

瀬戸内海に対する河川流入による淡水、全窒素および全リンの負荷

山本 民次・北村 智顕・松田 治

広島大学生物生産学部, 東広島市 739

1996年10月31日 受付

要 旨 瀬戸内海の各海域に対して河川経由で流入する淡水、全窒素 (TN) および全リン (TP) の負荷量を1990~1992年の既往のデータをもとに見積もった。大阪湾を除くすべての海域においては、淡水負荷と TN, TP の負荷は梅雨期に増加し、秋季から冬季にかけて減少する傾向が見られた。これに対して大阪湾だけは各項目の明瞭な季節的変動は見られなかった。各海域に流入する河川水の TN に占める溶存態無機窒素 (DIN) の割合の平均値は58~76%で、海域ごとの違い、季節的な変動は不明瞭であった。河川水の平均 TN : TP 比 (モル比) は大阪湾が24と最も低く、燧灘が92と最も高かった。多くの海域では TN : TP 比は夏季に低く冬季に高い傾向が見られたが、広島湾だけは逆の傾向を示した。瀬戸内海全域に対する淡水負荷量は $3.8 \times 10^{10} \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$, TN 負荷量は $7.6 \times 10^4 \text{ tonN yr}^{-1}$, TP 負荷量は $6.6 \times 10^3 \text{ tonP yr}^{-1}$ と見積もられた。これらのうち大阪湾に負荷される淡水量は約37%であったが、TN および TP 負荷量はそれぞれ62%および68%と極めて高いことが明らかとなった。一方、燧灘、備後灘、安芸灘への河川経由の TN, TP 負荷は瀬戸内海全体のわずか1%程度であった。これらの値を各海域の単位体積あたりに換算したところ、備讃瀬戸に対する淡水負荷量は大阪湾のそれを上回り、TN および TP 負荷量でも大阪湾に対するその半分程度あることがわかった。本研究によって明らかにされた各海域ごとの TN, TP 負荷量の季節変化は、今後、瀬戸内海各海域の物質収支の季節変動モデルを構築する際の基礎的資料を提供するものと考えられる。

キーワード：河川、瀬戸内海、淡水、窒素、負荷、リン

はじめに

瀬戸内海は、産業の発展や人口増加に伴う汚濁負荷の増加が著しかったため、近年の政策的な汚濁負荷量の削減にもかかわらず、大阪湾奥部などではいまだ富栄養状態にある (山本, 1996)。富栄養化が赤潮や貧酸素水塊の発生あるいは底質の悪化を引き起こしていることは良く知られている。これらの現象は海域の生態系に変化をもたらし、魚介類の生息状況の変化などにその影響が見られる (例えば、城, 1991)。

1993年に「海域の窒素及び磷に関わる環境基準等の設定について」という中央公害対策審議会の答申が出され、それまでのリンの削減指導に加え、窒素の削減の重要性が示された。これを受け、それまでの COD (化学的酸素要求量) の排出総量規制を中心とした「水質汚濁防止法」の排水基準の対象項目に窒素およびリンが追加されるという一部改正が行われ、同年、施行された。瀬戸内海域については、COD の排出総量規制とともにリンの削減指導が盛り込まれた「瀬戸内海環境保全特別措置法」が功を奏し、大阪湾などでは N : P 比の増加が認められている (城, 1991)。しかしながら、N : P 比の増大は植物プランクトンの分布や種組成に影響し、ひいては海洋生態系全体に何らかの影響がないとも限らない (例えば、SMAYDA, 1989)。瀬戸内海域については先の「瀬戸内海環境保全特別措置法」の一部改正という形で1994年7月には窒素も削減指導を行う物質として告示された。それとともに、「瀬戸内海環境保全基本計画」が一部変更・告示され、目標達成のための基本的な施策が盛り込まれた。どの程度の削減が必要かという基準作りは、各海域の特性を考慮して全窒素及び全リンの濃度に基づいた利用目的に応じた水域類型を当てはめることによって行われる。大阪湾についてはすでに水域類型指定作業は終了しているが (1995年告示)、その他の海域については各県が作業を進めている。

陸域から海域への物質の負荷量の算定には原単位法がしばしば用いられてきた。しかし、この方法で得ら

れる一次データは発生負荷量であり、海域に実際に流入する流達負荷量を求めるためには何らかの方法で流達率を算出しなければならない（例えば、市川，1990）。流達率は負荷発生源から河口までの距離に依存するが、汚濁物質が河口に至るまでの過程で遭遇する河床、川岸の物理、化学、生物学的特性によって異なる。従って、汚濁負荷発生源ごとの流達率を各河川について算定することは容易ではない。さらに、原単位を一律として周年に対して適用することは、河川流量の変化や汚濁負荷量の季節的変動を無視してしまうことになる。

そこで本研究では、瀬戸内海の各海域へ負荷される窒素及びリン量を、環境庁指導のもと瀬戸内海沿岸の各県が行っている河川の水質調査による実測値から算定することを試みた。すなわち、瀬戸内海の各海域（瀬および湾）への淡水、全窒素（TN）、全リン（TP）の毎月の負荷量を算出し、月変動を明らかにした。また、各海域の面積、体積をもとに負荷の相対的強度を求め、各海域に対する河川負荷の特徴を浮き彫りにした。

材料と方法

「瀬戸内海の環境保全一資料集」（瀬戸内海環境保全協会，1995）に基づき、瀬戸内海を大阪湾、播磨灘、備讃瀬戸、燧灘、備後灘、安芸灘、広島湾、伊予灘、周防灘の9海域に区分し、海域ごとに河川からの流入負荷量を算出した（Fig. 1）。ただし、紀伊水道、豊後水道、響灘は研究対象に含めなかった。瀬戸内海を囲む各県が発行する1990～1992年度の「公共用水域の水質測定結果」（大阪府，1991～1993；兵庫県，1991～1993；香川県，1992～1993；岡山県，1991～1993；愛媛県，1991～1993；広島県，1991～1993；山口県，1991～1993；福岡県，1991～1993；大分県，1991～1993）を資料とし、瀬戸内海に流入する各河川について、最も下流の観測点の流量、全窒素（TN）、全リン（TP）、アンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）、硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）、亜硝酸態窒素（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）、溶存態有機窒素（DON）、リン酸態リン（ $\text{PO}_4\text{-P}$ ）の3年間の測定結果を用いた（Appendix）。香川県については1990年度のデータが得られなかったため、播磨灘、備讃瀬戸、燧灘の3海域については1991～1992年度について見積もった。流量については、「流量年表」（日本河川協会，1990，1991，1992）に記載されている場合には、流量年表の月平均流量を採用した。データの採用基準および計算方法は以下のようにした。

1. TN, TP が測定されている最も下流（河川流末）の観測点。
2. 河川流末の観測点より上流ではあるが、流量と TN, TP が測定されている観測点。
3. 測定項目数が同じ場合、測定間隔が短い観測点。

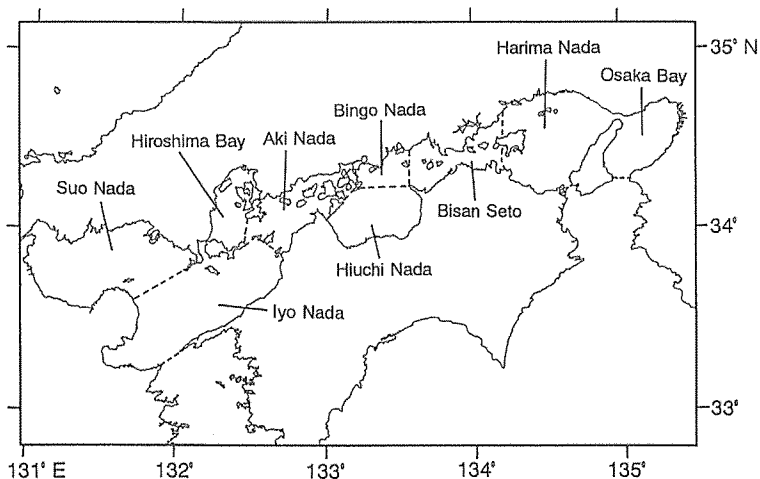


Fig. 1. Map showing regions in the Seto Inland Sea (after The Association for Environmental Conservation of the Seto Inland Sea, 1995).

Table 1. Total nitrogen to total phosphorus ratio in the riverine water discharged into each region of the Seto Inland Sea.

Month	Osaka Bay	Harima Nada	Bisan Seto	Hiuchi Nada	Bingo Nada	Aki Nada	Hiroshima Bay	Iyo Nada	Suo Nada
Apr., 1990	30	ND	ND	ND	33	29	26	26	39
May	33	ND	ND	ND	31	28	26	27	32
June	21	ND	ND	ND	24	34	26	27	35
July	17	ND	ND	ND	22	28	22	28	43
Aug.	13	ND	ND	ND	15	22	30	20	37
Sept.	14	ND	ND	ND	19	34	28	19	46
Oct.	20	ND	ND	ND	35	48	26	22	53
Nov.	30	ND	ND	ND	40	54	27	22	42
Dec.	31	ND	ND	ND	40	72	27	25	47
Jan., 1991	31	ND	ND	ND	32	59	26	28	49
Feb.	27	ND	ND	ND	34	59	25	30	55
Mar.	26	ND	ND	ND	38	44	26	44	63
Apr.	25	23	34	125	43	53	27	33	50
May	24	22	26	114	33	58	29	26	40
June	21	18	25	103	27	63	30	33	38
July	21	18	24	102	30	37	30	34	48
Aug.	16	22	18	174	18	13	31	27	38
Sept.	18	27	18	92	20	29	26	23	46
Oct.	19	35	27	84	28	59	23	26	52
Nov.	21	31	27	109	34	62	21	25	51
Dec.	25	30	29	122	37	51	18	24	54
Jan., 1992	29	32	44	94	41	37	17	28	52
Feb.	29	47	34	107	44	37	18	35	64
Mar.	27	27	40	82	47	64	20	61	63
Apr.	24	29	36	63	43	67	25	30	42
May	22	44	30	56	30	77	29	35	36
June	22	28	21	85	27	51	30	24	34
July	22	32	21	57	26	45	32	25	41
Aug.	20	43	21	48	12	47	35	24	40
Sept.	21	30	26	43	22	68	38	23	42
Oct.	23	49	32	41	30	58	35	24	46
Nov.	26	46	32	45	29	46	31	27	48
Dec.	26	50	45	72	32	49	28	28	47
Jan., 1993	27	46	57	133	45	51	25	24	47
Feb.	27	38	46	116	34	50	24	24	47
Mar.	27	30	39	152	34	52	24	24	48
Average	24	33	31	92	31	48	27	28	46

ND, no data

4. 測定間隔が同じ場合、測定項目が多い観測点。
5. 下流が枝別れしており、すべての支流に観測点がある場合、各々の観測点での測定値の合計とした。
6. 河口部で流量の測定がない場合、測定項目や測定間隔が同じ観測点同士で測定値を平均した。
7. 流量の測定が全く行われていない河川の流量は、同じ海域に流入して流量が測定されている河川の月平均流量に、それらの流域面積比を乗じて得た (Appendix)。流域面積は流量年表、河川大事典 (日外アソシエーツ, 1991) あるいは国土地理院の20万分の1地形図から計測して得た。なお、1993年度の流量年表はまだ発行されていなかったため、1993年1月から3月までは1992年12月の測定結果を当てはめた。
8. 「公共用水域の水質測定結果」に掲載されていない小河川や、掲載されているが必要な項目の測定が全く行われていない河川、あるいは地図上ではどの河川流域にも属さない沿岸部や半島部などについては、その地域の面積を、同じ海域に流入し、測定が行われている最寄りの河川の流域面積に加算した (Appendix)。
9. 次に挙げる河川では仮想河川を想定し、負荷量を計算した。広島県の芦田川では、河口部に水田地帯があり、複数の用水路の河口で芦田川とは別に水質測定がなされていた。この結果を反映させるため、水田地帯を集水域とする仮想河川を想定し、用水路河口の測定結果の平均値をこの仮想河川の測定結果とした。また、安芸灘に面した愛媛県松山市の北側地域は、公共用水域の測定結果に掲載されている河川がないため、近くの河川に組込まなくてはならなかったが、最寄りの蒼社川は燧灘に流入するため組込むことはできなかった。そこで、この地域を流域とする仮想河川を想定し、蒼社川の測定結果をそのまま当てはめた。流量は蒼社川との流域面積比によって求めた。

以上の基準で採用したデータは必ずしも観測日は同じではない。そこで、月単位の負荷量を求めるために、測定日のまちまちな測定値を線形補間法によって毎月15日の測定値に計算し直した。計算に用いた2年間の最初と最後の月は、補間できないので記録のある最初あるいは最後の値を当てはめた。

溶存無機三態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$) を合計して溶存無機態窒素 (DIN) 負荷量とした。溶存無機三態窒素を定期的に観測している河川は少ないので、以下のような方法で DIN 負荷量を算出した。

1. 各海域において TN と DIN が年4回以上測定されている河川を選び出した。
2. これらの河川ごとに、DIN, TN 負荷量から毎月の DIN/TN 流入負荷量比を計算した。ただし、計算上無機三態窒素合計が TN より大きくなった場合には DIN/TN 比を1とした。
3. これらを海域単位で集計して、当該海域での毎月の DIN/TN 流入負荷量比とした。
4. この比を海域への TN 負荷量にかけた値を毎月の DIN 負荷量とした。

なお、溶存無機三態窒素を年4回以上測定している河川がなかった伊予灘、燧灘では DIN 負荷量は求められなかった。また、周防灘では山口県内の河川で溶存無機態窒素の測定が全く行われていなかったため、同様に DIN 負荷量は求められなかった。一方、備後灘は「公共用水域の水質測定結果」に掲載されている全ての河川において、溶存無機三態窒素と溶存有機態窒素 (DON) の測定が行われていた。

流量と TN 負荷量, TP 負荷量の関係について、海域ごとに流出特性を調べた。本研究では、海域への流量 (Q) と負荷量 (L) を経験モデル式 (和田, 1990),

$$L=cQ^n \quad (c, n \text{ は定数}),$$

にあてはめて整理した。橋 (1993) は流量と栄養塩の流出パターンを比流量 (流量 (Q)/流域面積 (A)) と比成分流出量 (L (濃度×流量, $C \cdot Q$)/流域面積 (A)) の関係を $L/A=c \cdot (Q/A)^n$ (c, n は定数) に整理し、 $n>1$ で流量とともに濃度が増加する洗い出し型、 $n<1$ で希釈型、 $n=1$ で濃度一定型としている。この方法は元来、一河川ごとに適用され、集水域の土質との議論に用いるべききものであろうが、ここでは便宜的に海域に負荷される窒素・リンの総体的な評価として用いた。

結果と考察

各海域に対する淡水および TN, TP 負荷量の季節変動

大阪湾 大阪湾への負荷量算出結果を Fig. 2a に示した。淡水負荷量に周期的な変動は見られず、淡水負荷量と TN, TP 負荷量の間には明瞭な関係はみられなかった。以下に述べる他の海域すべてにおいて、淡水, TN, TP の3項目とも梅雨期に増加し、秋季から冬季に減少する傾向が見られたので、明瞭な季節

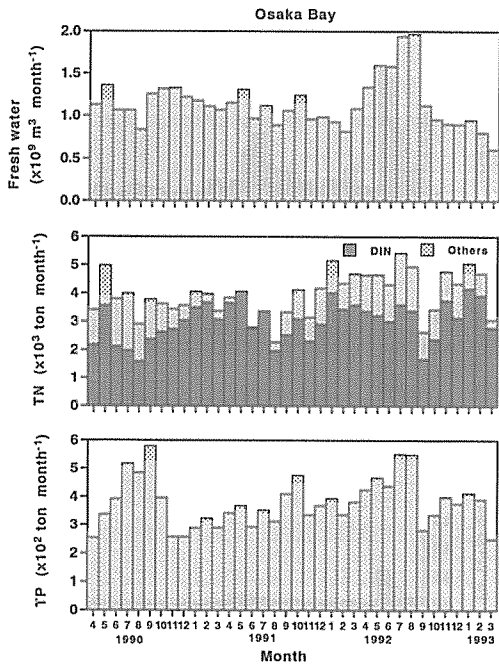


Fig. 2a

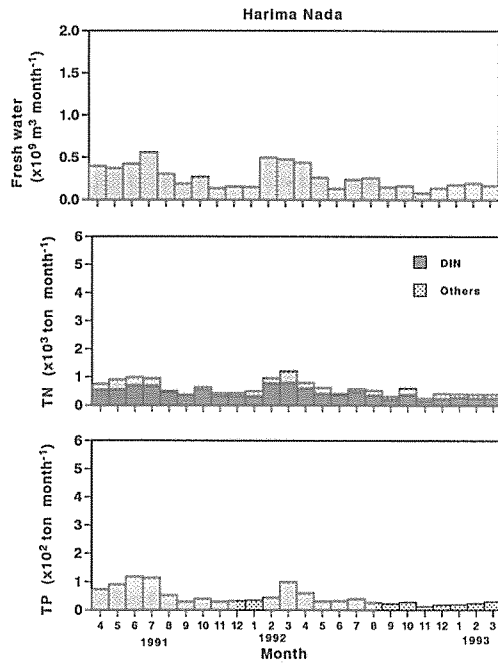


Fig. 2b

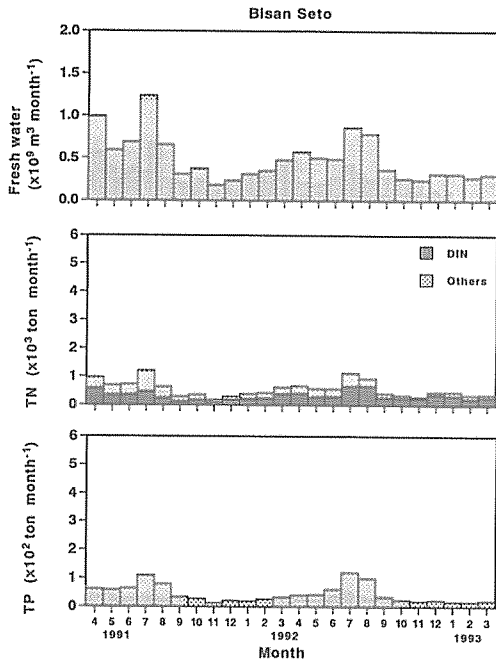


Fig. 2c

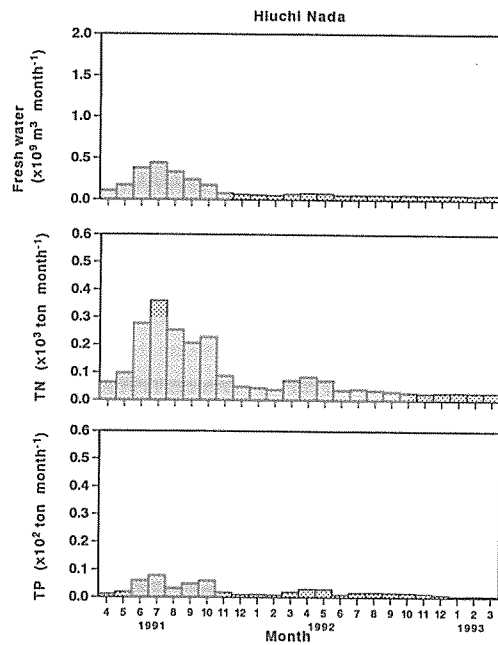


Fig. 2d

Fig. 2. Seasonal variations in fresh water, total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) discharged through rivers into each region of the Seto Inland Sea. Percentage of dissolved inorganic nitrogen (DIN) in the total nitrogen was also shown. Percentages of various forms of nitrogen are also shown for Bingo Nada.

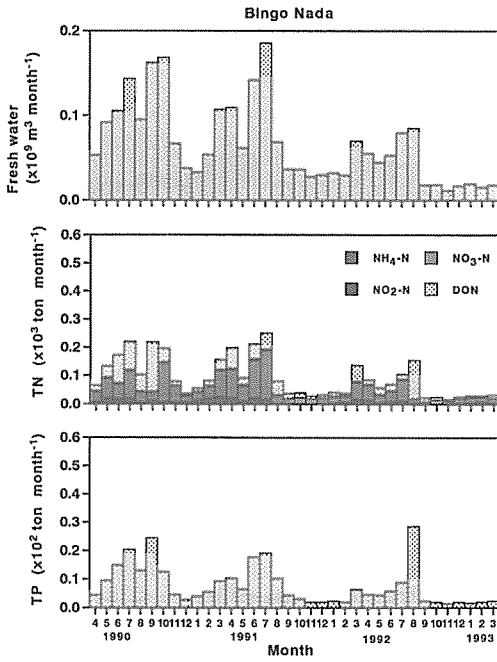


Fig. 2e

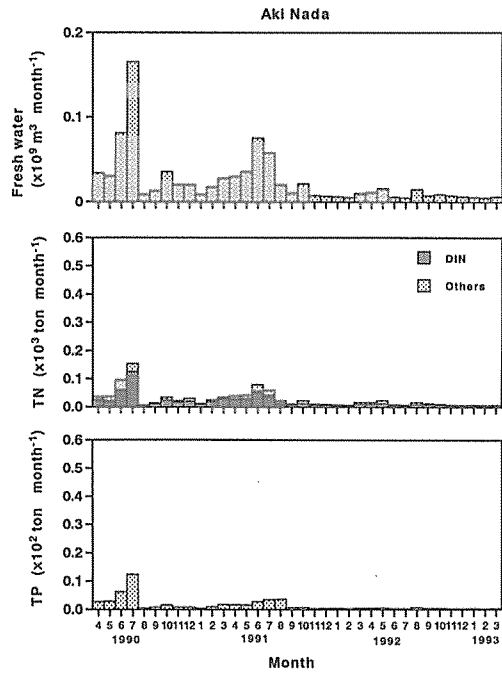


Fig. 2f

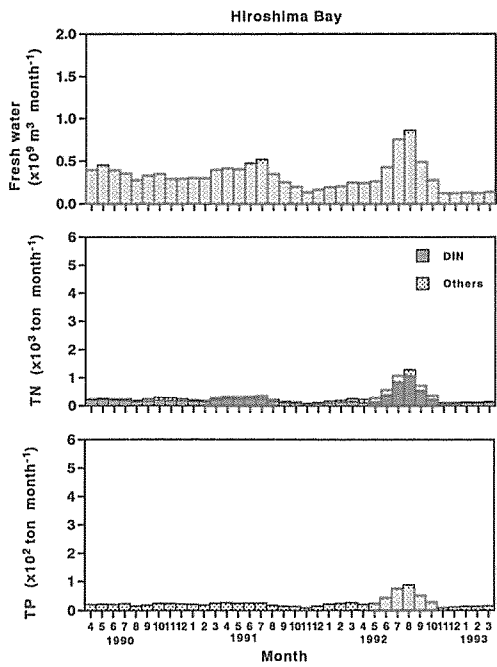


Fig. 2g

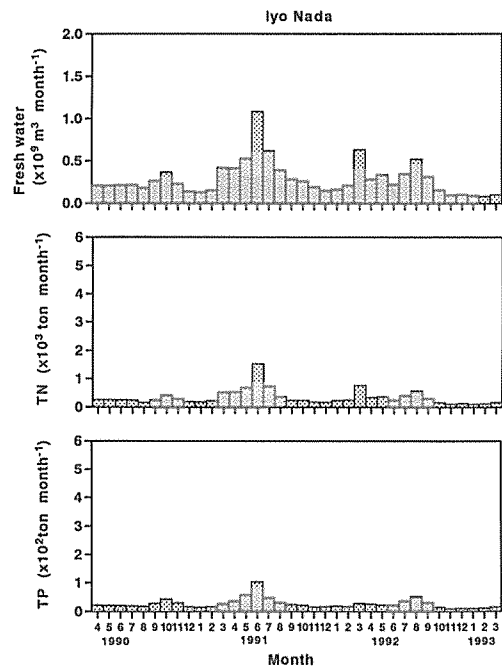


Fig. 2h

Fig. 2. Continued.

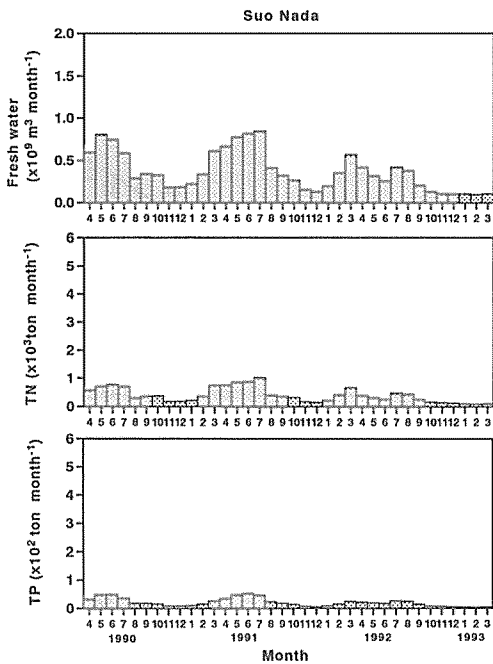


Fig. 2i

Fig. 2. Continued.

的変動が見られなかった大阪湾のみ例外といえる。このことは、大阪湾に流入する河川のうち最も大きな流量をもつ淀川水系の取水、排水が人為的に頻繁に行われ、気象変動を直接反映しないためと考えられる。

DIN 負荷量は、秋から冬にかけて上昇し、夏に低下する傾向がみられた (Fig. 2a)。DIN/TN 負荷量比は常に50%を超え、平均76%であった。特に1991年5～7月ではほぼ100%であった。

淀川は大阪湾に対する全負荷量に対して、淡水負荷量では60%程度を占めたが、TN、TP 負荷量は全体の30%程度であった。

播磨灘 播磨灘に対する淡水負荷量は春～初夏の梅雨期に増加し、秋～冬に最小となる傾向が見られた (Fig. 2b)。TN および TP 負荷量は、それほど明瞭ではないが淡水負荷量の変動にもなって変動した。DIN/TN 負荷量比は平均72% (範囲56～99%) で、季節変動は不明瞭であった。

備讃瀬戸 備讃瀬戸では淡水負荷量と TN 負荷量、TP 負荷量の変動傾向は一致し、春から夏に増加し、秋に減少する変動が見られた (Fig. 2c)。例えば1992年3月の淡水負荷量は $4.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ であったが、1992年7月には $8.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ まで増加した。その後減少し、11月には $2.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ となった。

DIN 負荷量と TN 負荷量の変動傾向は一致してい

た。DIN/TN 負荷量比は平均58% (範囲39～85%) であり、季節的な変動は不明瞭であった。

燧灘 燧灘では1991年春から夏にかけて各項目とも急増し、7月をピークに減少した (Fig. 2d)。TP 負荷量は、7月の7.8 ton が8月には3.2 ton と半分以下に減少したが、再び増加し、11月に減少した。しかし、1992年にはそのような変化は見られず、1年間を通して1ヶ月当たり負荷量は1 ton 前後で安定していた。

燧灘については「公共用水域の水質測定結果」に掲載されていた河川が7つと少なく、流量の大きな加茂川、蒼社川での TN、TP 測定間隔が年4回と少なかったため、これらの河川の平水時での水質測定値はかなり過少に見積もられた可能性がある。また、1992年以降の負荷量の変動が小さいのは、加茂川の淡水流量の測定が行われていなかったため、1992年1月の値を当てはめたことによるものと考えられる。

備後灘 備後灘に対する淡水負荷量の変動と TN、TP 負荷量の変動傾向は類似しており、春から夏に増加し、冬に減少する季節変動が見られた (Fig. 2e)。備後灘では資料が充実していたため、無機三態窒素負荷量と DON 負荷量の変動について計算できた。期間を通して多かったのは $\text{NO}_3\text{-N}$ であったが、夏季には DON が増加し、 $\text{NO}_3\text{-N}$ を上回る月も見られた。これらの月には淡水流入量の増加が見られるので、それともなる現象と解釈されるが、メカニズムの詳細は不明である。なお、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 負荷量は全期間を通してわずかであった。DIN/TN 負荷量比は平均60% (範囲12～83%) であった。

TP 負荷量は、1992年8月に3年間の最高値である29 ton を記録した。この時の淡水負荷量は $85 \times 10^6 \text{ m}^3$ でそれほど大きくはないが、同月に DON 負荷量の増加も見られ、何らかの共通したメカニズムがあるものと想像される。

安芸灘 安芸灘に対する淡水負荷量の変動と TN、TP 負荷量の変動傾向は類似しており、1990年7月に淡水負荷量が $0.16 \times 10^9 \text{ m}^3$ の最大値を示した際に、TN および TP 負荷量も $0.15 \times 10^3 \text{ ton}$ 、 $0.12 \times 10^2 \text{ ton}$ の最大値を記録した (Fig. 2f)。1991年においても梅雨時の淡水流入量の増加にもなる TN、TP 負荷量の増加が見られた。

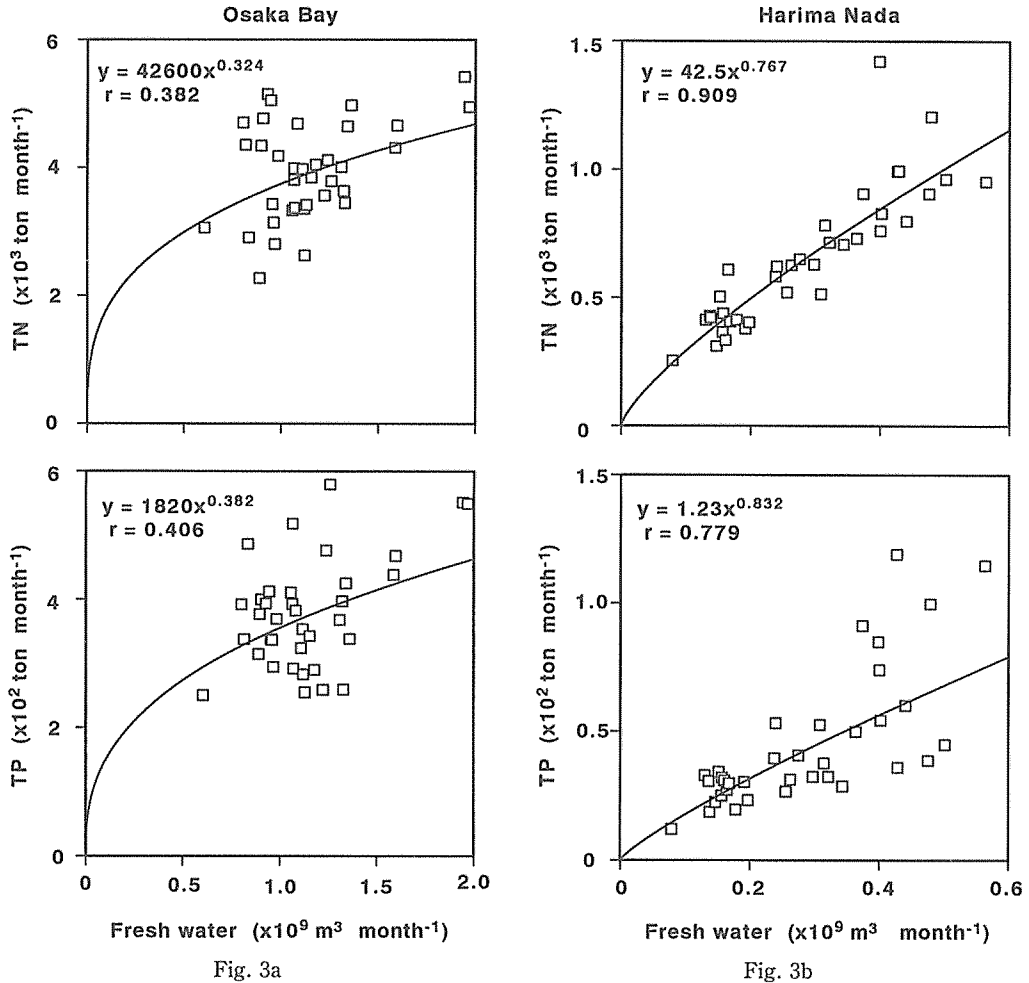


Fig. 3. Loading characteristics of total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) in relation to fresh water input in different regions of the Seto Inland Sea.

DIN 負荷量の変動は TN 負荷量の変動傾向と類似し、DIN/TN 負荷量比は平均67% (範囲44~100%) と高かった。また、DIN/TN 負荷量比の変動の周期性は不明瞭であった。

広島湾 広島湾に対する淡水負荷量は梅雨期に増加し、1990年5月に最高値 0.46×10^9 m 3 、1991年6月に 0.52×10^9 m 3 であった (Fig. 2g)。1992年8月は 0.86×10^9 m 3 で、1990年および1991年のピークに比べて大きかった。TN、TP 負荷量も1992年8月に3年間の最高値を示し、それぞれ 1288 tonN month $^{-1}$ 、87 tonP month $^{-1}$ であった。

DIN 負荷量の変動は TN 負荷量の変動傾向と類似していた。DIN/TN 負荷量比は平均70% (範囲48~90%) で、季節的な変動は不明瞭であった。

広島湾に対する太田川の寄与は、淡水負荷量では50%程度であったが、TN 負荷量では50~70%、TP 負荷量では60~90%を占め、太田川の河川水質が広島湾の富栄養化に与える影響が大きいことを示していた。

伊予灘 伊予灘への淡水負荷量は1991年6月に最大値 1.0×10^9 m 3 を記録した (Fig. 2h)。TN、TP 負荷量の変動は淡水負荷量の変動と傾向が一致していた。

周防灘 周防灘に対する淡水負荷量は、1990~1991年を例に見ると、秋~冬は少なく、3月から7月にか

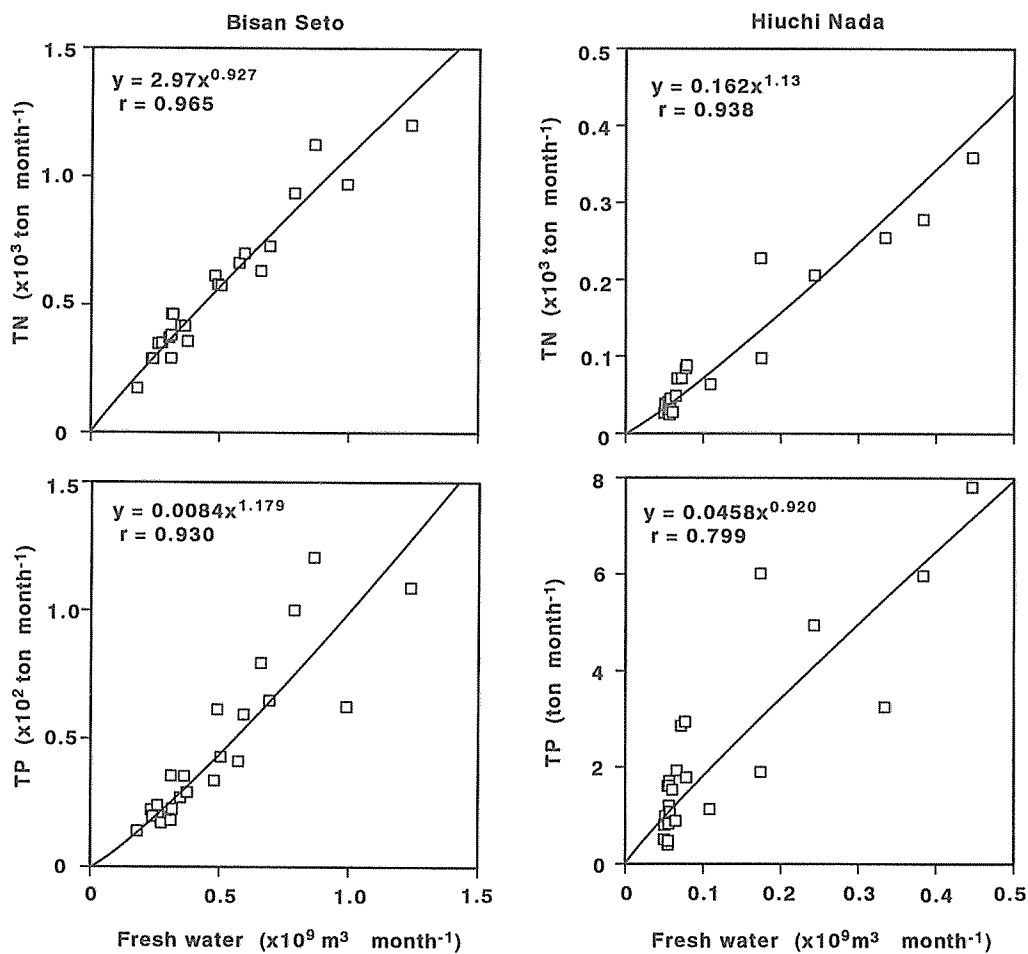


Fig. 3c

Fig. 3d

Fig. 3. Continued.

けて増加し、1991年7月に最高値 0.84×10^9 m 3 を記録した (Fig. 2i)。淡水負荷量の変動と TN、TP 負荷量の変動傾向は一致した。

河川水の TN : TP 比

解析対象期間の3年間(または2年間)の河川水の TN : TP 比(モル比)の平均値は、大阪湾で24(変動範囲13~33)と最も小さく、燧灘では92(変動範囲41~174)と最も大きかった。2番目に大きかったのは安芸灘の48(変動範囲13~77)であったので、燧灘で非常に高いということがわかる (Table 1)。ただし、先に述べたように燧灘の値の見積もり精度は低い。

これら流入負荷の TN : TP 比の変動は、大阪湾、備讃瀬戸、備後灘、伊予灘、周防灘では夏季に低く、冬季に高い傾向が見られたが、広島湾だけは夏季に高く、冬季に低い傾向を示した (Table 1)。それぞれの変動は TP 負荷量の変動に大きく依存している場合が多い (Fig. 2)。ダムが設置が少ない自然河川では梅雨期の増水によって粒状物に吸着したリンが多く流出し、夏季の TN : TP 比を低下させる原因となっているのかもしれない。

海域ごとの流出特性

各海域ごとの淡水負荷量に対する TN 負荷量あるいは TP 負荷量の流出特性は必ずしも同じ傾向を示さ

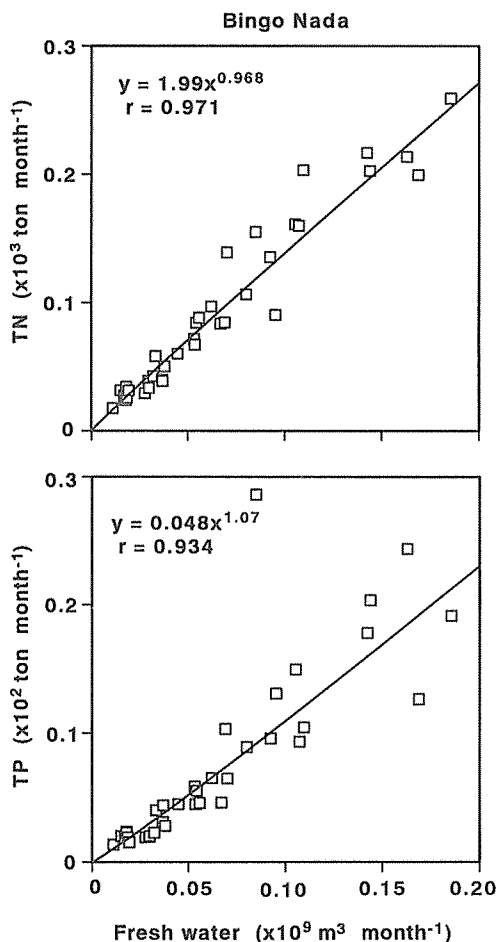


Fig. 3e

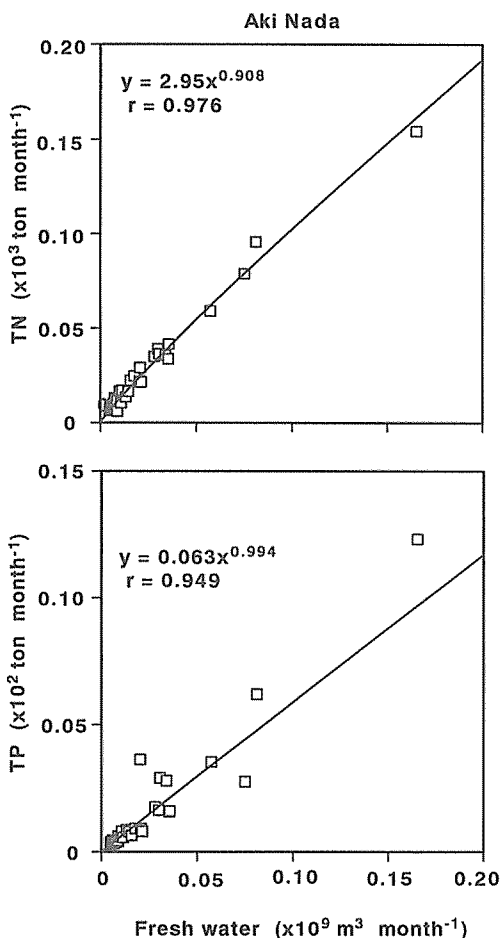


Fig. 3f

Fig. 3. Continued.

なかった (Fig. 3)。淡水負荷量と TN 負荷量の関係では前述の $L=cQ^n$ 式において $n=1$ の濃度一定型なのは広島湾, 周防灘, $n<1$ の希釈型は播磨灘, 備讃瀬戸, 備後灘, 安芸灘, 伊予灘, $n>1$ の洗い出し型は燧灘であった。淡水負荷量と TP 負荷量の関係では, $n=1$ の濃度一定型なのは備後灘, 安芸灘, 周防灘, $n<1$ の希釈型は播磨灘, 燧灘, 広島湾, 伊予灘, $n>1$ の洗い出し型は備讃瀬戸であった。また, 大阪湾では相関が低く, 有意な関係とは見做せなかった。

瀬戸内海全域に対する負荷量と各海域への割合

瀬戸内海全域に対する河川経由の淡水負荷量, TN および TP 負荷量の1991年度と1992年度の毎月の集計結果を Table 2 にまとめた。淡水負荷量は $1.5\sim 5.6 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ month}^{-1}$ の範囲にあり, 平均 $3.1 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ month}^{-1}$ であった。TN 負荷量は $4.3\sim 9.3 \times 10^3 \text{ tonN month}^{-1}$ の範囲にあり, 平均 $6.5 \times 10^3 \text{ tonN month}^{-1}$ であった。TP 負荷量は $3.4\sim 8.7 \times 10^2 \text{ tonP month}^{-1}$ の範囲にあり, 平均 $5.6 \times 10^2 \text{ tonP month}^{-1}$ であった。1990年度の結果も含めて3年度分の平均では, Table 3 に示したように瀬戸内海全域に対する河川による淡水負荷量は $3.8 \times 10^{10} \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$, TN 負荷量は $7.6 \times 10^4 \text{ tonN yr}^{-1}$, TP 負荷量は $6.6 \times 10^3 \text{ tonP yr}^{-1}$ と見積もられた。

各海域への淡水および TN, TP 負荷量の, 瀬戸内海全体に対する比率を Table 3 に示した。年度による

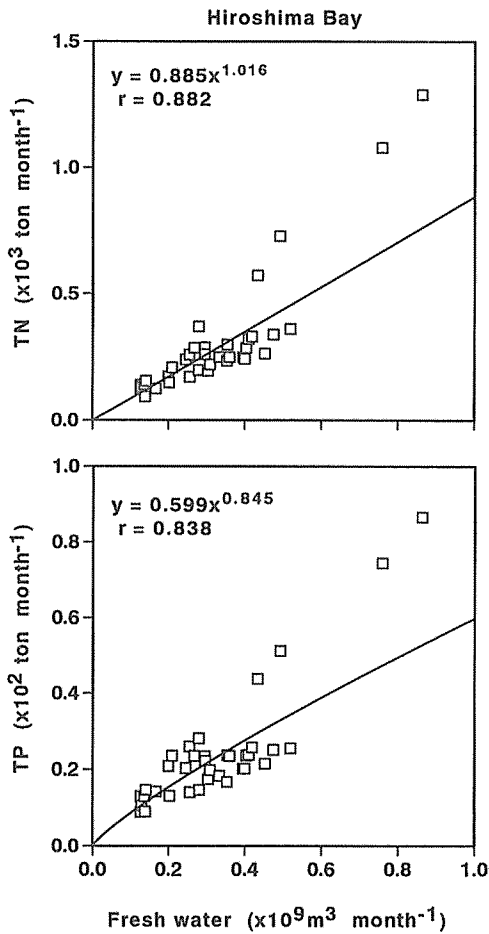


Fig. 3g

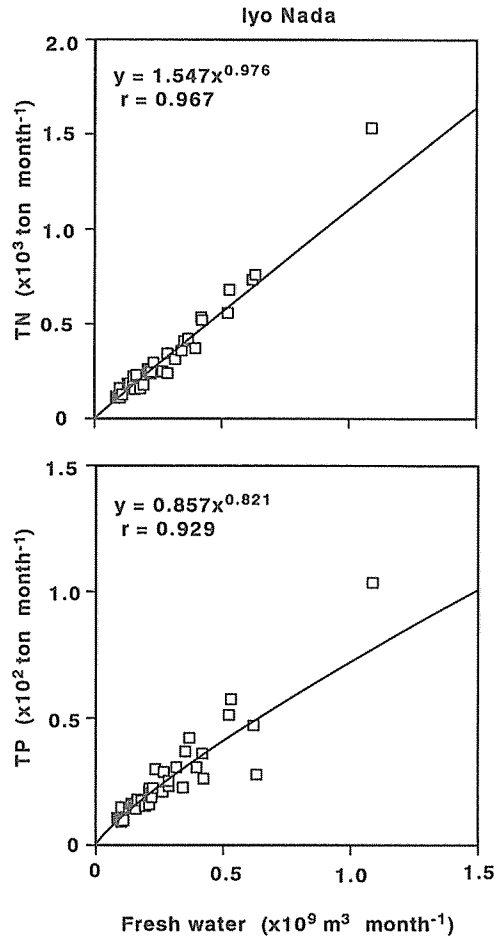


Fig. 3h

Fig. 3. Continued.

変動は多少あるが、大阪湾は淡水負荷量では $14 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$ 程度で瀬戸内海全体に対する淡水負荷量の約37%を占めた。大阪湾に次いで多かったのは備讃瀬戸(平均 $5.9 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$, 約16%)および周防灘(平均 $4.4 \times 10^9 \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$, 約12%)であり、これら以外の海域はいずれも10%以下であった。TNおよびTP負荷量では大阪湾は3年間の平均で $4.7 \times 10^4 \text{ tonN yr}^{-1}$, $4.5 \times 10^3 \text{ tonP yr}^{-1}$ で、全体に対する比率ではそれぞれ62%と68%に達し、淡水負荷量の場合に比べて際立って大きな比率を占めた。このことは大阪湾に流入する河川水質が富栄養状態にあることを示しているが、先に述べたように淀川水系は淡水負荷の割合が大きいかに関わらず TN, TP の比率はやや低いことから、淀川水系以外の小河川の富栄養化が著しいものと推測される。大阪湾に次いで多かったのは TN, TP とも播磨灘と備讃瀬戸であったが、ともに10%以下であった。備讃瀬戸は淡水負荷量では多かったが、TN, TP 負荷量では小さく、TN, TP 濃度が相対的に低いことを示している。また、釜灘、備後灘、安芸灘への河川経由の TN, TP 負荷はそれぞれ瀬戸内海全体のわずか1%程度であった。

各海域に対する年間の負荷量を各海域の単位表面積当りおよび単位体積あたりに換算したところ、備讃瀬戸に対する単位体積あたり淡水負荷量 ($0.46 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ yr}^{-1}$) は大阪湾のそれ ($0.33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ yr}^{-1}$) を上回る結果となった。これは備讃瀬戸の表面積が 916 km^2 , 平均水深が 13.9 m で、体積にして $12.7 \times 10^9 \text{ m}^3$ と

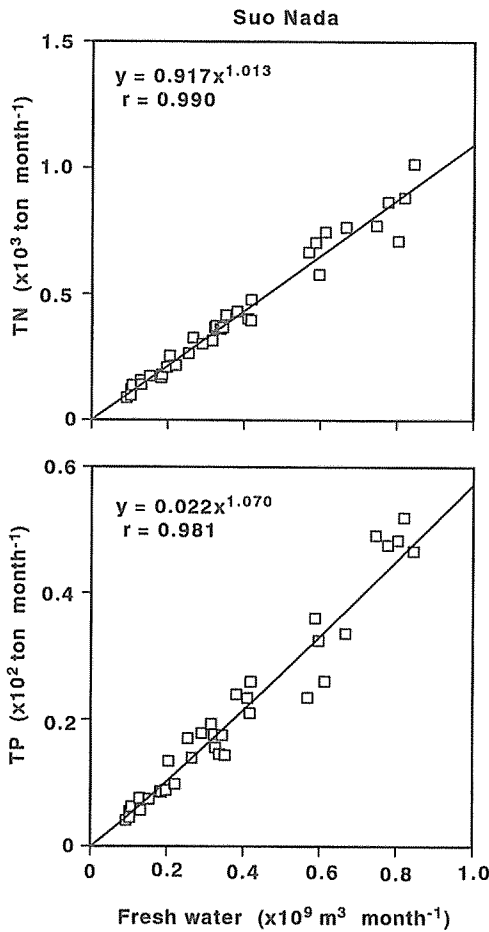


Fig. 3i

Fig. 3. Continued.

測定間隔の統一が望まれる。

柳ら (1985) は淡水負荷量を求めるのに、流量年表に記載のある一級河川の毎月の積算流量にすべての集水域面積と一級河川の流域面積比を乗じて算出している。この方法の場合、中小河川の実測値を用いた今回の方よりもはるかに労力が少なくて済み、淡水負荷量のみを求める方法としては良いかもしれない。

2. 公共用水域の水質測定においては県により水質調査項目の統一がとれていない。したがって、富栄養化関連物質のうち、TN と TP 以外では瀬戸内海全域に対する負荷量算定に困難をきたした。海域への影響を考慮する上では可能な限り多くの河川で形態別窒素およびリンの測定が望まれる。

3. 公共用水域の水質測定では増水時の状況が反映されていない。増水時には河床に貯留、堆積した物質が一気に運搬される(掃流)ことが知られている。例えば、田中 (1991) が報告している広島湾の場合では、河川懸濁物中の吸着態 $\text{PO}_4\text{-P}$ 負荷は、年間10日程度の出水時に集中し、その量は約 610 tonP yr^{-1} であるとされている。この値は、今回見積もった 290 tonP yr^{-1} の2倍にもなる。本研究で使用した公共用水域の水質測定結果では、主に平時のデータが記載されているため、降雨による増水時の流出について全く考慮されていない。したがって、何らかのかたちでこれを算定し、今回集計したデータに加える必要があるであろう。

最も小さくかつ本州側から大河川が流入していることによる。また、広島湾に対する淡水負荷量は大阪湾の半分程度である。しかし、単位体積あたりの TN および TP 負荷量は、備讃瀬戸 (TN, $530 \text{ mgN m}^{-3} \text{ yr}^{-1}$; TP, $43 \text{ mgP m}^{-3} \text{ yr}^{-1}$) では大阪湾 (TN, $1100 \text{ mgN m}^{-3} \text{ yr}^{-1}$; TP, $110 \text{ mgP m}^{-3} \text{ yr}^{-1}$) の半分程度あり、広島湾 (TN, $150 \text{ mgN m}^{-3} \text{ yr}^{-1}$; TP, $12 \text{ mgP m}^{-3} \text{ yr}^{-1}$) は大阪湾より約1桁小さかった。一方、広島湾と同等程度と見積もられた伊予灘、周防灘への淡水、TN、TP 負荷量は、単位面積当たり、単位体積あたりでは広島湾よりさらに1桁低いものとなった。

本研究法の問題点と利点

瀬戸内海に対する河川経由の淡水、窒素およびリンの流入負荷量を定量的に見積もることを目的として本研究を行ったが、既往の資料からこれを見積もることはそれほど容易ではなく、研究の過程においていくつかの問題点があったので、以下に指摘しておきたい。また、利点についても述べる。

1. 公共用水域の水質測定においては流量の測定頻度が充分ではない。「湖沼環境調査指針」(日本水質汚濁研究協会, 1982)によれば、流量の測定頻度について『大体の目安として、全流入河川による総流入水量及び総流入負荷量に対する各河川のそれぞれの量がおおよそ5%以下のものは必要最小限にとどめ、前記の値がおおよそ5~10%の範囲のものは季節変化を押さえるために年4回以上の定期観測が必要』とされている。また、10%以上の河川については、毎月1回以上、ほぼ定時の観測が望ましいとしている。公共用水域の水質調査でもこのような考え方に基づいて測定回数が決められていると思われるが、県ごとの測定間隔の設定に違いが見られ、取り組み方の違いが感じられた。測

Table 2. Monthly variations in fresh water, total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) discharged into the entire Seto Inland Sea through rivers.

Month	Fresh water ($\times 10^9 \text{ m}^3 \text{ month}^{-1}$)	TN ($\times 10^3 \text{ tonN month}^{-1}$)	TP ($\times 10^2 \text{ tonP month}^{-1}$)
Apr. 1991	4.3	7.5	5.9
May	4.3	7.7	6.6
June	5.1	7.9	6.9
July	5.6	8.3	7.3
Aug.	3.4	4.8	5.3
Sept.	2.7	5.0	5.4
Oct.	2.9	6.1	6.0
Nov.	1.9	4.3	4.2
Dec.	1.9	5.4	4.6
Jan. 1992	2.1	6.7	5.0
Feb.	2.5	6.7	4.7
Mar.	3.6	8.4	6.0
Apr.	3.5	7.3	6.0
May	3.4	7.0	6.2
June	3.2	6.5	6.2
July	4.7	9.3	8.6
Aug.	4.9	8.9	8.7
Sept.	2.7	4.7	4.4
Oct.	2.0	5.1	4.4
Nov.	1.6	5.7	4.6
Dec.	1.8	5.7	4.5
Jan. 1993	1.9	6.4	4.8
Feb.	1.7	5.9	4.6
Mar.	1.5	4.3	3.4
Minimum	1.5	4.3	3.4
Maximum	5.6	8.9	8.7
Average	3.1	6.5	5.6

このことに関連し、日本水質汚濁研究協会(1982)が指摘しているように、流量と物質負荷量の関係については、ある流量範囲でのみ成り立つものと考えられるので、今回の平水時に得られた関係(Fig. 3)を洪水時に適用するには無理があろう。洪水時流出の研究が十分に行われ、淡水負荷量の広い範囲にわたって物質の負荷量を求めることができれば有益である(田淵・高村, 1985)。

4. 原単位法による見積もり結果との相違について。原単位法はこれまで年間の窒素およびリンの負荷量を算出する方法として最も一般的に使われてきた。Table 4には原単位法を用いた中西・浮田(1984)による1977年の負荷量の算出結果と本研究による算出結果とを比較して示した。本研究で算出した瀬戸内海全域に対するTNおよびTP負荷量は原単位法によって算出された値の48%、および40%であった。このことは、原単位法では臨海工場地帯から海域に直接負荷される分や大気からの降下物や降水によるものなども含んでいるためと思われる(例えば、岡久, 1990)。

5. 実測法の利点としては窒素、リン負荷量とその季節変動が明らかにできた点である。一方、原単位法は年間の負荷量を見積もるためには適しているが、季節変動は求められないという欠点がある。したがって、本研究の成果は瀬戸内海各海域の物質収支の季節変動モデルを構築する際の基礎的資料を提供できたものと思われる。ただし、モデルに今回の値を導入する際には、臨海工場地帯から海域へ直接排出される窒素、

Table 3. Loadings of fresh water, total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) into each region of the Seto Inland Sea.

Region	1990	1991	1992	Average (%)	Per unit area	Per unit volume
Fresh water ($\times 10^3 \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$)					($\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)	($\text{m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ yr}^{-1}$)
Osaka Bay	14	13	15	14 (37)	9.2	0.33
Harima Nada	ND	4	2.4	3.2 (8)	0.93	0.036
Bisan Seto	ND	6.4	5.3	5.9 (16)	6.4	0.46
Hiuchi Nada	ND	2.2	0.7	1.6 (4)	1.2	0.069
Bingo Nada	1.1	0.83	0.43	0.79 (2)	0.83	0.053
Aki Nada	0.46	0.28	0.97	0.28 (<1)	0.29	0.010
Hiroshima Bay	4.2	3.6	4.0	3.9 (10)	4.1	0.16
Iyo Nada	2.7	5.0	2.7	3.5 (9)	0.88	0.016
Suo Nada	5.2	5.5	2.6	4.4 (12)	1.4	0.060
Total	ND	41	33	38	2.2	0.073
TN ($\times 10^3 \text{ tonN yr}^{-1}$)					($\text{gN m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)	($\text{mgN m}^{-3} \text{ yr}^{-1}$)
Osaka Bay	45	45	52	47 (62)	30	1100
Harima Nada	ND	8.7	5.7	7.2 (9)	2.1	81
Bisan Seto	ND	6.8	6.6	6.7 (9)	7.3	530
Hiuchi Nada	ND	1.8	0.46	1.1 (1)	0.85	47
Bingo Nada	1.5	1.2	0.67	1.1 (1)	1.2	74
Aki Nada	0.50	0.32	0.13	0.32 (<1)	0.33	11
Hiroshima Bay	3.0	2.8	5.2	3.7 (5)	3.9	150
Iyo Nada	3.2	5.9	3.0	4.0 (5)	1.0	19
Suo Nada	5.5	6.2	2.8	4.8 (6)	1.5	65
Total	ND	79	77	76	4.4	146
TP ($\times 10^2 \text{ tonP yr}^{-1}$)					($\text{gP m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)	($\text{mgP m}^{-3} \text{ yr}^{-1}$)
Osaka Bay	43	44	49	45 (68)	2.9	110
Harima Nada	ND	7.7	3.5	5.6 (8)	0.16	6.3
Bisan Seto	ND	5.5	5.2	5.4 (8)	0.59	43
Hiuchi Nada	ND	0.37	0.16	0.27 (<1)	0.021	1.2
Bingo Nada	1.2	0.86	0.65	0.90 (1)	0.094	6.1
Aki Nada	0.32	0.17	0.052	0.18 (<1)	0.019	0.64
Hiroshima Bay	2.5	2.4	3.9	2.9 (4)	0.27	12
Iyo Nada	2.7	4.1	2.6	3.1 (5)	0.078	1.5
Suo Nada	2.8	3.0	1.5	2.4 (4)	0.077	3.3
Total	ND	68	67	66	0.39	12.7

ND, no data

リン負荷量などについて原単位法による値で補正する必要があるだろう。

Table 4. Comparison between the estimated total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) loadings obtained in this study and of the pollutant load factor method by Nakanishi and Ukita (1978).

Region	This study	Nakanishi and Ukita (1978)
TN (tonN month ⁻¹)		
Osaka Bay	3900	5640
Harima Nada	600	2310
Bisan Seto	560	780
Hiuchi Nada + Bingo Nada	180	1140
Aki Nada + Hiroshimad Bay	340	840
Iyo Nada	330	900
Suo Nada	400	1410
Total	6300	13020
TP (tonP month ⁻¹)		
Osaka Bay	380	675
Harima Nada	47	210
Bisan Seto	45	78
Hiuchi Nada + Bingo Nada	9.8	90
Aki Nada + Hiroshima Bay	26	102
Iyo Nada	26	84
Suo Nada	20	138
Total	550	1377

謝 辞

本研究を行うにあたって、常に有益な御助言を頂いた広島大学生物生産学部助手、橋本俊也氏に謹んで感謝の意を表します。また、公共用水域の水質測定結果の利用に便宜をはかっていたいただいた大阪府、兵庫県、香川県、愛媛県、岡山県、広島県、山口県、福岡県、大分県のご協力に感謝いたします。なお、英文は広島大学生物生産学部教授、N. RAJENDRAN 博士に見ていただいた。併せてお礼申し上げます。

引用文献

- 愛媛県 (1991) : 公共用水域の水質測定結果. 平成2年度.
 愛媛県 (1992) : 公共用水域の水質測定結果. 平成3年度.
 愛媛県 (1993) : 公共用水域の水質測定結果. 平成4年度.
 福岡県 (1991) : 公共用水域の水質測定結果. 平成2年度.
 福岡県 (1992) : 公共用水域の水質測定結果. 平成3年度.
 福岡県 (1993) : 公共用水域の水質測定結果. 平成4年度.
 半谷高久・安部喜也 (1972) : 水質汚濁研究法. 丸善, 東京. 346 pp.
 広島県 (1991) : 公共用水域の水質測定結果. 平成2年度.
 広島県 (1992) : 公共用水域の水質測定結果. 平成3年度.
 広島県 (1993) : 公共用水域の水質測定結果. 平成4年度.
 兵庫県 (1991) : 公共用水域の水質測定結果報告書. 平成2年度.
 兵庫県 (1992) : 公共用水域の水質測定結果報告書. 平成3年度.

- 兵庫県 (1993) : 公共用水域の水質測定結果報告書. 平成4年度.
- 市川 新 (1990) : 非特定汚染源負荷調査マニュアル策定にあたって. 用水と廃水, 32 : 864-869.
- 城 久 (1991) : 大阪湾の開発と海域環境の変遷. 沿岸海洋研究ノート, 29 : 3-12.
- 香川県 (1992) : 公共用水域の水質測定結果. 平成3年度.
- 香川県 (1993) : 公共用水域の水質測定結果. 平成4年度.
- 環境庁水質保全局 (1994) : 瀬戸内海の環境保全—資料集—平成5年度. (社) 瀬戸内海環境保全協会. 167 pp.
- 建設省河川局 (1990) : 流量年表 (平成2年). 日本河川協会. 435 pp.
- 建設省河川局 (1991) : 流量年表 (平成3年). 日本河川協会. 439 pp.
- 建設省河川局 (1992) : 流量年表 (平成4年). 日本河川協会. 439 pp.
- 中西 弘・浮田正夫 (1978) : 特別研究「環境科学」瀬戸内海の環境評価のための総括的な研究報告. 第8章環境の総合評価と保全へのアプローチ. pp. 279-329.
- 日本水質汚濁研究協会 (1982) : 湖沼環境調査指針. 公害対策技術同友会, 東京. 257pp.
- 小倉紀雄・高田秀重 (1991) : 東京湾への汚濁負荷の見積もりと汚濁物質の挙動. 沿岸海洋研究ノート, 28 : 121-128.
- 岡久宏史 (1990) : 非特定汚染源負荷の調査手法. 用水と廃水, 32 : 870-873.
- 岡山県 (1991) : 公共用水域及び地下水の水質測定結果. 平成2年度.
- 岡山県 (1992) : 公共用水域及び地下水の水質測定結果. 平成3年度.
- 岡山県 (1993) : 公共用水域及び地下水の水質測定結果. 平成4年度.
- 大分県 (1991) : 公共用水域及び地下水の水質測定結果. 平成2年度.
- 大分県 (1992) : 公共用水域及び地下水の水質測定結果. 平成3年度.
- 大分県 (1993) : 公共用水域及び地下水の水質測定結果. 平成4年度.
- 大阪府 (1991) : 大阪府下河川等水質調査報告書. 平成2年度.
- 大阪府 (1992) : 大阪府下河川等水質調査報告書. 平成3年度.
- 大阪府 (1993) : 大阪府下河川等水質調査報告書. 平成4年度.
- 日外アソシエーツ (1991) : 河川大事典. 日外アソシエーツ, 東京. 1068 pp.
- SMAYDA, T. J. (1989) : Primary production and the global epidemic of phytoplankton blooms in the sea: A linkage?. In, Novel Phytoplankton Blooms, Cosper, E. M., V. M. Bricelej and E. J. Carpenter (eds.), Springer-Verlag, Berlin, pp. 449-483.
- 田淵俊雄・高村義親 (1985) : 集水域からの窒素, リンの流出. 東京大学出版会, 東京. 226 pp.
- 田中勝久 (1991) : 河川増水時の懸濁物による沿岸海域への吸着態 PO_4-P 負荷. 水産海洋研究, 55 : 323-328.
- 橘 治国 (1993) : 森林河川における栄養塩の流出と懸濁物質の役割. 水環境学会誌, 16 : 450-456.
- 和田安彦 (1990) : ノンポイント汚染源のモデル解析. 技報堂出版, 東京. 214 pp.
- 山口県 (1991) : 公共用水域の水質測定結果. 平成2年度.
- 山口県 (1992) : 公共用水域の水質測定結果. 平成3年度.
- 山口県 (1993) : 公共用水域の水質測定結果. 平成4年度.
- 山本民次 (1996) : 低次生産の場としての瀬戸内海の環境. 岡市友利・小森星児・中西 弘 (編) : 瀬戸内海の生物資源と環境—その将来のために—. 恒星社厚生閣, pp. 47-51.
- 柳 哲雄・芝木秀之・武岡英隆 (1985) : 播磨灘, 大阪湾の塩分, 窒素, リン収支. 沿岸海洋研究ノート, 22 : 159-164.

Appendix. List of rivers with the sampling sites. Estimated watershed areas are also listed for the rivers where the samplings were not carried out.

河川名	観測地点	流量年表	備 考
大阪湾			
1. 山田川	山田橋		
2. 福田川	福田橋		
3. 塩屋谷川	塩屋谷川流末		
4. 一ノ谷川	一ノ谷川流末		
5. 千森川千	森川流末		
6. 妙法寺川	若宮橋		
7. 新湊川	南所橋		
8. 宇治川	山手幹線上流		
9. 生田川	小野柄橋		
10. 西郷川	西郷川流末		
11. 都賀川	昌平橋		
12. 高羽川	玉利橋		
13. 石屋川	石屋川橋		
14. 天神川	辰巳下橋		
15. 住吉川	住吉川橋		
16. 天上川	天上川橋		
17. 高橋川	琴田橋		
18. 芦屋川	業平橋		
19. 宮川	宮川橋		
20. 堀切川	阪神電鉄鉄橋下		
21. 夙川	夙川橋		
22. 洗戎川	前浜ポンプ場		
23. 東川	東川ポンプ場		
24. 久寿川	久寿川ポンプ場		
25. 新川	中津橋		
26. 枝川	枝川ポンプ場		
27. 鳴尾川	上田橋		
28. 武庫川	甲武橋		
29. 富松川	伊丹市境		
30. 昆陽川	県道北		
31. 伊丹川	県道北		
32. 神崎川	辰巳橋		
33. 神崎川	千船橋		
34. 淀川	伝法大橋		
35. 淀川	枚方	○	淀川全域流量=淀川(枚方)流量×1.13
36. 寝屋川	京橋		
37. 大和川	遠里小野橋		
38. 大和川	柏原	○	大和川全域流量=大和川(柏原)流量×1.11
39. 内川放水路	古川橋		
40. 内川	堅川橋		
41. 石津川	石津川		橋流量=大和川(柏原)流量×0.09
42. 王子川	王子川橋		
43. 新川	河口水門		

44. 大津川	大津川橋	
45. 春木川	春木橋	
46. 津田川	昭代橋	
47. 近木川	近木川橋	
48. 見出川	見出橋	
49. 佐野川	昭平橋	
50. 田尻川	府道堺阪南線陸橋	
51. 檜井川	檜井大橋	
52. 大里川	河口水門	
53. 男里川	男里川橋	
54. 茶屋川	新茶屋川橋	
55. 番川	田身輪橋	
56. 大川	昭南橋	
57. 東川	一軒屋橋	
58. 西川	こうや橋	
59. 志筑川	志筑橋	志筑川全域流量 = 志筑川（志筑橋）流量 × 8.39
60. 洲本川	潮橋	
61. 淡路島仮想河川		洲本川以北，津名丘陵東側。志筑川を除く (90.9 km ²)

播磨灘

1. 明石川	嘉永橋	
2. 谷八木川	谷八木橋	
3. 赤根川	新江井ヶ島橋	
4. 瀬戸川	八幡橋	
5. 喜瀬川	野添橋	
6. 加古川	加古川橋池尻	○ (国包)
7. 法華山谷川	千鳥大橋	
8. 天川	日笠歩道橋	
9. 市川	工業用水取水点	
10. 野田川	恵美酒橋	
11. 船場川	加茂橋	
12. 夢前川	京見橋	
13. 汐入川	汐入橋	
14. 大津茂川	太平橋	
15. 揖保川	王子橋	○
16. 芋谷川	旭大橋上流 100 m	流量 = 揖保川（王子橋）流量 × 0.089，相生湾 周辺と赤穂市周辺
17. 千種川	坂越橋	
18. 安田大川	馬木橋	安田大川全域流量 = 安田川（馬木橋）流量 × 4.18，小豆島東半分含む
19. 郡家川	上水源取水口	郡家川全域流量 = 郡家川（上水源取水口）流量 × 9.32 淡路島の播磨灘側で，三原川の流域より北側 (184.1 km ²)
20. 三原川	脇田橋	
21. 大日川	新山王橋	

22. 馬宿川	川洲橋		馬宿川全域流量＝馬宿川（川洲橋）流量×1.73 馬宿川流域と引田町の河川流域（52.8 km ² ）
23. 湊川	湊川橋		
24. 与田川	三本松橋下		
25. 番屋川	番屋川大橋		
26. 津田川	河口潮止上		
27. 淡路島仮想河川			三原川以北，津名丘陵西側（164.3 km ² ）．郡家川を除く
備讃瀬戸			
1. 伊里川	浜の川橋		流量＝吉井川（御休）流量×0.086 兵庫県境から邑久君沿岸，岡山港までの沿岸（171.8 km ² ）
2. 吉井川	永安橋	○ (御休)	
3. 百間川	清内橋		流量＝旭川（牧山）流量×0.107，百間川流域と砂川流域（170.1 km ² ）
4. 旭川	桜橋	○ (牧山)	旭川全域流量＝旭川（牧山）流量×1.14
5. 笹が瀬川	笹が瀬橋		流量＝旭川（牧山）流量×0.154
6. 妹尾川	妹尾川国道30号線下		流量＝旭川（牧山）流量×0.017
7. 倉敷川	倉敷川		橋流量＝旭川（牧山）流量×0.085
8. 小田川	御仮屋橋		流量＝高梁川（日羽）流量×0.088 鷺羽山，水島 IC から児島半島，玉野市，児島湾（174.7 km ² ）
9. 高梁川	霞橋		
10. 里見川	鴨方川合流点		流量＝高梁川（日羽）流量×0.084 里見川流域と笠岡市周辺（167.3 km ² ）
11. 伝法川	北山浄水場上		伝法川全域流量＝伝法川（北山浄水場上）流量×4.28 小豆島 前浜から竹生より西半分（80.1 km ² ）
12. 鴨部川	鴨部川橋		
13. 弁天川	弁天橋		
14. 牟礼川	国道11号線交差点		牟礼川全域流量＝牟礼川（国道11号線交差点）流量×6.35 庵治町五剣山，牟礼町（31.5 km ² ）
15. 新川	新川橋		
16. 春日川	春日川橋		
17. 詰田川	木太大橋		
18. 御坊川	観光橋		
19. 柚場川	楠上水門		
20. 摺鉢谷川	水道橋		
21. 香東川	岩崎橋		
22. 本津川	香西新橋		TN（学校橋）
23. 青海川	青海橋		青海川全域流量＝青海川（青海橋）流量×3.40 高松市五色台スカイライン周辺（44.4 km ² ）
24. 綾川	雲井橋		
25. 大東川	新町橋		

26. 土器川	丸亀橋		流量 (潮止堰, 丸亀市)
27. 西汐入川	塩屋橋		
28. 金倉川	水門橋		
29. 桜川	金比羅橋		
30. 弘田川	潮止水門上		
31. 高瀬川	詫間町水道取水口		
32. 瀬入川	的場橋下 (詫間町)		瀬入川全域流量 = 瀬入川 (的場橋下) 流量 × 1.50 詫間町, 仁尾町, 七宝山 (42.7 km ²)
33. 住吉川	山下橋 (高松市)		
34. 亀水川	旧水道取水口 (高松市)		
35. 旭川	牧山	○	
36. 高梁川	日羽	○	高梁川全域流量 = 高梁川 (日羽) 流量 × 1.35

越前灘

1. 財田川	裁判所前 (観音寺市)		
2. 一の谷川	豊橋		
3. 柞田川	河口上流 800 m		
4. 加茂川	加茂川橋		加茂川全域流量 = 加茂川 (加茂川橋) 流量 × 3.24 加茂川流域から香川県 (618.3 km ²)
5. 中山川	新兵衛橋		
6. 蒼社川	かんべ橋 (中流. 河口は今治市)		蒼社川全域流量 = 蒼社川 (かんべ橋) 流量 × 1.27 蒼社川流域から, 中山川流域との境界まで (275.8 km ²)

備後灘

1. 大門水路	大津野ポンプ場		流量 = 栗原川 (日小橋) × 0.58
2. 手城川	手城排水機		流量 = 山南川 × 0.65, 福山駅より北, 山陽道より南を含む (33.0 km ²)
3, 4, 5, 6.	芦田川河口部仮想河川		流量 = 山南川 × 0.30, 福山駅以南と河口部水田 (15.4 km ²)
	芦田川の釜屋樋門 (3)		
	河口町一つ樋 (4)		
	箕島町唐樋 (5)		
	松浜樋門 (6)		
7. 芦田川	小水呑橋	○ (表山手)	
8. 山南川	矢川		流量 = 山南川 (矢川) × 1.14, 山南川流域から鞆町沿岸 (58.4 km ²)
9. 羽原川	本庄神社前		流量 = 栗原川 (日小橋) × 1.02
10. 本郷川	吾妻橋		
11. 藤井川	講和橋		
12. 栗原川	日小橋		
13. 和久原川	東町		流量 = 栗原川 (日小橋) × 4.74 西野川流域, 尾道駅西側沿岸を含む (60.7 km ²)
14. 沼田川	潮止め堰上		流量 = 芦田川 (表山手) × 0.66

		忠海周辺，加茂川流域境界までを含む (570.8 km ²)
15. 本川	扇橋	流量 = 栗原川 (日小橋) × 0.52
16. 賀茂川	朝日橋	
安芸灘		
1. 木谷郷川	下の谷	
2. 三津大川	三津小学校前	
3. 高野川	風早	
4. 野呂川	浦尻	流量 = 野呂川 × 0.60, 安芸川尻周辺 (26.1 km ²)
5. 錦川	木村橋	流量 = 二河川 × 0.23
6. 広東大川	えびす橋	流量 = 二河川 × 4.90, 1990年偶数月は広大橋のデータ使用
7. 黒瀬川	真光寺橋	流量 = 総頭川 × 2.94, 休山の半島部西半分を含む (15.0 km ²)
8. 大谷川	豊栄橋	流量 = 蒼社川 × 1.94, 三津浜～蒼社川流域境界 (234.9 km ²)
9. 安芸灘仮想河川		
広島湾		
1. 堺川	小春橋	流量 = 総頭川 × 3.04, 休山の半島部西半分を含む (15.5 km ²)
2. 二河川	山手橋	かもめ橋上 50 m の記録を補充
3. 吉浦大川	新橋	流量 = 総頭川 × 1.37
4. 大屋大川	大屋橋	流量 = 総頭川 × 6.53, 矢野川, 総頭川流域を含む (33.3 km ²)
5. 総頭川		
6. 瀬野川	日浦橋	
7, 8. 太田川	河口	御幸橋 (8) と仁保橋 (7) の平均
9. 太田川		太田川全域 = 太田川 (矢口第一橋) × 1.11
		○ (矢口第一橋)
10. 八幡川	泉橋	
11. 岡の下川	岡の下橋	流量 = 八幡川 × 0.14
12. 可愛川	可愛	
13. 御手洗川	金剛寺	
14. 永慶寺川	下浜	永慶寺川全域流量 = 永慶寺川 (下浜) 流量 × 2.26 恵川流域を含む (35.7 km ²)
15. 小瀬川	両国橋	
16. 錦川	EC-003	流量 = 小瀬川 × 2.67
17. 由宇川	PC-001	流量 = 小瀬川 × 0.35 南岩国周辺と，大島から柳井港までの沿岸 (114.8 km ²)
伊予灘		
1. 土穂石川	NC-003	流量 = 小瀬川 (両国橋) × 0.16 柳井市，平生町の半島，大星山周辺 (52.3 km ²)
2. 柳井川	NC-001	流量 = 小瀬川 (両国橋) × 0.091

3. 重信川	出会橋	
4. 5. 肱川	肱川橋 (4) + 成見橋 (5)	肱川全域流量 = 肱川 (大洲) 流量 × 1.44 肱川橋以南, 佐多岬 ~ 松前町 (重信川境界) (1416.7 km ²)
6. 田深川	丹過橋	流量 = 山国川流量 × 0.20 国東町深江の南の尾根 ~ 国東町重藤 (94.4 km ²)
7. 武蔵川	涼月橋	流量 = 山国川流量 × 0.088, 国東町重藤 ~ 安岐 川との境界 (42.7 km ²)
8. 安岐川	港橋	流量 = 山国川流量 × 0.25, 見立山山麓 (120.0 km ²)
9. 八坂川	錦江橋	流量 = 大分川 (府内大橋) 流量 × 0.31, 杵築市 内 (187.4 km ²)
10. 朝見川	藤助橋	流量 = 大分川 (府内大橋) 流量 × 0.25 杵築市権現鼻 ~ 別府市高崎山 (153.0 km ²)
11. 祓川	御幸橋	流量 = 大分川 (府内大橋) 流量 × 0.012
12. 住吉川	新川弁天橋	流量 = 大分川 (府内大橋) 流量 × 0.013
13. 大分川	滝尾橋	○ (府内大橋)
14. 乙津川	別保橋	
15. 大野川	鶴崎大橋	
16. 丹生川	川田橋	流量 = 大分川 (府内大橋) 流量 × 0.029, 佐賀 関半島 (59.0 km ²)
17. 尾田川	落合橋	流量 = 大分川 (府内大橋) 流量 × 0.098
周防灘		
1. 田布施川	AC-001	流量 = 小瀬川 × 0.35, 平生町と一部の海岸線 (114.8 km ²)
2. 島田川	GC-003	流量 = 小瀬川 × 0.80
3. 切戸川	QC-001	流量 = 小瀬川 × 0.10
4. 平田川	GC-005	流量 = 小瀬川 × 0.23
5. 末武川	GC-007	
6. 富田川	GC-009	流量 = 小瀬川 × 0.26, 徳山市内の小河川 (52.3 km ²)
7. 夜市川	GC-011	流量 = 佐波川 (新橋) × 0.17, 富海 ~ 太平山付 近 (71.9 km ²)
8. 佐波川	NC-001	○ (流量事典新橋) 大道付近, 飛行場 (515.1 km ²)
9. 南若川	JC-002	秋穂町の一部 (52.1 km ²)
10. 湛野川	YC-001	流量 = 佐波川 (新橋) × 0.87
11. 真縮川	RC-004	流量 = 佐波川 (新橋) × 0.23 深満, IC ~ 小野田市有帆川河口付近 (120.5 km ²)
12. 厚東川	UC-003	流量 = 佐波川 (新橋) × 0.91
13. 有帆川	KC-002	流量 = 佐波川 (新橋) × 0.16
14. 厚狭川	KC-005	流量 = 佐波川 (新橋) × 0.051
15. 木屋川	SC-001	流量 = 佐波川 (新橋) × 0.89, 小月 ~ 長府, 埴 生周辺 (375.2 km ²)
16. 小波瀬川	二崎橋	流量 = 山国川流量 × 0.076, 門司崎以南

		(114.0 km ²)
17. 長峽川	亀川橋	流量=山国川流量×0.11
18. 今川	今川潮止堰	流量=山国川流量×0.15
19. 江尻川	常盤橋	流量=山国川流量×0.015
20. 祓川	沓尾橋	流量=山国川流量×0.15
21. 音無川	松原橋	流量=山国川流量×0.016
22. 城井川	浜宮橋	流量=山国川流量×0.18
23. 真如寺川	吾妻橋	流量=山国川流量×0.023
24. 上河内川	滝の本橋	流量=山国川流量×0.013
25. 角田川	角田川橋	流量=山国川流量×0.035
26. 中川	橋の上堰	流量=山国川流量×0.021
27. 岩岳川	沓洗橋	流量=山国川流量×0.005
28. 佐井川	佐井川橋	流量=山国川流量×0.13
29. 黒川	新川橋	
30. 友枝川	貴船橋	黒川流域を含む (38.8 km ²)
31. 山国川	小祝	流量=山国川 (下唐原) 流量×1.12
	○ (下唐原)	
32. 犬丸川	今津大橋	流量=山国川流量×0.058
33. 伊呂波川	高津橋	流量=山国川流量×0.090
34. 駅館川	小松橋	流量=山国川流量×0.85
35. 奇藻川	浮殿橋	流量=山国川流量×0.16
36. 桂川	えびす橋	流量=山国川流量×0.28
37. 伊美川	古町	流量=山国川流量×0.39
		桂川境界～国東町深江の南の尾根 (186.3 km ²)

Riverine inputs of fresh water, total nitrogen and total phosphorus into the Seto Inland Sea.

Tamiji YAMAMOTO, Tomoaki KITAMURA and Osamu MATSUDA

*Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University,
Higashi-Hiroshima 739, Japan*

Riverine inputs of fresh water, total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) into the Seto Inland Sea were estimated using reported values of flow rate and N, P concentrations at the lower points of rivers during 1990 to 1992. TN and TP loadings along with the fresh water discharge into all regions of the inland sea except Osaka Bay showed the increasing trend in rainy season, whereas these parameters showed no marked seasonal variation in Osaka Bay. Dissolved inorganic nitrogen (DIN) to total nitrogen (TN) ratio of river water ranged 58–76%, but the regional and seasonal variation of the ratio were not clear in the all regions. Average TN/TP ratio of river water was lowest being 24 in Osaka Bay and highest being 92 in Hiuchi Nada. The TN/TP ratio tended to be low in summer and high in winter in most regions except Hishoshima Bay. Total loadings of fresh water, TN and TP into the entire Seto Inland Sea were estimated to be $3.8 \times 10^{10} \text{ m}^3 \text{ yr}^{-1}$, $7.6 \times 10^4 \text{ tonN yr}^{-1}$ and $6.6 \times 10^3 \text{ tonP yr}^{-1}$, respectively. Although the fresh water input into the Osaka Bay was 37% of total input to the entire inland sea, TN and TP loadings to the bay amounted to be 62 and 68%, respectively. This suggests that the effect of riverine input of these eutrophic substances for the coastal marine ecosystem would be severe in Osaka Bay. On the other hand, only less than 1% of total TN and TP were discharged into Hiuchi Nada, Bingo Nada and Aki Nada. On the unit area basis, fresh water input to Bisan Seto was higher than that of Osaka Bay. It is suggested that the seasonal variation of riverine input of TN and TP made clear in the present study would provide useful data to establish the model for presenting material budget among respective regions of the Seto Inland Sea and to relate habitat conditions to nutrient loading rates in future.

Key words: fresh water, load, nitrogen, phosphorus, river, Seto Inland Sea