19th Feb. 2020
AP東京八重洲

全国規模の植生図化における先進光学衛星の適用

東京情報大学 総合情報学部
原 慶太郎, Ram Sharma, 平山英毅

平成20（2008）年

宇宙基本法

生物多様性基本法

生物の多様性の保全及び持続可能な利用に関する施策を総合的かつ計画的に推進

・・・その恵沢を将来にわたって享受できる自然と共生する社会の実現を図り，あわせて地球環境の保全に寄与

JBO(2010) & JBO2(2016)

環境省植生図

- わが国の陸域の自然環境の現況を示す唯一の地図

- 1/25,000縮尺で全国を整備（中）
- 植物社会学による分類体系
- 空中写真（衛星データ）と現地調査によって作図

- 世界的に見ても全国を大縮尺で整備している稀有な例

自然環境調査Web-GIS

自然環境保全基礎調査に基づく植生図

1970年代

「それまでの自然公園と鳥獣保護を主体とした一部の地域から国土保全を対象とする総合企画行政としてその分野を拡大したことを受け，行政を科学的に推進する基礎資料」を整備し，「植生等の現況を把握するとともに，それらの解析・評価により，自然度等の判定」を目的とする（環境庁 1975）

2000年代

「生物多様性基本法」の施行（2008）

「生物多様性国家戦略2012-2020」（2012）

⇒ 生物多様性を保全するための基礎資料（環境省 2014）

植生図更新手法の検討（2019-）

高時空間分解能衛星を用いた植生分類

	Sentinel-2 (2A, 2B)
打ち上げ	2015年06月23日（2A） 2017年03月07日（2B）
運用機関	European Space Agency
回帰日数	10日/機　（**5日/2機**）
搭載機器	Multispectral Imager（MSI）
空間分解能	**10 - 60 m**

(c) ESA

MSIバンド	中央波長（μm）	分解能（m）
Band 1 – Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 – Blue	0.490	10
Band 3 – Green	0.560	10
Band 4 – Red	0.665	10
Band 5 – Red Edge	0.705	20
Band 6 – Red Edge	0.740	20
Band 7 – Red Edge	0.783	20
Band 8 – NIR	0.842	10
Band 8A – Narrow NIR	0.865	20
Band 9 – Water vapour	0.945	60
Band 10 – SWIR – Cirrus	1.375	60
Band 11 – SWIR	1.610	20
Band 12 – SWIR	2.190	20

植生区分の検討

衛星リモートセンシングによる区分クラスの検討

(1) レベル1: 土地被覆（LU/LC）

7クラス: 裸地，農耕地，　森林，　草地，低木林，都市域，水域

(2) レベル2: 相観植生（Physiognomy）

12クラス：裸地，常緑針葉樹林，常緑広葉樹林，落葉針葉樹林，落葉広葉樹林，草地，水田，放牧地，低木林，畑地，都市域，水域

(3) レベル3: 優占種(属)-群落（Community）

全国規模の植生図化に向けた新たな区分クラス

例： Fagus DBF, Quercus DBF, Quercus Shrub, Alnus DBF, Wetland Herb, etc.

（ブナ属DBF, コナラ属DBF, コナラ属Shrub, ・・・）

ALOS-3

目的

先進光学衛星（ALOS-3）が持つ
全国規模の植生図化への利用可能性を検討する

方法

本発表は②以降を報告

調査地：八甲田山（八甲田山と周辺域）	調査地：蔵王山（蔵王山と周辺域）
World View2 2015-07-07, 2016-06-10, 2019-09-20	World View2, 3 2017-10-08(WV2), 2017-10-26(WV3)

①前処理

・オルソ補正（30 m SRTM DEM）
・DN値 -> 大気上端反射率（TOA reflectance）に変換
・雲マスク処理，調査範囲の抽出

②ALOS-3シミュレーションデータの作成

・使用バンドの決定
・ダウンスケール（最近傍法）による低空間分解能化

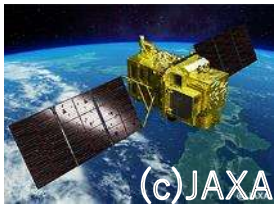
③植生分類処理

・衛星画像を用いた特徴量の算出
・グランドトゥルースデータの整備
・機械学習手法（XGBoost）

レベル3植生図　優占種(属)-群落

衛星諸元

(c)DigitalGlobe



	WorldView-2/WV110 WorldView-3	先進光学衛星（ALOS-3）
打ち上げ	2009-10-08(WV2) 2014-08-13(WV3)	2020年（予定）
運用機関	DigitalGlobe	JAXA
軌道	太陽同期準回帰軌道	太陽同期準回帰軌道
高度	770 km(WV2) 617 km(WV3)	669 km
回帰日数	1.1 日 ～ 3.7 日(WV2) 1日以下(WV3) ＊オンデマンド	35日（サブサイクル3日） *隣接パスの通過サイクル
搭載機器	WorldView-110 camera（WV110）	高性能光学センサー
観測幅 (直下)	16.4 km (WV2) 13.1 km (WV3)	70 km
空間分解能 (直下)	パンクロ：0.46 m(WV2), 0.3 m(3) マルチ　：1.85 m(WV2), 1.24 m(3)	パンクロ：0.8 m マルチ　：3.2 m

http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos3/index_j.html
http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG_WorldView2_DS_PROD.pdf

シミュレーションデータの作成

WV-2,3とALOS-3間で共通する**7バンド**を使用

バンド名称	衛星/センサの帯域 (μm)	
	WorldView-2/WV110 WorldView-3	ALOS-3
コースタル	0.40 ~ 0.45	0.40 ~ 0.45
青	0.45 ~ 0.51	0.45 ~ 0.50
緑	0.51 ~ 0.58	0.52 ~ 0.60
黄（未使用）	0.58 ~ 0.62	―
赤	0.63 ~ 0.69	0.61 ~ 0.69
レッドエッジ	0.70 ~ 0.74	0.69 ~ 0.74
近赤外1	0.77 ~ 0.89	0.76 ~ 0.89
近赤外2（未使用）	0.86 ~ 1.04	―
パンクロマティック	0.45 ~ 0.80	0.52 ~ 0.76

＊WV2,3とALOS-3のパンクロの帯域は異なるが高解像度化のため使用した
＊低分解能化にはダウンサンプリング（最近傍法）を用いた

http://www.jaxa.jp/projects/pr/brochure/pdf/04/sat40.pdf
https://www.spaceimagingme.com/downloads/sensors/datasheets/WorldView2-DS-WV2-Web.pdf

データ：ALOS-3(S)による特徴量

調査地	観測	バンド	指数	特徴量合計
蔵王山	**2時期** 2017-10-08 2017-10-26	**7バンド** （コースタル，青，緑，赤，レッドエッジ，近赤外，パンクロマティック）	**9指数** （NDVI，NDWI，GRVI，SAVI，ARVI，MCARI，NHFD，SIPI，EVI）	**32**
八甲田山	**3時期** 2015-07-07 2016-06-10 2019-09-20			**48**

植生分類に向けた9指数

指数	参考
正規化植生指数 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	Rouse et al., 1974 植生の活性度
正規化水指数 Normalized Difference Water Index (NDWI)	McFeeters, 1996 地表面における水の存在
緑赤植生指数 Green Red Vegetaton Index (GRVI)	Falkowski et al., 2005 緑葉の展開時期の特定
土壌調整植生指数 Soil-Adjusted Vegetation Index（SAVI）	Huete., 1988 土壌の明るさの影響を軽減
大気抵抗植生指数 Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI)	Kaufman and Tanre, 1992 SAVIの大気影響の感度を低下
改良クロロフィル吸収率指数 Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index (MCARI)	Daughtry et al., 2000 クロロフィル吸収率の推定
不均質特徴差指数 Non-Homogeneous Feature Difference（NHFD）	Wolf, 2012 不均質領域（人工物）の抽出
構造的低感度色素指数 Structure-Insensitive Pigment Index（SIPI）	Penuelas et al., 1995 個葉レベルにおける カロテノイド/クロロフィルa比の計測
拡張植生指数 Enhanced Vegetation Index (EVI)	Huete et al., 2002 高密度の植生に対する感度が高い

グランドトゥルースデータの整備

蔵王山
25クラス

凡例
- Fagus DBF
- Quercus DBF
- Betula DBF
- Alnus DBF
- Acer DBF
- Pterocarya DBF
- Larix DCF
- Crypto-Chama ECF
- Abies ECF
- Pinus ECF
- Tsuga ECF
- Pinus Shrub
- Alpine Shrub
- Hydrangea Shrub
- Quercus Shrub
- Other Shrub
- Salix Shrub
- Sasa Shrub
- Miscanthus Herb
- Alpine Herb
- Wetland Herb
- Other Herb
- Water
- Urban builtup
- Barren

八甲田
17クラス

凡例
- Fagus DBF
- Quercus DBF
- Betula DBF
- Alnus DBF
- Other DBF
- Larix DCF
- Crypto-Chama ECF
- Abies ECF
- Quercus Shrub
- Pinus Shrub
- Sasa Shrub
- Other Shrub
- Miscanthus Herb
- Wetland Herb
- Other Herb
- Cultivated
- Non Vegetation

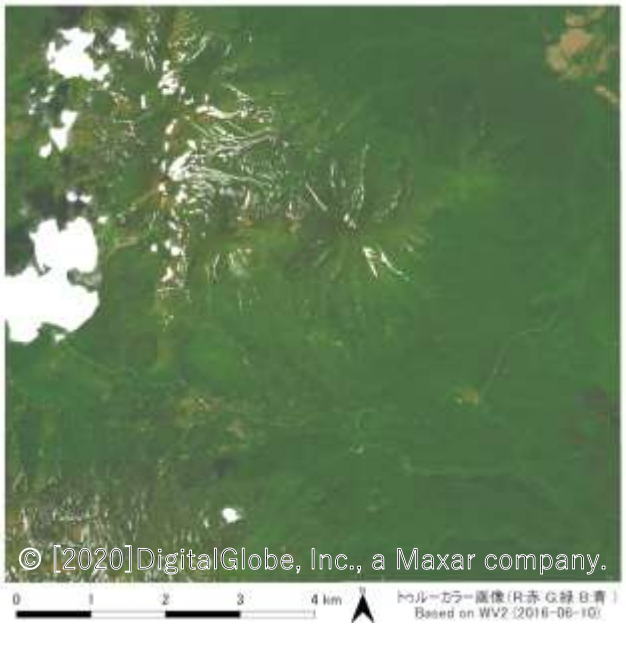
正確な植生分布データ（ポリゴン）を作成
->クラスごとに1,200ポイントを整備
（教師：75 %，検証：25 %）

作業協力：アジア航測

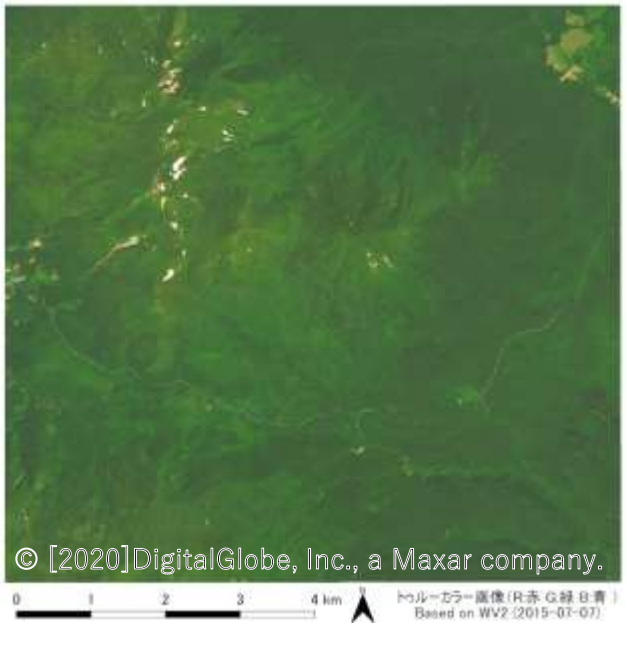
Mt Hakkoda, Odake (From Kenashi-tai, west to east)　2018/08/23

結果：シミュレーションデータ
八甲田山

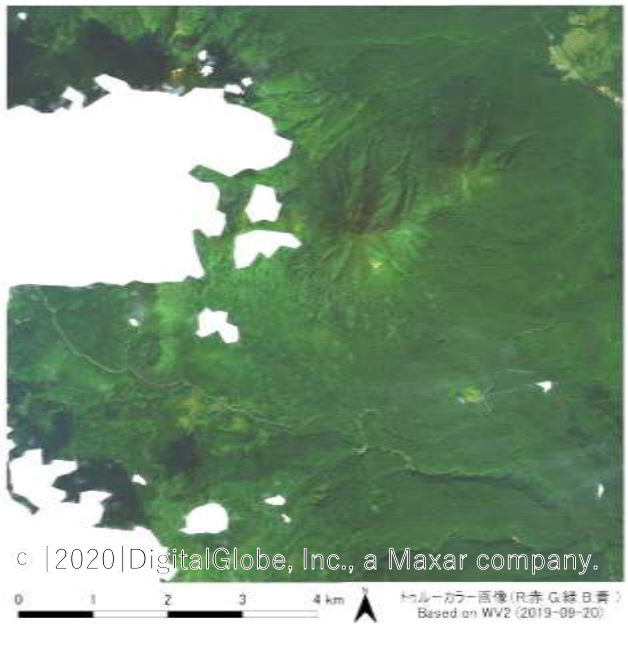
時期：6月～9月
植生の季節変化：展葉，開花，活性化



2016-06-10



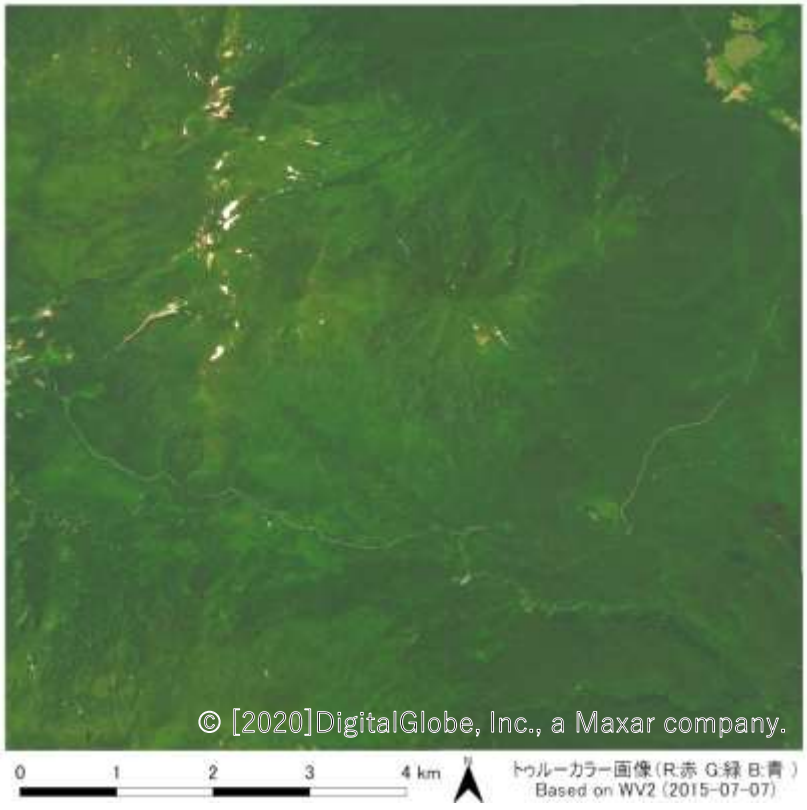
2015-07-07



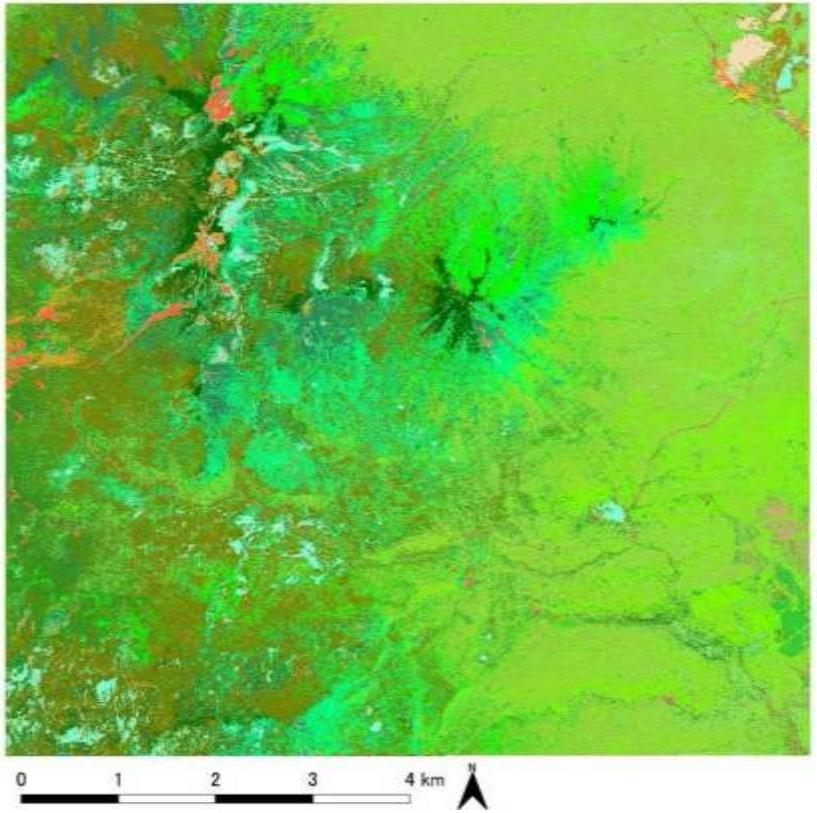
2019-09-20

注：白色領域は雲マスクによる欠損領域

結果： ALOS-3(S)植生図
八甲田山

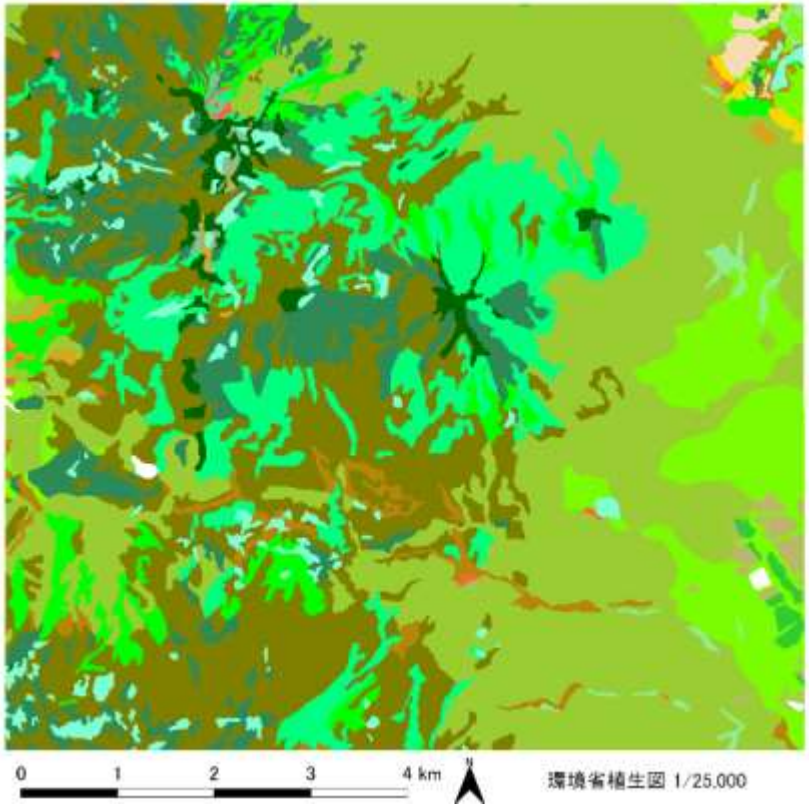


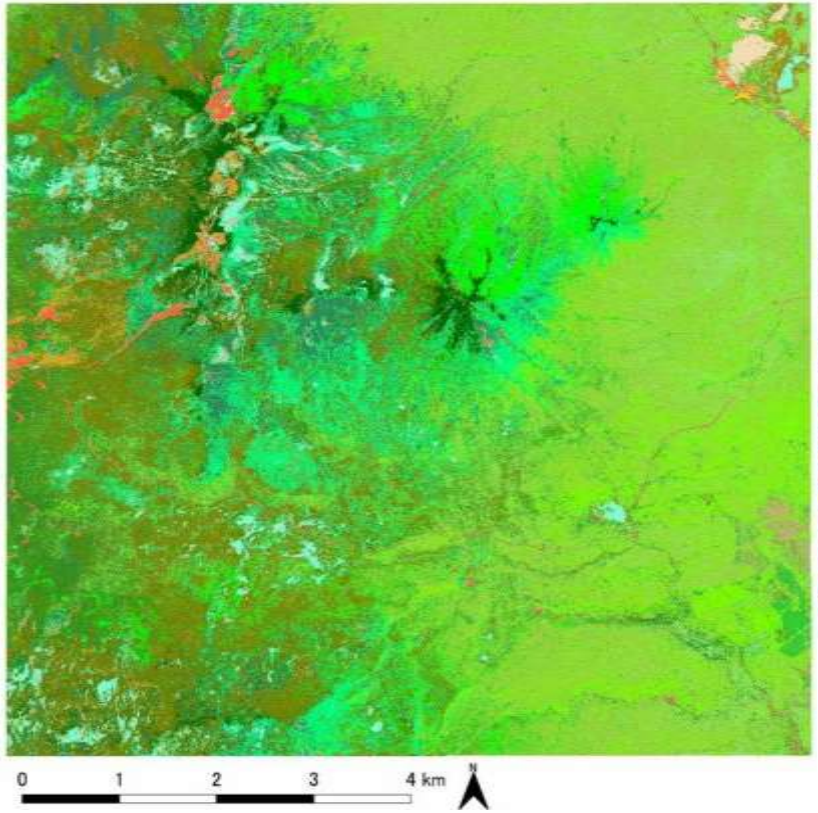
2017-10-26
（トゥルーカラー）



ALOS-3(S)

結果： ALOS-3(S)植生図
八甲田山

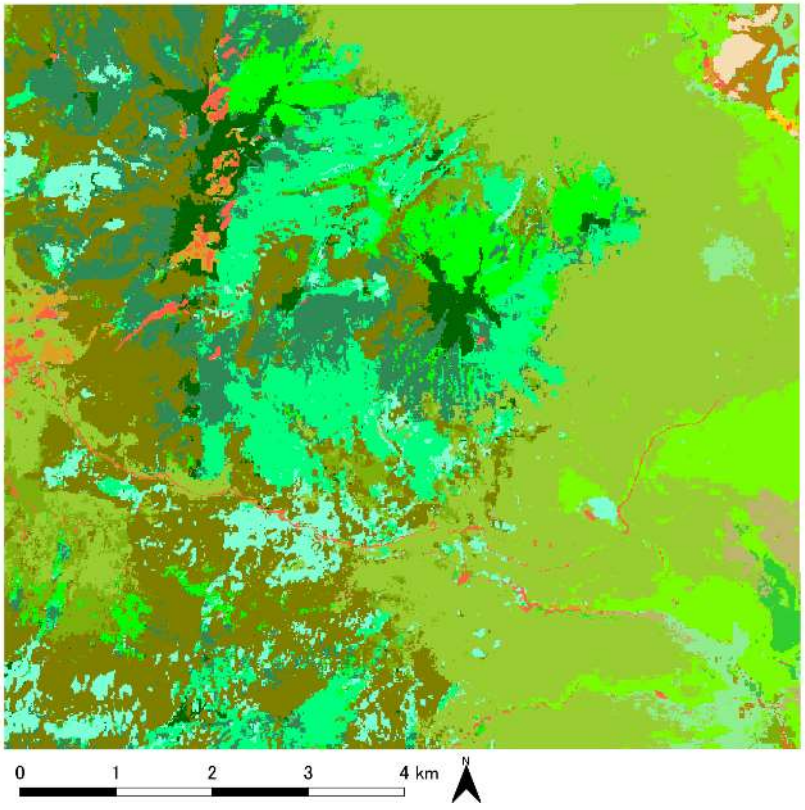




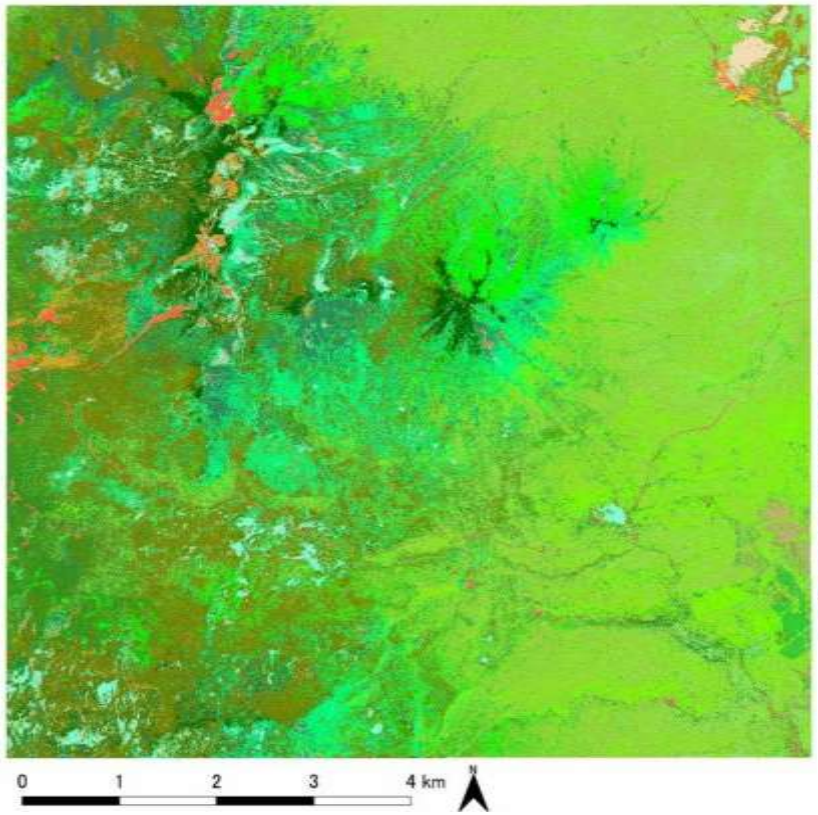
環境省植生図 (2003)

ALOS-3(S)

結果： ALOS-3(S)植生図
八甲田山



Sentinel-2植生図

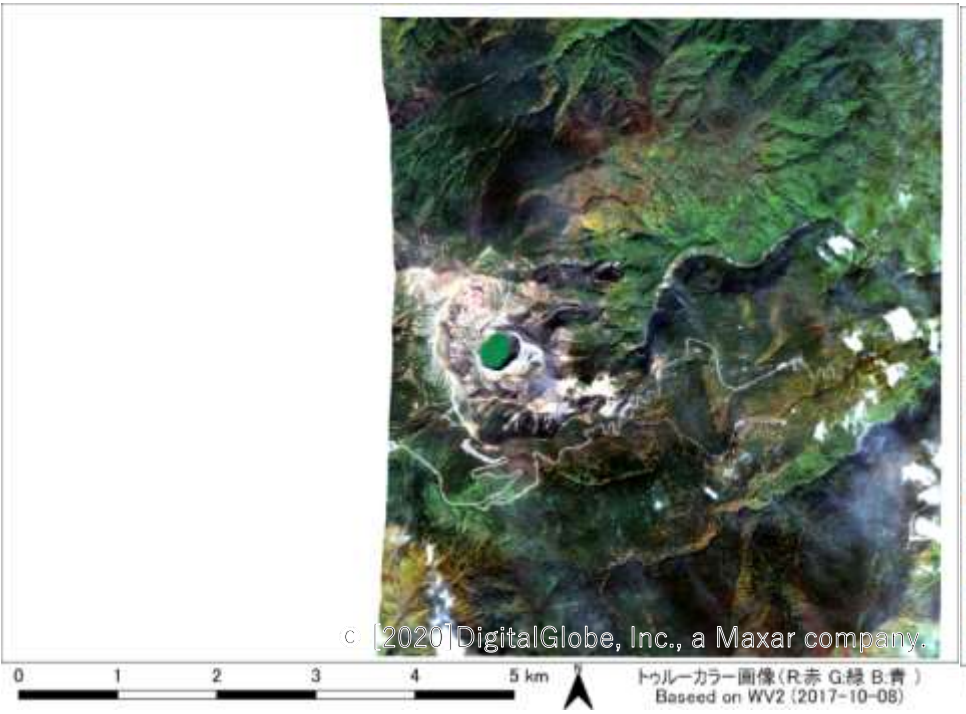


ALOS-3(S)

Mt Zao, Okama (From Katta-dake, south to north) 2017/07/20

結果：シミュレーションデータ
蔵王山

時期：10月上旬～下旬
植生の季節変化：紅葉，落葉



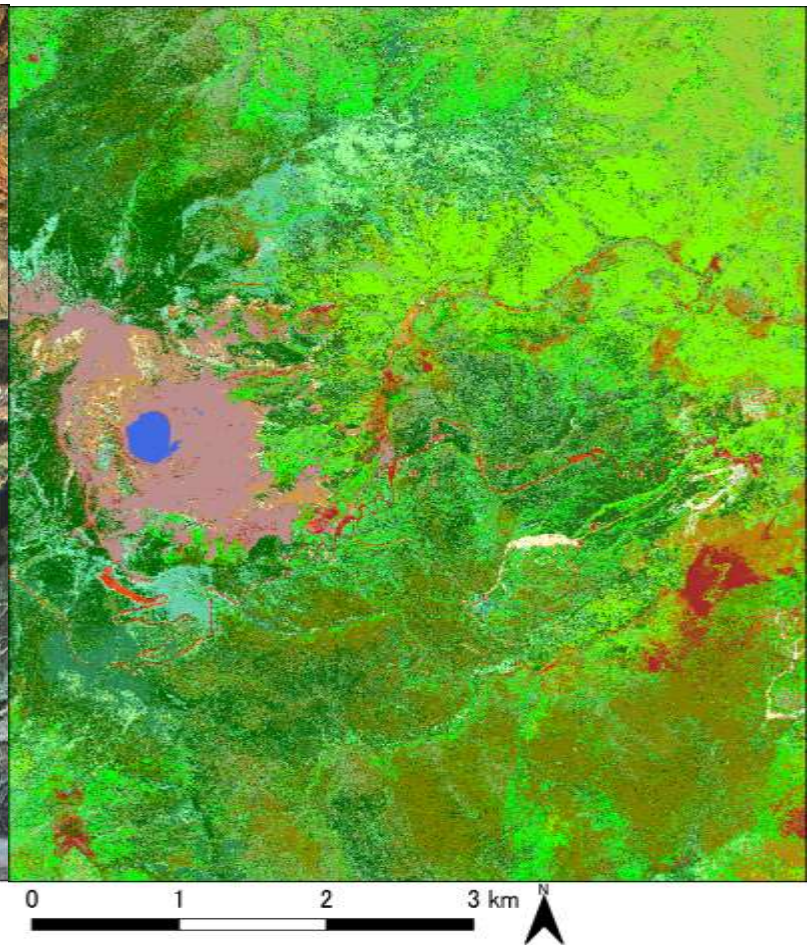
2017-10-08

2017-10-26

注：元データ（WV2 2017-10-08）の撮影範囲により西側は未観測

結果： ALOS-3(S)植生図
蔵王山

2017-10-26
（トゥルーカラー）

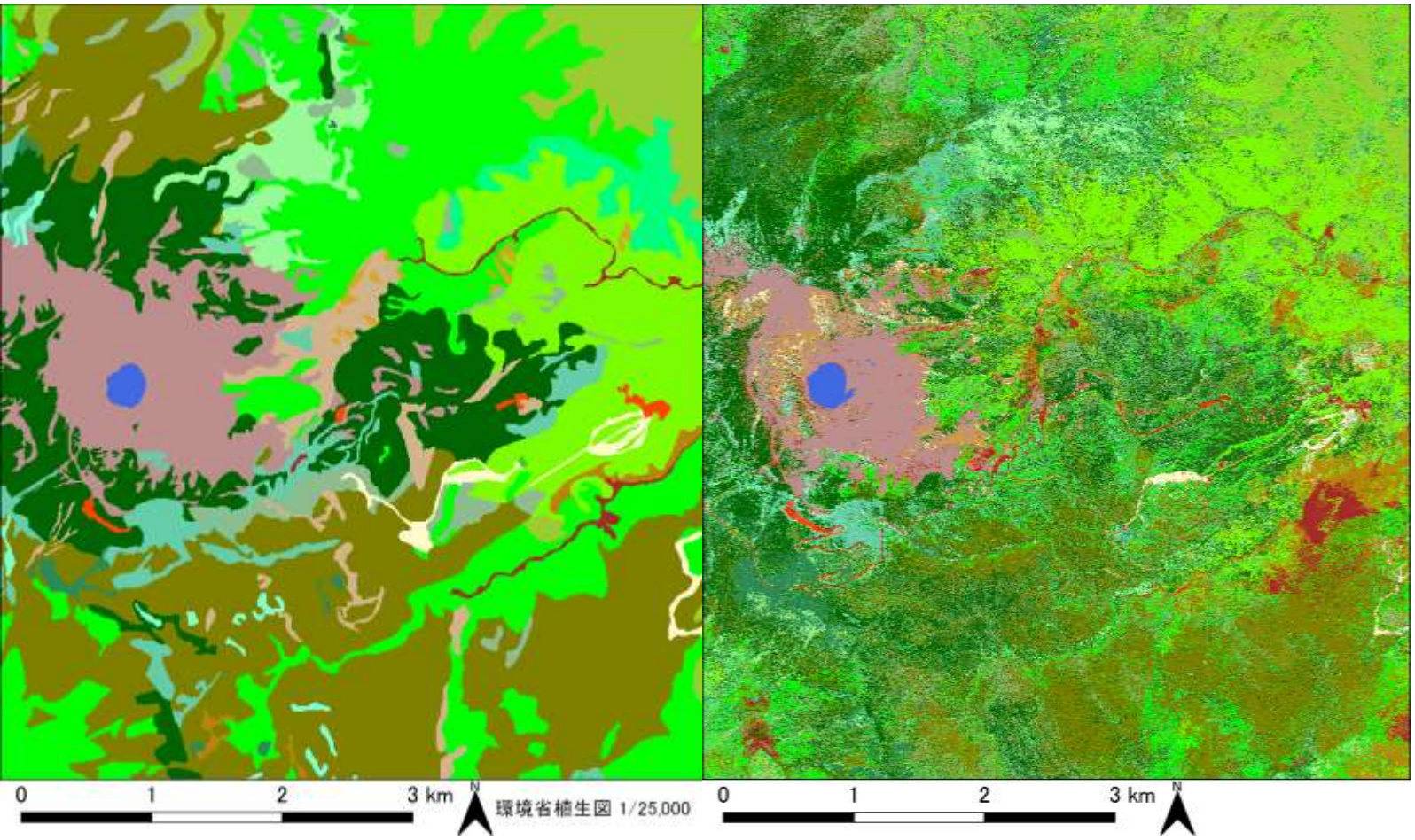


ALOS-3(S)

凡例
- Fagus DBF
- Quercus DBF
- Betula DBF
- Alnus DBF
- Acer DBF
- Pterocarya DBF
- Larix DCF
- Crypto-Chama ECF
- Abies ECF
- Pinus ECF
- Tsuga ECF
- Pinus Shrub
- Alpine Shrub
- Hydrangea Shrub
- Quercus Shrub
- Other Shrub
- Salix Shrub
- Sasa Shrub
- Miscanthus Herb
- Alpine Herb
- Wetland Herb
- Other Herb
- Water
- Urban builtup
- Barren

注：衛星データのオーバーラップ範囲の拡大図

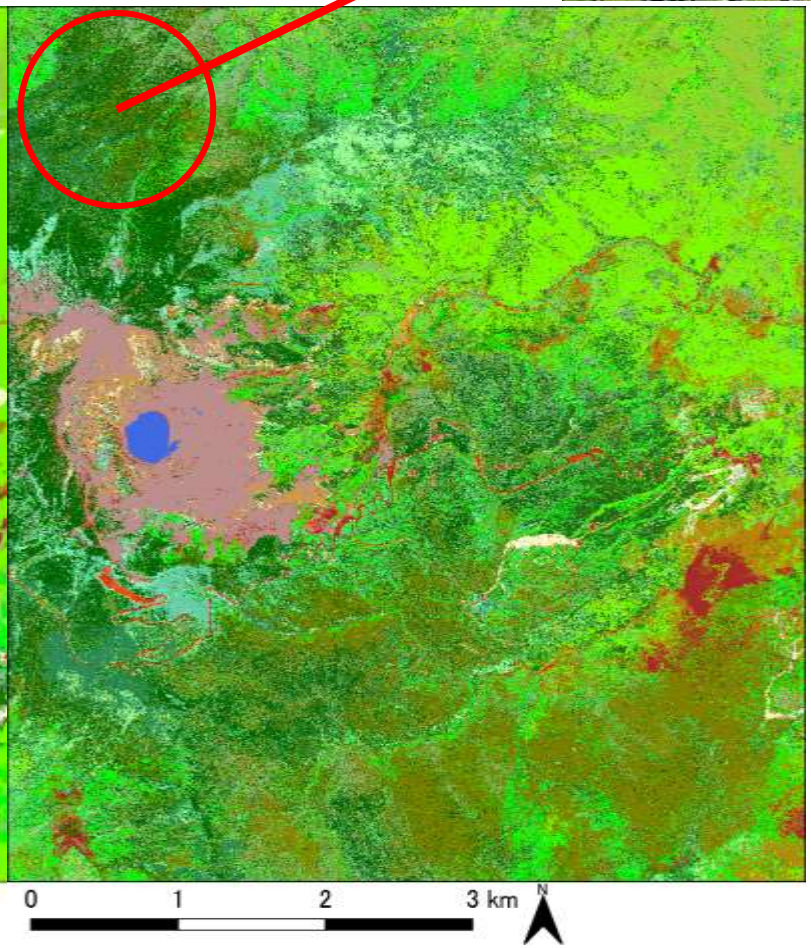
結果： ALOS-3(S)植生図
蔵王山



環境省植生図 (2015)　　ALOS-3(S)

注：衛星データのオーバーラップ範囲の拡大図

結果： ALOS-3(S)植生図
蔵王山



凡例
- Fagus DBF
- Quercus DBF
- Betula DBF
- Alnus DBF
- Acer DBF
- Pterocarya DBF
- Larix DCF
- Crypto-Chama ECF
- Abies ECF
- Pinus ECF
- Tsuga ECF
- Pinus Shrub
- Alpine Shrub
- Hydrangea Shrub
- Quercus Shrub
- Other Shrub
- Salix Shrub
- Sasa Shrub
- Miscanthus Herb
- Alpine Herb
- Wetland Herb
- Other Herb
- Water
- Urban builtup
- Barren

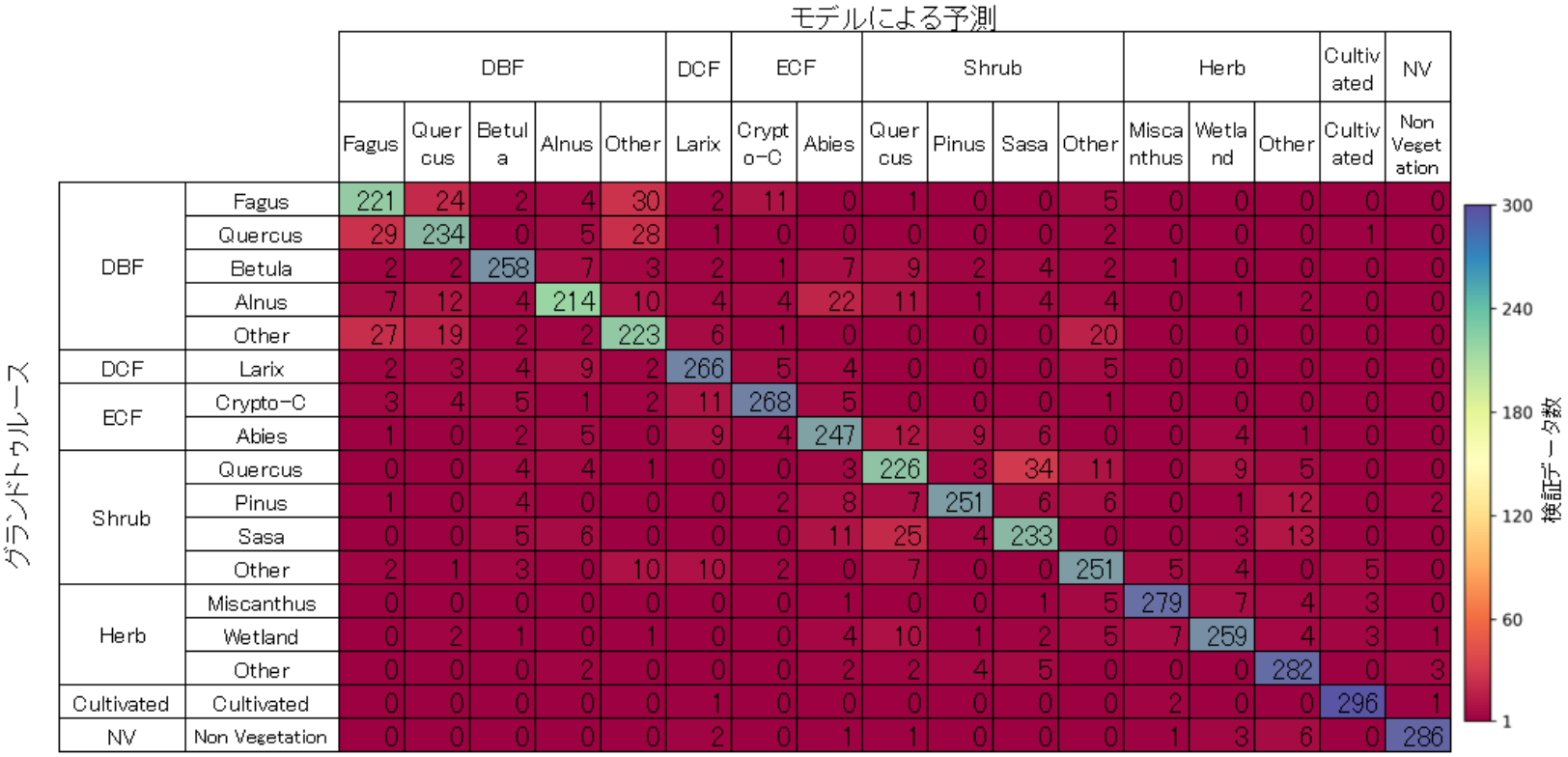
Sentinel-2植生図

ALOS-3(S)

注：衛星データのオーバーラップ範囲の拡大図

モデル性能の検証：八甲田山

全体精度 = 0.842；カッパ係数 = 0.832

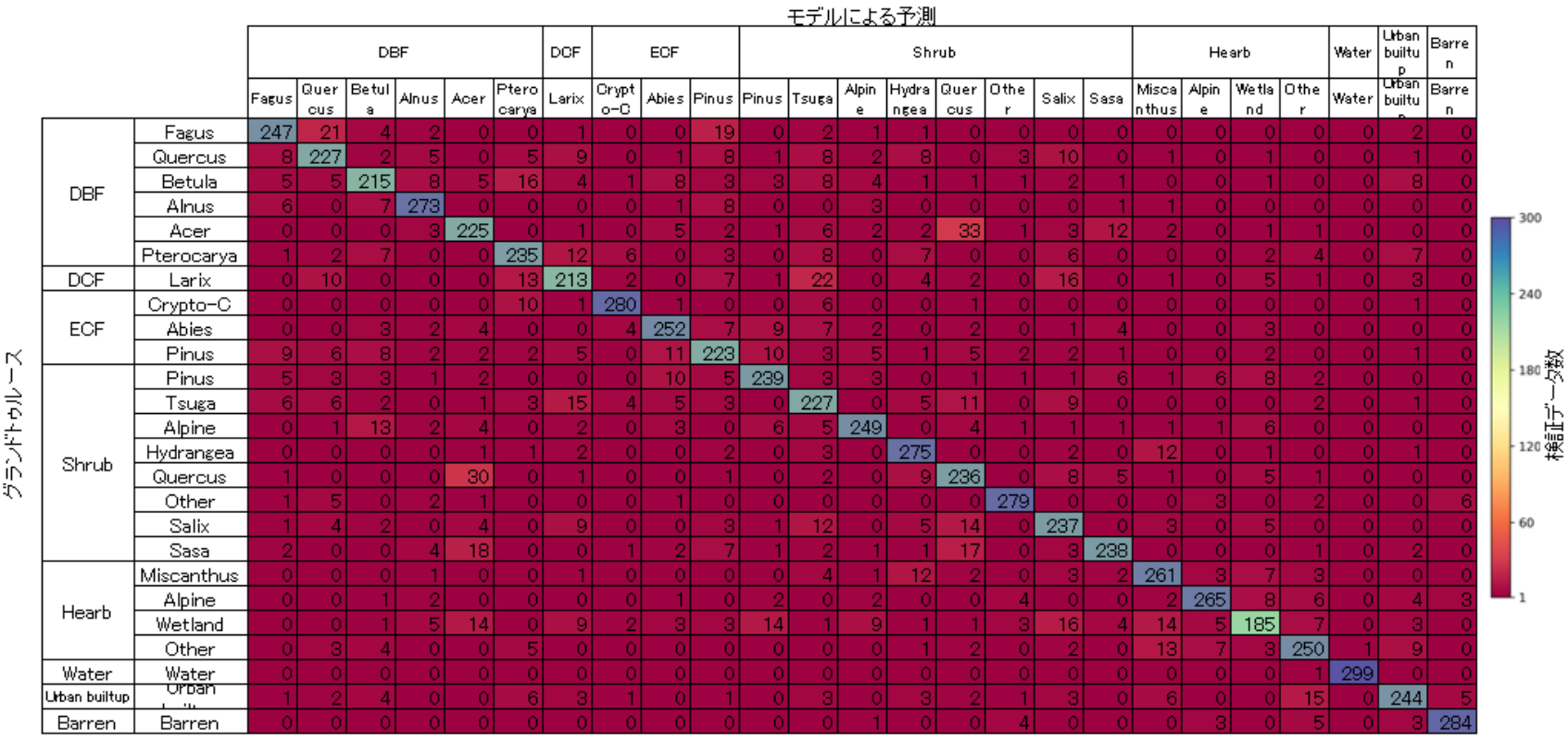


		DBF					DCF	ECF		Shrub				Herb			Cultivated	NV
		Fagus	Quercus	Betula	Alnus	Other	Larix	Crypto-C	Abies	Quercus	Pinus	Sasa	Other	Miscanthus	Wetland	Other	Cultivated	Non Vegetation
DBF	Fagus	221	24	2	4	30	2	11	0	1	0	0	5	0	0	0	0	0
	Quercus	29	234	0	5	28	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0
	Betula	2	2	258	7	3	2	1	7	9	2	4	2	1	0	0	0	0
	Alnus	7	12	4	214	10	4	4	22	11	1	4	4	0	1	2	0	0
	Other	27	19	2	2	223	6	1	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
DCF	Larix	2	3	4	9	2	266	5	4	0	0	0	5	0	0	0	0	0
ECF	Crypto-C	3	4	5	1	2	11	268	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Abies	1	0	2	5	0	9	4	247	12	9	6	0	0	4	1	0	0
Shrub	Quercus	0	0	4	4	1	0	0	3	226	3	34	11	0	9	5	0	0
	Pinus	1	0	4	0	0	0	2	8	7	251	6	6	0	1	12	0	2
	Sasa	0	0	5	6	0	0	0	11	25	4	233	0	0	3	13	0	0
	Other	2	1	3	0	10	10	2	0	7	0	0	251	5	4	0	5	0
Herb	Miscanthus	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	5	279	7	4	3	0
	Wetland	0	2	1	0	1	0	0	4	10	1	2	5	7	259	4	3	1
	Other	0	0	0	2	0	0	0	2	2	4	5	0	0	0	282	0	3
Cultivated	Cultivated	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	296	1
NV	Non Vegetation	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	1	3	6	0	286

再現率	適合率	F値
0.737	0.749	0.743
0.780	0.777	0.779
0.860	0.878	0.869
0.713	0.826	0.766
0.743	0.719	0.731
0.887	0.847	0.866
0.893	0.899	0.896
0.823	0.784	0.803
0.753	0.727	0.740
0.837	0.913	0.873
0.777	0.790	0.783
0.837	0.792	0.814
0.930	0.946	0.938
0.863	0.890	0.876
0.940	0.857	0.897
0.987	0.961	0.974
0.953	0.976	0.965

モデル性能の検証：蔵王山

全体精度 = 0.821；カッパ係数 = 0.814



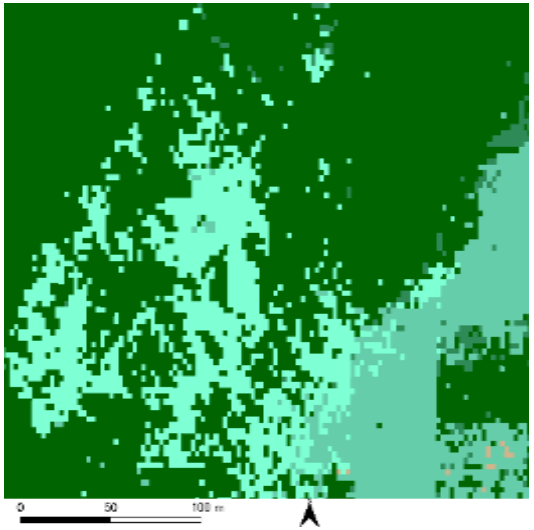
グランドトゥルース		DBF						DCF	ECF			Shrub								Hearb				Water	Urban builtup	Barren
		Fagus	Quercus	Betula	Alnus	Acer	Pterocarya	Larix	Crypto-C	Abies	Pinus	Pinus	Tsuga	Alpine	Hydrangea	Quercus	Other	Salix	Sasa	Miscanthus	Alpine	Wetland	Other	Water	Urban builtup	Barren
DBF	Fagus	247	21	4	2	0	0	1	0	0	19	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	Quercus	8	227	2	5	0	5	9	0	1	8	1	8	2	8	0	3	10	0	1	0	1	0	0	1	0
	Betula	5	5	215	8	5	16	4	1	8	3	3	8	4	1	1	1	2	1	0	0	1	0	0	8	0
	Alnus	6	0	7	273	0	0	0	0	1	8	0	0	3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	Acer	0	0	0	3	225	0	1	0	5	2	1	6	2	2	33	1	3	12	2	0	1	1	0	0	0
	Pterocarya	1	2	7	0	0	235	12	6	0	3	0	8	0	7	0	0	6	0	0	0	2	4	0	7	0
DCF	Larix	0	10	0	0	0	13	213	2	0	7	1	22	0	4	2	0	16	0	1	0	5	1	0	3	0
ECF	Crypto-C	0	0	0	0	0	10	1	280	1	0	0	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Abies	0	0	3	2	4	0	0	4	252	7	9	7	2	0	2	0	1	4	0	0	3	0	0	0	0
	Pinus	9	6	8	2	2	2	5	0	11	223	10	3	5	1	5	2	2	1	0	0	2	0	0	1	0
Shrub	Pinus	5	3	3	1	2	0	0	0	10	5	239	3	3	0	1	1	1	6	1	6	8	2	0	0	0
	Tsuga	6	6	2	0	1	3	15	4	5	3	0	227	0	5	11	0	9	0	0	0	0	2	0	1	0
	Alpine	0	1	13	2	4	0	2	0	3	0	6	5	249	0	4	1	1	1	1	1	6	0	0	0	0
	Hydrangea	0	0	0	0	1	1	2	0	0	2	0	3	0	275	0	0	2	0	12	0	1	0	0	1	0
	Quercus	1	0	0	0	30	0	1	0	0	1	0	2	0	9	236	0	8	5	1	0	5	1	0	0	0
	Other	1	5	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	279	0	0	0	3	0	2	0	0	6
	Salix	1	4	2	0	4	0	9	0	0	3	1	12	0	5	14	0	237	0	3	0	5	0	0	0	0
	Sasa	2	0	0	4	18	0	0	1	2	7	1	2	1	1	17	0	3	238	0	0	0	1	0	2	0
Hearb	Miscanthus	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	4	1	12	2	0	3	2	261	3	7	3	0	0	0
	Alpine	0	0	1	2	0	0	0	0	1	0	2	0	2	0	0	4	0	0	2	265	8	6	0	4	3
	Wetland	0	0	1	5	14	0	9	2	3	3	14	1	9	1	1	3	16	4	14	5	185	7	0	3	0
	Other	0	3	4	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	2	0	13	7	3	250	1	9	0
Water	Water	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	299	0	0
Urban builtup	Urban builtup	1	2	4	0	0	6	3	1	0	1	0	3	0	3	2	1	3	0	6	0	0	15	0	244	5
Barren	Barren	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	0	0	0	3	0	5	0	3	284

再現率	適合率	F値
0.823	0.843	0.833
0.757	0.769	0.763
0.717	0.779	0.747
0.910	0.875	0.892
0.750	0.723	0.736
0.783	0.794	0.789
0.710	0.740	0.724
0.933	0.930	0.932
0.840	0.829	0.834
0.743	0.731	0.737
0.797	0.830	0.813
0.757	0.684	0.718
0.830	0.874	0.851
0.917	0.818	0.865
0.787	0.707	0.744
0.930	0.930	0.930
0.790	0.729	0.758
0.793	0.865	0.828
0.870	0.818	0.843
0.883	0.904	0.894
0.617	0.761	0.681
0.833	0.831	0.832
0.997	0.997	0.997
0.813	0.841	0.827
0.947	0.953	0.950

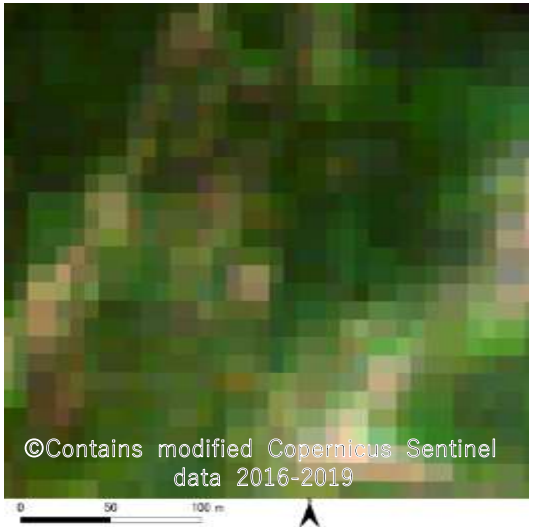
再現率≒網羅性（正解クラスをどのくらい正解として判断できたかの割合＝感度）
適合率≒正確性（モデルの判断が実際に正解である割合＝精度）
F値　≒網羅性と正確性の総合的評価（適合率と再現率とはトレードオフの関係）

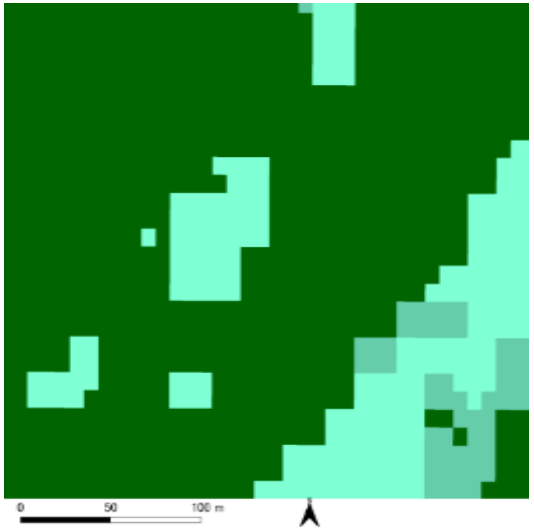
Sentinel-2植生図との比較

ALOS-3(S)：分解能 3.2 m



Sentinel-2/MSI：分解能 10 m





蔵王山

Pinus Shrub
Alpine Shrub
Wetland Herb

考察：植生図化におけるALOS-3(S)適用

高精度なレベル3植生図

- 植生専門家による正確なグランドトゥルースデータ整備
- 多数の特徴量（32～48個）をXGBoostにより適切に処理（カッパ係数 80％以上）
- 時系列データ（フェノロジー（植物季節情報））を加えることによる精度向上への期待

より詳細スケールでの植生図化

- 高山植生や湿原植生などの微細な植生単位の把握
- ニホンジカの影響把握

高空間分解能に伴うデータ量増大化への対応

- GPGPU（GPUによる汎用計算）技術を用いたCUDAによる前処理や機械学習処理の自動・高速化
- 分散コンピューティングによる解析の効率化

まとめ

- 高精度なレベル３植生図の作成には高い空間分解能を有する衛星データの利用が効果的

- 広域性・均質性（観測幅70 km）を維持しつつ高空間分解能（3.2 m）を実現したALOS-3データは全国規模の植生図化に期待できる

今後の課題

全国規模の植生図化に向けたデータ整備

- 日本全国に亘るALOS-3データ（rawデータ）の取得
- 植生図化に効果的な独自プロダクトの整備

レベル3植生図の高精度化に向けた検討

- ALOS-3データ(分解能：3.2 m)と既存の地形データ（30 m）を組合せることは困難
  ->全国のALOS-3ステレオペア画像から詳細なDSM/DEMデータ（～3.2 m）を生成
- パンクロマティック（0.8 m）を用いたテクスチャ解析
- 最新の機械学習技術を組入れた解析手法

謝辞

- 本研究はJAXAとの委託研究「ALOS-3観測データを想定した植生図作成の検討」(2020.1-3) の成果である.

- 本研究の一部は，JSPS科研費JP19H04320 及び環境省生物多様性センター（業務受注者：アジア航測株式会社）との委託研究の成果である.

- 研究にあたっては以下の機関・方々にご支援いただいた(敬称略).

  環境省生物多様性センター

  アジア航測株式会社

  平吹喜彦（東北学院大学）