

# 人工衛星による環境ビッグデータとその活用: JAXA高解像度土地利用土地被覆分類図プロジェクトの事例から



筑波大学生命環境系 准教授

JAXA 地球観測研究センター 客員研究員

奈佐原 顕郎



平山颯太, 田殿武雄, 大木真人, 水上陽誠, 奈佐原(西田) 顕郎, 今村功一, 平出尚義, 大串文美, 道津正徳, 山之口勤 (2022): JAXA高解像度土地利用土地被覆図日本域21.11版 (HRLULC-Japan v21.11) の作成. 日本リモートセンシング学会誌, 42(3), 199-216

# “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, JBOL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。

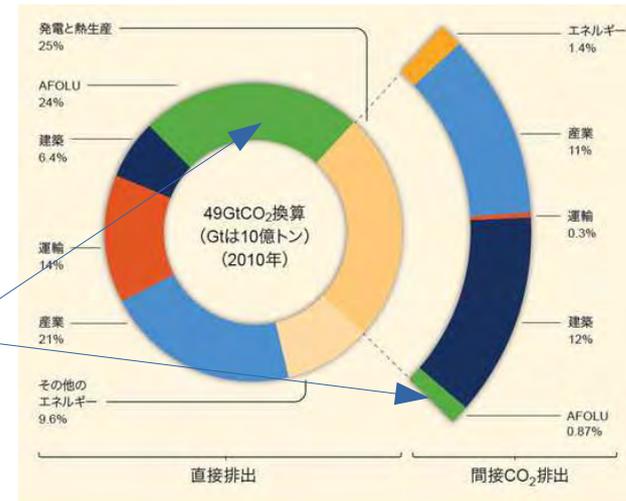
SPM.B.5.2 気候変動と**土地被覆変化**が生態系サービスや生物多様性を喪失させる。

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。

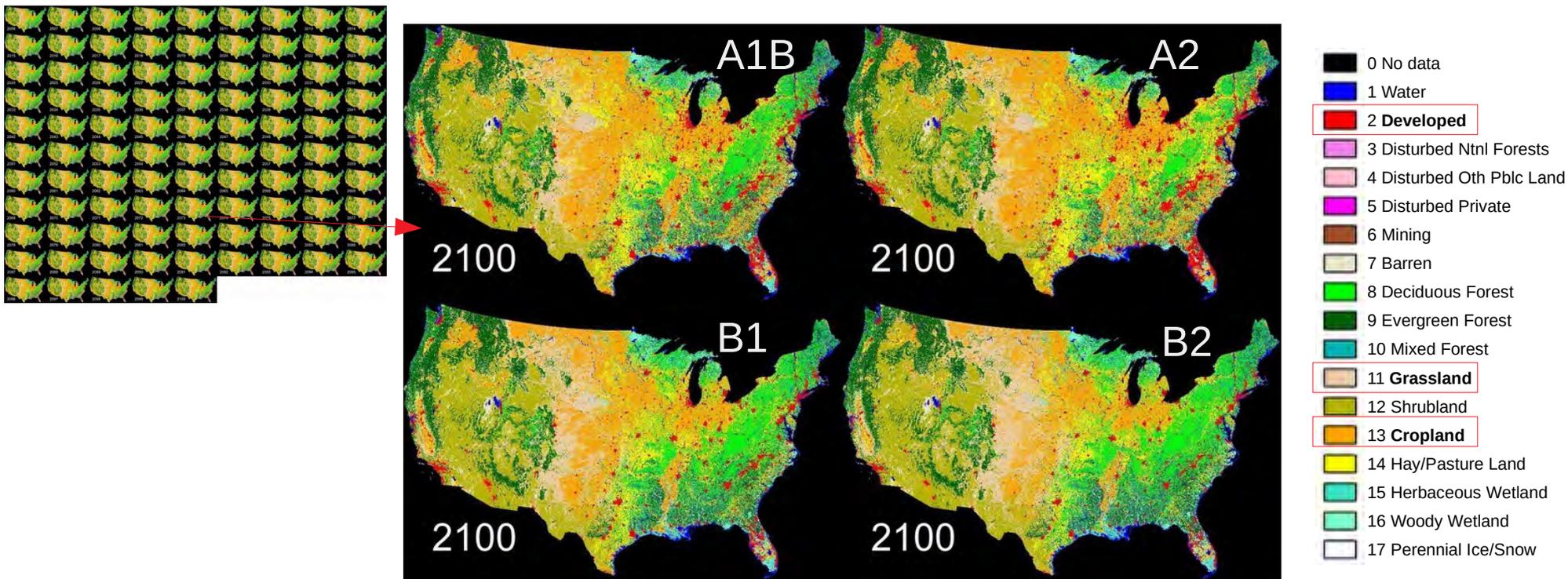
SPM.D.4.2 良いと思われてた**土地被覆変化**も実はいろいろ困ったことがある(草原・サバンナ・泥炭地の森林化, バイオ燃料栽培などが引き起こす水不足, 食糧不足, 生物多様性の喪失など)



その他: 気象モデル, 水資源モデル, 災害対策にも土地被覆図が不可欠。<sup>2</sup>

# 米国の過去・未来の土地被覆

## USGS Conterminous United States Land Cover Projections



@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)

	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	<b>10 m</b>	10 class	global	2020	外国の高解像度マップが 日本に攻めてきている! = 「黒船」
	Esri: 10-Meter Land Cover	<b>10 m</b>	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	<b>100 m</b>	多数	日本	1973~ 7回	
日本: 国交省国土数値情報	<b>50~100 m</b>	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

# 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 ---



# 国土交通省国土数値情報 土地利用細分メッシュ

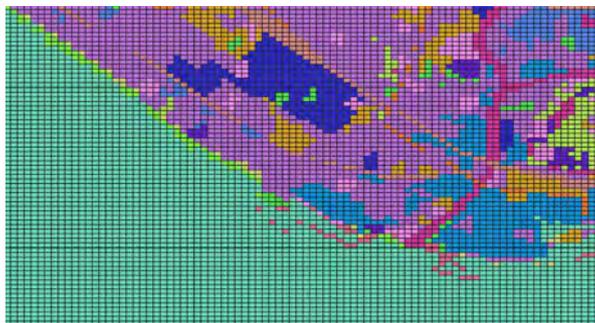
”数値地図（国土基本情報）電子国土基本図（地図情報）及び電子地形図（タイル）を背景基図とし、衛星画像（SPOT, RapidEye）を用いて土地利用現況を土地分類基準に従い判読し、2次メッシュ単位の正規化座標で整備した。”

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。

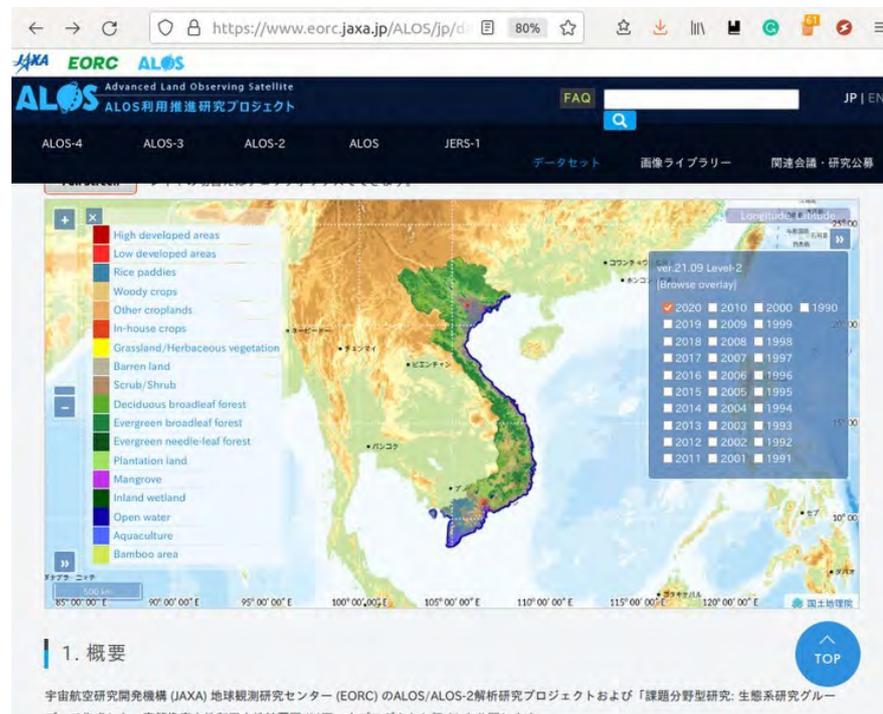
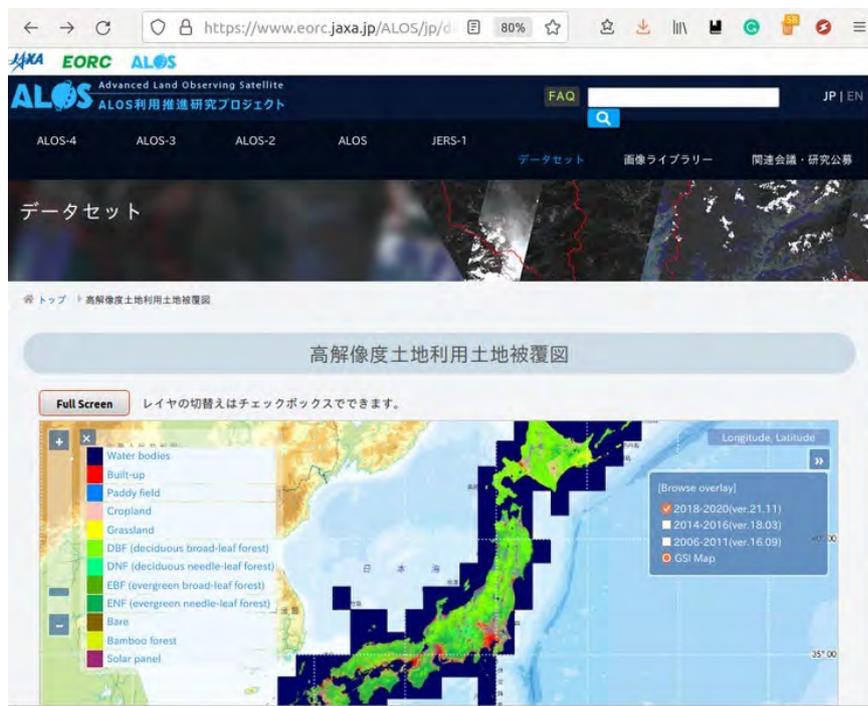


森林がひと括り。  
生物多様性には不足

衛星ベースの日本の土地被覆図はJAXAが作ろう！

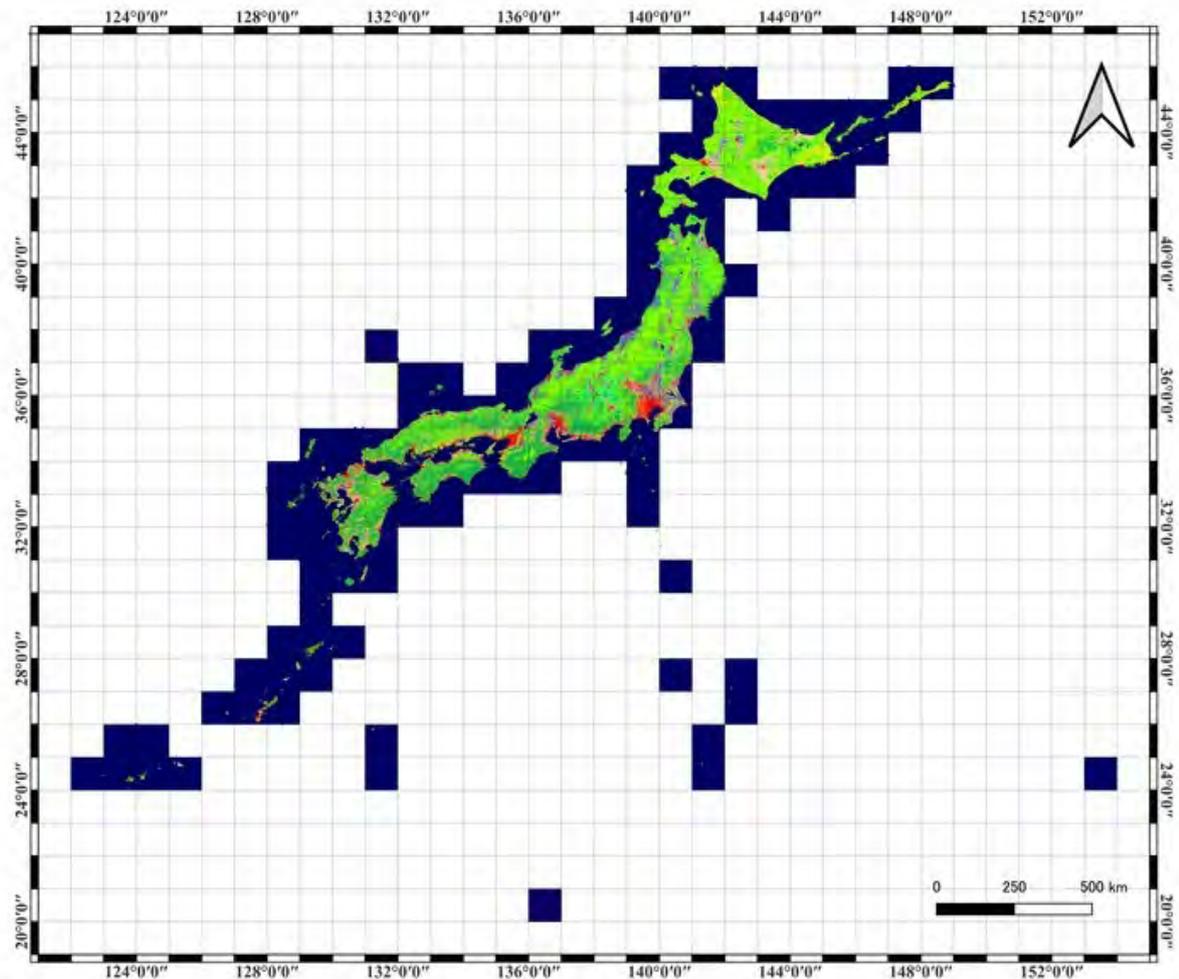
アジア諸国の土地被覆図もJAXAが協力して作ろう！

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。<sup>7</sup>

# 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!! (Arrow pointing to Category 3)

新規追加 (Arrow pointing to Category 10)

新規追加 (Arrow pointing to Category 11)

新規追加 (Arrow pointing to Category 12)

## 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 日本の作り方

## 1. 衛星データをたくさん集めて整える。

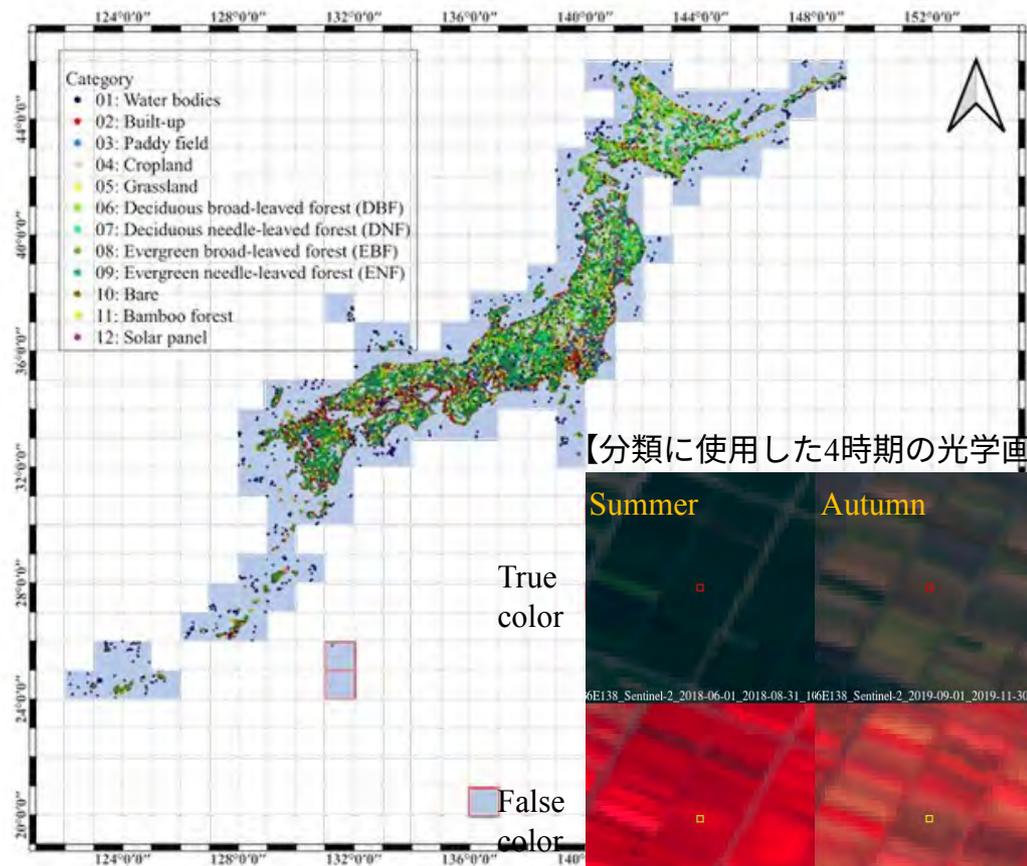
Sensor type	Year of acquisition	Season of acquisition	Spatial resolutions (m)
Sentinel-2	2018-2020	3/1-5/30 (spring), 6/1-8/31 (summer), 9/1-11/30 (autumn), 12/1-2/28 (winter)	10 and 20
Landsat 8/OLI	2018-2020	3/1-5/30 (spring), 6/1-8/31 (summer), 9/1-11/30 (autumn), 12/1-2/28 (winter)	30 and 15
ALOS-2/PALSAR-2 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)	$(NIR-SWIR)/(NIR+SWIR)$

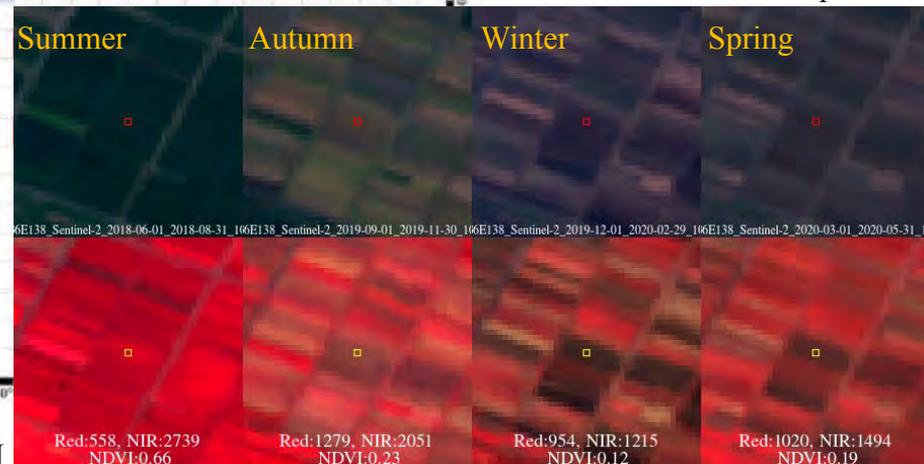
# JAXA HRLULC 日本の作り方 2. 「教師データ」を集める。



- 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】

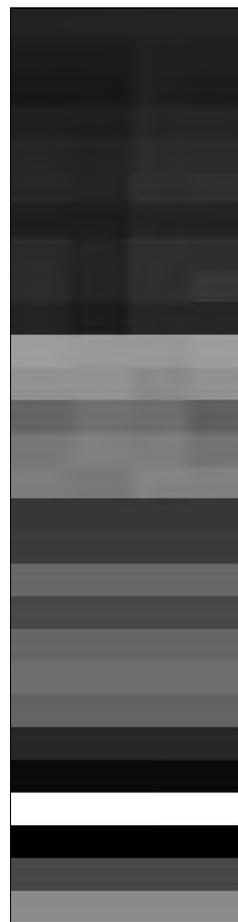
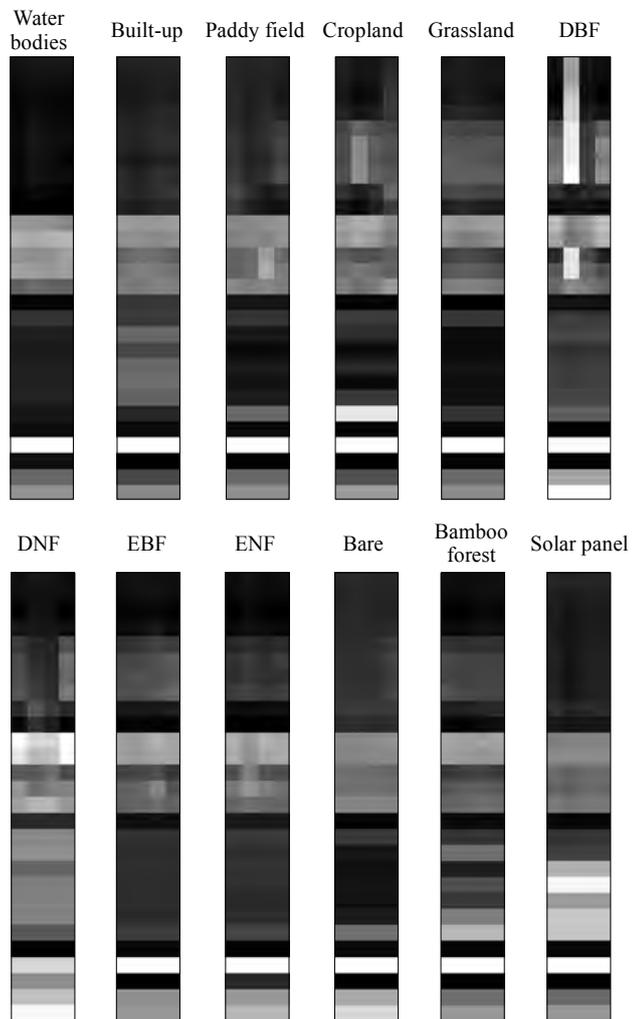
【GEPPro画像 225×225 pixel】



被雲率が小さいかつ最新の画像  
位置精度はGEPProに依存

# 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。



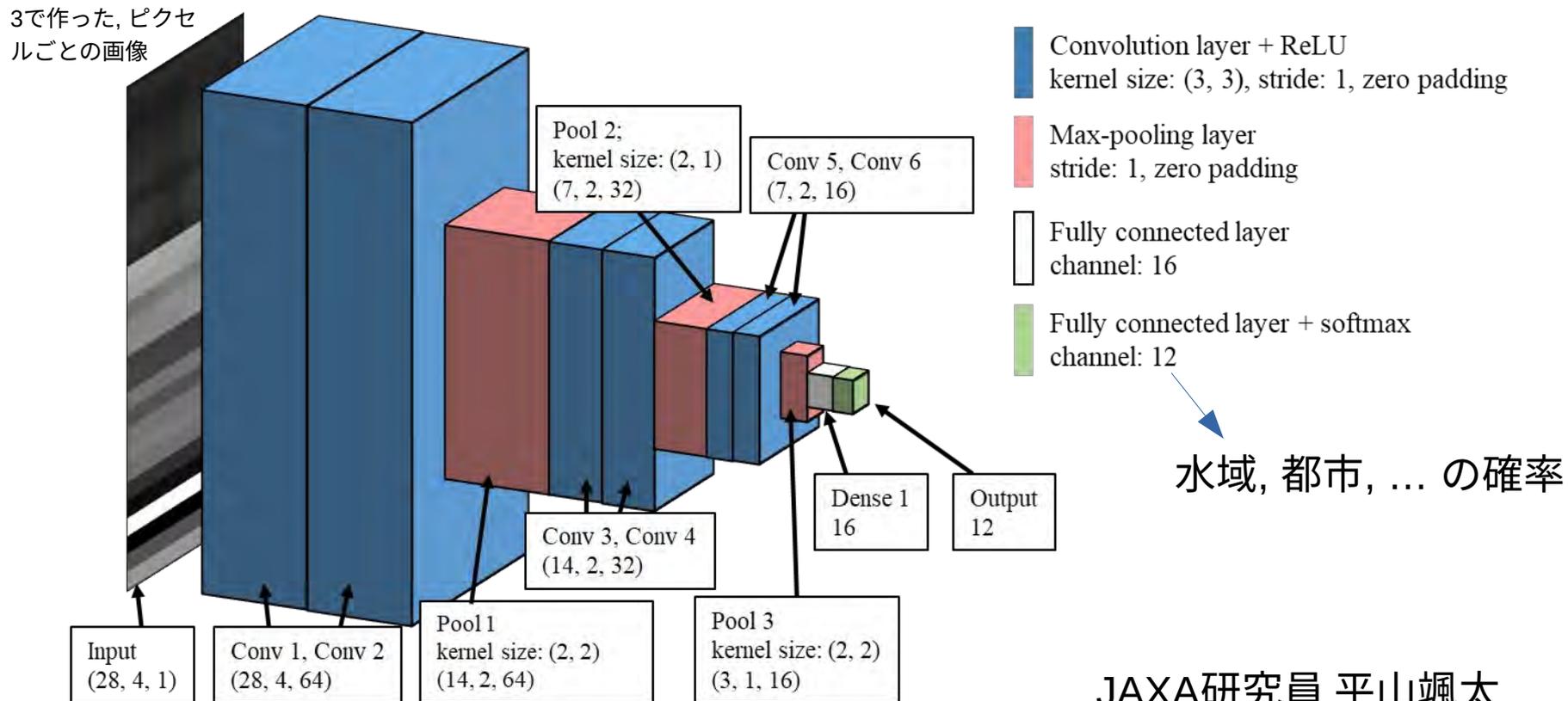
- Sentinel-2 L1C B2
- Sentinel-2 L1C B3
- Sentinel-2 L1C B4
- Sentinel-2 L1C B5
- Sentinel-2 L1C B6
- Sentinel-2 L1C B7
- Sentinel-2 L1C B8
- Sentinel-2 L1C B8a
- Sentinel-2 L1C B11
- Sentinel-2 L1C B12
- NDVI
- GRVI
- NDWI1
- NDWI2
- GSI
- HBQ HH polarization amplitude (ascending; 5x5 Gaussian filter)
- 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
- AW3D5m DSM
- Longitude
- Latitude

Aut Win Spr Sum

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。

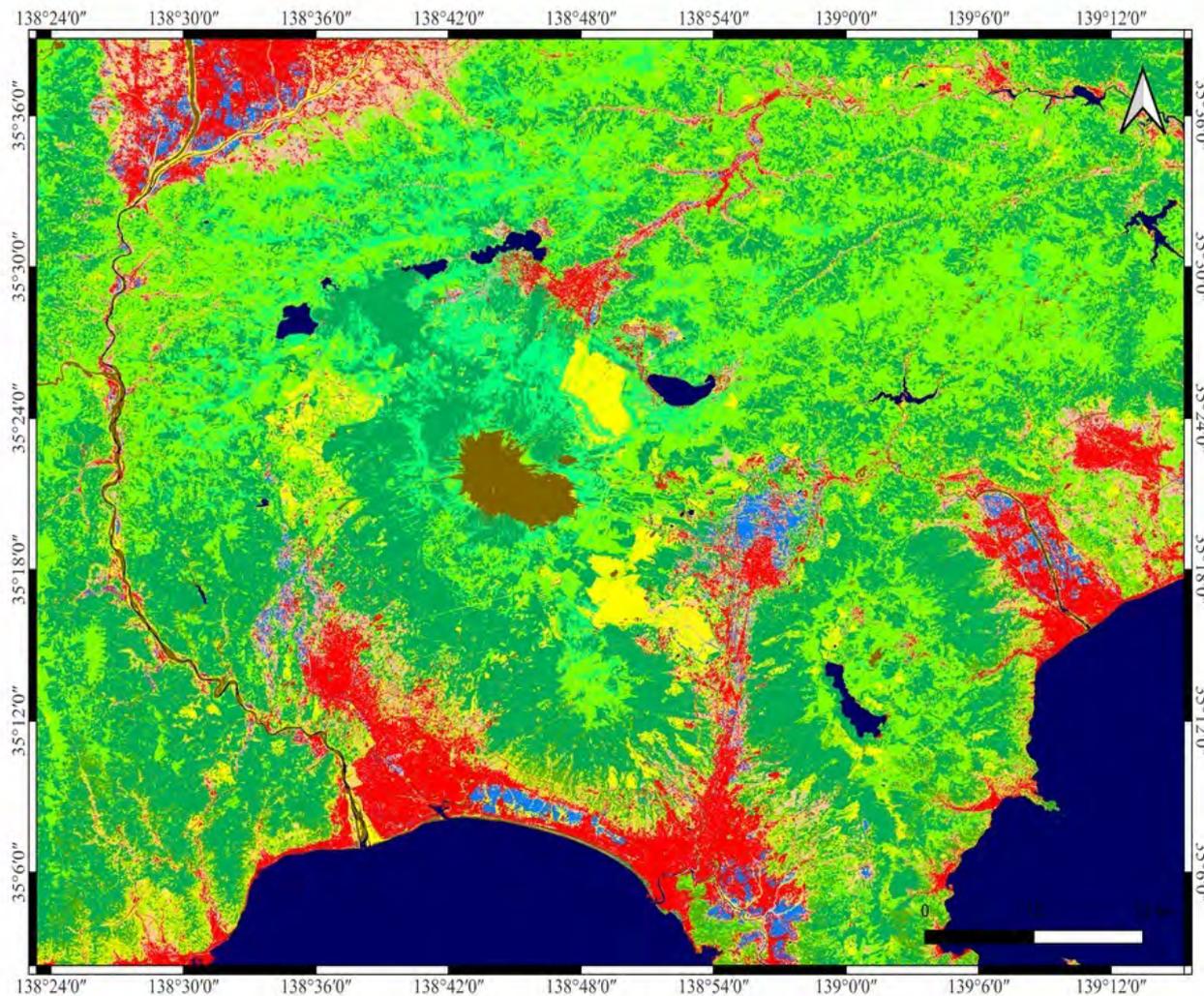


JAXA研究員 平山颯太

# 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)

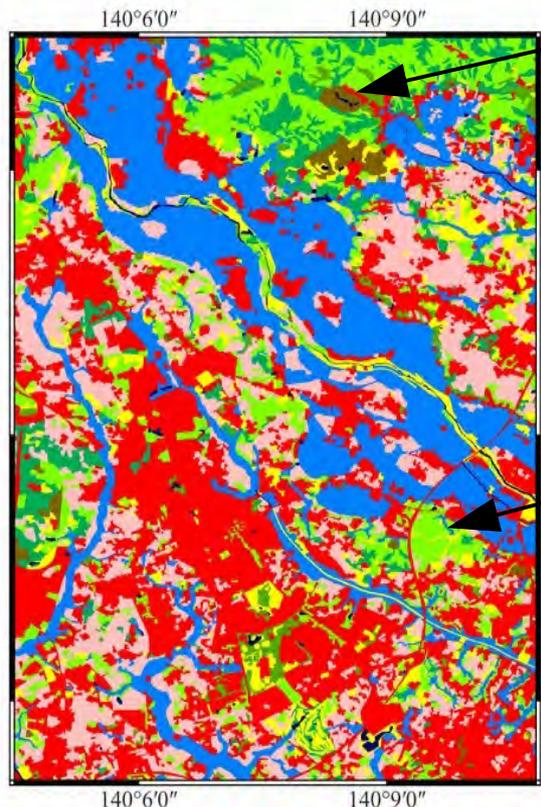
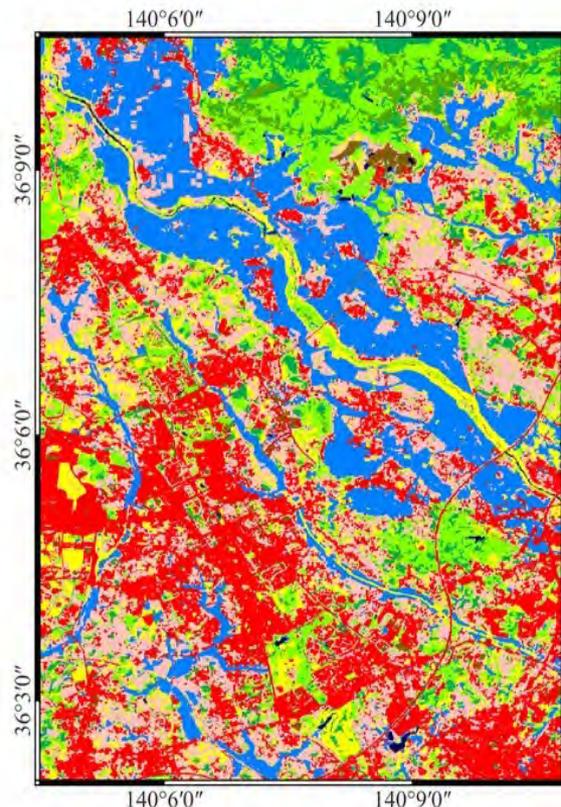


Category		
No.	Color	Description
1	Dark Blue	Water bodies
2	Red	Built-up
3	Blue	Paddy field
4	Pink	Cropland
5	Yellow	Grassland
6	Light Green	Deciduous broad-leaved forest (DBF)
7	Cyan	Deciduous needle-leaved forest (DNF)
8	Dark Green	Evergreen broad-leaved forest (EBF)
9	Teal	Evergreen needle-leaved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

他のマップと比べてみよう

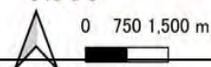
精度 88.6 %  
JAXA

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。

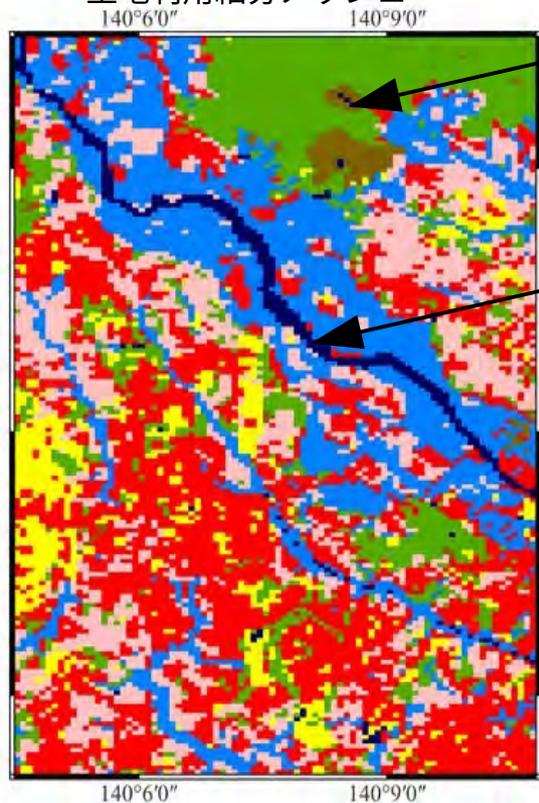
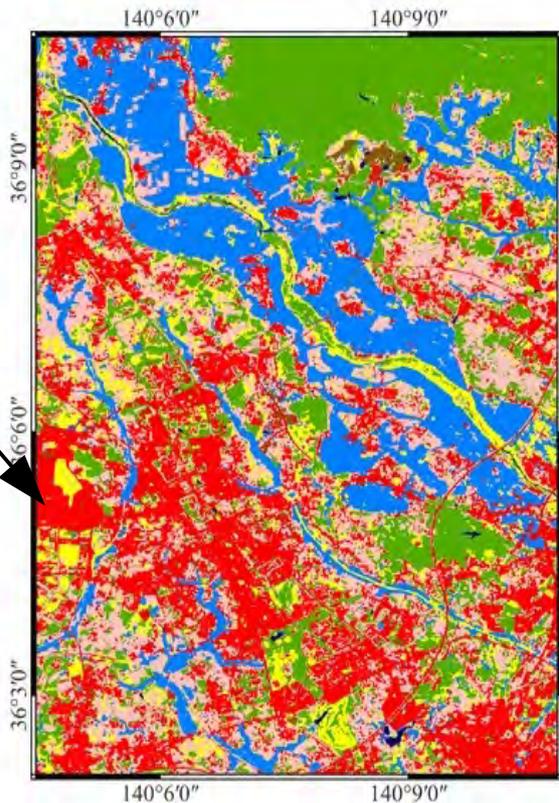


つくば

精度 94.5 %  
JAXA

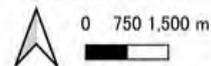
精度 71.8 %  
国土交通省 国土数値情報  
土地利用細分メッシュ

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。

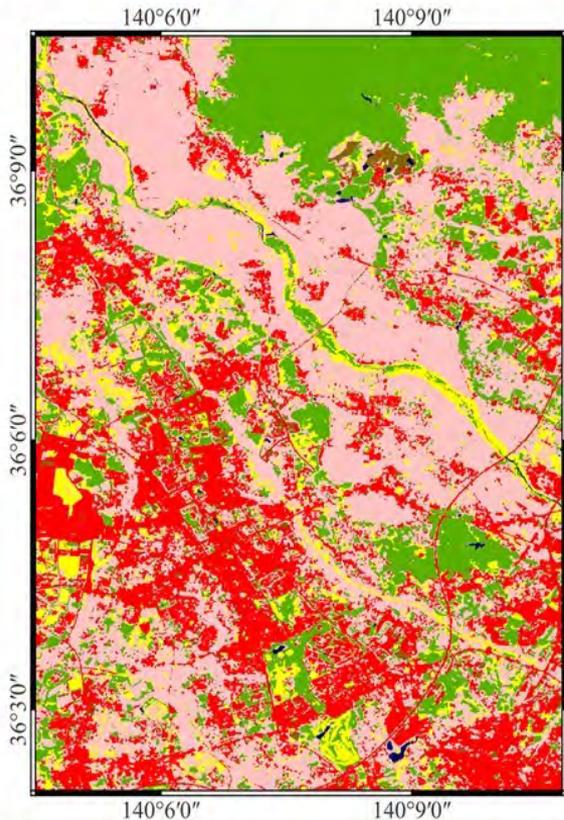
河川敷いっぱいまで「川」  
という定義。  
(必ずしも間違いではない)



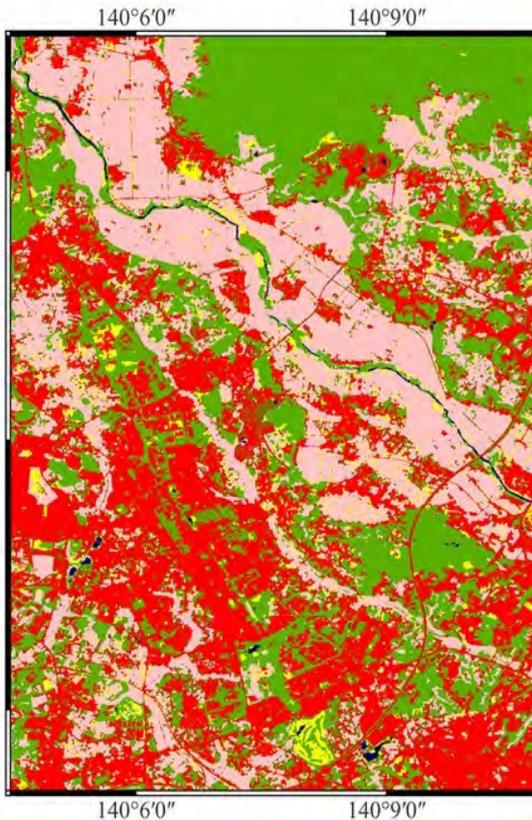
つくば

# JAXAは黒船に太刀打ちできているか?

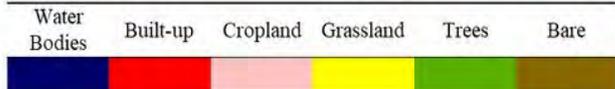
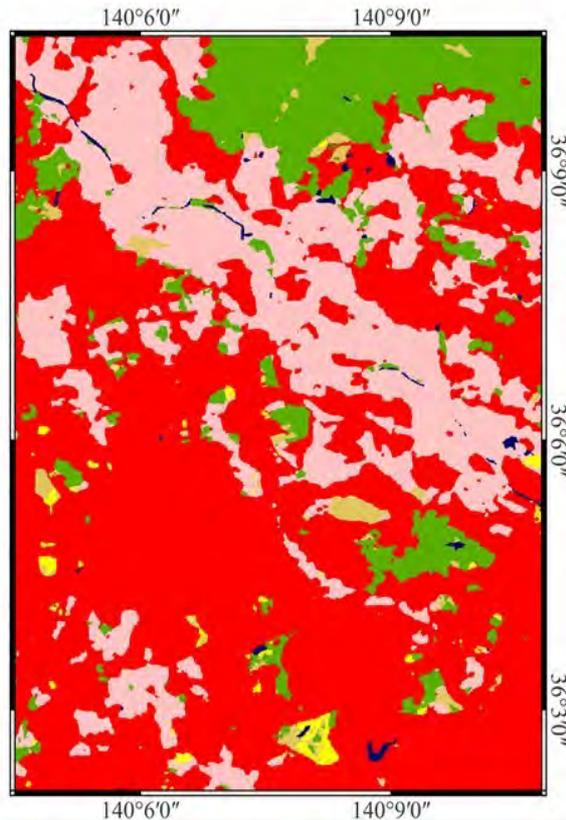
精度 95.6 %  
JAXA HRLULC-Japan v21.11



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?

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。