

D-3 グローバル水循環系のリン・窒素負荷増大とシリカ減少による海洋環境変質に関する研究

(1) リン・窒素・シリカ流入変動に対する海洋の応答に関する総合解析

独立行政法人 国立環境研究所

水圏環境研究領域 海洋環境研究室

原島 省

<研究協力者> 国立環境研究所 流域圏環境管理プロジェクト 亀山 哲

(財)海洋化学研究所

紀本岳志

(財)日本気象協会

若林 孝・利安忠夫

平成 14 年度～16 年度合計予算額 55,171 千円

(うち、平成 16 年度予算額 18,522 千円)

[要旨] 「シリカ欠損仮説」、すなわち「停滞陸水域の増加とリン(P)と窒素(N)の負荷の増加が複合し、自然に風化溶出する溶存態ケイ素(DSi)の海域流下が減少するため、海洋生態系においてケイ藻類(無害)よりも鞭毛藻類(潜在的に有害)のほうが有利になる」を検証するため、琵琶湖(仮想大ダム湖)-淀川-瀬戸内海(以下 BYS 水系と略記)を対象水系としてデータ解析を行った。その結果、琵琶湖が Si のシンクになっていること、高度経済成長期に N、P 負荷増大で Si のシンクが強まったが、1990 年代には P 負荷削減で Si シンクが弱まった(Si 濃度が回復した)と推定できた。海域のケイ藻/非ケイ藻量比の応答は単純ではないが、海域を河口隣接域(大阪湾奥部)とその他の海域を分けて取り扱うことで説明できる。すなわち、河口隣接域では、上流停滞水域で DSi/DIN の相対比が下がっても、海域に流入する DSi の絶対濃度は海域表層よりも高く、しかも陸から直接負荷される N、P が高いため3元素ともに制限要因にならず、成長率の早いケイ藻類が卓越する。ここでのケイ藻増殖でさらに DSi を奪われた海水が他の海域上層に分散して DSi 濃度を下げ、春季ブルーム後のケイ藻類の沈降を促し、この結果、上層に渦鞭毛藻の増殖する余地ができるという説明である。

このような機構をグローバルな水系に適用するため、主要水系のデータを収集、解析した。その結果、開発が進んだ流域の河川ほど DSi/DIN 比が低く、湖水は河川に比べて DSi 濃度が低くなっており(静水効果)、概ね上記結果と整合した。端的な例として、ミシシッピ水系では、同川の DSi/DIN 比が低下したにもかかわらず、同河口沖ではケイ藻類が増加し、遠隔のフロリダ沖等で渦鞭毛藻が増加し、瀬戸内海域と同傾向であった。このように、海域生態系への影響は単純ではないが、河口海域の物理構造とケイ藻類・鞭毛藻類の動態差異を考慮することにより、この仮説の地球規模での有意性が推定できる。

[キーワード] シリカ欠損仮説、DSi/DIN 比、ケイ藻/非ケイ藻比、海域応答、河口隣接海域

1. はじめに

近年、世界的な人口と消費の増大により、水域への N、P 負荷が増大しつつあり、また、ダム建設による河川分断化や河川水の分散が進行している。そして、ドナウ河-アイアンゲートダム-黒海水系での事例¹⁾等から、「シリカ欠乏仮説」²⁾が議論されるようになった。すなわち、「ダム建設で陸の停滞水域が増加し、そこへの N と P が負荷されて淡水ケイ藻が増え、自然の風化作用で供給されたシリカ(溶存ケイ酸、DSi と

略す)を吸収し BSi(生物態シリカ)として沈降させてしまう。このため海域に流下する DSi が減少し、海洋生態系の基盤が、DSi を必須とするケイ藻類から非ケイ藻類植物プランクトンにシフトする」という仮説である³⁾。その根拠は、ケイ藻(通常の海域生態系の基盤であり、概ね無害)は殻を形成する Si も含め N, P, Si をおおよそ 16:1:16 の比で要求するが、渦鞭毛藻などの非ケイ藻植物プランクトン(有害赤潮形成種を含む)は Si を必要としないことによる。この仮説は、人口×消費水準の増大、土地利用の変化、ダム建設等の水系改変、有害赤潮による人間の健康影響、水産被害など多岐にわたる問題と関連する。

近年 SCOPE(Special Committee on the Pollution of Environment: 国際学術連合 ICSU 傘下の環境汚染特別委員会)により「国際シリカワークショップ」が2度開かれ、この仮説に含まれる科学的不確実性を逐一解決してゆくことが課題となっている。

さらに、国際的な海洋環境保全行政である国連環境計画(UNEP)は北西太平洋地域海行動計画(NOWPAP)を策定し、これに基づいて日・中・韓・ロ4ヶ国の政府間共同事業が開始された。そのうちの第3課題(NOWPAP/3)が海域・流入水域のモニタリングを取り扱い、その下に設けられた各国2名の専門委員からなる作業グループ2(WG2)が「河川経由および直接負荷による海洋汚染」についての報告書を取りまとめることになっている。

2. 研究の目的

本研究課題では、地球水系に内在する脆弱性を検知するという観点から、この仮説を検証することを目的とする。その際に必要なデータセットは非常に限られているため、最もデータの得やすいモデル水系(集水域-上流河川-停滞陸水域-下流河川-海域)を1つ定め、課題全体で精査する。このようなモデル水系として、以下のような理由で、琵琶湖-淀川-瀬戸内海の連成水系(以降 BYS 水系と略称、図1)を選択する。

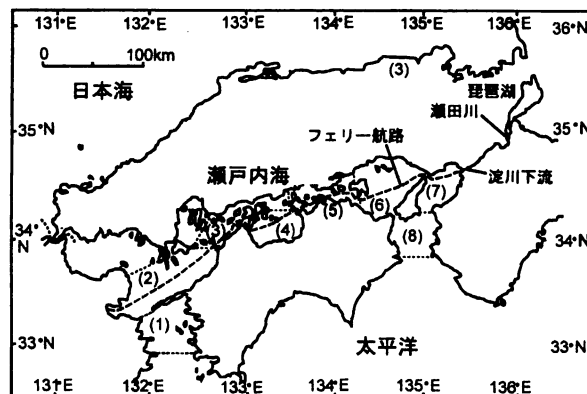


図1 モデル連成水系としての琵琶湖-淀川-瀬戸内海。括弧内の数字は各灘の番号を表し、後述の表1、図5とも共通とする。

- 1) 我国で進行した 1960 年代の高度経済成長期の負荷増大と 1980 年代以降の環境政策による負荷削減の双方向の人為影響の考察ができる。
- 2) 我国は、夏の高温多雨、急傾斜の河川、火山起源土壌のためシリカ供給率が世界平均よりも高い。したがってこの水系でシリカ欠損現象が検証できれば、それがグローバルに重要性であることの論拠となる。

- 3) 仮想大ダム湖としての琵琶湖について N, P 負荷および流体物理学的な判断基準が得やすい。
- 4) 瀬戸内海が一次元水路状なので、東高西低の人為影響の勾配に基づいた判断基準が得やすい。
- 5) ケイ藻類／非ケイ藻類比の判断基準となる赤潮種のデータが瀬戸内海で最も豊富である。

なお、新規の調査のほか、既存のデータの収集・解析も行う。本サブテーマでは、フェリーを観測プラットフォームとした瀬戸内海の時系列計測に重点をおきつつ、他のサブテーマの結果も統合し、得られた推定シナリオを世界の他の水域の既存の知見に適用して仮説検証の確度を高める。

3. 研究の方法

シリカ欠損過程とその海域影響を検証するため、琵琶湖-淀川-瀬戸内海水系につき、以下のデータセットを収集・整備した。データへの要件は、N, P, Si の琵琶湖への流入、琵琶湖からの流出、海域への流入、海域の変動について、高度経済成長期にまたがる長期時系列であること、DSi や植物プランクトン種組成のデータを含むこと、季節変動分が分離できることである。このような観点から、以下のデータを整備した。

- i) 小林純⁴⁾による 1950 年代(全国約 200 河川)と 1970 年代(全国約 170 河川)の水質データ、
- ii) 滋賀県⁵⁾による琵琶湖への TN, TP 流入量の見積、
- iii) 国松⁶⁾による琵琶湖への DSi 流入量の見積、
- iv) 近畿地方整備局他⁷⁾による琵琶湖からの流出水質データ(瀬田川における毎月計測値)、
- v) 国土交通省による河川水質データ⁸⁾および流量データ⁹⁾、
- vi) 環境省¹⁰⁾および浮田¹¹⁾による瀬戸内海への TN, TP 負荷量の見積、
- vii) 瀬戸内海の DIN, DIP, DSi の季節変化・経年変化^{12),13)}
- viii) 水産庁による「瀬戸内海の赤潮」記録¹⁴⁾

これらのデータ処理に関してする特記事項は以下である。

i)については小林の文献⁴⁾に記載された年平均値のほか、手書の表で残存していた原データを本サブテーマで新たに読み取ってエクセルファイルの形で電子化した。

iv)に平行して、本サブテーマでも、DSi に対する BSi 値の対応関係を把握するため、2002～2003 年の間毎月、瀬田唐橋、宇治、淀川下流毛馬閘門付近、および比較のため大和川下流において採水し分析を行った。

vii)については、1994-2000 年度の間、国立環境研究所地球環境研究センターのモニタリング事業として実施したものを、本プロジェクトで 2002-2004 年度の間、方式をやや変えて実施した。主な変更点は、通年の計測だけでなく、各年の夏季のみ、降雨－河川流下量の増大－海域の応答の相互関係を解析するため、毎航海 30 分ごとの栄養塩計測と大阪湾定点における 2 日ごとのサンプリングにより植物プランクトンの分類群ごとの炭素換算バイオマスの短期時系列計測を行ったことである。

viii) については、各灘ごとに記録されている構成種名の記述された赤潮発生記録から、ケイ藻赤潮、鞭毛藻赤潮の件数を求め、ケイ藻／鞭毛藻の存在比の指標として考えたものである。なお、渦鞭毛藻のうち *Noctiluca* sp.(ヤコウチュウ)は従属栄養で DSi, DIN, DIP などの栄養塩に直接には依存しないと考えられるので鞭毛藻赤潮の件数に含めなかった。

また、世界の他の水系については、関連する文献からの数値抽出と比較を行った。主な出典は、GEMS/Water のウェブサイト、本参考文献リスト中の文献のほか、第1回 SCOPE シリカ循環ワークショップ(1999)の際に提示された推奨論文リスト、第2回 SCOPE シリカ循環ワークショップ(2000)で各国から話題提供された講演要旨、その他の国際研究集会で報告されたものなどからなる。

4. 結果

(1) 琵琶湖におけるシリカシンクとその経年変化

図2に琵琶湖への全窒素(TN)、全リン(TP)およびDSiの流入量の長期変化の推定値を示す。上記のレッドフィールド比(N:P:Si=16:1:16)に関して等価にするため、TP 流入量には16を乗じてある。これによれば、1960年代から70年代にかけてTNとTPの負荷が増加したが、その後TP負荷については減少に転じた。TN負荷はTP負荷ほどには顕著に減少していない。DSi濃度については、1980年前後の国松による主要河川の流量で重みをつけた平均値が $174\mu\text{M}$ であった。これに河川総流量を乗じた値を図2に示す。さらに1990年代中頃の滋賀県立大学の見積り(サブテーマ(2)-①参照)を比較すると、1980年代以降はほぼ一定か漸減であることが推定されている。1980年代以前については時系列的なデータが少なかったが、小林⁴⁾の調査に含まれていた愛知川では1950年代よりも1970年代にDSiが減少しており、減少傾向にあったと推定される。

また、レッドフィールド比に準拠して3元素の流入を比較すると、時代を通じてTP×16の流入が最も小さかった。したがって、巨視的にはPがプランクトンの増殖を律束していることが推測される。

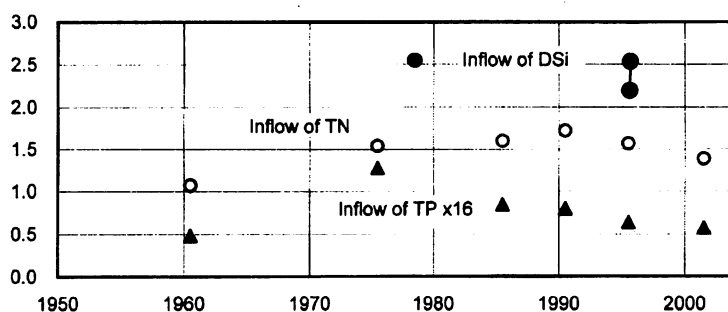


図2 琵琶湖への全窒素(○)、全リン(▲)の流入量の推定値(滋賀県資料⁵⁾による)。DSiの流入量は1978-1980年(国松の見積り⁶⁾)および1990年代(滋賀県立大学の計測、サブテーマ(2)-①報告書参照)の推定値として●で示した。縦軸の単位は 10^6 モル/日。

図3は琵琶湖から流出するDIN、DIP、DSiの濃度の長期時系列を示したものである。DSi濃度は、降水・河川増水による断続的な補給量増大や、ケイ藻ブルームによる吸収を反映して短期の時間変動が大きい。このため、1980年代以降は12ヶ月の移動平均値をとった。ただし、1950年代および1970年代ではデータ数が少ないため、隔月1年間の計測値をプロットした。

まずはっきりしたのは、琵琶湖に流入する河川のDSi濃度はおおむね $150\sim 200\mu\text{M}$ 程度であるのに対し、流出濃度は $30\sim 40\mu\text{M}$ まで下がっていることである。すなわち琵琶湖がDSiのシンクになっており、湖内に保留される率は70%前後であると見積もられる。また、流出濃度は1950年代の平均では $50\mu\text{M}$ 程度であったものが1990年代初頭には平均値で $30\mu\text{M}$ 程度と落ち込んだ。その後1990年代以降、回復に転じたようである。同様に、DIN濃度も1990年代以降、回復に転じたようである。これに対し、植物プランクトン量の指標であるクロロフィルa濃度は1980年代以降減少しつつある。DIP×16の流出濃度は常に小さい。

このことと上記のTN、TP、DSiの流入量の層対比から、琵琶湖が植物プランクトンにとってP制限であり、1960年代にはP負荷が増えたため植物プランクトンの活動、すなわちDSi(およびDIN)のシンクが強まっ

たが、1990年代にはいってP負荷の規制等により植物プランクトンの活動が弱まり、DSi(およびDIN)がシ
ンクにかからないで流下する率が増えたことが推定される。

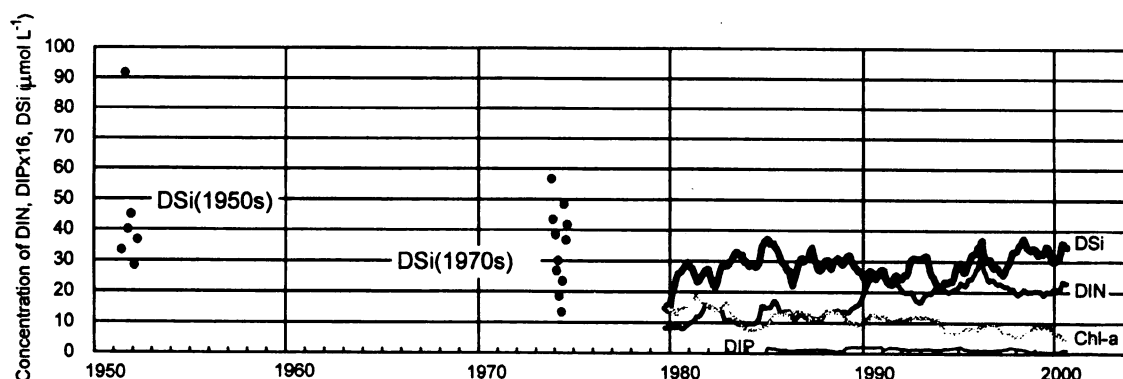


図3 琵琶湖から流出する水の水質値の長期変化。黒丸は琵琶湖疎水取入口におけるDSi濃度(小林アーカイブ⁴⁾より)、太線、中太線、細線および灰色線はそれぞれ瀬田川におけるDSi、DIN、DIP×16およびクロロフィルa濃度の12ヶ月移動平均値(近畿整備局他のデータ⁷⁾より)である。

(2) 瀬戸内におけるN, P, Siの季節変化

図4は、作業vi)によって得られた瀬戸内海播磨灘付近(灘番号6)の各栄養塩の1994-1997年の間の時系列である。キャプションに示したように顕著な季節変動を示し、春季ブルーム終了時(2~3月)にはDSiが2マイクロモル/L⁻¹程度まで低下する。ただし、瀬戸内海では、初夏の多雨によって陸域からDSiが補給されるため、DSi濃度は初夏に上がる。また、夏に下層で有機物分解によりDIN、DIPが形成されるが、これが上層に上がってくるのは冷却による鉛直混合が起こる秋以降である。このため夏の間はDSi/DIN比がむしろ上がる傾向がある。これが夏に少雨となるヨーロッパと異なる点である。

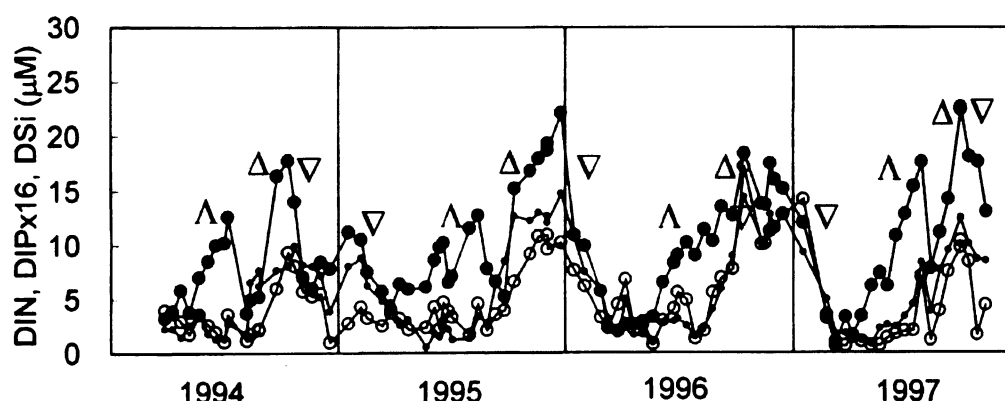


図4 フェリーで計測された播磨灘中央部表層海水のDSi(●)、DIN(○)、DIP×16(●)の季節変化。各栄養塩は春季ブルームで減少し(記号▽)、夏季、下層で有機物が分解してDIN、DIP、DSiに回帰するが、表層には戻るのは秋季の鉛直混合の時である(記号Δ)。ただしDSiのみは夏季の降雨による陸からの補給分で初夏に増加する(記号Λ)。

(3) 瀬戸内のN, P, Si長期平均の水平分布

作業iv)の結果を基にして、瀬戸内海表層海水のDIN、DIP、DSi各濃度とDSi/DIN相対比の長期平均

を経度についてプロットした(図 5)。巨視的には、DIN、DIP、DSi とともに東高西低となっている。ただし、DSi/DIN 相対比でみると、逆に西高東低となっている。これは、京阪神地区からの N, P の直接負荷と琵琶湖における Si のシンクによって形成されていると考えられる。DSi/DIN 比が1以下になるのは大阪湾部分である。

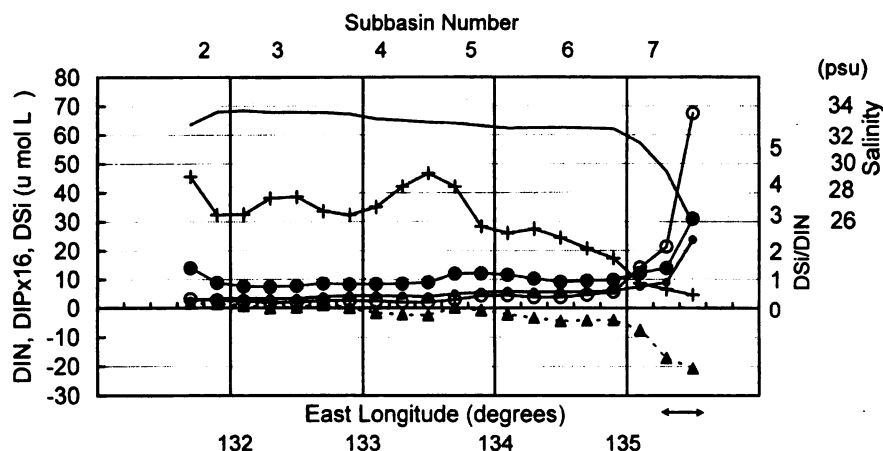


図 5 フェリーを用いたモニタリング^{12),13)}による瀬戸内海表層の DSi (●)、DIN (○)、DIP(△)、DSi/DIN 比(*), および塩分値(線)の 1994~2000 年の 7 年間平均値水平分布。左端が別府、右端が大阪湾である。上欄の数字は各海域(灘)の番号に、右下端の両矢印は後述の河口隣接海域に対応する。また、▲は後に 4(6)で定義される「海域の仮想的シリカ欠損量」である。

(4) ケイ藻類／鞭毛藻類存在比

4(3)中の DSi/DIN 相対比の水平分布から単純に考えれば大阪湾でケイ藻類より鞭毛藻類が相対的に有利になると考えられるが、実際にはどうであろうか。

灘番号	1		2		3		4		5		6		7		8	
灘名	豊後水道		伊予灘		安芸灘		燧灘		備讃瀬戸		播磨灘		大阪湾		紀伊水道	
藻類グループ	D	AF	D	AF	D	AF	D	AF	D	AF	D	AF	D	AF	D	AF
1991		12		4	1	4		3			5	15	7	5	4	5
1992		13		3		3		2		1	1	11	6	6	2	12
1993		4			2	9	2	2			7	15	7	7	3	8
1994		8				1		3			7	16	10	8	3	7
1995		8		1		5	1	1		1		16	7	5	4	11
1996		3		3	1	4	1	4			1	12	10	5	1	12
1997		18		1	1	3	2	1			2	25	9	10	3	13
1998		16		2		3		2	2	2	3	9	19	1	1	7
1999		24		1	2	5		6	2	4	1	16	14	5		4
2000		13		2	2	2		3	2	6	3	7	20	3	2	8
2001		18		3		6	2	3		1	5	8	12	4	2	7

表1 瀬戸内海の各灘(番号は図1と対応)で起こった、ケイ藻類赤潮(D)および独立栄養鞭毛藻赤潮(AF)の発生件数の年次変化。水産庁の「瀬戸内海の赤潮」¹⁴⁾の記録より作成。

ケイ藻類と非ケイ藻類の存在比を、バイオマスのような共通の量でしめすことは難しい。そこで存在比の

指標として、「瀬戸内海の赤潮」の記録から、ケイ藻類赤潮と鞭毛藻類赤潮の件数をそれぞれ離別、各年ごとに集計し、表1に示した。

両者の合計件数は、大阪湾でもっとも多い。したがって図5のDIN, DIPの分布と一致する。ところが、両者をわけてみると、ケイ藻類赤潮の割合は大阪湾(7)で多く、鞭毛藻類赤潮の割合は播磨灘(6)が多い。DSi/DINは大阪湾で極小であるので、このような内訳は一見シリカ欠損仮説と矛盾する。しかし、DSiの絶対濃度は大阪湾において最も高いので、シリカ欠損仮説と整合するといつてよいだろう。「瀬戸内海の赤潮」の記録で、個々の赤潮の発生場所を詳細にみると、大阪湾のうちでも特に大阪湾奥部の淀川河口に隣接する海域では、一年の大半においてケイ藻類赤潮が占めている。このことから、淀川から直接補給されるDSiがケイ藻類の増殖を促進しているといつてよいだろう。すなわち、有害赤潮の議論はN, Pだけでなく、Siの要素を入れてはじめて有効になるといえる。

(5) 大阪湾における降雨-栄養塩流入-海域植物プランクトン応答の計測結果

図5および表1で表現した変動よりも時間スケールの短い変動に対する海域の植物プランクトンの特性を調べるため、2002, 2003, 2004年それぞれの夏季のみ、大阪湾北東部のフェリー航路上の1地点において2日に1回の植物プランクトンサンプリングを行った。

この地点のDIN, DIP, DSiの各濃度の変化を図6に示す。これによれば、DSi/DIN比が1以下であることについては図5と同様である。2002年の7~8月は渇水で流入量が少なかったためか、3種栄養塩、特にDIPが低かった。2003年には6月の降雨と8月上旬の台風のため、3種栄養塩とも高かった。2004年には8月中旬までは3種栄養塩とも低めだったが、8月下旬から台風が連続して来襲したため栄養塩濃度が上がった。

大阪湾北東部でのケイ藻類および渦鞭毛藻類別の炭素換算バイオマス濃度を図7に示す。2002年夏には、主にP制限によりケイ藻のバイオマスは小さく抑えられ、増加してくるのは、海面冷却による鉛直混合が始まる10月ころになる。これに対し、2003年夏にはケイ藻のバイオマスは2桁大きくなった。渦鞭毛藻の濃度も大きくなったが、1桁大きくなったにとどまる。2004年夏も台風が来襲した8月下旬に栄養塩が増加し、それに応ずるようにケイ藻類バイオマスが増加した。

このように、大阪湾北東部ではDIN, DIP, DSiともに制限要因にならない場合には、ケイ藻類が占める。これはケイ藻類が本来的に増殖速度が高いことによると考えられる。渦鞭毛藻類は、鉛直遊泳できるため、ケイ藻類ほど表層海水の栄養塩濃度が決定要因にならないと考えられる。

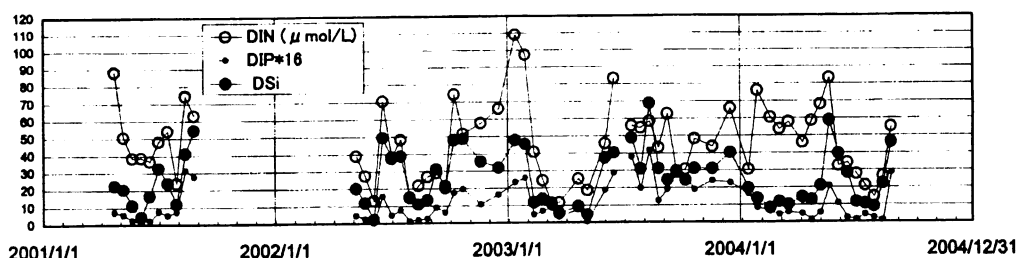


図6 大阪湾北東部における栄養塩濃度の変化

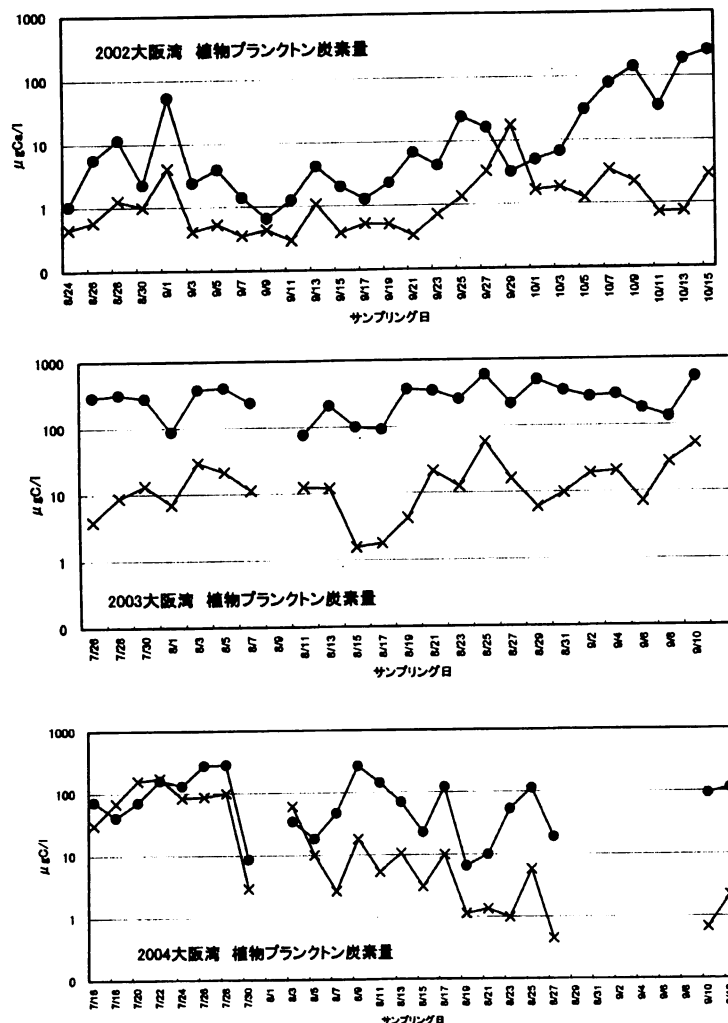


図7 大阪湾北東部における2002年晩夏（上図、夏渇水年）、2003年夏（中図、通常年）、2004年夏（下図、夏後半に台風）のケイ藻類および渦鞭毛藻類の短期変動。

(6) 海域の仮想的シリカ欠損量分布

陸水域のシリカ欠損の程度は、4(1)のように、流入河川と流出河川のDSi濃度の差、あるいは、長期的な時系列データにおいて過去と現在の差で評価できる。ところが、海域においては当該領域への流入・流出を見積もることがむずかしいし、過去のDSiのデータも乏しい。そこで、次のような考え方で瀬戸内海表層水の仮想的なシリカ欠損量の水平1次元分布を算出した。人為影響の小さかった過去のDSiは、陸から流入するDSiが河川水の希釈・分散の過程で保存されながら分布したと仮定する。すなわち、過去の河川のDSi濃度と河川水含有率（外海との塩分差／外洋塩分を乗じたもの）の積で表現する。この分布と現在の海域のフェリーによるDSi観測値との差の分布を、仮想的なシリカ欠損量と考える。

$$\text{仮想シリカ欠損量}(x) = \text{現在のDSi}(x) - (\text{過去の河川DSiエンドメンバー値} \times \text{淡水含有率}(x) + \text{外海DSiエンドメンバー値} \times (1 - \text{淡水含有率}(x)))$$

過去の河川 DSi エンドメンバー値としては、地表からの風化溶出のみによる DSi 濃度値をあてはめるべきである。ただしこれは不可能なので、現存する最も古い DSi 値として 1950 年代の小林データから瀬戸内海に流入する主要な 11 本の河川の流量重み平均値を求め、この値 $209 \mu\text{M}$ を使う。現代の海域の DSi 値としては、フェリー観測による 1994-2000 年の平均的な分布 (図 5) を使う。塩分分布は過去も現在も不変とし、同じくフェリー観測値を使う。外洋側の DSi と塩分のエンドメンバー値には、それぞれ $5 \mu\text{ML}^{-1}$ と 34psu を充てる。

このようにして得られた仮想シリカ欠損量 (前述の図 5 に▲でプロット) は瀬戸内海全域で負となり、全域で DSi が過去よりも下がったといえる。ただし欠損の分布は瀬戸内海西部ではそれほど顕著でないのに対して、大阪湾では顕著で $-20 \mu\text{M}$ に達する。琵琶湖での DSi 落ち込みと淀川の淡水補給量からは琵琶湖のシンクによる量はたかだか数 μM である。したがって、大半は、大阪湾に直接負荷される N, P のために大阪湾でケイ藻が増加し、それによる DSi シンクのためであると判断できる。

(7) 他の水系の N, P, Si 特性

以上で明らかになった特性が BYS 水系以外の水系にどの程度適用されるかをチェックするため、日本全国の河川および世界の主要な水系の報告およびデータを収集・解析した。日本全国については、前述の小林アーカイブ⁴⁾からの値を用いた。世界については、主に GEMS/Water で提供しているデータを用いる。DIN のうち、 $\text{NO}_2\text{-N}$ あるいは $\text{NH}_4\text{-N}$ が欠落していることがあったので、 $\text{NO}_3\text{-N}$ について記述する。

図 8 は、日本の河川の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{DIP} \times 16$ 、DSi の値の 1950 年代データ平均値と 1970 年代データ平均値を示す。これによれば、火山起源土壌の多い北海道、東北、九州で DSi の溶出が高く、堆積岩起源の土壌が多い近畿、四国で DSi の溶出が低いことがみてとれる。また、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{DIP} \times 16$ は関東と近畿で高く、人為起源の影響が強いことがわかる。そして、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{DIP} \times 16$ は 1950 年代から 1970 年代にかけて顕著に増大していることがわかる。これに対して、DSi は関東と近畿で同様に低下しており、人為影響で流下量が減ったことがわかる。なお、北海道の DSi のみは 1950 年代から 1970 年代にかけてかえって増えている。この原因は単純ではないが、裸地の増加や火山活動による新規の火山灰によって DSi の溶出が増加したことが考えられる。

BYS 水系に比べ、国外の水系についてはデータの時空間密度は非常に低くなるが、図 9 にアジア、南北アメリカ、ヨーロッパの主要河川と主要湖沼 (仮想大ダム湖) に分けて $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{DIP} \times 16$ 、DSi の平均値を示した。

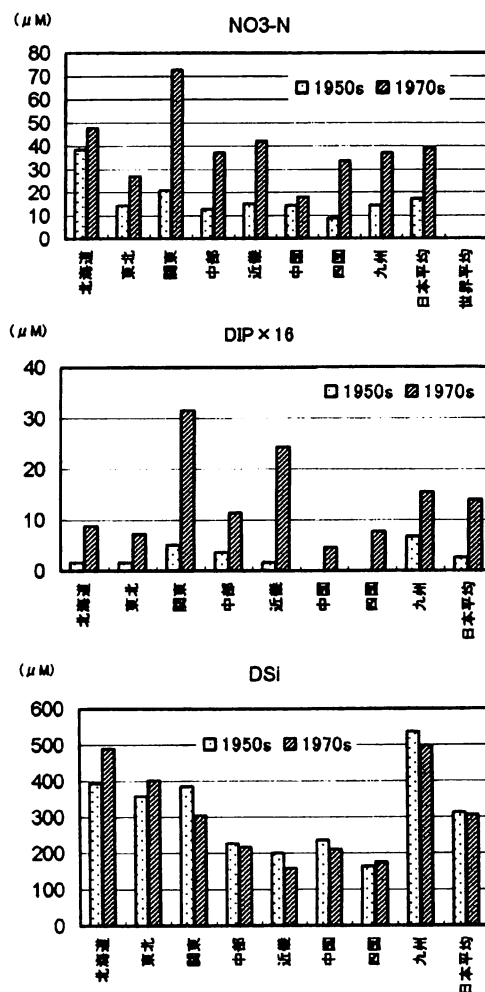


図 8 日本の河川の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $16 \times \text{DIP}$ 、DSi 各濃度の地方別年代別平均値 (小林データアーカイブより)

我国の DSi の値は世界的にみて高く、 $200\ \mu\text{M}$ 前後あったのに対し、インダス川とナイル川で $200\ \mu\text{M}$ を超えている以外は、世界の主要河川では $100\sim150\ \mu\text{M}$ となっている。特に、ヨーロッパの河川で DSi 濃度が低く、これは流域の開発が進んでいることのほかに、火山土壌が少ないことにもよっている。

湖沼の DSi 値は河川に比べさらに低く、概ね $50\ \mu\text{M}$ 以下となっている。したがって、常に乱流状態にある河川に比べ、上層以外は静水状態にある湖沼で Si のシンクが起こるのは一般的であることがわかる。すなわち琵琶湖の例は特殊な例ではなく、静水効果と富栄養化の相乗効果により Si 欠損がおこるといってよいだろう。テームズ川では、DIP の負荷が非常に高いにもかかわらず、DSi 濃度は $200\ \mu\text{M}$ 程度あり、これはダム湖が少ないために静水効果が小さいことによるといえるだろう。

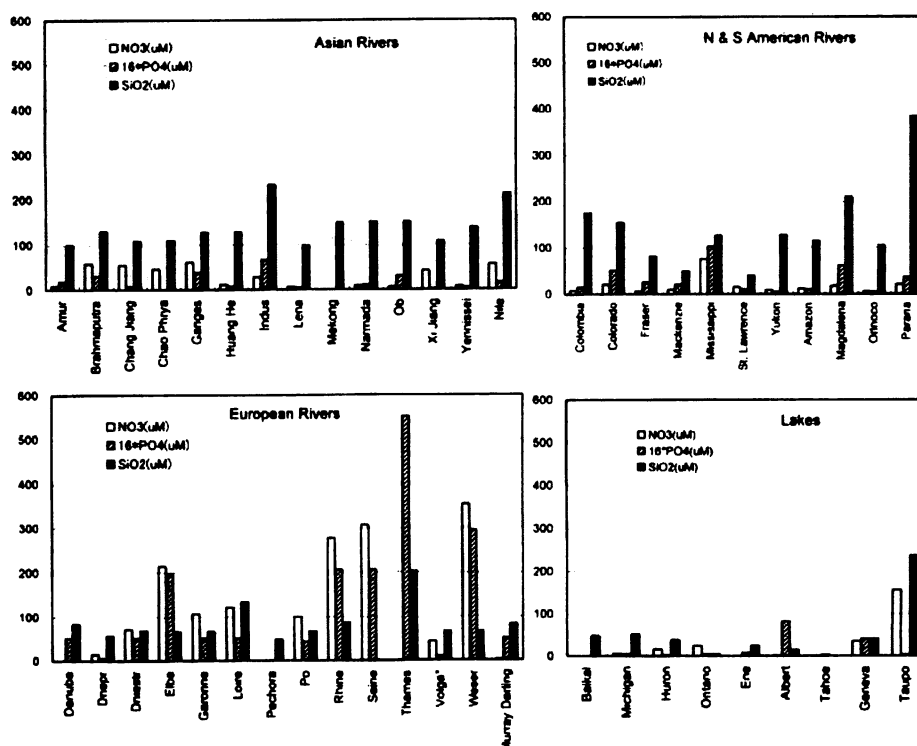


図 9 アジア(左上図),南北アメリカ(右上図),ヨーロッパ(左下図)の各主要河川, および、主要湖沼(右下図)の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $16\times\text{PO}_4\text{-P}$ 、および DSi 濃度 (GEMS/Water の提供資料より抜粋)。ただし、メコン川、ペチョーラ川、バイカル湖については DSi のみ。セーヌ川については DSi 値が欠落しているが他の文献から比較的低いことがわかっている。

図 10 には、上記の世界主要河川の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度対 $\text{DIP}\times 16$ 濃度、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度対 DSi 濃度をプロットした。これによれば $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度と DIP 濃度は正の相関を示し、ともに人為影響によって増大することがみてとれる。その比は河川によりことなるが、左図からは、概ねレッドフィールド比 ($\text{N:P}=16:1$) よりもやや P が小さいこと、すなわち河川水の N:P 比は海域のプランクトン増殖にとって P 制限であることが推測される。これに対して左図からは、N 濃度が大きくなるほど DSi 濃度が下がることがみてとれ、シリカ欠損が静水効果だけでなく N 負荷とそれに相関をもつ P 負荷によっておこることがわかる。

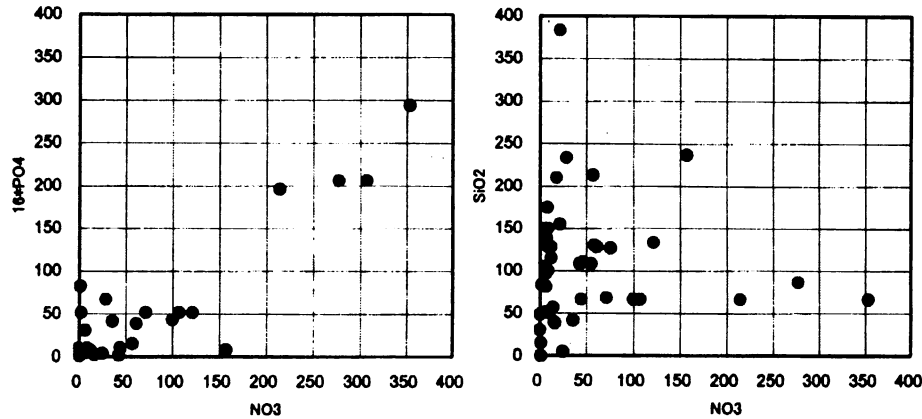


図 10 世界の主要河川・湖沼の NO₃-N 濃度に対する 16×DIP 濃度 (左)、DSi 濃度 (右) の相関。ともに GEMS/Water 提供資料より抜粋。

(8) 世界の主要水系のシリカ欠損の事例まとめ

この節では、世界の各河川-海域連成水系について、シリカ欠損事例のファクトファインディングを行い、BYS 水系の精査で判明したメカニズムを適用してその整合性を検討し、以下にその要約を示す。

① ドナウ川-アイアンゲートダム-黒海

1980 年にアイアンゲートダムが竣工し、その後に黒海上層で DSi が減少し、渦鞭毛藻の赤潮の増加も確認されている¹⁵⁾。このようにシリカ欠損仮説が最も直接的に検証された水系である。これは、ヨーロッパの河川で DSi がもともと低いことと、黒海がほぼ完全な閉鎖性海域のため、渦鞭毛藻へのシフトが検知されやすかったことも考えられる。BYS 水系(本研究の5.「考察」参照)や③のミシシッピー水系についての知見からは、単に陸水域で DSi が減少しただけでは鞭毛藻類へのシフトが起こるものではないことが示されている。したがって、①についても報告の範囲のメカニズムで珪藻類/非ケイ藻類の出現が説明できるものではなく、で述べるような、植物プランクトンの動態に関連した要素の議論が必要であると考えられる。

② エルベ川-同河口沖

1960 年代からエルベ河河口沖で 23 年間、栄養塩と植物プランクトン種のモニタリングが行われ、春季ブルーム終了時に DSi が枯渇して DIN が残る傾向が進行したことと、夏季の渦鞭毛藻類のブルームの増加が報告されている^{16),17)}。この例についても、①と同様、別の論証を加える必要があると考えられる。

③ ミシシッピー川-同河口域-メキシコ湾

ミシシッピー川で、1960 年代に DSi/DIN 比が低下した^{18), 19)}。ただし、同河口域では、ケイ藻類の増加が認められ、貧酸素問題は顕在化したものの、鞭毛藻類の増加ははっきり報告されていない。この問題については、本サブテーマで提起されたように、大阪湾東北部(河口隣接海域)と他の瀬戸内海域を分けて取り扱い、ミシシッピー河口隣接海域では DSi/DIN 相対比は低下したものの Si が制限されないためむしろケイ藻類が増え、ここからメキシコ湾の他の海域に出てゆく海水中では潜在的に渦鞭毛藻類にとって有利になっていると推定することができるだろう。瀬戸内海のような水路状海域と異なり、メキシコ湾がほぼ開放型の海域なため検知が難しいと考えられるが、ミシシッピー河口から離れたフロリダ半島沿岸域で HAB の問題が顕在化している(<http://www.csc.noaa.gov/crs/habf/habmaps.html#>)。ことはこの考えを裏付ける。

④ 黄河-同河口域

断流(黄河の水が河口まで届かない現象)が報告されており、これは DSi/DIN 比の低下よりもさらに顕著に DSi 絶対量の補給が減少することに対応する。BYS 水系で渇水状態の時に海域のケイ藻類／鞭毛藻類の比が減少したことから、同様に黄海のケイ藻類比を現象させる可能性がある。

⑤ 長江－同河口域

1960 年代に支流の丹青江にダムができ、北方への分流が検討された。この時期に下流の大通モニタリング地点でシリカ濃度の減少が検知された²⁰⁾。三峡ダムの竣工に伴い、その静水効果によりさらに DSi の低下することが考えられる。また、「南水北調」により長江水の絶対流量が減少することも Si 流量をへらすことにつながり、黄河河口域と同様有害赤潮の増加が懸念されている。

⑥ チャオプラヤ河(タイ国)

1950 年代の計測例^{21), 22)}と現代の計測例²³⁾を比べると、我国の高度経済成長前・後と同様に、 DSi の減少が見られる。また、乾季には高 N 低 Si 、雨季には低 N 高 Si という報告があり、 N は降雨で希釈されるが Si の溶出は比較的早く追従するので希釈されない、すなわち降雨は DSi の流下を増やす方向に働くことが示されている。

⑦ ミシガン湖

五大湖では過去に DSi の減少が報告されたが²⁴⁾、最近の論文²⁵⁾では逆に DSi の漸増が報告されている。この原因として、環境対策として P 負荷が軽減されたためシリカシンクが弱まったことが考えられる。すなわち、本研究でとりあつかった琵琶湖流出水中の DSi と共通する傾向であるといえよう。

5. 考察

この研究で概ね明らかになったように、我国のように自然のシリカの溶出率はヨーロッパに比べて高くても、琵琶湖のように滞留時間が長い陸水域は Si のシンクとなる。また、 N , P の要素だけでは海域の赤潮発生を説明できない。ただし、以下のように、陸水域のシリカ欠損が単純な形で鞭毛藻類の卓越を引き起こすものではない。それらを補完する説明としては、いまだに考察の段階にあるものも含めて次のような議論が可能であろう。

第一に、淀川の流入する大阪湾北東部は DSi/DIN 相対比が低いにもかかわらず、珪藻類赤潮が卓越する。これには、そのような領域を「河口隣接域」と定義し、他の海域と分けて取り扱うことが有効であろう。すなわち、「河口隣接域」では陸水域で DSi が欠損しても海域表層値よりも高いため、 DSi が常時補給されていることになる。それに京阪神地区からの N , P の直接負荷も加わり、珪藻にとって DIN , DIP , DSi のどれもが制限要因とならず、珪藻。ECV でケイ藻赤潮が卓越しているために ECV から外部に分散してゆく水は DSi が低下しており、

このため、ケイ藻赤潮を有利になる。渦鞭毛藻が卓越できるのは、 DSi 相対比がある程度低く、なおかつケイ藻卓越領域以外のところであり、これが播磨灘あたりになると考えられる。いいかえれば、ECV 外部で鞭毛藻が出現する可能性を高めるともいえるだろう。ミシシッピ川で DSi 相対比が低下したにもかかわらず、その ECV でケイ藻が卓越するのも同様であると考えられる。しかもミシシッピ川の ECV の外側は開放型領域になるため、潜在的に鞭毛藻類が有利になるところでもそれが「鞭毛藻赤潮」として顕在化しにくいとも考えられる。

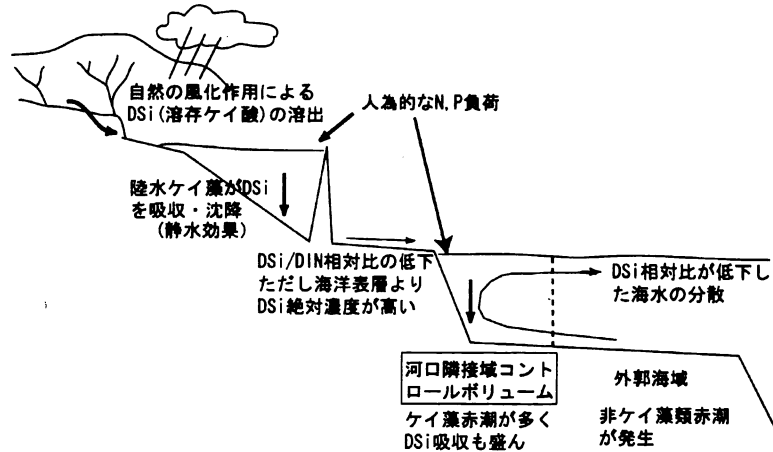


図 10 シリカ欠損過程と河口隣接海域の定義

興味深いのは、1990 年代にはいって、大阪湾のケイ藻類赤潮の記述件数割合が増加してきたことである。これは、2.で述べた琵琶湖流出点で DSi が回復傾向にあることと符合するのかもしれない。

また、淀川-大阪湾東北部の例から類推すると、河川流量の低下は、DSi/DIN 相対値の低下以上に、DSi の供給量を減らすことになる。1994 年 8 月渇水時に大阪湾北東部で通常ケイ藻赤潮が出る領域で *Gymnodinium mikimotoi* が発生したことはその端的な例である。さらにこれは、中国においては南水北調による長江本流の流量減少の影響や黄河の「断流」による影響がケイ藻類にとって不利な方向に働く可能性を示す。河川流量の低下は、またエスチャリー循環による外洋からの DSi 引き込みを弱めることにもなるかもしれない。

第二に、春季ブルームで DIN, DIP, DSi が枯渇した後、初夏に降雨のため DSi が増加し、遅れて DIN, DIP が回復するため、夏季には DSi 相対比はむしろ高いにもかかわらず、渦鞭毛藻赤潮は夏季に発生しやすいことである。これについては次のように考えられるだろう。Bienfang ら²⁷⁾は培養実験により、ケイ藻類は DSi を主とした栄養塩が枯渇すると浮力を減らして沈降することを示した。この結果を適用すれば、春季ブルームで栄養塩が枯渇してケイ藻類が沈降する。そしてその後河川水が流入して DSi が回復しても、水温成層・塩分成層が強くなっている为上層に戻れないという考えも成立するだろう。ケイ藻が欠如した上層は、鉛直に日周運動を行う鞭毛藻類が光合成の場として利用できるのも後者が大増殖できる。これが夏季の有害赤潮である。ケイ藻類は、秋季の海面冷却で鉛直混合が起こってはじめて栄養塩とともに上層に上がって増殖ができるのだろう。これが秋季ブルームである。

このように、シリカ欠損仮説についてはさらに検証を必要とすることが多いが、少なくとも海域の環境問題に関して、窒素、リンに加えてケイ素の動態も議論に含める必要があるだろう。

6. 成果の要約

1)世界的にみてシリカ欠損がむしろ起こりにくいと考えられるわが国の代表的な琵琶湖-淀川-瀬戸内海の水系でも、大規模な停滞性陸水域の存在と N, P 負荷により、以下のような形でシリカ欠損が起こることを

検証した。

- 1-1. 琵琶湖はその静水効果および水の平均滞留時間が長いこと DSi のシンクとして働く。
- 1-2. 陸から大阪湾への N, P の直接負荷も海域における DSi のシンクを強める。
- 1-3. 琵琶湖は植物プランクトン増殖にとって P 制限であり、1960 年代の P 負荷増大で DSi のシンクが強まり 1980 年代以降の P 流入削減で逆にシンクが弱まった。
- 2) 海域のケイ藻比／非ケイ藻類比への影響については、少なくとも N, P の要素だけでは赤潮を構成するプランクトン種を議論できず、Si の要素を考慮してはじめて説明できる。ただし、単純な元素比 (stoichiometry) からのみ予測できることではなく、以下のような、海洋物理的構造およびケイ藻類・渦鞭毛藻類の動態の差異を考慮した上で適用できる。
- 2-1. 瀬戸内海の DIN, DIP, DSi ともに東高西低であるが、DSi/DIN 比は西高東低であり大阪湾で最低となる。ところが、大阪湾ではケイ藻類赤潮の割合が多く、DSi/DIN 比は低くても、DSi 絶対量補給は大きいこと、これがケイ藻類に有利に働くと考えられる。すなわち、河口隣接海域は分けて考える必要がある。同様の傾向は、ミシシッピ河-メキシコ湾についてもいえる。
- 2-2. ヨーロッパと異なり、瀬戸内海においては、夏の降雨で DSi は増加するため DSi/DIN 比は夏に高くなる。その季節に渦鞭毛藻赤潮が多いので、一見シリカ欠損過程と矛盾する。この説明のためには、春季ブルームで DSi が枯渇するとケイ藻類は浮力を減じて沈降し、ケイ藻類の不在な上層を渦鞭毛藻が占めるという概念モデルが有効でなる。

7. 引用文献

- 1) Humborg, C., Conley, D. J., Cociasu, A. and v. Bodungen, B. (1997) Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure. *Nature* 27, 385–388.
- 2) Ittekkot, V., Humborg, C. and Schäfer, P. (2000), Hydrological alterations and marine biogeochemistry: a silicate issue?, *BioScience* 50, 776–782.
- 3) Vörösmarty, C. J. et al. (1997) The storage and aging of continental runoff in large reservoir systems of the world. *Ambio* 26, 210–219.
- 4) 小林純 (1960) 日本の河川の平均水質とその特徴に関する研究, 農学研究 48, 63-106 (1960).
- 5) 滋賀県環境白書—資料編—(各年刊).
- 6) 国松孝男 (1981) 琵琶湖集水域の河川水, 地下水, 降水および琵琶湖疎水の水質, 環境科学研究報告集, B105-R12-12, 82-105.
- 7) 近畿地方整備局、滋賀県、滋賀県立衛生環境センター (各年刊) 琵琶湖水質調査報告書.
- 8) 国土交通省「河川水質年表」(各年刊).
- 9) 国土交通省「流量年表」(各年刊).
- 10) 環境省(監修) 瀬戸内海の環境保全資料集、瀬戸内海環境保全協会.
- 11) 浮田正夫 (1998), 瀬戸内海への汚濁負荷、柳哲雄・合田建(編著・監修)「瀬戸内海の自然と環境」、178-198.
- 12) Harashima, A. et al. (1997) Monitoring algal bloom and related biogeochemical changes by a flow-through system deployed on ferries in the adjacent seas of Japan, in Kahru, M. and Brown, C. B. (eds.) *Monitoring Algal Blooms*, 183-213, Springer.
- 13) 原島省・功刀正行 (2000) フェリー利用による海洋環境モニタリングおよび関連研究に関する総合報

告書, 地球環境研究センター, CGER-M007-2000.

- 14) 水産庁瀬戸内海漁業調整事務所 (各年刊)「瀬戸内海の赤潮」.
- 15) Humborg, C., Rahm, L., Wulff, F., Cociasu, A. and Ittekkot, V. 2000. Silicon retention in river basins: Far-reaching effects on biogeochemistry and aquatic food webs in coastal marine environments. *Ambio* 29, 45–50.
- 16) Radach, G., Berg, J. and Hagmeier, E. 1990. Long-term changes of the annual cycles of meteorological, hydrographic, nutrient, and phytoplankton time series at Heligoland and at L V Elbe 1 in the German Bight. *Cont. Shelf Res.* 10, 305–328.
- 17) Smetacek, V., Bathman, U., Nöthig, E.-M. and Scharek, R. 1990. Coastal eutrophication: Causes and consequences, In *Ocean Margin Processes in Global Change*, Mantoura, R. F. C., Martin, J.-M. and Wollast, R. (eds.). Wiley, Chichester, pp. 19–44.
- 18) Turner, R. E. and Rabalais, N. N. 1994. Coastal eutrophication near the Mississippi river delta. *Nature* 368, 619–621.
- 19) Justić, D., Rabalais, N. N. and Turner, R. E. 1995. Stoichiometric nutrient balance and origin of coastal eutrophication. *Mar. Pollut. Bull.* 30, 41–46.
- 20) Chen, H. and Li, M. 2002. Impact of human activities on dissolved silicate flux from the Changjiang River into the East China Sea, *Collection of Marine Research Works*, XII, Suppl. Issue, Proc. SCOPE Workshop on Land-Ocean Nutrient Fluxes: The Silica Cycle, Nha Trang, Vietnam, 25–27 September 2000, 101–108.
- 21) 小林純 (1960) 東南アジアの平均水質とその特徴に関する研究, 農学研究 48, 63-106 (1960).
- 22) Kobayashi, J. 1958. Chemical investigation on river waters of southeastern Asiatic countries (Rep. I), The quality of waters of Thailand. *Ber. Ohara Inst. Landwirtschaft Biol.* 11, 167–233.
- 23) Saransuth, W. 2001. The change in land–sea silicate fluxes through the Chao Phraya River. *Proc. 5th IOC/WESTPAC Int. Sci. Symp* (CDROM)., Paper No. CO05, Seoul.
- 24) Conley, D. J., Schelske, C. L., and Stoermer, E. F. 1993. Modification of the biogeochemical cycle of silica with eutrophication. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 101, 179–192.
- 25) Barbiero, R. P., Tuchman, M. L., Warren, G. J. and Rockwell, D. C. 2002. Evidence of recovery from phosphorus enrichment in Lake Michigan. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59, 1639–1647.
- 26) Egge, J. K. and Aksnes, D. L. 1992. Silicate as a regulating nutrient in phytoplankton competition. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 83, 281–289.
- 27) Bienfang, P. K., Harrison, P. J. and Quarmby, L. M. 1982. Sinking rate response to depletion of nitrate, phosphate and silicate in four marine diatoms. *Mar. Biol.* 67, 295–302.

8. 謝辞

定期航路船舶による観測に協力いただいた関西汽船株式会社、赤潮発生データを提供いただいた水産庁瀬戸内海漁業調整事務所、水質計測に便宜をはかっていただいた国土交通省淀川工事事務所、小林純アーカイブの発掘に協力いただいた(財)海洋化学研究所および岡山大学関係者の皆様に感謝いたします。また、日本海洋学会 2004 年度春季大会において本プロジェクトの一環として開催されたシンポジウム「陸水域のシリカ欠損とその海域影響の可能性」(付録参照)において、有益な話題提供とコメントを

いただいた角皆静男博士(北海道大学名誉教授)、武田重信博士(東京大学大学院・農学生命科学研究科)、山本民次博士(広島大学大学院・生物圏科学)に感謝いたします。

[国際共同研究等の状況]

国際共同研究計画名:「定期航路船舶(ships of opportunity)を利用した海洋汚染研究」

協力案件名:日韓環境保護協定 KE-6-1

カウンターパート:呉在龍・韓国海洋研究所(KORDI)・大韓民国

参加・連携状況、国際的位置づけ: KORDI で実行した仁川ー済州フェリー観測と国立環境研究所のフェリー計測に関して、技術的な協力を行っている。

9. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表(学術誌・書籍)

<学術誌(査読あり)>

- ① 功刀正行、藤森一男、中野 武、原島 省: 分析化学、51、1001-1008 (2002)
「フェリーを利用した海水中有害化学物質の観測」
- ② 原島 省: 水環境学会誌、26、621-625 (2003)
「陸水域のシリカ欠損と海域生態系の変質」
- ③ 柳 哲雄、原島 省: 海の研究、12、565-572 (2003)
「瀬戸内海における溶存態無機リン・窒素・珪素分布の特徴とその要因」
- ④ M. Hinatsu, Y. Tsukada, H. Tomita and A. Harashima J. Adv. Mar. Sci. Tech. Soc., 9, 37-46 (2004)
"Study on estimation of original location of water sampled through inlet set on volunteer observing ship"
- ⑤ 功刀正行、藤森一男、中野 武、原島 省: 分析化学、53、1375-1387 (2004)
「フェリーを利用する海洋観測プラットフォームの開発及び日本近海における海洋汚染観測」
- ⑥ 原島 省: 沿岸海洋研究、43、39-44 (2005)
「フェリーモニタリングに基づいたシリカ欠損仮説の検証」
- ⑦ A. Harashima, T. Kimoto, T. Wakabayashi and T. Toshiyasu: Ambio (accepted, will appear in 2006)
"Verification of the global silica deficiency hypothesis based on biogeochemical trends in the aquatic continuum of Lake Biwa-Yodo River-Seto Inland Sea, Japan"

<その他誌上発表(査読なし)>

- ① A. Harashima *et al.*: Collection of Marine Research Works, Institute of Oceanography, Vietnam, Vol. 12, 27-38 (2002)
"Silica deficiency in the aquatic continuum - A case study in Japan"
- ② A. Harashima: PICES Scientific Report No.21, 11-13 (2002)
"Marine Environmental monitoring using ferries in Japan"
- ③ M. Hinatsu, Y. Tsukada, Y. Minami, H. Tomita, and A. Harashima: PICES Scientific Report No.2, 15-21 (2002)
"Evaluation of upstream location of sampled water using model ship experiments"
- ④ 原島省: 季刊環境研究、No.129、47-53 (2003)
「水循環系のリン・窒素増加と溶存ケイ素減少による海洋環境変質」

- ⑤原島 省、顔小洋、陶衛峰：月刊海洋、Vol.36、370-375 (2004)
「フェリーによる栄養塩時系列データと反復撮影によるサンゴ礁水中画像データの GIS 化」
- ⑥ 原島 省：船員ほけん、612、4-7 (2004)
「定期航路船舶による海の健康診断」
- ⑦ 原島 省：遺伝、59、88-92 (2005)
「フェリーを利用した栄養塩と植物プランクトンのモニタリング」
- ⑧ A. Harashima: Proc. International Symp. on Long-term Variation in the Coastal Environments and Ecosystems, Matsuyama (2005)
"Aquatic silica decline and its effect to the coastal marine ecosystem revealed by a biogeochemical monitoring using ferryboats"

<書籍>

- ① 原島 省：不破・森田(編) 地球環境ハンドブック第2版、朝倉書店 471-475 (2002)
「海洋とその汚染、概説」
- ② 原島 省：同上、475-480 (2002)
「リン・窒素と富栄養化」

<報告書類等>

- ① A. Harashima: Provisional Report to the First Focal Point Meeting at POMRAC, NOWPAP (2003)
"National Status Report on Monitoring Programs Related to NOWPAP in Japan"
- ② Japanese Government (執筆分担) National Report of Japan on River and Direct Inputs of Contaminants into the Marine and Coastal Environment in the NOWPAP Region (2005)
"4.4 Research Activities"

(2) 口頭発表

- ① A. Harashima: PICES VOS Workshop, Seattle (2002)
"Marine Environmental monitoring using ferries in Japan"
- ③ 原島 省、紀本岳志、田中祐志、若林 孝、利安忠夫：日本海洋学会 2002 年度春季大会 (2002)
「瀬戸内海のシリカ欠損(2)」
- ④ 原島 省：平成 14 年度瀬戸内海ブロック推進会議 生産環境部会シンポジウム、広島(2002)
「フェリー利用による低次生態系の時系列モニタリング」
- ⑤ 原島 省：瀬戸内海研究フォーラム in わかやま 森林と海—連鎖への回帰—、講演要旨、34-37 (2002)
「陸と海の相互作用をどう測ってゆくか」
- ⑥ 原島 省：土木学会環境水理部会研究集会横浜 講演要旨 1-8(2002)
「河川から海洋に至る N, P, Si 輸送の連続性の意義」
- ⑦ 原島 省、紀本岳志、高橋 理、若林 孝、利安忠夫：日本海洋学会 2003 年度春季大会 (2003)
「小林純アーカイブより判読された河川水中のシリカ減少傾向」
- ⑧ A. Harashima: The 1st Focal Point Meeting of NOWPAP-POMRAC, Vladivostok (2003)
"Monitoring Programs Related NOWPAP in Japan".
- ⑨ 小林由紀子、藤原建紀、原島 省：日本海洋学会 2003 年度秋季大会(2003)
「東部瀬戸内海における冬季の栄養塩分布と季節風—2002 年度のノリの色落ちに関して—」
- ⑩ 原島 省、若林 孝、利安忠夫：日本海洋学会 2004 年度春季大会シンポジウム-D (2004)

「フェリー計測と既存データ解析から判読された河川水中のシリカ減少傾向」

- ⑪ A. Harashima: IGOS International Symposium, Coastal Splinter Session, Tokyo (2004)
"Strategies for the *in-situ* monitoring of anthropogenic deterioration of coastal ecosystem"
- ⑫ A. Harashima and T. Nakatsuka: The 2nd Focal Point Meeting of NOWPAP-POMRAC, Vladivostok (2004)
"Status Report on the POMRAC-WG2 Related Monitoring Programs in Japan"
- ⑬ A. Harashima: International Symposium on the Variation of Coastal Environment and Ecosystems, Matsuyama (2004)
"Aquatic silica decline and its effect to the coastal marine ecosystem"
- ⑭ 原島 省、木下勝元、紀本岳志: 日本海洋学会 2004 年度秋季大会講演要旨 220 (2004) 「瀬戸内海フェリーに設置した現場型栄養塩連続自動測定装置による観測」
- ⑮ 原島 省: 金沢大学 21 世紀 COE プログラム「環日本海の環境計測」講演会、金沢大学
「日本海・アジア縁辺海の環境に関わる陸海の相互作用」
- ⑯ S. Kameyama, S. Fukushima, A. Harashima, H. Shimazaki, M. Kaneko and M. Takada: General Assembly 2005 of European Geosciences Union, Vienna (2005)
"The effects of anthropogenic watershed changes on river water quality - The watershed fragmentation by dams and its impacts in Japan -"

(3) 出願特許

無し

(4) シンポジウムの開催

- ① 日本海洋学会 2004 年度春季シンポジウム-D 「陸水域のシリカ欠損とその海域影響の可能性」(2004 年 3 月 30 日、筑波大学、参加者 100 名、参照: 付録 1 に講演要旨を収録)

(5) マスコミ等への公表・報道等

- ① 先行課題の結果をとりいれた原島・功刀共著の「海の働きと海洋汚染」が、石弘之(編著)「必読環境本 100」(平凡社)に選ばれ、紹介された(参照: 付録 2 に同書籍中の該当ページコピーを収録)。

(6) 受賞等

- ① 平成 15 年度日本海洋理工学会論文賞 (上記査読論文④)

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

- ① 我国が政府間協定で担当している UNEP-NOWPAP-3 (国連環境計画-北西太平洋地域海行動計画-共同モニタリング案件)の第1回会合 (ウラジオストック, 2003)で、National Status Report を起草提出し、このレポート中に、シリカ欠損問題およびフェリー利用による海洋モニタリングの重要性を記述した。
- ② 国土交通省による河川整備基金事業報告書「栄養塩濃度が河川水質環境に及ぼす影響に関する研究」(河川環境管理財団刊行)で、本研究内容が引用されている。
- ③ 水産庁・林野庁・国土交通省による国土総合開発事業「森・川・海のつながりを重視した豊かな漁場海域環境創出方策検討調査報告書」で、本研究内容が引用されている。
- ④ 環境省が設けている環境技術情報ネットワークのウェブサイト「フェリーを利用した海洋環境モニタリング技術」を掲載し、環境保全策広報の一環とした (http://e-tech.eic.or.jp/libra/lib_3/lib_3.html)。