

諫早干拓調整池の水質シミュレーション

荒木宏之
古賀憲一

佐賀大学低平地研究センター

佐賀大学理工学部都市工学科

1. はじめに

諫早干拓調整池は流域の河口部に位置し、高潮や洪水から周辺地域を守る防災機能を持っている。洪水時には陸域から一時的ではあるが負荷の全量が流入するため水質悪化が懸念されている。本研究は、当該調整池の水質保全対策や水質管理のための基礎的知見を得ることを目的として水質シミュレーションを行ったものである。

2. 調整池の概要

干拓調整池と水質観測地点を図-1に示す。干拓面積の縮小に伴い、調整池面積は、当初計画の1700haから2600haへと変更され、現在に至っている。また、有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会（農林水産省）は有明海に与える諫早干拓事業の影響を把握するために開門調査を提言し、そのことを踏まえて短期調査が実施された段階である。本稿における検討対象期間は平成10年1月から短期開門調査期間前の平成13年12月までである。

3. 水質モデルについて

調整池内の水質は、河川流入点付近を除いて顕著な水平・鉛直分布を有していないことから、概ね完全混合状態にあると仮定し、ここでは一池モデルを用いた。

本干拓調整池において検討しなければならない水質問題は、まず、閉鎖性の強い水域であることから内部生産によるCOD濃度の変化特性である。汽水・淡水化された調整池で増殖したプランクトン類の生長過程（海水から汽水・淡水過程に至る藻類等の変化過程）については、十分な基礎資料が得られていないものの、調整池からの流出藻類

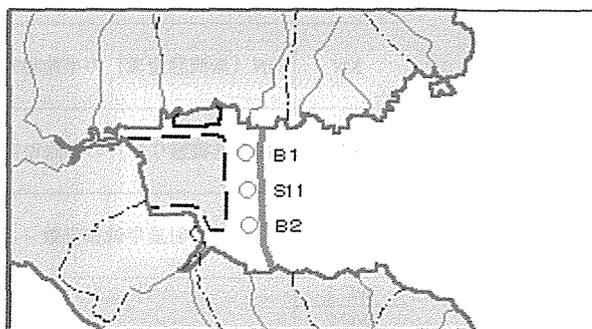


図-1 水質調査地点（農林水産省ホームページより）

などによる有明海環境への影響も想定可能な問題であろう。

調整池完成前における諫早湾での懸濁性物質の挙動は汽水域や海水域での凝集沈降の影響を強く受けていたと思われる。締め切り後においては、海水による凝集沈降の影響が緩和されるために調整池内のSS濃度は高くなる。これまでの観測データからは調整池内の塩分濃度は降雨時で低くなるものの、長期的な塩分濃度レベルからは調整池内の凝集沈降による沈降フラックスを完全に否定できる状況とは判断されないようである。凝集沈降まで考慮に入れたSSの挙動を知ることは調整池内の底泥形成過程や有明海の浮泥の挙動を把握する意味でも重要と思われる。このことに加えて、調整池の塩分濃度が他の水質項目や底泥特性に及ぼす影響としては、リンの不溶化現象も検討対象と考えられる。

以上の所見を踏まえて、ここでは、標準的な藻類生長過程をMonod型で表現し、SS濃度については、塩分濃度を組み込んだ凝集沈降現象を考慮に入れ、併せてリンの不溶化をモデルに組み込んだ。底泥からの溶出は、リン、窒素、D-CODについて考慮した。風による巻き上げは、所定の巻き上げ限界風速を越えたときに巻き上げが生ずるものとした。その他、底泥による脱窒も考慮した。

表-1 パラメータ表

パラメータ	説明	設定値	単位
μ_{max}	最大比増殖速度	珪藻	0.469
		緑藻	0.45
		藍藻	0.5
FF	死滅速度	珪藻	0.11
		緑藻	0.08
		藍藻	0.055
Tu	増殖上限温度	珪藻	24
		緑藻	29
		藍藻	34
Ts	増殖最適温度	珪藻	24
		緑藻	25
		藍藻	29
Tb	増殖下限温度	珪藻	0
		緑藻	10
		藍藻	23
KN	IN (無機態窒素) の半飽和定数	珪藻	0.087
		緑藻	0.087
		藍藻	0.087
KP	IP (無機態リン) の半飽和定数	珪藻	0.032
		緑藻	0.032
		藍藻	0.032
KE	日射量半飽和定数	100	(cal/cm ² /day)
WC 1	沈降速度	珪藻	0.05
WC 2		緑藻	0.05
WC 3		藍藻	0.05
WSSC		COD	0.1
WSSN		窒素	0.1
WSSP		リン	0.1
α_C	CHL-a \leftrightarrow COD 換算係数	珪藻	0.05
		緑藻	0.05
		藍藻	0.05
α_N	CHL-a \leftrightarrow 窒素換算係数	珪藻	0.007
		緑藻	0.007
		藍藻	0.007
α_P	CHL-a \leftrightarrow リン換算係数	珪藻	0.0003
		緑藻	0.0007
		藍藻	0.0007
LC	河川由来の溶解性比率	COD	0.6
LN		窒素	0.6
LP		リン	0.6
DKC	溶出速度	COD	0.05
DKN		窒素	0.0035
DKP		リン	0.0185

表-1 に示す反応速度係数は、既存の資料を参考にして、本質を見失わない範囲で修正した。調整池に対する連続の式は河川流入量 (タンクモデルより算定)、海からの海水浸入量、調整池容量で満足させた。モデルの基礎式を以下に示す。

クロロフィル a

$$\frac{d(CH_i \cdot V)}{dt} = -L_{out}(CH_i) - w_i \cdot CH_i \cdot A + P_i(CH_i) - F_i(CH_i) \quad (1)$$

(chl-a 変化) (流出) (沈降) (増殖) (死滅)

$$P_i(CH_i) = \mu_{maxi} \cdot f_{Tmi} \cdot \frac{IN}{IN + KN_i} \cdot \frac{IP}{IP + KP_i} \cdot \frac{LE}{LE + KE_i} \cdot CH_i \cdot V \quad (2)$$

$$F_i(CH_i) = FF_i \cdot f_{Tmi}^{(T-20)} \cdot CH_i \cdot V \quad (3)$$

ここで、CH: クロロフィルaの濃度 V: 容積
 L_{out}: 流出負荷 w: 沈降速度 A: 沈降面積 P: 増殖
 μ_{max} : 最大比増殖速度 F: 死滅 FF: 死滅速度
 f_{Tm} : 温度補正係数 (m1: 増殖, m2: 死滅) T: 水温
 LE: 日射量 IN: 無機態窒素濃度 IP: 無機態リン濃度
 KN: 無機態窒素の半飽和定数
 KP: 無機態リンの半飽和定数
 KE: 日射量の半飽和定数
 添字i: (1: 珪藻, 2: 緑藻, 3: 藍藻)

COD, T-N, T-P

$$\frac{d(Y_j \cdot V)}{dt} = \frac{d(S_j \cdot V)}{dt} + \frac{d(D_j \cdot V)}{dt} + \frac{d(\sum(CH_{ji} \cdot V \cdot K_E))}{dt}$$

(変化) (SS性) (溶存性) (プランクトン由来)

(4)

$$(SS性) \frac{d(S_j \cdot V)}{dt} = L_{in}(S_{B,j}) - L_{OUT}(S_j) - w_{s,j} \cdot S_j \cdot A$$

(変化) (流入) (流出) (沈降)

$$(溶存性) \frac{d(D_j \cdot V)}{dt} = L_{in}(D_{B,j}) - L_{OUT}(D_j) - A \cdot K_{D,j} \pm R_j$$

(変化) (流入) (流出) (溶出) (反応)

(6)式の反応項 R_j は、それぞれ式(7), (8), (9)である。

$$R_1 = -K_c \cdot D_1 \cdot V$$

(反応) (分解)

$$R_2 = -K_{E2} \{ \sum(P_i(CH_i) - F_i(CH_i)) \} - K_F \cdot A$$

(反応) (吸収) (死滅) (脱窒)

$$R_3 = -K_{E3} \{ \sum(P_i(CH_i) - F_i(CH_i)) \}$$

(反応) (吸収) (死滅)

ここで、 L_{in} ：流入負荷、 K_d ：溶出速度、 K_c ：COD分解係数、 K_r ：脱窒速度、 K_e ：換算係数、 Y_f ：濃度、 S_j ：SS性濃度、 D_j ：溶解性濃度、 C_j ：藻類濃度、添え字 j ：(1：COD, 2：T-N；3：T-P, B：境界条件)

4. シミュレーション結果及び考察

(1) COD

図-2に示すように、COD計算値は実測値を良好に再現しているようである。平成12, 13年においては、計算値と実測値の再現性は10, 11年に比べて良好な結果となっている。このことから、調整池閉め切り後における調整池内の水質安定化が推察される。

平成10, 11年において、一時的ではあるが実測値が計算値より高い傾向を示している。これは、海水・汽水性の優占藻種の遷移過程によるものとも思われるが詳細については不明である。

(2) T-N

T-Nに関して、図-3に示すように計算結果は実測値を概ね良好に再現しているようである。平成12年4月～5月、平成13年4月～6月における実測T-N濃度の減少傾向を計算結果が十分再現していないようである。しかし、同時期におい

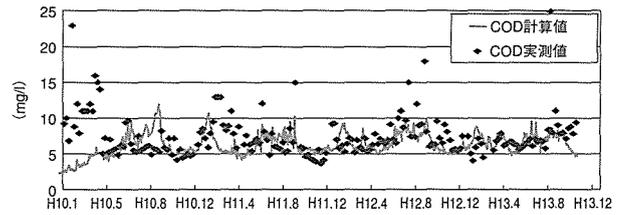


図-2 COD濃度

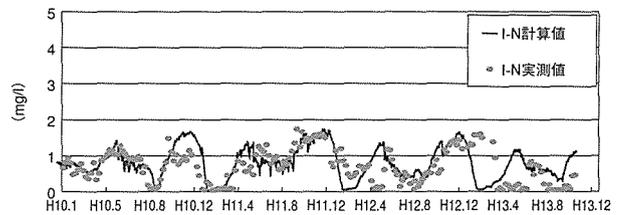
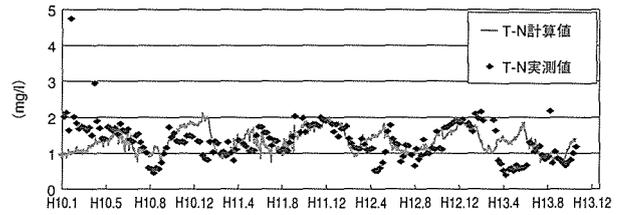


図-3 T-N濃度

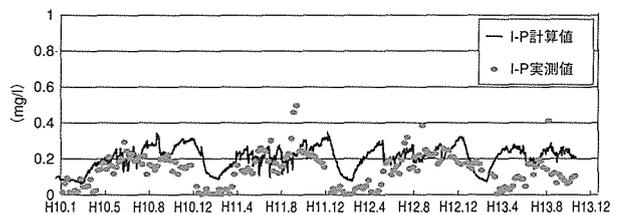
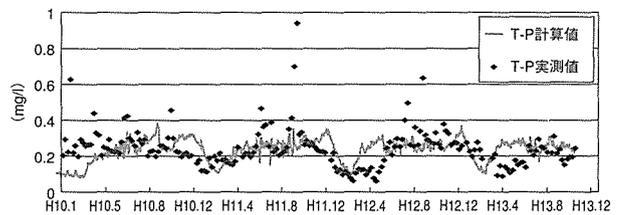


図-4 T-P濃度

てクロロフィル a濃度は、T-Nを減少させるほどの変化が生じていなかったことから植物プランクトンによる消費とは考えにくい。また、O-Nに比べI-Nが極端に減少していたことから底泥付着生物による底泥への吸着も考えられるが、詳細については、今後の検討課題である。

(3) T-P

図-4に示すように、溶出と風による巻き上げを考慮したことにより実測値の再現性は良好である。図示していないが、T-PとSSの相関関係はT-NとSSの相関関係より高く、T-PとSSを関連付けることで、懸濁性物質に吸着されたT-Pの巻き上げ・沈降などを再現していると考え

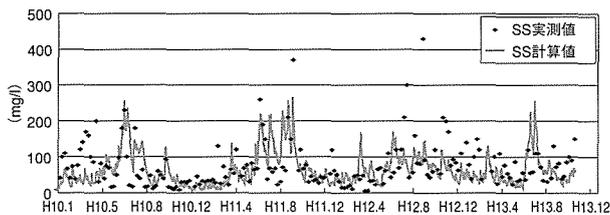


図-5 SS濃度

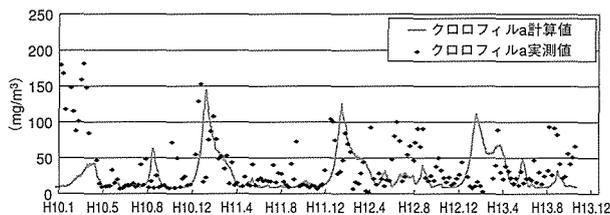


図-6 クロロフィルa濃度

られる。なお、毎年、3～4月付近における計算濃度の減少傾向は、主に塩分濃度による不溶化によるものである。

(4) SS

図-5にSS濃度実測値と計算値を示す。図から分かるように計算結果は実測値を概ね再現している。SSの挙動を左右している現象は、風による巻き上げと凝集沈降である。風による巻き上げ現象は複雑であるものの、本モデルにおいては、所定の限界風速を超えた時のみに巻き上げが生じるようにしてモデルの簡便化を行った。また、難沈降性の浮泥粒子の存在も認めて再現性を向上させている。

H10, 11年においてモデル計算によるSSの再現性は概ね良好であるが、H12, 13年、6月～9月において計算値は実測値より低い傾向を示している。この濃度増加は、降雨による陸域からの流入負荷によるものと思われるが、6月における実測値の濃度増加は代かきの影響もあると思われる。

(5) クロロフィルa

平成10, 11, 12年1月～3月における実測値は、計算値より高い傾向を示している。本計算において藻類増殖に及ぼす支配的な要因は栄養塩濃度と水温であるが、塩分の藻類生長過程に及ぼす影響は考慮していない。

本研究では、藻類を増殖特性の異なる3藻種(珪藻、緑藻、藍藻)で計算を行っているが、図-6に示す結果は、4年間同一のパラメータで計算したものである。前述したように、海水性から汽水性、そして淡水性へと藻種が遷移している傾向が認められることから、藻種の変化(藻類の増殖パラメータ等)を各年で変えて再現性の向上を図ることも

検討すべきと思われるが、今後の課題としたい。

5. おわりに

本報告では、基礎的知見を得ることを目的として完全混合モデルによる水質計算を行い、概ね良好な水質再現結果を得た。調整池の水質保全対策を案出するためには、経済評価も視野に入れた流域内の負荷削減効果も考慮した総合的な評価が重要となろう。有明海への影響を把握するためには、物質収支の観点から詳細な検討を加える必要がある。

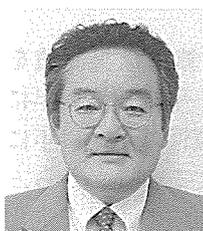
謝 辞

本研究を遂行するに当たりご協力頂いた、国土交通省九州地方整備局、大和則夫氏(株東京建設コンサルタント)、本学修士課程学生長澤順君に感謝致します。また、本研究は佐賀大学低平地研究センタープロジェクト研究費の補助を一部受けて実施しました。

参考文献

- 1) Rich, L. G. : Environmental system engineering, McGraw-Hill. 113-114, 139-141, 1973.
- 2) 湖沼工学 : 岩佐義朗編, 山海堂, 1990.
- 3) 内湾の環境科学 : 西條八東編, 培風館, 1984.
- 4) 九州地方農政局 HP (<http://www.kyushu.maff.go.jp/>)
- 5) 農林水産省 HP (<http://www.maff.go.jp/>)

著者略歴



荒木 宏之
(あらき ひろゆき)

1978年 佐賀大学大学院修士課程修了
2001年 佐賀大学低平地研究センター教授
工学博士

著者略歴



古賀 憲一
(こが けんいち)

1976年 九州大学大学院博士課程修了
1990年 佐賀大学理工学教授
工学博士