

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24310169

研究課題名(和文) 湿原生態系保全のためのリモートセンシング観測諸元の解明

研究課題名(英文) Optimum specifications of remote sensing observation for conservation of wetland ecosystems

研究代表者

吉野 邦彦 (Yoshino, Kunihiro)

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：60182804

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、釧路湿原保全策の提案を最終目標としてリモートセンシングの最適観測諸元を明らかにした。研究対象地域の高層湿原地域の観測に必要な空間解像度は、独自の精細高層湿原植物群落図を用いた空間解析の結果、高層湿原植物群落の詳細な目視判読のためには1cm程度の地上空間解像度が必要である。植物群落図の作成のためには10cm～30cm程度の地上解像度が必要であることを明らかにした。最適観測時期は、スゲ類の開花時期の6月下旬から7月中旬であることが明らかになった。しかし、最適観測スペクトル波長帯については明らかに出来なかった。高層湿原の最適観測スペクトル波長帯については、今後、解明する必要がある。

研究成果の概要(英文)： In this research project, the optimum specifications of remote sensing observation of wetland environment were chased for aiming the wetland ecosystem conservation. The high moor area of Kushiro wetland was selected as the study site and a very fine map of plant community was created by using high spatial resolution color aerial photos. By examining this fine map of plant community, about 1cm spatial resolution is helpful for visual interpretation of precise plant communities and the spatial resolution from 10cm to 30cm is required for accurately mapping of wetland plant communities.

As for the best timing of observation is from the last ten days of June to the middle ten days of July while groups of sedge are in flower, since flowers of sedge are helpful to tell species of sedge. However, the optimum spectral bands were not clarified due to the low quality of hyper-spectral image to be studied. The optimum spectral bands to observe wetland should be studied in further works.

研究分野：環境リモートセンシング

キーワード：湿原生態系保全 リモートセンシング 環境モニタリング 湿原群落分類 最適空間解像度 群落変化

## 1. 研究開始当初の背景

湿原・湿地は生物多様性ホットスポットとして重要である (J-BON HP: <http://www.j-bon.org/>)。また湿原・湿地からは、地球表面から大気へのメタンガス放出量の内の 20%~40%のメタンガスが放出されており、湿原・湿地からのメタンガス放出や二酸化炭素の吸収・放出を通じて地球温暖化と密接に関係する。湿原・湿地は気候・気象等の環境の変化に伴い広域に渡り変化し続け、その変化は地球温暖化へとフィードバックする。湿原・湿地の環境変化や生物多様性減少の前兆を早期に発見するために、湿原・湿地の環境変化の精確で継続的なモニタリングが求められている。環境変化や生物多様性の減少を初期段階で捉えることができれば、迅速な環境変化の原因の究明と環境保全対策を進めることが可能となるからである。広域の湿原・湿地のモニタリングには、周期的な観測が可能でデータが同質であり、地表面の物理量を測定記録するリモートセンシングが有効である。例えば、我国の代表的な湿原である釧路湿原においては、過去数十年にわたり、衛星リモートセンシングデータ解析、航空写真解析や数多くのフィールド調査 (山形 1992; 沖 2002 など) など、多くの継続的な環境モニタリングが実施され、湿原の乾燥化、土砂流入などの環境悪化が確認された (中村 1998)。当地域では氷河期の生き残りとされるミツガシワ、高山植物のガンコウランやイソツツジ、絶滅危惧種のネムロコウホネ、コタヌキモ、カキツバタ、トキソウの生育が確認されており、適切な保全が急務である。現在、湿原の一部を原湿原状態へ戻す釧路湿原再生事業が行われている (釧路湿原再生事業 HP <http://kushiro.env.gr.jp/saisei/>)。

しかしながら、これまでのリモートセンシングによる湿原・湿地のモニタリングは、行政機関主導で、航空機、地球観測衛星といった既往のスペックを持ったリモートセンシング手法を適用していたのみであった。既存の地球観測衛星データと地上調査結果との対応をみることに留まっていた。また、広域の長期間観測リモートセンシングデータは冗長で膨大な量のデータであり、そのデータから自然生態系の状態情報を抽出するには人間の多大な労力が必要でもある。湿原・湿地のモニタリングには、より理想的な観測諸元のもとで観測し、解析コストを配慮したコンパクトなデータであることが望ましい。そのためには、モニタリング対象となる湿原・湿地のリモートセンシングのより理想的な観測条件 (センサー諸元、観測方法) を明らかにしておく必要がある。

## 2. 研究の目的

本研究は、広大な湿原・湿地のモニタリングのためのリモートセンシング手法を提示することを目的とする。具体的には、広域の

地上調査が困難である湿原・湿地生態系を、長期的かつ精細にモニタリングするためのリモートセンシングの重要な基本的観測諸元である

- 1) 最適空間分解能
- 2) 最適観測スペクトル波長帯
- 3) 最適観測時期 (観測頻度)

を、釧路湿原を研究対象湿原として取り上げ、現地調査データ、種々の画像データ解析結果に基づき明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究の目的を達するために、以下の観測、分析を行う。

1) 対象湿原のモニタリングのための理想的空間解像度を明らかにするために、空間解像度が異なる湿原リモートセンシング画像 (カラー空中写真も含む) を用いて植物群落分類を試み、地上調査結果と植物群落分類結果とを比較し分類性能を比較し、リモートセンシングによる湿原観測に必要な空間解像度を明らかにする。さらに、景観生態学で使われる景観指標の分析と空間統計学に基づくセミバリオグラム分析を行い、植物生態学的視点からの湿原観測に必要な空間解像度を明らかにする。

2) 最適な観測スペクトル波長帯を明らかにするために、航空機ハイパースペクトラル画像の解析結果と地上分光反射率測定データの解析結果の統計的比較分析を行う。

3) 最適な観測のタイミングと観測頻度を明らかにするために、現地調査とともに研究期間中に現地にインターバル映像レコーダーを設置し、春夏秋の間、フェノロジーを連続観測する。

図 1 に、研究の流れの概要を示す。現地観測<1>、湿原空中写真解析、植物群落図を作成<2>した後、植物群落の空間分析<3>を行い、湿原 RS 観測のための最適条件を考察<4>する。

## 4. 研究成果

### 4-1. 現地調査および精密 GPS 測量

植物群落図を作成するために必要な現地植物群落調査、高空間解像度画像の幾何補正、地理座標付けのために設置した対空標識 (10 数か所) の位置の精密 GPS 測量を行い、低高度からの空中写真撮影を行った。また、最適観測時期の絞り込みのために、対象湿原地区内 (釧路湿原赤沼地区) の代表的植物群落地点 15 か所に、インターバル・カメラを設置し、2013 年夏から 2014 年春にかけて毎日植物群落の鉛直写真を撮影した。さらに、低高度のカラー空中写真に加えて、空間解像度 2m の衛星画像 WV-2 の 8 バンドのマルチバンド画像 (2010 年 8 月 7 日撮影) と GE-1 の 4 バンドのマルチバンド画像 (2015 年 7 月 14 日撮影) を購入した。

地上調査結果、GPS 測量結果は、後処理を施した後、高解像度カラー空中写真解析と衛星画像解析に用いた。

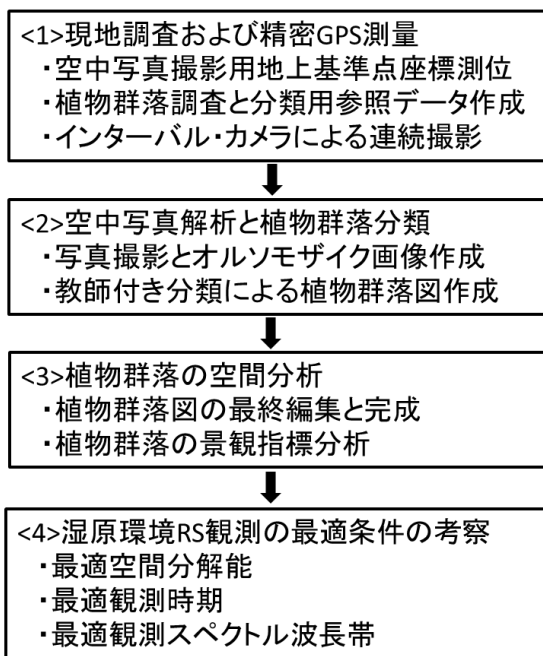


図1 研究の流れの概要

#### 4-2. 空中写真解析と植物群落分類

撮影した100数十枚の空中写真は、対空標識の精密GPS座標値と専用アプリケーションを用いて幾何補正、地理座標を付与し、全体を1枚の画像としてモザイク画像を作成した。地理座標系として日本測地系2000の日本直角座標系第13系に座標変換、投影して幾何補正したのち、アーカイブデータとして整備した。2015年7月14日撮影の無人ラジコンヘリコプター（ドローン）空中写真のモザイク画像の地上解像度は2cm、2010年8月6日撮影のセスナ機空中写真の地上解像度は10cmである。なお、衛星画像も空中写真と同じ測地座標系に投影した。

高層湿原地域（通称、赤沼地区）の精細植物群落図を2010年と2015年撮影の空中写真のモザイク画像データと地上植物群落調査データにより得られた教師データを用いて、40種の植物群落種に分類した。植物群落の類型化はMueller Dombois & Ellenberg(1974)を参考にした。

#### 4-3. 最適観測条件に関する分析結果

##### 1) 最適空間分解能に関する研究成果

空間解像度が2cmの空中写真モザイク画像から作成した精細な植物群落図(1998年植物群落図)を用いて、最適空間分解能を明らかにした。まず、各植物群落種のパッチに対して、空間統計学に基づくセミバリオグラムと景観生態学で使用する景観指標（パッチ面積）を分析した。

空間統計学のセミバリオグラム解析によると、全く空間従属性が見られない群落もあり、あったとしても群落種毎に異なるレンジを有していた。最小の空間相関性を有していたのはイソツツジ-ワタスゲ群落であった。0.7m程度であった。また、景観指標の1つで

あるパッチ面積についても、群落種毎に様々な面積を有していた。パッチ面積の平均値が0.12m<sup>2</sup>と最小であったのは、イソツツジ-ムジナスゲ-スギゴケ、ガンコウラン-イソツツジ-ニッコウシダ群落であった。典型的な高層湿原の植物群落は、どれも最小パッチ面積は小さく、0.12m<sup>2</sup>~0.2m<sup>2</sup>であった。全植物群落種のパッチ平均面積の平均値は0.59m<sup>2</sup>であり、パッチを円形として見なした場合の、その半径は高々43cm程度である。正方形と見なした場合は、77cm程度である。

以上の分析から、研究対象地に存在していた植物群落44種の植物群落図を作成し、湿原環境のモニタリングに役立てるためには、植物群落分類のための教師データ作成用として、植物個体が画像上で目視で認識できて、**植物群落種を同定できる1cm以下の解像度**が必要である。

当該湿原に生育する植物群落の最小パッチ面積の平均値から、当該湿原の詳細植物群落図作成のためには、植物群落の空間従属性の認められる範囲である70cm以下で、かつ、植物群落の平均パッチサイズを円形近似した場合の半径が40cmであることから、植物群落図作成のための最小地図単位範囲（MMU: Minimum Map Unit）は、数10cm程度が必要と考えられる。デジタル植物群落図データセットの実際的なファイル容量を勘案すると、当該湿原のモニタリングのためのリモートセンシング観測の必要空間解像度は、最少レンジの1/3~1/2、あるいは最小パッチ面積の形状を円形あるいは正方形と見なした場合の半径の1/2程度である、**20cm~30cmが必要である**ことが判明した。

しかし、植物群落種ごとに必要最小空間解像度は異なり、湿原観測のための最適空間分解能を議論するためには観測の主対象とする植物群落種を明確にしておくことが必要である。**貴重な高層湿原の植物群落に着目すると、最低20cmの解像度**が必要であろう。

##### 2) 最適観測時期に関する研究成果

最適な観測のタイミングと観測頻度を明らかにするためのフェノロジー連続観測の継続（4月下旬~10月中旬）。研究期間中に現地にインターバル映像レコーダーを設置し、春夏秋の間、フェノロジーの連続観測を継続した。

この連続画像は、一種のビデオ画像データであるため、観測期間中の映像を目視し、映像中の植物群落のフェノロジーを観察し、開花時期を確定した。その結果、当該地域では、スゲ類の開花がドラスティックであり、また、空中写真判読の際にスゲ類の分類が葉色やテクスチャーからでは難しく、スゲの花の形状の違いによるのが適切であった。この事実から、**当該地域における最適観測時期は、スゲ類の開花時期である6月下旬から7月中旬**であることが明らかになった。

### 3) 最適観測スペクトル波長帯に関する研究成果

リモートセンシングによって湿原の植物群落を判別するのに最適な観測スペクトル波長帯を明らかにするために、1994年撮影の航空機ハイパースペクトル画像データ(CASI: Compact Airborne Spectral Imager, 中日本航空撮影・JAXA配布)を解析に利用しようとしたが、この画像データの幾何学的歪みが十分に除去できず、精細植物群落図との重ね合わせを断念した。今後、他の画像データを用いて最適観測スペクトル波長帯を明らかにする必要がある。

#### 4-4. 本研究の成果と結論:

本研究では、湿原環境保全策の提案を最終目標として、釧路湿原の高層湿原地域の地上植物調査を行いながら、地上解像度2cmで撮影したカラー空中写真を用いて高層湿原植物群落の分類を行い、空間統計学による植物群落種の空間従属性を解析して、研究対象地域の高層湿原地域の観測に必要な空間解像度について議論した。その結果、植物群落分類用の教師データ作成のためには、1cm程度の地上空間解像度が必要である。また、高層湿原植物群落を分類し、精細植物群落図を作成するためには、10cm~30cm程度の地上解像度が必要であることが明らかになった。

また、最適観測時期については、インターバル・カメラによる連続撮影写真の観察から、スゲ類の開花時期である6月下旬から7月下旬の観測が適していることが明らかになった。しかしながら、最適観測波長帯については、解析予定であった航空機超多重分光画像データと精細湿原植物群落図との重ね合わせに必要な十分高い精度の幾何補正が達成できず、明らかに出来なかった。高層湿原の最適観測スペクトル波長帯については、今後、解明する必要がある。

本研究の成果の応用として、1998年夏と2010年夏に撮影して作成した2時期の精細植物群落図を比較したところ、この12年間に当該研究対象湿原では、明らかに植物群落に変化が生じていた。自然な高層湿原が拡大している地点もあれば、逆に高層湿原が中間湿原化、あるいは中間湿原が低層湿原化する退行的植物群落変化が認められた地点もあった。これらの植物群落遷移の原因や他の地域でも生じているかどうかについては、今後研究を進めていく必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10件)

- 1) Egawa, C. & Tsuyuzaki, S. 2015. Occurrence patterns of facilitation by shade along a water gradient are mediated by species traits. *Acta Oecologica* 62: 45-52. doi: 10.1016/j.actao.2014.12.001. (査読有)
- 2) Hoyo, Y. & Tsuyuzaki, S. 2015. Sexual and

vegetative reproduction of the sympatric congeners *Drosera anglica* and *D. rotundifolia*. *Flora* 210: 60-65. doi: 10.1016/j.flora.2014.10.003. (査読有)

- 3) Kushida, K., Hobara, S., Tsuyuzaki, S., Kim, Y., Watanabe, M., Setiawan, Y., Harada, K., Shaver, G.R. & Fukuda, M. 2015. Spectral indices for remote sensing of phytomass, deciduous shrubs, and productivity in Alaskan arctic tundra. *International Journal of Remote Sensing* 36: 4344-4362. doi: 10.1080/01431161.2015.1080878. (査読有)

- 4) Narita, K., Harada, K., Saito, K., Sawada, Y., Fukuda, M. & Tsuyuzaki, S. 2015. Vegetation and permafrost thaw depth 10 years after a tundra fire in 2002, Seward Peninsula, Alaska. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 47: 547-559. doi: 10.1657/AAAR0013-031. (査読有)

- 5) Nishimura, A. & Tsuyuzaki, S. 2015. Plant responses to nitrogen fertilization differ between post-mined and original peatlands. *Folia Geobotanica* 50: 107-121. doi: 10.1007/s12224-015-9203-2. (査読有)

- 6) Nomura, N. & Tsuyuzaki, S. 2015. Hares promote seed dispersal and seedling establishment after volcanic eruptions. *Acta Oecologica* 63: 22-27. doi: 10.1016/j.actao.2015.02.003. (査読有)

- 7) Hoyo, Y. & Tsuyuzaki, S. 2014. Habitat differentiation between *Drosera anglica* and *D. rotundifolia* in a post-mined peatland, northern Japan. *Wetlands* 34: 943-953. doi: 10.1007/s13157-014-0555-9. (査読有)

- 8) Yoshino, K., Kawaguchi, S., Kanda, F., Kushida, K., and Tsai, F. 2014. Very High Resolution Plant Community Mapping at High Moor, Kushiro Wetland. *PE&RS* Vol.80(9), pp.895-905. (査読有)

- 9) Tsuyuzaki, S., Narita, K., Sawada, Y. & Kushida, K. 2014. The establishment patterns of tree seedlings are determined immediately after wildfire in a black spruce (*Picea mariana*) forest. *Plant Ecology* 215: 327-337. (査読有)

- 10) Nishimura, A. & Tsuyuzaki, S. 2014. Effects of water level via controlling water chemistry on revegetation patterns after peat mining. *Wetlands* 34: 117-127. doi: 10.1007/s13157-013-0490-1 (査読有)

〔学会発表〕(計 2件)

- 1) 神田房行, 吉野邦彦, 川口小百合, 天神誠 (2016.02.19). 標津湿原の植生と保全. 2015年度日本生態学会北海道地区大会(一般-1), 北海道大学(北海道札幌市).

- 2) Kunihiko Yoshino and Fusayuki Kanda (2015.10.20). Change Detection of High Moor Plant Communities in the Kushiro Wetlands by Low Altitude Balloon and Cessna Image. Proceedings of ACRS2015, TU1.2.6, Manila, Philippine.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉野 邦彦 (YOSHINO, Kunihiko)  
筑波大学・システム情報系・教授  
研究者番号：60182804

### (2) 研究分担者

神田 房行 (KANDA, Fusayuki)  
北海道教育大学・教育学部・教授  
研究者番号：70091527  
(H.24～H25年度まで)

串田 圭司 (KUSHIDA, Keiji)  
日本大学・生物資源科学部・准教授  
研究者番号：90291236

足立 泰久 (ADACHI, Yasuhisa)  
筑波大学・生物環境系・教授  
研究者番号：70192466

露崎 史郎 (TSUYUZAKI, Shiro)  
北海道大学・地球環境科学研究科・教授  
研究者番号：10222142