

令和元年6月19日現在

機関番号：20105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K08113

研究課題名(和文) 農地からの養分・塩類負荷がボッグのミズゴケ類の生育に及ぼす影響の解析

研究課題名(英文) Effects of the nutrient and salt load from farmlands on the growth of Sphagnum

研究代表者

矢部 和夫 (Kazuo, Yabe)

札幌市立大学・デザイン学部・教授

研究者番号：80290683

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：養分負荷量の異なる2つの湿原で水と栄養塩の流入・流出量の観測により、無機態窒素の保持量が大きく異なった。水系への栄養塩流出量の適切な管理に向けた泥炭地湿原の保全や利活用のための基礎資料として活用できる。

ミズゴケハンモック分布の制限要因にCa等が特定されたが、Ca負荷の高い湿原においても一部でハンモックが分布していた。また、地下水汚染に関わらず、ハンモック内の養分の濃度勾配が認められ、ハンモックの存続に影響している事が示唆された。ハンモック内の溶質濃度は雨水供給による希釈と蒸発による濃縮の影響を受け変化し、蒸発散が卓越する8月上旬までは高く、降水が卓越するそれ以降は低濃度となることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

養分負荷量の異なる2つの湿原で水と栄養塩の流入・流出量の観測により、無機態窒素の保持量が大きく異なった。水系への栄養塩流出量の適切な管理に向けた泥炭地湿原の保全や利活用のための基礎資料として活用できる。ミズゴケハンモック分布の制限要因にCa等が特定されたが、Ca負荷の高い湿原においても一部でハンモックが分布していた。ハンモック内の水と養分移動の解析によって、この原因は養分負荷が高い湿原でもハンモック内では周囲と異なる水質が形成されるためであることがわかった。このようなハンモック内の水質形成のしくみの解明は養分負荷のかかった湿原の保全対策に重要な知見を与える。

研究成果の概要(英文)：The amount of mineral nitrogen retained greatly differed from the observation of the inflow and outflow of water and nutrients in two wetlands with different nutrient loadings. It can be used as basic data for the conservation and utilization of peatland wetlands for the appropriate management of nutrient discharge to the water system.

研究分野：湿原生態学

キーワード：養分負荷 ボッグ ミズゴケハンモック 養分移動 泥炭中の水移動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

泥炭地湿原の群落は、水位が高く、養分・塩類が多い地表水(地下水や河川水由来)で涵養されるフェンと、泥炭が堆積して地表水が到達せず、養分・塩類が乏しい降水によって涵養されるポググに分類される。ポググの表面では、ポググの特徴的な種群であるミズゴケ類が周囲より10~数10 cm隆起したハンモック(小丘)を多数形成する。このようなミズゴケハンモック上は、ホロウ(周囲の低平な微地形)よりも、乾燥し強酸性で養分やミネラルの少ない水質が形成されているため、群落種組成がホロウと大きく異なっている。このため、ハンモックとホロウの種組成の違いは湿原の生物多様性の維持にとって重要である。

北海道中央部の太平洋沿岸部に分布する勇払湿原群の中で、特に面積の大きなポググが柏原とウトナイ北東岸の2箇所でみられ、養分・塩類負荷は柏原で小さくウトナイ北東岸で大きい。養分・塩類負荷が小さい柏原がポググを維持しているのは当然であるが、負荷の高いウトナイ北東岸でも30数年来の観察のなかでポググは維持されてきた。同様のことは塩類負荷の大きな道南のキウシト湿原でも起こっており、高濃度の塩類の中でミズゴケハンモックが維持されている。現在北海道各地の湿原で流域の農業による養分負荷の問題が深刻になっている中で、ポググの養分負荷に対する耐性がどの程度あるかを把握することが、保全上重要な点である。

2. 研究の目的

畑作地帯の湿原では、上流域からの養分・塩類の流入が群落の劣化を招き、湿原がもつ多面的な生態系機能の低下が懸念されている。このため本研究は、特に養分・塩類濃度の低い環境に生育するミズゴケ類に焦点をあて、次のことを行う。(1) 養分・塩類負荷量の異なる2つの流域の土地利用と植生の変化を空中写真解析から求め、また(2) 養分・塩類負荷の変化を推定する。(3) 2つの流域で群落の種組成や構造を比較して、養分・塩類負荷が湿原群落に与える影響を明らかにする。(4) ミズゴケハンモック内の水質と水移動の解析から養分・塩類の垂直移動を求め、ハンモック内部の水質形成過程を解明する。最後に、これらの知見から、養分・塩類負荷がハンモック上のミズゴケ類に与える影響を解明する。

3. 研究の方法

最初に、(1) 養分・塩類負荷量の異なる2つの流域の土地利用と植生の変化を空中写真解析から求め、養分・塩類負荷と植生の変遷を推定する。次に、(2) 湿原内への養分・塩類負荷量を評価し(3) 養分・塩類負荷が湿原群落に与える影響を明らかにする。(4) 養分・塩類負荷が大きくてもミズゴケハンモックが維持されるメカニズムを検討するために、ミズゴケハンモックの水質の季節変化を2つの流域で比較するとともに、ハンモック内の水移動の解析から養分・塩類の垂直移動を求め、ハンモック内部の水質形成過程を解明する。得られた知見を総合し、養分・塩類負荷がハンモック上のミズゴケ成長に及ぼす影響や、そのメカニズムを推定し、ミズゴケハンモックが維持される養分・塩類負荷の許容値を推定する。

4. 研究成果

(1) 流域の土地利用と植生の変遷の把握

流域土地利用変遷を明らかにするために、国土数値情報土地利用細分メッシュデータ(第2.5.1版、空間解像度100 m×100 m)を基に、GIS(地理情報システム)を用いて1970年代から現在までの土地利用データを整備した。1960年代以前については国土地理院の旧版地形図から土地利用を判読し、上記メッシュデータと同じ空間解像度の土地利用データを整備した。その後、対象とする2つの湿原の各集水域に含まれる各土地利用のメッシュ数を集計した。土地利用の経時変化から、負荷サイトでは1930年代から、自然サイトでは1950年代から集水域の農地利用が始まったと考えられた(図1)。

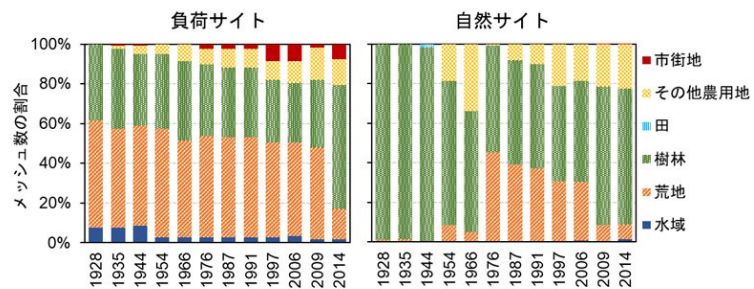


図1. 湿原集水域における土地利用別メッシュ数の割合

(2) 湿原内への養分・塩類負荷量の評価

湿原内への養分・塩類負荷量を評価するため、2つの湿原に約120 m×120 mの試験区を設定し、さらに試験区内を格子状に36小区画に分けた。各小区画に水位観測管を設置し、2016・2017年の非結氷期に毎月1回水位を測定した。さらに、各試験区の代表点に自記水位計を設置し、水位を連続観測した。また、2016年8・11月と2017年5月に各小区画の水位観測管から地下水を採取して、窒素とリンの濃度を分析した。これらの観測データをもとに、各試験区における水及び窒素・リンの流入・流出量を推定した。

水収支解析の結果、負荷サイトでは主に湧水由来の地表流により涵養され地下浸透によって流出するのに対し、自然サイトでは主に降水により涵養され地表流によって流出しており、水

の涵養-流出システムが大きく異なることが確認された(図2)。地表水の溶存態窒素・リン濃度は、負荷サイトの方が自然サイトに比べて窒素で約7倍、リンで約1.5倍高く、負荷サイトでは湧水由来の窒素負荷が特に大きいことが分かった。流入と流出の差から無機態窒素の浄化量を算出した結果、窒素負荷の大きい負荷サイトの方が、自然サイトに比べて60倍以上も大きい値を示した。

本研究により、類似した植生タイプの湿原でも、水の涵養-流出システムや外部からの栄養塩負荷の大きさによって栄養塩の浄化機能が大きく異なることが明らかになった。このことから、水質浄化を目的に湿原を活用する上では、植生タイプだけでなくその水文環境を考慮することが重要と考えられる。これらの成果は、本調査地を含む美々川の自然再生事業を進める北海道胆振総合振興局室蘭建設管理部に情報提供しており、今後、当該水系の水質浄化に向けた湿原の計画的な保全やワズユースのための基礎資料として活用が期待される。

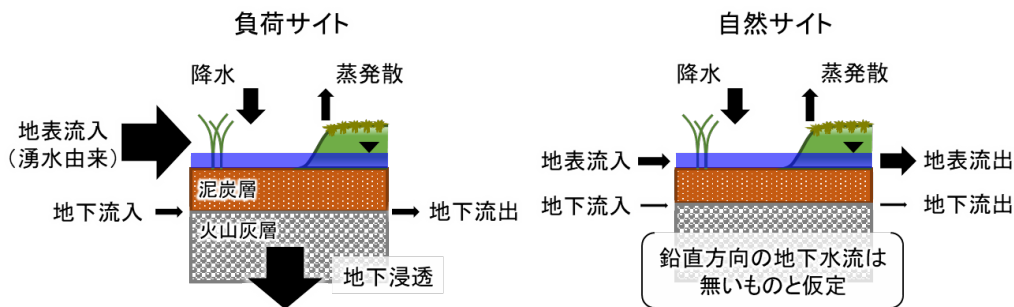


図2. 2つの湿原における水収支の模式図(矢印の太さは流量の大きさを表す)

(3) 養分・塩類負荷が湿原群落に与える影響

(3-1) ワラミズゴケの制限要因

ミズゴケ群落の成立環境を解明する為、養分負荷量の異なる2つの湿原(自然サイト、負荷サイト)で植生調査及び地下水調査(2014~2016年)を行った。両サイトに設定した100m四方の調査区内に2m四方の定点(合計36地点)を設置し、各定点において群落組成調査と各ミズゴケ種の在・不在、及び、地下水の採水を行った。植生調査の結果、出現したミズゴケはワラミズゴケ、オオミズゴケ、ムラサキミズゴケ及びクシノハミズゴケであった。4種類のミズゴケのうち、各定点における出現頻度が最も高かったのはワラミズゴケであった。

ワラミズゴケの制限要因を特定する為、目的変数をワラミズゴケの在・不在(在=1、不在=0)、説明変数を地下水に関する項目及び競争種に関する項目とするGLMM解析を行った。説明変数間における多重共線性を確認した後にGLMM解析を行った結果、最も低いAICを示したモデルでは、負の因子としてカルシウムイオン、無機態窒素、ホロウ種、ハンモック侵入種、正の因子として硫酸イオンが有意な変数($P < 0.05$)として特定された。

(3-2) ワラミズゴケの被度に対する制限要因の閾値

定点における上記制限要因とワラミズゴケ類の被度(%)の散布図より、各制限要因の閾値について検証した。

硫酸イオンの場合、濃度が高くなるとワラミズゴケの被度(%)もやや高くなる傾向が認められたが明瞭な閾値は認められなかった。

カルシウムイオンの濃度が $21.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ よりも低い範囲で、ワラミズゴケは被度0~60%でランダムに出現した(図3)。ただし、 $8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下の方が出現頻度は高かった。

無機態窒素の濃度が $0.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ より低い範囲で、ワラミズゴケは被度0~60%でランダムに出現した(図3)。ただし、負荷サイトの1地点のみ、窒素濃度が高いにも関わらずワラミズゴケの出現が認められた。

ホロウ種の被度が約30%以下の範囲で、ワラミズゴケがランダム出現した。ただし、負荷サイトにおいて、ホロウ種の被度が30%以上に関わらずワラミズゴケが出現した地点が2地点あった。

ハンモック侵入種の場合、明瞭な閾値は認められなかった。

以上より、カルシウムイオン、無機態窒素、ホロウ種については閾値が認められ、閾値以下

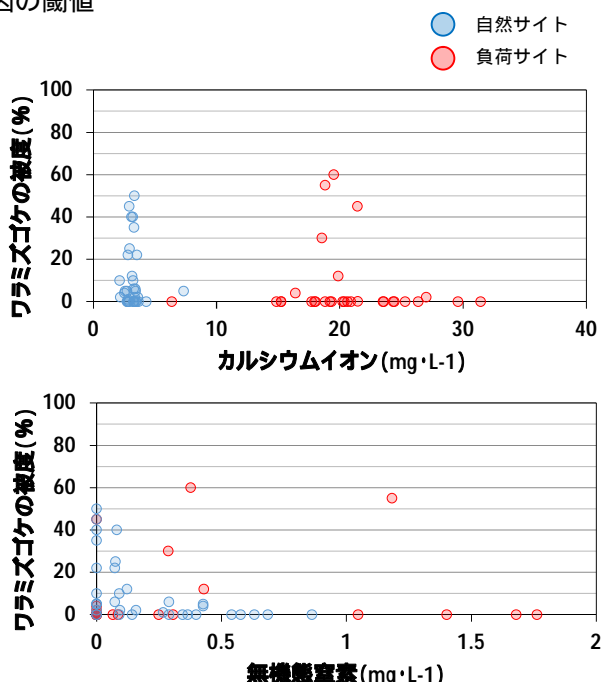


図3. ワラミズゴケの被度(%)と各制限要因

でワラミズゴケはランダムに出現していた。ただし、負荷サイトの一部では、カルシウムイオン及び無機態窒素濃度が高いにも関わらず、ワラミズゴケの出現が認められた。

(4) 養分・塩類負荷が大きくてもミズゴケハンモックが維持されるメカニズム

(4-1) ミズゴケハンモック内における水質分布

養分負荷量とミズゴケハンモック内の水質の関係を解明する為、自然サイト・負荷サイトでハンモックの上・中・下層から採水し分析（2017～2018年）した。その結果、両サイト共に上層から中・下層に向かって電気伝導度が高くなった。又、ワラミズゴケの制限要因である無機態窒素、カルシウムイオンも同様の濃度勾配の傾向を示した（図4の左・中央）。なお、硫酸イオンの場合、負荷サイトでは同様の濃度勾配の傾向が認められたが、自然サイトではほとんど検出されず濃度勾配は認められなかった（図4の右）。以上より、地下水汚染に関わらず、ハンモック内の養分の濃度勾配が認められ、ハンモックの存続に影響している事が示唆された。

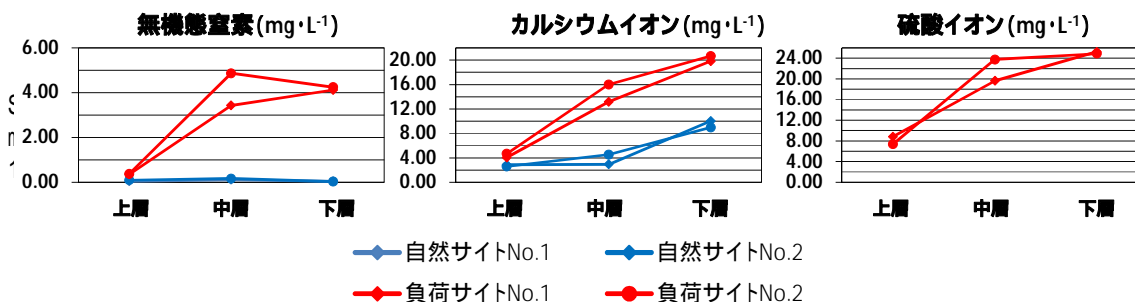


図4. ミズゴケハンモック内における水質分布

(4-2) ハンモック内部の水質形成のしくみ

ミズゴケハンモック内でどのように水質が形成され、気象条件や湿原表層水水質に影響を受けているか解明するために、栄養塩類により汚染された負荷サイトと汚染の影響を受けていない自然サイトにおいて、(1) ハンモック内の水移動を明らかにし、(2) 蒸発濃縮、雨水による希釈、移流分散による水質形成過程を数値モデルで再現することを目的とした。水収支を評価するため、気象・水文環境の計測により、降水量、蒸発散量、ハンモック内部の貯水量の変化からハンモック内部の水移動を評価し、数値モデルによる水質形成の再現を試みた。ここでは、ハンモック含水率は季節を通して一定とし、初期条件をそれぞれのサイト・深さにおける3年間の平均の溶質濃度とした。上端境界条件はハンモック表層の溶質収支から計算し、下端境界条件はホロウの3年間の平均濃度で一定値とした。

2017年～2018年の生育期間の観測により、負荷サイト、自然サイトともにハンモック内部では北海道道東の隆起したハンモックと同様（Yazaki et al. 2006）降雨により浸透した水は速やかに排水され、蒸発散により失われた量の水が下方から補給されたため、表層の含水率は生育期間を通じて極めて安定した。深層の含水率は地下水位の影響を若干受け、水位上昇時に若干上昇し、水位低下時に若干低下したが、年間通じて大きな変動はみられなかった。

ハンモック内部において、蒸発散によって失われた量の水と同量の水が深層より補給されると仮定し、ハンモック表層（0-10 cm 深）と深層（10-20 cm 深）の吸着のない溶質濃度の変化を計算したところ、無降雨で晴天が続くと溶質濃度が上昇し、降雨により溶質濃度が大きく低下するダイナミックな変動が再現された（図5）。ハンモック内の溶質濃度は、ホロウの溶質濃度が高い負荷サイトで自然サイトより顕著に高かった。一方ハンモック表層の溶質濃度は深層より低く保たれた。蒸発散量が降水量を上回る初夏（6-7月）は蒸発濃縮と下方からの毛管水上昇に伴って溶質濃度が高くなる一方で、降水量が蒸発散量を上回る盛夏以降は溶質濃度が低くなるという季節変化の傾向を示した。

このように、ハンモック内部の溶質濃度は雨水希釈、蒸発濃縮、下方からの毛管水上昇によって位置や季節によって大きく変化することがわかった。その変動は、ホロウの水質と気象条件によって影響を受けるが、表層の溶質濃度は降水量が蒸発散量を上回る気候によって低く保たれ、ホロウが塩類汚染を受けた負荷サイトにおいてもミズゴケが生育できる水文化学環境となっていたことが明らかになった。こうしたモデルの開発は、ミズゴケ群落を湿原表層水汚染に対する水質保全目標策定に資するものと期待される。なお、本研究の数値計算においては、泥炭への溶質の吸着や植物による栄養塩類吸収は考慮されておらず、今後モデルの改良が必要である。

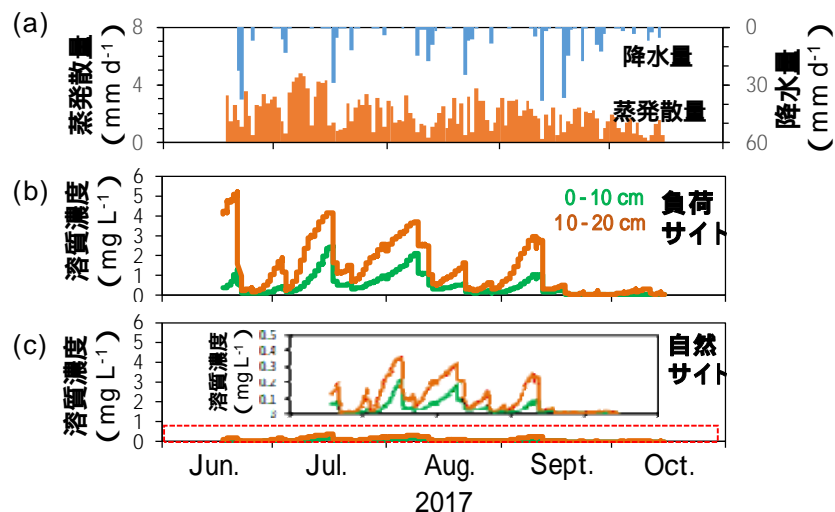


図 5. 2017 年における (a) 降水量と蒸発散量、及び (b) 負荷サイトと (c) 自然サイトにおける溶質濃度の計算値。 (c) のパネル中央は拡大図を示した。 降水量と蒸発散量は負荷サイトの値とし、溶質濃度としては $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の値を用いた。

以上のことより、養分負荷された地下水中でも、ミズゴケハンモックの内部はボグ特有の水質を形成していることが判明した。このような水質維持のためには水位が安定していて、養分負荷された地下水がハンモックの上部に到達しないことが重要な条件となる。したがって、強い養分負荷を受けた湿原であっても地下水面の位置が安定していれば、ハンモック上でのミズゴケの生育は保障されることが分かった。

< 引用文献 >

Yazaki T, Urano S, Yabe K. (2006). Water balance and water movement in unsaturated zones of *Sphagnum* hummocks in Fuhrengawa Mire, Hokkaido, Japan. *Journal of Hydrology* 319, 312-327.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Yoshifumi Sakurai, Kazuo Yabe, Koji Katagiri, Factors controlling changes in the aquatic macrophyte communities from 1984 to 2009 in a pond in the cool-temperate zone of Japan, *Limnology*, 査読有, 18, 2017, 153-166 DOI: 10.1007/s10201-016-0498-3

〔学会発表〕(計 8 件)

矢崎友嗣ほか 2018 ミズゴケ小丘における水質形成過程のモデル化 日本湿地学会 2018 年度(第 10 回)大会

木塚俊和ほか 2018 水文環境が泥炭地湿原の栄養塩循環機能に与える影響 日本湿地学会 2018 年度(第 10 回)大会

木塚俊和ほか 2018 流入負荷の違いがミズゴケ湿原の栄養塩循環機能に与える影響 第 65 回日本生態学会大会

Toshikazu Kizuka et al. 2017 Comparison of nutrient retention between natural and nutrient-loaded poor fens. 第 64 回日本生態学会大会

佐藤奏衣ほか 2016 畑地由来の養分・塩類負荷がミズゴケ類の被度に与える影響 応用生態工学会 第 20 回大会

佐藤奏衣ほか 2017 畑地由来の養分・塩類負荷及び競争種がミズゴケ類の被度に与える影響 日本生態学会 第 64 回全国大会

矢崎友嗣ほか 2017 気象が湿原のミズゴケ小丘の水挙動および水質形成に及ぼす影響 日本湿地学会第 9 回大会

矢部和夫・中谷暢文 2017 16 年間の長期モニタリングと順応的管理による人工湿地の群落組成の変遷 日本湿地学会第 9 回大会

〔図書〕(計 5 件)

木塚俊和 北海道大学出版会 湿地の科学と暮らし(矢部和夫・山田浩之・牛山克巳 監修 2017) 193-200

矢崎友嗣 北海道大学出版会 湿地の科学と暮らし(矢部和夫・山田浩之・牛山克巳 監修 2017) 173-182

矢部和夫 北海道大学出版会 湿地の科学と暮らし (矢部和夫・山田浩之・牛山克巳 監修 2017) 3-17

矢崎友嗣 朝倉書店 図説日本の湿地 (日本湿地学会 監修 2017) 132-133, 136-137

矢部和夫 朝倉書店 図説日本の湿地 (日本湿地学会 監修 2017) 96-99

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：木塚 俊和

ローマ字氏名：Kizuka Toshikazu

所属研究機関名：地方独立法人北海道立総合研究機構・環境・地質研究本部環境科学研究センター

部局名：環境保全部

職名：研究職員

研究者番号(8桁)：50570628

研究分担者氏名：矢崎 友嗣 (2017-2018)

ローマ字氏名：Yazaki Tomotsugu

所属研究機関名：明治大学

部局名：農学部

職名：専任講師

研究者番号(8桁)：00449290

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：矢崎 友嗣 (2016)

ローマ字氏名：Yazaki Tomotsugu

研究協力者氏名：佐藤 奏衣

ローマ字氏名：Sato Kanae

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。