

見島湖における水質汚濁メカニズムの解明
ー見島湖のリン物質収支の定量化ー

藤田和男, 金子英史, 中野拓也, 山本 淳

【調査研究】

児島湖における水質汚濁メカニズムの解明

－児島湖のリン物質収支の定量化－

Elucidation of water pollution mechanism in Lake Kojima

－ Quantification of Phosphorus Mass Balance of Lake Kojima －

藤田和男, 金子英史, 中野拓也, 山本 淳(水質科)

Kazuo Fujita, Hidefumi Kaneko, Takuya Nakano, Jun Yamamoto (Water Section)

要 旨

過去 31 年間(昭和 57 年度から平成 24 年度まで)の水質データから児島湖内のリン物質収支を検討した。湖内での年間のリン蓄積量は流入負荷量の 10～40%で、20～30 年前と比較して近年では減少してきていると考えられた。31 年間分のデータから、流入水の懸濁態リン沈降率は 70～100%の範囲内にあると考えられ、沈降量は 48～72 t/年と推定された。このときリン溶出量は 1～25 t/年の範囲内にあり、リン溶出の水質への影響は 1～22%と推算された。

[キーワード：リン, 沈降, 溶出, 児島湖]

[Key words : Phosphorus, Sedimentation, Elution, Lake Kojima]

1 はじめに

児島湖の水質汚濁についてはいまだ環境基準は達成されておらず、引き続き水質改善に取り組む必要がある。また、効果的な水質改善施策の策定に向けて、児島湖の水質汚濁メカニズムの解明や、行政施策の効果の定量的な把握が必要である。長期的な流入水の負荷量の変遷と行政施策との関連について検討するためには、湖内を通過するときの負荷量への影響(浄化または汚濁)の把握が必要と考えられる。本研究では公共用水域の常時監視で取得している昭和 57 年度から平成 24 年度までの過去 31 年間の水質データと水量データ等を元に湖内での水質変化を表すモデル(因子として沈降、溶出、藻類への吸収を含む)中の各因子を設定し、計算結果を行うことによりリン濃度が下がらない要因を湖内でのリンの物質収支から推定する。

2 材料および方法

31 年間(昭和 57～平成 24 年度:1982～2012 年度)の児島湖流域の 5 ブロック(笹ヶ瀬川ブロック, 倉敷川ブロック, 鴨川ブロック, 直接ブロック, 児島湖流域下水道)(図 1)の水質と水量を設定し、各ブロックからの流入負荷量を計算した。水質(全リン)データについては

笹ヶ瀬川, 倉敷川及び児島湖は公共用水域の常時監視で取得している昭和 57 年度から平成 24 年度までの測定結果(笹ヶ瀬川:笹ヶ瀬川橋, 倉敷川:倉敷川橋, 児島湖:樋門)^{1)～31)}, 鴨川は昭和 63 年～平成 2 年度の文献値³²⁾(岡山県)及び平成 20 年度の岡山県環境保健センターでの測定値, 児島湖流域下水道放流水については下水道管理報告書データ^{33)～56)}, 直接流域(笹ヶ瀬川及び倉敷川より下流)については、平成 19～24 年度は直接流域の総面積の 22%(9.9 km²)を占める区域(西・北七区)での調査結果⁵⁷⁾, 平成 18 年度以前は平成 19～24 年度の平均値により設定した。なお、鴨川の昭和 57～62 年度, 平成 3～19 年度, 平成 21～24 年度はデータが無いため昭和 62 年度以前は昭和 63 年度, 平成 3～19 年度は昭和 63 年～平成 2 年度の平均値, 平成 21 年度以降は平成 20 年度のデータを使用した。

水量データについては、児島湖への各流入量は昭和 63 年～平成 24 年度は湖の平均滞留時間から求めた全流入水量⁵⁸⁾から児島湖流域下水道^{33)～56)}及び直接ブロック^{59)～61)}を差し引き、各ブロック(笹ヶ瀬川 4 ブロック, 倉敷川 2 ブロック, 鴨川 1 ブロック)毎の流量比率^{62)～64)}で案分し算出した。昭和 57～62 年度の全流入量は降水量と流量の関係式⁶⁵⁾

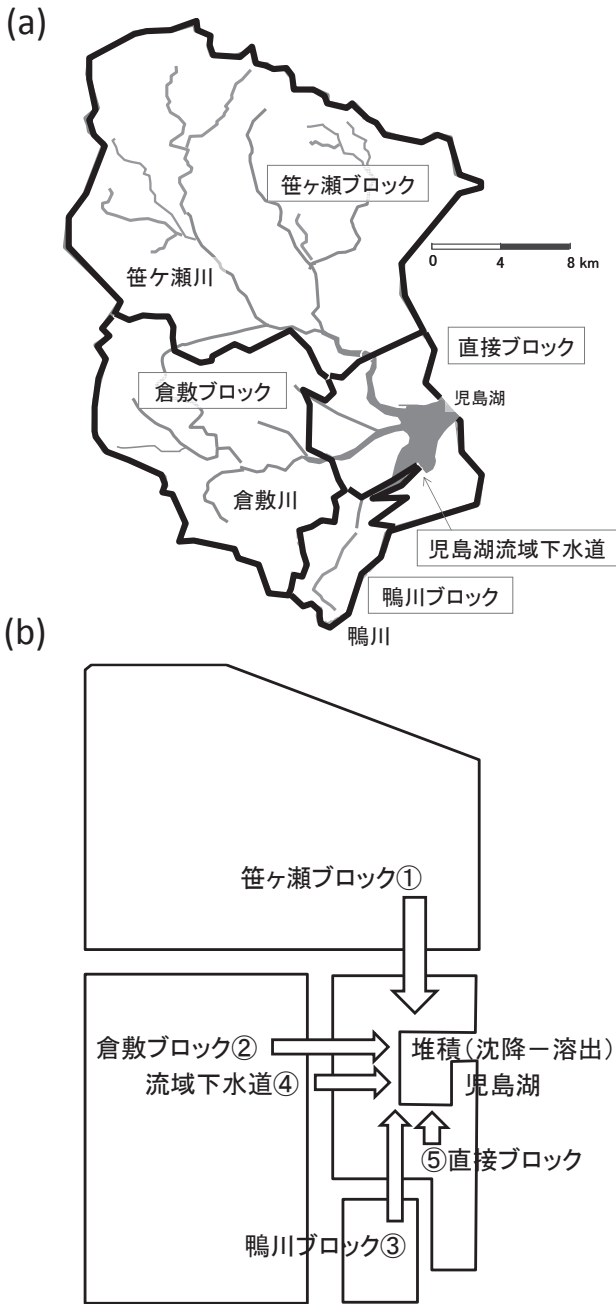


図1 児島湖流域

(a): 地図, (b): 概念図

$Q = 8.99 \times \exp(0.0055 \times R)$ (ただし Q : 流量 m^3/s , R : 降水量 $mm/日$)

から求めた。児島湖流域下水道放流量は管理報告書データ^{33)~56)}, 直接流域は平成18~24年度は報告書データ⁵⁷⁾, 昭和57年~平成17年度は平成18年度以降のデータ⁵⁷⁾の平均値を用いた。

3 結果および考察

3.1 水質及び負荷量

昭和57年度から平成24年度までの31年間の児島湖及び2大流入河川の水質(全リン)及び水量の変遷を図2に示す。全リンは夏期に高く冬期に低い傾向があった。31年間(昭和57~平成24年度)の平均値は、笹ヶ瀬橋は0.20 mg/L, 倉敷川橋は0.31 mg/Lで倉敷川橋の方が高く、緩やかな減少傾向があった。笹ヶ瀬川, 倉敷川, 鴨川, 直接流域及び児島湖流域下水道の各全リン濃度と各水量を掛けた流入負荷量と、児島湖の水質(樋門)^{1)~31)}と水量⁵⁸⁾から求めた流出負荷量を図3(a)に示す。過去31年間の児島湖のリン負荷の流入量と流出量を比較すると、いずれの年度でも流出量の方が小さかった。流入負荷量と流出負荷量の差は湖内の懸濁態リンや藻類へ吸収されたリンの沈降による蓄積と考えられる。また、この差は近年小さくなってきている傾向が見られる。この要因としては、時間の経過とともに沈降量の減少(流入水の懸濁態リンの割合が減少)や底泥からの溶出量の増加が考えられた。

3.2 湖内への蓄積

児島湖の物質収支を再現(流入量, 流出量からの湖内での蓄積量を計算)することを目的として、まず年間の見かけ上の湖内への蓄積量 ΔP (年間の沈降量-年間の溶出量)を検討した。図3(b)に流入水のリン負荷量に対する見かけ上の湖内への蓄積量 ΔP の比率を示す。20~30年前(昭和57年度~平成4年度)は見かけ上30%程度蓄積していたが、近年は10%以下まで減少してきていると考えられた。

3.3 湖内での沈降, 溶出, 藻類への吸収及びモデル計算

流入したリンが湖内で受ける作用として(1)沈降, (2)溶出及び(3)藻類への吸収が考えられる。見かけ上の蓄積量を ΔP , 沈降量を S , 溶出量を E とすると,

$$\Delta P = S - E$$

であり、31年間の平均値では沈降量 S は溶出量 E よりも ΔP 大きい値になった。

また物質収支を検討する際には質的な変化についても考慮する必要がある。(1)沈降により懸濁態リンが減少する。(2)底泥からの溶出により溶存態リンが増加する。(3)藻類への吸収により溶存態リンが減少し懸濁態リンが増加する。これらの作用のうち、(1)沈降及び(2)溶出によ

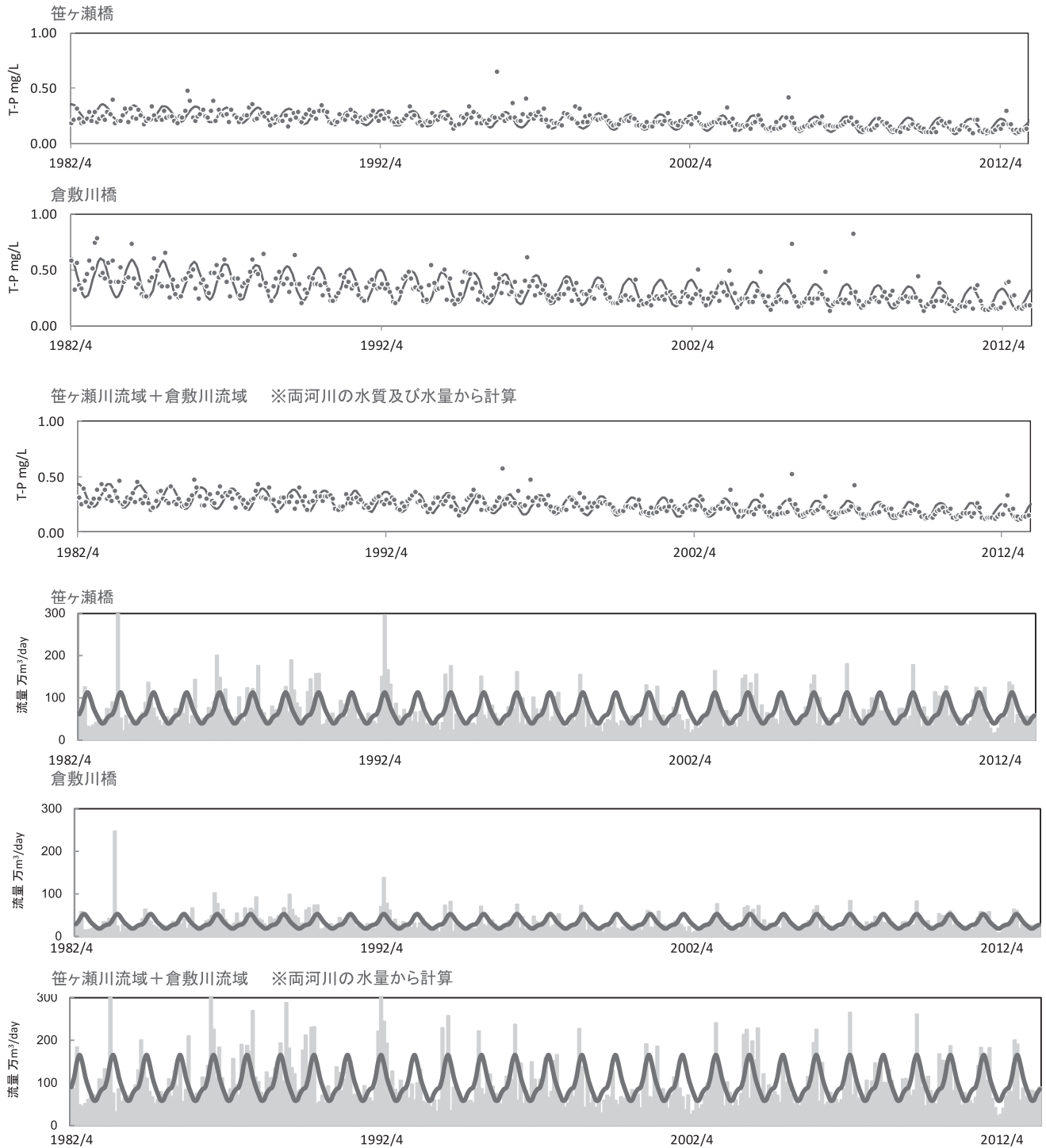


図2 水質及び水量(笹ヶ瀬川及び倉敷川)

り水中のリンの量に変化する。また(3)藻類への吸収により溶存態から懸濁態へと質的に変化し、沈降が促進される。これらの影響により、湖内の水中のリンの各成分(懸濁態リン及び溶存態リン)は変化し、流出水の水質は流入水とは異なったものとなり、湖外へ排出される。

水中のリンの動態を再現するためにはこれらの作用の影響を定量的に設定し、その結果実際の流入水と流出水

の各態リン(懸濁態及び溶存態)の量が再現されなければならない。流入水のリンの量(いずれも31年間の平均値)は実測値等から157 t/年、また流入水の懸濁態リンと溶存態リンの割合は懸濁態CODと懸濁態リンの関係⁶⁶⁾に基づき80 t/年及び77 t/年であった。この計算モデルを図4に示す。またモデルに基づく計算結果を図5に示す。なお以下で(1)沈降量について、流入する懸濁態

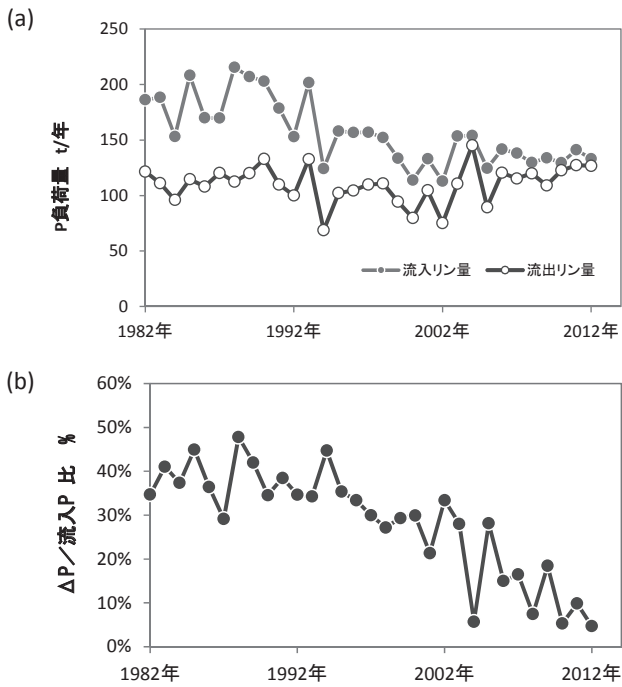


図3 リン負荷量

(a) 流入水及び流出水のリン量

(b) ΔP (流入水と流出水のリン量の差)の流入水リン量に対する比率

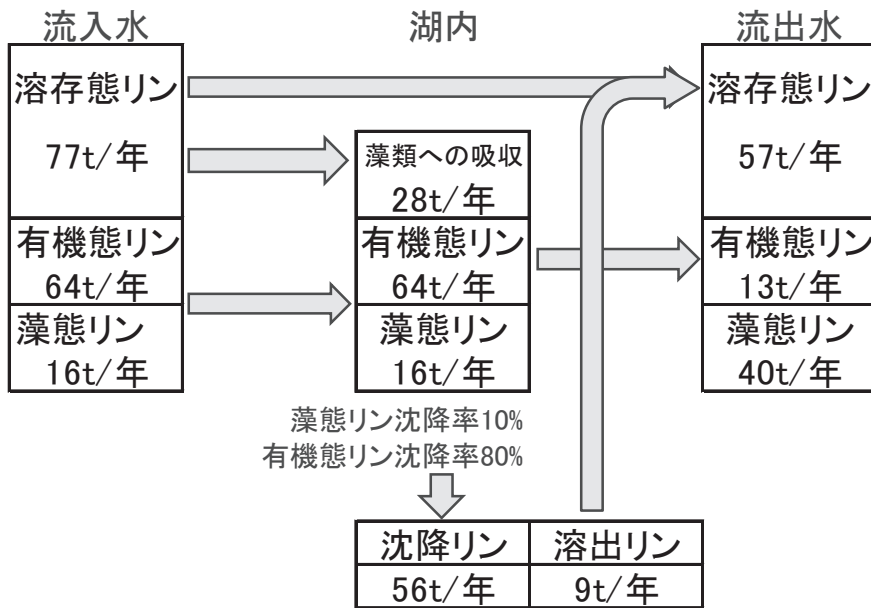
リン量に対する沈降量の割合を沈降率, (2) 溶出量について, 1年間に沈降するリン量に対する溶出量の割合を溶出率, (3) 藻類への吸収量について, 流入する溶存態リン量に対する藻類への吸収量の割合を吸収率とする。

モデルでは湖内での(1)沈降率, (2)溶出率, (3)藻類への吸収率の3つの定数を, 実際の測定値に沿うように設定する必要がある。物質収支から, まず(1)とり得る沈降率の最小値と最大値が決定され, この範囲内での沈降率を仮定し設定する。(2)沈降率の設定値と物質収支からリンの溶出率が決定される。(3)流出水の懸濁態リンと溶存態リンの実測値から, 藻類への吸収率が決定される。流入水のリン量が157 t/年, 流出水のリン量が110 t/年(31年間の平均値)でその差 ΔP は47 t/年であることから, この条件を満たす為(1)沈降率の取り得る値は70%(溶出率が1%の場合)~100%(懸濁態リンが全て沈降する場合)の範囲にあり, 懸濁態リン沈降量は48~72 t/年の範囲と考えられた。なお懸濁態リンのうち有機態リンの沈降速度は藻態リンの8倍⁶⁷⁾とした。次に沈降率を任意の値に設定した上で, 流出水のリン量が110 t/年(31年間の平均値)となるように(2)溶出率を設定する。この沈降率と溶出率の値の組み合わせは一意に決まり, 例えば沈降率を80%と設定した場合, 流出水

のリン量が110 t/年(31年間の平均値)となるために溶出率は0.8%と決定される。なお沈降する懸濁態リンのうち溶出し得る易溶性のリンは66%⁶⁸⁾とした。また過去(平成9~23年度)の調査結果では流出水の溶存態リンの比率は平均52%あり, 計算結果はこれと大きく異なるものであってはならない。藻類への吸収により溶存態リンの比率が変化(減少)するが, この結果流出水の溶存態リン比率が52%程度となるように, (3)藻類への吸収率が設定され, 沈降率と溶出率が設定された場合藻類への吸収率もまた一意に決定される。例えば沈降率80%, 溶出率0.8%と設定した場合, 流出水の溶存態リン比率が52%となるために藻類への吸収率は37%に決定される。なお藻類への吸収による沈降の影響も同時に考慮する必要がある。これらの条件を満たすようにまず(1)沈降率を設定し, これに基づき(2)溶出率及び(3)藻類への吸収率を決定して行った流出水のシミュレーション計算の例を図5の計算1~4に示す。(1)沈降率は70~100%の範囲にあることから4段階(70%, 80%, 90%, 100%)に設定した(表1)。計算結果はいずれも流出水のリン量が110 t/年(31年間の平均値), 流出水の溶存態リン/全リン比が52%であり, 計算値と実測値の相関係数は57~64%であった。リン溶出速度は1~25 t/年の範囲にあり, 流出水のリン量を110 t/年とすると溶出による水質への影響は1~22%の範囲にあると推算された。

計算結果は流出水の負荷量の経時変化を概ね再現していたと考えられるが, 経時変化を実測値と比較したときの相関係数(表1)は57~64%と低く, さらなる検討が必要である。今回の沈降量, 溶出量及び藻類への吸収量の値はあくまで観測値の流入水と流出水の差に基づく推算結果であり, 実際の値の目安とはなるものの実測値ではないことに留意する必要がある。また今後の課題として今回の計算は昭和57年度以降を対象としたが昭和56年以前の基礎的なデータが必ずしも十分ではない時期(笹ヶ瀬橋及び倉敷川橋の昭和51年度は年5回, 昭和52~56年度は年4回, 樋門の昭和52~56年度は年4回)について評価方法の検討, 児島湖流域を小ブロック単位に分けての評価が必要と思われる。

(a)



(b)

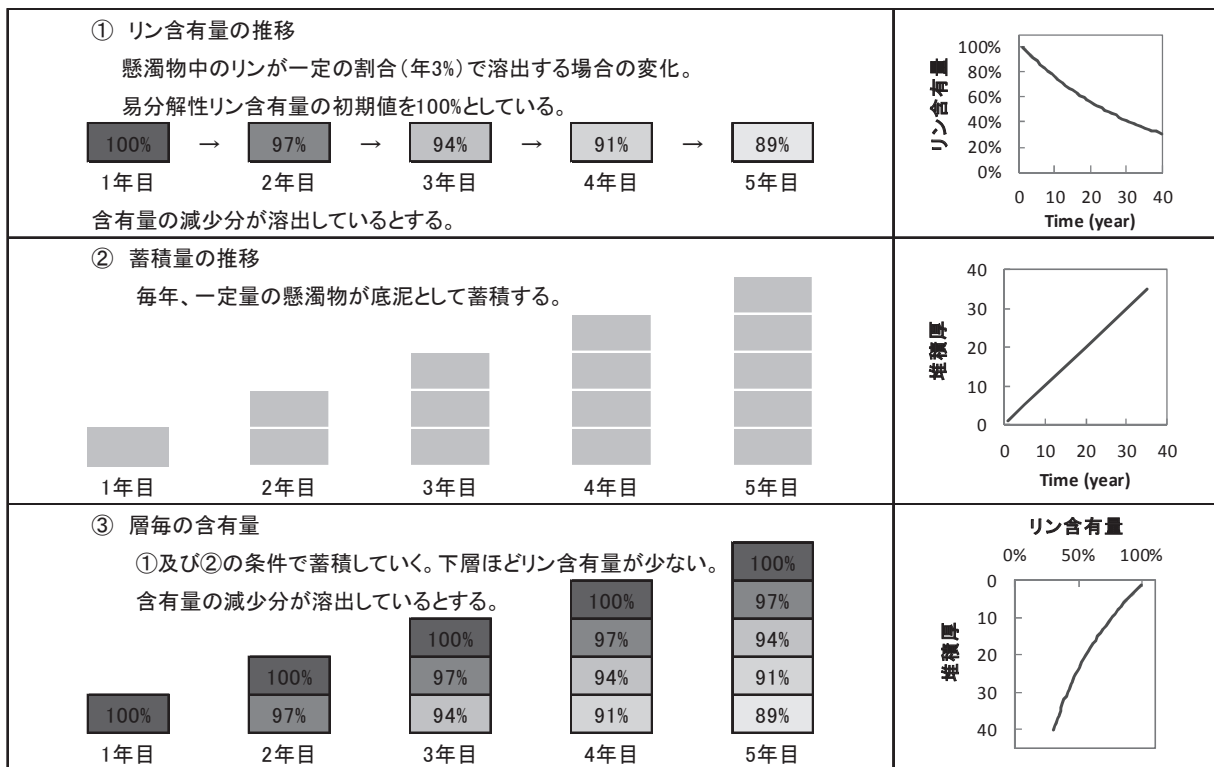


図4 計算モデル

(a) 物質収支(図中の数値は沈降率80%としたときの31年間分の平均値)

(b) 底泥の蓄積(沈降と溶出)概念図

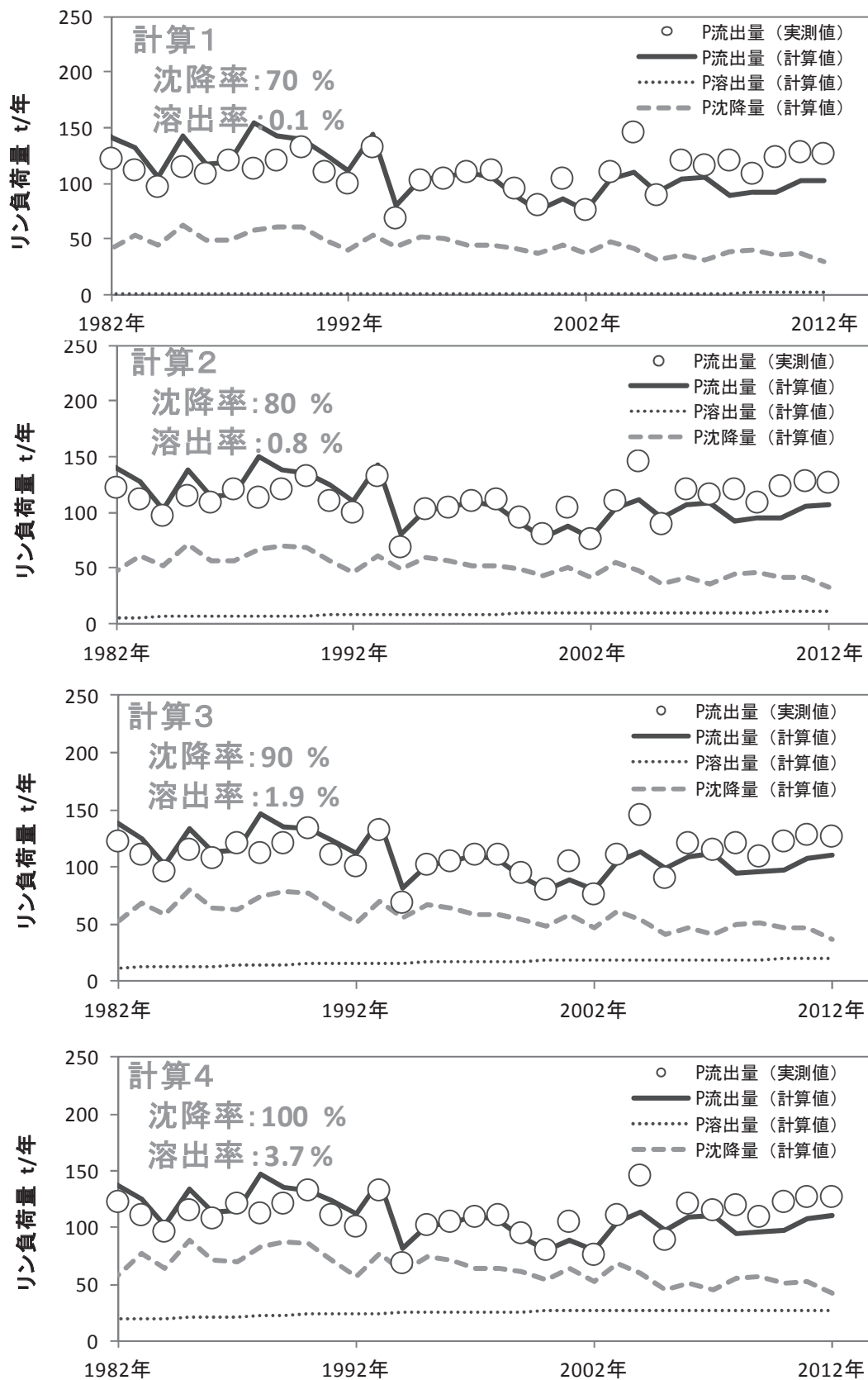


図5 シミュレーション計算結果

表1 計算の設定値(沈降率、溶出率及び藻類への吸収率)及び計算結果

	設定値			計算結果					
	①沈降率	②リン溶出率	③藻類への吸収率	沈降量 t/年	リン溶出量 t/年	藻類への吸収量 t/年	DP/TP比	相関係数	リン溶出の流出水水質への影響(※)
計算1	70%	0.1%	27%	48	1	19	52%	57%	1%
計算2	80%	0.8%	37%	56	9	21	52%	61%	8%
計算3	90%	1.9%	47%	64	17	28	52%	64%	15%
計算4	100%	3.7%	57%	72	25	36	52%	64%	22%

(※) 流出水のリン量を110 t/年(31年間の平均値)として計算。

4 まとめ

過去31年間のデータから児島湖のリン物質収支を検討した。

湖内へのリン蓄積量は流入負荷の10～40%で、近年は10%以下に減少してきていると考えられた。

流出水のリン負荷量が110 t/年(31年間の平均値)であることから、流入水の懸濁態リン沈降量は48～72 t/年の範囲と考えられた。

リン溶出速度は1～25 t/年、水質への影響は1～22%の範囲にあると推算された。

藻類への吸収量は19～36 t/年の範囲と考えられた。

文 献

- 1) 岡山県：昭和57年度公共用水域水質測定結果, 1983
- 2) 岡山県：昭和58年度公共用水域水質測定結果, 1984
- 3) 岡山県：昭和59年度公共用水域水質測定結果, 1985
- 4) 岡山県：昭和60年度公共用水域水質測定結果, 1986
- 5) 岡山県：昭和61年度公共用水域水質測定結果, 1987
- 6) 岡山県：昭和62年度公共用水域水質測定結果, 1988
- 7) 岡山県：昭和63年度公共用水域水質測定結果, 1989
- 8) 岡山県：平成元年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 1990
- 9) 岡山県：平成2元年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 1991
- 10) 岡山県：平成3年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 1992
- 11) 岡山県：平成4年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 1993
- 12) 岡山県：平成5年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 1994
- 13) 岡山県：平成6年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 1995
- 14) 岡山県：平成7年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 1996
- 15) 岡山県：平成8年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 1997

- 16) 岡山県：平成 9 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 1998
- 17) 岡山県：平成 10 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 1999
- 18) 岡山県：平成 11 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2000
- 19) 岡山県：平成 12 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2001
- 20) 岡山県：平成 13 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2002
- 21) 岡山県：平成 14 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2003
- 22) 岡山県：平成 15 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2004
- 23) 岡山県：平成 16 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2005
- 24) 岡山県：平成 17 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2006
- 25) 岡山県：平成 18 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2007
- 26) 岡山県：平成 19 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2008
- 27) 岡山県：平成 20 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2009
- 28) 岡山県：平成 21 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2010
- 29) 岡山県：平成 22 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2011
- 30) 岡山県：平成 23 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2012
- 31) 岡山県：平成 24 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2013
- 32) 岡山県：平成 3 年度児島湖水質保全計画基礎調査業務報告書, 66, 1992
- 33) 岡山県下水道公社：平成元年度児島湖流域下水道維持管理年報, 1990
- 34) 岡山県下水道公社：平成 2 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 1991
- 35) 岡山県下水道公社：平成 3 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 1992
- 36) 岡山県下水道公社：平成 4 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 1993
- 37) 岡山県下水道公社：平成 5 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 1994
- 38) 岡山県下水道公社：平成 6 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 1995
- 39) 岡山県下水道公社：平成 7 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 1996
- 40) 岡山県下水道公社：平成 8 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 1997
- 41) 岡山県下水道公社：平成 9 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 1998
- 42) 岡山県下水道公社：平成 10 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 1999
- 43) 岡山県下水道公社：平成 11 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 2000
- 44) 岡山県下水道公社：平成 12 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 2001
- 45) 岡山県下水道公社：平成 13 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 2002
- 46) 岡山県下水道公社：平成 14 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 2003
- 47) 岡山県下水道公社：平成 15 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 2004
- 48) 岡山県下水道公社：平成 16 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 2005
- 49) 岡山県下水道公社：平成 17 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 2006
- 50) 岡山県下水道公社：平成 18 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 2007
- 51) 岡山県下水道公社：平成 19 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 2008
- 52) 岡山県下水道公社：平成 20 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 2009
- 53) 岡山県下水道公社：平成 21 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 2010
- 54) 岡山県下水道公社：平成 22 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 2011
- 55) 岡山県下水道公社：平成 23 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 2012
- 56) 岡山県下水道公社：平成 24 年度児島湖流域下水道維持管理年報, 2013

- 57) 岡山県：平成 26 年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査報告書, 127, 2015
- 58) 岡山県：平成 25 年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査報告書, 59, 2014
- 59) 岡山県：平成 20 年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査報告書, 61, 2009
- 60) 岡山県：平成 21 年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査報告書, 61, 2010
- 61) 岡山県：平成 22 年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査報告書, 61, 2011
- 62) 岡山県：平成 3 年度児島湖水質保全計画基礎調査業務報告書, 62, 1992
- 63) 岡山県：平成 16 年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査報告書, 57, 2005
- 64) 岡山県：平成 17 年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査報告書, 57, 2006
- 65) (独)農研機構近畿中国四国農業研究センター：備讃地域陸海域の水・栄養塩動態解明と農業への再利用技術の開発, 22, 2010
- 66) 藤田和男, 鷹野洋, 坂本祐基, 板谷勉, 劔持堅志：児島湖におけるクロロフィル a および COD と栄養塩(窒素・リン)の関係(2), 岡山県環境保健センター年報, 34, 17-24, 2010
- 67) 岡山県：平成 26 年度指定湖沼汚濁負荷量削減状況調査報告書, 231, 2015
- 68) 清水光郎, 熊城一男, 山本弘捷, 大西昇, 畑宏：底質中の栄養塩の挙動に関する調査研究 第 6 報 水中懸濁物質及び表層泥におけるリンの形態別の挙動, 岡山県環境保健センター年報, 8, 150, 1984

