

D-1 陸域由来の環境負荷変動に対する東シナ海の物質循環応答に関する研究

(3) 東シナ海の海洋環境予測統合モデルの開発に関する研究

③ 長江から東シナ海への溶存態ケイ酸塩フラックスの長期変化とその河口生態系への影響に関する国際共同研究

独立行政法人国立環境研究所研究所

流域環境管理研究チーム EF フェロー

水圏環境研究領域 領域長

流域環境管理研究チーム 主任研究員

李 茂田

渡辺正孝

徐 開欽

＜研究協力者＞

独立行政法人国立環境研究所

海域環境管理研究チーム 主任研究員

水圏環境研究領域 主任研究員

越川 海

林 誠二

平成 14～16 年度合計予算額

6, 6 8 2 千円

(うち、平成15年度予算額

2, 3 5 9 千円)

[要旨]

本研究では、長江流域大通地点の溶存態ケイ酸塩(DSi)、およびその他の栄養塩について、1955年から1985年までの月平均濃度と長江流域における空間分布データを収集し、解析を行った。その結果、長江から海域へのDSiフラックスは過去数十年に亘って減少傾向にあった。DSi濃度の分布がケイ酸塩岩分布によって左右され、上流のDSiが高く、重慶から宜昌にかけて減少し、中流から下流にかけて増加することがわかった。DSiとフラックスの季節変動は流量変動に左右され、洪水期(5～10月)に増加し、乾期(11～翌年の3月)に減少している。洪水期DSiフラックスは $1.77 \times 10^6 \text{ t}$ となり、全年の74%を占めている。DSiとフラックスの経年変化は、ダム建設や農業生産、肥料などの人為活動によって強く支配されていることが示唆された。DSiフラックスは、1960、70、80年代にそれぞれ2.72、2.23、 $2.13 \times 10^6 \text{ t}$ となっている。長江流域に建設されている162の大型ダムの全容積は 155.07 km^3 (年間総流出量の16.14%に相当)に達し、モデル計算によると、31.4万tのDSi(年間DSiフラックスの13.08%に相当)がこの162のダム貯水池の中の藻類・生物によって固定され、そのうち6.25万t(年間DSiフラックスの2.64%に相当)がそのままダム貯水池に堆積されていることが分かった。DSiフラックスの減少および東シナ海への窒素およびリンの急激な増加は、河口域・沿岸の富栄養化、赤潮発生と生態系構造に悪影響を及ぼすことが示唆された。

キーワード:

揚子江(長江)、東シナ海、溶存態シリカ、ケイ酸塩フラックス、赤潮、海洋生態系

1. はじめに

長江は世界で3番目に長く、中国では最も長い川で、毎年その河口及び東シナ海に大量の栄養塩をもたらしながら、 $9 \times 10^{11} \text{ m}^3$ の淡水と $5 \times 10^8 \text{ t}$ の土砂を提供している。川によって運ばれる物質は、東シナ海周辺地域の漁業の生産性を持続させているとはいえ、沿岸環境衛生に重大な影響を及ぼしている(Edmond et al., 1985; Tian et al., 1993; Chen et al., 2001)。しかし、中国における経済発展、及び洪水防止や節水要求の高まりにより、何千もの水資源保護プロジェクトが、ここ数十年間に長江流域(YRDB)で整備されてきた。長江における多数のダム建設は、上流から外海にもたらされる堆積

物の継続的減少を招いた。しかし、栄養塩濃度及びフラックスの変動や沿岸生態系、特にDSi変動に関する総合データは、殆ど入手できていない。Hu M.H et al. (1982)は長江流域 DSi分布の研究の先駆者であるが、Chen et al. (2002), Liu et al. (2003)がこれに続いた。Liu and Shen (2001)は、東シナ海に入るDSiフラックスを推計した。支流のDSiフラックス、ソースやシンクの分布についての知見は、非常に少ない。

2. 研究目的

本研究の目的は、長江流域におけるDSiC及びフラックスの季節変動と長期変動を明らかにし、東シナ海における生態系へのDSiフラックス減少の影響を検討することである。

3. 研究方法

3.1 データ収集

191のステーションでの長期平均DSi、DIN、DIP濃度は、「中華人民共和国水文年鑑」から抽出した。8つのステーションは、(上流から下流に) 奔子欄、石鼓、渡口、寸灘、宜昌、螺山、武漢、大通の本流沿いにある(図1)。18の支流の長期平均流量は、「長江総合百科事典」から収集した。大通ステーションでの月栄養塩濃度及び流量は、「長江下流域における水文データ集」から収集した。162の大貯水池(>0.1 km³貯蔵容量)での容積及び流量は、「長江統計年鑑」及び「長江総合百科事典」から収集した。1933年~2002年の長期赤潮データは、中華人民共和国東海環境監視センターから得た。

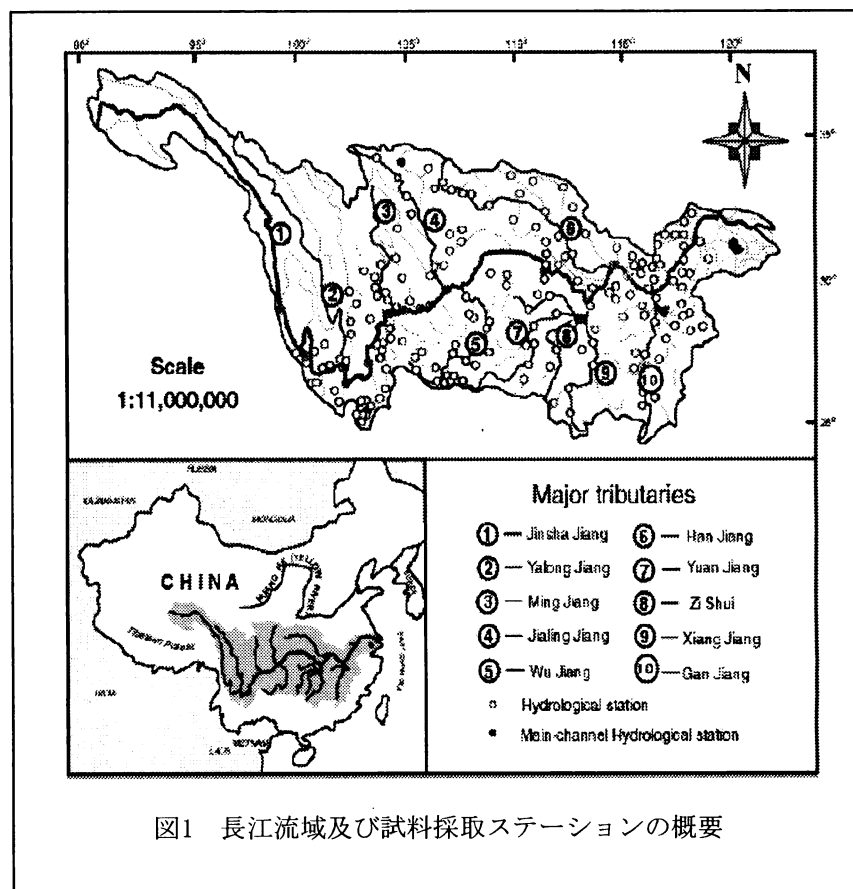


図1 長江流域及び試料採取ステーションの概要

3.2 データ分析

本流区域及び主要支流のDSiフラックスを計算するために、長期年平均DSiフラックスを次の方程式で表す。 $F_r = C_r \cdot Q_r$ F_r は支流 r の長期年平均DSi、 Q_r は支流 r の本流との合流点での長期年間平均流量、 C_r は支流 r における長期平均DSiCである。大通区域のDSiフラックスは、次の方程式で計算した。 $F_{ij} = C_{ij} \cdot Q_{ij}$ F_{ij} はDSiフラックス、 C_{ij} は*i*番目年の*j*番目月における大通区域の平均河川流量、 Q_{ij} は当該区域の同時平均栄養塩濃度である。

次に、大通の月平均フラックス及び年平均フラックスを上記の方程式で計算した。貯水池におけるDSiの固定は、162の大貯水池内の上流栄養塩レベルと、簡単な経験的モデル計算からの初期生産力(PP, g C m⁻² yr⁻¹)のための放水時間を基に推計した(Vollenweider and Kerekes, 1980; Canfield and Bachman, 1981)。

4. 結果

4.1 DSiC の空間分布

長期平均DSiC値の空間分布は、図2に示すARCGISによって分析した。チベット高原の端のステーション、雲貴高原の全域、普渡河上流、万馬河、嘉陵江、沅（水+元）江、贛江、修水、信水、漢江では、これらの地域での激しい浸食のせいで、高い値が測定された（Lu and Higgitt, 1999）。これらの地域では、DSiC値はしばしば $98.46 \mu\text{mol/L}$ より高く、 $235.53 \mu\text{mol/L}$ にもなった（例：大慧庄ステーション）。烏江、大渡河、撫河、湘江、澧（水+豊）水の支流では、低い値が計測された。これらの支流では、DSiCは概ね $78.94 \mu\text{mol/L}$ より少なく、最も低い値は、烏江流域の七岩橋で $8.94 \mu\text{mol/L}$ であった。18の主要支流の長期平均DSiCは、流域全域に亘り、 $43.42 \mu\text{mol/L}$ から $159 \mu\text{mol/L}$ と一桁を超えて変化し、平均は $82.19 \mu\text{mol/L}$ であった。DSiCの最低値は、洞庭湖支流の澧（水+豊）水で計測され、最高値は金沙江支流の普渡河で計測された。

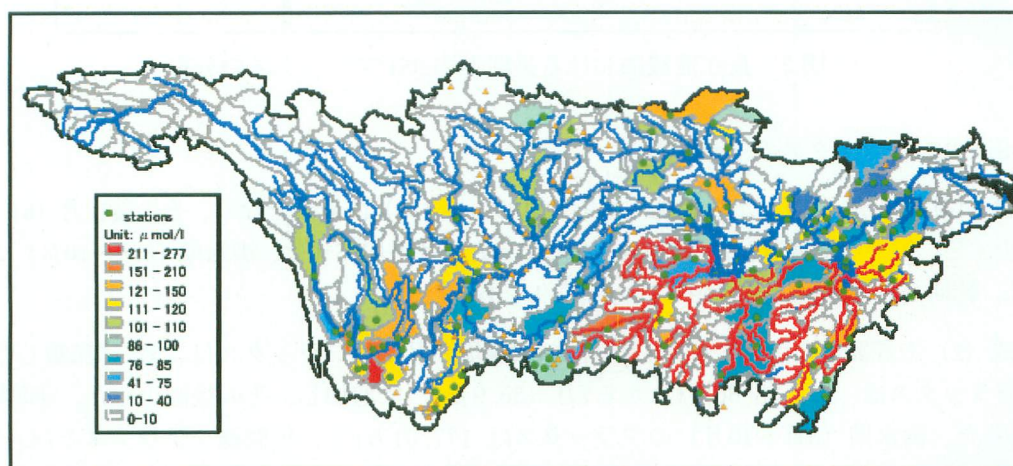


図2 長江全流域における長期平均DSiCの空間分布

4.2 DSi フラックスの空間分布

本流におけるDSiフラックスは、下流に向かって継続的に増加した。大通でのDSiフラックスが東シナ海に入り込む合計フラックスであると仮定して、異なったステーション及び支流におけるDSiフラックスの割合を表1に示す。本流において、DSiフラックスは、奔子欄で $0.10 \times 10^6 \text{ t/yr}$ (4.20%)、石鼓で $0.42 \times 10^6 \text{ t/yr}$ (17.6%)、渡口で $0.90 \times 10^6 \text{ t/yr}$ (38.1%)、寸灘で $1.31 \times 10^6 \text{ t/yr}$ (55.2%)、宜昌で $1.13 \times 10^6 \text{ t/yr}$ (43.76%)、武漢で $1.99 \times 10^6 \text{ t/yr}$ (83.9%)、大通で $2.37 \times 10^6 \text{ t/yr}$ (100%)であった。雅砻江、岷（山+民）江、嘉陵江、烏江、漢水、湘江、沅水、贛江など、主要支流での長期平均DSiフラックスは、4%以上になった（図3）。

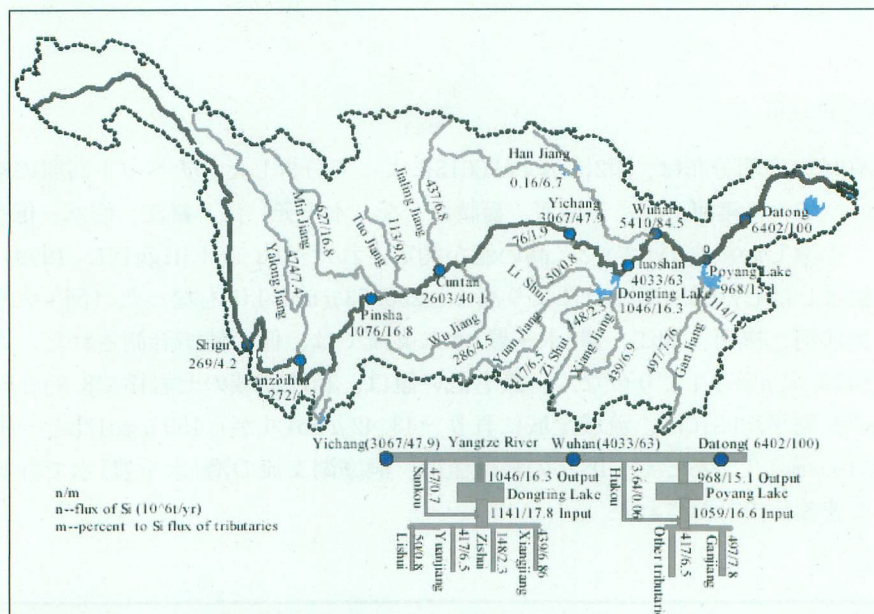


図3 長江流域における長期平均DSiフラックスの分布

4.3 DSiC及びフラックスの季節変動

DSiCは、1月 ($79 \mu\text{mol/L}$) から増加して9月 ($105 \mu\text{mol/L}$) に最大となり、その後12月 ($81 \mu\text{mol/L}$) まで減少する。年平均濃度は、 $90.97 \mu\text{mol/L}$ であった。月平均DSiCは、洪水期 (5月～10月) には $84.80 \mu\text{mol/L}$ 、乾期 (11月～4月) には $95.37 \mu\text{mol/L}$ であった。

方程式 (2) で計算した大通でのDSi及び他の栄養塩の月平均フラックスは、表2に記載した。DSiの月平均フラックスは、1月 (5.85万t) から7月 (35.9万t) に増加し、その後減少した。平均は、19.9万tであった。洪水期 (5月～10月) のフラックスは 177.01万tで、年間総フラックスの74.12%であった。

4.4 DSiC及びフラックスの経年変化

年平均DSiCは、大通の月平均DSiC値を平均して得た。図4aは、年平均DSiCの長期変化を示している。年平均DSiCの範囲は $75.56 \sim 125.00 \mu\text{mol/L}$ で、平均は $93.10 \mu\text{mol/L}$ であった。年平均濃度は、1960年代には $109.47 \mu\text{mol/L}$ 、1970年代には $91.09 \mu\text{mol/L}$ 、1980年代には $77.56 \mu\text{mol/L}$ であった。濃度は、明らかな減少傾向を示した (有効パラメータpはMann-Kendall testにより、0.00であった)。DIP及びDINの年平均濃度は、DSiとは異なった時間的傾向があり、1950年代以来明白な増加を示している。

毎月のDSiフラックスを合計して、年合計DSiフラックスを計算した。図4bは、年平均Siフラックスの長期変化を示している。年平均DSiフラックスの範囲は $1.13 \times 10^6 \text{ t/yr} \sim 3.39 \times 10^6 \text{ t/yr}$ で、平均は $2.38 \times 10^6 \text{ t/yr}$ であった。年間DSiフラックスは、1960年代には $2.72 \times 10^6 \text{ t}$ 、1970年代には $2.23 \times 10^6 \text{ t}$ 、1980年代には $2.13 \times 10^6 \text{ t}$ であった。また、年平均DSi濃度も減少傾向を示した (有効パラメータ p は、Mann-Kendall testにより0.03であった)。

5. 考察

5.1 気温と降水量の影響

洪水期には気温と降水量が増加し、乾期には減少する。月平均DSiCと月平均気温（Tm）及び降水量（Pm）の関係を理解するために、相関分析を行った（表1）。結果は、DSiC、DSiフラックス（FDSi）、気温、降水量に正の相関関係があることを示唆していて、DSiとPm（ $p=0.01$ ）の相関係数（ r ）は0.74、DSiとTm（ $p=0.04$ ）の相関係数は0.60、FDSiとPm（ $p=0.00$ ）の相関係数は0.92、FDSiとTm（ $p=0.00$ ）の相関係数は1.00であった。したがって、DSiC及びフラックスの季節変動は、気温と降水量の強い影響を受けている。河川水のDSiCは、岩石の風化が起源である。これは、洪水期の気温や降水量の増加に伴って増加するが、洪水期には流水によって希薄化される。年平均気温及び降水量の経年変化は、1950年以来増加した。年平均 Δti （年間気温－長期平均気温）は、1960年代には -0.095°C 、1970年代には -0.075°C 、1980年代には 0.158°C 、1990年代には 0.576°C であった（図4c）。降水量の変動は、1960年代には 1133.70 mm/yr 、1970年代には 1161.81 mm/yr 、1980年代には 1170.60 mm/yr 、1990年代には 1181.59 mm/yr （図4d）であった。しかし、年平均DSiC値及びFDSi値は、1950年以来全て減少した。したがって、DSiの経年変化には、年平均降水量や気温による影響はほんの僅かであった。

表1 月平均DSi濃度とフラックス、流量、降水量、気温、栄養塩、フラックスの相互相関。

γ		Qr	Pm	Tm	DSi	DIN	DIP	FDSi	FDIN	FDIP
Qr	γ	1.00	0.94	0.77	0.82	0.30	-0.18	0.77	0.96	0.77
	α		0.00	0.00	0.00	0.34	0.57	0.00	0.00	0.00
Pm	γ		1.00	0.92	0.74	0.52	-0.40	0.92	0.98	0.58
	α			0.00	0.01	0.08	0.20	0.00	0.00	0.05
Tm	γ			1.00	0.60	0.65	-0.65	1.00	0.86	0.30
	α				0.04	0.02	0.02	0.00	0.00	0.35
DSi	γ				1.00	0.06	-0.14	0.60	0.72	0.73
	α					0.85	0.67	0.04	0.01	0.01
DIN	γ					1.00	-0.27	0.65	0.53	0.02
	α						0.40	0.02	0.08	0.95
DIP	γ						1.00	-0.65	-0.25	0.42
	α							0.02	0.44	0.17

表2の略語： r 相関係数、 p 有意水準（ $p < 0.05$ のとき有意）。

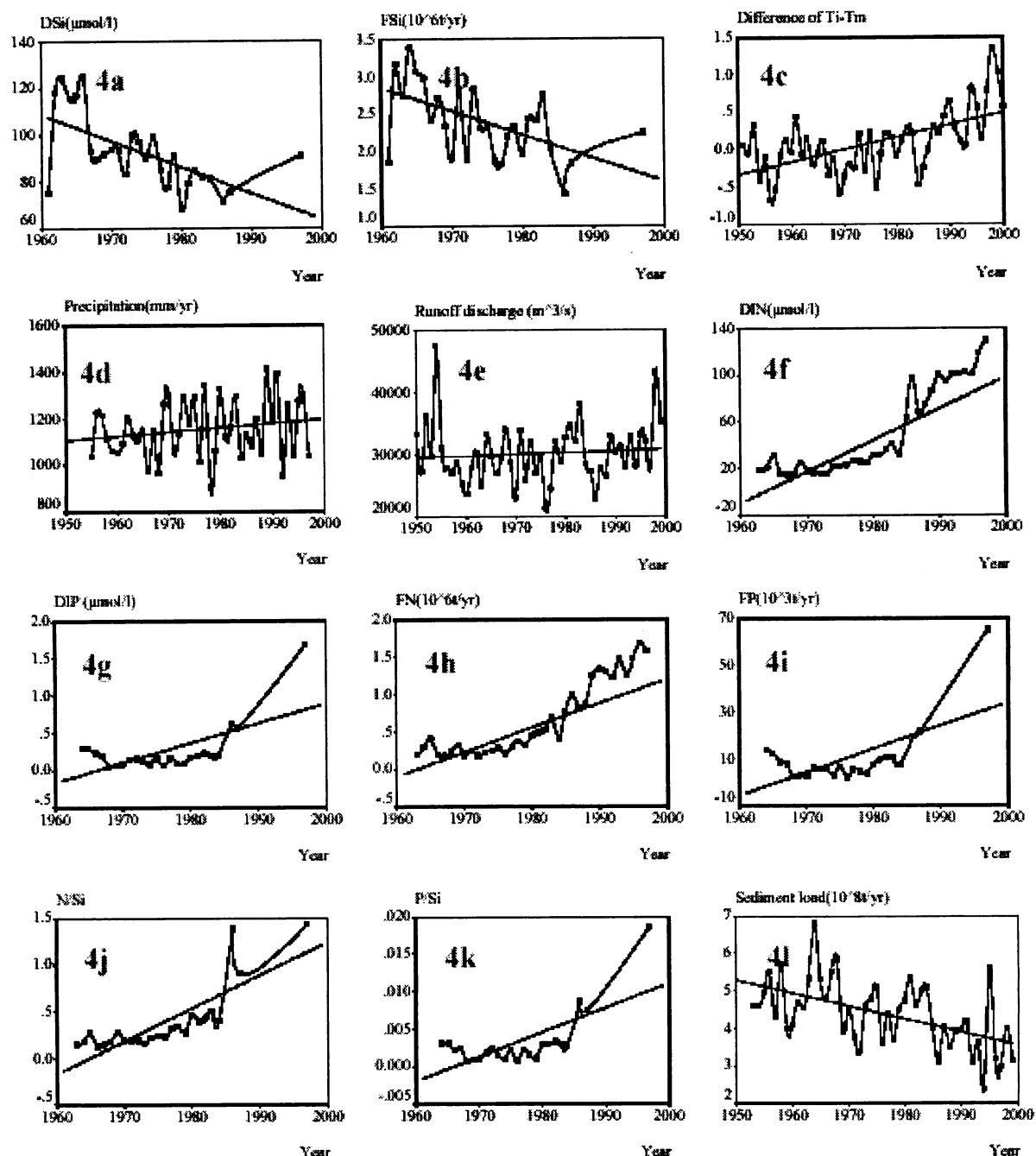


図4 1950年以來の長江流域におけるDSi及び他の河川環境要因の経年変化。(a)大通の年平均DSiC、(b)大通ステーションのフラックス、(c)流域の気温、(d)流域の降水量、(e)大通の流量、(f)大通のDIN濃度、(g)大通のDIP濃度、(h)大通のDINフラックス、(i)大通のDIPフラックス、(j)大通のN/Si、(k)大通のP/Si、(l)大通の堆積負荷。図4cにおいて、Tiは年平均気温、Tmは長期平均気温である。

5.2 流量の影響

年平均流量は、上流から河口にかけて増加した。例えば、石鼓では1290 m³/sだが、幾つかの大きな支流の合流後は急激に増加して、宜昌では14 300 m³/s、武漢では23 700 m³/s、大通では29 000 m³/sになる。同様に、DSiフラックスも上流から下流域にかけて増加した。したがって、主要水路のDSiCは非常に安定していることから、本流のDSiフラックスは、流量によってコントロールされている。季節によって、洪水期の月流量及びDSiフラックスは、その年の値の70%に相当する。月流量に対する毎月

のDSiC及びフラックスの相関係数 (r) は、全て0.77以上であった(表1)。したがって、DSiC及びフラックスの季節変動も、主として流量により支配されている。長期的に見ると、流量の経年変化は、増加も減少もしなかったが(図4e)、年平均DSi及びフラックスは、明らかに1950年以来減少した。これは、DSiの年間フラックスの変動が、主として年平均DSiCによってコントロールされており、流量の影響を殆ど受けないことを意味している。

5.3 N/Si 及び P/Si の変化

年平均DIN及びDIP濃度、フラックスの長期変化を図4f~4iに示す。年間濃度及びフラックスは、1950年代以来増加した。特に、硝酸塩やリン酸塩は、1970年代後半に急激に増加したが、このとき幾つかの肥料プラントや化学プラントが操業し始めていた。しかしながら、DSiC及びフラックスは、前節で述べたように、明らかな減少を示した。DSiフラックスの減少とDIN及びDIPフラックスの増加は、1980年以来N/Si及びP/Si比率を倍増した。年間N/Si比率は1970年代には0.23、1980年代には0.63、1990年代には1.42であった(図4j)。年間P/Si比率は1970年代には0.0015、1980年代には0.0044、1990年代には0.186であった(図4k)。これらの明らかな増加は、珪藻がC、Si、P、Nを106:16:16:1の割合で吸収することで、DSiC及びフラックスの減少をもたらしたのだろう。NとPの濃度が急激に増加すれば、珪藻も急速に増加するだろう。大部分のDSiは珪藻に利用され、使い尽くされるので、窒素やリン酸塩が増加すると、DSiCは減少するものと思われる(Rahm et al., 1996)。

5.4 ダム建設の影響

洪水を防ぎ、水を蓄えるために、1949年以来長江流域では多くのダムや埋立事業が整備されてきた。特に、162の大型貯水池 (>0.1 km³) が既に建設されている。これらの貯水池は、およそ155.07 km³、即ち合計貯水池容積の95%を保つことが可能で、これは長江の年間流量の16%に相当する(図5a)。滞留時間(T_w)の

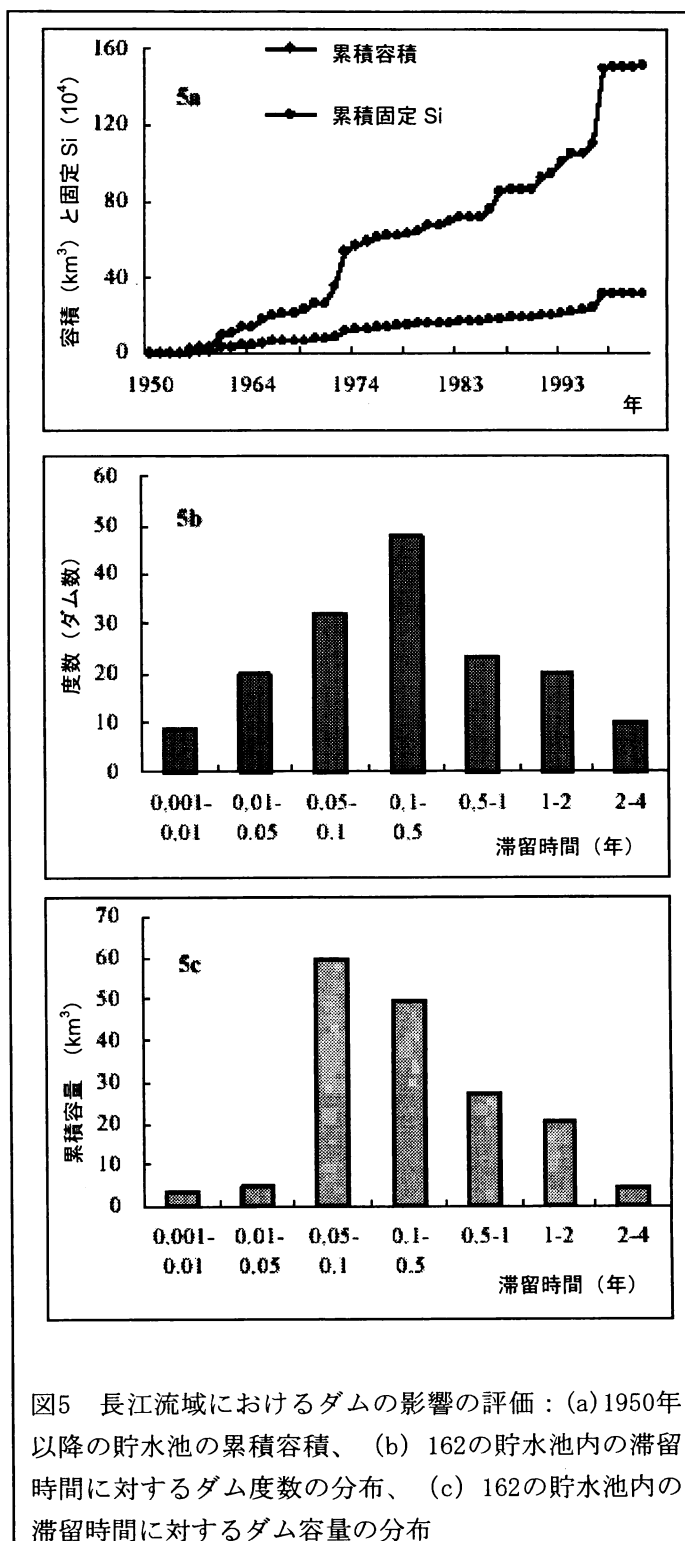


図5 長江流域におけるダムの影響の評価：(a) 1950年以降の貯水池の累積容積、(b) 162の貯水池内の滞留時間に対するダム度数の分布、(c) 162の貯水池内の滞留時間に対するダム容量の分布

度数分布の範囲は、0.001～4年未満で、中央値は0.54年であった。101の貯水池の貯水量 T_w （総量の62%に相当する）は、0.1年より多かった（図5b）。101の貯水池の容積は 102 km^3 で、総量の65.5%占めている（図5c）。これらの数字は、年間総流量の14.6%が、貯水池に0.1年間保持されることを示唆している。162の貯水池に堆積するシリコンの量は、我々のモデルから計算した。162の貯水池は1年当り $148.83 \times 10^9 \text{ mol}$ のC、 $11.2 \times 10^9 \text{ mol}$ のSi、即ち $3.14 \times 10^5 \text{ t}$ のSiを固定するが、これは、長期平均DSiフラックスの13.08%に相当することを、モデルは示している。有機粒子の沈殿効果が20%で、0.628万tの固定シリコンがこれらの貯水池に沈殿するとしたら、これはDSi長期年平均フラックスの2.64%に相当する。年平均DSiフラックスは、1960年代には $2.72 \times 10^6 \text{ t}$ 、1970年代には $2.23 \times 10^6 \text{ t}$ （ $0.49 \times 10^6 \text{ t/yr}$ の減少）、1980年代には $2.13 \times 10^6 \text{ t}$ （ $0.10 \times 10^6 \text{ t/yr}$ の減少）であった。モデル・アウトプットは、貯水池に堆積したSiが1970年代には2.37万t/yr（Siフラックスの年間減少の5%）、1980年代には3.41万t/yr（年間減少の34.1%）になることを示した。長江中流の貯水池もシリコン・フラックスに対し大きな影響を及ぼしていて、 $1.22 \times 10^9 \text{ mol/yr}$ 、即ち全流域で固定される合計シリコンの38.8%を固定する。

ダムもまた海への堆積フラックスの減少を招いた。年間堆積負荷は、1950年代以来急激に減少した（図41）。貯水池による沈殿堆積物の総量は、2002年に $6.82 \times 10^8 \text{ t/yr}$ 、即ち年平均土砂流出の148%になるだろう。年間堆積負荷が、1950年代以来貯水池堆積物の大量沈積に伴い減少してきたことは驚きではない。

5.5 植物プランクトンの構成に対する影響

赤潮植物プランクトンの構成に対するDSiの影響を理解するために、支配的藻類や赤潮の頻度など、長江河口における赤潮の長期データを収集した（表2）。1933年～2002年に長江河口隣接の沿岸海では、75の赤潮があった。優占種は、赤潮内で101回出現した。そのうち、珪藻綱（珪藻、成長にシリカを必要とする）は30回出現し、全優占種の29.7%を占めた。また、夜光虫（非珪質藻）は51回出現し、全優占種の50.7%を占めた。全優占種に対する珪藻綱の割合は、1980年代の33%から1990年代の31%、2000年～2002年の24%と継続的に減少した。対照的に、プロロセントラム デンタタム（非珪質藻）などの他の優占種の割合は、1980年代の12.5%から1990年代に14%、2000年～2002年の36%と急速に増加した。珪藻綱の割合が減少したのは、たぶん長江からのDSiフラックスの減少に関連していると考えられる。

表2 1933年～2002年の長江河口における赤潮藻類の優占種の頻度と割合の変動

Period	1933-1979	1980-1989	1990-1999	2000-2002	1933-2002
Total times of red tide	2	19	33	21	75
Frequency (times/yr)	0.04	1.9	3.3	7	1.07
Area (km^2)	350	14100	4868.3	14990	34308.3
Total dominate species	3	24	49	25	101
Times of <i>Skeletonema costatum</i>	1	8	15	6	30
Times of <i>Noctiluca scintillans</i>	1	13	27	10	51
Times of other dominate species	1	3	7	9	20
Percent of <i>Skeletonema costatum</i>	33.33	33.33	30.61	24	29.7
Percent of <i>Noctiluca scintillans</i>	33.33	54.17	55.1	40	50.5
Percent of other dominate species	33.33	12.5	14.29	36	19.8

6. 本研究により得られた成果

長江上流では、長期平均濃度は高く、河口から2000～3500kmの内陸地域の本流、つまりDSiC値の低い岷(山+民)江、嘉陵江、烏江などの支流が本流と合流するところでは、徐々に減少する。そして、DSiC値の高い湘江、元江、贛江、漢江など、支流が本流に合流する宜昌から大通にかけて徐々に増加する。年間DSiCは、1950年代以来急激に減少した。およそ 0.31×10^6 t/yrのシリコン、即ち合計シリコン・フラックスの13.08%相当が、植物性プランクトンによって固定され、 0.063×10^6 t/yr、即ち総フラックスの2.64%相当が、長江流域の162の大貯水池に沈殿している。本流上流の貯水池は貯水の26%、中流の貯水池は48%を保持しており、これらの地域のシリコンの固定は22%、39%を占める。人間の介入が河川のDSiフラックスの急激な減少やN及びPフラックスの急激な増加を招き、富栄養化や沿岸水の有害ブルームの頻発を増進させていることを、結果は示している。

7. 参考文献

- Brzezinski, M.A. 1985 The Si:C:N ratio of marine diatoms: inter-specific variability and the effect of some environmental variable. *Journal of Physiology* 21, 347- 357.
- Canfield, E.E. Jr., R. W. Bachmann. 1981 Prediction of total phosphorus concentrations, chlorophyll a, and Secchi depth in natural and artificial lakes, Can. *Journal of Fish Aquatic Science*. 38, 414- 423.
- Chen, J. S., Wang, F. Y., Xia, X. H., Zhang, L. T. 2002 Major element chemistry of the Changjiang (Yangtze River). *Chemistry Geology*. 187, 231- 255.
- Chen, Z. Y., Li, J. F., Shen, H. T., Wang, Z. H. 2001 Yangtze River of China: historical analysis of discharge variability and sediment flux. *Geomorphology* 41, 77- 91.
- Edmond, J.M. A., Spivack, B. C., Grant, M.H., Hu, M. H., Chen, Z., Chen, S., Zeng, X. 1985 Chemical dynamics of the Changjiang estuary. *Continental Shelf Research* 4, 17- 36.
- Garrels, R.M., Mackenzie, F.T. 1971 *Evolution of Sedimentary Rocks*. W.W. Norton Press, New York, pp.15- 45.
- Gilbert, R.O. 1987 *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. Van Nostrand-Reinhold Press, New York, pp. 21- 60.
- Hirsch, R.M., Slack, J.R. 1984 A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resource Research* 20, 727- 732.
- Hirsch, R.M., Slack, J.R., Smith, R.A. 1982 Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resource Research* 18, 07- 121.
- Hu, M.H., Stallard, R.F., Edmond, J.M. 1982 Major ion chemistry of some large Chinese rivers. *Nature* 298, 550- 553.
- Liu, X. C., Shen, H. T. 2001 Estimation of dissolved inorganic nutrients fluxes from the Changjiang River into estuary. *Science in China* 44 supp, 135- 141.
- Lu, X., Higgitt, D.L. 1999 Sediment yields variability in the Upper Yangtze, China. *Earth Surface Process Landface* 24, 1077- 1093.
- Redfield, A. C., Ketchum, B. H., Richards, F.A. 1963 The influence of organism on the composition of seawater. *In the Sea* 2, 26- 77.
- Stumm, W. 1992. *Chemistry of the Solid - Water Interface*. Wiley Press, New York, pp.12-50.
- Tian, R.C., F.X., Hu., J.M., Matin. 1993 Summer nutrient fronts in the Changjiang estuary. *Estuary, Coastal and Shelf Science* 37(1), 27- 41.

〔研究成果の発表状況〕

(1) 論文発表

- 1) Kaiqin Xu, Jiqun Zhang, Masataka Watanabe, and Chunpeng Sun: Estimating River Discharge from Very-High-Resolution Satellite Data: A Case Study in the Yangtze River, China, *Hydrological Processes*, Vol.18(10), 1927-1939, 2004
- 2) 徐開欽・張繼群・陳中原・渡辺正孝: 三峡ダム区域における水質汚濁の現状とその防止対策、資源環境対策、Vol.40, No.2, 89-98, 2004.
- 3) Jiqun Zhang, Kaiqin Xu, Masataka Watanabe, Yonghui Yang and Xiuwan Chen: Estimation of river discharge from non-trapezoidal open channel using Quickbird-2 satellite imagery, *Hydrological Sciences Journal*, 49(2), 247-260, 2004
- 4) Jiqun Zhang, Kaiqin Xu, Satoshi Kameyama, Masataka Watanabe, Xiuwan Chen and Chunpeng Sun: Estimation of River Discharge Using TOPEX/Poseidon Altimeter Data, *Journal of Geographical Sciences*, 59(1), 95-100, 2004
- 5) Z. Wang, Z. Chen, Kazumaro Okamura, Jianhua Gao, Kaiqin Xu, Hiroshi Koshikaw and Masataka Watanabe: Anomalous current recorded at lower low water off the Changjiang River mouth, China, *Geo-marine letter*, 24(4), 252-258, 2004.
- 6) Kaiqin XU, Jiqun Zhang, Seiji Hayashi, Shogo Murakami, Hedeaki Maki, Baohua XU and Masataka Watanabe: Characteristics of Water Quality in the Changjiang River Basin: Observations conducted in 1998 and 1999, *Journal of Geographical Sciences*, 59(1), 118-124, 2004
- 7) Kaiqin XU, Zhongyuan Chen, Jiqun Zhang, Seiji Hayashi, Shogo Murakami and Masataka Watanabe: Simulated sediment flux of 1998 big flood of Yangtze (Changjiang) River, China, *Journal of Hydrology*, in press, 2005
- 8) Jiqun Zhang, Kaiqin Xu, Masataka Watanabe: Estimation of Freshwater and Material Fluxes from the Yangtze River into the East China Sea using TOPEX/Poseidon Altimeter Data, *Hydrological Processes*, in press, 2005
- 9) Jiqun Zhang, Kaiqin Xu, Masataka Watanabe, Yonghui Yang: Measuring water storage fluctuations in Lake Dongting, China, by Topex/Poseidon satellite altimetry, *Environmental Monitoring and Assessment*, in press, 2005.
- 10) J. Chen, Z. Chen, Kaiqin XU, T. Wei, M. Li, Z. Wang and M. Watanabe: ADP-simulated flow velocity interpretation and its hydromorphological implication, *Chinese Science Bulletin*, accepted, 2004.
- 11) Kaiqin Xu, Maotian Li, Jiqun Zhang, Seiji Hayashi, Zhongyuan CHEN and Masataka Watanabe: Estimation of Sediment and nutrient fluxes from the Changjiang River into its estuary, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, Submitted, 2005
- 12) Maotian Li, Kaiqin Xu, Masataka Watanabe and Zhongyuan Chen: Long-term variation of dissolved silicate flux from the Yangtze River into the East China Sea and impact of estuarine ecosystem, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, Submitted, 2005

(2) 口頭発表

- 1) Kaiqin XU, Jiqun ZHANG, Masataka WATANABE, Seiji Hayashi and Zhongyuan Chen: Estimation of sediment and nutrient fluxes from the Changjiang River into the East China sea, *Proceedings of the 2nd IAG Yangtze Fluvial Conference*, Shanghai, China, June, P.72-73, 2004