

備讃海域での汚濁負荷の解析

鷹野 洋 (水質科),
冠野禎男* (香川県保健環境研究センター),
吉川省子**, 高橋英博** (近畿中国四国農業研究センター)

【調査研究】

備讃海域での汚濁負荷の解析

Analysis of Influence of Pollutants at Bisan Strait

鷹野 洋（水質科），

冠野禎男*（香川県保健環境研究センター），

吉川省子**，高橋英博**（近畿中国四国農業研究センター）

Hiroshi Takano, Sadao Kanno *, Seiko Yoshikawa **, Hidehiro Takahashi **

要 旨

赤潮やノリの色落ち発生の可能性がある海域を推定するために、岡山県、香川県の公共用水域水質データベース、及び各種調査資料等から備讃瀬戸へ流入する汚濁負荷量を推定した。流入負荷量は河川水量の増減に大きく影響され、また、河川水量は降雨の影響が大きかった。岡山県の3つの一級河川では吉井川が水量増加に伴う栄養塩の増加が大きく、河口部沿岸のノリ養殖には旭川と吉井川の水量増加が効果的であった。備讃瀬戸へ河川経由で流入するCOD、窒素、リンの比率はCODに比べて窒素、リンの割合が小さく、ノリの養殖にはやや好ましくないと思われた。原単位法とL-Q式との負荷量を比較したところ、原単位法での負荷量が40から90%大きくなった。総量削減計画値と比べると窒素が100%未満、CODとリンが100%以上になり、原単位を検討する必要が認められた。

[キーワード：水質データベース、汚濁負荷、備讃瀬戸、原単位、総量削減計画]

[Key words : Water Quality Database, Influence of Pollutants, Bisan Strait, Load Factor, Plan of Pare Down of Total Pollutants Influence]

1 はじめに

平成18年に策定された第6次水質総量規制では、大阪湾を除いた瀬戸内海の水質は他の指定水域に比較して良好な状態であり、環境基準をほぼ達成した窒素及びリンに関しては、現在の水質を維持することが適当であるとされ、陸域からの負荷抑制は現状維持の目安が示されている。しかし、CODは近年漸増傾向にあり、また、赤潮や貧酸素水塊が発生したり、ノリの色落ちが発生したりするため、海域ごと、季節ごとにこまめな対策が必要とされている¹⁾。

一方、陸域からは山林、農地、住宅そして工場などから栄養塩を含む水が河川を経由して、または海域へ直接排出されている。河川水の一部は地下水として海域へ流れるものもある。窒素やリンなどの栄養塩は農産物から海産物、さらに赤潮まで全ての植物に必要な栄養素であるが、一般に海水中に含まれる窒素やリンの濃度は低く、海域の生産量は陸域から河川をとおして供給される栄養塩によって左右され²⁾、近年、瀬戸内海においてもノリ

の色落ちや赤潮発生件数の減少など、海域へ供給される栄養塩の減少が原因と考えられる現象が現れている³⁾。

筆者らは備讃地域(主に岡山県と香川県、それと備讃瀬戸)を対象に、共同研究を行ってきた^{4~12)}が、その成果の一部であるデータベースと各種資料及び原単位等から、陸域から海域へ河川経由、または直接流入する負荷量等を推定したので報告する。

2 研究方法

河川からの負荷量推定方法はL-Q式を用い¹³⁾、水質濃度はデータベースから抽出し、河川流量は国土交通省¹⁴⁾、岡山県¹⁵⁾、香川県¹⁶⁾の観測データを用いた。降雨等の気象データは岡山、高松の地方気象台の観測結果¹⁷⁾、工場・事業場の負荷量はそれぞれの県資料¹⁸⁾を用いた。非特定汚染源(面源)原単位は環境省統一原単位と児島湖の原単位¹⁹⁾を用いた。その他のフレーム等については国勢調査²⁰⁾、農林業センサス²¹⁾等の調査結果を用いた。

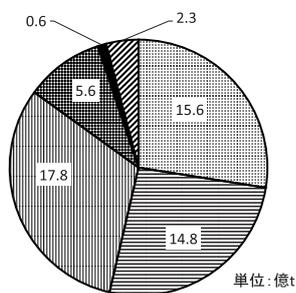
研究対象とした期間は1995年度から2004年度である

が、本報告は2003年度を対象とした。

3 結果及び考察

3.1 河川の水量と栄養塩

図1に2003年度の河川からの水量をまとめたが、備讃瀬戸へ流入する一級河川は岡山県に3河川(高梁川, 旭川, 吉井川), 香川県に1河川(土器川)が流れており, 両県の子な二級河川も含めた水量の合計は年間約57億tに達し, そのうちの86%は一級河川からであった。また, 岡山県側の一級河川からの流入水量が全体の85%を占めており, 海域に与える影響の大きいことがうかがえた。



■高梁川 ■旭川 ■吉井川 ■児島湖 ■土器川 ■香川県河川

図1 備讃瀬戸への流入水量 (2003年度)

次に, 河川水量の基となる降雨量との関係について, 1995年から2004年までの岡山気象台の1ヶ月毎の降雨量と岡山県, 香川県の一級河川水量の変化を図2に示したが, 降雨量と河川水量は概ね一致した変動を示し, 降雨量が多いときに流量が増加した。

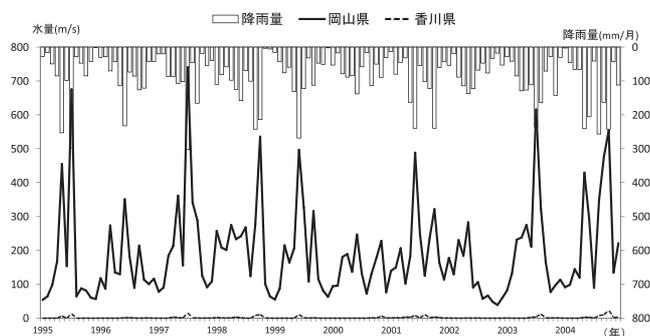


図2 岡山県と香川県における降雨量と河川水量の変化 (1995~2004)

図3には岡山県北部の津山気象観測所の1ヶ月あたりの降雨量と岡山県の一級河川である吉井川の水流量との関係を示した。降雨量と水流量には指数関数の関係があり, 降雨量が増えると水流量が指数関数的に増加することを示

している。

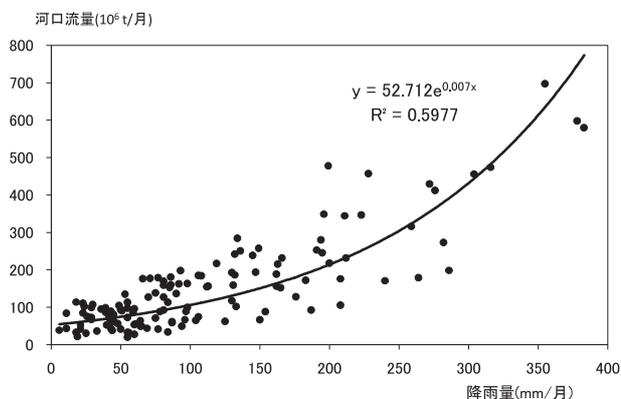


図3 津山気象観測所の降雨量と吉井川の河川水量との関係

次に, 河川水量と負荷量の関係について検討した。検討対象としたのは岡山県の西部を流れる一級河川の高梁川である。図4と図5に水量(Q)と負荷量(L)の関係を示した(ソフトの関係で $L=y, Q=x$ と表示している)が, 指数関数の回帰直線を引くことができ, 水量の増加に伴って負荷量が指数関数的に増大することが明らかとなった。このことは, ダムの放流等による河川水量の増加が, 海域への栄養塩供給方法の一つとして有効であることを示唆している²²⁾。

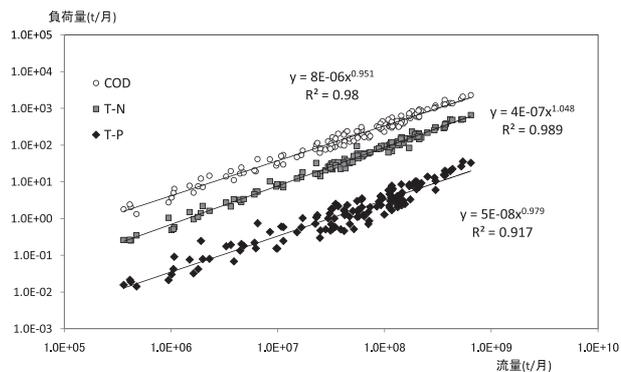


図4 高梁川における水量とCOD, T-N, T-P負荷量の関係

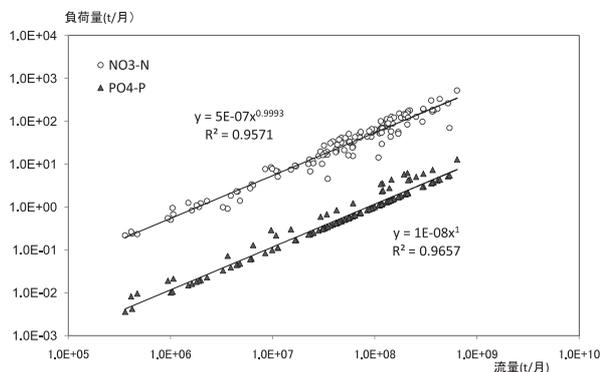


図5 高梁川における水量とNO₃-N, PO₄-P負荷量の関係

ところで、L-Q式は $L=aQ^b$ (Lは負荷量、Qは水量、a、bは定数)と書き表され、a、bは観測から得られる各河川に特有な値である¹³⁾。定数bは直線の傾きを表しており、bが1より大きいか、小さいかで、負荷量の増大傾向を判断することができる。すなわち、1より大きい場合、水量の増加以上に負荷量が増大し、1未満の場合はそれほど増加しないと考えられる。そこで、水量の大きかった岡山県の一級河川と指定湖沼の児島湖について上記と同様の解析を行い、その指数部分の数値を表1に示した。

各河川によってバラツキはあったが、リン酸態リンは全ての河川、湖沼で1以上であり、水量の増加によって海域へリン酸態リンがより多く供給されていると考えられた。また、ノリの色落ちで問題となっている硝酸性窒素²⁾は旭川と吉井川で1以上であり、岡山県でノリの産地となっている児島湾沿岸への窒素供給にはこの2河川の水量増加が効果的であると思われた。

それに対して、全リンは児島湖以外の河川で1未満であり、水量増加がリン供給に繋がりにくい傾向を示した。また、CODは旭川以外の河川は1未満であり、水量増加による希釈効果が汚濁物の流入量を上回っていると考えられた。

表1 岡山県内河川・湖沼のL-Q式の指数

	高梁川	旭川	吉井川	児島湖
COD	0.9512	1.0100	0.9524	0.8930
T-N	1.0488	1.0821	1.0786	0.9022
T-P	0.9798	0.8487	0.9478	1.4680
NO ₃ -N	0.9993	1.0889	1.1464	0.8058
PO ₄ -P	1.0000	1.0097	1.1418	2.8461

3.2 河川からの負荷量

栄養塩や有機物が陸域から海域へ流入する経路は河川と直接流入の大きく2つの経路があるが、ここでは河川経由の負荷量について考察した。岡山県と香川県の各河川の河口付近の水量から河川別の流入負荷量を計算し、結果を図6に示した。河川から流入するCODの年間負荷量は21,893t、窒素は5,758t、リンは411tと推定され、CODの71%、窒素の78%、リンの56%が一級河川から流入しており、流量の大きな河川からの負荷割合が多い傾向であった。リンは二級河川や児島湖の占める割合が

窒素に比べて大きく、夏期の高温時に底泥から溶出したり、水田肥料の流出などによって負荷量が増大することも考えられ、窒素とは異なる要因があると思われた。

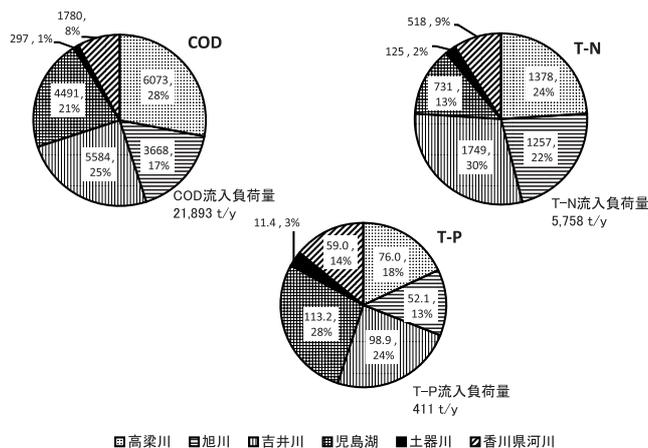


図6 水量から推定した河川から海域への負荷量

3.3 海域への直接負荷量

陸上または海域から直接海域へ排出される負荷について調べた。図7に岡山県と香川県の工場・事業場から海域へ直接排出されているCOD、窒素、リンについて発生源別に示したが、年間の合計でCODは9,015t、窒素は10,429t、リンは557tとなっていた。発生源別に見るとCODは生活系・産業系・土地系がほぼ均等であり、窒素は産業系、リンは水産系、生活系、産業系からが多かった。3つの項目でそれぞれ異なった負荷割合が見られることは、この地域の産業構造を反映していると考えられる。

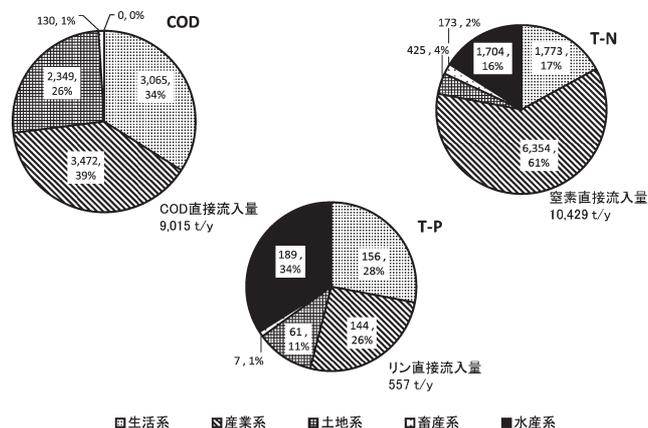


図7 岡山県、香川県から海域への直接負荷量 (環境省総量削減計画2004年度¹⁸⁾より作成)

3.4 発生負荷量

河川負荷量と直接流入負荷量を合わせたものが備讃瀬戸への流入負荷総量と考えられ、図8に合計を示した。年間にCODが30,907t、窒素が16,187t、リンが968t流入していたと推定され、県別ではCODが岡山県から24,768t、香川県から6,139t、窒素が岡山県から8,655t、香川県から7,532t、リンは岡山県から550t、香川県から418tであった。備讃瀬戸へ河川経由で陸域から流入するCOD、窒素、リンの割合は発生負荷量の71%、36%、59%であり、CODに比べて窒素、リンの割合が小さく、河口部で盛んに行われているノリの養殖にはやや好ましくない状況と思われた²³⁾。

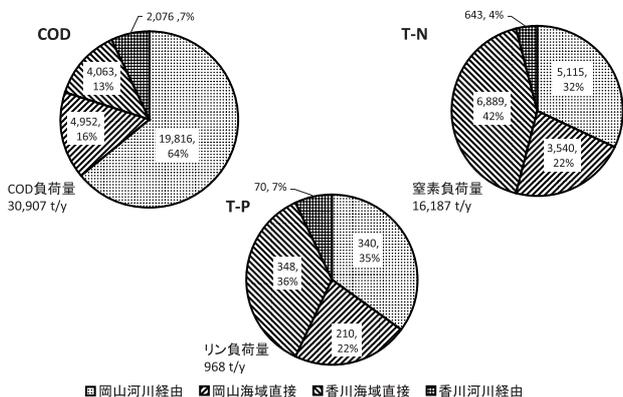


図8 河川経由の海域への負荷量 (平成15年度) (単位: t/年)

3.5 原単位法による負荷量

その地域から排出される負荷量を推定する方法として原単位を用いる方法がある。図9に岡山県の児島湖流域で調査された土地系の原単位¹⁸⁾を用い、その他は環境省統一原単位を用いて、経路別に区分した負荷量を示した。直接負荷量は図7と共通である。原単位法で推定した排出負荷量はCODが42,203t、窒素が22,301t、リンが1,837tであった。これは3.4で推計した発生負荷量に対してCODが137%、窒素が138%、リンが190%であった。直接流入量を除いた部分のみを比較すると、河川から流入するのはCOD、窒素、リンの66%、48%、32%であり、陸上で排出された栄養塩等は流下する過程でCODは生物分解、窒素は脱窒、リンは川底や河口部で沈殿することにより減少し、その挙動は項目によって異なっていた²⁴⁾。

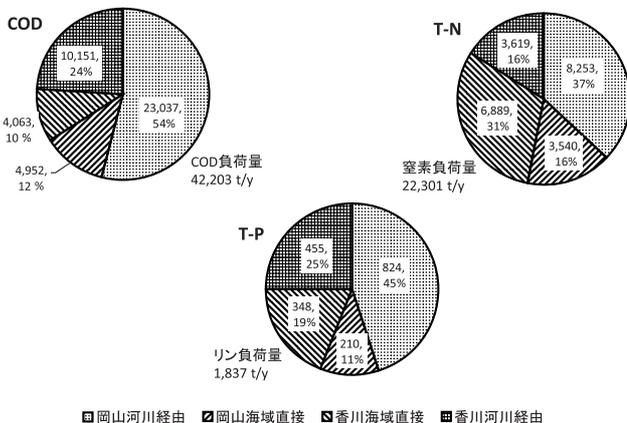


図9 原単位法による海域への負荷量 (平成15年度) (単位: t/年)

3.6 フレーム別負荷量

原単位法は人口や土地面積等のフレームに単位当たりの排出量に乗じたものであり、負荷量をフレーム別に分けることができ、今回推定したフレーム別の結果を図10に示した。また、環境省の総量削減計画に基づく岡山県

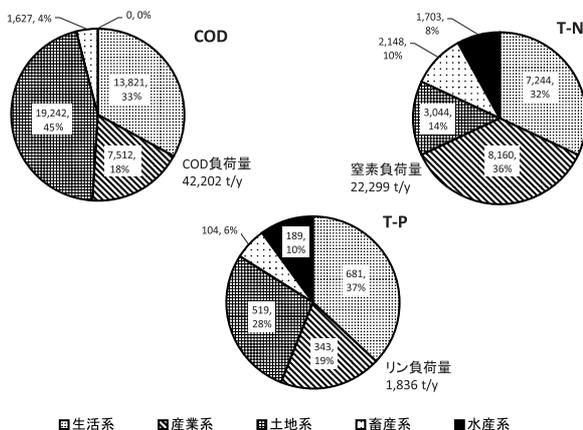


図10 原単位法による発生源別の海域への負荷量(平成15年度) (単位: t/年)

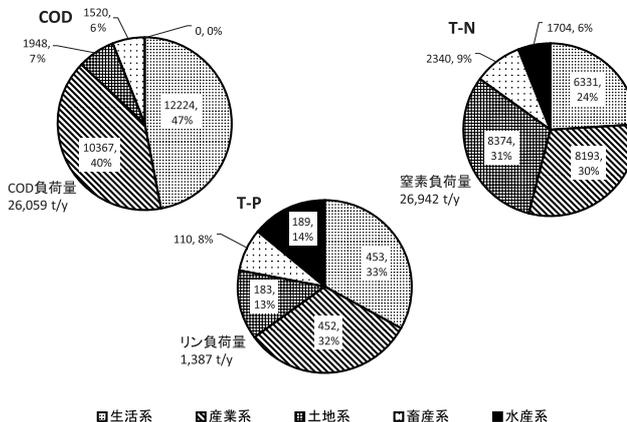


図11 発生源別の備讃瀬戸への負荷量 (環境省総量削減計画2004年度¹⁸⁾より作成)

と香川県からの負荷量を図11に示した¹⁸⁾。推定方法は実測値と原単位を用いる方法であるが、小規模な事業場負荷量の算入と使用している原単位が異なっている。総量削減計画に基づく年間の負荷量は平成16年度にCODが26,059t、窒素が26,942t、リンが1,387tと推定されている。

今回、我々が推定した負荷量は総量削減計画に対してCODが162%、窒素が83%、リンが132%であり、総量削減計画よりも窒素の負荷量が小さく見積もられた。この2つの推計で使用された原単位のうち異なる部分を表2と表3に示したが、大きく異なっていたのは土地系の原単位であった。

表2 児島湖原単位

	T-N	T-P	COD	単位
合併浄化槽	8.85	1.09	8.79	g/人/日
単独浄化槽	8.37	0.84	4.04	g/人/日
雑排水	2.59	0.42	18.43	g/人/日
水田	31.2	13.4	139.0	g/ha/日
畑・果樹園	6.5	1.8	22.6	g/ha/日
山林	3.8	0.2	38.7	g/ha/日
その他	20.6	1.9	98.4	g/ha/日

表3 環境省統一原単位

	T-N	T-P	COD	単位
合併浄化槽	11.07	0.77	10.50	g/人/日
単独浄化槽	9.02	0.65	5.96	g/人/日
雑排水	2.80	0.38	19.08	g/人/日
水田	76.0	1.0	17.5	g/ha/日
畑・果樹園	76.0	1.0	10.0	g/ha/日
山林	19.0	0.5	2.5	g/ha/日
その他	19.0	0.5	10.0	g/ha/日

今回、我々が推定に使用した土地系の原単位は岡山県が児島湖周辺で調査したものであるが、児島湖は干拓地に存在する湖沼であり、周辺は高低差が少なく、水の流れも緩やかである¹⁹⁾。このような地域で調査された原単位を、大部分が山地の森林で占められ、勾配も土質も様々な備讃地域全域に当てはめることには疑問もあり、より妥当な栄養塩等の挙動を知るためには、細やかな地域ごとの原単位を設定する必要があると思われた²⁵⁾。

4 まとめ

備讃地域を対象として、海域へ流入する栄養塩等の挙動を把握するために、陸域での発生負荷量、排出負荷量、河川河口からの流入負荷量、海域への直接負荷量等を把握した。

その結果、水量は備讃地域全域で年間約57億tが流入していたが、岡山県の一級河川から全体の85%が流れていた。河川の水量は降雨量と指数関数的な関係があり、降雨量にともなって水量は増大した。

水量の増加と河川負荷量の関係から、硝酸性窒素やリン酸態リンは水量の増加以上に増加することが明らかとなり、水量の大きな一級河川では旭川と吉井川で水量の影響が大きく、ノリの色落ちに対してはこの2河川の水増加が効果的と考えられた。

河川から流入するCODの年間負荷量は21,893t、窒素は5,758t、リンは411tと推定され、また、海域へ直接流す負荷量はCODが9,015t、窒素が10,429t、リンが557tであり、合計で年間にCODが30,907t、窒素が16,187t、リンが968t流入していた。

土地系に児島湖流域の原単位を用いて排出負荷量を推定したところ、年間にCODが42,203t、窒素が22,301t、リンが1,837tであった。これを河川からの流入負荷量と比較するとCODが137%、窒素が138%、リンが190%であった。

総量削減計画に基づく負荷量に比べるとCODが162%、窒素が83%、リンが132%と、窒素の負荷量が大きく異なり、推計に用いた原単位の違いによるものと考えられた。

なお、この報告は平成19年度先端技術を利用した農林水産研究高度化事業：課題番号1947「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」における共同研究の一部である。

文 献

- 1) 環境省：第6次水質総量規制のあり方について(答申)、中央環境審議会、2005
- 2) 高木秀蔵：「だいち」を用いて備讃瀬戸北部ノリ漁場への河川水の影響を捉える、衛星リモートセンシング漁業・水産ワークショップ in 広島予稿集、2008
- 3) 水産庁：平成20年度水産白書

- 4) 吉川省子, 高橋暁, 笹田康子, 小野寺真一, 鷹野洋, 高橋英博, 湯浅一郎: 閉鎖性海域—瀬戸内海備讃瀬戸の栄養塩環境改善へのアプローチ, 瀬戸内海研究フォーラム in 香川, 2007
- 5) 笹田康子, 吉川省子, 高橋英博, 鷹野洋, 高橋暁, 湯浅一郎, 小野寺真一: 備讃地域陸海域の水, 栄養塩動態解明, 日本水環境学会シンポジウム講演集, 2008
- 6) 鷹野洋, 笹田康子, 吉川省子, 高橋英博, 高橋暁, 三島康史, 湯浅一郎, 小野寺真一: 備讃瀬戸地域陸海域の水, 栄養塩の動態解明, 瀬戸内海研究フォーラム in 福岡, 2008
- 7) 吉川省子, 高橋英博, 高橋暁, 笹田康子, 鷹野洋, 湯浅一郎, 小野寺真一: 備讃地域陸域からの窒素, リン, CODの河川経由/海域直接負荷量と沿岸水質の関係, 日本陸水学会第73回大会講演集, 2008
- 8) 笹田康子, 吉川省子, 高橋英博, 鷹野洋, 高橋暁, 湯浅一郎, 小野寺真一: 備讃地域陸海域の水, 栄養塩動態解明, 香川県環境保健研究センター所報, Vol.7, 43-47, 2008
- 9) 吉川省子, 笹田康子, 吉田正則: 香川県の窒素, リン, CODの流域別推定負荷量と河川, 沿岸海域濃度との関係, 日本土壌肥料学会2007年大会講演要旨集, 2007
- 10) 吉川省子, 笹田康子, 鷹野洋, 高橋英博, 石川博, 小野寺真一: 岡山, 加賀割り区域から備讃瀬戸に流入する水, 窒素, リン, COD量の変動, 第60回土壌物理学会講演要旨集, 2008
- 11) 鷹野洋, 笹田康子, 吉川省子, 高橋英博, 高橋暁, 三島康史, 湯浅一郎, 小野寺真一: 陸域から海域への汚濁負荷の影響, 鷹野洋, 笹田康子, 吉川省子, 高橋英博, 高橋暁, 三島康史, 湯浅一郎, 小野寺真一, 岡山県環境保健センター年報, No.33, 43-48, 2009
- 12) 高橋英博, 吉川省子, 鷹野洋, 笹田康子, 二宮正士: 岡山, 香川流域から瀬戸内海に流入する淡水量, および全窒素, 全リン, COD負荷量(投稿中)
- 13) 阿部 徹, 斐 義光, 後藤 崇: 湖沼の流入負荷に関する研究, 河川環境総合研究所報告, Vol.12, 2006
- 14) 国土交通省岡山河川事務所, 高松河川事務所: 流量月報
- 15) 岡山県河川課: 水位月報
- 16) 香川県河川課: 水位月報
- 17) 気象庁: 気象統計情報, 2004~2006
- 18) 環境省: 第6次総量削減計画資料(岡山県, 香川県)
- 19) 岡山県: 児島湖水環境改善対策推進事業報告書, 2006
- 20) 総務省, 平成15年度国勢調査結果
- 21) 農林水産省: 2005年度農林業センサス調査結果
- 22) 井山 聡: 筑後川・有明海の環境保全に向けた河川水量の確保について, 日本水産学会誌, Vol.73, pp108-111, 2007
- 23) 多田邦尚: 瀬戸内海の栄養塩異変と適切な栄養塩管理, 応用力学研究所共同研究集会プログラム, 2009
- 24) 國松孝男, 村松浩爾: 河川汚濁のモデル解析, 技報堂出版, 東京, 1989
- 25) 国土交通省, 農林水産省, 環境省: 湖沼水質のための流域対策の基本的考え方~非特定汚染源からの負荷対策~, 2006