

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20510214

研究課題名(和文) 砂丘湖の富栄養化に及ぼす周辺農業の影響の解明と生態系保全対策

研究課題名(英文) Researches on the effects of agricultural activities on sand dune lakes and measures to protect a lake ecosystem

研究代表者

福原 晴夫 (FUKUHARA HARUO)

新潟大学・人文社会・教育科学系・教授

研究者番号：50108007

研究成果の概要(和文):新潟県、秋田県の31砂丘湖の富栄養化を中心とした水質の現状調査、貴重種(アサザ、オニバス等)や優占種(ヒシ、ハス)などの生活史や分布の調査を行った。周囲でスイカやダイコンが栽培されている典型的な砂丘湖である新潟市佐潟において集中的な調査を行い、農地-肥料-地下水-湧水-水生植物-植物プランクトン-水質の関係の中で、砂丘湖生態系の保全(富栄養化、窒素負荷の軽減、水の華の抑制など)対策のため、ヨシ帯を有する自然湖岸の保全、湖内におけるヒシ群落繁茂の重要性が明らかになった。

研究成果の概要(英文): General surveys on water quality of 31 sand dune lakes in Niigata and Akita Pref. were conducted to evaluate the eutrophication. Life cycle or distribution of some endangered species such as *Nymphoides peltata* and *Euryale ferox*, and dominant species such as *Trapa* spp. and *Nelumbo nucifera* inhabited in sand dune lakes were also studied. Intensive limnological studies of Lake Sagata, a typical sand dune lake in Niigata City, where watermelon, tobacco and Japanese radish are cultivated as main crops on the periphery of the lake, revealed the importance of protection of reed zone around the lake to decrease nitrate nitrogen from the farm land and covering of *Trapa* vegetation to regulate the harmful water bloom by cyanobacteria.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2600,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：資源保全学・自然保全学

キーワード：砂丘湖、富栄養化、硝酸態窒素、湧水、水の華、クロロフィル a、アサザ、ヒシ

1. 研究開始当初の背景

(1) 日本の多くの湖沼の陸水生生態学的研究は、これまで成因的に多いせき止め湖や火山性湖沼など深い、大湖沼を中心に行なわれてきており、平地の浅く、湖岸や湖内植生に貴重な種を含み、周辺環境の影響を受けやすい

砂丘湖の研究は極めて少ない。また、世界的にも砂丘湖は固有種を含む高い生物多様性を有する湿地生態系の一つとされているが (Pollet & Grootaert, 1996; Lammerts et al., 2001), 風や人為的な開発による砂丘列の消

失や生物遷移による変化などにより、その研究の緊急性が求められている（Grootjans ら、1998）。

（２）本邦の成因の判明している約 450 の主な湖沼の内、砂丘湖は新潟県、青森県にそれぞれ約 10 湖沼（Horie, 1962）が分布するとされ、成因的に極めて貴重な湖沼であるにもかかわらず、現状の包括的な調査はこれまでなされてこなかった。福原ら（2008）により青森県、新潟県に分布する 65 の砂丘湖について、水質や富栄養化の現状について概要が明らかにされてきているが、さらに他県に分布する砂丘湖についても現状調査が必要となっている。

（３）砂丘湖は浅いため、ヨシなどの湖岸植生に加えて、湖内の植生も豊富であり、貴重な絶滅危惧種を擁している。例えば、アサザ、ガガブタ、オニバスなどが生育している（福原 2008）。これらを含めて砂丘湖に生育する代表的な生物の生活史などを明らかにすることは、種の保全のみならず生態系の保全にとって重要となっている。

（４）砂丘湖は流入河川を持たず、湧水と雨水のみによって涵養されており、従って周辺の環境の影響を強く受ける。現状調査では多くの砂丘湖の周辺でメロンやスイカ、タバコ、ダイコンなどの多肥料を要する砂丘地農業が行われており、富栄養化などの湖水環境へ影響が懸念される。実際にラン藻類による“水の華”現象が富栄養化の進行しつつある青森県、新潟県のいくつかの湖沼で認められている（福原ら、2008）。従って、水文学的に研究の容易な典型的な砂丘湖において集中的に水質環境を調査することにより、農業の影響と湖水環境の変化の実態を明らかにし、保全に向けての対策を考える必要がある。

2. 研究の目的

（１）砂丘湖及び湧水・砂丘湖生物に関する

現状調査

砂丘湖は新潟県及び青森県に多く分布する。さらに、砂丘湖の富栄養化などの実態を把握するため、新潟県における砂丘湖の現状調査を継続し、秋田県における砂丘湖の現状を調査する。

砂丘湖または流入する湧水で生育する貴重種や優占種の生活史の把握のために、ヒメホタルイ（いくつかの県で貴重種）、アサザ（準絶滅危惧種）、オニバス（準絶滅危惧種）、オオエゾヨコエビ（湧水の優占種）、ヒシ（優占的な浮葉植物）、ハス（優占的な抽水植物）の生活史と分布を明らかにする。

（２）周辺農業の砂丘湖に与える影響の解明のため、典型的な砂丘湖である新潟市「佐潟を対象とした集中調査

農業の影響を推定するために、集水域の設定と周辺農業の現状（作付と施肥量）の調査。

肥料影響の推定のために流入する湧水中の窒素安定同位体比の測定。

湖内における栄養塩の動態の把握のための水質環境の季節変化の測定。

主な水生植物であるハス、ヒシの動態と水質変化の関係の解析。

水収支と窒素収支の推定による脱窒の寄与の推定。

（３）砂丘湖の生態系保全のための浮葉植物の役割の解明

3. 研究の方法

（１）新潟県及び秋田県に分布する 31 砂丘湖において陸水学的調査を行い、特に富栄養化（水の華の発生）の現状を知るためクロロフィル a 濃度を中心に測定した。

（２）陸水環境の調査とともにヒメホタルイ（上越市坂田池）、アサザ（新潟市鳥屋野潟）、

オオエゾヨコエビ（上越市蜘蛛ヶ池湧水）、ヒシ（新潟市佐潟）、ハス（新潟市佐潟）について、短期間間隔の採取調査や栽培実験により生活史を調査した。アサザについては花型の分布、オニバスについては生育状況についても調査した。

（３）新潟市佐潟の集水域内の主な栽培植物の栽培期間、施肥時期と施肥量を知るために文献と現地調査を行うとともに、湖内においては、４地点において約２週間に１回の陸水学的観測を行った。また、湖の周囲の１０湧水地点で過去に採集した試水について、窒素の起源を推定するために窒素安定同位体比を測定した。これまで蓄積されてきた流量や水質等のデータに基づき本佐潟における水収支と窒素収支を求めた。

（４）佐潟における水の華の発生状況を解析するために、航空写真による植生面積（ヒシ、ハス）と水質（クロロフィル a 濃度）の関係の解析を研究期間内及び過去の発表データを使用して行った。

４．研究成果

（１）砂丘湖の現状の新たな知見として、秋田県に分布する小沼、浅内沼、同小沼、三頭沼、蓮沼、萩台山小池、山一の池、鯉端の池及びこれらに流入する湧水の水質の調査を２２年秋期に行った。浅内沼、同小沼、蓮沼でアオコの bloom が観察された（蓮沼 122-293 $\mu\text{g Chl-a/L}$ ）。湧水の EC は蓮沼で 0.282-0.510 (mS/cm)、鯉端の池で 0.349 (mS/cm) と高く、周辺の農業の影響が推定された。また、継続して行った新潟県内 23 砂丘湖沼の 22 年秋期の調査では、クロロフィル a 濃度は 2.1 (上佐潟) - 589 (金池) ($\mu\text{g/L}$) であり、5 湖沼で植物プランクトンの

bloom が観察された。これらの結果は、砂丘湖の富栄養化の進行を示すものである。

（２）砂丘湖に生育する貴重種や湧水の優占種の保全にかかわる生活史や分布について、基礎的な知見を得た。

ヒメホタルイ (*Schoenoplectus lineolatus*) は両性植物の一種で、新潟県をはじめ 11 都道府県で水辺の貴重種となっており、砂丘湖である上越市坂田池では比較的多く自生している。同湖においては４月下旬より稈が主に殖芽から成長をはじめ、１月にはほぼ全部が枯死する栄養繁殖を主に行うが、種子からの繁殖も 8.99 % (湿地) あった。有性生殖は湿地状態で行われ、沈水状態では殖芽による無性生殖が行われたが、継続した沈水条件においても小穂、種子が形成され、沈水状態下でも有性生殖を行う可能性が初めて示唆された。沈水条件から湿地条件に移ると短期間で小穂をつけ、有性生殖を行うことより本種の遺伝的多様性の維持には水位変化が極めて重要であることを明らかにした。

アサザ (*Nymphoides peltata*) は準絶滅危惧種であり、新潟県では４湖沼中３砂丘湖でのみ自生し、砂丘湖が重要な生育地であった。最も生育面積の広い鳥屋野潟において生活史調査を行った。４月中旬から越冬地下茎からの生育が開始され、８月下旬に葉面積が最大 (1.52 ± 0.48 , $n=5$) となり、その後現存量は減少し、１２月下旬には数枚の水中葉をつけて越冬した。開花は遅く 9 月上旬から 10 月中旬までであった。25 群落が分布し、県内最大の計 2.7ha の生育を認めた。アサザの異型花の分布では、県内には等花柱花が鳥屋野潟、十二潟（砂丘湖ではない）に短花柱花が坂田池、北山池に分布し、長花柱花は分布しなかった。このことは適法受粉による種子形

成が起こらなく、遺伝的多様性が低下する可能性を示唆する。鳥屋野潟のアサザについては過去に短花柱花と報告されていた(上杉ら, 2009)ことから花型の変化が起こった可能性が推定されるという注目すべき結果が得られた。

オオエゾヨコエビ(*Jesogammarus jesoensis*)は上越市に位置する砂丘湖蜘蛛池に流入する湧水の優占種であり、2地点での個体群動態、生活史調査の結果、水温が一定の環境下でも、生活史が同調する傾向が認められるという結果を得た。体長を用いた世代解析から、10月から翌年の12月にかけて成長する約15ヶ月の生活史を持つことを明らかにした。

オニバス(*Euryale ferox*)は準絶滅危惧種であり、期間内の分布調査では23砂丘湖沼中3湖沼でのみ分布を認めた。2010年は(本)佐潟でここ約15年間で最大の生育株数(900株以上)となり、大きな生育面積を占めたが、突然の繁茂の原因は不明であった。

ヒシ(*Trapa* spp.)は砂丘湖では、多くの湖沼で優占種となっている。新潟市佐潟において動態の調査を行った結果、ヒシは5月上旬より生育を開始し、6月下旬から活発な成長を示し、8月下旬から9月中旬に最盛期(葉面積指数 = 7.68(±1.32) ~ 6.05(±1.72))となり、9月下旬以降急激に現存量を低下させる変化を示した。

ハス(*Nelumbo nucifera*)も砂丘湖では、多くの湖沼で優占種となっている。新潟市佐潟において動態の調査を行った結果、ハスは5月上旬より浮葉が出現し、6月中旬から急激に抽水葉を展葉させ7月下旬に最盛期(葉面積指数 = 1.47(±0.73))となり、9月上旬から急激に枯死することを明らかにした。

(4) 佐潟は上佐潟と流路でつながる本佐潟(面積 0.35 km², 深さ: 0.5-1.5 m)からなり、

新潟新砂丘、により囲まれた典型的な砂丘湖の様子を呈する。両湖とも大部分湧水で涵養されている。これまで多くの報告がなされており、本研究では期間内の調査とともに過去に得られた試水の分析、文献調査を加えて、集中的に本佐潟を主な対象に調査を行い、以下の成果を得た。

本佐潟の集水域は2.06 km²ありそのうち作付可能面積は約75%で、各種栽培指針、聞き取り・現場調査から、主な栽培品は春作でスイカ・メロン(4月中-7月)、タバコ(4月-8月)が合わせて約70%、秋作でタバコ(8月中-12月中)が約55%であった。それぞれの推定標準窒素施肥量は12.5、20.0、25.2(kg/10a)となり、施肥時期と湧水中の窒素濃度の変動との関係を解析した。

佐潟周辺の湧水中の硝酸態窒素濃度は高く、最大約30 mg N/Lで約40%の地点で地下水基準値10 mg/Lを超えることが報告されている(福原・根本2008)。10地点で採水した季節変化の試水について行った安定同位体比分析では、N15の変動が-2.02~9.26%であり、肥料成分からの流出の可能性の大きいことを明らかにした。湧水中の硝酸態窒素はヨシ帯を通過する過程で50-70%吸収と脱窒反応で減少することが明らかにされており(Nemoto et al., 2009)砂丘湖の周囲のヨシ帯の重要性が示唆される。

新潟県における砂丘湖の陸水生態学的な諸報告より、佐潟においては高等植物相385種、昆虫相787種、爬虫類・両生類相16種が記録され、鳥屋野潟などの他湖沼と比較して極めて多様性に富むことが明らかとなった。

4地点月約2回の集中的な湖内の観測結果では、硝酸態窒素に着目すると、流入口では窒素の変動は0.29~5.25 mgN/L(1月~12月)であり、湖内には入ると急激に低下し、開水

面では痕跡～0.72 mgN/L(4月～12月), 流出口では痕跡～1.89 mgN/L(1月～12月)となり、流下するにつれて硝酸態窒素濃度は低下することが明らかとなった。いずれも秋冬に高く、春夏に低下した。この変動をもたらす原因は(2) で述べたハスとヒシ、植物プランクトンによる吸収によるものと推定された。クロロフィル a 濃度は、流出口では夏季に最大 360 μg/L(2009年6月下旬)に達し、*Microcystis* による bloom(水の華)が発生した。本湖では冬季においてもクロロフィル a 濃度が 150-300 μg/L と高い値を維持することが明らかとなった。

本佐潟の流入口及び流出口において、水位変化及び流量の連続観測を行った過去の結果と窒素成分の測定より、水収支から窒素収支を予察的に解析したところ、湧水からの流入窒素の約 30%が脱窒素反応により空中に飛散することが明らかとなった。予備実験から求めた脱窒素量は 20mg N/m²/day と推定され、収支から求めた 50mg N/m²/day と良い一致を示した。

(5) 過去に採集されたサンプルの測定から、8月のクロロフィル a 濃度の高い年には *Microcystis*, *Anabaena*, などの藍藻類の割合が高く(80%以上), 逆にクロロフィル a 濃度が 25～100 μg/L の低い年には藍藻の bloom が形成されないことが判明した。そこで、(4) より夏季の植物プランクトンの増殖を制限する要因として、ヒシ、ハスの生育面積と8月のクロロフィル a 濃度の関係を空中写真から判定できる9年間分について、解析したところ、ヒシの生育面積との間でのみ有意な相関を示した($R = -0.841, P < 0.005, n = 9$)。このことは、藍藻類の bloom がヒシの繁茂の状況によって制御されている可能性を示し、浮葉植物群落に初めて応用した PVI

指標(湖容積に占める水生植物の容積の割合)で 25%を超えた場合に効果があるという結論を得た。この値は、藍藻類による水の華の抑制に応用的出来る可能性がある。

(6) 窒素肥料などの溶脱により周囲の農業の影響を受ける富栄養化の進んだ砂丘湖の場合、将来的に施肥量の軽減が最も重要であるが、本研究により、農地-肥料-地下水-湧水-水生植物-植物プランクトン-水質の関係の中で、砂丘湖生態系の保全(窒素負荷の軽減、植物プランクトンによる水の華の抑制、富栄養化の防止など)対策のため、周囲に豊富なヨシ帯を有する自然湖岸の保全と再生、湖内におけるヒシ群落繁茂の重要性を明らかにすることができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

北林美帆・戸田任重(2011): 安曇野わさび田湧水群・まつもと城下町湧水群で見られる硝酸態窒素の起源. 環境科学年報(信州大学) 査読無し、33:印刷中
福原晴夫・根本富美子・竹内蓉子・高井直子・村井麻子・他2名(2010): 砂丘湖・上佐潟(新潟市赤塚)における水質の季節変化について. 新潟県湖沼の陸水生生態学的研究 XIII. 新潟大学教育学部研究紀要(自然科学), 査読無し、2(2): 31-42.

Nemoto, F. Y. Takeuchi, A. Saito, E. Niino, C. Sato, T. Maruyama and H. Fukuhara (2009): Decrease in nitrate concentrations in spring water through the reed zone around a sand dune lake. Verh. Int. Ver. Limnol., 査読有り 30(7): 1141-1147.

根本富美子・小野美幸・福原晴夫(2009): 淡水域の Chlorophyll-a 測定におけるエタノール抽出条件の検討. 新潟大学教育学部研究紀要(自然科学), 査読無し、1(2):101 - 105.

福原晴夫・木村直哉・根本富美子・戸田任重・野原精一・大高史(2008): 新潟県における砂丘湖の現状. 新潟大学教育学部研究紀要(自然科学), 査読無し、1(1):13 - 29.

〔学会発表〕(計 21 件)

根本富美子他 2008. 本佐潟における窒素成分の季節変化と収支について－砂丘湖・佐潟における陸水生態学的研究 XV 第 73 回日本陸水学会大会. 札幌、10 月 11 日.

Nemoto, F. et al. 2008. Nitrogen impact from the farmland on eutrophication of a shallow sand dune lake: Lake Sagata, Japan. 8th INTECOL International Wetlands Conference 20-25 Aug. 2008 Cuiaba, MT Brazil. Presentation: 21 Aug.

林功一郎他 2008. 両生植物ヒメホタルイ (*Schoenoplectus lineolatus*) の生活史について. (3) 坂田池における成長. 第 34 回日本陸水学会甲信越支部会、松本、11 月 22 日.

土田祥子他 2008. 近接した二つの湧水地におけるオオエゾヨコエビの生態. 湧水の環境とオオエゾヨコエビおよびナミウズムシの密度の季節変化. 第 34 回日本陸水学会甲信越支部会、松本、11 月 22 日.

高桑美奈他 2008. 近接した二つの湧水地におけるオオエゾヨコエビの生態. オオエゾヨコエビの生活史とナミウズムシによる捕食. 第 34 回日本陸水学会甲信越支部会、松本、11 月 22 日.

福原晴夫. 2008. 鳥屋野潟の植物. 新潟市鳥屋野地区公民館「自然と環境」講座. 新潟市、8 月 26 日.

北林美帆他 2009. 安曇野わさび田湧水群・松本城下町湧水群における硝酸態窒素の起源. 第 35 回日本陸水学会甲信越支部会、精進レークホテル(山梨県)、11 月 29 日.

枝村佳奈他 2009. 富栄養湖における水質とクロロフィル a 濃度, 大型水生植物の現存量の関係. 砂丘湖・佐潟における陸水生態学的研究 XVI. 第 35 回日本陸水学会甲信越支部会、精進レークホテル(山梨県)、11 月 29 日.

高桑美奈他 2009. 近接した二つの湧水地(新潟県潟町砂丘湖沼群・蜘蛛池)におけるオオエゾヨコエビの個体群動態. 第 74 回日本陸水学会大会, 大分大学(大分県), 9 月 16 日.

Fukuhara H. et al. 2009. Nitrogen dynamics in a sand dune lake, L. Sagata (Niigata, Japan) fed by spring water with heavy nitrate pollution. 14th International Symposium on River and Lake Environments, Shinshu Univ. (Ueda), August 2009.

福原晴夫. 2010. ヒシの消えた湖、鳥屋野潟 浚渫の影響か? 第 75 回日本陸水学

会大会. 弘前市、9 月 19 日.

高桑美奈他 2010. 湧水地(新潟県潟町砂丘湖沼群・蜘蛛池)におけるオオエゾヨコエビの個体群動態. 第 75 回日本陸水学会大会. 弘前市、9 月 18 日.

竹内 希他 2010. アサザ (*Nymphoides peltata*) の異型花柱性と新潟県における異型花の分布. 第 36 回日本陸水学会甲信越支部会、小諸市、11 月 28 日.

菅井銀太他 2010. 鳥屋野潟におけるアサザの生活史と分布. 第 36 回日本陸水学会甲信越支部会、小諸市、11 月 28 日.

斎藤梨絵 2010. 他 鳥屋野潟(新潟県新潟市)に流入する栗ノ木川の水質の現状. 栗ノ木川および栗ノ木川に流入する主要排水路の水質. 第 36 回日本陸水学会甲信越支部会、小諸市、11 月 28 日.

〔図書〕(計 1 件)

福原晴夫 2009. 鳥屋野潟の水生植物 水生植物の変化を中心に－. 広文堂, pp29.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福原 晴夫 (FUKUHARA HARUO)
新潟大学・人文社会・教育科学系・教授
研究者番号: 50108007

(2) 研究分担者

戸田 任重 (TODA HIDEHIGE)
信州大学・理学部・教授
研究者番号: 60291382

(3) 協力研究者

木村 直哉 (KIMURA NAOYA)
株式会社グリーンシグマ・研究員