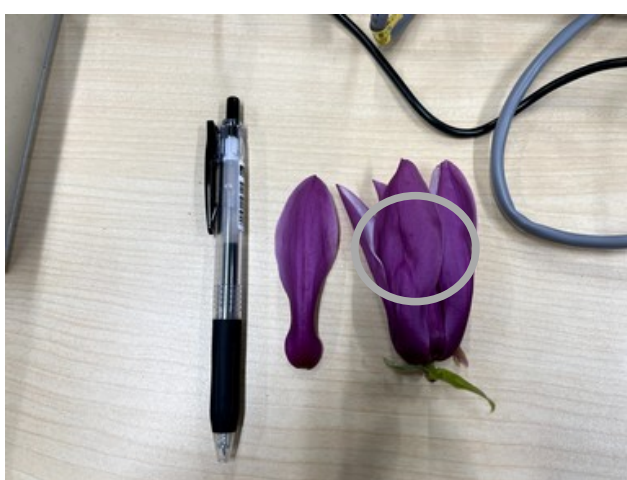
C



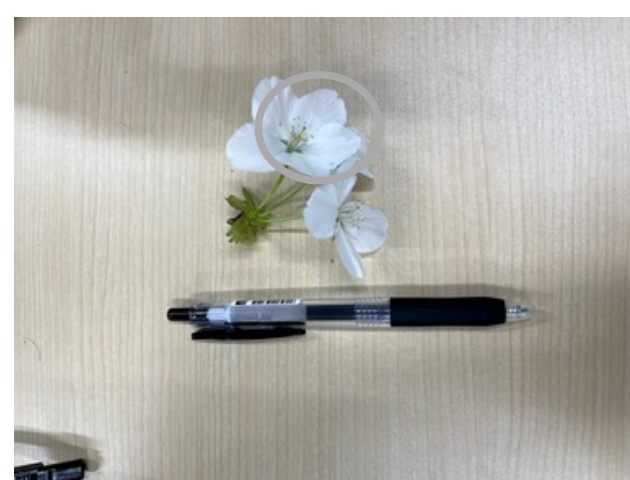
D



E



F



衛星で観測した世界の植生の増減

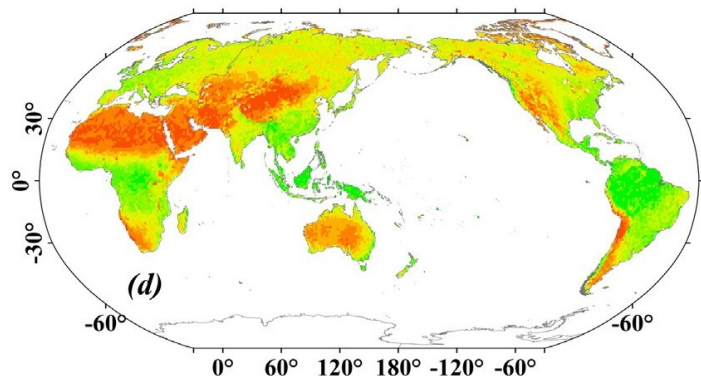


Available online at www.sciencedirect.com

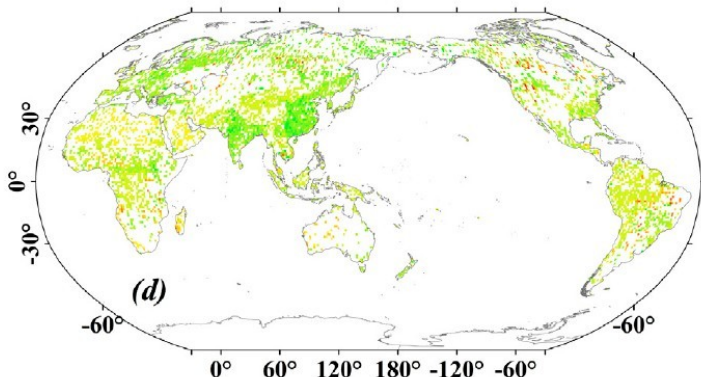
ScienceDirect

Advances in Space Research 70 (2022) 324–335

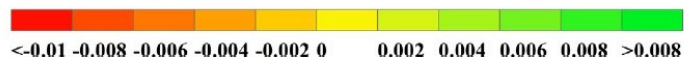
ADVANCES IN
SPACE
RESEARCH
(a COSPAR publication)
www.elsevier.com/locate/asr



NDVI



NDVI trend (/yr)



NDVI for 2001 to 2020. Only the trends that are significant at $p < 0.05$

Vegetation change enhanced the positive global surface radiation budget

Huihui Feng^{a,b}, Jian Xiong^a, Shuchao Ye^c, Bin Zou^{a,b}, Wei Wang^{a,b,*}

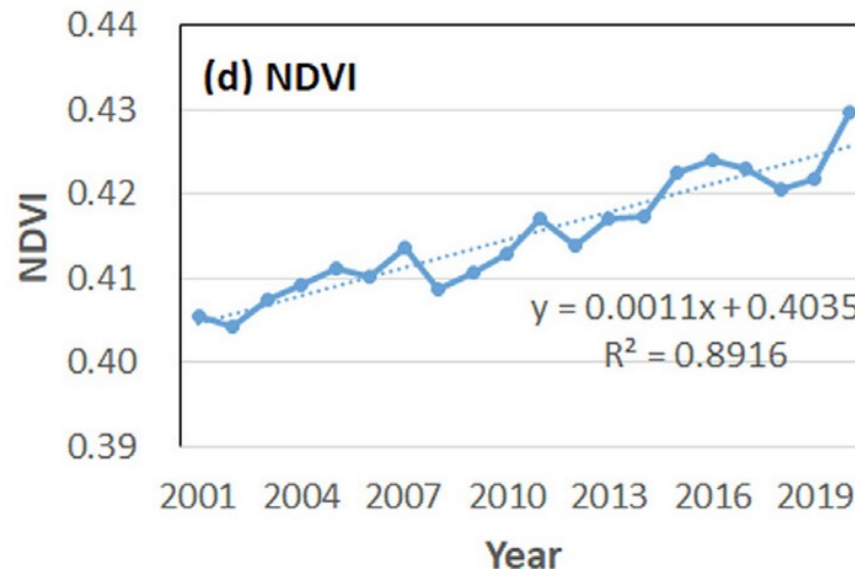
^a School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China

^b Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals and Geological Environment Monitoring of Chinese Ministry of Education, Changsha 410083, China

^c Department of Land Surveying and Geo-Informatics, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China

Received 11 February 2022; received in revised form 10 April 2022; accepted 14 April 2022

Available online 22 April 2022

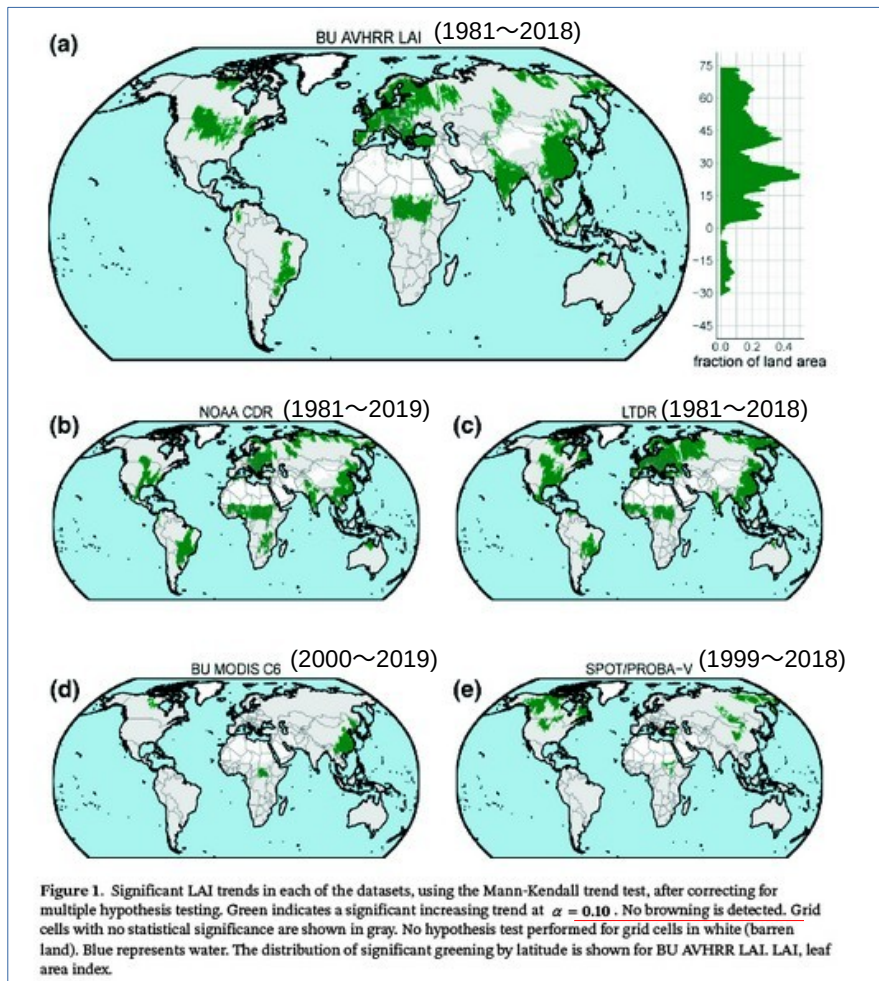


→ ここ約20年で世界的に植生が増えている!!

問: 植生は世界的に増えていると実際思うか?

問: 植生が増えるとアルベドはどうなるか?

衛星で観測した世界の植生の増減



Geophysical Research Letters

RESEARCH LETTER
10.1029/2020GL091496

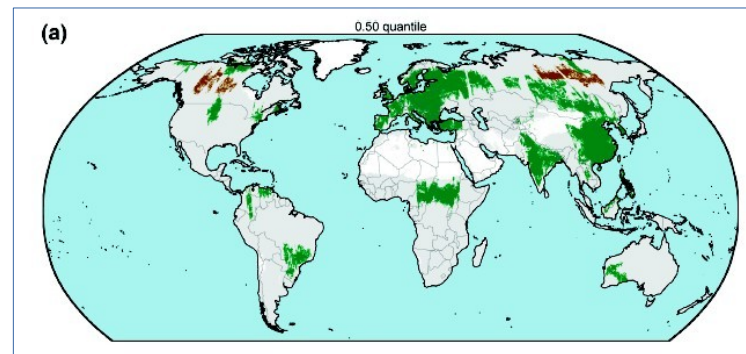
Where Are Global Vegetation Greening and Browning Trends Significant?

Key Points:

- Many studies have consistently reported on global greening trends, but repeatedly without rigorous significance testing
- Although global greening has been overestimated, significant greening can still be rigorously detected
- We observe an increase in the seasonal amplitude of leaf area index around the globe

José Cortés^{1,2}, Miguel D. Mahecha^{2,3,4}, Markus Reichstein², Ranga B. Myneni⁵, Chi Chen⁵, and Alexander Brenning¹

¹Department of Geography, Friedrich Schiller University, Jena, Germany, ²Max Planck Institute for Biogeochemistry, Jena, Germany, ³Remote Sensing Centre for Earth System Research, Leipzig University, Leipzig, Germany, ⁴Remote Sensing Centre for Earth System Research, Helmholtz-Centre for Environmental Research, Leipzig, Germany, ⁵Department of Earth and Environment, Boston University, Boston, MA, USA



↑検定を入念にやった場合（茶色が「減少」）

→ ここ約40年で世界的に植生が増えている!!

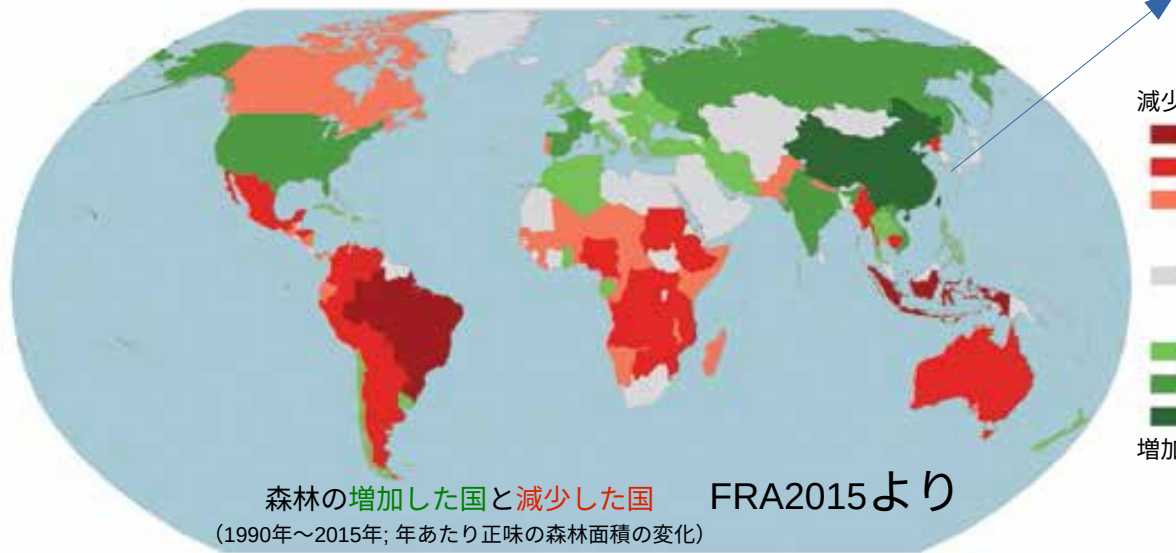
疑問: 衛星データの品質はOKか? (特に雲)

疑問: 衛星が違くと結果が違って見えるが?

世界森林資源評価 Global Forest Resources Assessment (FRA2020)

… 各国の森林統計資料の集約

“世界の森林面積は2010年から2020年の間に世界全体で年平均470万ha減少。1990年から2000年の間の森林が純減する速度は年平均780万haであり、森林が純減する速度は低下傾向にあるが、減速ペースは鈍化してきている。”



各国で調査法や基準がバラバラ。
衛星で確認が必要。

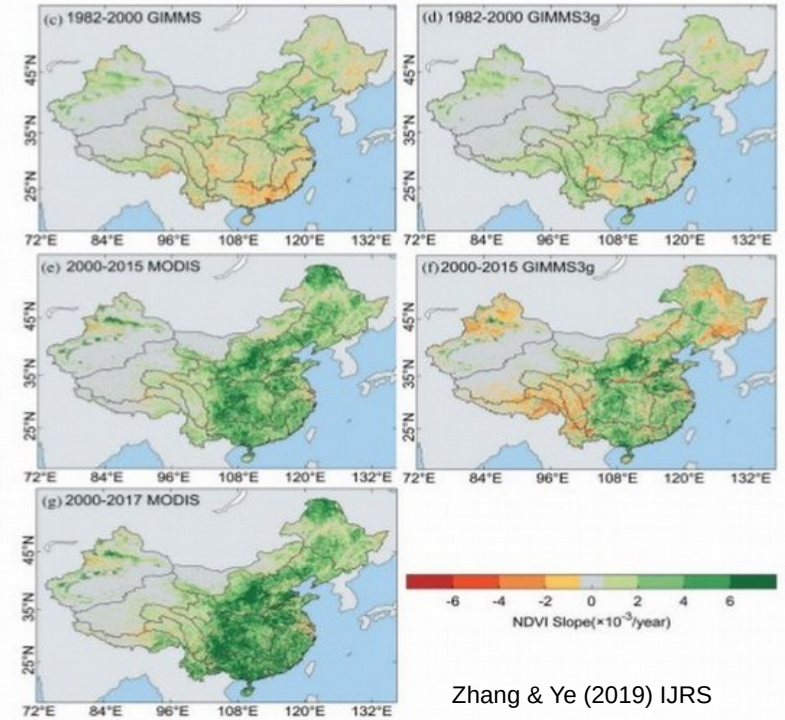
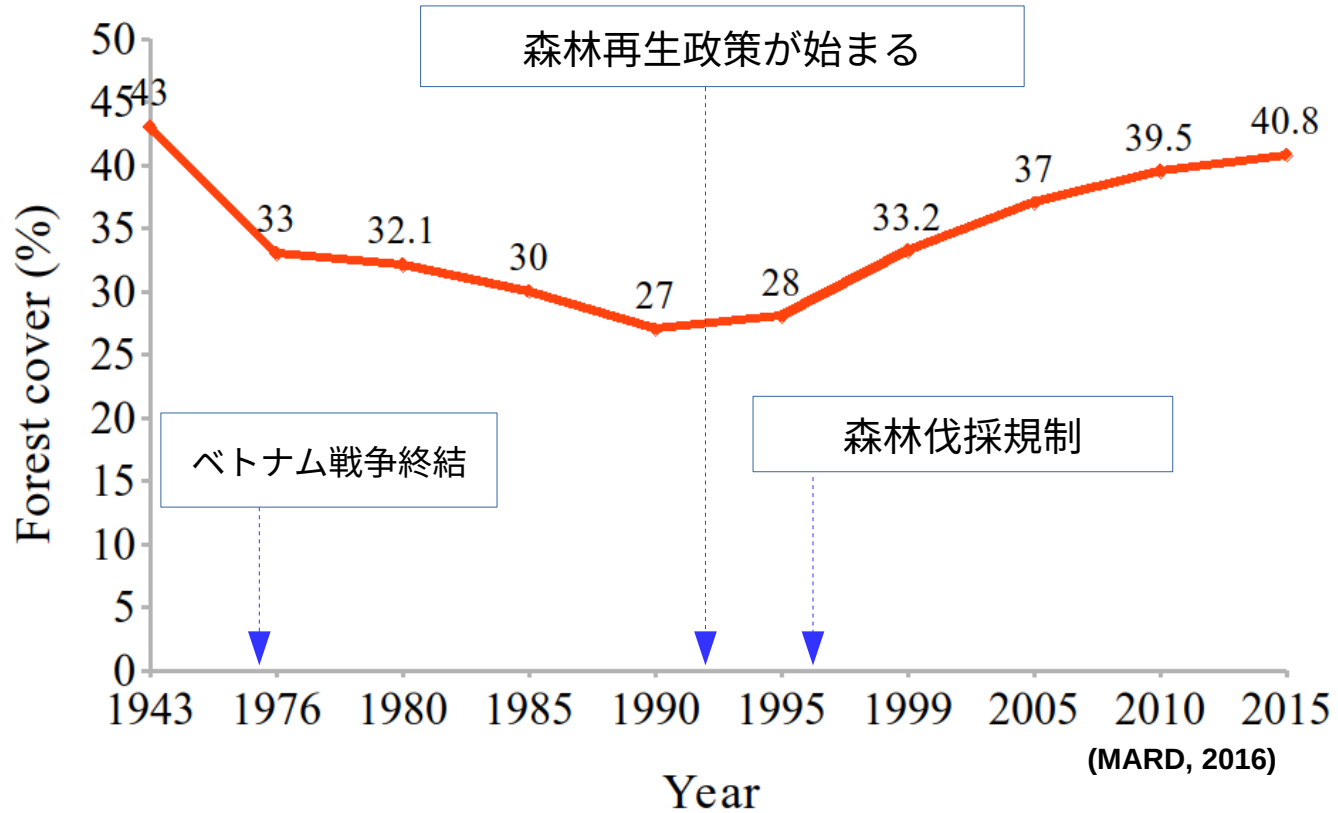


Figure 7. Slope in NDVI for mainland China, 1982–2017.

特に中国で激増中。その他の国も、経済発展が進むと植生は増加に転じるらしい。

問1: 森林（植生）は本当に増えているのか？
問2: どういう計測をしたら確認できるのか？

ベトナムの森林面積率の変化



事例: 森林化する日本と世界

薪炭利用・緑肥→化石燃料・化学肥料

神戸市ホームページ「六甲山緑化の取組と、これからの100年」



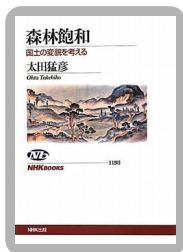
1903(明治36)年



1908(明治41)年



2010年(平成22)年



「私たち現代日本人は、列島の歴史上、かつてないほどの豊かな緑を背景にして生きているという事実を知らなければならない。…(中略)…日本の”自然”は今、いわば飽和状態にあるのだ。」

江戸時代の風景画や、明治の風景写真には草原がいっぱいある。

20世紀初頭、原野は日本の国土の13%。→近年、草地は1%。

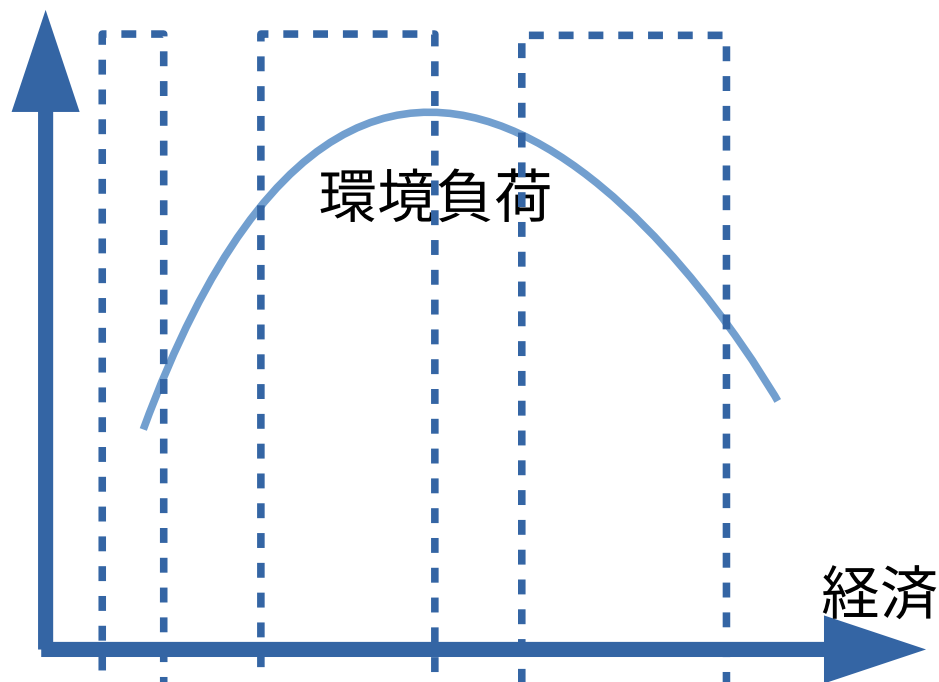
最終氷期の生物は人が維持する草原を避難場所にして生き延びた → 豊かな生物多様性



環境省レッドデータブック: 維管束植物の**絶滅危惧**要因の15%は「自然遷移」

IPCC 報告書: 草原等の森林化が生物多様性に悪影響を与えている (AR6 WG2SPM.D.4.2; 意訳)。

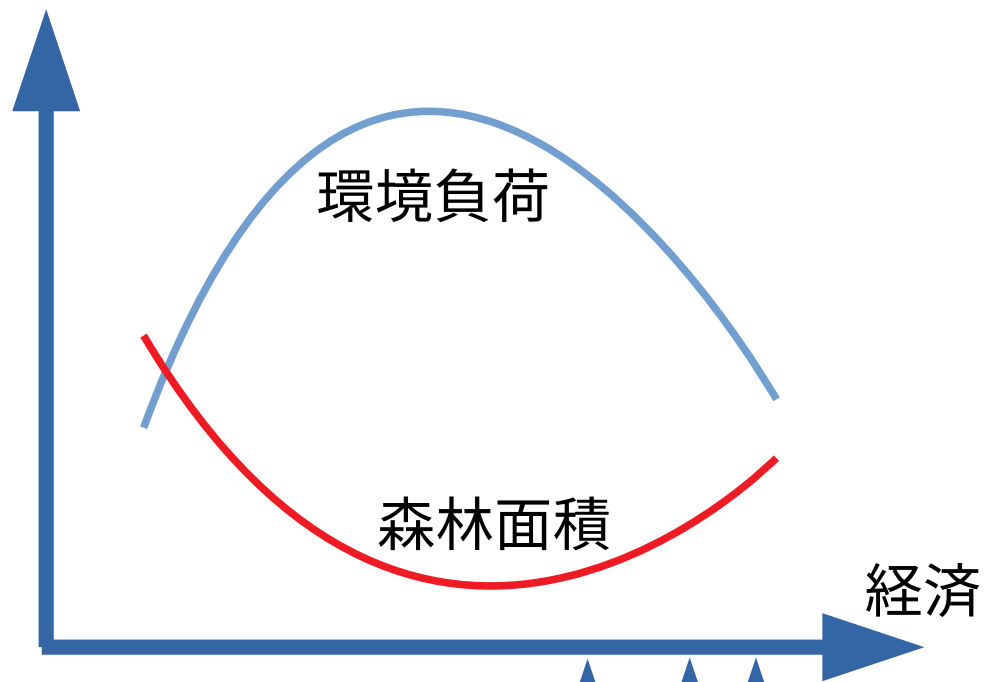
社会の発展と森林面積 … 環境クズネッツ曲線による仮説



持続的な
農村社会

工業化に伴う
資源枯渇・環境悪化

情報化・サービス産業化
→環境負荷低減。
環境意識の高い富裕層・
中間層の増加

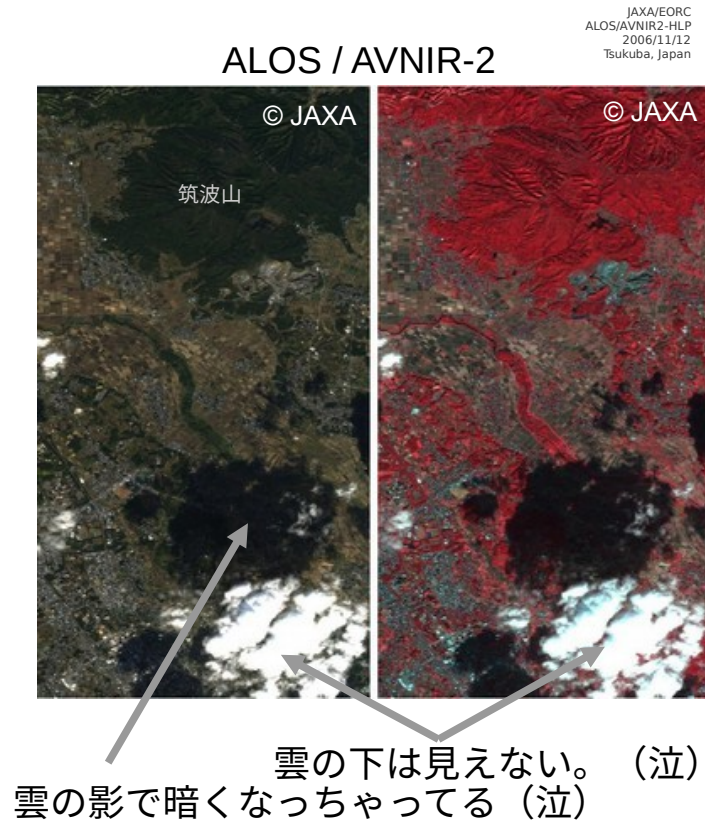


ベトナム 中国 日本
タイ

でも、**本当に**森（を含む植生）は増えているのか？
観測・計測が間違っていないか？

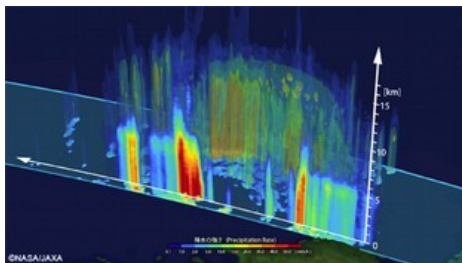
可視・近赤外センサーの弱点

大気粒子（雲・塵・火山灰など）にガンガン邪魔されてしまう（泣）



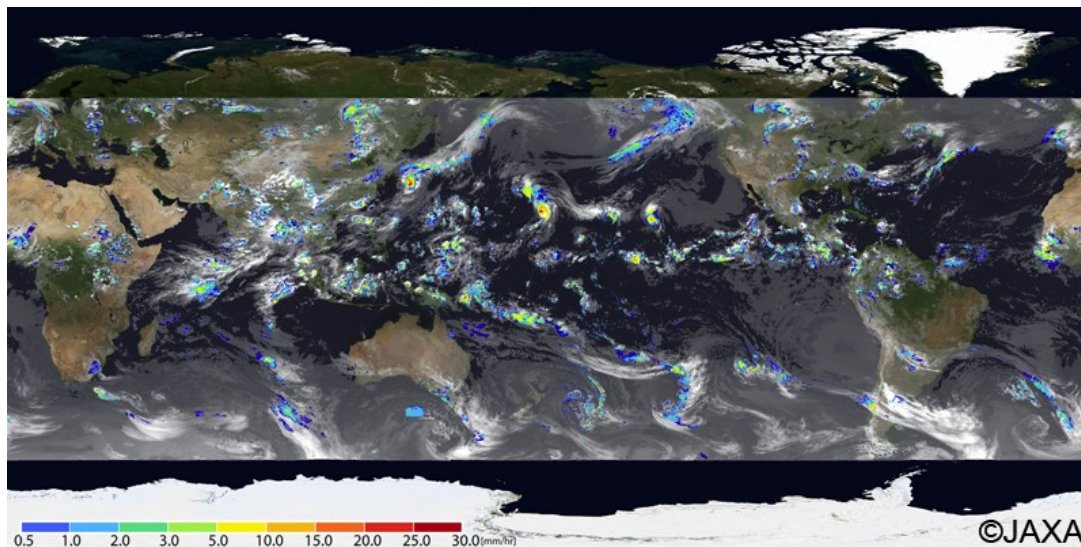
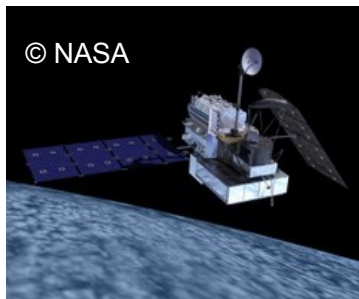
雲に影響されない衛星観測: 衛星搭載降水レーダ

熱帯降雨観測衛星 TRMM: tropical rainfall measuring mission, 1997-2015, N35~S35
全球降水観測計画 GPM: global precipitation measurement, 2014-, N66.3~S66.3

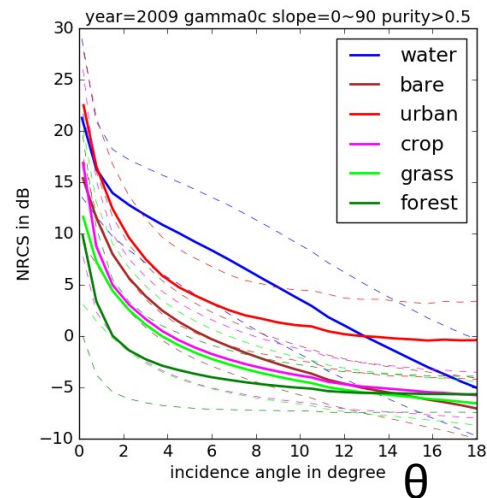
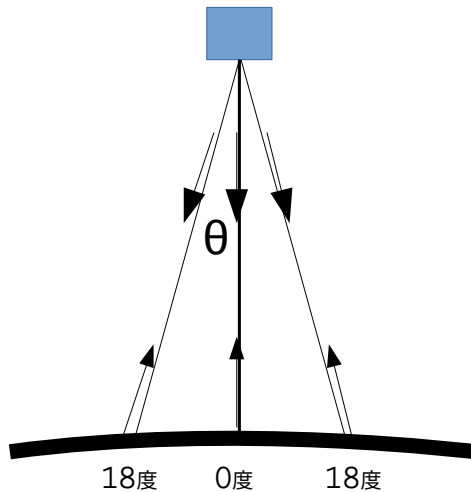
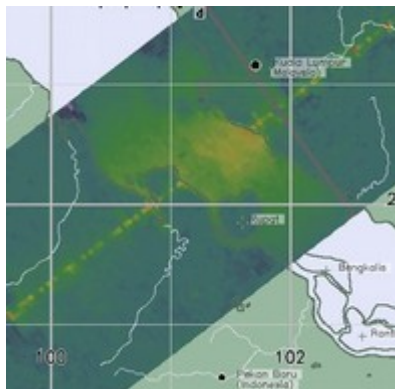


降水レーダー: 電波を雨粒に当てて跳ね返ってくるのを観測する。
気象観測網の整備されていない各国に降雨情報を提供。
雨・雪が降ってなければ, 雲を透過して地表を観測できる!!

日本のお家芸!!

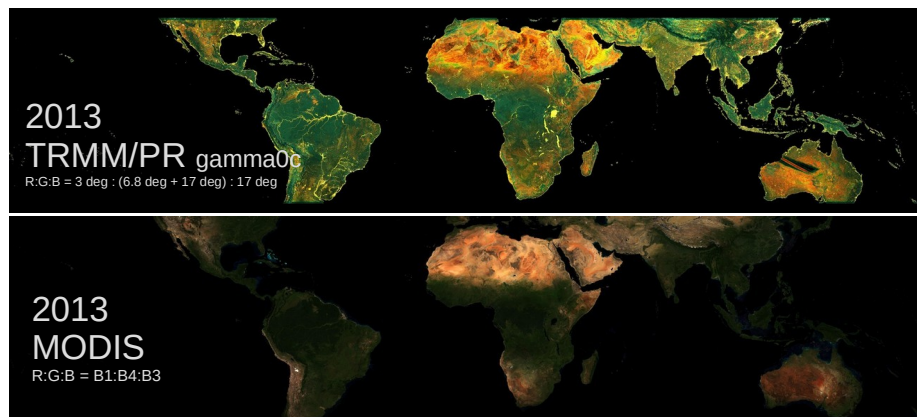


電波の入射角によって、反射・散乱の仕方が変わることを利用する。

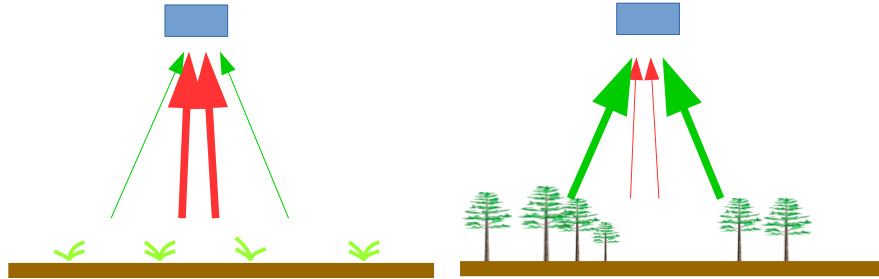


レーダー（マイクロ波）の画像の
疑似カラー合成

可視光画像（青・緑・赤）
の実カラー合成



衛星搭載降水レーダーによる新たな植生観測手法

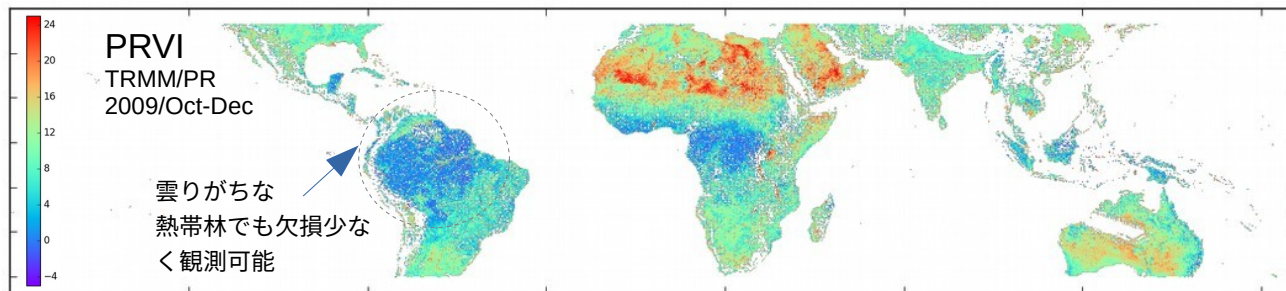
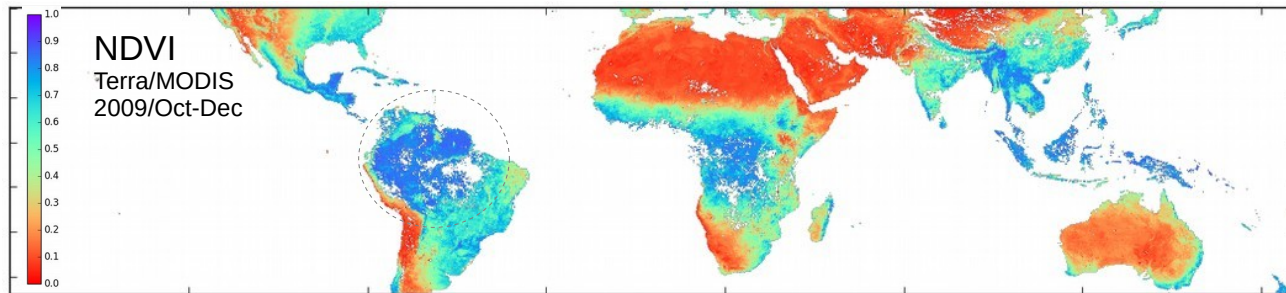


裸地が多いと、
直下からの散乱が多い

植生が多いと、
斜めからの散乱が多い

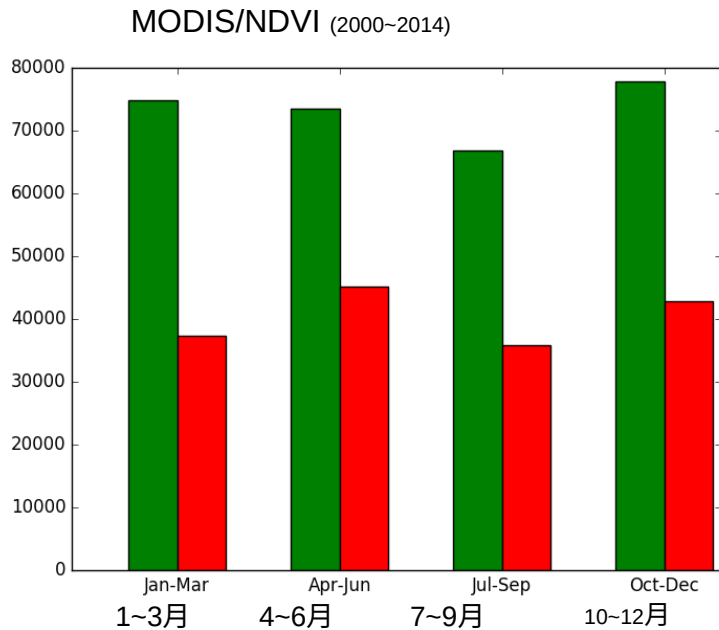
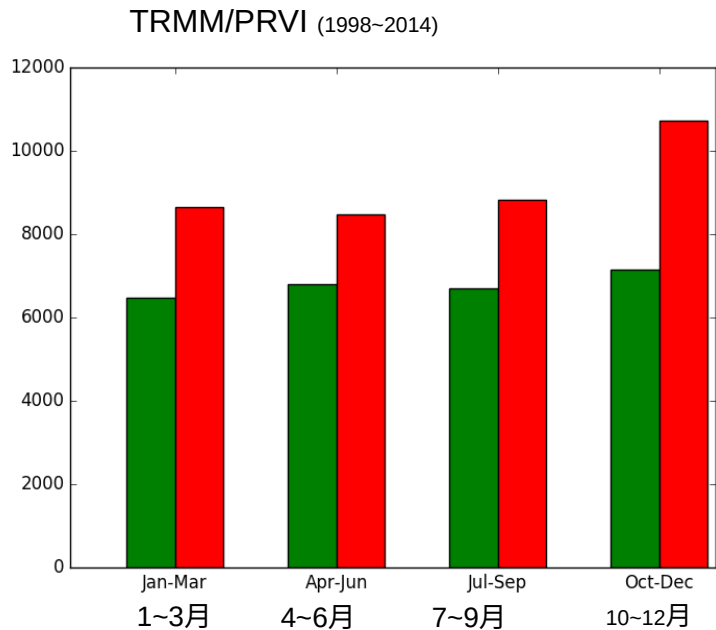
$$PRVI = \{y(2.3deg) + y(3.2deg) - y(17.3deg) - y(18.2deg)\} / 2$$

(植生と負相関を持つ植生指標)



降水レーダーによる結果

可視・近赤外光センサーによる結果



■ 植生増加傾向が有意なピクセル
■ 植生減少傾向が有意なピクセル

* Mann-Kendall 検定で、 p 値 < 0.05 で増加又は減少が確認されたピクセルの数。
* いずれも、5 km x 5 kmピクセルをひとつおきにリサンプリング。
* 土壌水分等の季節変化の影響を排除する為、各4半季で経年変化を解析

植生は減っている場所が多い

植生は増えている場所が多い

可視・近赤外光は全球低緯度の植生劣化を検出できていない？

低バイオマスですぐ飽和する → 植生劣化が検出されない

雲・エアロゾルに弱い → 気候の年々変動が系統誤差に乗りがち

人工衛星による土地被覆・土地利用の詳細計測 “HRLULC”

→ <https://www.eorc.jaxa.jp/A/>

[Home](#) [サイトマップ](#) [お問い合わせ](#) [English](#)

Advanced Land Observing Satellite ●●● だいち2号・だいち **ALOS-2・ALOS**
ALOS解析研究プロジェクト EORC, JAXA

Home > データセット > 高解像度土地利用土地被覆図ホームページ

高解像度土地利用土地被覆図ホームページ

Full Screen

Longitude, Latitude: 50° 00' 40° 00' 30° 00' 20° 00'

110° 00' 00" E 120° 00' 00" E 130° 00' 00" E 140° 00' 00" E 150° 00' 00" E

国土地理院 © JAXA

Full Screen

画像ギャラリー
ALOS-2プロジェクト
校正・検証
基本観測計画
データを使う
データセット
会議・ワークショップ
京都・炭素観測計画
研究公募

“AFOLU” = 農業・森林・土地利用 … 気候変動・生物多様性“2つの危機”の鍵

生物多様性(UNCBD / IPBESレポート, JBOレポート):

「第1の危機(開発・改変、直接的利用、水質汚濁)」

「第2の危機(里地里山等の利用・管理の縮小)」

「第3の危機(外来種、化学物質)」及び「第4の危機(地球規模で生じる気候変動)」

気候変動(UNFCCC / IPCCレポート):

2003年 IPCC 土地利用、土地利用変化及び林業に関する良好手法ガイダンス

2013年 IPCC AR5 「二酸化炭素濃度は、第一に化石燃料からの排出、第二に**正味の土地利用変化による排出**」

「AFOLU部門の過去の正味の排出量における不確実性は他の部門より大きい」

2022年 IPCC AR6 WG2

SPM.B.2.1 不適切な**土地利用**と**土地被覆変化**がいろいろ困ったことを起こしている。

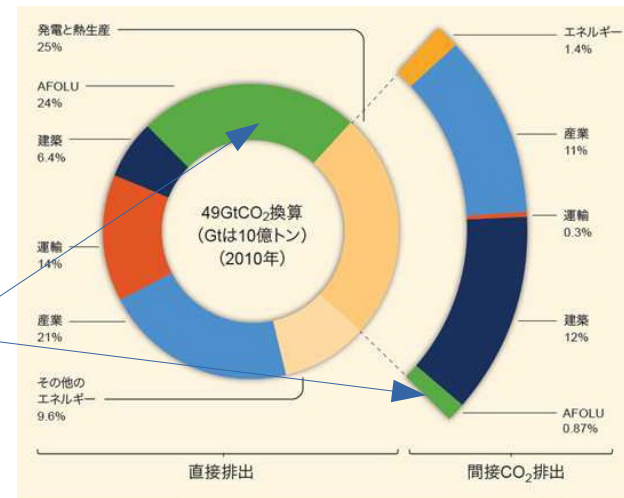
SPM.B.5.2 気候変動と**土地被覆変化**が生態系サービスや生物多様性を喪失させる。

SPM.C.2.1 **湿地・河川の復元**, **市街化抑制**や**森林保護**などで洪水リスクを減らせる。

SPM.D.3.1 気候変動リスクを避けるには**都市計画**や**土地利用の見直し**が必要。

SPM.D.3.2 **土地利用計画**はレジリエンスを強めるのに大事。

SPM.D.4.2 良いと思われてた**土地被覆変化**も実はいろいろ困ったことがある(草原・サバンナ・泥炭地の森林化, バイオ燃料栽培などが引き起こす水不足, 食糧不足, 生物多様性の喪失など)



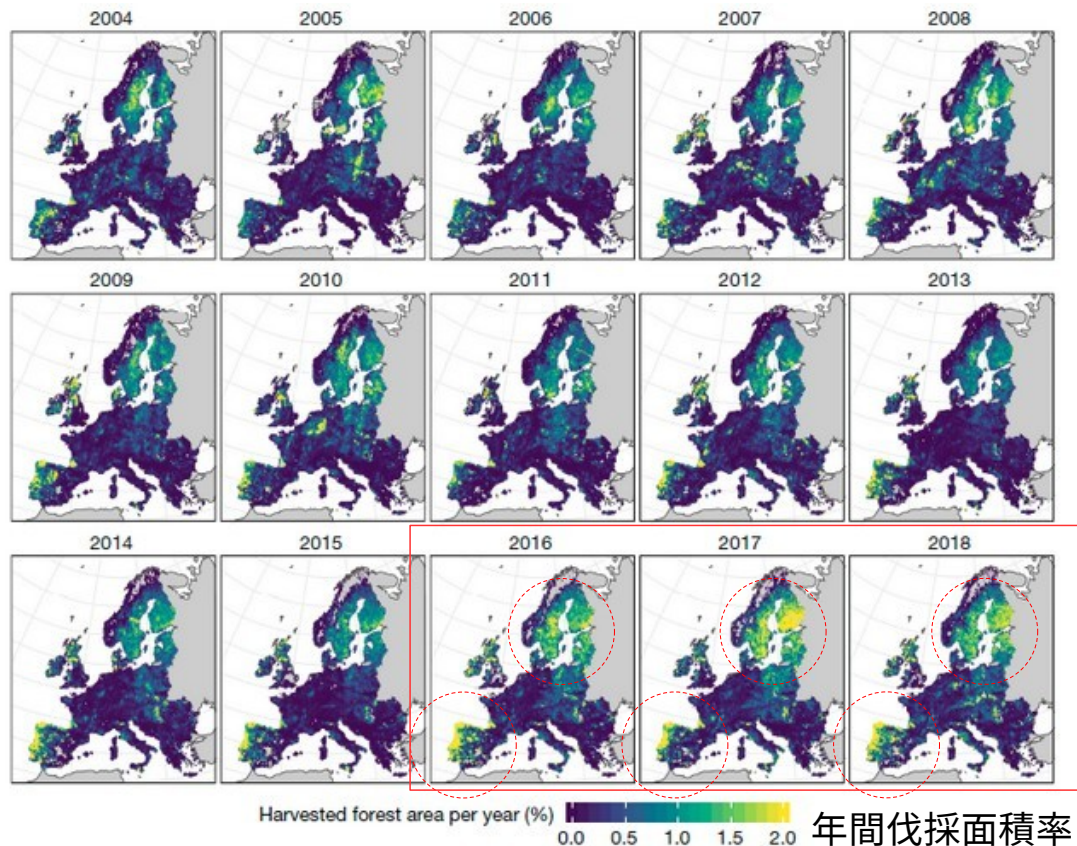
土地被覆・土地利用変化は環境問題のキープレイヤー!!

- 炭素排出削減政策 → **バイオエネルギー増産** → 食糧不足, 水不足 (Stenzel et al. Nature Comm., 2021/03/08)
- 炭素排出削減政策 → **太陽電池の増加** → アルベド・陸面過程変化 → 水循環変化
- 農村から都市への人口移動 → **農地減少** → **森林拡大** (中国南西部; Yu et al., Land, 2020/11/11)
- **都市拡大** → 夜間光・騒音増加・ヒートアイランド → 生物季節の変化 (Senzaki et al., Nature, 2020/11/11)
→ 花粉・果実運搬動物 (昆虫・鳥) の減少 → 生物多様性・農業損失
- **農地拡大** → **生息場所の喪失** → 生物多様性の喪失 (Williams et al., Nature Sustainability, 2020/12/21)
- **農地拡大** → **森林減少** → 熱帯山岳域の局地的な温暖化 (Zeng et al., Nature Geoscience, 2020/12/14)
- **湿地喪失** → 農地からの流出汚染水の浄化機能が低下 (Nature, 588, 592-593, 2020)
- **湿地喪失** → 渡り鳥の経路が変化 → 生物多様性損失・鳥インフルエンザ等感染症拡散変化
- **天然林から人工林に** → 多様性の喪失・脆弱化 → **病虫害枯死** (Fernandez-Carrillo et al., Remote Sensing, 2020/11/05)
- 里山放置 → 更新の停滞 → 立木の老化で**病虫害枯死** (マツ枯れ・ナラ枯れ) ・風倒木増加
- 里山放置 → 遷移の進行 → **森林拡大・草地喪失** → 生物多様性損失 (須賀ら, 草地と日本人, 2019)

ナラ枯れしたマテバシイ林
房総半島, 2021年11月



事例: 2015年以降, ヨーロッパで急速に森林伐採が進んでいる。



- 木材市場の活況
- 木質バイオマス燃料

特に北欧とイベリア半島
土壌侵食, 水資源, 生物多様性に
懸念。
森林による気候緩和プランが台無しに?

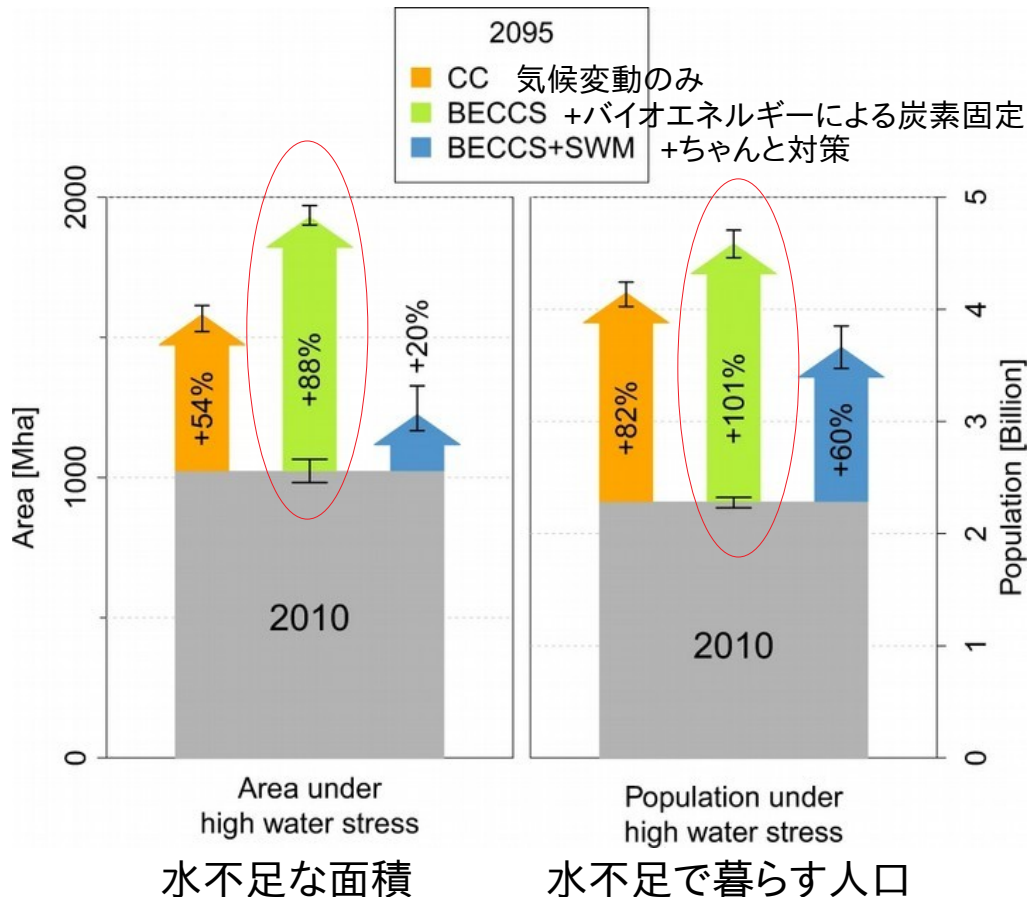
Fig. 1 | Harvested forest area per year. Percentage of harvested forest area (expressed as the relative amount of forest area affected by management practices) per year in a 0.2° grid cell, excluding forest losses due to fires and major windstorms and areas with sparse forest cover. For the generation of this map, land areas were classified only as forests when the tree cover exceeded a

20% threshold, uniformly throughout EU26, whereas the rest of the analysis was performed on the basis of a country-based tree-cover threshold as explained in Methods. Grey areas represent countries not included in the analysis. Map generated using GEE²².

Ceccherini et al., Abrupt increase in harvested forest area over Europe after 2015, Nature, 2020/07/01

土地利用土地被覆は水循環・水資源に影響する。

気候変動以上に、バイオエネルギー生産の為に灌漑によって、水不足が起きる。LPJmL+MAgPIEによるシミュレーション。



Stenzel et al. Irrigation of biomass plantations may globally increase water stress more than climate change. Nature Communications, 2021/03/08

Fig. 1: Simulated increase of area and population exposed to high water stress from around 2010 (2006–2015) to 2095 (2090–2099) in the different scenarios: CC (climate change), BECCS (bioenergy with carbon capture and storage), BECCS+SWM (BECCS with sustainable water management).

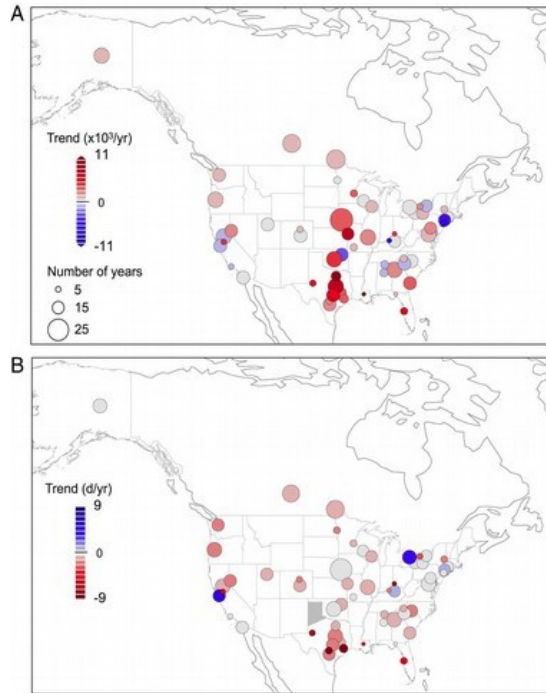
LPJmL: Lund-Potsdam-Jena managed Land. 動的全球植生モデル LP(DGVN)のひとつ。

MAgPIE: The Model of Agricultural Production and its Impact on the Environment (MagPIE). 土地利用モデル。地域経済等 (農作物需要, 技術革新, 潜在収穫量, 土地・水資源の制約)を組み込んでいる。

日本ではMIROC-INTEG-LANDに相当? (DGVMではないけど?)

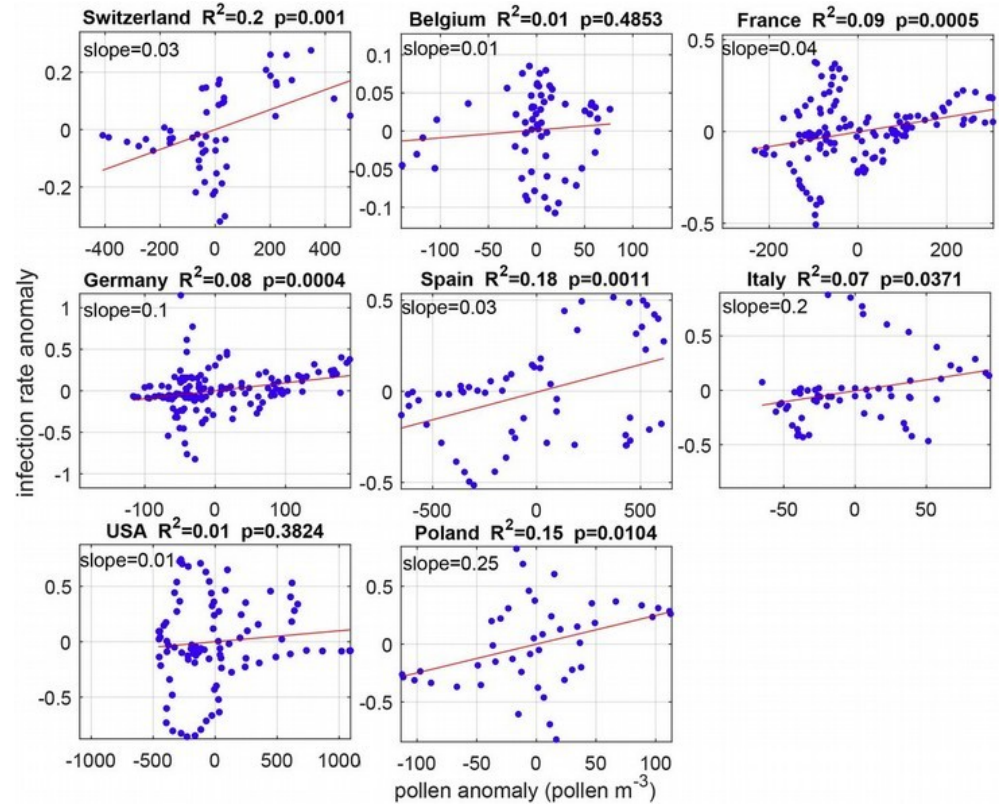
土地利用土地被覆・森林分布は公衆衛生に影響する。

気候変動 → 花粉飛散の増加・長期化



Anderegg ET AL. (2021) Anthropogenic climate change is worsening North American pollen seasons. PNAS 118 (7)

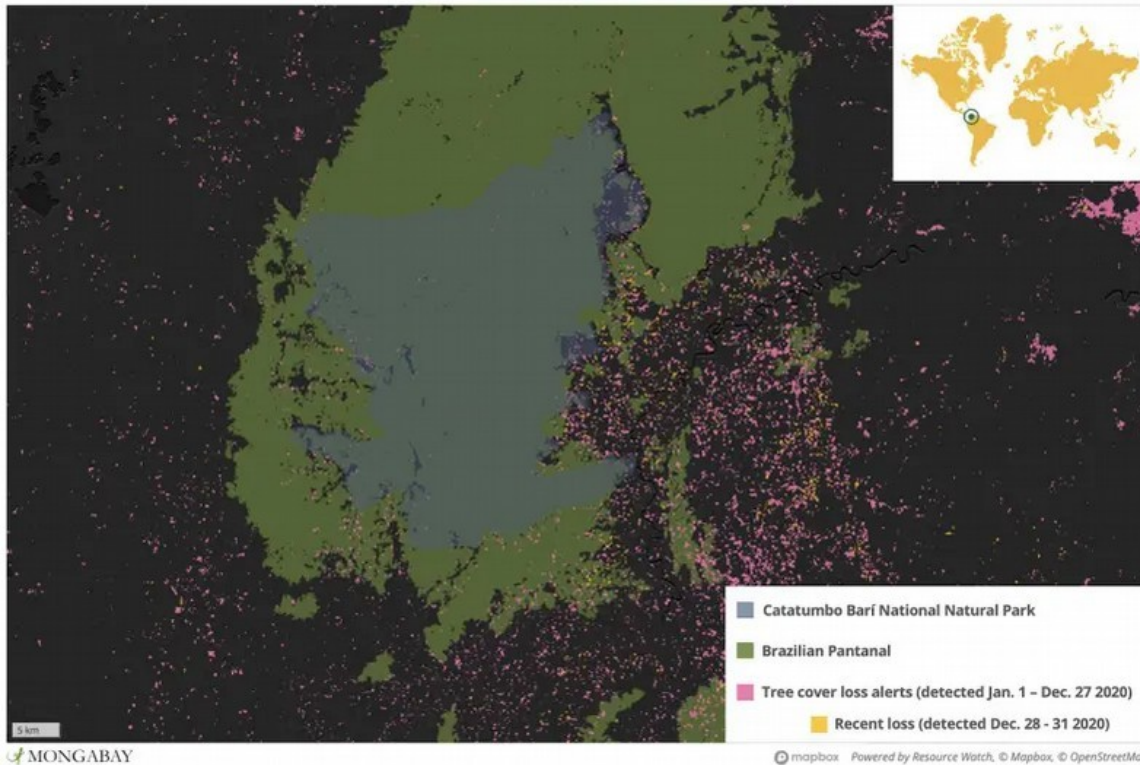
花粉飛散 → COVID-19感染拡大



Damialis et al. (2021) Higher airborne pollen concentrations correlated with increased SARS-CoV-2 infection rates, as evidenced from 31 countries across the globe. PNAS 118 (12)

麻薬の密造が森林破壊をもたらす

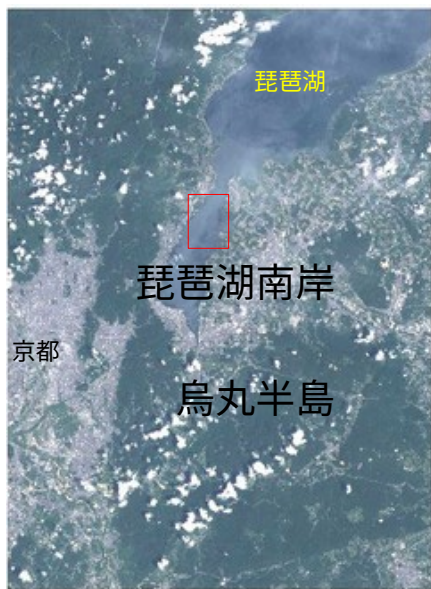
Mongabay, "Cocaine Production Is Destroying Colombia National Park Old-Growth Rainforest", EcoWatch, 2021/01/09



衛星画像で検出された森林損失 (黄色とピンク)
メリーランド大データ … GFC (Global Forest Change)か？

事例: 2016年, 琵琶湖・花ハス群生地が突然消滅。

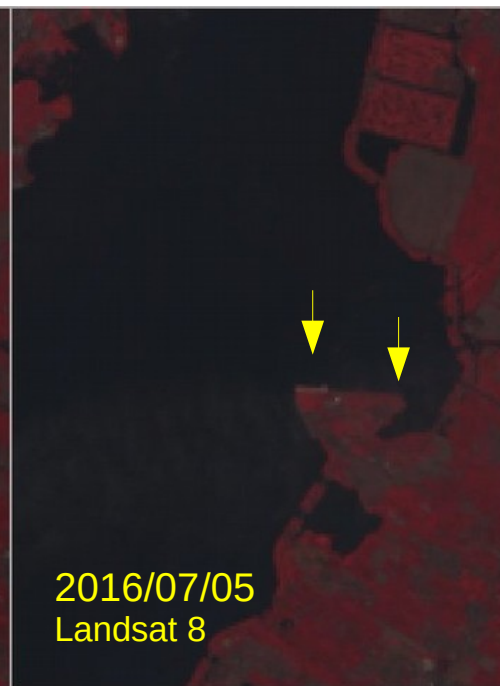
- ミドリガメ (外来種)が食害?
- 枯れた葉が湖底に堆積し貧酸素化?



2013/07/20
Landsat 8



2015/07/26
Landsat 8

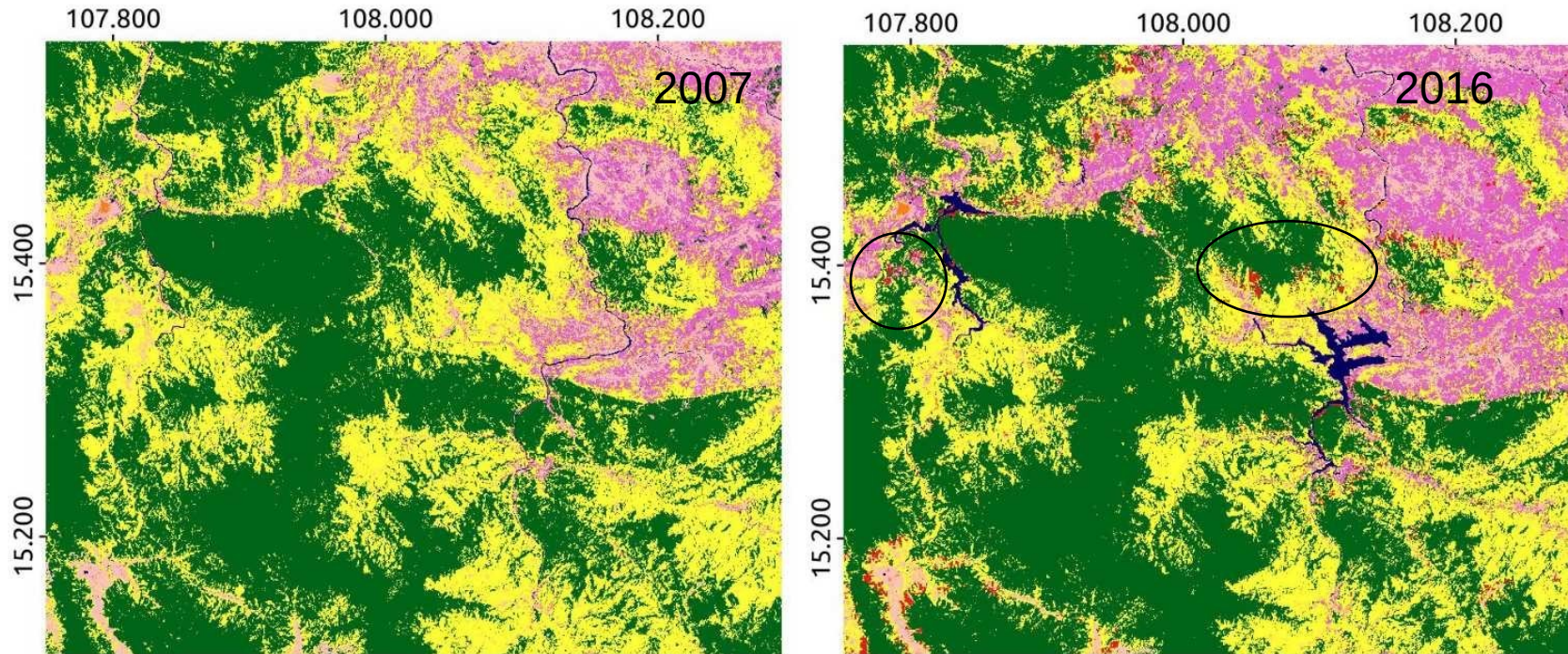


2016/07/05
Landsat 8

事例: 水力発電ダム建設が周囲の森林伐採引き起こした。

(ベトナム中部)

Plo.vn news: Song Tranh 2 hydro-power plant push people toward deforestation due to insufficient cultivated land in resettlement area
<https://plo.vn/xa-hoi/tai-dinh-cu-thuy-dien-song-tranh-2-day-dan-vao-canh-phai-pha-rung-200118.html>



0 5 10 15 20 km

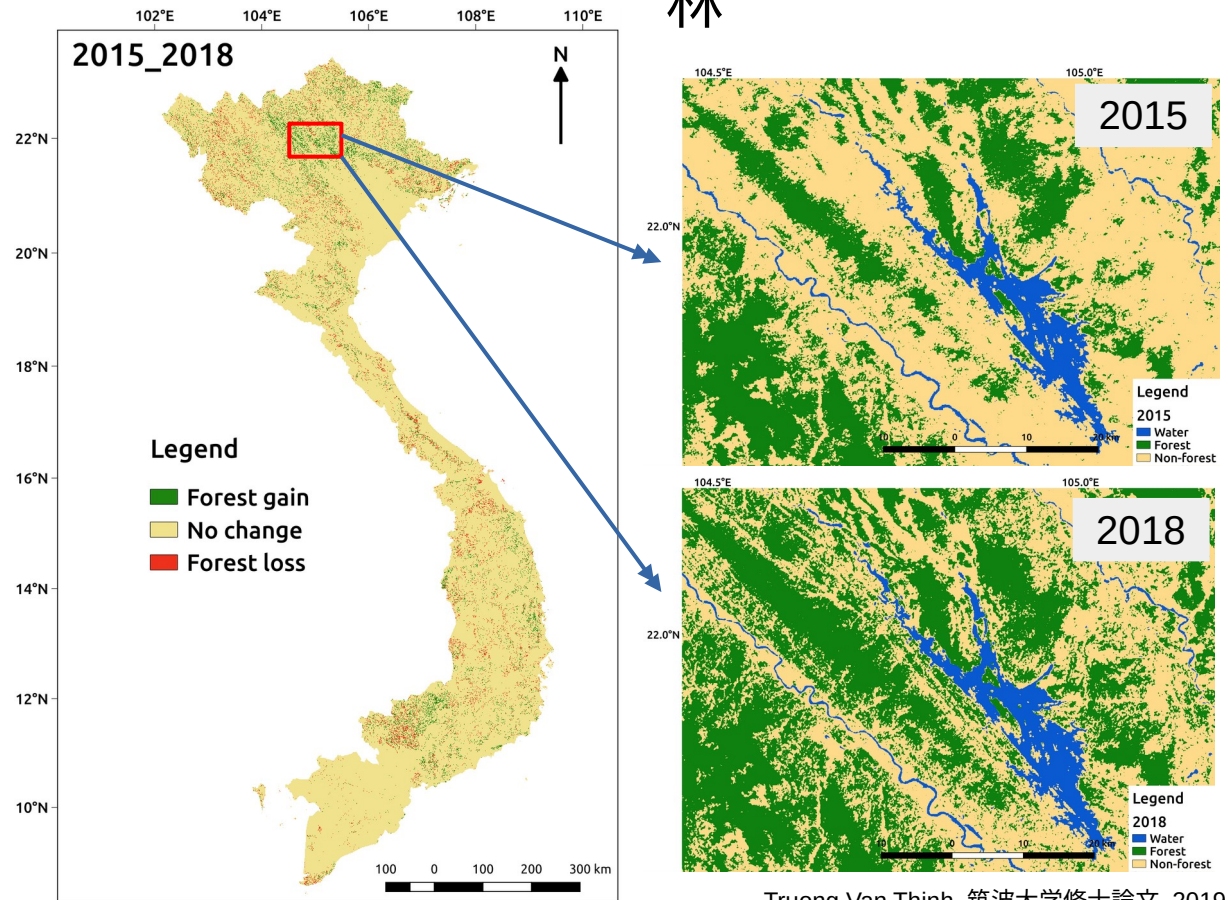


- | | | |
|----------------|-------------|-------------------|
| Deforestation | cropland | natural forest |
| wetlands | grass/shrub | plantation forest |
| urban/built-up | barren | |

Hoang Thanh Tung, 筑波大学

ダム建設 → 現地住民が移住 → 別の場所の森を伐採して村落・農地を新たに作る。

ベトナム北部の森林回復の一部は、中国に輸出するための造林



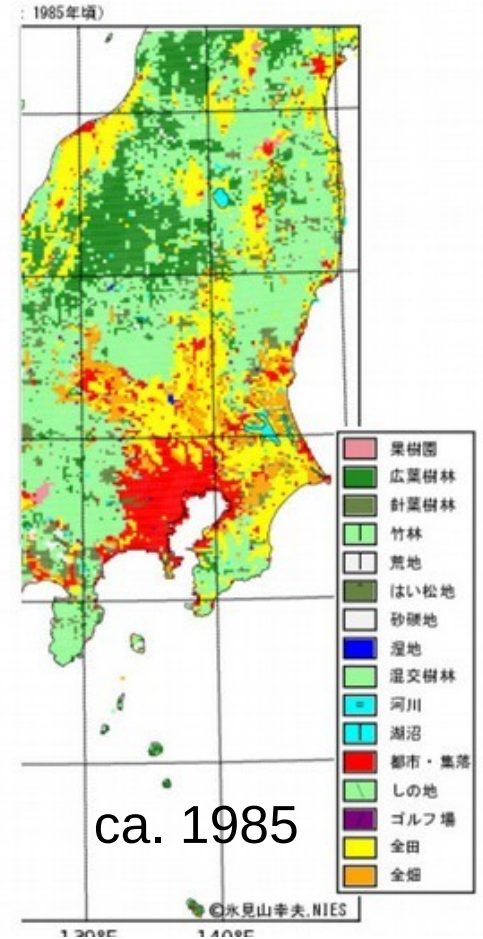
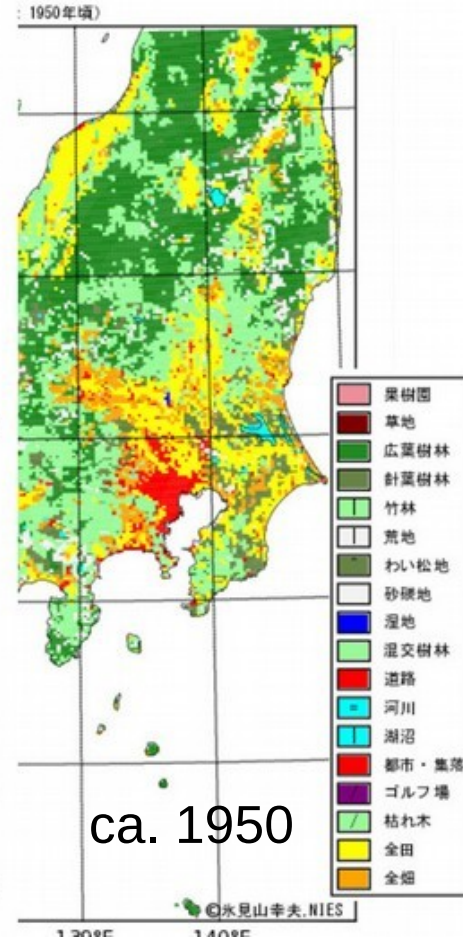
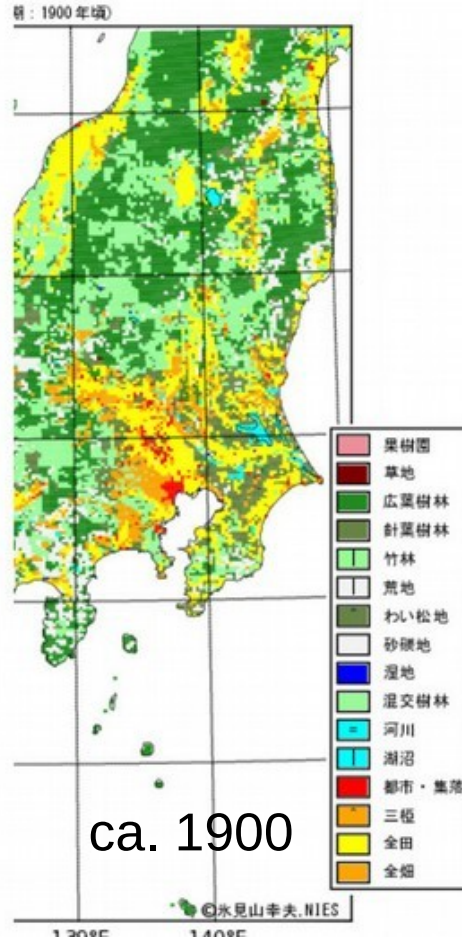
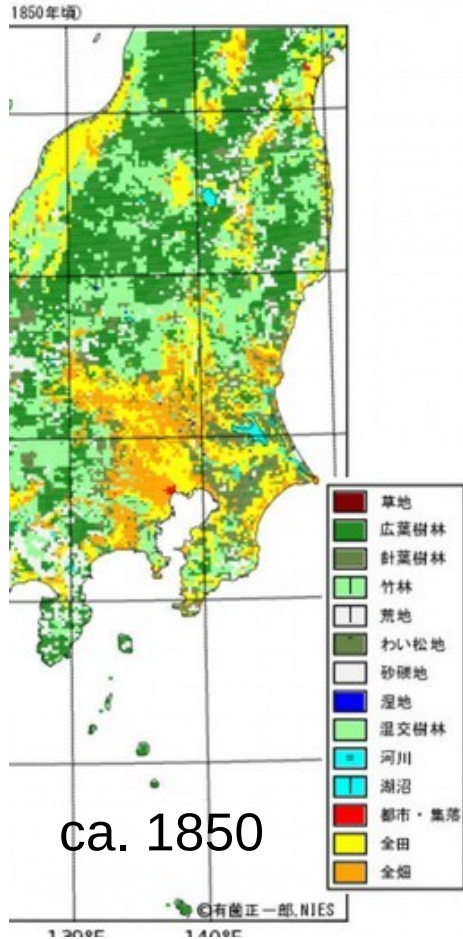
Truong Van Thinh, 筑波大学修士論文, 2019



ある国の産業や経済や政策の変化が、別の国の土地利用を変える… テレカップリング現象

歴史に学ぼう!! ... 過去の土地被覆の復元

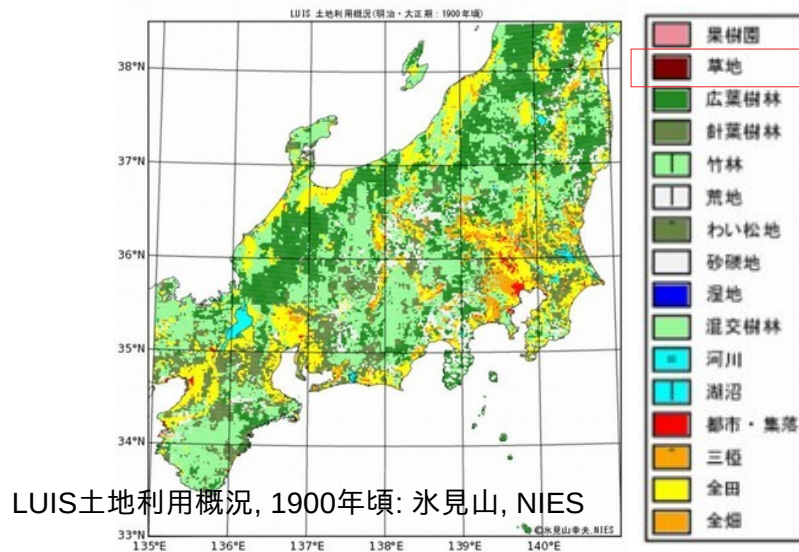
全国土地利用データベース LUIS (氷見山幸夫, 有蘭正一郎)



草原はいつ頃までどこにあった？

江戸時代の風景画や、明治の風景写真には草原がいっぱいある。

20世紀初頭, 原野は国土の13% → 近年, 草地は1%... LUISではそうは見えない(泣)



ほとんど見当たらない!



最終氷期終了後現在まで, 森林に適した気候だが, 半自然草原が人為的に維持されてきた?

最終氷期に日本列島に広がった生物はそこをレフュージア(避難場所)にして生き延びた?

→ 日本列島の豊かな生物多様性。大陸草原の近縁生物が今も生きている。

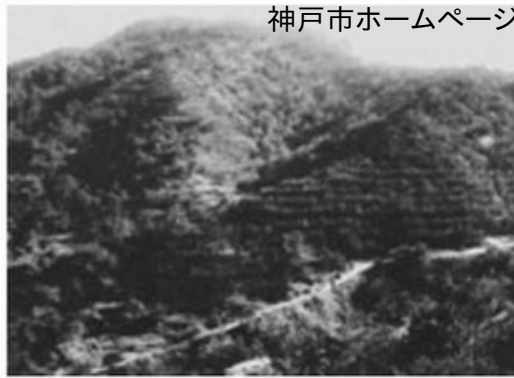
日本列島の土地被覆は1万年も人為的影響を受け続けてきた!?

戦後の日本は急激に森林を増加させた!

薪炭利用・緑肥→化石燃料・化学肥料



1903(明治36)年

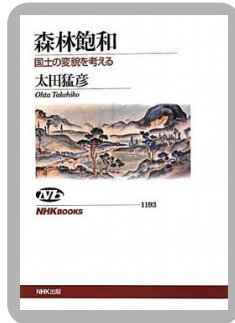


1908(明治41)年



2010年(平成22)年

神戸市ホームページ「六甲山緑化の取組と、これからの100年」



「私たち現代日本人は、列島の歴史上、かつてないほどの豊かな緑を背景にして生きているという事実を知らなければならない。…
(中略) … 日本の”自然”は今、いわば飽和状態にあるのだ。」

→ 維管束植物の絶滅危惧要因の15%は「自然遷移」(環境省レッドデータブック)
こういう観点で過去の土地被覆・土地利用・森林の状況を再構成する作業は始まったばかり!

こういう, 多種多様・雑多なプロセス
をどう捕まえてモデル化すればよい
のだろう(泣)

過去の再現って難しい(泣)。

100年前のことですら、よくわからない。

人為影響の歴史は思うより長く深い。

というわけで、土地利用・土地被覆は大事・興味深い。

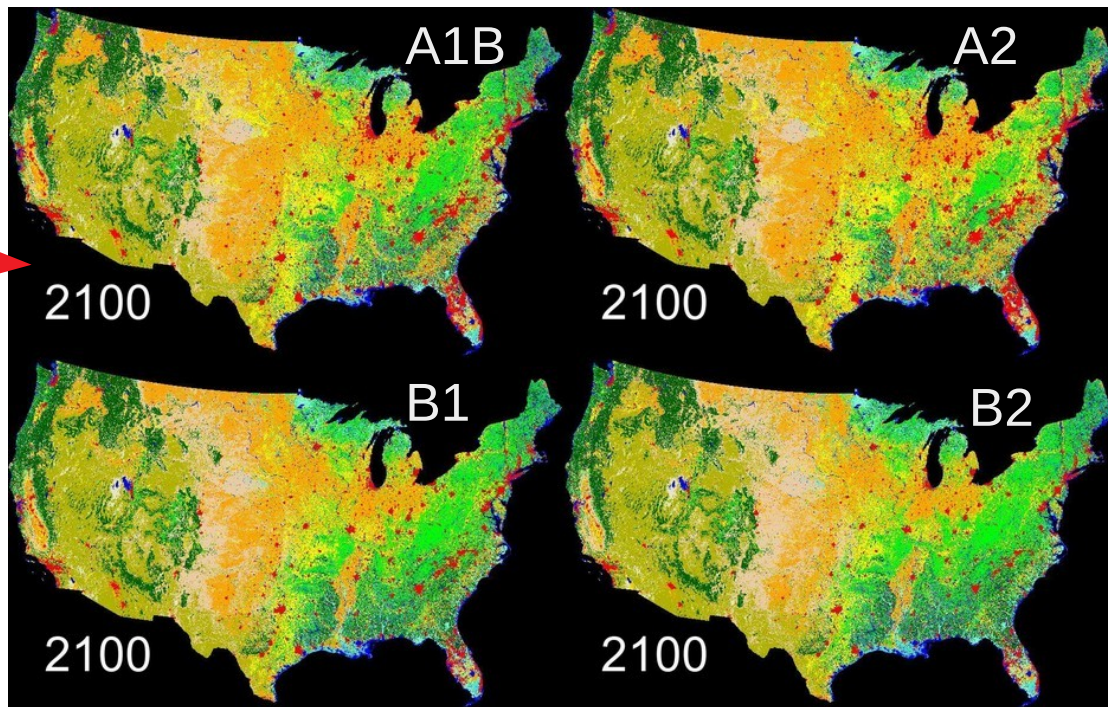
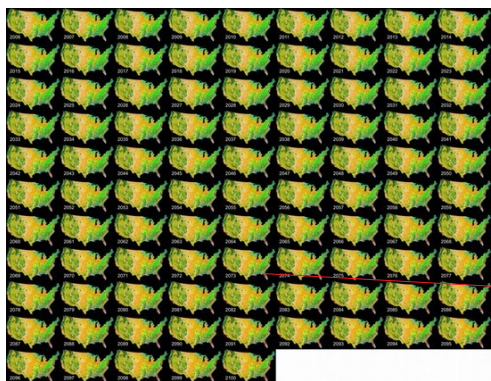
でも難しい…多様。要因が多い。絶え間なく変わる

そこで、衛星データを使った、

高解像度・高頻度・多クラス・広範囲・長期（過去・未来）・高精度
な土地利用・土地被覆分類図を作る競争が世界で繰り広げられている。

米国の過去・未来の土地被覆

USGS Conterminous United States Land Cover Projections



- 0 No data
- 1 Water
- 2 **Developed**
- 3 Disturbed Ntnl Forests
- 4 Disturbed Oth Pblc Land
- 5 Disturbed Private
- 6 Mining
- 7 Barren
- 8 Deciduous Forest
- 9 Evergreen Forest
- 10 Mixed Forest
- 11 **Grassland**
- 12 Shrubland
- 13 **Cropland**
- 14 Hay/Pasture Land
- 15 Herbaceous Wetland
- 16 Woody Wetland
- 17 Perennial Ice/Snow

@250m, 17 class, every year, 2006~2100
Each of SRES scenarios (A1B, A2, B1, B2)

衛星による土地利用・土地被覆図の数々 (ほんの少数例。他にもいっぱいある)

	解像度	クラス	地理範囲	期間 @ 頻度 (周期)		
現状	米国: MODIS MCD12	500 m	17 class	global	2001-2019 @ 1yr	
	中国: GLOBELAND30	30 m	10 class	global	2000, 2010, 2020	
	欧州: ESA-CCI	300 m	22 class	global	1992-2019 @ 1yr (CCI = climate change initiative)	
	欧州: ESA-Copernicus	100 m	23 class	global	2015-2019 @ 1yr	
	欧州: CORINE Landcover	500 m	44 class	欧州	1990, 2000, 2006, 2012, 2018	
	欧州: ESA-Worldcover	10 m	10 class	global	2020	
	Esri: 10-Meter Land Cover	10 m	10 class	global	2020	
	日本: NIES-GLCM	1000 m	6 class	global	~2006	解像度・クラス・頻度は トレードオフ
	日本: GSI-GLCNMO	500 m	20 class	global	2003, 2008, 2013	
	日本: 環境省植生図	100 m	多数	日本	1973~ @7回	
日本: 国交省国土数値情報	50~100 m	12 class	日本	1976~ @8回		
過去	米国: USGS	250 m	14 class	米国本土	1938-2005 @ 1yr	
	欧州: LPJ-Guess + RF	100 km	8 class	global	産業革命前, 6000年前, 21000年前	Lindgren et al., 2021, JAMES
	日本: LUIS	2000 m	~18 class	日本	1850, 1900, 1950, 1985	
将来予測	米国: USGS	250 m	17 class	米国本土	2006-2100 @ 1yr	SERS A1B, A2, B1, B2 69

衛星による土地利用・土地被覆図の数々 (ほんの少数例。他にもいっぱいある)

	衛星	解像度	クラス	地理範囲	期間 @ 繰り返し周期
現状	米国: MODIS MCD12	500 m	17 class	global	2001-2019 @ 1yr
	中国: GLOBELAND30	30 m	10 class	global	2000, 2010, 2020
	欧州: ESA-CCI	300 m	22 class	global	1992-2019 @ 1yr (CCI = climate change initiative)
	欧州: ESA-Copernicus	100 m	23 class	global	2015-2019 @ 1yr
	欧州: CORINE Landcover	500 m	44 class	欧州	1990, 2000, 2006, 2012, 2018
	欧州: ESA-Worldcover	10 m	10 class	global	2020
	Esri: 10-Meter Land Cover	10 m	10 class	global	2020
	日本: NIES-GLCM	1000 m	6 class	global	~2006
	日本: GSI-GLCNMO	500 m	20 class	global	2003, 2008, 2013
	日本: 環境省植生図	100 m	多数	日本	1973~ 7回
日本: 国交省国土数値情報	50~100 m	12 class	日本	1976~ 8回	
過去	米国: USGS	250 m	14 class	米国本土	1938-2005 @ 1yr
	欧州: LPJ-Guess + RF	100 km	8 class	global	産業革命前, 6000年前, 21000年前 Lindgren et al., 2021, JAMES
	日本: LUIS	2000 m	~18 class	日本	1850, 1900, 1950, 1985
将来予測	米国: USGS	250 m	17 class	米国本土	2006-2100 @ 1yr SERS A1B, A2, B1, B2

外国の高解像度マップが
日本に攻めてきている!
= 「黒船」

環境省日本植生図

「自然環境保全基礎調査」 (別名「緑の国勢調査」)

- 第1回 S48 (1973), 現地調査+空中写真判読, 362クラス, @1ha
- 第2回 S53-S54 (1978-1979), 現地調査+空中写真判読, 766クラス, @1ha
- 第3回 S58-S62 (1983-1987), 人工衛星画像+現地調査, 766クラス, @1ha
- 第4回 S63-H04 (1988-1992), 人工衛星画像+現地調査, 766クラス, @1ha
- 第5回 H05-H10 (1993-1998), 人工衛星画像+現地調査, 3次メッシュデータ, @1ha
- 第6回 H11-H16 (1999-2004), 現地調査+空中写真判読, @約900クラス, 3次メッシュデータ, @1ha
- 第7回 H17~ (2005~), 現地調査+空中写真判読, @約900クラス, @1ha

20年近く前のデータ
も混ざっている。

「最小取得面積：1ha (ただし、重要な
ものは1ha未満であっても表記する)」

約100mの解像度。
10mの“黒船”には負ける...

--- 第6, 7回成果 ---



- 5 亜高山帯針葉樹林
- オオシラビソ群団
- 01 オオシラビソ群集
- 02 シラビソ-オオシラビソ群集
- 03 シコクシラベ群集
- 04 コメツガ群落
- 05 カラマツ群落
- 06 シラビソ群集
- 07 イトスゲトウヒ群落
- 09 マイツルソウ-コメツガ群集
- 10 イラモミ群落
- 08 キタゴヨウ-アカエゾマツ群落
- 12 下部針広混交林
- 01 サクシパー-ミズナラ群団
- 01 トドマツ-ミズナラ群落
- 02 ミズナラ群落
- 03 エゾイタヤ-ミズナラ群落
- 04 トドマツ群落 (誘導林)
- 05 ドロノキ群落
- 06 ダケカンバ-トドマツ群落 (風倒跡地自然再生林)
- ...

分類カテゴリは
大変細かい

国土交通省国土数値情報 土地利用細分メッシュ

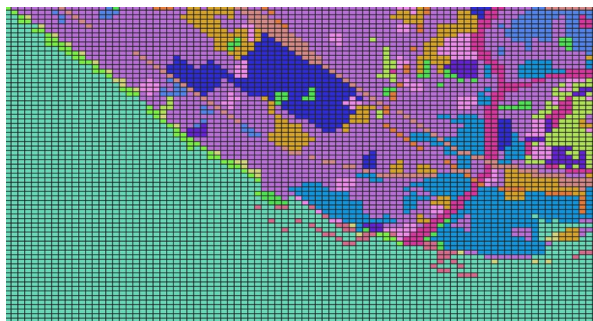
”数値地図（国土基本情報）電子国土基本図（地図情報）及び電子地形図（タイル）を背景基図とし、衛星画像（SPOT, RapidEye）を用いて土地利用現況を土地分類基準に従い判読し、2次メッシュ単位の正規化座標で整備した。”

昭和51年度、昭和62年度、平成3年度、平成9年度、平成18年度、平成21年度、平成26年度、平成28年度

分解能: 100 m (三大都市圏のみ50m)

6年前...やや古い。

10mの”黒船”には勝てない。



メッシュデータなのになぜかベクター型式(shape)...扱いに人手間かかる。
多くのタイルに分かれていて、ダウンロードが大変。

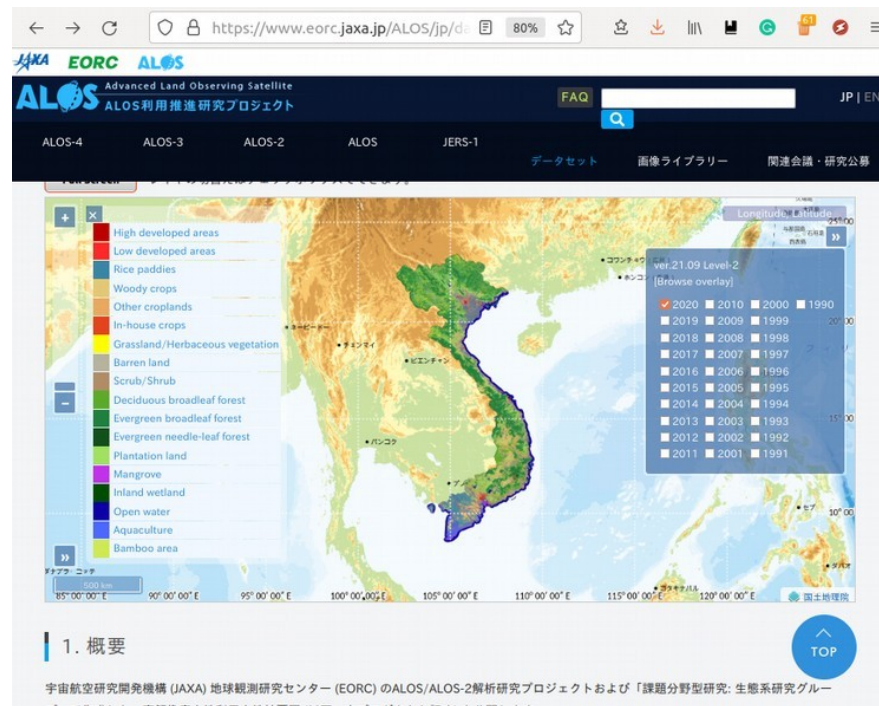
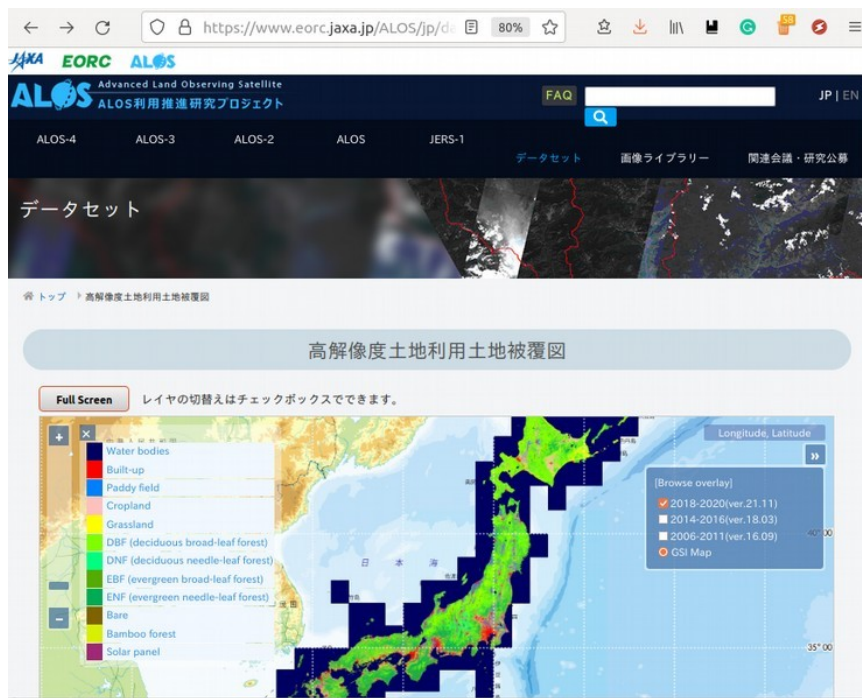


森林がひと括り。
生物多様性には不足

衛星ベースの日本の土地被覆図はJAXAが作ろう！

アジア諸国の土地被覆図もJAXAが協力して作ろう！

JAXA HRLULC = JAXA高解像度土地利用土地被覆図 High Resolution Land-use Land-cover map

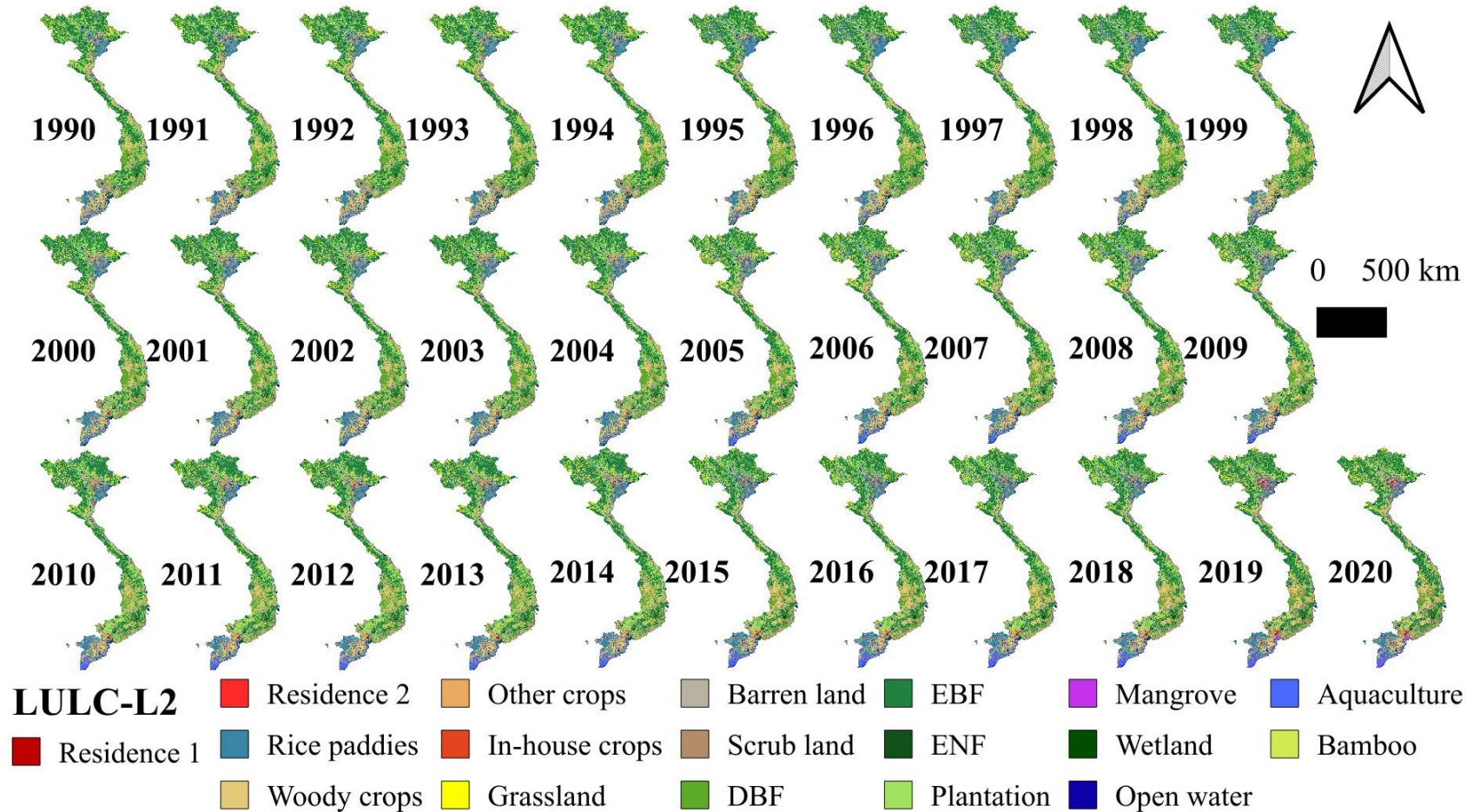


他にもALOS 森林/非森林マップなど。⁷³

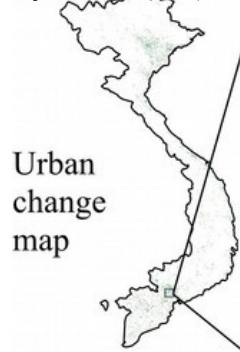
JAXA HRLULC ユーザーの声（利用目的） 2018年

- ＊ 動物（特に鳥類）生態: イヌワシの生息環境保全 / コウモリの生息域解析 / ロードキルの削減研究 / 周囲の森林が鳥類の分布に与える影響 / 鳥類のポテンシャルマップ作成 / 野生動物が利用する土地環境
- ＊ 植生: 活火山周辺の植生状況の変化 / 生態系サービス評価の基礎データとして利用 / 土地利用が生物の分布に及ぼす影響評価
- ＊ 災害: 洪水ハザードマップ / 降雨洪水氾濫シュミレーション / 高潮浸水深計算に使用する仮想建物情報 / 災害発生箇所の土地利用状況の判読 / 土地利用と洪水流量の因果関係 / 斜面崩壊の空間分布に関する研究
- ＊ 気象・水資源: 水資源評価 / 水循環シミュレーション / 水文・水質モデルを用いた土地利用変化と気候変動の影響評価 / 北海道内の水資源および水防災 / アメダス等の地上気象観測地点の周辺の土地利用 / 気象モデルの入力 / 流出解析
- ＊ 産業利用: 自動運転における走行データのエンリッチ / ゲーム・コンピュータグラフィックスの基盤地図
- ＊ 放射能・放射線: 放射線量減衰と土地の状況の比較 / 河川を介した放射性セシウムの移行状況と、流域の土地利用との関係
- ＊ 複合: 生物多様性と災害との関係 / 八王子市の自然環境や緑被面積 / 植生指標時系列データの解析に利用

JAXA HRLULC ベトナム (@30 m; 1990, 1991, ..., 2020)

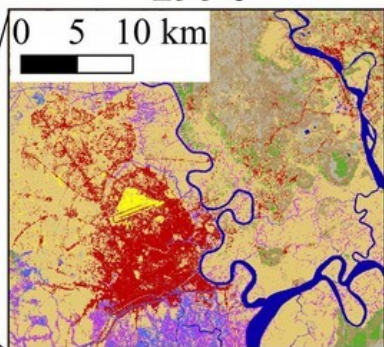


都市の拡大

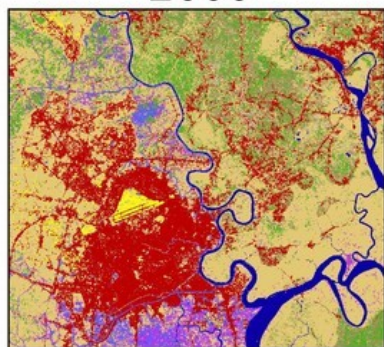


Urban change map

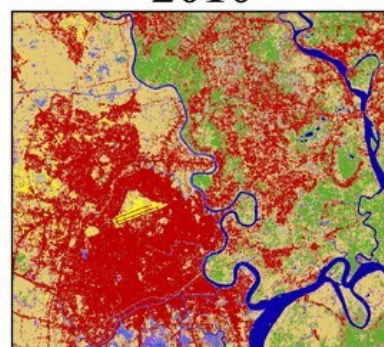
1990



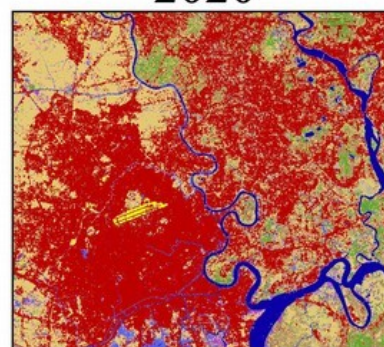
2000



2010



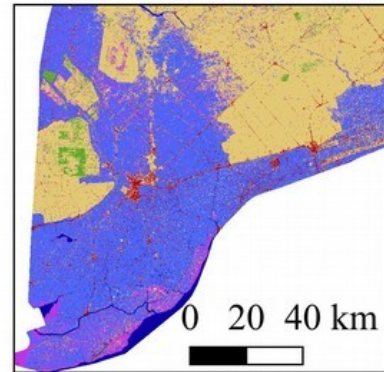
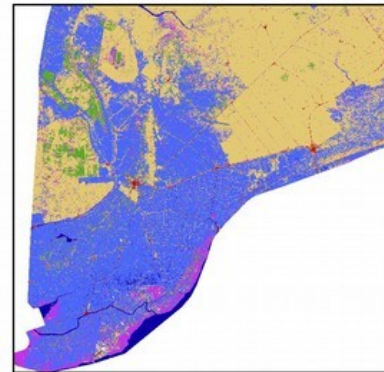
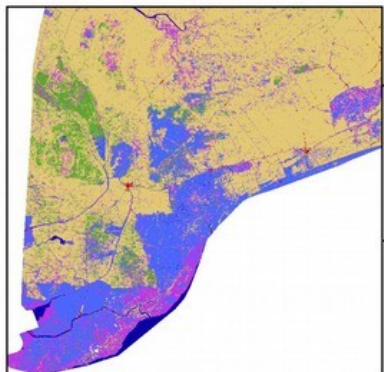
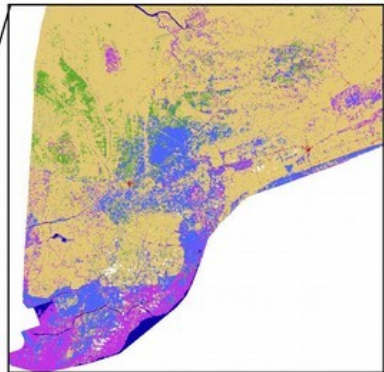
2020



養殖池の拡大



Aquaculture change map



LULC

Red: Residence
都市

Orange: Croplands

Yellow: Grassland

Grey: Barren land

Brown: Scrub land

Green: Forest

Purple: Wetland

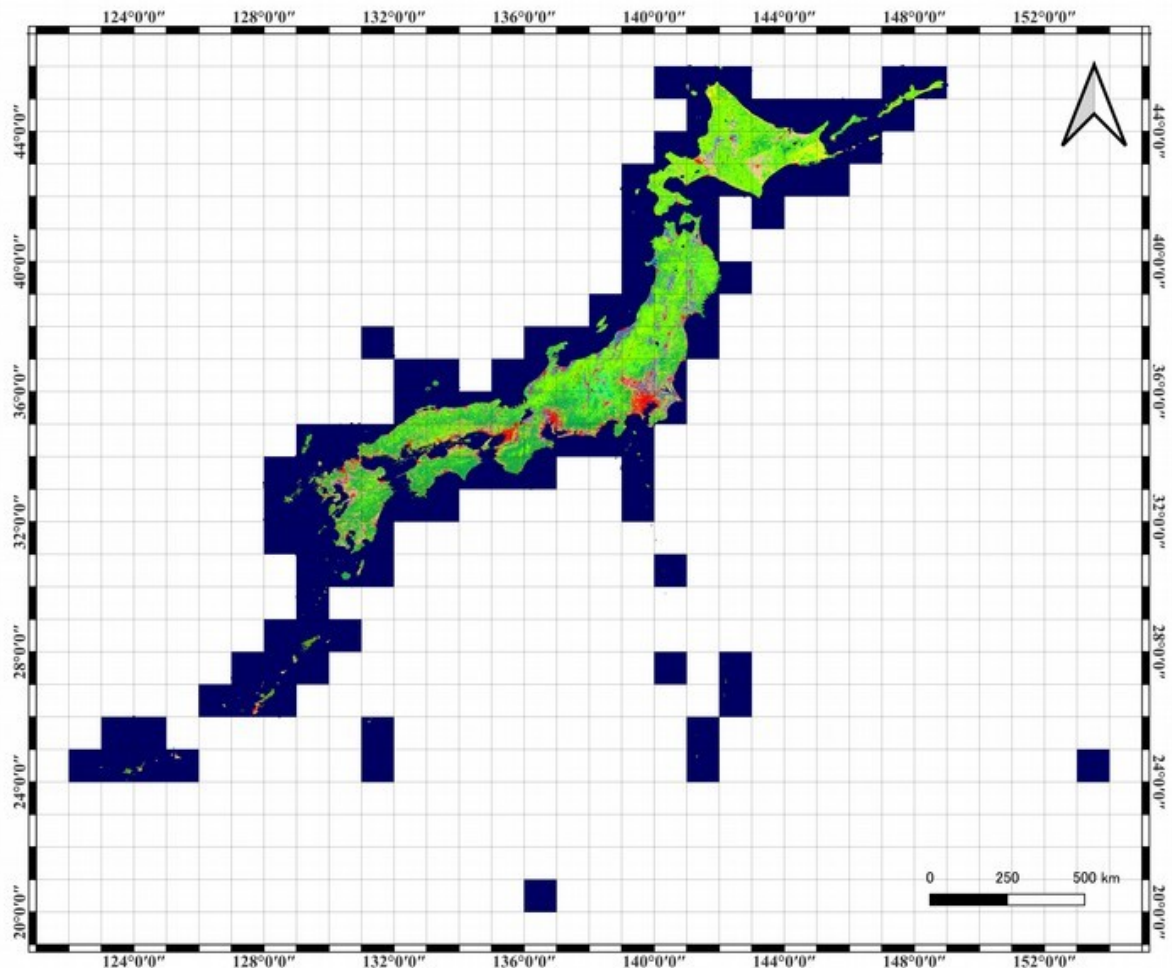
Dark Blue: Open water

Light Blue: Aquaculture

エビ, カニ, 魚の養殖池



JAXA HRLULC 日本 (@10 m; 2018-2020対象)



- 分類したいもの・してほしいものはたくさんあるが、人工衛星で見分けができなければ意味がない。

- 日本全国の環境・景観に欠かせないカテゴリは頑張って分類しよう。

地域特性は諦める: 茨城ならレンコン畑・芝畑、沖縄ならサトウキビ畑などは分類したいところではある。

Category		
No.	Color	Description
1	Dark Blue	水域
2	Red	人工構造物
3	Blue	水田
4	Pink	畑
5	Yellow	草地
6	Light Green	落葉広葉樹 (DBF)
7	Bright Green	落葉針葉樹林 (DNF)
8	Dark Green	常緑広葉樹林 (EBF)
9	Teal	常緑針葉樹林 (ENF)
10	Brown	裸地
11	Light Yellow	竹林
12	Purple	ソーラーパネル

← 黒船にはこれが無い!!

← 新規追加

← 新規追加

JAXA HRLULC 日本の作り方

1. 衛星データをたくさん集めて整える。

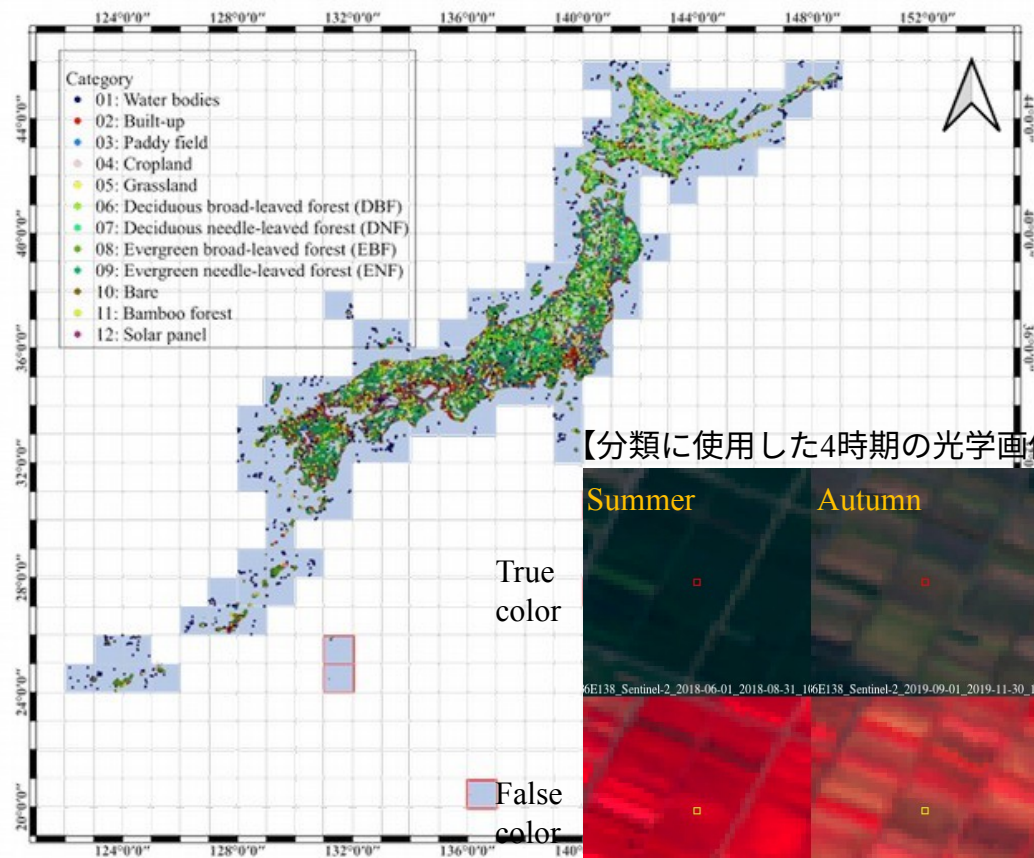
Sensor type	Year of acquisition	Season of acquisition	Spatial resolutions (m)
Sentinel-2	2018-2020	3/1-5/30 (spring), 6/1-8/31 (summer), 9/1-11/30 (autumn), 12/1-2/28 (winter)	10 and 20
Landsat 8/OLI	2018-2020	3/1-5/30 (spring), 6/1-8/31 (summer), 9/1-11/30 (autumn), 12/1-2/28 (winter)	30 and 15
ALOS-2/PALSAR-2 HBQ	2019	7/29-10-6	6
ALOS-2/PALSAR-2 UBS	2019	7/29-9/22	3
AW3D5m	-	-	5
OpenStreetMap(OSM)	-	-	-

Band	Description	Center wavelength (nm)	Spatial resolution (m)
B2	Blue	490	10
B3	Green	560	10
B4	Red	665	10
B5	Red Edge 1	705	20
B6	Red Edge 2	740	20
B7	Red Edge 3	783	20
B8	NIR	833	10
B8A	Red Edge 4	865	20
B11	SWIR	1610	20
B12	SWIR	2190	20

HBQ HH polarization amplitude (ascending; 5x5 Gaussian filter)
HBQ HV polarization amplitude (ascending; 5x5 Gaussian filter)
HBQ VV polarization amplitude (ascending; 5x5 Gaussian filter)
HBQ Pauli: HH-HV polarization amplitude (ascending; 5x5 Gaussian filter)
HBQ Pauli: HH-HV polarization amplitude (ascending; 5x5 Gaussian filter)
HBQ cross-correlation between HH and HV (5x5 window)
HBQ polarimetric entropy (5x5 window)
HBQ total polarization amplitude texture (5x5 window)
UBS HH polarization amplitude (descending; 3x3 look)
UBS incidence angle

Index	Formula
NDVI(植生指標1)	$(NIR-R)/(NIR+R)$
GRVI(植生指標2)	$(G-R)/(G+R)$
GSI(粒径指標)	$(R-B)/(R+B+G)$
NDWI1(水指標1,地表面)	$(R-SWIR)/(R+SWIR)$
NDWI2(水指標2,植生)	$(NIR-SWIR)/(NIR+SWIR)$

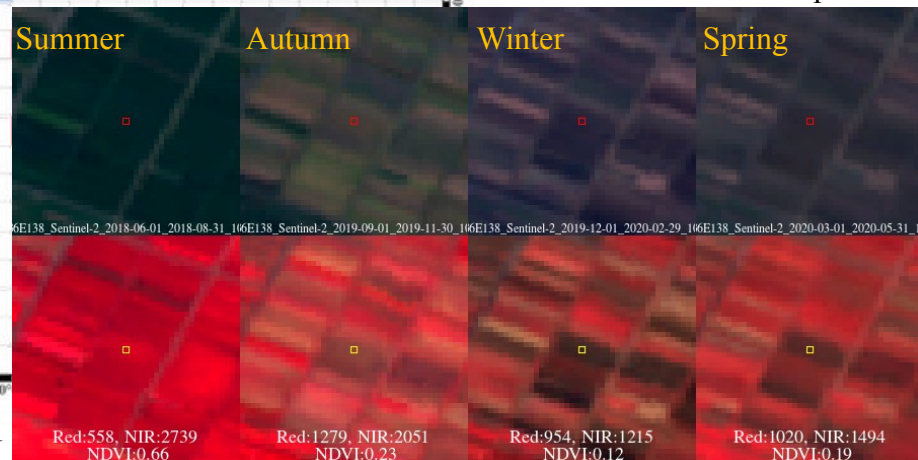
JAXA HRLULC 日本の作り方 2. 「教師データ」を集める。



- 現地調査
- 衛星画像判読↓

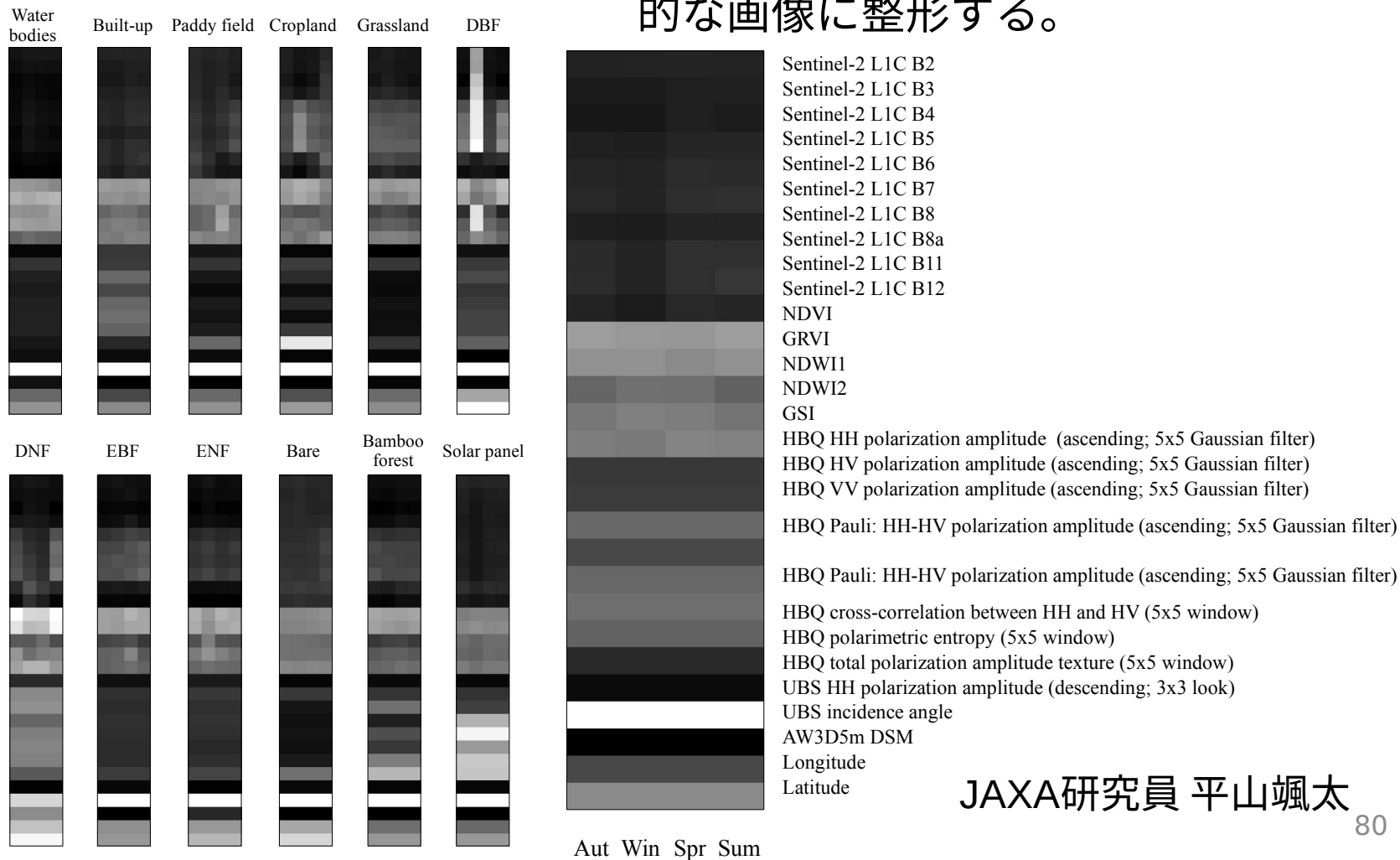
【分類に使用した4時期の光学画像 (Sentinel-2) 225×225 pixel】

【GPro画像 225×225 pixel】



JAXA HRLULC 日本の作り方

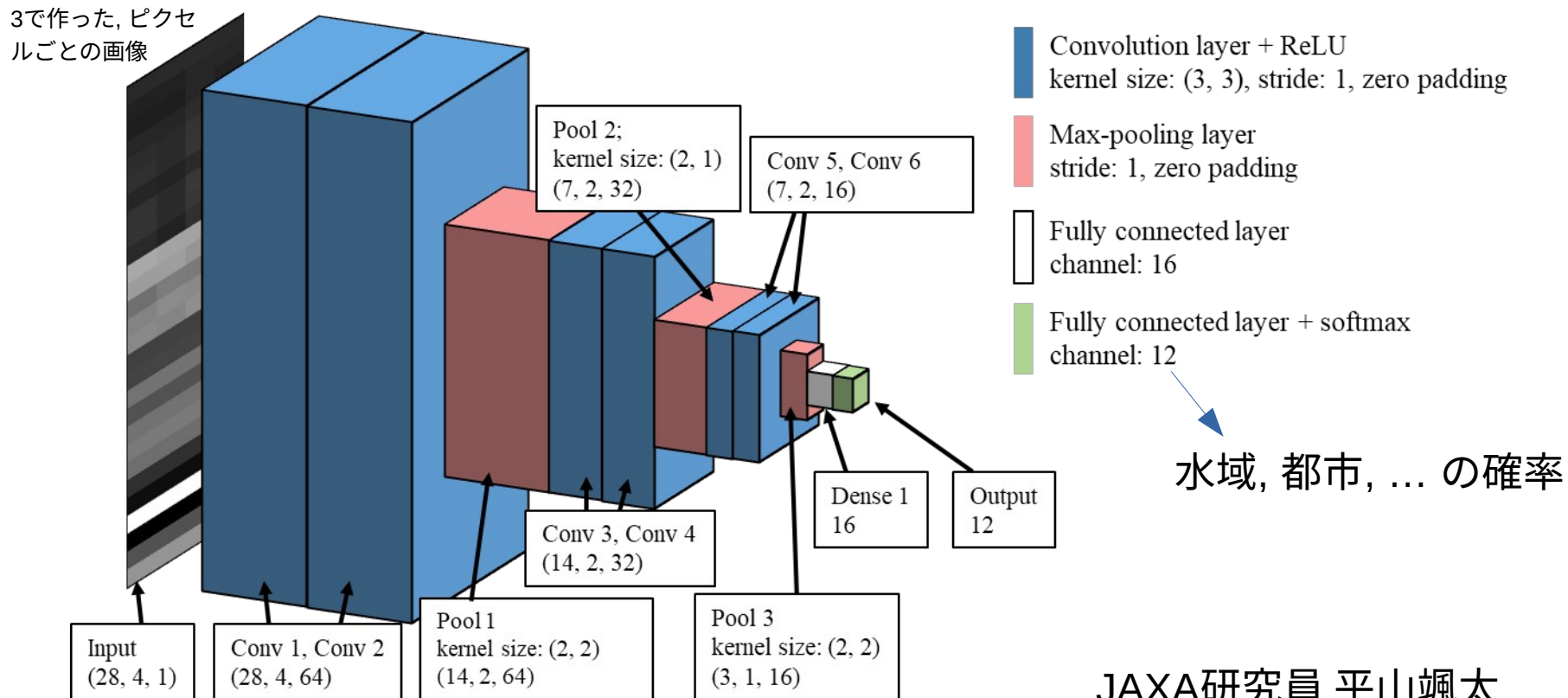
3. 衛星データを各ピクセル毎に仮想的な画像に整形する。



JAXA研究員 平山颯太

JAXA HRLULC 日本の作り方

4. それを用いて人工知能（畳み込みニューラルネットワーク）を訓練する。

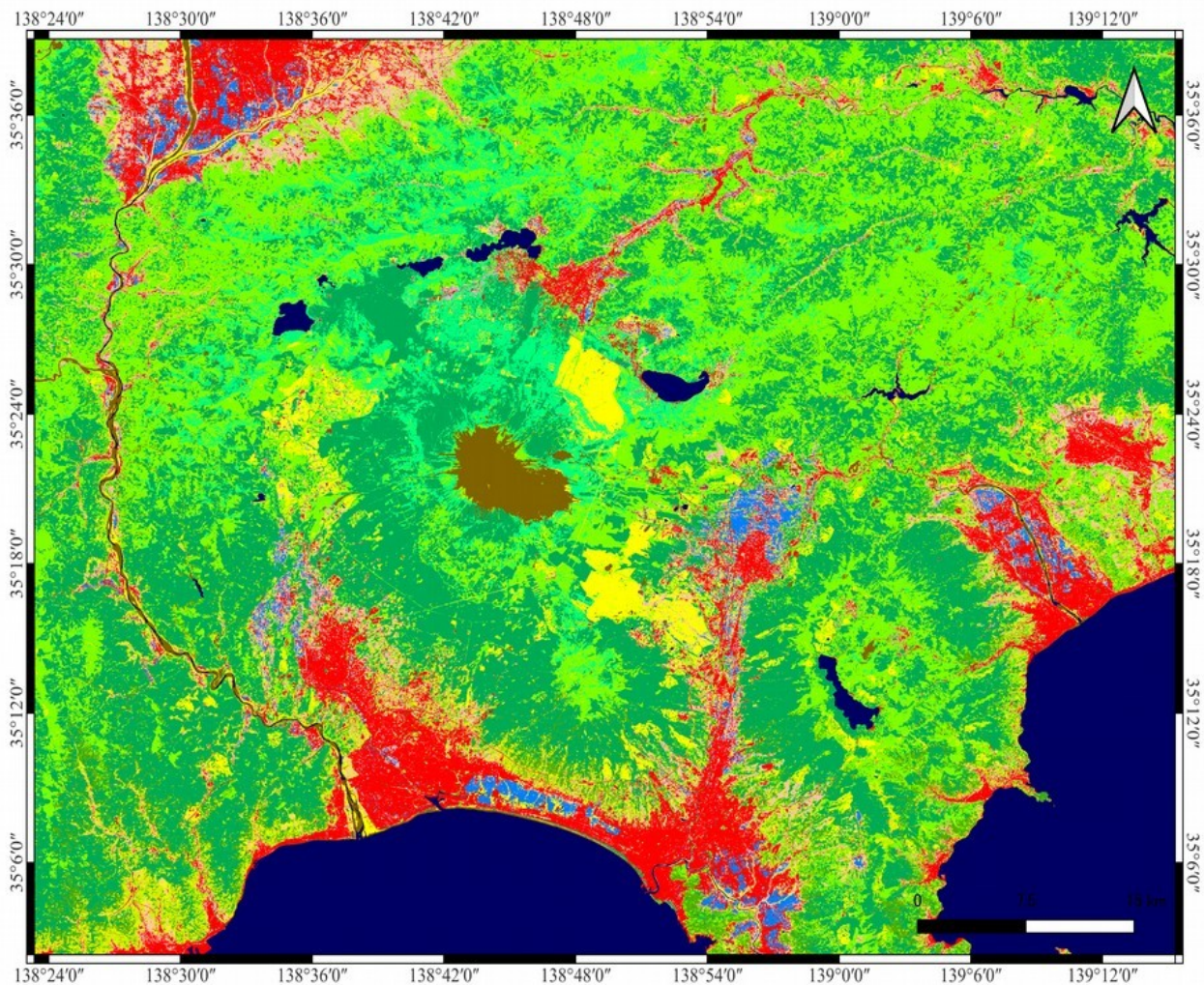


JAXA研究員 平山颯太

JAXA HRLULC 日本の作り方

5. 訓練が終わった人工知能で日本全国を分類。
6. 竹林は手強いので、他に2つの簡略版の人工知能を使って確認・修正。
7. 出来上がった土地被覆分類図を、訓練された作業者が検品し、明らかにおかしい部分を手で修正（全体の1%未満）。
8. オリジナル解像度(10 m)ではデータが大きすぎ・多すぎて面倒というユーザーもいるので、間引いて小さくしたデータも何種類か作る。
9. リリースノートなどを作ってJAXAのサーバーに置いて、ホームページで公開!!!

できあがったJAXA HRLULC 日本 v21.11 (富士山周辺)



Category		
No.	Color	Description
1	Dark Blue	Water bodies
2	Red	Built-up
3	Blue	Paddy field
4	Pink	Cropland
5	Yellow	Grassland
6	Light Green	Deciduous broad-leaved forest (DBF)
7	Bright Green	Deciduous needle-leaved forest (DNF)
8	Dark Green	Evergreen broad-leaved forest (EBF)
9	Teal	Evergreen needle-leaved forest (ENF)
10	Brown	Bare
11	Light Yellow-Green	Bamboo forest

JAXA HRLULC 日本 v21.11の精度評価: 「混同行列」

地図にそれがあるとき現場はどうか?

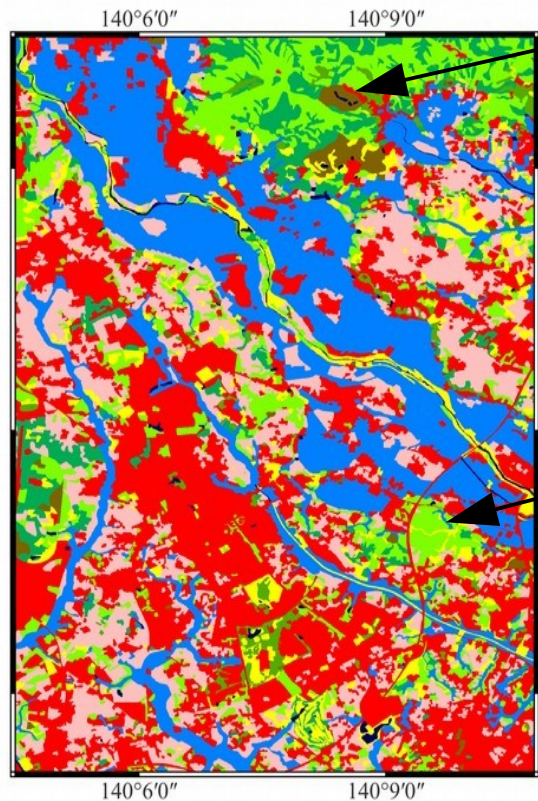
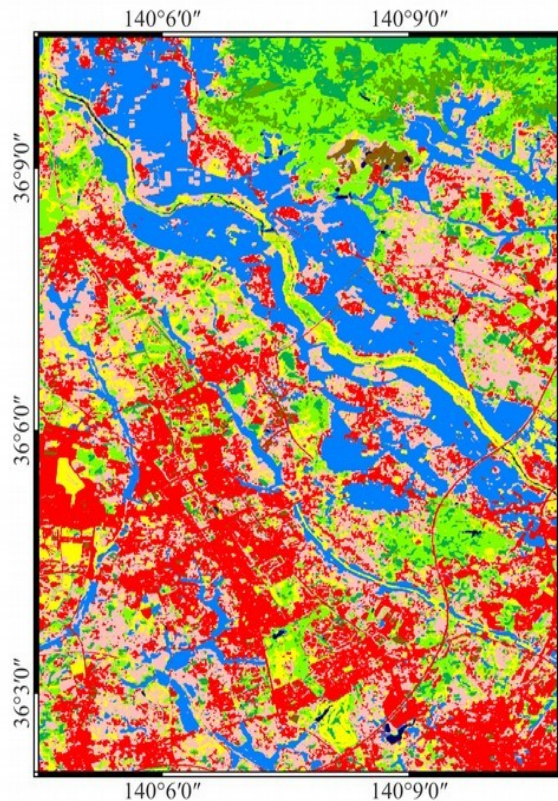
v21.11		検証データ Validation												User's accuracy (%)	
		Water bodies	Built-up	Paddy field	Cropland	Grassland	DBF	DNF	EBF	ENF	Bare	Bamboo forest	Solar panel		Total
Classified	Water bodies	153	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	154	99.35
	Built-up	0	243	1	2	0	0	1	0	0	8	1	5	261	93.10
	Paddy field	0	0	235	17	3	0	0	0	0	0	0	0	255	92.16
	Cropland	0	0	11	188	16	2	1	0	0	5	1	0	224	83.93
	Grassland	0	0	0	19	202	2	1	1	0	4	1	4	234	86.32
	DBF	0	0	0	2	5	193	39	6	3	0	8	0	256	75.39
	DNF	0	0	0	0	0	3	162	0	0	0	0	0	165	98.18
	EBF	0	0	0	1	1	0	0	126	10	0	4	0	142	88.73
	ENF	0	0	0	1	0	9	7	16	214	1	12	0	260	82.31
	Bare	3	11	0	6	0	0	0	0	0	199	0	3	222	89.64
	Bamboo forest	0	0	0	1	0	1	0	17	0	0	137	1	157	87.26
	Solar panel	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	171	172	99.42
Total	156	255	247	237	227	210	211	166	227	218	164	184	2502	---	
Producer's accuracy (%)		98.08	95.29	95.14	79.32	88.99	91.90	76.78	75.90	94.27	91.28	83.54	92.93	---	Overall accuracy: 88.85%

現場にそれがあるとき地図はどうか?

他のマップと比べてみよう

精度 88.6 %
JAXA

精度 75.9 %
環境省植生図



採石場跡。
今は緑化が進んでいる。

里山保全で有名な
「穴塚大池」が無い。

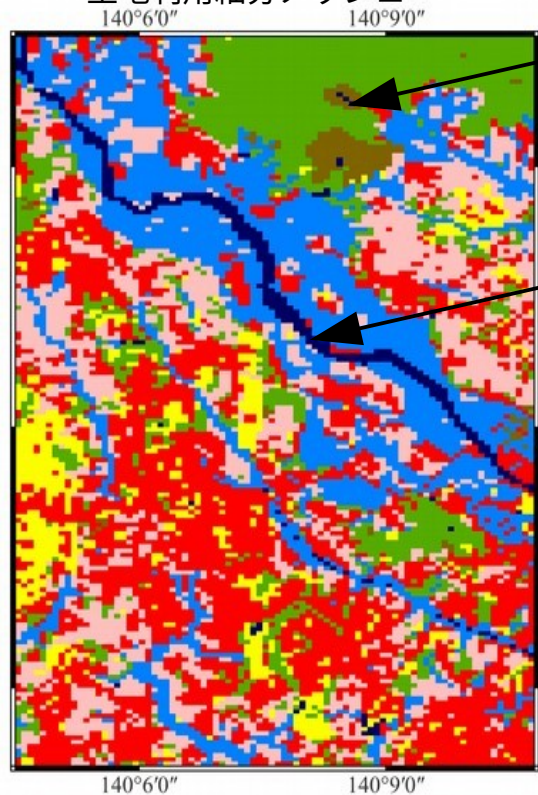
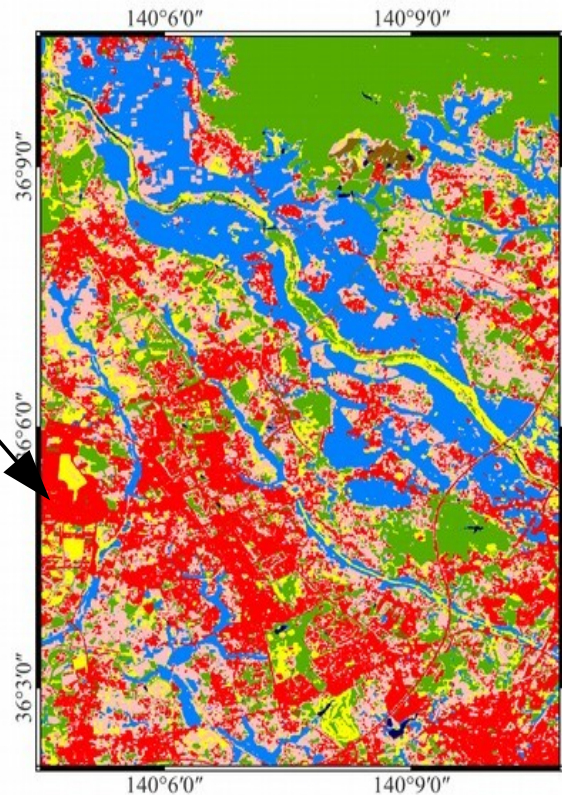
つくば



精度 94.5 %
JAXA

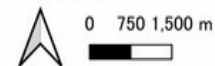
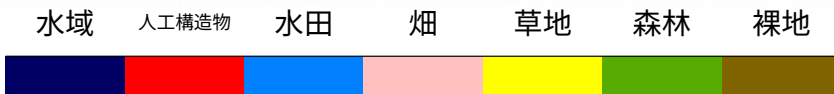
精度 71.8 %
国土交通省 国土数値情報
土地利用細分メッシュ

研究学園都市付近
の新しい市街地



採石場跡。
今は緑化が進んでいる。

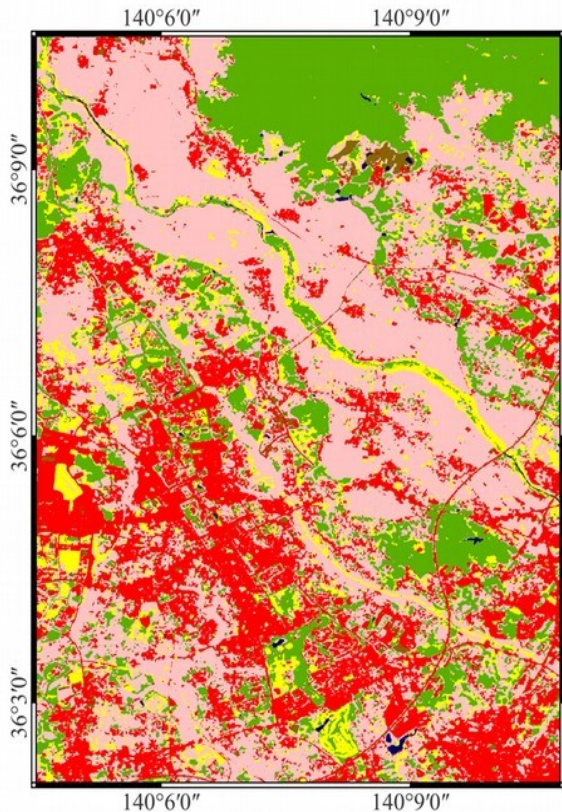
河川敷いっぱいまで「川」という定義。
(必ずしも間違いではない)



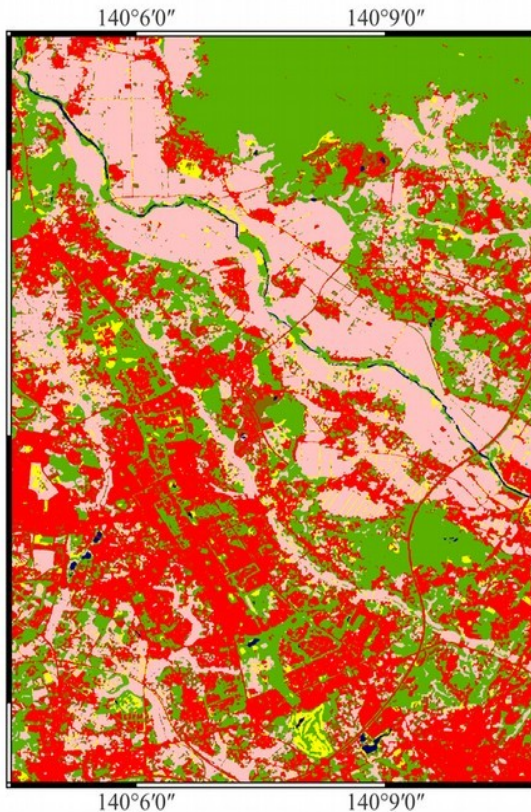
つくば

JAXAは黒船に太刀打ちできているか?

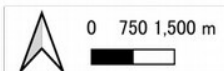
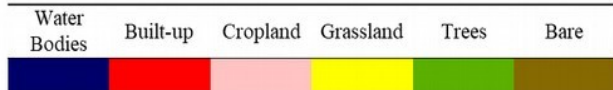
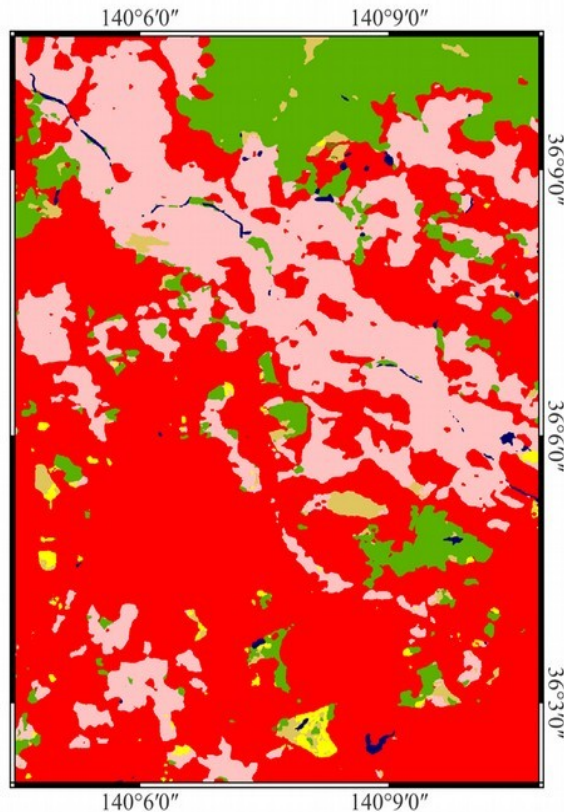
精度 95.6 %
JAXA HRLULC-Japan v21.11



精度 85.2 %
ESA WorldCover



精度 79.1 %
Esri 10-Meter Land Cover



つくば

Esriには勝てる。ESAは手強い。
しかし彼らには「水田」「竹林」「ソーラーパネル」は無い。

JAXA HRLULC 日本は, そこそこイケてる。

- 黒船に負けない10 m解像度。
- 黒船には無い水田。
- ソーラーパネルと竹林。
- 最近の実情をとらえている。
- 精度良い。12カテゴリ89 %。(1つカテゴリ増やすと精度は1 %くらい落ちても仕方ないと言われる)
- ダウンロード・処理が簡単 (GeoTiffファイル)



でも, もっと細かく分けられないのか?
樹種とかは?

花を衛星で見る → 時期・地域で樹種を絞りこめる

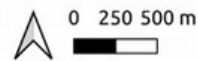
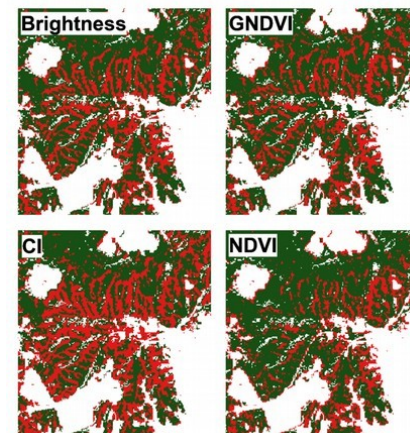


図4 スダジイの開花時期とその前後のSentinel-2/MSIのRGB画像

スダジイ



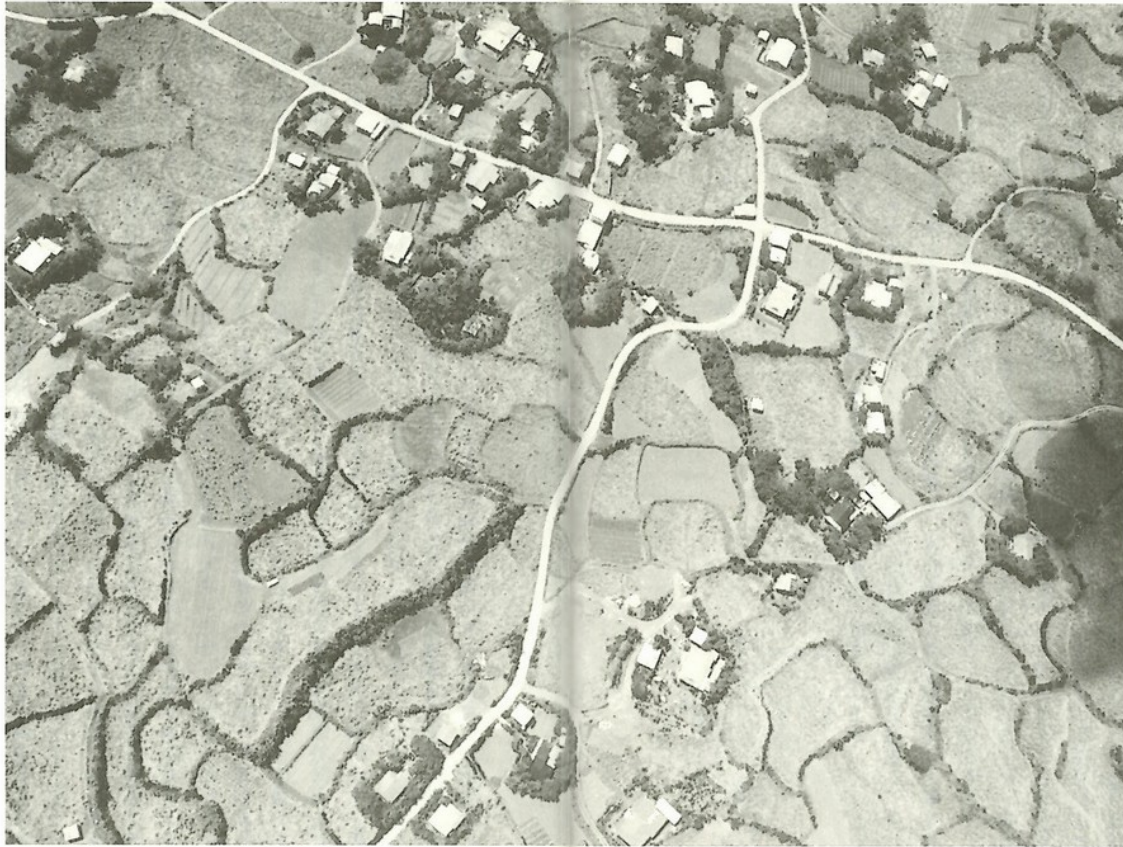
これを利用して作った
スダジイの分類図



千葉県勝浦市



私のリモセンの原点: 空からの民俗学



“ヘラでひらいた久米島の畑”
宮本常一, 1979 全日空「翼の王国」

「耕土は浅く地力もなかった。畑の形がさまざまに一定の様式の見えないのも、不便な農具を利用したの開墾だったからだと思う。そして少し大きな珊瑚のかたまりで、ヘラではくだけないものは畑の畔に積むか、持って帰って家のまわりの石垣にしたのである。その苦心の姿をこの畑の形の中に読み取ることができる。

...

つまり畑の形のありようでその畑のひらけ方をある程度まで推定できる。

...

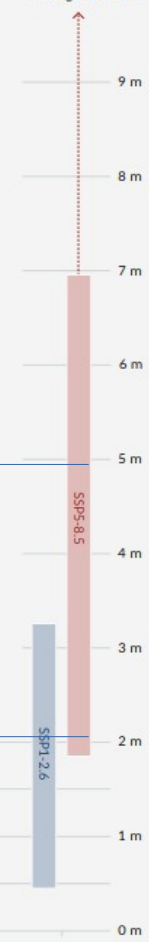
畑のすべてがパイナップルによって埋めつくされないところに商業的農業一本にはならず、自給食料を確保することによって、不時の災厄をできるだけ少なくしようとする古くからの自衛的な意思が働いているのではなかろうか。」

上空から見える土地利用・土地被覆からは、いろんなこと（古くからの人の意思まで）が読み取れる。90

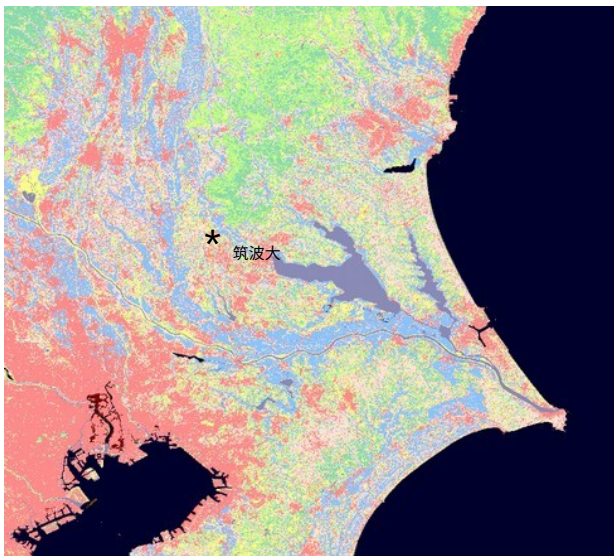
海水位の上昇は土地利用・土地被覆にどう影響するか？

(e) Global mean sea level change in 2300 relative to 1900

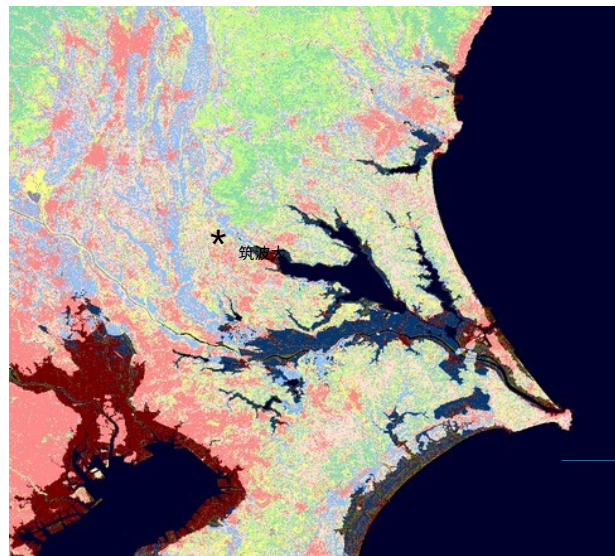
Sea level rise greater than 15 m cannot be ruled out with high emissions



Category		
No.	Color	Description
01	Blue	Water bodies
02	Red	Built-up
03	Light Blue	Paddy field
04	Pink	Cropland
05	Yellow	Grassland
06	Light Green	Deciduous broad-leaved forest (DBF)
07	Light Cyan	Deciduous needle-leaved forest (DNF)
08	Dark Green	Evergreen broad-leaved forest (EBF)
09	Teal	Evergreen needle-leaved forest (ENF)
10	Brown	Bare
11	Light Yellow	Bamboo forest
12	Purple	Solar panel



現在



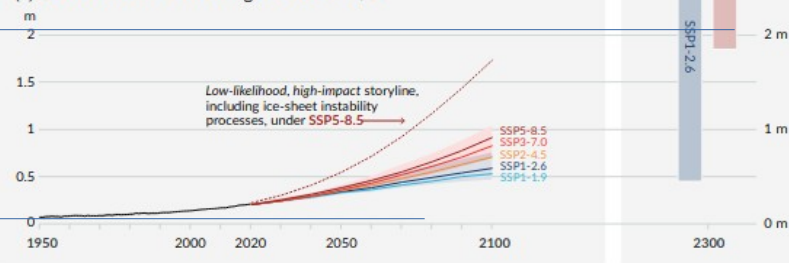
海水面5m上昇時に水没する地域を濃く塗ったもの

縄文海進の頃 (霞ヶ浦は海)

現在の海水位

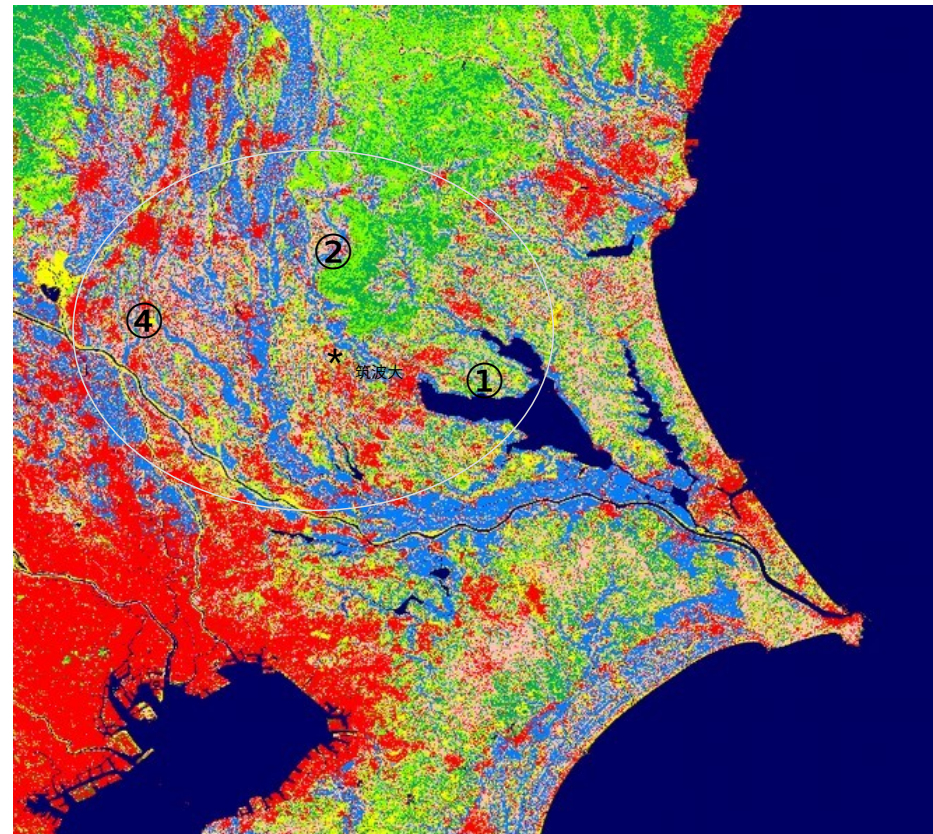
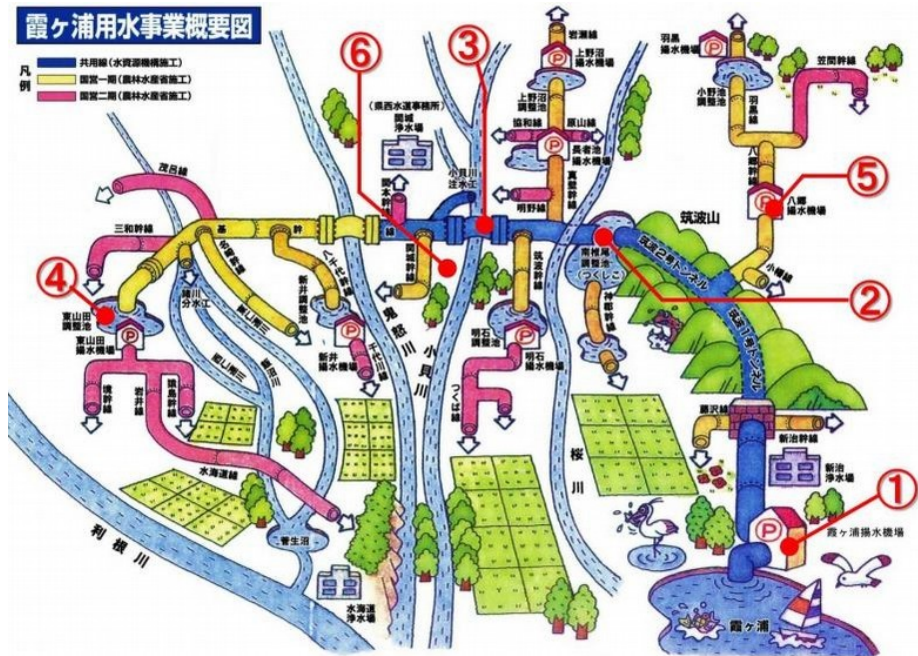
IPCC AR6

(d) Global mean sea level change relative to 1900



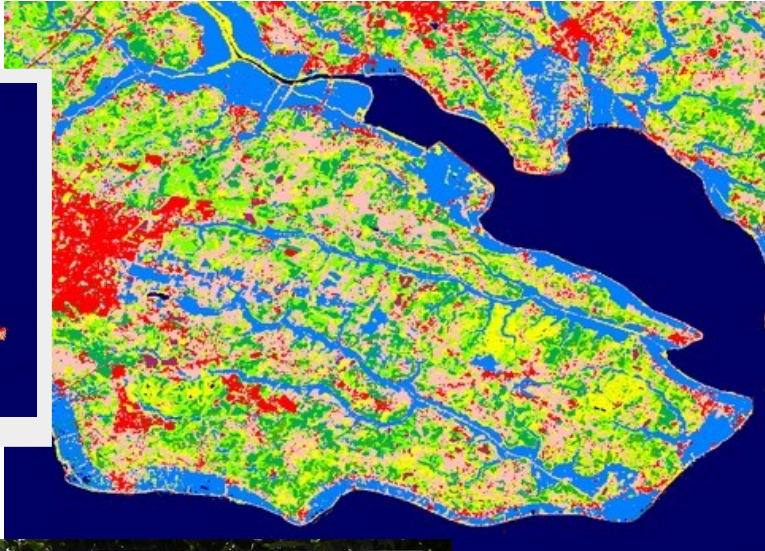
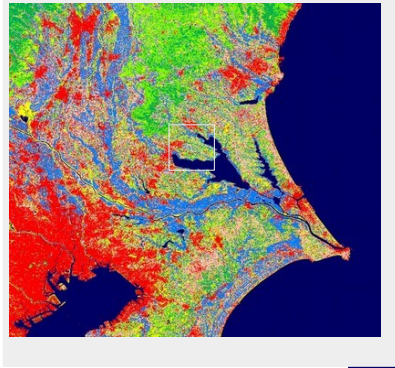
茨城県南西部の農業は、霞ヶ浦用水が命綱

※ つくば市は水道水源も霞ヶ浦



霞ヶ浦が淡水でなくなると農業は崩壊する。
水を汲み上げるエネルギーも必要。

先人たちが水を引き開拓してきた常総台地の農業と里山… 出島半島



「国破れて山河あり」
「未曾有の戦禍」
「裸一貫無一文」
「祖国再建 自責自憤」



茨城県の里山景観（文化・生物多様性）は、農業に支えられている…。
どんな適応策も、水源がやられると限界がある。

土地利用・土地被覆分類図は無限にテーマのある仕事。

… 高解像度・高頻度・多クラス・広範囲・長期（過去・未来）・高精度への挑戦

リモートセンシング技術・機械学習・ビッグデータ等の先端技術が必要。

自然地理・生物多様性・生態学・植生学・気候学・地質学・地形学の知識・知見が必要。

人文地理・農業・林業・工業・都市計画・地域計画の知識・知見が必要。

その地域とそこに住む人や生き物に関心と愛を持つことが必要（民俗学）。

* 多くの地域の人々・多くの分野の専門家と協力してJAXA HRLULCを作っていきたい。

数学・物理苦手な人へのアドバイス・・・学習観を見直してみよう

「勉強＝問題を解くこと」と思っていないか？（それは受験勉強）

問題演習は理解の為のアプローチの一つにすぎない。「解く」よりも「理解」を。

「理解」とは？自分の知識体系にフィットする形で納得し、自分の言葉で説明できること。

自問自答・内省・自己評価を。自分は何を理解していて何を理解していないか？

難しく考えない。シンプルに考えよう。既に理解していることと結びつけよう。

理解・納得を楽しもう。人と比較せず、自分の成長を実感し、それを喜ぼう。

「考えるべきこと」と「考えても仕方ないこと」をしっかりと区別しよう。

「なぜ」を突き詰めていけば、いずれは「考えても仕方ないこと」に行き当たる。

それは知識体系の出発点であり、定義や公理や基本法則。

例: 電場・磁場はマクスウェル方程式の解である。← 基本法則。理由を考えても仕方ない。

例: 量子力学的な現象には重ね合わせの原理が成り立つ。← 公理。理由を考えても仕方ない。

定義・公理・基本法則ではないことは、それらと結びつくまで考え続けよう。

例: 電場・磁場には重ね合わせの原理が成り立つ。← マクスウェル方程式から導出可能。

例: 電磁波において電場と磁場は互いに直交する。← マクスウェル方程式から導出可能。

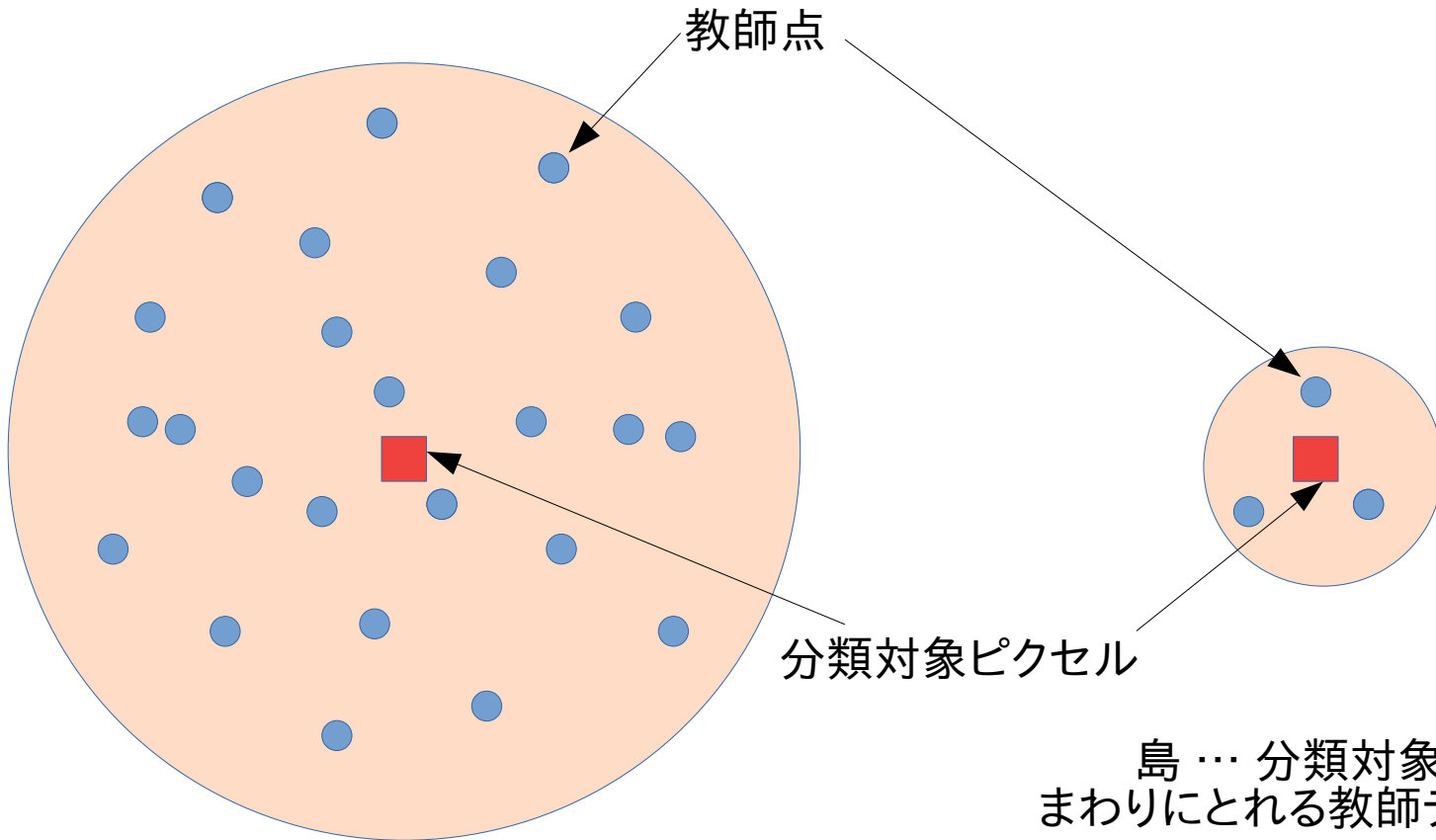
例: 波長 λ と波数 k の間には、 $\lambda=2\pi/k$ の関係がある。← 波長、波数の定義から導出可能。

ただし量子力学にはそれが微妙なことがちょいちょいある（泣）。

例: 量子のエネルギーは振動数のプランク定数倍 ← シュレーディンガー方程式から導けたりする。

原理がわかると楽しくなり、アイデアが湧くようになり、自信がつき、好奇心が湧いてくる。研究者・技術者のモチベーションや生産性を大きく左右する。幸せな研究生活を送りたいなら、原理を理解しよう。

島の土地被覆分類は難しい!



大陸 … 分類対象ピクセルのまわりにたくさん教師データをとれる。

しかも、島特有の土地利用や生態系!