

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 5 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03409

研究課題名(和文) 全方位カメラ搭載UAV・VR技術を用いた湿原植生調査法の開発

研究課題名(英文) Development of mire vegetation survey method using the UAV and VR technology with omnidirectional camera

研究代表者

山田 浩之(Yamada, Hiroyuki)

北海道大学・農学研究院・講師

研究者番号：10374620

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：従来の植生調査法の代替となり得るUAVとVRカメラ、VR技術を駆使して省力的・非侵襲的な新たな植生調査法を世界に先駆けて開発した。この過程で、用途や調査コストに応じてシステムを選択できるよう2つのタイプのUAV・VRカメラシステムを構築した。また、効率性と安全性を重視したフライトプランの作成法を確立し、複数の湿原で現地試験を行うことで本調査法の有効性と実用性を示した。さらに、従来の調査法とのコスト比較により、本調査法は従来法に比べて省力的な調査法となることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

十分なモニタリングも行われないまま劣化や消失が進行している湿原植生の監視体制強化、立ち入り時に植生にダメージを与えない非侵襲的で省力的な植生調査法の確立、継続的なモニタリングを要する事業のコストダウンや人口減少に伴う専門家不足問題に応じるため、半永久に保存できるVR(バーチャルリアリティー)映像により現実に近い仮想空間での事後調査を可能とするUAV(ドローン)とVRカメラを用いた新たな植生調査法およびその調査用のモニタリングシステムの開発を行い、効率的で安全な飛行方法の確立を行った。

研究成果の概要(英文)：We have developed a new, labor-saving, non-invasive vegetation survey method using UAV and VR cameras. In this process, two types of UAV systems were produced so that users can choose the system according to the survey cost. In addition, we established a procedure for creating a flight plan that emphasizes efficiency and safety. We demonstrated the effectiveness and practicality of this method by conducting field tests in several wetlands. By comparing the cost with the conventional method, it was found that this method is more labor-saving than the conventional method.

研究分野：応用生態工学

キーワード：ドローン バーチャルリアリティー 植生モニタリング 非侵襲的調査 省力化 人口減少

1. 研究開始当初の背景

湿原植物の分布は水位や水質に極めて敏感に反応するため、わずかな環境変化によって劇的に変化することがある。また、湿原は流域の末端に形成されることが多いため、人為的な環境変化の影響を累積的に受け易い。それらの理由から、最も脆弱で減少が著しい生態系であると認識されており、世界では湿地（浅い水域も含む）生態系の51%が（Zedler and Kercher, 2005）、国内では明治・大正時代に存在した湿地の61%が（国土地理院調べ）、既に消失したと報告されている。こうしたことから、現存している湿原の保全・維持のために、植生変化の早期発見が強く求められている。しかし、湿原の集中する北海道の事例では、1990年以降植生調査が行われている湿地は全体のわずか35%と少なく、十分なモニタリングも行われないうまま、湿原の劣化や消失が進行しているのが現状で、植生監視体制強化が必要と指摘されている（鈴木ほか, 2016）。一方、従来、湿原の植生調査は、研究者や技術者等が実施してきたが、アクセスし難さ、立ち入りによる植生のダメージ、希少動物への影響から、熟練した者であっても十分な調査データが得られないことがあった。これが先の監視体制整備の遅れの主な理由となっている。さらに、我が国は人口減少時代に突入し、監視を担う専門家自体の不足も懸念される。

最近では、ロボットや UAV（ドローン）、AI（人工知能）、画像解析、通信技術などの最新技術が監視時の労働力不足を補うものとして期待されており、特に UAV については、空撮に限らず野生動物監視の分野など様々な分野での活用が進んでいる。その後、仮想空間の中で現実のように事象を確認できる VR（バーチャルリアリティ）技術が注目を集め、全方位カメラ（VR カメラ）や VR ヘッドセットなどの視聴技術が急速に発展している。こうした映像を用いた監視の利点として、映像記録の永久保管、他の専門家の再確認による検査結果の精度向上も挙げられる。この VR カメラ搭載 UAV と VR 技術を組み合わせることで、先に挙げたアクセスや侵襲的調査などの様々な問題を克服できるものと考えているが、それを活用した調査が、従来の植生調査の代替となるかどうかについて検討された事例は皆無である。

2. 研究の目的

先に挙げた様々な問題を打開するため、UAV・VR カメラ・VR 技術を駆使した非侵襲的、省力的な従来の植生調査法の代替となる新植生調査法を開発することを目的とした。それは、植生挿入型全方位カメラ・ジンバル搭載 UAV と効率性と安全性を重視した飛行によって得られた現地の VR 映像で植物の種判別や被度評価を行い、群落構造と種組成を調査するものである。これにより、事後の仮想現実空間内での自由度の高い植生調査が可能となる。この目的の達成のために、(1) 植生挿入型 VR カメラ・ジンバルの開発、(2) 適切な飛行・撮影方法の確立、(3) VR 映像を用いた植生調査法の開発と精度検証の3つの小課題を設定した。

3. 研究の方法

(1) 植生挿入型 VR カメラ・ジンバルの開発

上空からの植物の撮影に適した UAV と VR カメラを選定し、障害物センサなどと統合するためのシステムと植生に挿入して撮影するためのジンバルの開発を行った。飛行安定性、カメラ解像度と植物の検出精度の関係、映像のブレ、飛行時間に影響する総重量等を評価し、各条件を満足できるように複数のシステムを構築し、現地試験を踏まえて改良を施した。

(2) 適切な飛行・撮影方法の確立

開発した植生挿入型全方位カメラ・ジンバル搭載 UAV を用いて適切な飛行方法を検討し、その飛行方法を用いて現地試験を実施した。現地試験結果を基に、飛行の安定・安全性、VR 画像の取得状況を検証した。さらに、開発したシステムと現調査法についてコストを比較し、開発したシステムを用いた植生調査の省力化について検証した。

(3) VR 映像を用いた植生調査法の開発と精度検証

釧路湿原および別寒辺牛湿原における Fen（ヨシ・スゲ湿原植生）及び Bog（ミズゴケ湿原植生）を対象とした調査定点を設定し、2m 四方のコドラートにて地上での従来の植生調査と (1)・(2) で開発した空撮法に基づく植生調査を行った。地上での植生調査データを基準として、各調査定点における種発見率を算出するとともに、被度については全ての判読ケースを対象に判読誤差を求めた。また、出現種・被度データを用いて Modified-TWINSPAN による統計的植生分類を行い、デンドログラムの各クラスターを構成する調査定点について、地上調査と画像調査の一致率を求めた。

4. 研究成果

(1) 植生挿入型 VR カメラ・ジンバルの開発

重量の大きい高解像度の VR カメラ（Insta 360 Pro, Arashi Vision Inc.）、障害物センサ（LiDAR など）や小型 PC を搭載するための UAV（Matrice 600 Pro, DJI JAPAN）で構成した全幅約 100



図1 植生挿入型VRカメラ・ジンバルを搭載したUAV



図2 障害物検知用モニタリングユニットとFPVカメラ画像、仮想コドラート、障害物が表示された操縦画面

cmの大型タイプと、小型のVRカメラ（GoPro Fusion, GoPro, Inc.）とUAV（Mavic 2 Pro, DJI JAPAN）で構成した全幅約35cmの小型タイプの2つのシステムを構築した（図1）。各タイプともに60～80cmの棒状のマウントでUAVとカメラを接続して、飛行中のUAVからカメラを植生内部に挿入できるようにした。また、UAVの飛行の安定性や飛行可能時間の延長を目的として機器の軽量化を図った。樹木等の障害物回避、仮想コドラートの画面表示、飛行高度の監視を目的として、カメラと超音波・レーザー距離計、高精度マルチGNSS受信機を統合したモニタリングユニットとプログラムを開発し、大型タイプのUAVに搭載した（図2）。各タイプの使用方法とトラブルシューティングを記載したマニュアルを作成した。このほか、VR植生調査時に得られる映像の将来的な活用を想定して、VR映像のアーカイブ化についても検討し、調査対象の湿原のバーチャルツアーの作成・公開を行った（図3）。

(2) 適切な飛行・撮影方法の確立

予備実験により様々な飛行方法を検討した結果、調査地点上空まで自動飛行を行い、地上への接近は安全性を考慮し手動にて降下させる半自動化の飛行方法を用いることとした。植生調査地点の1コドラート内に複数の撮影ポイントを設定したプロトコル（自動操縦から手動操縦への切り替えを含む）を作成した。自動操縦には、フライトプラン作成用アプリのUgCS（SPH Engineering）とLitchi（VC Technology Ltd）の2種類のアプリを用いた。そのプロトコルを釧路湿原の2カ所の対象区域に適用し、フライトプランの作成と現地試験を実施した（図4）。

現地試験では、課題（1）で開発した2種類の植生挿入型全方位カメラ・ジンバル搭載UAV（小型・大型タイプ）を用いた。その結果、2タイプのUAV共に安定した飛行が実現可能であることが明らかになった。安全性に関しては、大型タイプで手動による降下時に想定した以上の草丈の高い草本（約2m）にUAVのプロペラが接触し墜落した事例、小型タイプでVRカメラの揺れのためにUAVのモータに過剰な負荷が掛かり自動着陸した事例が確認されたが、それ以外は



図3 各湿原のバーチャルツアー

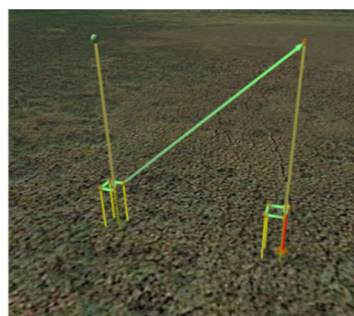


図4 UgCS上で作成したフライトプランの例

表1 各機器での現地試験結果

機器タイプ	調査地	調査地点数	総飛行時間(分)	飛行数	1飛行あたりの平均飛行時間(分)	1飛行あたりの平均調査地点数	1地点あたりの飛行時間(分)
小型	1	20	78	8	9.75(5-12)	2.50(1-3)	3.90
	2	14	66	6	11.00(7-17)	2.33(1-3)	4.71
大型	1	20	184	12	15.33(12-19)	1.67(1-2)	9.20
	2	14	95	7	13.57(11-17)	2.00(1-3)	6.79

地上付近まで安全な接近が可能であることが確認できた。VR 画像の取得状況については、両タイプともに植生に接近した画質のよい画像が取得可能であるが、小型タイプの方がより地上に接近した画像を取得できることが多かった。以上より、検討した飛行方法により、両タイプの UAV ともに安定した飛行で植生に接近した画像を取得可能であると考えられた。

開発したシステムと現調査法についてコストを比較し、植生調査の省力化について検証した。開発した UAV のイニシャル（導入）コストは小型タイプで総額 389 千円、大型タイプで 1,688 千円であった。また、1 地点あたりに必要な飛行時間は小型タイプで 3.9~4.7 分、大型タイプで 6.8~9.2 分であった（表 1）。小型タイプの方が短時間となったのは小型であるため操作性に優れているためであると考えられた。次に 1 地点あたりの飛行時間を基に、30 点の植生調査を実施した際の調査労力（人工）を試算したところ、小型タイプでは 11 人日、大型タイプでは 13 人日であった。現調査法である人による調査は、湿原調査に関するマニュアル（環境省自然環境局生物多様性センター、2016）に基づいて試算した結果、20 人日であった。1 人日を 30 千円と仮定してトータルコストを算出すると、小型タイプでは 719 千円、大型タイプでは 2,079 千円、人による調査では 600 千円であった。ただし、UAV による調査ではイニシャルコストは最初のみコストとして計上され、2 回目以降は調査労力のみとなる。このことを含めて調査回数（1~20 回）ごとのトータルコストを試算し、植生調査の省力化について検証した結果、調査回数が増えるほど人による調査に比べ、UAV による調査はトータルコストが低くなることがわかった（図 5）。このことから、モニタリングなどにおいて継続的に実施する植生調査では、本研究で開発した UAV による調査は、省力的な調査手法となることが明らかになった。

(3) VR 映像を用いた植生調査法の開発と精度検証
①植生タイプ・空撮システム間での種発見率の違い

画像調査の全体的な結果において、モニタでの視聴と VR ヘッドセットでの視聴による種発見率の違いを比較したところ、両者には有意な差が認められなかったため、以下の解析は全てモニタ視聴によるデータを用いた。

各定点の種発見率は、大型・小型タイプともに Bog で 60%前後の値を示したが、Fen で大きく低下する傾向が認められた（図 6）。また、Bog では大型タイプでの種発見率が小型タイプよりも有意に高い傾向を示したが、Fen ではむしろ小型タイプでの種発見率がわずかに高くなった。このことから、Bog のような見通しの良い植生では、

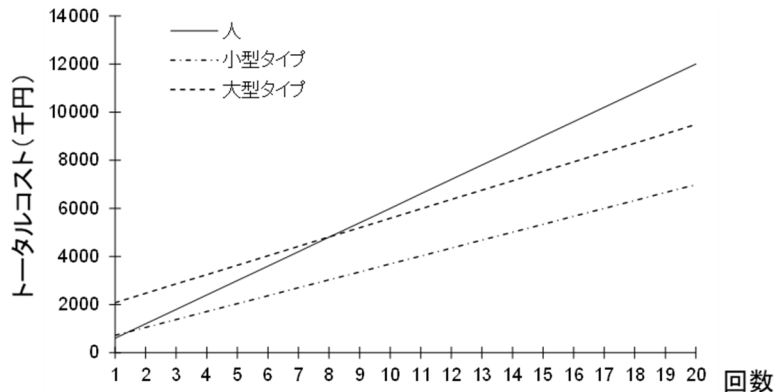


図5 人とUAVによる植生調査の調査回数とトータルコストの関係

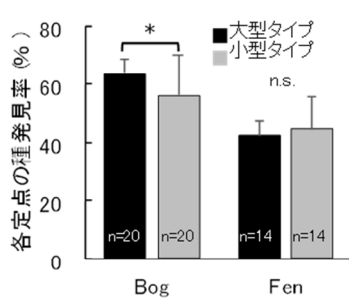


図6 植生タイプおよび空撮システムの違いによる種発見率の変化
種発見率=各定点における(空撮調査の出現種数)/(地上調査の出現種数) × 100

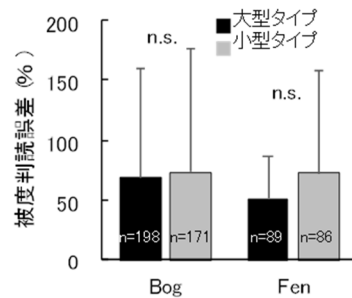


図7 植生タイプおよび空撮システムの違いによる被度判読誤差の変化
被度判読誤差=(|地上調査被度-空撮調査被度|)/(地上調査被度) × 100

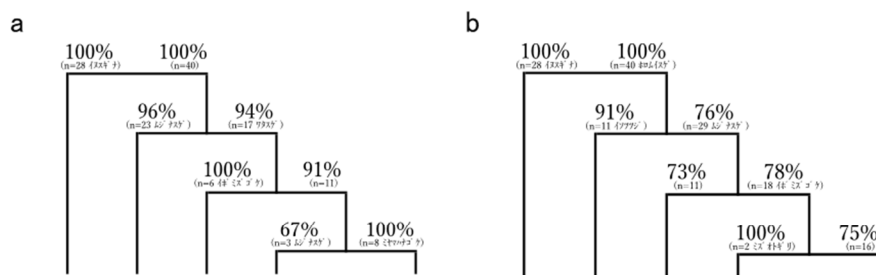


図8 Modified-TWINSPANにおける定点一致率(a: 小型タイプ, b: 大型タイプ)
地上調査データ(n=34)と空撮調査データ(n=34)をまとめて1つのデータセットとした
(n=68). デンドログラムの各クラスターに含まれる調査定点において、同じ調査定
点ペア(地上調査と空撮調査)が含まれる割合(定点一致率%)を求めた。

大型タイプに装着されているような高解像度のカメラが特に有効であることが明らかとなった。一方で、Fenのような見通しの悪い植生では、カメラ解像度の違いよりも群落内へのカメラ降下程度の違いが種の発見に影響することが示唆された。

②植生タイプ・空撮システム間での被度判読誤差の違い

被度の判読誤差は、植生タイプや空撮システムの違いに関わらず概ね 60%前後の値を示し、いずれの比較においても有意差は認められなかった(図7)。被度の判読は、群落表層から約2m上空の画像をもとに行うことが多いため、降下程度の異なる空撮システム間や群落高の異なる植生タイプ間であっても、判読結果に大きな差異が生じにくいと考えられた。

③空撮システム間での統計的植生分類の違い

TWINSPANによる植生分類では、全てのクラスターにおいて概ね70%以上の定点一致率となったが、小型タイプでより高い一致率を示した(図8)。小型タイプでは、デンドログラムの第三階層まで90%以上の定点一致率を維持しており、地上調査データに基づく分類と極めて類似した結果が得られた。このことから、植生分類ではおおよそ実用的な精度を発揮できていることが明らかとなった。

(4) まとめ

3つの小課題の研究遂行を通して、従来の植生調査法の代替となり得るUAVとVRカメラ、VR技術を駆使した省力的・非侵襲的な新たな植生調査法を開発した。また、複数の湿原での現地試験により、従来の調査方法と近い精度の調査結果が得られることが明らかとなり、その有効性や実用性を示すことができた。この課題では、2つのタイプのUAV・VRカメラシステムを構築し、用途や調査コストに応じてシステムを選択できるようにした。両タイプのシステムを用いた実施した調査結果は、実用レベルにあることが分かったが、位置精度と飛行時間などが異なるため使用者の用途に応じてシステムを選択することを推奨する。また、この調査方法の開発過程で、機器の導入コストや飛行時間、目視での植物の同定の煩雑さなどの課題が残された。さらに、本課題申請当初は、調査地点への移動から降下、対象植生に挿入するまでの課程を全て自動で実行するシステムを構築する予定であったが、草本の茎にUAVのプロペラが接触すること、植生に挿入するカメラが地面に衝突することを自動的に回避する方法の検討までには至らなかった。このようにいくつかの課題は残され、対象も湿原の植生に限られるものの、UAVとVR技術を用いた植生調査法の事例を世界に先駆けて示すことができた。今後は、種や被度の自動的判定機能の開発、他の生態系の植生調査への展開や事例蓄積とその過程で発生する問題の改善により、調査手法としての完成度をより高めたいと考えている。

<引用文献>

- 環境省自然環境局生物多様性センター(2016)モニタリングサイト1000陸水域調査湿原調査マニュアル<http://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/marshes_manual_ver5.pdf>
鈴木透, 富士田裕子, 小林春毅, 李娥英, 新美恵理子, 小野理(2016)北海道の湿地における植物データベースの構築と保全優先湿地の選定, 保全生態学研究, 21(2), 125-134.
Zedler B. J. and Kercher S.(2005)Wetland Resources: Status, Trends, Ecosystem Services, and Restorability, Annu. Rev. Environ. Resour., 30, 39-74.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 山田 浩之、上野 裕介	4. 巻 23
2. 論文標題 カメラおよび画像処理技術を活用した生態系モニタリング	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 応用生態工学	6. 最初と最後の頁 365-368
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3825/ece.20-00041	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 中村隆俊、大木慎也、山田浩之	4. 巻 23
2. 論文標題 UAV空撮による湿原植生調査法の開発と評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 応用生態工学	6. 最初と最後の頁 383-393
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3825/ece.19-00022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山田浩之、鈴木透、中村隆俊、若松拓夢
2. 発表標題 UAV・VRカメラを用いた湿原植生調査の試み
3. 学会等名 日本湿地学会第11回（2019年度）大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 若松拓夢、山田浩之
2. 発表標題 VRカメラを用いた湿地景観のアーカイブ化手法の検討
3. 学会等名 日本湿地学会第11回（2019年度）大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木透、山田浩之、中村隆俊
2. 発表標題 UAV・VRカメラを用いた湿原の植生調査法の開発
3. 学会等名 日本生態学会第67回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村隆俊、磯野隆弘、山田浩之、鈴木透
2. 発表標題 UAV・VRカメラを用いた湿原植生調査法の有効性評価
3. 学会等名 日本生態学会第67回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木透、山田浩之、中村隆俊
2. 発表標題 UAV・VRカメラを用いた湿原の効率的な植生調査法の検討
3. 学会等名 日本生態学会第68回全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村隆俊、磯野隆弘、山田浩之、鈴木透
2. 発表標題 UAV・VRカメラを用いた湿原植生調査の有効性
3. 学会等名 日本生態学会第68回全国大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

篠路福移湿原バーチャルツアー（Google Street View）
https://www.google.com/maps/@43.153263,141.416809,3a,90y,21.71h,58.21t/data=!3m7!1e1!3m5!1sAF1Qip0pd_BAsF3EcyWJMkaDNZKfxImZQnGQ52MU-uaV!2e1!3e1!7i7680!8i3840
雨竜沼湿原バーチャルツアー（Google Street View）
https://www.google.com/maps/@43.698452,141.61673,3a,75y,283.03h,90t/data=!3m4!1e1!3m2!1sAF1Qip0rW_BMpWePW006yJgY9hFXGDPQgsHfayaCnIf_!2e1!3e1!7i7680!8i3840
釧路湿原バーチャルツアー（Google Street View）
https://www.google.co.jp/maps/@43.105469,144.359314,3a,75y,11.13h,81.18t/data=!3m8!1e1!3m6!1sAF1Qip0V9ee5Z8IeSFL-zR8-VAEGBvYoSBF2mJvMT-1!2e1!3e1!6sh!tps:%2F%2F1h5.googleusercontent.com%2F%2FAF1Qip0V9ee5Z8IeSFL-zR8-VAEGBvYoSBF2mJvMT-1%3Dw203-h100-k-no-pi-0-ya62.780994-ro-0-fo100!7i7680!8i3840?hl=ja

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	鈴木 透 (Suzuki Toru) (20515861)	酪農学園大学・農食環境学群・准教授 (30109)	
研究 分担者	中村 隆俊 (Nakamura Takatoshi) (80408658)	東京農業大学・生物産業界部・准教授 (32658)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------