

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 9 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02991

研究課題名(和文) 超多重分光画像を用いた釧路湿原の生物多様性ホットスポット植物群落分類

研究課題名(英文) Plant Community Classification in the Biodiversity Hotspot of Kushiro Wetland using Super Multispectral Images

研究代表者

吉野 邦彦 (Yoshino, Kunihiro)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授

研究者番号：60182804

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、生物多様性ホットスポットである釧路湿原の高層湿原を対象にして、高層湿原のUAVカラー空中写真による複数年分の詳細植生図作成し経年変化を分析した。次に複数年次に観測した衛星画像間の画像変化検出を行い、衛星画像上の変化はUAV植生図の変化範囲と対応していることを確認した。最後にUAV植生図から得られる衛星画像データのピクセルの地上瞬時視野内の植物群落面積率から、植物群落分類のための分光反射特性(分類教師データ)の推定を試み、UAV詳細植生図は分類用参照データとして利用可能であり、ハイパースペクトル衛星リモートセンシングによる湿原全体の詳細植生図作成が可能であると結論付けた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自然環境の保全には定期的に詳細な植生図を作成し、その経年変化から自然環境の変化を監視することが重要である。希少な植生の分布の変化は自然環境の変化を反映するため、植生図の変化から具体的な保全策が立案できるからである。本研究でUAV空中写真から作成する詳細植生図が衛星リモートセンシングデータ解析のための参照データとなり得ることを示したことは、貴重な自然生態系を呈している広大な釧路湿原全体の詳細な植生図を、地上解像度が異なる低高度UAV空中写真と衛星リモートセンシングデータを用いて省労力で迅速に作成する技術の開発に直結する成果である。本成果は広範な自然生態系保全に役立つ基本技術となり得るものである。

研究成果の概要(英文)：We focused on Akanuma area, the high moor (biodiversity hotspot) area of Kushiro wetland as a study site. First, detailed vegetation maps for multiple years were created by UAV color aerial photographs, and vegetation changes over time were analyzed. Second, image changes in the multi-year satellite remote sensing images were analyzed and some changes were detected. Those changes were corresponding to the change areas of the UAV vegetation maps. Finally, the characteristics of spectral reflectance for plant community classification, training data for classification, were successfully estimated by using the area ratios of plant communities within the instantaneous fields of view of the pixels of satellite image which were projected on the UAV vegetation map. It was concluded that the detailed UAV vegetation map can be used as reference data for the plant community classification by hyperspectral satellite remote sensing images to draw detailed vegetation maps of the entire wetland.

研究分野：環境空間情報工学

キーワード：高層湿原 生物多様性ホットスポット 植物群落分類 衛星リモートセンシング ドローン空中写真

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

釧路湿原は、生物多様性に富み希少な植物が生育し、また、特異な生態系が残存しており、高い観光資源価値を有する日本最大の湿原である。がしかし、近年、その面積が縮小し湿原内の各所で環境変化の予兆が局所的に認められ始めており、その貴重な自然生態系の保全が急務とされている。国は湿原北部の直線化された釧路川沿いに位置する茅沼地区や達古武沼地区、ヌマオロ地区など湿原内数か所で釧路湿原自然再生事業を開始している。

しかしながら、上記の既に湿原自然再生事業が開始された地区は、環境変化が明らかに顕在化していたため再生事業が着工されたが、湿原内の特別保護区、例えば赤沼周辺の高層湿原でも植生変化が起きているのではという危惧が、地元レンジャーや植物生態学の研究者から報告され始めている。釧路湿原の高層湿原は北方湿原生態系の極相の自然景観を呈しており、その生態系は学術上、また、生態系サービスの観点から生物多様性ホットスポットとして貴重な価値を有しており、定期的に環境を監視して初期段階の環境の微小な変化を捉え、人為的な原因、地球気候変動による環境変化が原因であるかを問わずに、その原因を明らかにして適切な手段により保全すべき湿原である。

湿原の環境変化は、その植生の変化として顕在化する。湿原の環境変化の監視、すなわち環境モニタリングとは植生変化のモニタリングに他ならない。初期の湿原環境変化は、詳細な植生図を定期的に作成し作成年次が異なる植生図を比較し植生の変化の有無と変化の速度や規模を明らかにすることで捉えられる。釧路湿原全体で環境変化を監視するには衛星リモートセンシングデータを用いて詳細な植生図を定期的に作成することが、この湿原環境の保全には必要である。

### 2. 研究の目的

本研究は、既往の調査・研究により、環境変化、すなわち植生変化の予兆が局所的に認められる生物多様性に富む釧路湿原の生物多様性ホットスポットである高層湿原を対象にして、**目的1)**衛星リモートセンシング画像データを用いて、複数年次分の高正答率の詳細な植物群落図を作成して、**目的2)**それらを比較することにより、より広範囲の高層湿原内の植物群落変化の有無を確認し、**目的3)**変化の原因やメカニズムを考察することにより、当湿原の貴重な生物多様性の保全に寄与することを目的とする

### 3. 研究の方法

上記3つの研究の目的は、次のように小課題に分けて達成する。

3-1) 研究の**目的1)**の複数年次に観測された衛星リモートセンシング画像データを用いた詳細な植物群落図(植生図)の作成のために、衛星画像による植物群落分類のための適切な教師データ、分類目的の植物群落カテゴリーの分光反射特性情報を得ることが必要である。しかし、衛星画像データの地上解像度は高々1m四方程度であり、研究対象地である高層湿原では、この大きさの地上の範囲内には複数の植物群落が存在し、それぞれの分光情報が各カテゴリーの存在率の重みで混合したミクセル(Mixed pixel)となっており、分類用教師データとして用いることはできない。

本研究では、UAV(小型無人航空機/UAV)空中写真から詳細な植生図を作成し、その植生図上に衛星ハイパースペクトラル・リモートセンシング画像データのpixelに相当する範囲を重ね、その範囲内の植物群落の混合率とpixelの分光情報から、pixel内に存在する各植物群落カテゴリーの分光特性、すなわち教師データを推定することとした(**小課題1**)。

3-2) 研究の**目的2)**の複数年次に観測された衛星ハイパースペクトラル・リモートセンシング画像データを用いて作成した詳細な植生図を比較することによって、対象地域の植生変化の有無を確認する過程を、複数年次の気球、航空機、UAVから撮影した低高度空中写真から作成した詳細な植生図の比較による植生変化の分析(**小課題2**)と植生図作成過程を経ずに、直接的に複数年次の衛星リモートセンシング画像間の変化検出アルゴリズムを用いた解析対象地の変化解析(**小課題3**)に分けて解析を進めた。複数年次の衛星画像を用いた詳細植生図の作成および植生図間の比較分析は、(**小課題1**)での分類用教師データ推定の精度評価を行った後に行うこととした。

3-3) 研究の**目的3)**の解析対象地の環境変化原因やメカニズムについては、まず、(**小課題2**)の結果と考察を踏まえて、高層湿原全体に展開し考察することとした(**小課題4**)。

### 4. 研究成果

4-1. UAV空中写真による植生分類と衛星画像データからの植物群落分光特性の推定(**小課題1**)

(a) 植物群落の分光特性の推定アルゴリズム原理

衛星リモートセンシング画像データから植物群落の分光特性を、UAV空中写真を用いた詳細植生図から逆ミクセル解析法により推定した。その推定アルゴリズムは、衛星リモートセンシング画像のミクセルであるマルチバンドの観測値は、そのミクセルを構成する植物群落のミクセル内占有率(面積率)と植物群落の分光特性の線型和で表せるという仮

定に基づき、ミクセル内の植物群落の占有率と観測値から逆に、植物群落の分光特性を求めるものである。

(b) 衛星リモートセンシング画像データからの植物群落の分光反射特性の推定

前述した衛星リモートセンシング画像からの植物群落の分光特性を推定した。まず、2016年7月18日に現地体積対象地、釧路湿原赤沼で高度約80mからUAVカラー空中写真を撮影して、撮影した写真をSfM解析アプリケーション、Metashape(Agisoft社製)で日本直角平面座標系第13系、現地平均標高平面に投影したオルソ・モザイク画像として作成した(図1の左から2枚目の画像)。このモザイク画像の一部を解析範囲(図1の右から2枚目の画像)として切り出し、2016年から2018年にかけて行った現地植生調査結果(グラウンド・トゥース)を用いて、植生分類を行い、8種の植物群落種の植生図を作成した(図1の右端の画像)。この植生分類は、eCognition ESS(Trimble社製)によるOBS(Object Based Segmentation)分類により行った。

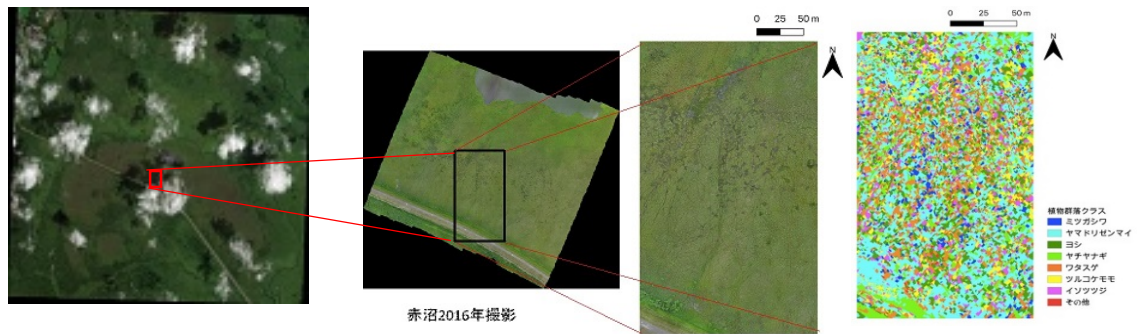
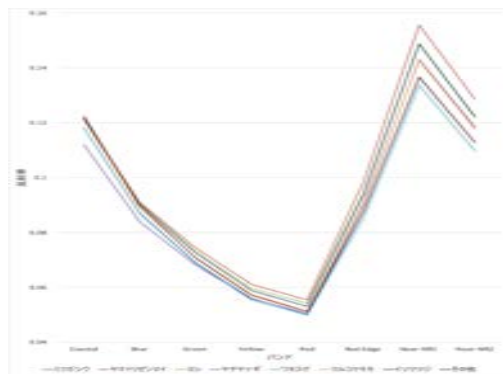


図1 解析対象地の衛星画像、UAV画像と植生図

左端図：WV3画像(2016.8.11撮影)、中左図：UAV写真モザイク画像(2016.07.18撮影)、中右図：群落分光特性推定のUAV画像範囲、右端図：7群落分類した植生図



次に、このUAV画像から作成した植生図と2016年8月11日に撮影した衛星リモートセンシング画像(World View3画像データ、可視近赤外バンド数8バンド、地上解像度1.4m、図1の左端の画像)とを重ね合わせ、前述した衛星画像の分光反射特性推定アルゴリズムを適用し、8種の植物群落の衛星データの分光反射特性を推定した(図2)。ただし、図1の衛星画像を見るように、衛星画像撮影日当日は、現地の解析対象範囲(現地植生調査範囲と植生図作成範囲)はちょうど、雲影の部分であった。

図2 赤沼近辺の範囲のWV3画像データと同じ範囲のUAV画像植生図の群落面積率から推定した対象群落の分光反射特性(グラフの曲線中ほど可視領域の下からワタスゲ、ミツガシワ、ヤチヤナギ、その他、ツルコケモモ、イソツツジ、ヨシ、ヤマドリゼンマイ)

可視領域での反射特性曲線と現地野外調査時の目視による各群落の色味、明るさの特徴はほぼ似ている。青領域、紫外線領域で見かけ上反射率が高いのは、この衛星画像撮影時に対象地は雲の影であったため、雲で遮光された赤、緑バンドよりも青、紫外線領域の天空光の光量が卓越しているためと考えられる。

#### 4-2. 複数年次の気球、航空機、UAVから撮影した低高度空中写真から作成した詳細な植生図の比較による、植生変化の分析(小課題2)

1998年、2010年に撮影した当地区の低高度カラー空中写真から作成した詳細な植生図間の植生変化と2015年に撮影したUAVカラー空中写真による詳細植生図を比較して、この期間の植生変化の傾向を分析した。改めて、研究対象地(赤沼周辺の高層湿原)で、植生変化が進行していることを確認した。その植生の変化は、自然な植生遷移へ移行する変化とは逆な植生遷移への変化が認められた。この成果は学術論文に掲載された。図3の左図は1998年~2010年の変化である。この期間の植生の面積の増減を表1にまとめた。

図3の右図は2015年の40数種の植物群落種数に分類した詳細植生図である。これら左図と右図の間の植生を比較すると、赤沼岸東側の近くで高層湿原が拡大する一方で、図の北西部で中間湿原が拡大している。図の中部東側で中間湿原が低層湿原へと変化している傾向が見られる。この地点では湿原の水環境が過湿状態になりやすく、しかも長期間継続するように環境が変化したと考えられる。

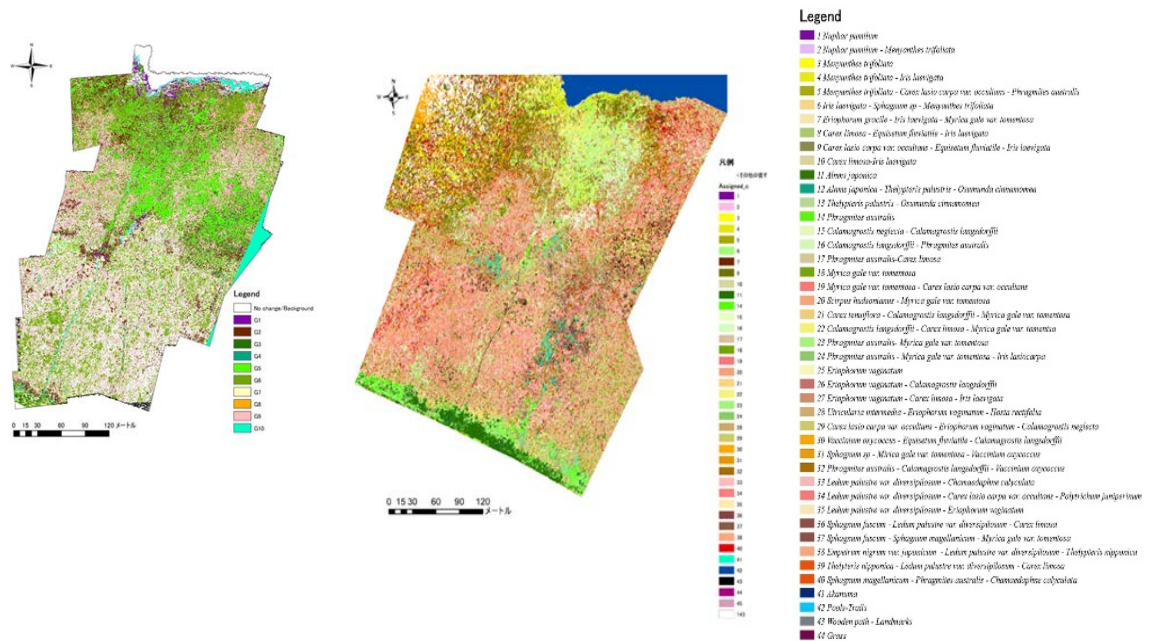


図3 複数年次観測低高度空中写真から作成した詳細植生図間の比較  
左図の凡例は業績1を参照のこと。右端の凡例は真ん中の植生図の凡例である。

表1 1998年～2010年間の植生変化傾向（面積の増減 単位ピクセル 30cm x 30cm）

	2010_G I	2010_G II	2010_G III	2010_G IV	2010_G V	2010_G VI	2010_G VII	2010_G VIII	2010_G IX	2010_G X	Column total
1998_G I	23426	23358	712	0	25850	16507	69	740	7769	11331	109762
1998_G II	5622	14443	352	0	19768	18197	489	884	10099	948	70802
1998_G III	1790	1350	1182	0	2143	2345	69	75	1246	498	10698
1998_G IV	12	21	13	0	51	37	17	0	148	0	299
1998_G V	511	6644	1142	0	9215	20493	2971	482	27558	726	69742
1998_G VI	8878	38654	1567	0	72276	67533	18514	4964	139038	5550	356974
1998_G VII	3896	21487	507	0	18314	53309	27753	1164	121764	5256	253450
1998_G VIII	13718	76767	810	0	109979	114738	4209	7335	110791	3372	441719
1998_G IX	17656	104724	1554	0	123455	194437	91955	7315	441987	28093	1011176
1998_G X	8099	2767	407	0	3044	5563	9171	70	3437	55927	88485
Row total	83608	290215	8246	0	384095	493159	155217	23029	863837	111701	2413107
Changed pixels	60182.0	275772.0	7064.0	0.0	374880.0	425626.0	127464.0	15694.0	421850.0	55774.0	1764306.0
Changed pixels(%)	3.4	15.6	0.4	0.0	21.2	24.1	7.2	0.9	23.9	3.2	100

4-3. 複数年次の衛星リモートセンシング画像間の変化検出アルゴリズムを用いた解析対象地の変化解析（小課題3）

二時期の衛星画像データ自体の比較による変化検出アルゴリズムを用いて、植生変化の検出を試みた。2000年7月14日撮影のIKONOS画像（空間解像度4m、GBR、NIRの4バンド）と2017年6月17日撮影のWorldView3画像（可視5バンド、Red Edge 1バンド、近赤外2バンド）を用いて、正準相関分析に基づいた変化検出アルゴリズムIR-MAD



図4 衛星画像による変化検出に用いた衛星画像  
左 IKONOS画像（2000年7月14日撮影）  
右 World View 3画像（2017年6月17日撮影）

（Canty, 2007）で変化箇所を強調、検出した。図4は用いた衛星画像と解析範囲である。2000年撮影のIKONOS画像には若干薄雲があり、2017年撮影のWorldView3の画像には多少、雲とその陰があった。

簡単な大気補正後、IR-MADに読み込み、変化検出を行った。図4の画像中央付近の赤沼近傍の変化

検出結果を図5の左図に濃淡画像として示す。図5の右図は低高度空中写真による詳細植生図(1998年と2010年)から、低層湿原、中間湿原、高層湿原間の変化を色分けした図を示す。左図のIR-MADにより検出された変化が顕著な個所と右図での植生変化の顕著な個所がほぼ一致していた。IR-MADによる植生変化の検出が妥当であったと判断できる。

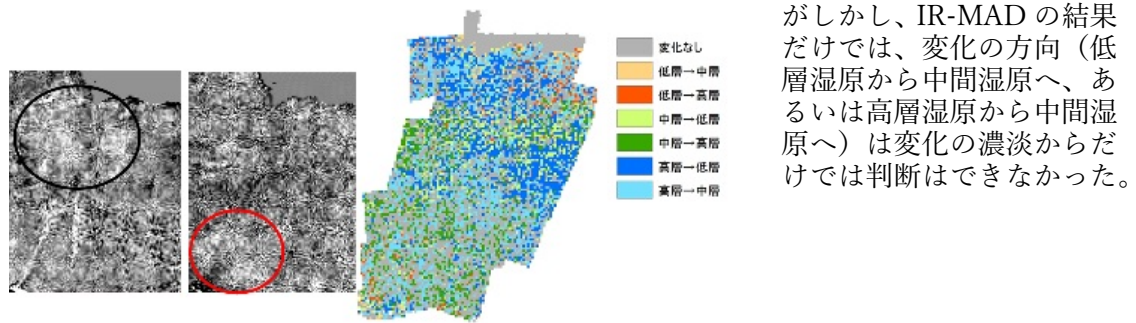
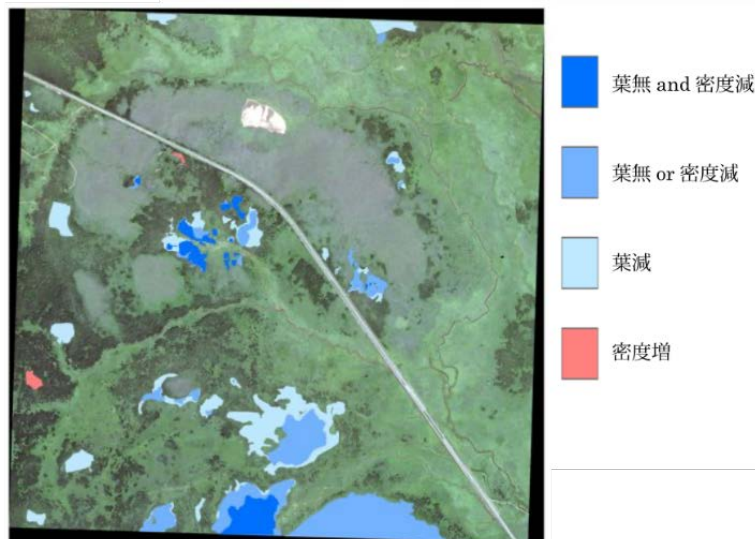


図5 2時期衛星画像による植生変化検出結果(左)と低高度空中写真による詳細植生図上の植生変化(1998~2010年)(右)

#### 4-4. 衛星リモートセンシングによる植生分類結果(小課題4)

赤沼周辺を2005年9月8日、2015年8月21日に撮影した高解像度衛星 Geoeye-1 の画像を、2018年8月と2019年8月の現地調査により判読しハンノキ分布の変化地図(2005年~2015年; 図6)を作成した。そして、変化要因を考察した。赤沼周辺のハンノキの変化地図を得た。周囲より標高が低い地域でハンノキが減少していた。この期間に大雨により水位が上昇し深く湛水した地域でハンノキの葉が無くなった立木密度が減少したと考えられた。



複数年次観測の衛星画像を用いて詳細植生図を作成し、それらを相互比較することにより植物群落変化を分析するという(小課題3と4の発展課題)については、まず(小課題1)の結果について、その精度検証をする必要がある。がしかし、詳細植生図作成のための地上調査に予想外の多くの労力がかかるため、今研究プロジェクトでは遂行することを断念した。

図6 釧路湿原赤沼周辺のハンノキの変化地図(2005年~2015年; 5km×5km)

以上、本研究は、生物多様性ホットスポットである釧路湿原の高層湿原を対象にして、①高層湿原のUAVカラー空中写真による複数年分の詳細植生図作成し経年変化を分析した。②次に複数年次に観測した衛星画像間の画像変化検出を行い、衛星画像上の変化はUAV植生図の変化範囲と対応していることを確認した。③最後にUAV植生図から得られる衛星画像データのピクセルの地上瞬時視野内の植物群落面積率から、植物群落分類のための分光反射特性(分類教師データ)の推定を試み、UAV詳細植生図は分類用参照データとして利用可能であり、ハイパースペクトル衛星リモートセンシングによる湿原全体の詳細植生図作成が可能であると結論付けた。

本研究でUAV空中写真から作成する詳細植生図が衛星リモートセンシングデータ解析のための参照データとなり得ることを示したことは、貴重な自然生態系を呈している広大な釧路湿原全体の詳細な植生図を、地上解像度が異なる低高度UAV空中写真と衛星リモートセンシングデータを用いて省労力で迅速に作成する技術の開発に直結する成果である。本成果は広範な自然生態系保全に役立つ基本技術となり得るものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 吉野邦彦, 神田 房行	4. 巻 57(4)
2. 論文標題 2 時期の高解像度空中写真による釧路湿原高層湿原の植物群落変化の検出	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 写真測量とリモートセンシング	6. 最初と最後の頁 142-151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 吉野邦彦, 川口小百合, 神田房行	4. 巻 57(5)
2. 論文標題 ローン・カラー空中写真を用いた北海道東部標津湿原の植生図の作成	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 写真測量とリモートセンシング	6. 最初と最後の頁 188-197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Holle MJM and Tsuyuzaki S.	4. 巻 93
2. 論文標題 The effects of shrub patch sizes on the colonization of pioneer plants on the volcano Mount Koma, northern Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Acta Oecologica	6. 最初と最後の頁 48-55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.actao.2018.10.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Shishir, S.and Tsuyuzaki, S.	4. 巻 190
2. 論文標題 Hierarchical classification of land use types using multiple vegetation indices in relation to urbanization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Environmental Monitoring and Assessment	6. 最初と最後の頁 341-
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10661-018-6714-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tsuyuzaki, S., Iwahana, G. & Saito, K.	4. 巻 41
2. 論文標題 Tundra fire alters vegetation patterns more than the resultant thermokarst	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Polar Biology	6. 最初と最後の頁 753-761
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10661-018-6714-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 串田圭司	4. 巻 447
2. 論文標題 森林火災・劣化の実態 世界の現状は	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 エネルギーレビュー	6. 最初と最後の頁 19-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsuyuzaki, S., Iwahana, G. & Saito, K.	4. 巻 41
2. 論文標題 Tundra fire alters vegetation patterns more than the resultant thermokarst	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Polar Biology	6. 最初と最後の頁 753-761
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00300-017-2236-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hirao, A.S., Watanabe, M., Tsuyuzaki, S., Shimono, A., Li, X., Masuzawa, M. & Wada, N.	4. 巻 44
2. 論文標題 Genetic diversity within populations of an arctic alpine species declines with decreasing latitude across the Northern Hemisphere	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Biogeography	6. 最初と最後の頁 2740-2751
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jbi.13085	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 江川知花・西村愛子・小山明日香・露崎史朗	4. 巻 22
2. 論文標題 北海道サロベツ湿原泥炭採掘跡地における外来植物の侵入	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 保全生態学研究	6. 最初と最後の頁 187-197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Yoshino, K. and Philpot, W.D.
2. 発表標題 Red-NIR Soil-Line Coefficients Derived from Satellite Time Series
3. 学会等名 AGU (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 神田房行, 川口小百合, 吉野邦彦
2. 発表標題 標津湿原の植生と保全上の課題
3. 学会等名 日本生態学会第64回全国大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	露崎 史朗 (Tsuyuzaki Shiro)  (10222142)	北海道大学・地球環境科学研究所・教授  (10101)	



