

D-1 東シナ海における長江経由の汚染・汚濁物質の動態と生態系影響に関する研究  
(4) 長江経由の汚染・汚濁物質が海洋生態系に与える影響予測に関する研究  
② 長江経由の環境負荷予測に関する研究

独立行政法人国立環境研究所

流域圏環境管理研究プロジェクト長

渡辺正孝

流域圏環境管理研究プロジェクト 流域環境管理研究チーム

村上正吾・徐開欽

エコフロンティアフェロー(中国水利水電科学研究院)

張継群

平成 11～13 年度合計予算額 2, 478 千円  
(うち、平成 13 年度予算額 938 千円)

[要旨] 長江を中心とした流域の開発により、河川を通じて流入する懸濁物質、栄養塩および有害化学物質等の陸域からの環境負荷の量・質的变化が、海洋生態系機能および生物種多様性に大きな影響を及ぼすことが懸念されている。しかし、長江流域から東シナ海に流入する汚濁負荷の予測手法についての研究が皆無に等しく、本研究では長江経由東シナ海に流入する淡水量から汚濁負荷を予測することを目的とした研究を行った。1987 年と 1988 年の水質流量データの収集および解析を行い、さらに 1998 年と 1999 年秋に行った長江流域の水質生態系調査データを用いて東シナ海に流入する汚濁負荷量と淡水量との関係を明らかにした。1987 と 88 年のデータ解析から SS, COD, DIN と流量の相関関係がいずれも高い値を示した。また、1998 年と 99 年の現場調査データから TP と SS, TN と DIN の関係に高い相関があることが認められた。最終的に SS, COD, TP, TN, DIN 負荷量と流量との関係式を求めることができた。これを用いて、東シナ海に流入する汚濁負荷量の推定を可能となった。

[キーワード] 東シナ海, 汚濁負荷予測, 長江流域, 流量, 栄養塩

## 1. はじめに

長江は、全長 6300km、中国最大の河川であると同時に、ナイル川、アマゾン川に次ぐ世界第 3 位の長さを持つアジア最大の河川である。流域面積は約 180 万 km<sup>2</sup> で国土の 19% を占めている。東シナ海に流れ出る年間流量は 1 兆 m<sup>3</sup> 弱で、全国の総流量の 38% を占め、第 2 位の黄河の 20 倍以上ある。長江流域には、全国の 35% にあたる約 4 億人が住んでおり、約 2640 万 ha の耕地 (全国の 24%) を有し、「黄金水道」とも呼ばれ、上海、南京、武漢、重慶等を結ぶ運輸の大動脈となっており、中国の国内舟運量の 76% を占めている。中国の農業・工業生産の中心を成しており、穀物生産高の 40%、米生産高の 70%、工業生産高の 40%、淡水魚生産高の 60% を担っている。昔から、「魚、米、桑、果物の郷」の美称があり、水資源、土壌資源、生物資源等の自然資源が大変豊富である。しかし、最近では、流域人口の増加、不合理な開発、生態環境の悪化等により、上流域の表土流失が日増しに激しくなり、中流域では「囲湖造田」(湖を囲って水田にする)等に起因する洪水災害の頻発、下流域では大気汚染と水質

汚濁が深刻になっている<sup>1-4)</sup>。

## 2. 研究目的

本研究では、長江流域經由東シナ海に流入する淡水量の関数として汚濁負荷を予測する手法の開発を目的とする。

## 3. 研究方法

### (1) データ収集及び現地調査

長江流域の主な観測ステーションで観測された 1987 年と 1988 年の流量と水質データを収集し、データベース化を行った。これらのデータは長江上流から河口域まで本流の主な断面の SS, COD, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, 流量(Q)、水温等項目を含んだ。長江流域から東シナ海に流入する汚濁負荷量を把握するために、武漢より下流の流量と水質データを用いて、その相関関係を求めた。水質データの中に、栄養塩 TP と TN データが欠けているため、1998 年と 1999 年秋に長江本流重慶から河口域まで 2300km に渡って、50-100km 間隔で水質調査を行った。

### (2) SS, COD および DIN と流量データの相関解析

収集した 1987 と 1988 年の水質データから長江下流域(主に武漢から南京まで)の各断面の NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N と NH<sub>4</sub>-N 濃度の合計 DIN(溶存態無機窒素)を求めた。各断面の平均 SS, COD, DIN を計算し、SS・Q 対 Q; COD・Q 対 Q; DIN・Q 対 Q の行列を表にまとめた。Log(SS・Q) - Log(Q)、Log(COD・Q) - Log(Q) と Log(DIN・Q) - Log(Q) のプロットを作成した。これらの相関図から汚濁負荷量と流量の関係は以下の式で表すことができる。

$$L = a Q^b \quad (1)$$

ここに、L は単位時間の汚濁物質負荷量(g/s)、a と b は定数で、Log(L) 対 Log(Q) プロットから求めることができ、Q は流量(m<sup>3</sup>/s)である。

### (3) TP と SS, TN と DIN の相関解析

長江流域から東シナ海に流出する年間平均土砂量(SS)は約 4.35 億トンであることが知られている。一方、一般的に河川における TP と SS にはある一定な線形関係があることが知られている。特に長江流域のような SS 濃度の高い河川では、この関係が顕著に表れるものと考えられる。また、TN と DIN も関係がある。1998 と 1999 年秋に長江本流において調査した結果をベースに武漢から河口域までの TP と SS のプロット、TN と DIN のプロットを作成した。これらのプロットから、TP と TN はそれぞれ SS と DIN との関係式を以下のように導くことができる。

$$TP = m SS + n \quad (2)$$

$$TN = j DIN + k \quad (3)$$

ここに、TP, SS, TN と DIN はそれぞれの濃度(g/m<sup>3</sup>)を表し、m, n, j と k はそれぞれのプロットから求められる定数である。

### (4) 汚濁負荷と流量の相関関係の確立

上記の関係式(1)、(2)と(3)から、SS, COD, TP と TN 濃度は以下の流量の関数で表すことが

できる。

$$SS = a_1 Q^{b_1} \quad (4)$$

$$COD = a_2 Q^{b_2} \quad (5)$$

$$DIN = a_3 Q^{b_3} \quad (6)$$

$$TP = m \cdot a_1 \cdot Q^{b_1+n} \quad (7)$$

$$TN = j \cdot a_3 \cdot Q^{b_3+k} \quad (8)$$

ここに、 $a_1, a_2, a_3$  と  $b_1, b_2, b_3$  は定数である。

以上の関係式の妥当性を検証するために、1998と1999年秋に調査した瀏河地点のデータを用いて、上記の式で計算した予測値と実測値を比較検討した。瀏河地点は河口域に近い上海市からの都市排水を排出する直前の地点である。

#### 4. 結果・考察

図-1, 2と3には1987と1988年の  $\text{Log}(SS \cdot Q)$  ,  $\text{Log}(COD \cdot Q)$  及び  $\text{Log}(DIN \cdot Q)$  と  $\text{Log}(Q)$  の相関関係を示す。図-4と図-5には1998と1999年秋に調査しTPとSS及びTNとDINの関係を示す。これらの図から、以下の方程式が導くことができた。

$$\text{Log}(SS \cdot Q) = 2.3705 \cdot \text{Log}(Q) - 3.7527 \quad (R^2 = 0.7847) \quad (9)$$

$$\text{Log}(COD \cdot Q) = 1.1089 \cdot \text{Log}(Q) - 0.1257 \quad (R^2 = 0.8772) \quad (10)$$

$$\text{Log}(DIN \cdot Q) = 1.1708 \cdot \text{Log}(Q) - 0.8236 \quad (R^2 = 0.7646) \quad (11)$$

$$TP = 0.0009 \cdot SS + 0.0115 \quad (R^2 = 0.915) \quad (12)$$

$$TN = 1.5053 \cdot DIN - 0.2132 \quad (R^2 = 0.7325) \quad (13)$$

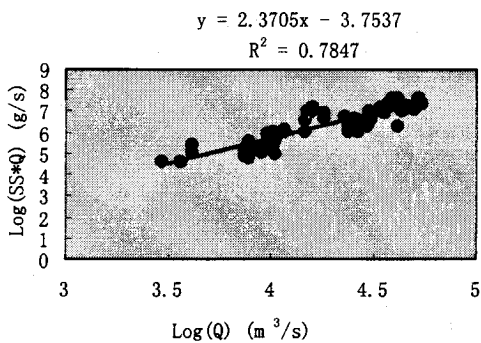


図-1 SS 負荷と流量の関係  
(1987, 1988)

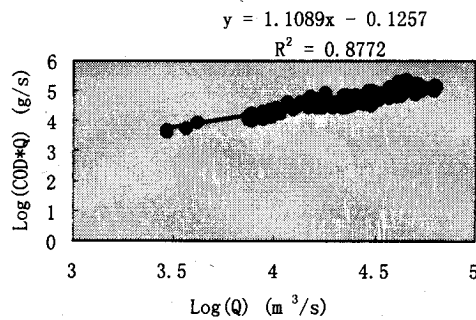


図-2 COD 負荷と流量の関係  
(1987, 1988)

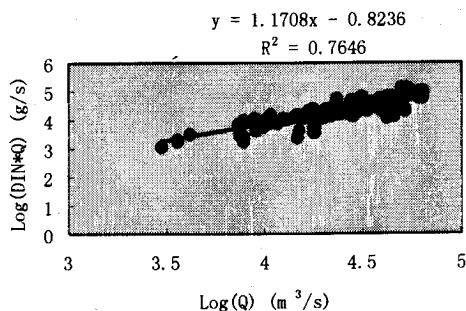


図-3 DIN 負荷と流量の関係  
(1987, 1988)

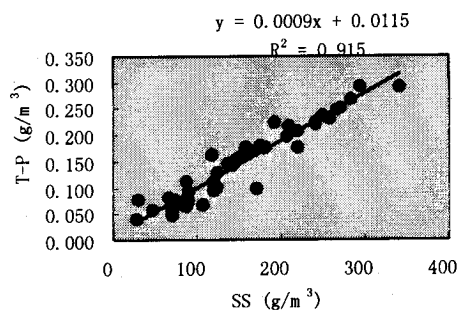


図-4 TP 濃度と SS との関係  
(1998, 1999)

これらの結果から明らかなように、汚濁負荷量  $\text{Log}(SS \cdot Q)$ 、 $\text{Log}(COD \cdot Q)$  及び  $\text{Log}(DIN \cdot Q)$  と流量  $\text{Log}(Q)$  の間高い相関 ( $R^2 > 0.76$ ) が認められた。また、TP と SS、TN と DIN の相関係数  $R^2$  もそれぞれ 0.915 a と 0.7325 と高かった。

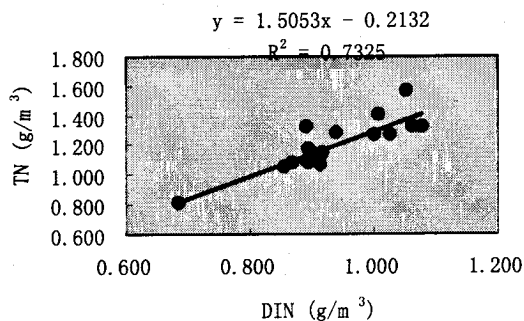


図-5 TN 濃度と DIN との関係  
(1998, 1999)

式 (9), (10), (11), (12) と (13) から、SS, COD, DIN, TP, TN の濃度は以下の式で表すことができた。

$$SS = 1.7632 \cdot 10^{-4} Q^{1.3705} \quad (14)$$

$$COD = 0.7487 Q^{0.1089} \quad (15)$$

$$DIN = 0.1501 Q^{0.1708} \quad (16)$$

$$TP = 1.5869 \cdot 10^{-7} Q^{1.3705} + 0.0115 \quad (17)$$

$$TN = 0.2259 Q^{0.1708} - 0.2132 \quad (18)$$

ここに、SS, COD, DIN, TP, TN の単位は  $\text{mg/l}(\text{g/m}^3)$ 、 $Q$  の単位は  $(\text{m}^3/\text{s})$  である。

以上で求めた関係式の妥当性を検証するために、1998 と 1999 年秋に調査した長江河口域に近い瀏河地点のデータを用いて、予測値と実測値を比較検討した。表-1はその結果を示した。1999 年の結果から、COD 濃度を除いて、SS, TP, TN と DIN の予測値と実測値はよくマッチしている

ことが分かった。特に、SS、TP と TN についてはその差が 5%以下であった。一方 1998 年の結果から、TN の予測値と実測値が一致しているが、他の項目の結果が 50%の誤差が認められた。この原因は、1998 年の調査は、20 世紀に 2 番目の大洪水の後に行った特殊な年度で観測した水質濃度が比較的 low、また、同一観測地点での濃度分布の不均一性もあるためと考えられる。

表-1 1998 と 1999 年の調査の実測結果と本研究の関係式からの予測値との比較

Items	Unit	1998			1999		
		Observed	Predicted	Difference	Observed	Predicted	Difference
Discharge	m <sup>3</sup> /s	19800	-	-	29400	-	-
SS	g/ m <sup>3</sup>	70.0	136.4	48.7%	240.0	234.5	-2.3%
COD	g/ m <sup>3</sup>	3.300	2.199	-50.1%	3.180	2.296	-38.5%
TP	g/ m <sup>3</sup>	0.058	0.134	56.4%	0.226	0.223	-1.5%
TN	g/ m <sup>3</sup>	1.141	1.011	-12.9%	1.058	1.096	3.5%
DIN	g/ m <sup>3</sup>	0.566	0.663	14.6%	0.855	0.703	-21.6%

以上の結果から、本研究で得られた SS、TN、TP 及び DIN と流量の関係は概ね妥当で、これを用いて上海からの汚濁負荷流入前の長江河口域の水質濃度を予測することが可能であることが明らかになった。従って、連続的に流量の観測を行えば、上記の式を用いて、長江流域經由東シナ海に流入する汚濁負荷量(上海市の負荷量を除いて)を簡単に予測することができることがわかった。

一方、長江流域における最下流流量観測ステーションは河口域から上流約 500km の大通地点に位置することを考えると、これらの式で求めた長江流域經由東シナ海に流入する汚濁負荷量は過小評価になる可能性がある。その理由は大通から河口域までの間に流入する水量が考慮に入れていないためである。より正確に汚濁負荷量の推定をするためには、今後もっと詳細な調査研究、データの蓄積、水理学、生物学等含む解析研究が必要であると考えられる。

## 5. 本研究により得られた成果

1987 年と 1988 年の水質流量データの収集および解析を行い、さらに 1998 年と 1999 年秋に行った長江流域の水質生態系調査データを用いて東シナ海に流入する汚濁負荷量 (SS、COD、TP、TN、DIN) と流量との関係式を求めた。1987 年と 1988 年のデータ解析から SS、COD、DIN と流量の相関が何れも高いことが示された。また 1998 年と 1999 年の現場調査データから TP と SS、TN と DIN の関係に高い相関があることが認められた。これを用いて、東シナ海に流入する汚濁負荷量の推定が可能となった。

## 6. 引用文献

- ① M Watanabe et al: Proceedings of the Japan-China Joint Workshop on the Cooperative Study of the Marine Environment---Environmental Capacity and Effects of Pollutants on Marine Ecosystem in the East China Sea. National Institute for Environmental Studies. March 1999.

- ② 徐 開欽, 張 繼群, 渡辺正孝: 中国長江流域の水環境問題 (7) - 水質汚濁の現状と対策 -, 用水と廃水, 43(5), p. 32-42, 2001
- ③ Zhang Jing: Nutrient elements from some selected north China estuaries: Huanghe, Luanhe, Daliaohe and Yalujiang. In: " Biogeochemical study on majoy estuary in China", Zhang Jing editor, China Ocean Press, pp.205~217,1996.
- ④ S. Duan et al.: Concentrations of nitrogen and phosphorus and nutrient transport to estuaryo f the Yangtze River, Environmental Science, 21(1), pp.53-56, 2000

[国際共同研究等の状況]

国立環境研究所と中国科学院地理科学与資源研究所及び、華東師範大学との間で「長江流域及びその河口域での生態系機能の観測及び評価モデルの開発」に関する実施取り決めが締結され、これに基づき研究推進を行っている。

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

- ① 徐 開欽, 張 繼群, 渡辺正孝: 中国長江流域の水環境問題 (7) - 水質汚濁の現状と対策 -, 用水と廃水, 43(5), p. 32-42, 2001
- ② 徐 開欽: 中国長江流域における水環境の現状と課題, エコフロンティア, No. 6, p. 31-41, 2001.
- ③ 徐開欽, 張繼群, 渡辺正孝: 中国における水環境の現状---2000年「中国環境現状公報」より---, 用水と廃水, Vol.43, No.9, 781-786, 2001.
- ④ 徐開欽, 渡辺正孝, 須藤隆一: 中国における水環境の現状と都市污水处理システムの動向 (1) 月刊浄化槽, No. 309, 24-29, 2002.
- ⑤ 徐開欽, 渡辺正孝, 須藤隆一: 中国における水環境の現状と都市污水处理システムの動向 (2), 月刊浄化槽, No. 311, 27-31, 2002.

(2) 口頭発表

なし

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし

(6) その他成果の普及, 政策的な寄与・貢献について

なし