

八郎湖への海水導入のメリットとデメリット

秋田県立大学 生物資源科学部

近藤 正

はじめに

かつて我が国第二の面積に湖水を湛えていた汽水湖八郎潟は1964年に湖水面積の約8割が干拓され、1/5の残存湖は淡水湖の八郎湖へと変わった(図1 a)。八郎潟の干拓後に残された湖水域は、南側の調整池、東から北側にかけての東部承水路と、西部承水路と名付けられ、これらを合わせて八郎湖と呼んでいる。八郎湖は防潮水門で日本海と仕切られ、淡水化された湖水は水田用水を中心に干拓地などで利用されている(図1 b)。

汽水湖から淡水湖への急激な水性の変化に加え、灌漑期に貯水量確保のための50 cmの水位上昇を行う湖水位管理¹⁾、干拓堤防の造成で沿岸部の水深が急に深くなる急勾配化、中央干拓地への灌漑用水の取り入れと干拓地からの排水で湖水量の2倍以上を夏期に循環させる湖水の循環利用など、湖水域の管理と構造は大きく変化した。集水域では農地が新たに13,000 ha造成され、八郎湖への汚濁負荷が大幅に増加した。

干拓後すぐにアオコが確認され、1978年には湖面全域でアオコが大発生し、八郎湖の富栄養化が顕在的な問題となった。現在八郎湖は、平年では少なくとも湖水が年約10回入れ替わるだけの山地流域からの河川流入があるものの、毎年夏季にアオコが全域で大発生する富栄養化した湖となっ

た。2007年12月、全国11番目の指定湖沼に指定され対策が検討されるが、改善は遅々として進んでいないのが現状である。

しかし、干拓後に一度だけ1987年9月に海水が八郎湖に湖水量の1/10程度、塩水くさびによりほぼ全域に流入し、その後の5年間ヤマトシジミが大発生し、それとともにアオコの大発生が治まるという現象が起きた²⁻⁹⁾。6年目となる1993年にはCOD値の上昇とアオコ大発生の再発があり、それ以降高濃度での汚濁状態が続いている。この一時的な海水の流入現象は、海跡の干拓残存湖としての八郎湖特有の地理的、生態的な条件によるといえるもので、湖水環境の改善への新たな可能性が示されたと見ることもできる。この地理的、生態的な条件については本論の前提条件でもあり整理し後述する。八郎湖周辺のアオコによる悪臭や利水被害、漁業被害や地場産業の衰退と人口減少などに悩む関係市町村議会において、海水を八郎湖に流入させること(以下「海水導入」と記す)に関する要望・意見が複数の市町で議題となる^{10),11)}など、漁業と農業の再生と共生による地域産業振興と湖水のアオコ被害改善への期待が示された。しかし、海水導入については、利水上や施設管理上などの様々な立場からの心配もあり、注意すべき点などの課題と適正な海水導入方法や効果につ

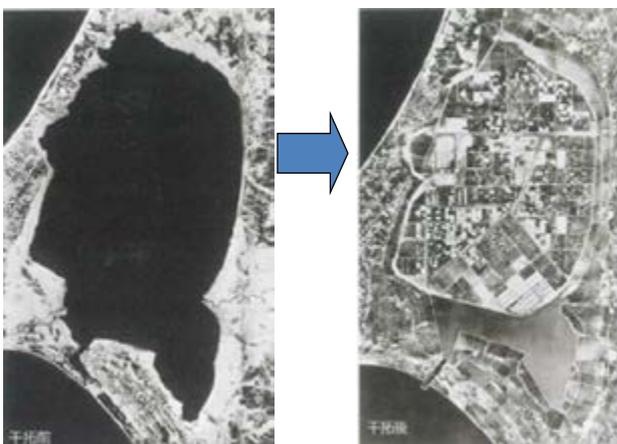


図1 a 八郎潟の干拓による湖水域の再編
(大潟村提供)



図1 b 八郎潟干拓地の概要

いての共有ができていないことなどが議論の停滞を招いていることも伺われた。

そこで本稿では八郎湖の新たな水環境の管理方法としての海水導入による湖水環境改善を検討する場合について、そのメリットとデメリットを整理するとともに、関連する範囲で、管理・制限すべき期間や水域、プロセスや課題など、推定される条件についても触れることとする。流域の合意を基に、持続的な社会的共通資本としての八郎湖の再生に向けた新しい湖水の管理方法を模索・開発する上での議論に資することを目的としたい。

1. 完全淡水化された干拓残存湖、八郎湖の汚濁要因の特徴とその実態

海水の完全遮断による淡水管理が干拓事業における水資源管理の基本であったが、富栄養化とアオコの大発生までは予想できなかった。資源循環と持続的な発展が新しい基軸として求められ必然視されている今日、水環境の保全と水利用の両立についても、持続性を指標とした新しい可能性の追求が必要である。

そこでまず八郎湖の水質汚濁の本質的な原因を捉え直すことで、海水導入という対策案の位置付けを確認したい。現在の八郎湖特有の汚濁原因は大きく次の3つに括ることができよう。

1) 閉鎖化と淡水化そのものが原因となった汚濁

一つ目として、地理的な立地条件からみた八郎湖の形成についてで、感潮域にある海跡湖、八郎潟の干拓による開発でできた点であり、二千年以上かけて形成された汽水システムを急激で強制的に淡水化・貯水池化したという点をあげる必要がある。海水の遮断と貯水池化に伴って失ったものとしては、地理的な環境条件に適合し形成されてきた生態システムによる物質循環バランス、特に自然の浄化機能の消滅が大きい。湖底土の形成として延々と続いてきた海水の部分的流入（汽水現象）による塩分の作用としての有機質の沈降・堆積による栄養塩類の固定化も機能しなくなった。

さらに、汽水湖の生態系による物質循環を基に営まれてきた地域産業として、汽水環境を基盤とした漁業や藻類の収穫といった湖内の生物捕獲による湖岸地域の経済・産業活動とこれに伴う養分の持ち出しが安定的な湖水の養分循環の維持に寄与していた¹²⁾がこれも消滅した。

一方で、淡水下での新たな浄化機構はほとんど構築されておらず、内水面漁業は衰退し続け、十

分な栄養分を湖内からの持ち出す新しい経路が形成されないまま富栄養化状態に陥っており、干拓後八郎湖の水質は悪化の一途を辿っている。

2) 汚濁負荷の流入速度の大幅な増大

二つ目として、汚濁負荷の流入速度と流入量が大幅に増加したことが挙げられる。農地面積の倍増以上の大幅な増加とそこで行われる集約型の大規模経営による農地からの排水は、水域への排出負荷（面源負荷）を大幅に増加させた。加えて湖水面積と水量の減少で湖水への流域負荷の影響度が増大した。干拓後の農業生産活動には社会経済的な要因も影響する。周辺農地でも米価が下落する中でコスト削減のための農業生産方式の大型化、大規模化が進められ農地排水による八郎湖への汚濁負荷の流出を強めてきた。

加えて海水遮断と灌漑期の湖水貯留による閉鎖度の強化も重なり、汚濁成分となる栄養塩類が湖内に集積し富栄養化を強めた。

3) 流域農林水産業の公益的機能の劣化

三つ目として見逃せないのが河川流域農林水産業の公益的機能¹³⁾の劣化である。これは多面的機能とも言われる森林土壌や生態系による降雨の保水機能や洪水調節機能などのダム機能、河川流量の安定機能や地下水涵養機能などの水源涵養機能などである。水源涵養機能を果たしていたブナを主体とする国有林の民営化による伐採、農産物に先立つ輸入自由化の影響による木材価格の下落と人工林の荒廃が森林土壌圏の水文特性を変化させ公益的機能を劣化させてきたことが懸念される。

また中山間地域の水田の荒廃も多面的機能を消失させている。地下水涵養力や水田のダム機能、洪水防止機能、地下水や水源涵養機能、水質浄化機能、河川流況安定化機能（基底流量の安定化）、地すべり防止機能等の国土保全機能や水資源涵養機能などの劣化である。これにより洪水時の濁水流出と流出ピークの激化、渇水時の河川流量の減少で、清澄な河川水の八郎湖への供給の安定性が低下するなど富栄養化を後押ししてきたと考えられる。

この他の原因については、例えば他の指定湖沼などで対策が講じられている点源対策や下水道対策などは、八郎湖においても順調に進められているので割愛する。八郎湖の汚濁の主な要因が面源負荷、特に農地負荷が主である点は他の指定湖沼の汚濁要因と大きく異なる特徴であり、上記の3

要因は八郎湖の対策にとって重要な観点であろう。

これらの汚濁原因が、それぞれ人為的要因と自然的要因とを複雑に受けたかたちで、また気候的な変動要素も含めて、その影響量や影響度合いも時間変化を伴った現象として、八郎湖の富栄養化とアオコの発生に影響しているものと考えられる。毎年3月までには雪解け水の流入などにより、湖水中の栄養塩類濃度は環境基準値 (T-N 0.6 mg/L、T-P 0.05 mg/L) よりも低濃度となるが、その経過や栄養塩類濃度の変動パターンは、毎年の水文条件に左右されるものの、毎年夏季には全域でアオコが発生し、また夏季に向けて干拓地からの汚濁負荷の供給と拡散などの影響も受け栄養塩濃度の著しい上昇が生ずる (図2)。

図3は、著者の測定により2004年から2011年にかけての八郎湖における栄養塩類の蓄積状況を推測するために、八郎湖への流入負荷と八郎湖から日本海への放出負荷を求め、八郎湖における水の出入りによる栄養塩の収支から蓄積量を示したものである。河川水、湖水は週2～4回、中央干拓地排水は概ね毎日濃度を測定し負荷量を求めたもので、窒素固定や脱窒については加味されていないが、八郎湖での窒素やリンの蓄積オーダーを示唆するものとする。8年間で窒素2,000 t、リンは400 t以上もの蓄積があることになり、蓄積の抑制には、窒素では年間200t規模の除去が必要であり、リンについても年間50t規模の除去が必要となる。

期別では5月から7月にかけての灌漑期に日本海への放流量が減るとともに干拓地負荷の影響を強く受けて増加を示している。これはアオコの発生時期とも重なっており、アオコを少しでも抑制するにはこの時期の汚濁負荷の削減とともに有用な生物相への取り込みなどによる安定的な除去が重要な対策となる。

2. 海水の出し入れを可能とする水域の構造的特徴と生態系の反応の可能性

次に海水の出し入れを可能とする水域の構造的特徴と生態系の水質改善に効果的な反応の可能性について確認しておきたい。これは海水導入のメリット、デメリットを考える上での前提とも考えられる。八郎湖の特徴は、河口部における河床勾配が海水の流入条件を充たしている点である。基本的な湖底地形・標高差は干拓以前とほとんど変わっておらず湖底も海面よりはるかに低いことに加え、海からの流入経路である船越水道は、河床も低く、干拓前より大幅に短縮、拡幅され、海岸線との接続角度もほぼ直角であること、日本海の潮位と現行管理下の湖水位の差が非灌漑期であれば15 cm程度とわずかなこと、河川流量など水文条件として少流量期間が頻繁にあることなど、塩水くさびにより海水が湖内へ流入できる地理的条件が揃っている。図4は、2018年10月6日の防潮水門管理と水面の様子である。台風の接近に伴い湖水位の調整のため4門を開門しているが、防潮水門の上・下流で水位差がなくなった様子で、潮位と湖水位がフラットとなり流速もほとんどない状態である。この後、台風25号の接近で閉門され潮位と湖水位が逆転し潮位が高くなったことが湖水管理記録からも見て取れる (図5)。

もう一つ、生態的条件から見た海水流入の効果の可能性の有無についてである。これを示す事例として、過去に海水が流入しヤマトシジミが大発生した経緯は八郎湖の重要な経験となって記録されている。1987年8月31日から湖水量の1/10程度が2日間程度で流入したのち、2ヶ月間程の塩分濃度の上昇と低下があった。翌年の稲作のための淡水資源の確保には影響がなかったものの、大潟村F2用水の取水地点付近の正面堤防浸透水を

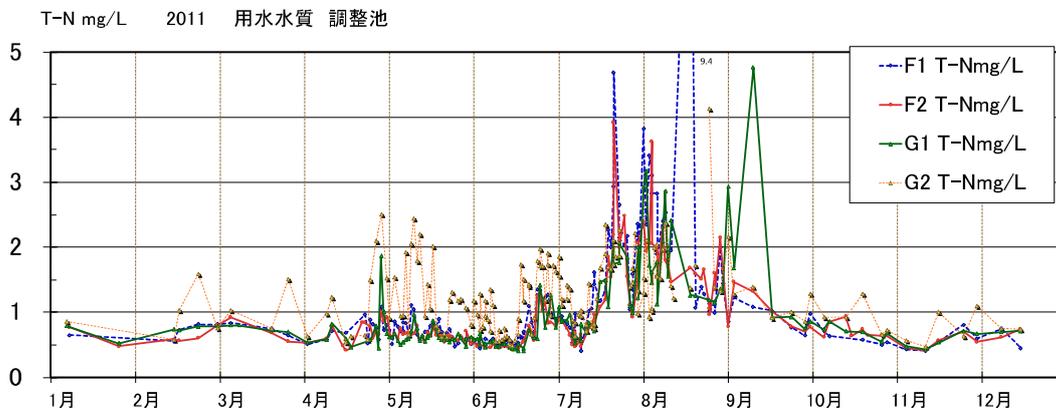


図2 八郎湖中央干拓地の農業用水中の窒素濃度の変動
2011年 調整池掛かり干拓地用水

水源とする大潟村の水道にかなりの塩分が10月頃から2ヶ月程の間混入した。しかしこの海水の流入を契機にヤマトシジミが大発生し、翌年以降5年間アオコの大発生がなく、ヤマトシジミは海水流入から3～5年の間、漁獲量としても計3万tを超え、単年度では1991年に1万tの漁獲があり穴道湖中海を抜いて全国第一位の漁獲量が記録さ

れた(図6)¹⁴⁾。この年の漁獲高は100億円を超えたと推定される。ヤマトシジミの捕獲による栄養塩の除去効果は穴道湖の測定例¹⁵⁾を参考にすると窒素で約40t規模、リンでも3t規模が見込まれ、生存個体群の蓄積能力も含めるとその効果は、汚濁負荷の蓄積規模のかかなりの割合を占めることになるであろう。

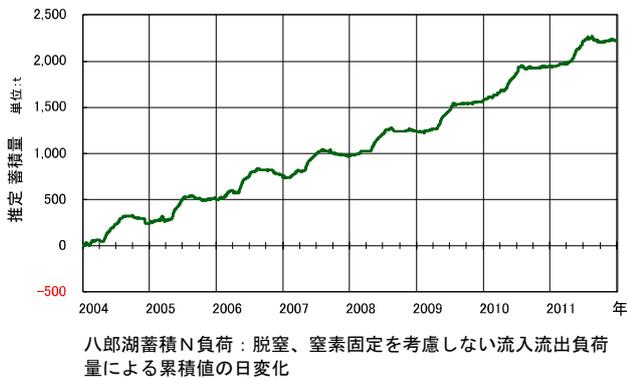


図3 八郎湖における窒素(左)およびリン(右)の蓄積状況



2018/10/6 13:00~13:10

図4 a 八郎潟干拓地防潮水門、湖水位の低下で水位差と流速が低下した様子



図4 b 平常時(左)と台風時(右)の防潮水門の様子

海水の流入はゲート操作のみで可能であり、ヤマトシジミという汽水の生態系の再生がそれによりできる可能性が高いという、海水を導入する前提の条件は揃っている。このことから、八郎湖の場合、水質改善の一方策として海水の導入を検討することは価値あるものと思われる。しかし、一度だけの産卵行動で終わったことで海水流入から7年後の1994年には急激な水質悪化とCOD値の上昇が起きたこと、海水流入の数ヶ月後に堤防浸透水を水源とする大潟村上水道に影響が及んだことを勘案すると、デメリットをしっかりと整理しておく必要がある。継続的で安定した浄化生物として期待するところのヤマトシジミの産卵と稚貝の再生産を高い精度で実現することや、八郎湖の水質改善という共通目的の元での流域市町村の合意と

協力で大潟村の新しい水道水源を確保し原水を安定供給することが前提条件として重要であろう。2018年に改定された水道法では広域化の中で県の役割が明文化されており、市町村を超えた流域的協同で八郎湖を水源とする水道、特に大潟村の水道水源の安定供給という県民福祉の向上と大潟村民の生存権の保障において、秋田県の役割発揮に期待するところが大きい。そして、海水が流入した翌年の湖水利用には影響がなかったが、干拓の目的である農業利水への影響を確実に回避できるよう水文条件を検証した上での部分的で計画的な高度に管理された海水導入でなければ合意形成は困難であろう。これらを前提として次に海水導入によるメリットとデメリットについて少し詳しく見ていきたい。

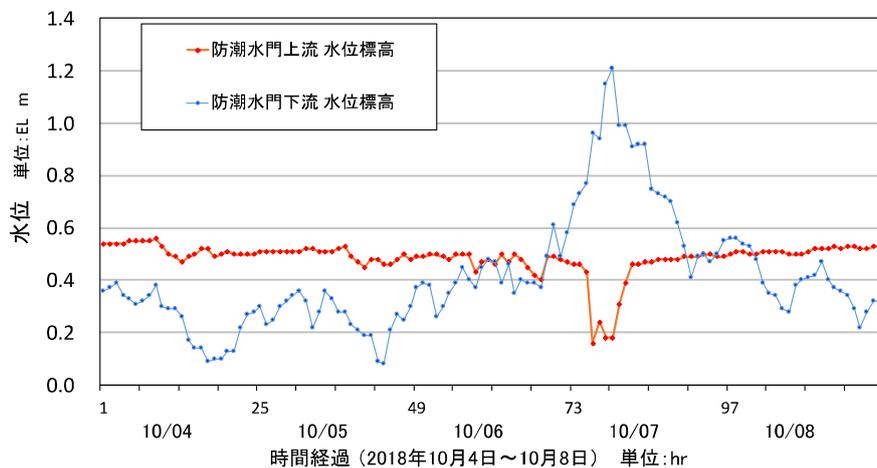


図5 台風の接近で潮位と湖水位が逆転した事例 2018年台風25号

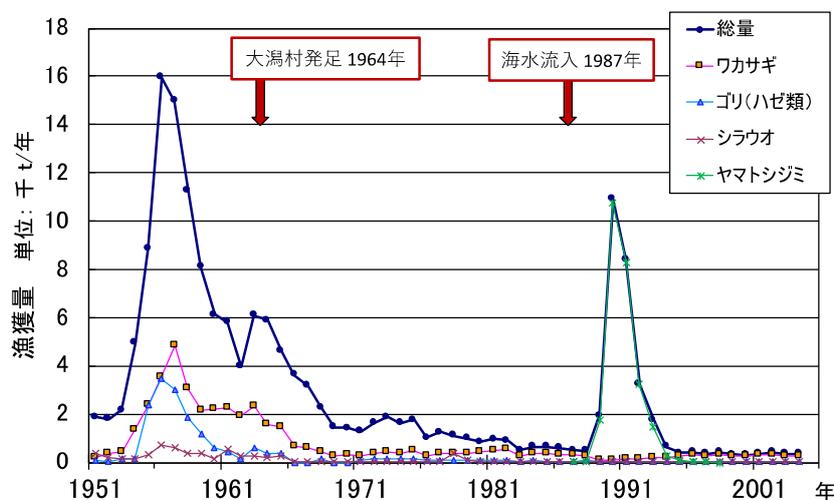


図6 八郎潟・八郎湖の漁獲量の推移
(秋田農林水産年報²⁰⁾より作成。1980年以前の総量と3魚種計との差は概ねヤマトシジミ。)

3. 海水導入のメリット

海水導入により期待できるメリット（効果）としては、①ヤマトシジミなど汽水生態系の再生、②アオコ菌種の除菌・滅菌効果、③有害魚類による浄化底生生物の食害抑制、④海水の化学的効果の再機能、⑤透明度の向上と沈水植物の再生、⑥湖内の新たな流動化促進、などが期待でき、これらの総合的な効果としての環境容量や自然浄化機能、生態系サービスの増強や添加が期待できる。これについて項目ごとに、1) 効果の内容、2) 効果のメカニズムや現状から見た可能性など、3) 効果を確実にするための課題の面から考察する。ただし、これら全てについて科学的な検証が行われたわけではなく、これまでの八郎湖の汚濁の経過などに基づく考察にとどまるものもあり、定量的な評価は今後の科学的な解明に期待するものが含まれる。

① ヤマトシジミなど汽水生態系の再生と関連産業の再生

海水の導入の大きな目的の一つとなり得るメリットとして「ヤマトシジミの増殖」がまず挙げられる。ヤマトシジミによる養分の取り込みと固定化で水質浄化に寄与し、ヤマトシジミの収穫は栄養分の持ち出しとなる。ヤマトシジミは水管により湖水を吸排水するとともに濾過と偽糞の排出で懸濁物質（SS）の沈降と半固定化も促進する。したがって、シジミの体内への取り込みの他に一

時的な固定作用が期待される。またシジミの吸排水作用による湖底の底質と湖水との境界水域の微小な対流は湖底環境を改善し嫌気層膜の形成を抑制し土壌表層からの無機栄養塩の溶出を抑制する効果も期待できる。

短期間の一時的な汽水状態の再現ということにとどまらず、干拓以前からの地域特産種のヤマトシジミの再生と増産があることで、産業化と地域活性化という経済効果を伴った栄養塩類の持ち出しと物質循環の再構築が可能となる。汽水部分だけみた評価では汽水環境はむしろ限定された種の生息する厳しい環境との評価もあるが、八郎湖内に一時的かつ部分的な汽水域を再生することは、八郎湖水域全体としては多様な水環境の創生につながる。

海水導入効果の中でも、ヤマトシジミの再生と増殖は大きな効果が期待できる。1987年以降の大発生のメカニズムが秋田県水産振興センターの精力的な研究により解明されている¹⁶⁾。一回の海水の流入がその後のシジミの発生に影響した¹⁷⁾が、シジミの産卵と着底には水温が20℃以上、汽水時の海水濃度として1/10程度の海水が約2週間湖底域で継続することが最適条件となることが明らかとなっている。また八郎湖のシジミの生殖能力は9月から10月に最盛期となる特徴も見出されている¹⁶⁾。過去10年の防潮水門からの放流水の水温を調べたところ、概ね6月下旬から9月下旬までが水温20℃以上の期間となっていた（図7）。こ

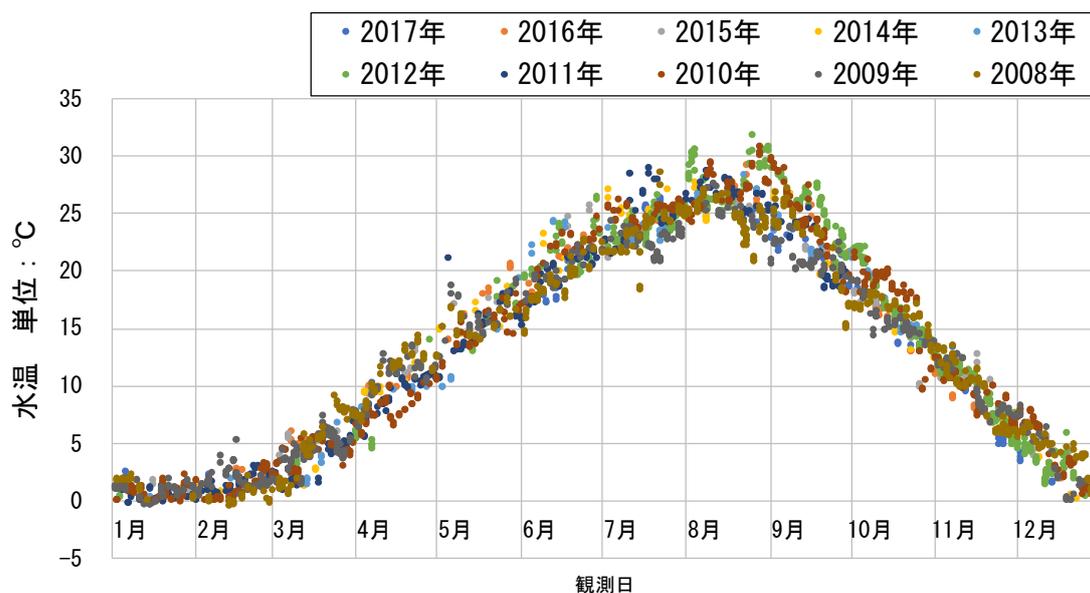


図7 防潮水門放流水の水温（2008年～2017年）

これらのことから総合して9月中旬以降から9月末までの期間が海水導入の最適期間といえる。ヤマトシジミが大発生した際の海水流入はこの時期に生じていた。

課題として、翌年の淡水資源確保の確実性・稚貝の再生産性の持続性など塩分制御・管理技術の確立を併行して進めることが必要である。また浄化対策の議論の中で淡水生シジミやイシガイなどの二枚貝の効果に期待する議論があるが、現状の汚濁淡水下では生存を辛うじて維持する程度のわずかな生息数しか確認されていないのが現状である。底質や水質など生息環境が適さない条件下に置かれているためであろう。経済性を持って汚濁負荷である栄養塩類を除去できていない現状の対応には限界が伺える。淡水で汚濁状態の現状下に二枚貝を放流するという単独の対応では期待できない、海水を導入することで期待できるその他のメリットには以下のものがあげられる。

② アオコ菌種の滅菌効果

海水の浸透圧による湖底に沈降した淡水型の“アオコ”を形成するプランクトン休眠細胞の除去が期待できる。プランクトン・微生物相の多様性向上も、春先のケイソウ類のピークからの多様な生態遷移を生みヤマトシジミをシンボル種とする生態系の再生へと、新しい連鎖の構築による水質の回復が期待できる。課題としては効果の実証研究が重要であり、汽水域でのアオコの発生も報告されていることから、必要な海水の濃度の解明や広範囲へ適用した場合の効果、底質表層土における鉛直方向への滅菌効果などを把握しつつ進める必要がある。過去の海水流入直後の3年間アオコ、アナベナやマイクロキスティスの発生が大幅に抑制された効果要因の一つと考えられる項目であり、海水導入のもう一つの大きなメリットと考えられる。

③ 有害魚類による浄化底生生物への食害の抑制

コイによるシジミやイシガイなどの二枚貝の食害は秋田県水産振興センターによる検証でも報告されている⁷⁾。生態系の回復や物質循環の形成に有用な小型魚類、水生植物、底生生物などの食害をもたらすコイやブラックバス等の淡水型の有害大型魚類は海水を嫌うため、海水の導入により、

有害魚類の行動の影響域を抑制することが期待される。これによる浄化効果の発現と持続も期待できる。ヤマトシジミの大発生時の効果は約5年継続し、そのうちの3年目がヤマトシジミ漁獲量のピークを示した。毎年でなくとも3年に1回でも計画的な海水導入と稚貝の安定した再生産の持続が期待できる。鯉は底泥も一緒に呑み吐きしながら摂餌するので海水の湖底部への流入による底質の成分変化、特に塩分の上昇は食害を抑制する効果を助長するものと思われる。これらについても、現象や効果の検証が必要である。

課題として部分汽水管理水域の安全な拡大や効果期間の解明、利水域への海水流入の影響を回避する条件下で管理基準を構築するなどモデル解析も用いるなどして、八郎湖ならではの研究と検証を行う必要がある。

④ 海水の化学的効果

次に海水の流入に伴う化学的な効果があげられる。酸素の供給、底質のマスキング効果、底質からの嫌氣的条件下でのリン酸イオンやアンモニウムイオンの溶出を抑制する効果や、腐植画分の凝集沈降と堆積固定化などが考えられ、底質環境の改善が期待できる。海水の流入による底質を覆う底層水の塩分濃度の上昇が底質から湖水に向けた養分の溶出を抑制する効果も期待できる。

課題として、海水流入時のリアルタイムでの塩分などのモニタリングや評価が不可欠であり、利水影響の少ない防潮水門付近から順に導入域を拡大する試験的運用などで効果の検証を重ねる必要がある。この効果は、汽水時の八郎潟での腐植質の堆積過程を部分的に再生させることにもなる。ただし、翌年の夏季に向けた時期的な溶出の可能性やその速度など注意深く検証する必要があるが、物質収支としての効果よりも底泥への質的な効果、湖底面の環境改善としての化学的攪乱作用に期待したい項目でもあり、翌年の淡水資源確保の利水条件を安全に満たすことが条件となる。

⑤ 透明度向上で植物の生育環境としての光環境の改善効果

上記①②④の二次的効果として透明度向上が期待できるとともに、これに伴う沈水植物の再生や、初期の優先的な植物プランクトンであるケイソウ

類への養分移動の増加によるアオコ抑制などの水質改善効果の可能性があげられる。水生植物による直接的な水質浄化速度の向上や動物プランクトンなど水生生物の棲息環境、産卵場の構築にもなり、生態系と物質循環の多様な連鎖の再構築が期待でき、水質改善の相乗効果や親水空間としての価値向上が期待できる。過去の海水流入は、一度だけの現象であったが、計画的な管理を安定的に継続するならば定期的な汽水環境として新しい二次的自然生態系が構築される可能性も考えられる。水質浄化機能の再生が期待される項目である。

課題としては、植物プランクトンへの効果は速いと思われるが、沈水植物の定着と効果の発揮には時間がかかり、ある程度安定した環境の形成とそのための植生環境の保全対策も必要と考えられる。それがどのような条件となるのか、どの程度の効果に繋がるかは、効果の可能性も大きな幅を持つ項目といえる。現行で試験的に設置している囲みこみ型の消波堤を改良して開放度を増幅し管理汽水域に設置するなどの検討も有効であろう。アオコを抑制できれば、消波堤内への吹き寄せによるアオコの濃縮被害も軽減され、消波堤による生態系回復対策との相乗効果も期待できる。生態系回復水域を部分管理汽水域内にも設けて、水草などの有機物の除去と堆肥などへの資源利用によって栄養塩類の湖内への蓄積を抑制し汚濁源化を防止するとともに、安定的に浄化機能を維持することで実効性を高める管理が必要である。そのためにも継続的なモニタリングと検証や対応といった取り組みが不可欠である。

⑥ 湖内の新たな流動化促進効果

海水が入ることによる水塊の移動により、湖内の新たな流動化を促進する効果が考えられる。湖水の流動化と閉鎖度の緩和、海水導入時の湖水位低下により、流入河川の八郎湖への流入河口部での流動化が緩やかに生ずることになる。また湖底部の水の移動と入れ替わりが生ずることが海水導入による流動化の特徴といえる。

八郎湖への流入河川の河口域は流速が急激に遅くなる水域であり滞留時間も増加するなかで、汚濁負荷の沈降や蓄積が起り易く、集中的な対策を必要とするポイントでもあるが、高濃度酸素水

の供給が局所的な改善の可能性として示された^{18,19)}が、広域規模で実施可能な対策としては検討が待たれる。海水導入操作は管理水位の低下により、湖水の重要ポイントである河口部での流動化による環境改善にも繋がるのが期待できる。水位低下後の風波による攪拌、降雨流出を伴うことで、汚濁負荷の日本海への放流量も増加でき湖内への栄養塩類の蓄積が緩和されることも期待できる。

また湖底部の水の移動と入れ替わりは、湖底環境への物理化学的作用も期待される。底質表面と底層湖水との間の塩分の出入りが海水の満ち引きに応じて生じ、海水が薄まった後の底質からの塩分の緩やかな溶出は広域に渡る湖底層の部分的な汽水的な水性を緩やかに維持する、時間的にも少し長めの相互効果が期待できる。

このような二つの意味でこれまでの対策にない新たな流動化を促進する効果がもう一つのメリットであろう。この場合も課題は、翌年の灌漑のための淡水資源確保の安全が前提であり、これを踏まえると、海水導入は灌漑期直後、非灌漑期間の初期が適切である。

4. 海水導入のデメリット

次に、海水導入において考慮しなければならないデメリットとその対策について考える。これについても、1) 影響の内容、2) 考えられるメカニズムと3) 対処方法やその可能性の面から検証する。淡水資源の回復を超える海水導入、制御なしの海水導入は湖水水利施設への影響、堤防浸透水への海水混入による飲料水への海水塩分混入、水利施設の劣化の早期化、淡水水産資源の減少、調整池の窪地滞留の懸念、時期によっては湖内の塩分コントロールが困難なこと、農作物、上水道、農業水利施設への影響が考えられる。仮に海水導入を行うとするならば、最も安全で、かつ効果が期待できる条件を明確にする必要があり、技術的にも社会的にも課題への対応が叶わないうちは拙速な導入は行うべきではない。

① 淡水資源供給への危険

まず第一に淡水資源供給への危険性が挙げられる。上水（水道）水源への塩分混入や農業用水への塩分混入による利水とそれに伴う被害の危険性

である。これは確実に防がれ、干拓事業の目的である地域水田農業と生活環境の安全を確保されなければならない。淡水資源の利用の観点から厳格に守られる必要がある事項である。

上水利用については現在、大潟村（中央干拓地）が村の正面堤防の浸透水を水源としているとともに、八郎潟町が馬場目川河口から約3 km上流地点の河川水を上水源として取水している（図1 b）。大潟村は堤防浸透により海水が到達した場合、1月ほど遅れて水源に塩分の影響が現れるが、八郎潟町は直接影響を受ける。大潟村の水道源水の取水地点が正面堤防中央部、農業用水の取水施設F2取水工付近からF1取水工にかけての約2 kmの区間が影響を受けることから、大潟村の上水の水源に変更がなされない現状は、少なくとも南部排水機場と天王地区地先干拓西端を結ぶラインまでが海水導入可能区間の限界域とされなければならないことになる。

八郎湖水の農業用水利用は概ね8月までであり、管理水位は5月1日から8月10日まではE.L.+1.0 m、8月11日から9月10日まではE.L.+0.7 mであるが、9月11日以降E.L.+0.5 mと日本海の平均潮位E.L.+0.35 mと15 cmしか差がなく±0.25 mの潮位変動内となる。南部排水機場にG2取水工が隣接し湖水を農業用水として取水しているが9月11日以降であれば取水は終了するので農業用水への影響はない。ただ、翌年4月には淡水資源の確保が必要であり、雪融け後には稲作に影響しないように海水塩分が日本海へ放出されている必要がある。

この点に関しては、1987年の八郎湖への海水流入時の様子に触れておきたい。この時は八郎湖の全域に海水が行き渡ったが、その翌年1988年は全く利水に問題は生じなかった。八郎湖流域内の大潟と五城目地点の気象庁による過去43年間の10月から翌年3月までの6ヶ月間の降水量を比較すると、平均値は大潟670 mm、五城目763 mmに対し、1987年は両地点とも観測した43年間の最低値で、大潟で395 mm、五城目で541 mmであった。それでも海水のフラッシングに十分な雪解け流出があったことになる。

このことから4月時点での完全淡水化と淡水資源の確保は大前提の条件となるが、導入する海水量、導入区域などを限定する方法であれば、淡水

確保の可能性はかなりあるものと判断できよう。ただ、このフラッシング効果についても、十分な評価解析精度をもつ湖水流動モデルにより気象・水文条件の異常値リスクも配慮したシミュレーションを行なった上で、海水導入期間、導入する海水量、導入可能区域など安全に淡水確保できる管理基準を作ることが必要になる。低温期降水・融雪流出水による掃流効果の発現の安全性の確立が課題である。

また海水導入時には、導入水量と導入区域をリアルタイムで把握し、必要以上の海水を湖内に引き入れないための、監視態勢を構築する必要もある。センサー類は丈夫で安価となり、情報通信網も確立されてきているが、海水塩分の遡上監視システムを構築できる条件が高まっているものの、堅実な技術を確立し対策を講ずる必要がある。

② 淡水利用を前提として構築され管理されている水利施設への海水塩分の悪影響

もう一つの重要な事項として、海水の導入域や拡散・混合、移流により農業用の水利施設に影響した場合には、取水施設、排水施設、水路網、ゲート類など水利施設の錆による腐食、老朽化の早期化と機能障害を招く可能性についてである。中央干拓地の調整池および東部承水路側の取水工は全てサイフォン形式であり、水源側の吸い込み管は低水期の湖水面下約2.5 mにまで設置されている。したがって流入域によっては直接的に海水に触れる危険がある。この点は受益農業者、管理団体である土地改良区が最も憂慮する点であろう。

試験的な導入の過程であっても錆対策など万全を期す必要がある。河口に近い男鹿市の西部干拓地、潟上市の地先干拓地なども海拔0 m以下の低地であり機械排水を必要としており、堤防沿いの排水路では現状でも塩分濃度が高めであることから、これらの浸透水域についても導入の前後での十分な水質モニタリングによる安全確保と影響量の検証が必要である。八郎湖の水質改善は、この地区の農業者も切望しており、ヒアリングすると「もともと海水の流入する汽水湖からの取水を行っていた地区で海水の導入に反対する農家はほとんどいない」との意見も多く聞かれる。しかし、水利施設への対策が確立されない限りは、海水導入は行うべきではないといえよう。

③ 海水の化学的影響

効果の項目でも挙げたが、弊害的な影響についても化学的な状態変化など十分なモニタリングを基にした評価解析を継続することが必要である。酸素の欠乏、塩分の残留、溶出量の変化の有無などにも注意するとともに、実証試験などによる知見の蓄積が必要である。

そのための課題としても塩分等モニタリングや評価が不可欠である。干拓堤防構築時に浚渫船で掘り起こした調整池内の深み部分に海水が溜まりその後の利水への影響を心配する意見も聞かれる。

④ 生態系の変化による影響

その他に、干拓以前の藻場を経験している漁師から、水質改善後の沈水植物による船外機スクリーへの絡まりなど船舶の航行への支障が心配されるが、漁業の衰退が著しい現状で水質汚濁問題の改善を優先すべきで、むしろ水環境回復のために水草類が必要であり、期間と範囲を限定した部分汽水化を進めるなかで検討しても遅くはない。

⑤ 窪地を含む湖底部での塩分挙動による影響

海水の部分滞留など湖内の水・水質・底質・湖底土間隙水などの挙動や相互関係についてはメリットとともにデメリットも心配される。

湖底水と底質との間の境界域は、底生生物の生息域である。淡水条件下での湖底部の貧酸素化で、二枚貝などの生物が生息できず生物による攪拌も抑制され、さらに貧酸素状態が進むとともに、淡水の湖沼に起こる貧酸素で還元的状態下にある底質土の間隙水からのアンモニアやリン酸などの養分が、間隙水よりは低濃度の湖水に向けて溶出し湖水生態系への養分供給となるなどの影響も考えられる。

ただし、湖底の窪地への厚い層での海水の滞留が生じる場合には、理想的な効果とはならず滞留による貧酸素化が助長される恐れも否定できない。反対に長期滞留でよりシジミの成長に効果的な環境の提供となる場合もあろう。両方の可能性も踏まえながら、継続的に観察し効果の検証を行うことで効果とリスク評価の正確さを高める必要

がある。そのためには海水の部分導入の場合での影響水域や、春の融雪流出水による掃流効果の発現の安全性と安定性の検証など、実証試験やシミュレーションで動的かつ定量的な評価や知見を蓄積する必要がある。淡水資源回復の安全性の検証とともに、海水の部分滞留など湖内水質挙動の確認と科学的なモニタリングが必要である。

5. 被害軽減のための社会的な保障システムの構築と総合的な対応について

メリットとデメリットについて見てきたが、デメリットとしてあげた項目の多くは、現代の技術と総意を持って挑めば適切な対応は不可能ではないものが多いように思われる。科学的で長期的な監視と評価、資源管理の経験の中での地域合意の積み上げで世代を超えて、取り組みを引き継いでいく必要がある。

近い未来を見越した現実的な課題として注目すべきは、水利施設への影響とその対策といえるであろう。これについては慎重かつ厳重に考慮するとともに、安全について技術的にも社会的にも事前に十分検討し対策を構築しておく必要がある。特に長期的影響についての配慮が必要であろう。堤防浸透による塩分の影響は時間的な遅れを伴い緩慢な影響とわずかな変化で現れる可能性も高いことから、老朽化速度の変化は長期的、例えば数十年間の緩やかなかたちで現れる可能性があり、これを農業者側の負担増にはならない。関係機関間で協力関係を構築し合意のもとで、例えばヤマトシジミの水揚げ額の一定割合を地域補償・被害補填費としてプールしリスク対応のために管理するなど、長期的な対応を確立しておく必要がある。ヤマトシジミの生産・資源管理団体、海水管理機関、農業者、地域住民・自治体、関連産業団体等が関連すると考えられるが公的な機関として秋田県や国に期待するところは大きく、また社会的な保障システムの構築で、信頼と共助を基にした安定的で持続的な社会へとレベルを高めたいものである。

これまでの淡水条件下での水質保全対策^{20~22)}を簡単に振り返ると、上記メリットの①、③、⑤、⑥と一見類似したように見える対策案も示されてきたといえるが、八郎湖内の二枚貝類はコイによる食害を受けて水質浄化には程遠く、流動化対策

と称して行われている西部承水路の北側から南部排水機場に向けたポンプ排水の電力を用いた強制的な流動化は、流入水質のモニタリングも行わない状態で検証もなく続けられている。消波堤構築による生態系の回復による浄化対策はアオコの吹き寄せや水位低下による風波や凍害の影響を受けて次の方策の提案は困難を来している。このように、これまでの施策は先行する指定湖沼での対応を参照し八郎湖に当てはめたものが多いように思われる。しかしこのような連働性のない単発的な施策は、そもそも八郎湖に適した対応だったのかを検証されるべきなのであろう。他の指定湖沼と大きく異なる点として1) 寒冷で多雪地域を流域にもつ海跡汽水湖であったこと、2) 滞留時間が短く冬季の降水量が大きいこと、3) 農業負荷といった生物生産業による汚濁負荷が大きな割合を占めていること、といった八郎湖の形成条件や八郎湖の汚濁の現状を今一度再認識するとともに、汚濁成分の湖内からの持ち出し除去に再重点を置いた対策を本格化するべきである。これまでの施策に対し、海水導入は、複合的な効果の連鎖が期待できる点が大きなメリットの特徴であろう。

八郎湖干拓事業によるアオコ大発生の水質汚濁問題を予想できなかった点と改善できていない点で、今後国による効果的な対応への積極的な支援も望まれる。例えば水利施設等の安全については、国も含めた協議と合意による抜本的な課題解決への前進が望まれる。しかし、主体はあくまでも生活し八郎湖と関わる地域と地域住民でなければならない。

おわりに

以上海水導入の可能性とそのメリット、デメリットについてみてきた。現段階では、干拓事業後からの防潮水門管理条例とその施行規則（「第十条 水門の操作に当たっては、次の各号に掲げる事項を厳守するものとする。」「二 海水を調整池へ流入させないこと。」）の下、完全淡水管理が行われ、アオコの発生が激化している状況下にある。手続としては県議会において秋田県八郎湖防潮水門管理条例施行規則を変更すれば良いのであるが、海水を導入することは根本的なところからの地域資源の管理システムの再構築ということになり、その意味で大きな地域的な取り組みとする

ことが必須であろう。

汚濁の進行と干拓後の経過年数などから、部分的な管理汽水技術の確立を抜本的に検討すべき段階にあるとする考えも理解できる。段階的、継続的な、観測と検証から得られた実証結果を基に、将来的な八郎湖全域の水質改善効果も視野に、十分な議論と地元、関連機関等の合意形成、八郎湖の共有財産としての意識の成熟が水質改善への成功の鍵を握るであろう。効果の享受の過程での新たな資源・環境管理技術の構築も新しい挑戦となる。検討や議論、対策といった取り組みそのものも、次世代への継承のための現代に生きる者の使命として積極的にレベルアップすべきであり、本気の取り組みで地域主体の構築と強化といった高度な英知の結集へと発展させる必要がある。したがって、研究面でも多様な分野からの主体的な参画と総合化が常に必要である。単発的な対応のみには限界があり、八郎湖の歴史と形成条件、海跡汽水湖であったことの意味を今一度再検証し、長期的な視点での地域資源と地域環境を支える新しい物質循環を構築する施策こそが、富栄養化構造下の八郎湖の水質問題解決の大きなポイントであろう。

謝 辞

現地調査および水質分析において多大なご協力をいただいた秋田県八郎湖干拓地基幹施設管理事務所および大潟土地改良区の皆様、児玉恵康氏、関綾子氏、大石麗子氏、櫻庭聡氏はじめ秋田県立大学生物資源科学部アグリビジネス学科農業水文学研究室の皆様にご感謝いたします。また本稿に対し有益な御助言と御指摘をいただきました校閲者の方々に心より感謝いたします。

引用文献

- 1) 秋田県八郎湖防潮水門管理条例施行規則、昭和52年7月14日、秋田県規則第33号
- 2) 米谷峰夫・斎藤勝美・佐藤時好「八郎湖漁場環境調査」、平成3年度秋田県水産振興センター事業報告書、p.190-209、平成5年6月、秋田県水産振興センター ISSN0917-7310
- 3) 米谷峰夫・佐藤時好「八郎湖ヤマトシジミの生息状況について」、平成3年度秋田県水産振興センター事業報告書、p.210-225、平成4年6

- 月、秋田県水産振興センター ISSN0917-7310
- 4) 斎藤勝美・佐藤時好・水谷寿「八郎湖漁場環境調査」、平成4年度秋田県水産振興センター事業報告書、p.239-258、平成5年6月、秋田県水産振興センター ISSN0917-7310
 - 5) 斎藤勝美・佐藤時好・水谷寿「八郎湖漁場環境調査」、平成5年度秋田県水産振興センター事業報告書、p.264-285、平成6年6月、秋田県水産振興センター ISSN0917-7310
 - 6) 信太穰・水谷寿「八郎湖漁場環境調査」、平成6年度秋田県水産振興センター事業報告書、平成7年12月、秋田県水産振興センター ISSN0917-7310
 - 7) 佐藤時好「八郎湖漁業振興対策事業」、平成7年度秋田県水産振興センター事業報告書、p.243-250、平成8年12月、秋田県水産振興センター ISSN0917-7310
 - 8) 信太穰・水谷寿「八郎湖水産資源調査（漁場環境調査）」、平成8年度秋田県水産振興センター事業報告書、p.271-293、平成10年3月、秋田県水産振興センター ISSN0917-7310
 - 9) 藤田賢一・水谷寿「八郎湖水産資源調査（漁場環境調査）」、平成9年度秋田県水産振興センター事業報告書、p.243-266、平成11年3月、秋田県水産振興センター ISSN0917-7310
 - 10) 男鹿市議会平成22年度6月定例会（平成22年6月16日）議事録
 - 11) 潟上市議会平成22年度第2回定例会3日目（平成22年6月18日）議事録 p.118-127 (<http://www.city.katagami.lg.jp/index.cfm/9,7481,c,html/7481/20101215-114458.pdf>)
 - 12) 近藤正(2010) 八郎湖の水文・水環境特性の変遷と課題, 水環境学会誌, 33(9), 292-298.
 - 13) 「地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について」(答申) 平成13年11月 日本学術会議
 - 14) 秋田県(1948~2005) 秋田農林水産年報
 - 15) 中村幹雄・森忠洋「シジミ漁による宍道湖の浄化」1998 用水と廃水, 40(5):41-43
 - 16) 佐藤善雄・佐藤時好「ヤマトシジミ再生産機構解明調査」、平成4年度秋田県水産振興センター事業報告書、平成5年6月、秋田県水産振興センター ISSN0917-7310
 - 17) 佐藤時好「ヤマトシジミ再生産機構解明調査」、平成5年度秋田県水産振興センター事業報告書、p.303-306、平成6年6月、秋田県水産振興センター ISSN0917-7310
 - 18) 早川敦, 狐塚菜奈子, 他「八郎湖底質環境の空間特性の解明に関する現地実証的研究 高濃度酸素水供給下のシジミ成育試験も踏まえた水質・底質改善の検討」、秋田県立大学ウェブジャーナルB(研究成果部門) 2015, vol. 2, 117-124
 - 19) 早川敦, 八郎湖流入河川における高濃度酸素水供給による水質・底泥改善効果の検証について <https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/15810>
 - 20) 秋田県(2008) 八郎湖に係る湖沼水質保存計画(第1期)
 - 21) 秋田県(2014) 八郎湖に係る湖沼水質保存計画(第2期)
 - 22) 秋田県(2019) 八郎湖に係る湖沼水質保存計画案(第3期)