

学位論文題名

泥炭地湖沼の水文化学環境の特徴と

それに及ぼす農業活動の影響

学位論文内容の要旨

泥炭地に形成された浅い止水域(泥炭地湖沼)の湖水の化学性は、他の成因の湖沼(例えば、カルデラ湖や堰止湖など)とは大きく異なり、泥炭土壌水の化学性を反映して酸性、貧栄養で、溶存性有機物が多く、ミネラルイオン濃度が低いという特徴を有する。泥炭地湖沼は様々な生物の生息場を提供するほか、流入した栄養塩や種々のミネラルイオンを蓄積させる役割を果たしている。現在、地球上の泥炭地の大部分が分布する温・寒帯地域では、農地開発や植林などによって総泥炭地面積の約16%が既に消失し、多くの泥炭地湖沼が排水や埋立てにより消失しつつある。また、残存する泥炭地湖沼でさえも、人為的攪乱に伴う富栄養化や魚類種組成の変化が報告されており、今後の更なる生態系の劣化が懸念されている。

この問題を受け、最近では泥炭地湖沼の生態系保全・修復事業が国内外を問わず実施されつつある。しかし、泥炭地湖沼の生態系だけでなく、その基盤となる水文化学環境の研究さえも少ない。とくに、水・物質収支を調べた例はほとんどなく、泥炭地湖沼の水文化学環境の健全性や、それに及ぼす人為的攪乱の影響も定量的に評価されていない。そのため、保全・修復事業も定性的知見に基づき試行錯誤で行われているのが実態である。

本研究では、とくに知見の少ない北海道の沖積低地に成立した泥炭地湖沼を対象に、泥炭地湖沼の水文化学環境の特徴とそれに及ぼす人為的攪乱の影響を、水・物質収支を用いて定量的に明らかにすることを目的とする。そのために、1) 北海道の泥炭地湖沼で農業活動による劣化が報告されている石狩泥炭地湖沼群を対象に、湖沼水の化学性の現状を把握した。さらに、GIS(地理情報システム)による土地利用の空間解析を用いて、その劣化原因を統計的に明らかにした。2) 人為的攪乱の比較的少ない釧路湿原の赤沼を対象に水・物質収支を調べ、北海道の泥炭地湖沼の健全性を明確にした。3) 石狩泥炭地湖沼群の中でもとくに化学性の劣化が著しい宮島沼の水・物質収支を調べた。赤沼との比較により農業活動が泥炭地湖沼の水・物質収支に及ぼす影響を検討した。4) 宮島沼の水文化学環境を修復するための最適な手法を検討した。

1) 石狩泥炭地に残存する全ての湖沼は、人為的攪乱の小さいと思われる泥炭地湖沼と比べて栄養塩濃度とpHが高く、一般的な化学的特徴が見られなかった。主成分分析を用いて対象湖沼の水の化学的特徴を検討した結果、 $\text{NO}_3\text{-N}$ やミネラルイオンなどの農地からの浸透排水由来の成分と、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、リン、懸濁物質などの地表排水由来の成分に集約された。これらの主成分得点は、流入水路数や水路集水域の農地・水田・畑地面積率との間で有意な正の相関が認められた。また、その相関係数は、融雪、代掻き、灌漑、非灌漑期の各営農段階で異なっていた。以上の結果から、水路か

ら流入する農地排水が湖沼の富栄養化やミネラルイオン・懸濁物質の増加をもたらし、その影響は施肥や代掻きなどの農業活動によって変化すると考えられた。

2) 赤沼の水収支では地表流入・流出水が卓越し、それぞれ全流入水量の76%、全流出水量の85%を占めた。一方、全窒素(TN)・全リン(TP)収支や、ミネラルイオンの指標である Ca^{2+} 収支では、湖底流入水による供給と地表流出水による流出が卓越し、それぞれ全流入の47~97%、全流出の98~99%を占めた。4~11月のTN, TP, Ca^{2+} 流入量はそれぞれ31, 4.2, 31 $\text{mg m}^{-2}\text{day}^{-1}$ 、流出量はそれぞれ24, 1.2, 68 $\text{mg m}^{-2}\text{day}^{-1}$ を示した。北米の泥炭地湖沼に比べて赤沼は水や物質の流入・流出量が多かった。水の流入出が多いのは、赤沼では余剰降水量(降水-蒸発散)が多いためと考えられた。物質の流入量が多いのは、湖底流入水量が多いことに加え、栄養塩やミネラルイオンを豊富に含んだ鉍質土壌が、泥炭層の下に存在するためと考えられた。余剰降水量が多いのは北海道の泥炭地に共通しており、また泥炭層の下層に鉍質土壌を有するのは、沖積低地に成立した泥炭地の一般的特徴と考えられた。したがって、北米の泥炭地湖沼と比べ水文化学環境は大きく異なっていたが、水や物質の流入出が多いという特徴は、北海道の沖積低地に成立する泥炭地湖沼の健全性を示す指標になり得ると考えられた。

3) 宮島沼では水路からの流入・流出水がそれぞれ全流入水量の88%、全流出水量の78%であり、水収支の大半を占めた。水路流入量の大部分は、灌漑用水として供給される河川水に由来していた。宮島沼の水路流入・流出水量は、赤沼の地表流入・流出水量と同程度であり、農地化で失った地表流入・流出水を補償していた。しかし、水の給源が降水から河川水へと変わったため、物質収支は大きく異なった。宮島沼では、4~11月のTN, TP, Ca^{2+} 流入量はそれぞれ63, 3.6, 344 $\text{mg m}^{-2}\text{day}^{-1}$ 、流出量は87, 7, 284 $\text{mg m}^{-2}\text{day}^{-1}$ を示し、赤沼に比べてTNや Ca^{2+} の流入・流出量が2~10倍程度多かった。それに伴い、宮島沼の湖水のTN, Ca^{2+} 濃度は赤沼の3~4倍程度高かった。宮島沼では農業活動に伴う水管理によって、ミネラルイオンや栄養塩の流入量が増加し、水文化学環境が劣化したと考えられた。

4) 宮島沼の水文化学環境の修復手法を検討するため、灌漑用水の流入を止めた場合(ケース1)、灌漑用水を含む水路流入水を止めた場合(ケース2)、ケース2に加え赤沼と同様に集水域をかつての湿原に置き換え地表水を流入させた場合(ケース3)の3つのシナリオを設定し、各ケースの水収支、 Ca^{2+} に着目した物質収支の違いを調べた。ケース1では Ca^{2+} 濃度が高い非灌漑期の農地排水が常時流入するため、湖水の Ca^{2+} 濃度が現状を上回った。ケース2では、全ケースの中で Ca^{2+} 流入量は最小となったが、湖水位は最も低下した。ケース3では、湖水位は現状を上回るほど上昇した。また、地表水の起源となる降水は Ca^{2+} をほとんど含まないため、 Ca^{2+} 流入量はケース2と同様に小さく、 Ca^{2+} 濃度は赤沼と同程度にまで低下した。以上の結果から、湖水位を維持させ、なおかつ Ca^{2+} 濃度を赤沼と同レベルにするためには、灌漑用水の供給をなくすだけでなく、地表水の流入も補償する必要があると考えられた。これは、宮島沼の水文化学環境を赤沼と同様な健全なレベルまで修復するためには、現在の水管理を止めると同時に、集水域の土地利用や地形をも復元する必要があることを示唆していた。

北海道の沖積低地に成立した泥炭地湖沼では、赤沼のように地表流入・流出水が水収支の大半を占め、湖水の栄養塩やミネラルイオンの蓄積を抑制する役割を果たしていると考えられた。これ

に対し、宮島沼をはじめとする石狩泥炭地湖沼群では、集水域の湿原が農地化されて地表流入・流出水がなくなるのに加え、灌漑によって集水域外部の河川から水・物質が流入し、栄養塩・ミネラルイオンの流入量が増加していた。このように、農地造成と水利が泥炭地湖沼の水・物質収支および湖水の化学性を大きく変化させると考えられる。今後の保全・修復には、集水域の湿原を保全すること、集水域外部の河川水などを湖沼に流入させないことが重要であると結論づけられる。

学位論文審査の要旨

主査	教授	平野	高司
副査	教授	波多野	隆介
副査	准教授	井上	京
副査	助教	山田	浩之

学位論文題名

泥炭地湖沼の水文化学環境の特徴と それに及ぼす農業活動の影響

本論文は5章からなり、図50、表26、引用文献270を含む166ページの和文論文で、参考論文4編が添えられている。

泥炭地湖沼は生物多様性にとって重要な役割を果たしているが、多くの泥炭地湖沼は排水や埋立てによりすでに消失した、あるいは消失しつつある。また、残存する泥炭地湖沼でも富栄養化が進んでおり、さらなる生態系の劣化が懸念されている。そのため、生態系保全・修復事業が実施されているが、泥炭地湖沼の水文化学環境に関する研究は少なく、水・物質収支を調べた例はほとんどない。本論文では、北海道の沖積低地の泥炭地湖沼を対象に、水文化学環境の特徴とそれに及ぼす人為攪乱の影響を、水・物質収支を用いて定量化することを目的とした。そのために、1) 石狩泥炭地湖沼群を対象に、湖沼水の化学性の現状を把握するとともに、土地利用の空間解析により劣化原因を明らかにした。2) 人為的攪乱の少ない釧路湿原の赤沼を対象に水・物質収支を調べ、自然条件の泥炭地湖沼の水文化学的特徴を明らかにした。3) 特に劣化が著しい宮島沼の水・物質収支を調べ、赤沼との比較により農業活動が泥炭地湖沼の水・物質収支に及ぼす影響を検討した。4) シミュレーションにより宮島沼の水文化学環境を修復するための手法を検討した。

石狩泥炭地の湖沼では栄養塩濃度とpHが比較的高く、泥炭地湖沼の一般的な化学的特徴がみられなかった。主成分分析の結果、湖沼水の化学的特徴は $\text{NO}_3\text{-N}$ やミネラルイオンなどの農地からの浸透排水成分と、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、リン、懸濁物質などの地表排水成分に集約された。これらの主成分得点は、流入水路数や水路集水域の農地・水田・畑地面積率との間で有意な正の相関を示し、その相関係数は、融雪、代掻き、灌漑、非灌漑期の各営農段階で異なった。以上より、水路から流入する農地排水が湖沼の富栄養化やミネラルイオン・懸濁物質の増加をもたらし、その影響は農業活動によって変化することが明らかとなった。

赤沼の水収支では地表流入・流出水が卓越した。一方、全窒素・全リン収支や、ミネラルイオンの指標である Ca^{2+} 収支では、湖底流入水による供給と地表流出水による流出が卓越した。北米の泥炭地湖沼に比べて赤沼は水や物質の流入・流出量が多かった。水の流入出が多いのは、余剰水量（降水－蒸発散）が多いためであり、物質の流入量が多いのは、湖底流入水量が多いことと、栄養塩やミネラルイオンを豊富に含んだ鉍質土壌が泥炭層の下に存在するためと考えられた。このような環境は、北海道の沖積低地に成立した泥炭地の一般的特徴である。

水質劣化が顕著な宮島沼では、水路からの流入・流出水が水収支の大半を占めた。水路流入量の大部分は、灌漑用水として供給される河川水に由来していた。宮島沼の水路流入・流出水量は、赤沼の地表流入・流出水量と同程度であり、農地化で失った量を補償していた。しかし、水の供給源が降水から河川水へと変わったため、物質収支は大きく異なり、宮島沼は赤沼に比べて全窒素や Ca^{2+} の流入・流出量が 2～10 倍多く、全窒素、 Ca^{2+} 濃度は赤沼の 3～4 倍高かった。

宮島沼を例として湖沼の水文化学環境の修復手法を検討した。灌漑用水の流入を止めた場合（ケース 1）、水路流入水を全て止めた場合（ケース 2）、ケース 2 に加え集水域を湿原に置換した場合（ケース 3）を設定し、各ケースの水収支、 Ca^{2+} に着目した物質収支を調べた。ケース 1 では湖水の Ca^{2+} 濃度が現状を上回った。ケース 2 では、 Ca^{2+} 流入量は最小となったが、湖水位は最も低下した。ケース 3 では、湖水位は現状よりも上昇し、 Ca^{2+} 濃度は赤沼と同程度まで低下した。以上より、湖水位を維持し Ca^{2+} 濃度を赤沼と同程度にするには、灌漑用水の供給を止めるだけでなく、地表水の流入も補償する必要があることが明らかとなった。

赤沼の結果より、北海道の沖積低地の泥炭地湖沼では、本来、地表流入・流出水が水収支の大半を占め、湖水に栄養塩やミネラルイオンが蓄積されないことを明らかにした。一方、宮島沼をはじめとする石狩泥炭地湖沼群では、集水域の農地化に加え、灌漑によって集水域外の河川から水・物質が流入し、栄養塩・ミネラルイオンの流入量が増加していた。農地造成と水利が泥炭地湖沼の水・物質収支および湖水の化学性を大きく変化させることが明らかとなり、泥炭地湖沼の保全・修復には、集水域の湿原の保全と、集水域外の河川水を流入させないことが重要であると結論づけることができた。このような知見は、湿原生態系の保全・修復のための科学的基礎を与えるものであり、環境調和型農業を目指す農業土木分野をはじめ、水文学、陸水学といった地球物理化学分野にとっても価値の高いものである。よって、審査員一同は木塚俊和が博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。