

諫早調整池における生物動態の研究 —生物を利用した水質改善をめざして—

吉次 様子*

1 はじめに

諫早湾干拓調整池では、平成9年の潮受堤防の締切以降、水質のCOD, T-N, T-Pが環境保全目標値(COD:5mg/L, T-N:1mg/L, T-P:0.1mg/L)を上まわる状態が続いており、その改善が求められている¹⁾(図1)。この水質改善の対策として、調整池内では潜堤やヨシ進出促進工の整備、周辺流域では下水道の整備、耕作地の施肥管理などが計画・実施されているが、現在までのところその成果は十分でない²⁾。

国内では、調整池のような閉鎖性水域の水質改善の対策として、沈水植物群落や動物プランクトンのミジンコなど生物を利用した方法(バイオマニピュレーション)が茨城県の霞ヶ浦、長野県の白樺湖、などで試みられており、一定の効果が得られている^{3) 4)}。

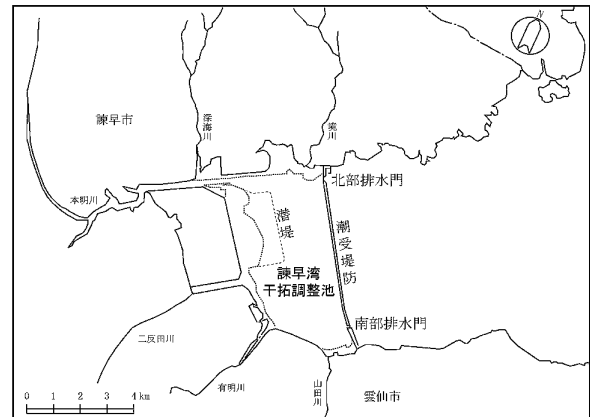


図1 諫早湾干拓調整池

本研究では、調整池の生物動態を再現した簡易モデルにより物質収支を計算し、調整池において生物を利用した水質改善手法の方向性を検討した。

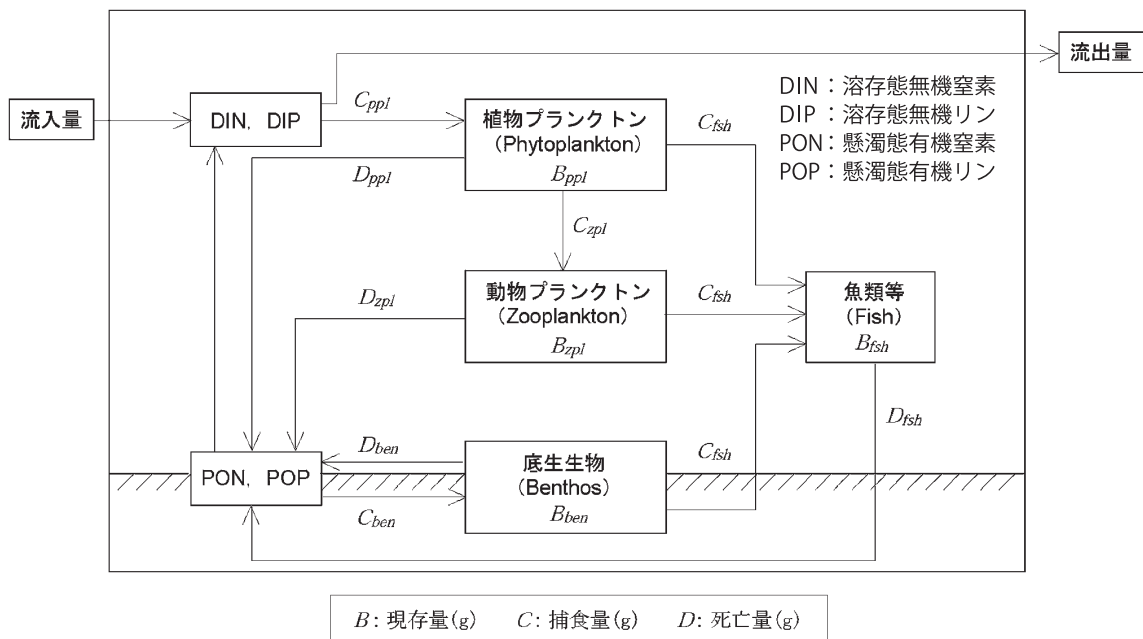


図2 諫早湾干拓調整池における生物動態の構造図

* 一般財団法人 九州環境管理協会 環境部

2 検討の方法

調整池の生態系は、一般的な湖沼と同様に植物プランクトン、動物プランクトン、底生生物、魚類等で構成されていることが分かっており、これら4つの生物群を調整池における生物の構成要素とした(図2)。既存の調査結果と知見からこれら4つの生物群の現存量、成長速度を求め、図2に示すとおり、栄養(窒素、リン)の水質・底質・生物群間の移動・輸送をモデル化した。水中の栄養塩は、池外からの流入と池内の底質から溶出するとした。池底の底質有機物は、4つの生物群が死亡して池底に沈降することにより供給されるとした。調整池では、定期的に潮受堤防の北部・南部排水門から池水が排出されており、これにより水中の栄養塩が池外に流出するとした。

計算にあたっては、以下の条件に基づき生物(植物プランクトン、動物プランクトン、底生生物、魚類等)の生産量(成長量)、捕食量、死亡量、底質からの溶出量、流入量・流出量を求めた。

- ・生産量は、現存量に成長速度を乗じて求め、排泄など生物代謝に伴う栄養塩の移動は考慮しなかった。
- ・現在の調整池では、年単位での生物量は定常であると仮定し、ある生物群の被食量と死亡量の合計値は生産量に等しいとした。
- ・魚類等による捕食では、低次にある3つの生物群をそれぞれ等量で取り入れると仮定した。
- ・4つの生物群の死亡量の合計は、底生生物の生産量と底質からの溶出量の合計値に等しいとした。
- ・栄養塩量は一定期間で定常であると仮定し、調整池内の流入量と流出量は等しいとした。

これらの条件を仮定した計算結果から、調整池の生物を介した物質収支を求め、生産量や死亡量など物質の移動量のマスバランスから効果的な水質改善手法の方向性を考察した。

3 生物動態を再現した物質収支

3.1 調整池における生物の現存量

既存の調査結果⁵⁾から、調整池における植物プ

ランクトンの細胞数は 1.1×10^{18} 細胞(細胞密度として $3.8 \times 10^4/\text{mL}$)で、そのほとんどが珪藻類の *Skeletonema subsalsum* であることから、調整池における植物プランクトンを *S. subsalsum* で代表させた。1細胞を直径 $5 \mu\text{m}$ 、長さ $10 \mu\text{m}$ の円筒形と近似して体積を求め、体積の約2%が炭素量⁶⁾、体積の5%を有機物として現存量を算出した。

動物プランクトンの個体数は、既存の調査結果⁵⁾から 1.7×10^{13} 個体(個体密度として 5.9×10^5 個体/ m^3)であり、その多くがワムシ類であることから、調整池における動物プランクトンをワムシ類で代表させた。1個体を直径 $300 \mu\text{m}$ の球と近似して体積を求め、植物プランクトンの含有率を適用して現存量を算出した。

底生生物、魚類等の現存量は、既存の調査結果^{5) 7)}から $4.1 \times 10^7\text{g}$ 、 $1.3 \times 10^8\text{g}$ とした。

表1 調整池における生物等の現存量

単位:t

	現存量
植物プランクトン	11,200
動物プランクトン	11,900
底生生物	40
魚類等	130
調整池水量	2.9×10^7

3.2 生物の成長速度

S. subsalsum と同属の *S. costatum* の分裂速度は2.3-4.28回/日とされているが⁸⁾、これは赤潮等の増殖が活発な時の値であるためここでは1回/日(2倍/日)とした。

ワムシ類の日間増殖率は、水温により20~60%まで変化しており、ここでは平均の40%(1.4倍/日)とした⁹⁾。

調整池における底生生物は、そのほとんどがイトミミズ類である。有機物の多い場所では通年の繁殖が観察されている種もあり、ここでは年3世代の繁殖・成長に見合う成長速度として1.2倍/月とした¹⁰⁾。

魚類等の成長速度は、2倍/年とした⁷⁾。

これらの成長速度から各生物群の年生産量は表2のとおりとなり、図2に示す捕食・被食及び死亡の関係から、年被食量、年死亡量を算出した。

表2 各生物群の成長速度・年生産量等の計算結果

単位：t/年					
	現存量	成長速度	年生産量	年被食量	年死亡量
植物プランクトン	1.1×10^3	2/日	4.1×10^6	1.7×10^6	2.4×10^6
動物プランクトン	1.2×10^3	1.4/日	1.7×10^6	4.0×10^6	1.7×10^6
底生生物	4.0×10^3	1.2/月	1.0×10^2	4.0×10^2	5.0×10^2
魚類等	1.3×10^2	2/年	1.3×10^2	—	1.3×10^2

3.3 調整池における窒素 (N), リン (P)の物質収支

S. subsalsum と同属の *S. costatum* の1細胞あたりの窒素, リン含有量はそれぞれ 2.71pg, 0.46pg とされている¹¹⁾⁻¹³⁾。これに, 植物プランクトンの細胞数を乗じて植物プランクトン全体に含まれる窒素, リンを算出した。動物プランクトンの組成は, レッドフィールド比から有機物:窒素:リン=1827:224:31であり, これに基づく有機物:窒素:リンの比率と植物プランクトンの体積あたりの含有比率を適用して窒素, リンの現存量を求めた。

底生生物, 魚類等に含まれる窒素, リンは, 過去に測定したアサリ, コノシロの窒素, リンの含有率を適用して算出した。

表3 調整池における各生物群の窒素, リンの現存量

単位:t		
	窒素(T-N)	リン(T-P)
植物プランクトン	2.98	0.51
動物プランクトン	3.16	0.437
底生生物	8.9×10^{-3}	7.6×10^{-4}
魚類等	2.2×10^{-2}	4.3×10^{-3}

各生物群に含まれる窒素, リンと各生物群を介した窒素, リンの移動の計算結果を図3, 4に整理した。調整池に流入した窒素, リンは, 底泥から溶出した栄養塩とともに水質中に回帰する。水質に対する流入量の寄与分は, 窒素で約12%, リンで約5%であり, 水中の栄養塩に対しては底泥の溶出による影響が大きいことが分かる。その栄養塩の多くは, 生物生産・食物連鎖を通じて植物プランクトン, 動物プランクトンに順次取り込まれる。動物プランクトンへの取り込み量は水質栄養塩の窒素, リンのそれぞれ約37%, 約33%と高い割合となっている。さらに, 植物プランクトン, 動物プランクトンが死亡し池底

へ沈降する量は, 窒素で1,088t/年, リンで186t/年であり, 池底からの溶出量にほぼ等しい。一方, これらプランクトンを介した物質収支と比べて底生生物や魚類等への栄養塩の移動・輸送はごくわずかである。

このように調整池における生物動態を考慮した物質の移動では, 水中—池底とプランクトンを介した栄養塩の流れが主体となっている。

4 水質改善の方向性

調整池の生物を利用した水質改善手法を図3, 4に示した物質収支の計算結果から検討した。

4.1 水質改善の利用に適した生物群とその手法

調整池における窒素, リンは, 植物プランクトン, 動物プランクトンを介しての移動量が多い。したがって, 調整池から動, 植物プランクトンを除去することは窒素, リンを除去することになり水質改善につながる。しかし, 一般的な水質浄化装置の処理能力は数十 m^3 /日で, 1台あたりの年間の処理量は, 調整池容量 ($2.9 \times 10^7 m^3$) の1%程度と少なく効果に対する設備コスト等に課題がある。

4.2 生物を利用するための改善手法

調整池における底生生物, 魚類等は現存量が少なくこれらを介しての窒素, リンの移動量は小さい。一方, これらは大型のため動植物プランクトンに比べて系外へ取り出しやすい利点がある。現在の調整池は浮泥の堆積が多く, 底生生物や魚類等は生息しづらい環境である。ここに覆砂をすることで底生生物の生息量が増加し, それを餌とする魚類等の増加が期待でき, 増加した底生生物, 魚類等を漁獲することで調整池から窒素, リンが除去される。例えば, 調整池の底生生物が琵琶湖と同様に巻貝類・二枚貝類が主体となり, 現存量が $600g/m^2$ まで増加¹⁴⁾した場合, これに含まれる窒素, リンの現存量はそれぞれ3.45t, 0.293tで, 年生産量は8.28t, 0.703tとなり, 生産量の50%を取り出すと流入量と比べて3~4%の栄養塩を取り出すことができる。

また、覆砂により底泥からの窒素、リンの溶出が抑制されることも水質改善の一助となる。ただし、
 図 3, 4 に示すように池底には相当量の動植物プラ

ンクトン由来の有機物が沈降すると考えられるので、その効果の持続性には課題がある。

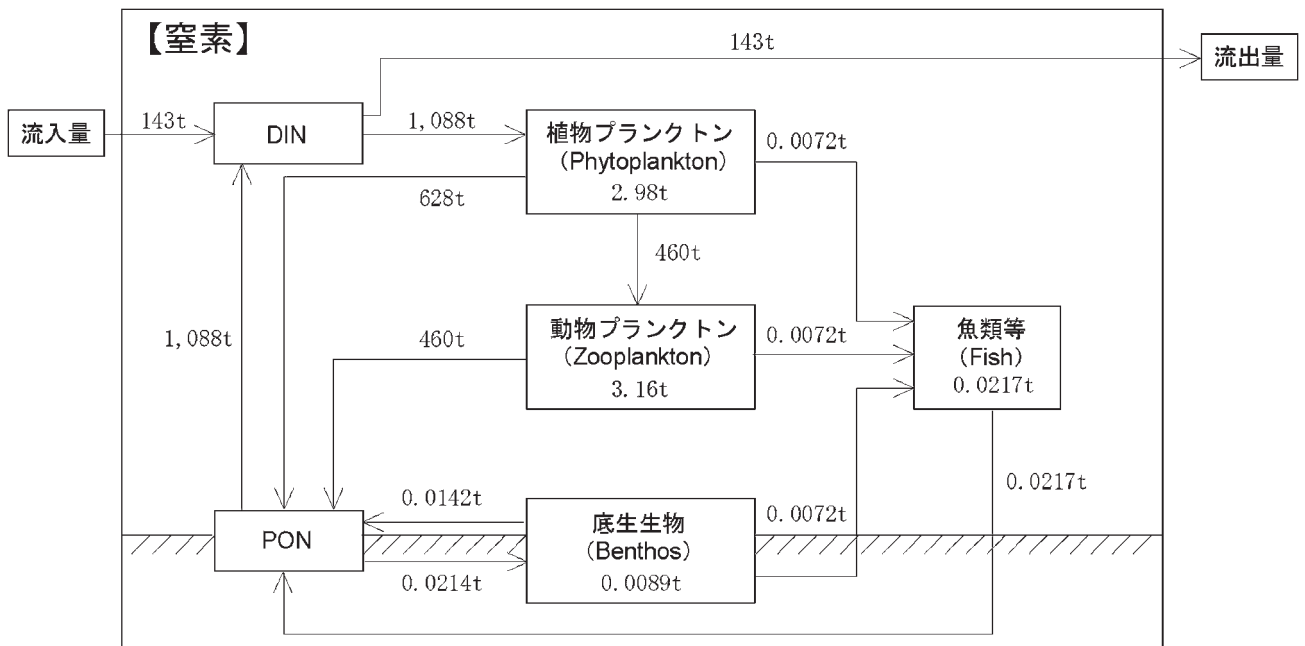


図 3 諫早湾干拓調整池における年間の物質収支 (窒素)

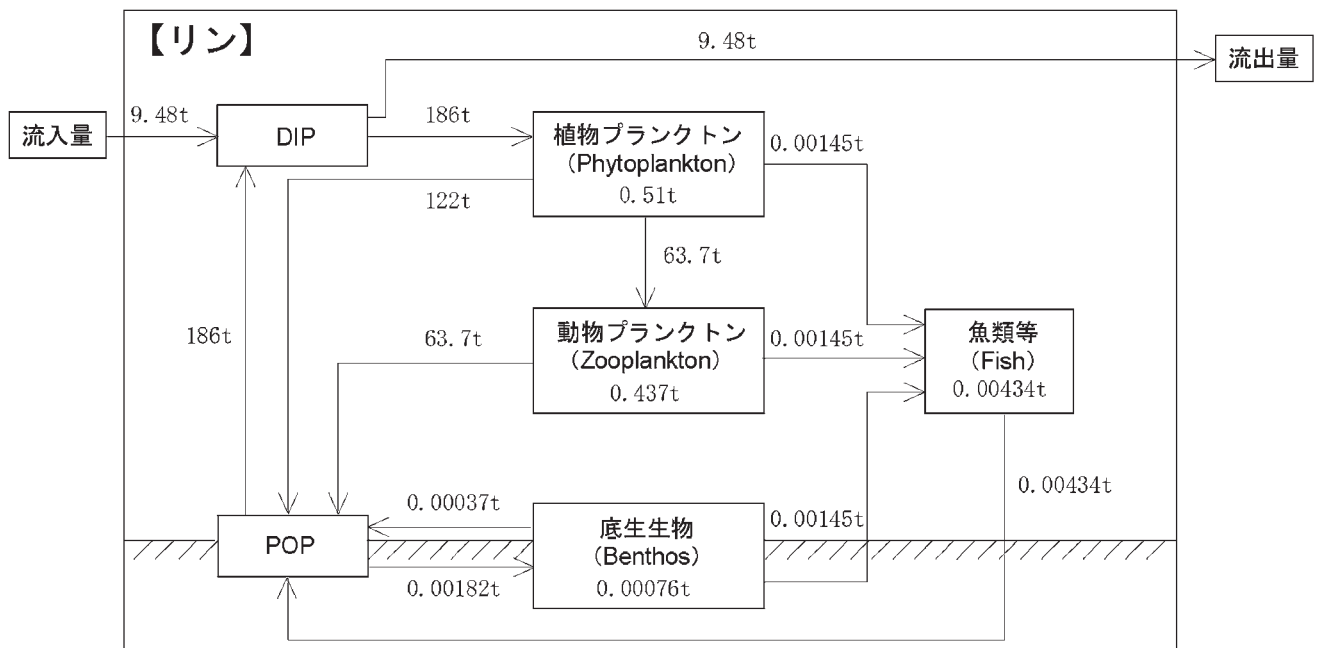


図 4 諫早湾干拓調整池における年間の物質収支 (リン)

5 まとめ

調整池において生物を利用した水質改善手法を適用していくことを目的として物質収支を計算し、水質改善手法の方向性を検討した結果、以下のことが分かった。

- ・調整池における窒素、リンは、植物プランクトン、動物プランクトンを介しての移動量が大きく、動植物プランクトンを除去することは窒素、リンを除去することになり水質改善につながる。
- ・一般的な水質浄化装置による動植物プランクトンの除去の処理量は、年間1台あたり調整池容量の1%程度と少なく、効果に見合う設備投資に課題がある。
- ・調整池における底生生物、魚類等は現存量が少なくこれらを介しての窒素、リンの移動量は小さいが、動植物プランクトンに比べて系外へ取り出しやすい利点がある。
- ・覆砂等により底生生物、魚類等の生息量を増加させ、これらを漁獲することで調整池から窒素、リンが除去される。同時に底泥からの窒素、リンの溶出が抑制されることも水質改善の一助となる。ただし、池底には相当量の有機物が沈降すると考えられるので、その効果の持続性に課題がある。

6 おわりに

本検討では、諫早湾干拓調整池における生物を用いた水質改善について一定の方向性を示すことができた。一方、計算にあたっての条件やモデル構造には改良が求められる点が残し、今後はモデルの精緻化や改善手法の実効性を確かめる必要がある。

最後に、本検討は、調整池の水質改善手法を検討することを目的として、当協会内部の研究会の成果の一部を整理したものであり、代表の中西弘先生をはじめとするメンバーの方々にはこの報文をまとめるにあたって多くの助言をいただいた。今後も調整池等の閉鎖性水域の水質改善手法についての研究を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 諫早湾干拓調整池等水質委員会 (2007) 諫早湾干拓調整池等水質委員会検討結果の取りまとめ, 10,11pp.
- 2) 諫早湾干拓調整池等水質委員会 (2007) 諫早湾干拓調整池等水質委員会検討結果の取りまとめ, 22pp.
- 3) 柚木秀雄, 高村典子, 西廣淳, 中村圭吾 (1989): 浚渫土に含まれる水生植物の散布体バンクとバイオマニピュレーションを活用して霞ヶ浦湖岸に沈水植物群落を再生する試み, 保全生態研究, Vol.8, No.2, 99-111pp.
- 4) 日本放送協会 (2000) クローズアップ現代「美しい湖を取り戻せ」, NHK ホームページ.
- 5) 九州農政局諫早湾干拓事務所 (2004-2012) 諫早湾干拓事業諫早湾モニタリング調査委託事業報告書
- 6) 高橋正征, 古谷研, 石丸隆 (1996): 生物海洋学1 プランクトンの分布/化学組成, 59-73pp., 東海大学出版会.
- 7) 九州農政局諫早湾干拓事務所, (2002) 平成13年度諫早湾干拓事業諫早湾地域生物等評価検討委託事業.
- 8) 岡市友利 (1997): 赤潮の科学 (第二版), 127pp., 恒星社厚生閣.
- 9) 小磯雅彦 (2006) ワムシ類の安定生産技術と品質について, 日本水産学会誌, Vol.72, No.2, pp.259-262.
- 10) 大高明史 (1992) 日本産水生ミミズ類ユリミミズ属 (イトミミズ科) の分類について, 弘前大学教育学部紀要, 68, 1992, p.27-40
- 11) W.M. リーダー (1987) 藻類の生理生態学, 51pp., 培風館.
- 12) 岡市友利 (1997) 赤潮の科学 (第二版), 207pp., 恒星社厚生閣.
- 13) 眞鍋武彦 (1989) 海産珪藻 *Skeletonema costatum* の元素組成とそれから導かれる理論組成式, 日本プランクトン学会報, Vol.36, No.1, 43-46pp.
- 14) 西野麻知子 (2001) 水位低下が底生動物に与えた影響について, 琵琶湖研究所所報, Vol.20, 116-133pp.