

八郎湖の負荷収支からみた汚濁構造と水質・水環境改善への課題

近藤 正

秋田県立大学生物資源科学部アグリビジネス学科
〒010-0444 秋田県南秋田郡大潟村字南2-2

要約：汽水湖八郎湖は1960年代に湖面積の約4/5が干拓され、1/5の残存湖は淡水化された「八郎湖」へと大きく変容した。干拓地からの農地排水を承ける八郎湖は毎年夏季にアオコが大発生する慢性的に富栄養化した汚濁湖となった。

筆者は指定湖沼への指定前から中央干拓地大潟村及び主要な流入河川を中心に、八郎湖への汚濁負荷測定を行ってきた。そこから見えてきた栄養塩負荷の管理の適正化とそのための流域・農地負荷対策の必要性について定量的に論じた。窒素の農地負荷の量的規模や年変動は $30 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$ で、八郎湖へは $300 \text{ t N} \cdot \text{y}^{-1}$ の負荷が毎年排出されていた。また干拓後に一度、海水が八郎湖に流入しヤマトシジミの大発生、年1万t規模の漁獲とともに、アオコの発生が5年間解消した事例をもとに、生態系を含めた水域物質循環の適正化の必要性と可能性について考察する。

干拓後の水管理として、八郎湖を貯水池化し水量管理は行ってきたものの、負荷量管理が全くできていないことが大きな問題である。抜本的な水環境改善、そして持続的な水環境保全と水資源利用には、生態系、水循環、流域管理についてその量と移動の速度（時間）の観点からの総合的で俯瞰的な適正管理に強舵を切る必要がある。

キーワード：八郎湖、富栄養化、差引排出負荷量、N、P、SS、汚濁負荷管理、部分管理型汽水環境

はじめに

かつて日本第二の湖面積に豊かな湖水を湛え豊かな生態系を育んでいた汽水湖八郎湖は、半世紀ほど前に急激な人為的改造により湖水面の4/5が干拓され、約1/5の残存湖「八郎湖」は淡水湖へと変容した。現在、干拓地は約12000haの水田を主とする農地から約100万人分のコメを安定的に生産する広大な大地に生まれ変わった。八郎湖の水文条件や生態系・機能が大きく変容した中で、特に毎年夏季にアオコが大発生する慢性的な富栄養化汚濁は、干拓時には想定外の質的変容となった。

行政的対応として、県と国は八郎湖を2007年に11番目の指定湖沼に指定し、現在まで水質保全対策を2期10年にわたり実施してきたが、汚濁の本質に対する抜本的な対策がなされないまま、汚濁の勢いは全く弱まっていないのが現状である。八郎湖は全11指定湖沼中最北に位置し積雪期間が長く融雪流出は湖水量の3～7倍もあるとともに、流域の土地利用は農地・森林割合が他の湖沼に比べ大きい。汚濁傾向は悪化の一途を辿って

いるのである。

富栄養化の要素として、①流域からの汚濁負荷の流入増と蓄積の有無、②大気圏と湖水と湖底底質との間の窒素固定、溶出や沈降、吸着などの栄養分の出入り、③湖岸域の土壌や植生、湖内の生態系の遷移と水温や日照などアオコ増殖要件の時期的な変化、④風や波、日本海への放流と河川からの流入など流出入といった物理的条件などが加わり、アオコの発生に影響していると考えられる。

①の「流域からの汚濁負荷の蓄積の有無」は、新しい汚濁源となった干拓地を含む流域から八郎湖に流れ込む流達汚濁負荷量に対し、日本海に放流される負荷量や漁獲により湖水域から除去される栄養塩類が同レベルでバランスしているかあるいは大きい量であれば、水移動に伴う負荷による差引からみた蓄積は起こらない。まずは、干拓地や流域を含めた評価が必要となる。さらに、②についても、淡水化されたとともにアオコが全域で慢性的に発生する現状では、富栄養化の進行は、大気圏とのやり取りである脱窒と窒素固定、湖底の底質との間の出入りである溶出と沈降・吸着の収支も考慮する必要がある。アオ



図 1. 干拓前の八郎潟（左）と現在の八郎潟（右）.

コ発生の深刻さが増加するなかで、汚濁負荷の増加と自然生態系への取り込み（自然の浄化）量の減少、アオコ発生の激甚化と窒素固定量の増加、有機汚濁による湖底の酸素の減少による低酸素化や還元化の進行と、底質からの溶出の増加といった富栄養化の悪循環が強まっていることが危惧される。

本報告では、栄養塩類の収支の測定結果から、八郎湖の汚濁進行実態を確認する。また、干拓後に一度だけ 1987 年 8, 9 月に、海水が八郎湖に湖水量の 1/10 程度、塩水くさび現象により流入し、これがヤマトシジミの大発生を誘発し、その後の 5 年間だけはアオコの発生が抑えられた事例に注目することで、物質収支と生態系機能の関連性と可能性から、八郎湖の水質・水環境改善の課題を整理したい。後者の大気圏と湖水と湖底底質との間の窒素固定、溶出や沈降、吸着などの出入りについては、今後の研究に委ねることとする。

干拓による水域環境の変化：八郎潟から八郎湖へ

干拓前の八郎潟は、南北 27 km, 東西 12 km, 周囲 82 km, 湖水面積 22 024 ha, 湖底は最深部で 5 m, 85 % が 3 m 以下と浅く、また南西端の船越水道で日本海と通じ、水面は日本海の平均潮位 +0.35 m に対し潟水位の平均標高は +0.50 m とほとんど差がない汽水湖であった。半世紀前に湖水面の 4/5 が干拓され、約 1/5 の 4732 ha の残存湖「八郎湖」は淡水湖へと大きく変容した（図 1）。

干拓後の八郎湖は、調整池 3150 ha は南北 6 km,

表 1. 干拓前後の水門条件の違い

項目	干拓前	干拓後
水質, 水性	汽水湖	淡水湖
湖面積	220 km ²	47 km ²
貯水量	660 × 10 ⁶ m ³	110 ~ 130 × 10 ⁶ m ³
耕地面積	130 km ²	240 km ²
年降水量	大潟約 1400, 五城目 1600 mm・y ⁻¹	
流入水量	1000 × 10 ⁶ m ³ ・y ⁻¹ 以上	
集水域面積	894 km ² (水面積を含む)	

干拓後の水位と水深	
八郎湖管理水位	
9 ~ 4 月:	東部承水路・調整池 T.P.+0.5 m 西部承水路: +0.35 m
5 ~ 8 月:	東部承水路・調整池 T.P.+1.0 m 西部承水路: +0.35 m
(日本海平均潮位 T.P.+0.35 m : T.P. は東京湾平均海面)	
平均水深 (高水位期):	東部承水路 1.9 m 調整池 3.3 m
	西部承水路 1.7 m
最深部:	調整池約 10 m

東西 9 km, 承水路域も含めた内周約 60 km, リング型の湖水面積は 4732 ha である（秋田県, 2020）。湖底は塩口漁港に面した調整池中央域に堤防の増設に用いた湖底土砂の浚渫跡の深みが多く、この最深部は 10 m ほどで、調整池西側にも 10 m ほどの溝状の浚渫による深みが堤防に沿ってある。それ以外は概ね全域では干拓前の湖底地形が残り調整池東部大久保地区までは 3 m 以下、東部承水路は 2 m 以下と浅い水域が占めている。

湖岸部は西部承水路の西岸以外は全て堤防で仕切れ、かつてのようなならかな傾斜の湖岸部の湖底は残っておらず、急傾斜で一気に深くなる湖岸が多い。

八郎潟の干拓前後の水文条件と水環境条件の大きな違いは、①湖水面積の減少、貯水量の減少、②防潮水門により日本海とは遮断され海水の流入が防がれた汽水湖から淡水湖への改変、③干拓と堤防増設による浅瀬・干潟部の消失、④集水域、特に農地面積の倍増、⑤灌漑用水のための人為的な水位管理による、夏と冬（灌漑期と非灌漑期）との 0.50 m の大幅な水位差の出現とこれによる湖岸部の波浪や侵食への影響増加などである（表 1）。

湖水面の漁業利用は、干拓時には漁業補償がされ漁業権は放棄されたが、干拓後は許可制による内水面増殖漁業が再スタートした（松坂・坂本, 1982）。魚種はワカサギ, シラウオ, ゴリなどで年間水揚げ量は 300 t 程度

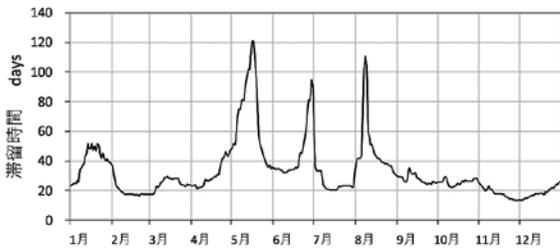


図2. 八郎湖の滞留時間(日: 30日移動平均値) 2017年.

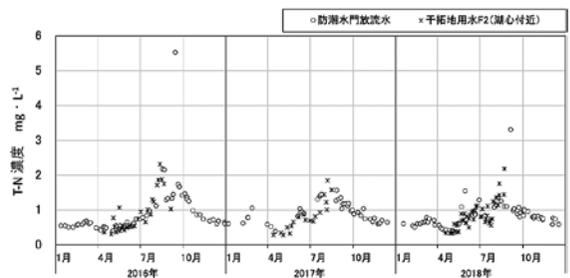


図4. 八郎湖水の T-N 濃度.



図3. 八郎湖のアオコの集積状況.
(上: 南側河川河口より約 1 km 地点, 下: 正面堤防に集積したアオコ: 2012 年).

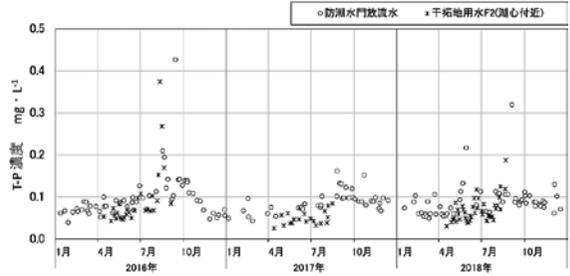


図5. 八郎湖水の T-P 濃度.

を推移し、近年は漁師の高齢化とともに、アオコ発生 of 常態化でジェオスミンなどのカビ臭のため買い手がつかない事態にもなるなど、さらに減少傾向にある。

湖水の利水については、上水利用は堤防浸透水を大潟村(中央干拓地)が利用し、馬場目川の湖面河口部から 2 km 地点、湖水の背水域で八郎潟町が直接取水しオゾン処理を行っている。また農業用水利用による灌漑と干拓農地流域からの排水の影響は大きい。新しい農地、中央干拓地への灌漑水の供給は年間約 $250 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{y}^{-1}$ と湖水量約 $120 \times 10^6 \text{ m}^3$ に対しても 2 倍程度と大きく、また中央干拓地からの排水量は年間約 $450 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{y}^{-1}$ 、湖水量に対して 4 倍程度の大きい割合を占めている。ただ周辺干拓地はその外周にある干拓前からの水田排水

を旧湖岸線に作られた幅広水路に承けて反復、循環利用をしているので大降雨時以外は、汚濁負荷の流出を抑制する働きもしている。

八郎湖から日本海への放流は、水位維持を基準に秋田県八郎潟基幹施設管理事務所によるゲートの放流管理が行われている。この日本海への放流量は、湖水量約 $120 \times 10^6 \text{ m}^3$ (1 億 2 千万 m^3) に対し、年間 8 ~ 15 倍ほどある。したがって八郎湖の平均滞留時間は概ね 1 ヶ月程度と、琵琶湖や霞ヶ浦などの指定湖沼と比べるとかなり短い。湖水量を平年並みの降水量であった 2017 年の日本海への放流量で除した、見かけの滞留時間(単位は日)(図2)を見ると、春 1 ~ 4 月上旬は平均約 30 日で 3.5 ヶ月で湖水量の約 4 倍、10 ~ 12 月には平均約 20 日で湖水量の約 4 倍の流出があったことを示唆している。

雪解け水は栄養塩濃度も低く毎年湖水量の 4 ~ 8 倍は流れ込み湖水を入れ替えているが、それでも毎年アオコが大発生していることこそが八郎湖の汚濁の特徴である。

八郎湖の水質の現状

八郎湖の水質は、現状では $\text{COD}_{\text{Mn}}75\%$ 値で $8.5 \text{ mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ 程度、過去 15 年間に、日本海側の湖沼では唯一、

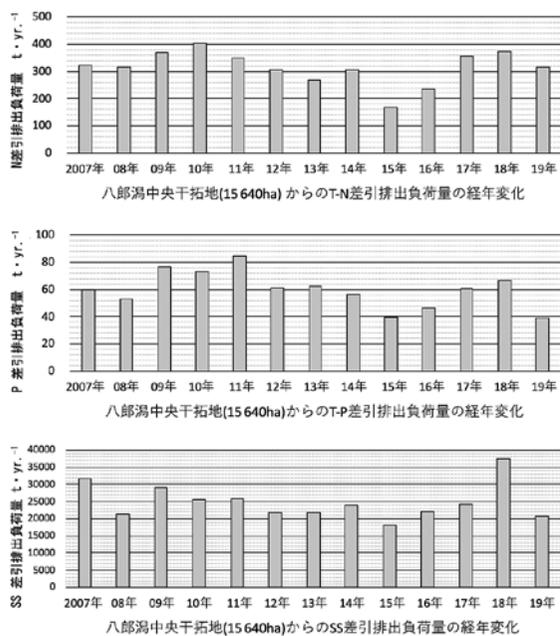


図 6. 八郎潟中央干拓地の差引排出負荷量。

しかも3回ワースト5に挙げられている。アオコは、毎年湖水全域で発生し、風で湖岸の波消し石の隙間に浮遊集積して付着し(図3)、大量に集積した風下側では無酸素水塊が激しい腐敗臭を放つ。湖底域の水塊は貧酸素状態となり、風上側の湖岸沿いには湖底から押し上げられる形の対流により貧酸素水塊が水域を覆い、ゴリ(ハゼ類)などの底生魚のへい死を招いている。

栄養塩類のうち T-N 濃度は、雪解け期 3 月、4 月は毎年 $0.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下で清澄で良好な状態となるが、湖水位を上昇させる灌漑期管理に移ると徐々に上昇し 8 月頃には農業用水基準値 $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ の 3 倍を超える $3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上もしばしば観測される(図4)。T-P 濃度は $0.02 \sim 0.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ を呈する(図5)。

八郎湖の汚濁負荷収支調査

ここでは流水に伴う栄養塩類の成分量の出入りを水量と濃度の積から日単位で求めた結果を基に評価する。

(1) 八郎潟中央干拓地からの差引排出負荷量

筆者は流域最大の水田地帯である八郎潟中央干拓地からの汚濁負荷排出量と、一部に循環灌漑構造を持つ

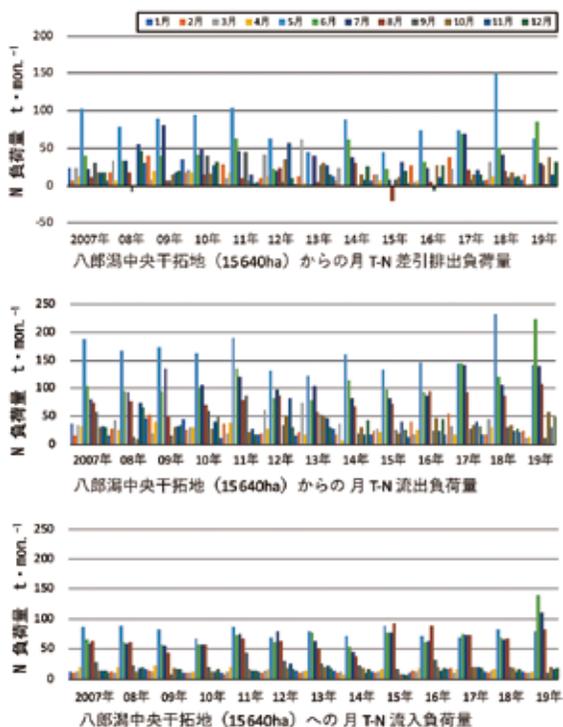


図 7-1. 八郎潟中央干拓地の差引排出負荷量、流出負荷量、流入負荷量の月変動 (T-N)。上から、差引、流出、流入。

農業用水などによる流入負荷の継続的な測定結果から、八郎潟中央干拓地からの正味の排出負荷量である「差引排出負荷量」の経年変化について定量的な評価を灌漑期間も非灌漑期間も含め継続的に行ってきた。水田については、排出負荷だけでなく農業用水などによる流入負荷も加味して下流到達水域への影響量として「差引排出負荷量」で評価する必要があり、排出対策の効果検証などにおいても、水田の浄化機能を加味できるこの評価方法が有意義である(田淵・高村, 1992)。

汚濁負荷の評価対象地区、八郎潟中央干拓地=大潟村は、八郎潟干拓で 1964 年に設立され 2020 年で 56 年を迎えた。2007 年の八郎湖の指定湖沼指定とともに、湖沼法により大潟村全域 15 640 ha が流出水対策地区に指定された。北緯 40° 東経 140° を中心に南北 18 km 東西 11 km の大潟村の水田・農地面積は約 10 000 ha で、これにより流域全体の水田面積は倍増した。灌漑水の取水地点は 19 カ所、排水機場は 3 カ所、干拓堤防の全長は 55 km、中央干拓地水田の最低標高は海拔 -5 m、水路の勾配は $1/2000 \sim 1/5000$ 程度と平坦で、土

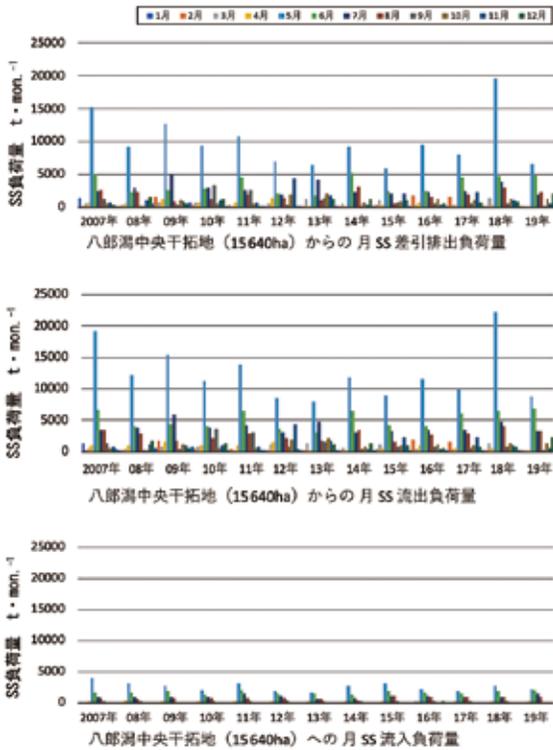


図 7-2. 八郎潟中央干拓地の差引排出負荷量, 流出負荷量, 流入負荷量の月変動 (SS). 上から, 差引, 流出, 流入.

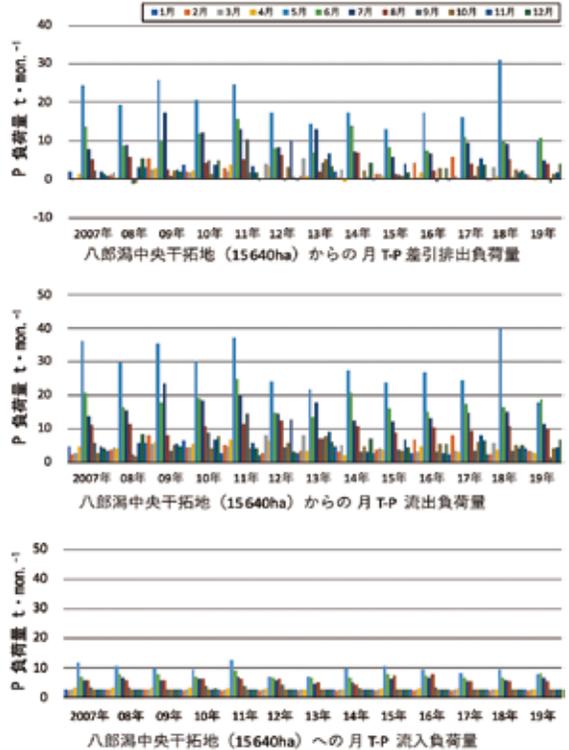


図 7-3. 八郎潟中央干拓地の差引排出負荷量, 流出負荷量, 流入負荷量の月変動 (T-P). 上から, 差引, 流出, 流入.

壤は9割が低湿重粘土土壌である。経営は1農家平均15ha、ほ場面積は1筆1.25haが入植時からの耕区単位であり、近年は2筆を合筆した2.5haほ場が多く、3筆3.75ha、4枚合筆5haも増えているが、農家数はさほど減らず周辺市町村の農家ももっていたほ場を取り込んで経営規模を大きくしている状況にある。

中央干拓地への流入部の取水取水地点と流出部である排水機場において、流出水は排水日にはほぼ毎日、農業用水は循環灌漑域で週2～3回、湖水域で週1～3回の採水頻度で水質観測を行うとともに、水量については毎日の水位記録と排水量記録により算出した。栄養塩類(全窒素:T-N, 全リン:T-P)と懸濁物質(SS)濃度はJIS K0102工業排水試験法により測定し、濃度と流量から負荷量を日単位で求め、排出負荷量から用水負荷および降雨負荷、堤防浸透負荷の流入負荷を差し引き、差引排出負荷量を求めた。農業用水の非採水日の水質値は、流況や天候を考慮しつつ最近値を当てて算出した。

八郎潟中央干拓地(15640ha)から八郎湖に排出

された13年間(2007年～2019年)の年間差引排出負荷量(図6)は、窒素(N)は平均値314t最大403t(2010)最小167t(2015)、リン(P)は平均59.9t最大84.4t(2011)最小38.6t(2019)、SSは平均24900t最大37500t(2018)最小18000t(2015)となった。年による変動もあるが窒素で年間300t・y⁻¹(20kg・ha⁻¹・y⁻¹)以上の、リンで年間70t・y⁻¹(5kg・ha⁻¹・y⁻¹)以上の差引排出負荷量があった。中央干拓地の農地面積は約100km²であるから農地負荷が主要因として農地面積当たりで概算すると平均で窒素30kg・ha⁻¹が排出されていることになった。中央干拓地の窒素の年間流入負荷量は、農業用水や降水、堤防浸透水なども含め400t・y⁻¹、排水ポンプ場から八郎湖への排出負荷量は毎年700t・y⁻¹以上であった。

(2) 農業地域からの排出負荷の期別変動と日変動

八郎潟中央干拓地(15640ha)における年間収支の元となる、窒素(N)、懸濁物質(SS)、リン(P)の月

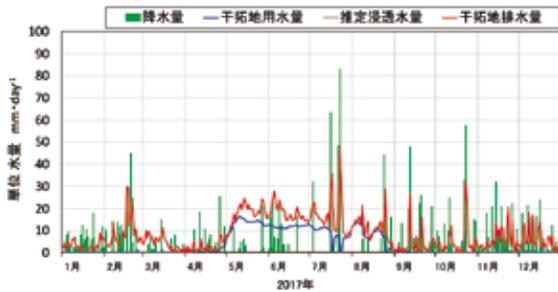


図 8-1- 水量. 八郎潟中央干拓地の日流入流出水量.

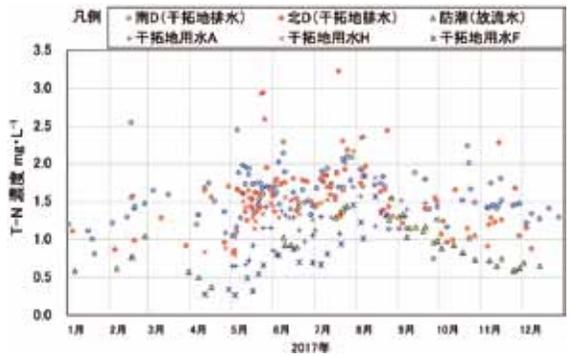


図 8-2-N. 干拓地排水と用水・八郎湖水中の T-N 濃度.

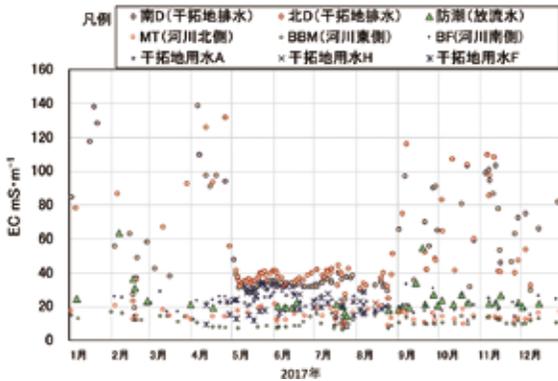


図 8-1-EC. 八郎湖流入流出水の電気伝導度.

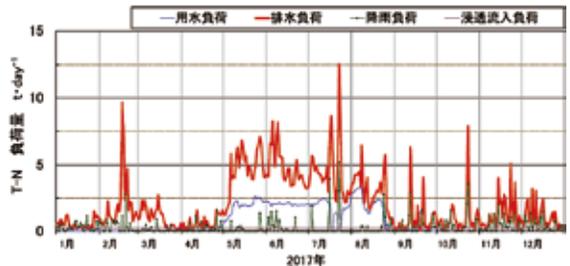


図 8-3-N. 八郎潟中央干拓地の N 日流入流出負荷量.

別の汚濁負荷の流出, 流入と差引負荷量を示した (図 7-1, 7-2, 7-3). 窒素は, 代掻き田植え期に当たる 5 月に最も流出が大きく灌漑期や非灌漑期にも流出が生じていた (図 7-1, 月 N 負荷; 上段: 差引排出, 中段: 流出負荷, 下段: 流入負荷). 流入負荷も排出負荷に匹敵する量があり, 年によっては 8 月や 9 月に差引排出がマイナスとなり農地が浄化を示す月もあった.

これに対し懸濁物質 (SS) (図 7-2, 月 SS 負荷; 上段: 差引排出, 中段: 流出負荷, 下段: 流入負荷) は, 流入に比べ流出が大きく, 特に代掻き田植え時期に排出負荷が大きく, 毎年 5 月が集中的な差引排出負荷の発生期となっていた. 人為的な作業の影響を強く受けるとともに, 田植え期に暴風と豪雨を被ると 1 日で 1 万 t を超える SS の差引排出負荷が生じた. 2018 年には 5 月 17 日の田植期に $150 \text{ mm}\cdot\text{day}^{-1}$ の豪雨があり, 5 月の干拓地差引排出負荷量は N: 150.1 t , P: 31.0 t , SS: $19,600 \text{ t}$ と大きな値となった. リン (図 7-3, 月 P 負荷; 上段: 差引排出, 中段: 流出負荷, 下段: 流入負荷) についても差引排出負荷は 5 月が最大で, 一月に $10 \text{ t} \sim 20 \text{ t}$, 大きい年では 30 t の排出となった. 年間の汚濁負荷の削減に

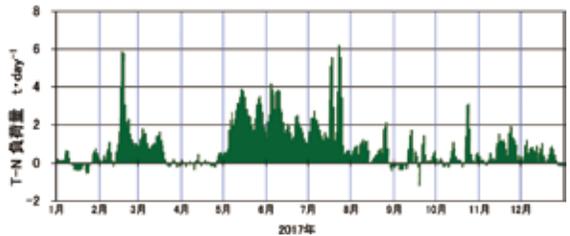


図 8-4-N. 八郎潟中央干拓地の N 日差引排出負荷量.

は 5 月の排出負荷の削減が重要である. 近年この田植え前落水による汚濁負荷の抑制に有効な対策として RTK-GNSS 自動操舵装置を装着した田植機を用いた, 湛水条件下での無落水移植が試され, 田植え直前の強制落水による水田排出負荷を大幅に削減できることが実証された (Kondoh *et al.*, 2019). 濁水流出の抑制に大きな効果があり普及が待たれる.

経年変化と月別 (期別変動) の汚濁負荷の発生傾向を見てきたが, この評価の元となる日単位の負荷の出入りと差引排出負荷量についてもここで確認したい. 農地などの面源負荷は, 対象地区の水利特性や人為的な管理, 気象条件などに大きく影響を受け, 定量的評価のための測定も多大な労力や予算が必要となるため, 通常, 月数

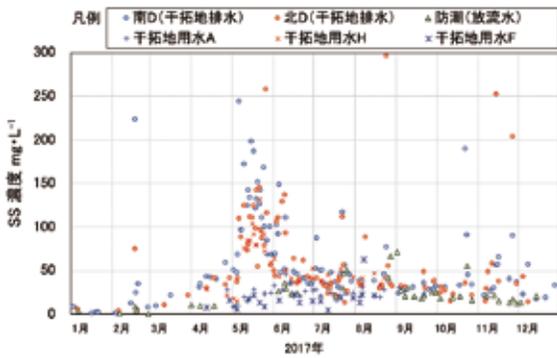


図 8-2-SS. 干拓地排水と用水・八郎湖水中の SS 濃度。

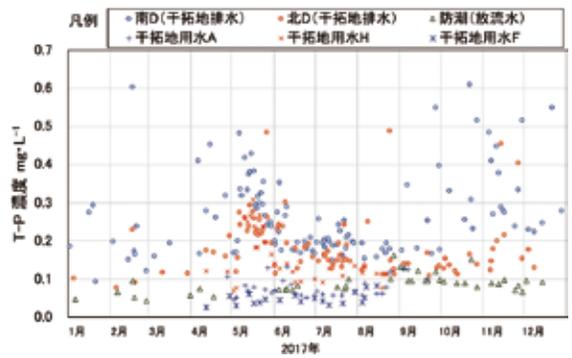


図 8-2-P. 干拓地排水と用水・八郎湖水中の T-P 濃度。

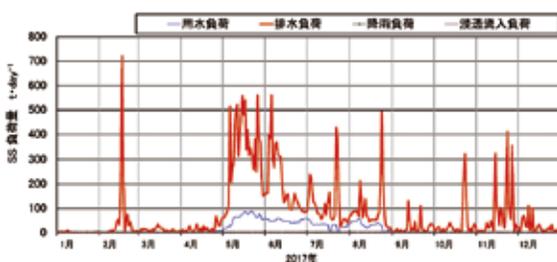


図 8-3-SS. 八郎湖中央干拓地の SS 日流入流出負荷量。

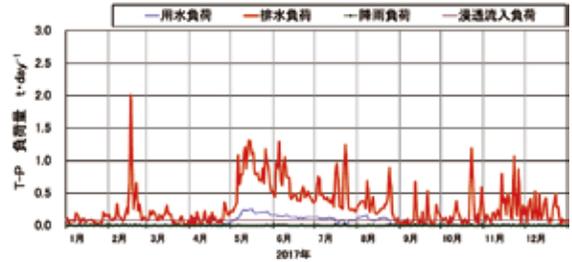


図 8-3-P. 八郎湖中央干拓地の P 日流入流出負荷量。

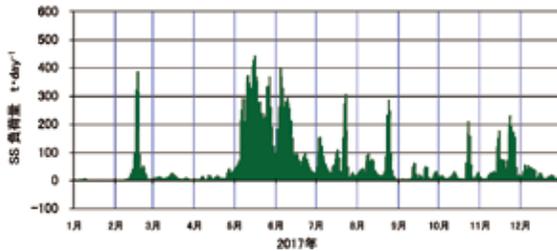


図 8-4-SS. 八郎湖中央干拓地の SS 日差引排出負荷量。

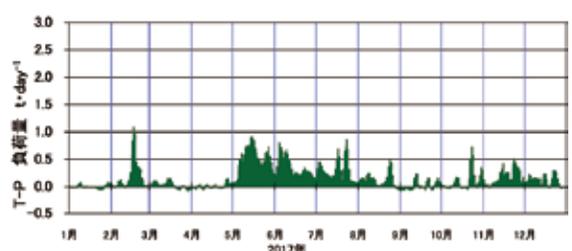
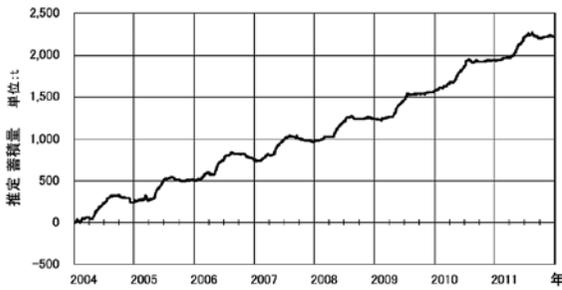


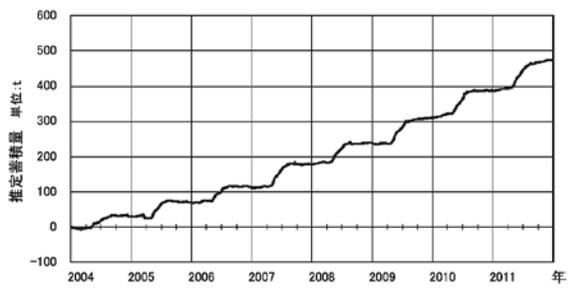
図 8-4-P. 八郎湖中央干拓地の P 日差引排出負荷量。

回程度の水質と流量観測をもとに、負荷量—流量式 (L-Q 式) を求め、流量については連続観測かモデル解析で経時変化を求め、負荷量を推定する方法が用いられている。しかしこの方法では濃度変化を丸めて負荷量を求めることになり、様々な水質保全対策の効果を定量的に検証するには精度が低すぎる。そこで、八郎湖流域で水利用や農地利用密度から見ても最も八郎湖への汚濁負荷の影響量が大きいと考えられる八郎湖中央干拓地において、高頻度の水質測定を行い、日差引排出負荷量 (図 8-4-N, P, SS) を求めた。2017 年について、日単位の流入流出負荷量計 (図 8-3-N, P, SS) の基となる水量の日変動を図 8-1- 水量に、濃度の測定結果を図 8-2-

N, P, SS に示した。水循環や利水環境として電気伝導度 (EC) 値の実態について図 8-1-EC に示した。農業用水中の T-N, T-P, SS 濃度は取水地点により、時期により大きく異なる結果となった。灌漑期は滞留時間が長くなるとともに、浅い八郎湖では干拓地排水量が影響し循環経路と排出地点からの距離によって年によってもピーク値や変動傾向に差が見られた。干拓地排水濃度では、非灌漑期間で降水量が少ないと塩分濃度が高めの堤防浸透水の影響でリンなどが高濃度となり、灌漑期には干拓地内での農業用水の余裕水量が直接排水路に到達することで希釈され濃度の低下が見られたが、代掻き田植え時期には懸濁物質 (SS) 濃度の上昇を伴って、窒素、リン



八郎湖蓄積N負荷：脱窒、窒素固定を考慮しない流入流出負荷量による累積値の日変化



八郎湖蓄積P負荷：河川・干拓地からの流入負荷と防湖水門放流負荷量の差の累積値の日変化

図9. 八郎湖の流入・流出負荷量収支による栄養塩類の蓄積可能量の推定（左：窒素，右：リン，単位：t）.

も高濃度を呈し、差引排出負荷量は25日間～1ヶ月間にまたがる大きなピークが毎年生じていた。

(3) 八郎湖の流入・流出負荷収支による八郎湖への蓄積可能量の推定

次に八郎湖に着目し、八郎湖への出入りの視点から負荷量を評価した。八郎湖への流入負荷は、流域河川からの流入水と湖面への降水負荷、中央干拓地からの差引排出負荷量とし、八郎湖からの流出負荷は日本海へ放流（流出）される負荷量として検討した。八郎湖の流入流出負荷の日単位の収支では、8年間に窒素は2000 t近い湖内への蓄積の可能性が示唆された（図9左）。これは流水に伴う成分量の入出りを累積したもので、脱窒や気散、漁獲などによる持ち出し、沈積や溶出などは加味せずに算出した「蓄積の可能性」の推定値に相当するものとみなすことができる。八郎湖水1.2億m³に対して1年分の蓄積可能量、窒素200 tは、湖水の濃度を2 mg・L⁻¹ 上昇させる量となり、湖水中の栄養塩類濃度の観測値の夏期の濃度上昇幅の程度と一致する量である。

大気との間で出入りのないリンについても同様に「蓄積可能量」を評価すると年間約55 tの蓄積過程と推定された（図9右）。

八郎湖の汚濁の特徴と課題

八郎湖は、他の湖沼と比べ、秋から春にかけて降水量が大きく滞留時間が短く（図2）、流域人口は約7万人（2019年）人口密度は約80人・km⁻²（同）と少なく、大きな工場・事業所や集約的な畜産業などの大きな発生源は少なく、森林と農地といった面源負荷が主要因の富

栄養湖である。干拓地と在来農地を含めた農業は、収益追求型農業へと高度成長期から市場原理強化時代へと集約・収奪性を強め環境負荷を等閑にしている。河口部に閉鎖性水域が形成されていることで集水域からの汚濁負荷を受け閉鎖性水域として栄養塩類を集積しアオコの大発生を招いており、現代の農業への警笛と考えることもできる。アオコの大発生直後の降雨流出で湖内の流動性が高く河口部に近い水域に集積したアオコが日本海へ一気に放流され、放水路である船越水道や海岸域で激しいカビ臭を漂わせている。

加えて忘れてはならない重要な点は、元が海跡湖の汽水湖であったことである。汽水湖での物質循環や海水流入の果たしていた機能などが評価されないまま、地形的な優位性だけをもって農地開発に踏み切り、2000年以上の汽水湖としての経緯、環境条件の元で構成されてきた物質循環を反故にした点であり、干拓してわずか半世紀程度しか経っていないのに激しいアオコの発生に象徴される富栄養化汚濁を引き起こした。干拓工事による攪乱、淡水化、人為的負荷の急増が起り、汽水湖の豊かな生態系が担ってきた機能の劣化・消失を招いた結果としての富栄養化である点である。できるだけ早い時期に科学的な根拠をもとにした真摯な反省の上で、計画的で積極的な共生のあり方の追究にシフトする必要がある。

漁業等の変遷と漁獲量の減少による湖内からの負荷回収ルートの減衰

八郎湖の干拓により、湖岸域で利用されてきたアマモなどの水草「もぐ」の利用とそれに伴う養分の回収が消失した。「もぐ」は、パルプの原料として出荷されたり、乾燥

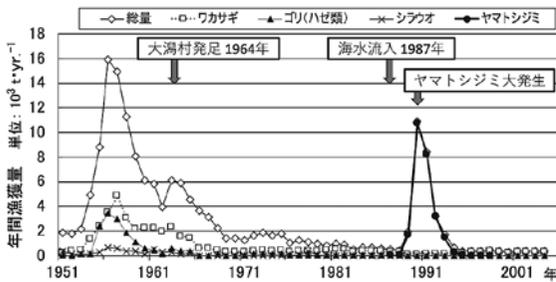


図 10. 干拓事業計画以降の漁獲量の推移。

して布団綿や拭紙の代わりとして用いたり、堆肥にして農地に還元されたりと、人間の暮らしの中で経済的価値を伴った物質循環系に取り組み、湖内から栄養塩類を回収する重要な経路を構成していた（近藤，2010）。

漁業は干拓事業開始時の漁業者への補償金支払いによる漁業権の全面放棄となったが、漁師の要望により、淡水化後の調整池の漁業就労者の所得向上目的で、国から県が八郎湖漁業振興地域指定を受けて、「八郎湖地域振興計画」と「八郎湖漁業調整規則」を制定し漁業振興に踏み切り、「内水面増殖漁業」としてウナギ稚魚の放流やワカサギの孵化、放流などを推進してきた。淡水化に伴う生物等の変化に即応する漁業秩序の維持や、漁業資源の維持、農業用水源利用への配慮や有効3年間の許可漁業としての特定区画漁業といった特徴を持っている。秋田県の水産振興センターもサポートしてきたが、プランクトン調査などの漁場の環境調査も近年中止し、わずかに種苗放流技術の安定化でのサポートが続けられているのみである。海域の沿岸漁業の衰退、漁獲高は減少し、次世代に引き継げる技術も消失寸前である。アオコの発生被害を直接受け、後継者はほとんど皆無の状況のもと、年老いた漁夫らは一度諦め、その後与えられた許可漁業権下で沈黙を維持している現状である。

八郎湖の汚濁負荷収支からみた 管理型汽水管理の可能性について

八郎湖において、汽水機能の一時的、部分的な回復による物質循環の適正化の有効性と必要性が示されたのが、1987年8、9月の数日間のたった1回の一時的な海水の流入による、ヤマトシジミの大発生（図10）と、その後の5年間ほどのアオコ発生の休止と水質の大幅な

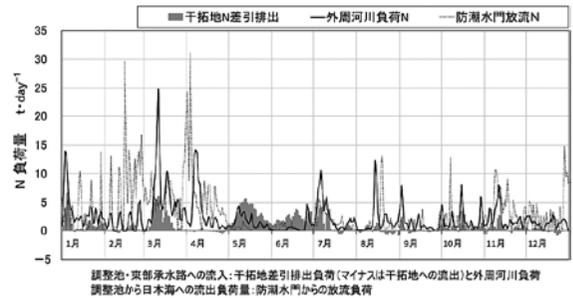


図 11. 調整池のN流入・流出負荷量の日変動(2006年)。

改善という八郎湖としての貴重な経験であった（近藤，2020）。台風と満潮により八郎湖に湖水量の1/10程度流入した。これは、今後の八郎湖の水質改善を考える上で、非常に貴重な多くの可能性を示した事件で、干拓後25年を経た時期の一大イベントであったといえる。海水流入後の6年目から再びアオコの大発生が続いていることも重要な示唆である。

海水流入による利水への影響も生じた。大潟村の水道水への塩分混入が最も大きな“被害”として地元新聞等に記録され大潟村議会でも議論に多くの時間が充てられた。

現在の汚濁負荷収支の期別変動のパターンは、河川流入負荷と干拓地負荷（干拓地からの差引排出負荷量）および日本海への放流負荷の日変動の比較（図11）から、淡水資源の利用時期、流域からの流水による淡水資源の回復と安定確保を前提としての海水流入を検討する意義は大きい（近藤，2020）。

八郎湖の汚濁負荷収支や水文特性も考慮した 流域機能の回復による持続的な水資源利用と 水質保全

農地などの面源からの負荷削減や、新しい湿地、100 km²の干拓地水田の適正な生態系機能の強化による自然浄化機能の増強、衰退している中山間地農業や林業のもつ流域生態系機能の回復による急激な洪水流出の抑制と基底流量の回復など水文環境の改善、湖水域については利水機能（淡水資源の確保）と汽水生態系の強力な浄化機能の回復（特にヤマトシジミの計画的資源回復と管理：リアルタイムでモニタリング管理された期間限定、範囲限定の計画的な海水の取込みによる管理型汽

水環境の創造)による適正な物質循環の再構築が必要である。特にこの汽水生態系の浄化機能の回復には期間限定で部分的な汽水管理が、淡水資源確保との両立の上でこそ持続的な実効につながることを期待できる。これまでの慣例に囚われずに、科学的で慎重な検証を重ね、新しい管理条件を構築し共生を追求すべきである。

少し具体的に述べると、一時的であっても海水導入で利水に障害を起こすわけにはいかないことから、まず大潟村の上水について塩分の影響を受けないような安全な新たな水源を確保する必要がある。現在調整池に面した堤防からの浸透水を水源とし、西部に位置する中心地まで15 kmほどパイプラインで原水を送水し浄水場で処理している。この取水地点は防潮水門から5 km程であり取水地点の標高は約-5 mで前述の海水流入時に塩分濃度の上昇による給水障害を起こした経緯がある。流域自治体や住民が八郎湖の浄化と新たな環境の創出に向けた共同と信頼の意識を高めるなかで、大潟村の生命線でもある上水道の安定水源の確保から始める必要があろう。次に淡水の利水上で心配されるのが農業における水利用についてであるが、海水が流入した1987年から88年にかけては干拓以降で非灌漑期間の降雪量が最も少なかった年でもあり、全域に海水が入っても1998年春には雪解け水により掃き出され営農には全く支障を来さなかった。このことから、流入水量や滞留時間(図2)からみて淡水資源の確保は部分的な海水の導入であれば十分に可能と判断できる。干拓・淡水化という新しい環境下で失われた生態系を介した物質循環を、安定した汽水域の水産業回復の形で経済循環と食料供給のサイクルを新たに創出することで、湖内に蓄積した栄養塩類を持ち出すことが必要である。ヤマトシジミの生息環境の回復は、アオコの抑制のほか湖水の透明度の回復やコイなどの有害淡水魚の駆除と回避、水草の定着と増殖、底質の還元化の抑制と好气的環境の復元など、淡水化と富栄養化で失った多くの効果も期待できる。

現在の「対策」と称する取り組みの中には、根拠に乏しいもの、浄化効果のレベルが小さすぎるもの、構造的な悪条件の克服なしで挑戦しているものなども少なくない。科学的な根拠と見通しをもって、実効ある対策に大胆に踏み切るべきである。そのためにも、科学的な検証に予算や人、そして必要な技術を注ぐ必要がある。

おわりに

本稿は八郎湖における水収支と水質変動の観測から汚濁負荷の挙動と量的変動を知り、汚濁の特性と要因、課題について考察した。

八郎湖は、馬場目川流域の河口部に自浄作用の低い淡水の閉鎖性水域として形成されたことで、集水域からの汚濁負荷を受け栄養塩類を集積しアオコの大発生を招いていた。言い換えれば現代の農業の汚濁負荷発生問題を富栄養化という形で知らせることになったとも受け取れる。

半世紀以上前に行われた八郎潟干拓の食糧増産と安定供給という目的は、その側面だけを見れば確かに果たせたかのように映るが、電力と化石燃料に頼り、大量の化学物質の利用と農業者の過労を前提とした農業でもあり、加えて集水域の慢性化した激しい富栄養化を引き起こしている点は、持続可能性という新しい基準軸で見た場合、干拓事業は成功し完了したと見るには程遠いと言わざるを得ない。秋田県内でも干拓でできた新しい農地の面積を遥かに超える中山間地域の農地が荒廃しており、農政のあり方とともに、豊かな漁場であった八郎潟の干拓事業の必要性を改めて検証することすら求められかねない。

本稿も、生態系の評価や物質循環機能、大気圏と窒素固定、脱窒、湖底への沈降堆積と湖底質からの溶出、風や波による湖内での移流拡散現象などには触れることすらできない状況での考察であり、偏った面からの不十分な議論であったことは全く否められない。多くの科学の集積と流域住民のみでなく国民的な認識の共有を基にした、科学的解明に立脚した大胆な発想の転換とともに、繊細で綿密な検討と、慎重な対策を進める必要があろう。本稿が新しい時代の共生のあり方の追求の叩き台の一つに少しでも役立つなら幸いである。

引用文献

- 秋田県. 2020. 八郎湖水質保全対策 第3期計画.
 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.
 近藤正. 2020. 八郎湖への海水導入のメリットとデメリット. 八郎湖流域管理研究. No.5:7-18.
 Kondoh T, Nagasaka Y, Kato A, Shindo H, Kato M, Saito M, Fujiwara K, Yamamoto S, and Yaji Y.

2019. Reduction of nitrogen, phosphorus, and suspended solids effluent loads from paddy fields by transplanting into retained ponding water using a GNSS-controlled rice transplanter. *Paddy and Water Environment*. 17(2): 221-230.
- 松坂正道・坂本茂弘. 1982. 八郎潟調整池の多目的利用について - 主として栽培漁業等について -. *農土誌* 50 (9) : 775-778.
- 田淵俊雄・高村義親. 1992. 集水域からの窒素・リンの流出. 東京大学出版.