

的矢湾における主要流入河川の環境特性と湾内の栄養塩濃度への影響

今井 直, 河村章人

Environmental Characteristics of Inflow Rivers and Their Influence to the Water Quality in Matoya Bay, Central Japan

Tadashi IMAI and Akito KAWAMURA

Water quality (salinity, water temperature, and concentrations of chlorophyll *a*, NO₃-N, NO₂-N, PO₄-P and SiO₂-Si) was investigated from July 1996 to September 1997 to clarify environmental characteristics of inflow rivers and the influence of river discharge to the sea water quality in Matoya Bay. The geographical characteristics such as distribution of landform, surface geological feature, surface soil and vegetation in the basin of main inflow rivers (Nogawa, Kamiji and Ikeda Rivers) were also surveyed by documents. Both Nogawa and Ikeda Rivers showed similar concentrations and seasonal variations in NO₃-N and PO₄-P. In this reason, two things were suggested; 1) Nogawa and Ikeda Rivers showed strong similarity in geographical characteristics except vegetation, and 2) Kamiji River receives considerable artificial influence due to controlled low-flow rate at the upstream dam. Kamiji River contributed little to the nutrient enrichment (excluding NO₂-N) in the bay, although the concentrations of NO₃-N and PO₄-P in Kamiji River were the highest among the three rivers. Comparing flow-weighted averages of nutrient concentrations of the three rivers with those of the surface water in the bay, NO₃-N and SiO₂-Si in the rivers were always higher than those in the bay while NO₂-N and PO₄-P in the rivers were sometimes lower. The concentrations of NO₃-N and SiO₂-Si in the bay were strongly correlated with the load quantity from the rivers while NO₂-N and PO₄-P did not show high correlation coefficients. Considering from mixing diagram, it was suggested that NO₃-N and SiO₂-Si in the bay were strongly influenced by the river discharge. On the other hand, NO₂-N and PO₄-P were added from the bottom sediment in the bay through regeneration. It was concluded that both NO₃-N and SiO₂-Si in the bay were strongly loaded from Nogawa and Ikeda Rivers that receive little artificial influence.

Key words: Matoya Bay, river discharge, nutrients, geographical characteristics, artificial influence, regeneration

はじめに

近年、漁業者の間では沿岸漁場の保全策として藻場や干潟などの海洋環境に限らず、森林や河川などの陸上環境の重要性も認識されている(今井ほか, 1998)。特に、河川は森林や生活・産業排水など陸域全般の影響を受けやすく、沿岸環境に与える影響は直接的で大きいと考えられる。また、内湾域の養殖漁場の生産性が低下する一要因として都市・工場排水の流入が指摘されており(本間, 1998)、内湾域を養殖漁場として高度利用していくためには河川水の低次生産環境への影響を明らかにする必要がある。しかしながら、河川と河口・内湾域を一貫した研究を行うには、種々専門分野の学際的な協力を必要とするためにその研究

例は少ない。

河川水の内湾域への影響を解明するためには、まず、流入河川の水質特性を明らかにする必要がある。また、河川上流に流入する森林流出水には基岩や土壌、植生などが作用しており(国松・須戸, 1997)、河川の中・下流域では生活・産業排水といった人為的影響を受けることから、河川の水質特性を把握するには集水域の地理環境も明らかにする必要がある。そこで、本研究では的矢湾における主要流入河川の地理環境と栄養塩濃度の季節変動を明らかにし、河川水の流入と湾内の栄養塩濃度の関係を検討することを目的とした。

試料と方法

1. 調査地の概要

三重県の志摩半島に位置する的矢湾は総面積12.7km²のリアス式内湾で(佐藤, 1958)、湾奥部の伊雑ノ浦には二級

1999年7月5日受付, 2000年6月2日受理

三重大学生物資源学部

Faculty of Bioresources, Mie University, Kamihama-cho, Tsu 514-8507, Japan

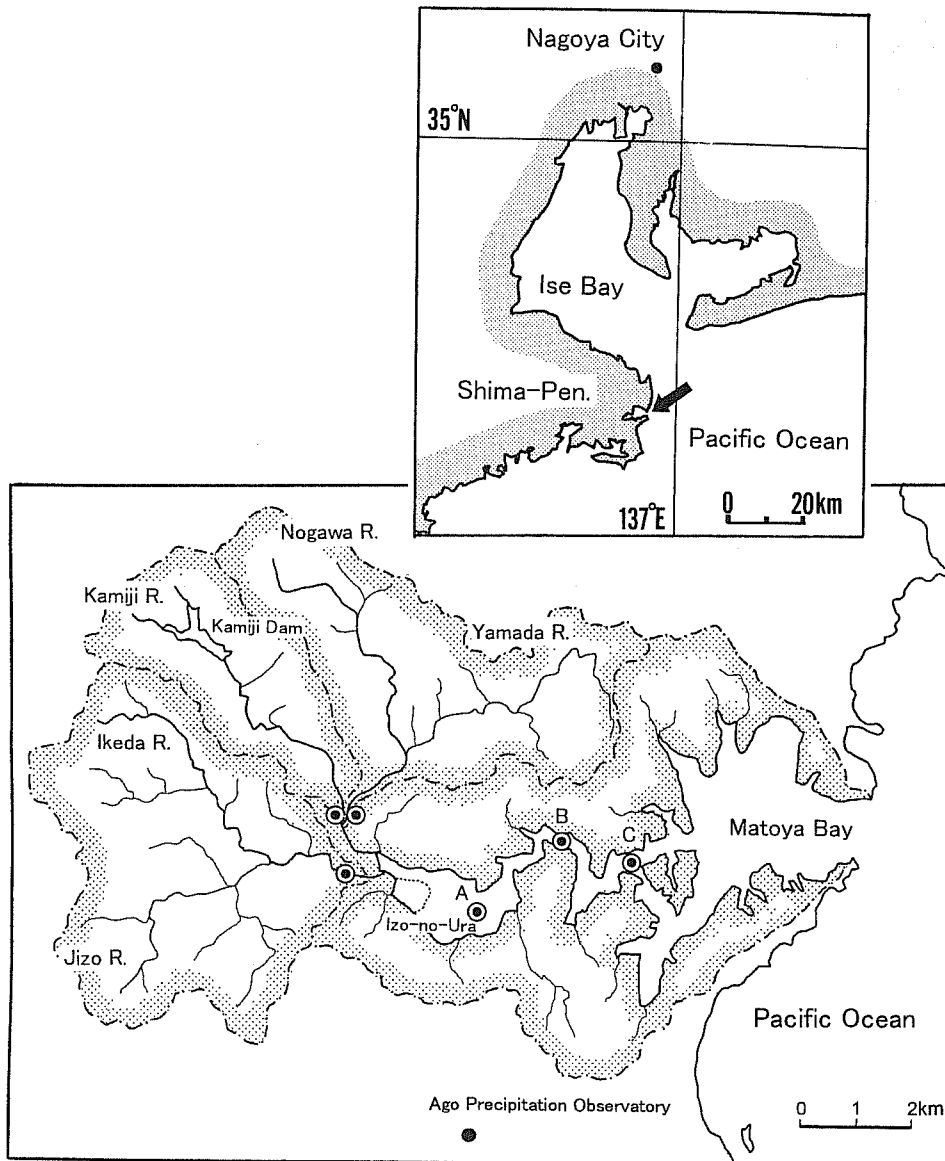


Figure 1. Study area and location of sampling stations in three inflow rivers (Nogawa, Kamiji and Ikeda Rivers) and Matoya Bay. Yamada and Jizo Rivers are tributaries of Nogawa and Ikeda Rivers respectively. The generic name for Nogawa, Kamiji and Ikeda Rivers is Isobe River. Circle with dot indicates sampling station.

河川である野川、神路川、池田川が流入している (Fig. 1)。的矢湾に流入する陸水の78%は野川、神路川および池田川によって供給されることから (佐藤, 1968), 本研究ではこれら3河川を調査の対象とした。また、野川と神路川は下流域で合流して湾奥に流入し、池田川も湾奥に流入することから、三重県の河川系統図では3河川を総称して磯部川としている。したがって、本研究においても3河川を総称して磯部川とした。

2. 調査方法

2-1. 自然地理環境

各河川の流程と集水面積は2万5千分の1地勢図 (国土地

理院, 1990) から求めた。また、集水域の地形、表層地質、表層土壌は20万分の1土地分類図 (国土庁土地局国土調査課, 1975)、植生は5万分の1現存植生図 (環境庁, 1981) を用いて各々の組成を調べた。なお、土地利用別面積の割合は地図を利用分類別に切り取った後に微量天秤で重量を測定し、その重量比を面積比とした。

2-2. 物理化学的環境要因

(1) 河川調査

1996年7月から97年9月にかけて毎月約2回 (合計31回、ただし水温は30回) の頻度で観測調査を行った。調査地点は各河川の下流域1地点とし、橋上から河川中央の表層

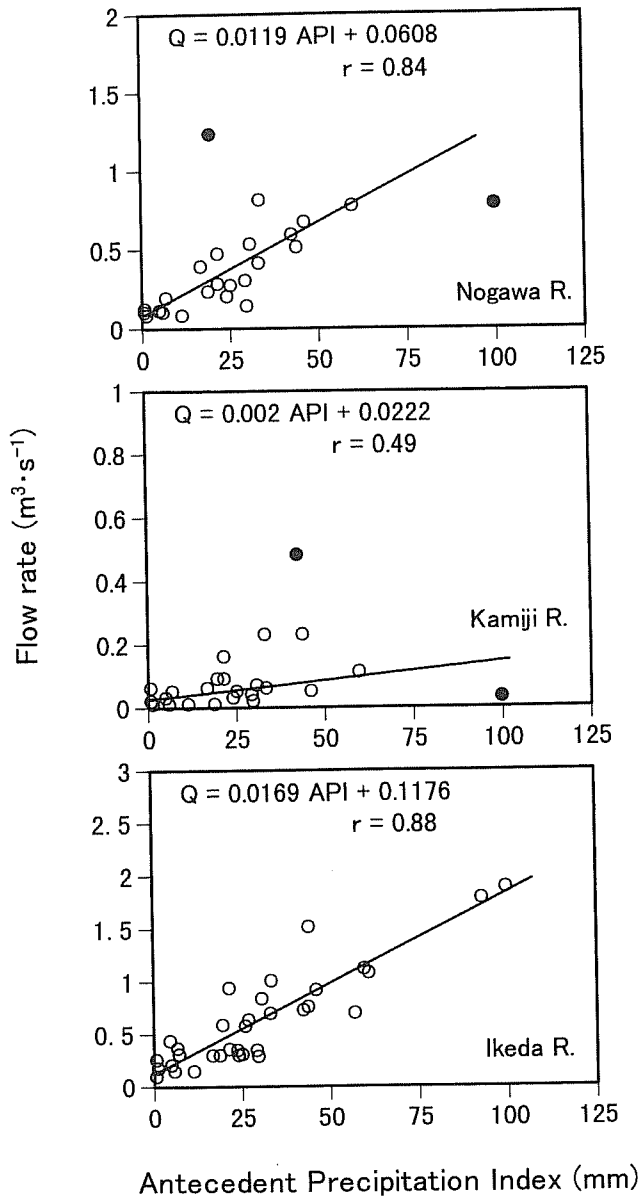


Figure 2. Relationships between flow rate and Antecedent Precipitation Index (API) in the three inflow rivers. Flow rates were based on the data supplied from the Mie Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science. API was calculated from the precipitation observed at Ago Precipitation Observatory. Closed circle indicates excluded data in simple regression analysis.

水をバケツで採取した。

調査項目は、水温、クロロフィル *a* 濃度 (Chl. *a* 濃度)、硝酸態窒素 (NO₃-N)、亜硝酸態窒素 (NO₂-N)、リン酸態リン (PO₄-P) およびケイ酸態ケイ素 (SiO₂-Si) である。アンモニア態窒素 (NH₃-N) は一般に河川水中には少ないとされているので測定は行わなかった。また、栄養塩分析用サンプルは濾過処理をせずに分析まで -20°C 以下で冷凍保存し

た。

水温は棒温度計を用いて現場で測定した。Chl. *a* 濃度はガラス繊維濾紙 (Whatman GF/F) で試水を濾過した後に N,N-ジメチルホルムアミド溶液で色素を抽出し (Suzuki and Ishimaru, 1990), ターナー・デザイン蛍光光度計で測定した。NO₃-N と NO₂-N はオートアナライザー (Technicon AutoAnalyzer II) で測定した。PO₄-P と SiO₂-Si は Parsons *et al.* (1984) に従って比色法により吸光光度計 (HITACHI 101) で測定した。流量は木本ほか (1991) と同様に先行降雨指数 (API) と実測流量 (三重県科学技術振興センター保健環境研究所) の回帰式から推定した (Fig. 2)。なお、API は的矢湾近隣にある阿児地方雨量観測所で観測された降水量から算出した。

(2) 湾内調査

湾内調査は河川調査と同日に行なった。調査地点は3地点 (Sts. A, B, C) とし (Fig. 1), 各地点の3層 (0.5 m, 2.0 m, 4.0 m 層) からバンドン採水器を用いて試水を採取した。なお、各地点の調査時 (1996年8月~97年9月の計27回) の平均水深は、St. A 5.8 ± 0.5 m (Average ± SD), St. B 6.3 ± 0.4 m, St. C 8.6 ± 0.5 m であった。

調査項目は、水温、塩分、Chl. *a* 濃度、NO₃-N、NO₂-N、PO₄-P および SiO₂-Si である。水温と塩分はポータブル CST メーター (アレック電子 ACT20-D2) を用いて現場で測定した。その他の項目の測定方法と試水の処理・保存方法は河川調査と同様に行なった。

結果

1. 河川間の比較

1-1. 自然地理環境

各河川の流程は野川 7.5 km, 神路川 6.5 km, 池田川 8.0 km で神路川が最短であった。また、集水面積は野川 20.6 km², 神路川 11.0 km², 池田川 24.8 km² で神路川が最小であった。集水域の地形は、神路川では山地 (76%), 野川と池田川では山地 (野川: 36%, 池田川: 51.4%) と丘陵地 (57%, 37%) が優占していた (Fig. 3a)。表層地質は、神路川では珪質岩 (67%), 野川と池田川では砂岩・泥岩互層 (52%, 48%) と珪質岩 (32%, 34%) が優占していた (Fig. 3b)。表層土壌は、神路川では褐色森林土壌 (46%) と乾性褐色森林土壌 (36%), 野川と池田川では乾性褐色森林土壌 (71%, 63%) が優占していた (Fig. 3c)。植生は、神路川ではシイ・カシ萌芽林 (49%), 野川ではアカマツ群落 (50%) が優占していたが、池田川では優占種が認められなかった (Fig. 3d)。

1-2. 物理化学的環境

(1) 季節変動

物理化学的環境要因の季節変動が河川間で類似しているのかを時系列変動図 (Fig. 4) とスピアマンの順位相関を用いて検討した。その結果、流量は3河川ともに夏季と秋季に

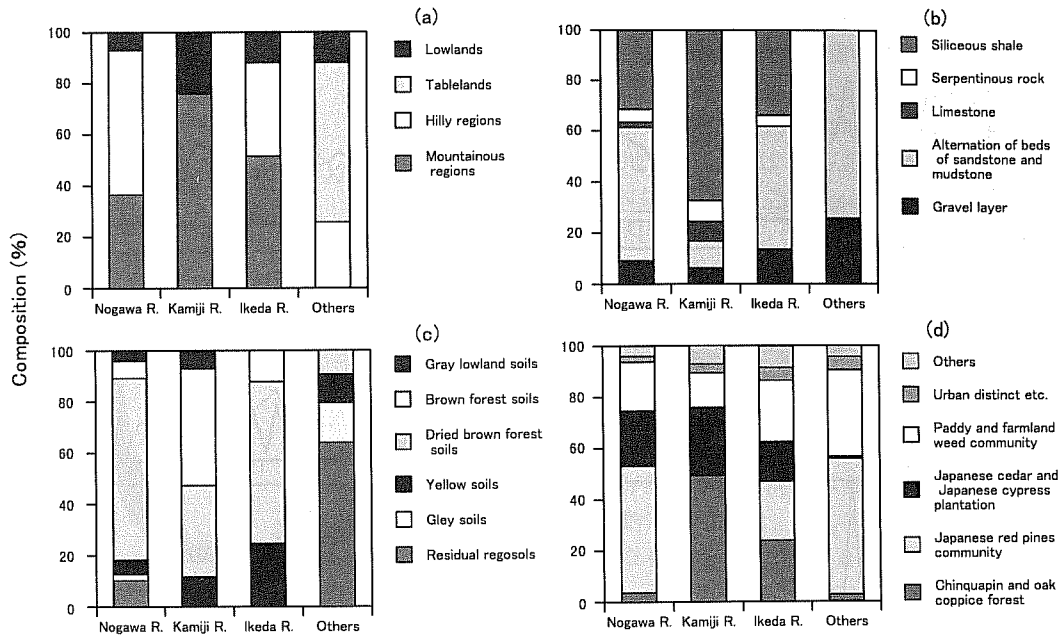


Figure 3. Geographical characteristics of drainage areas (landform (a), surface geological feature (b), surface soil (c) and vegetation (d)) in Nogawa, Kamiji and Ikeda Rivers and other small rivers.

増加したが、神路川の変動範囲は顕著に小さかった。水温は3河川ともに6~32°Cの範囲で類似した変動を示し、すべての河川間で強い相関（順位相関係数： $R_s=0.97\sim 0.99$, $p<0.05$ ）が認められた。Chl.a濃度は、神路川では秋季に最大になり（ $35.5\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ）、冬季と春季には他の2河川よりも高濃度を示した。野川と池田川のChl.a濃度は夏季に $10\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 以上を示し、両河川間で強い相関（ $R_s=0.75$ ）が認められた。NO₃-Nは3河川ともに夏季に低下するが、神路川では冬季と春季に $100\ \mu\text{M}$ 以上を示すのに対して野川では $25\ \mu\text{M}$ 程度、池田川では $40\ \mu\text{M}$ 程度で安定した変動を示した。また、NO₃-Nは野川と池田川の間で強い相関（ $R_s=0.72$ ）が認められた。NO₂-Nは、野川と池田川では一年の大半が $1\ \mu\text{M}$ 以下であるが神路川では $2\ \mu\text{M}$ 以上を示した。また、NO₂-Nは神路川と池田川の間で有意な相関（ $R_s=0.45$ ）が認められた。PO₄-Pは、神路川では冬季に $8\ \mu\text{M}$ 以上を示し、周年他の2河川よりも高濃度を示した。また、野川と池田川のPO₄-Pは周年 $0.5\ \mu\text{M}$ 程度で変動し、両河川間で強い相関（ $R_s=0.56$ ）が認められた。SiO₂-Siは3河川ともに $50\sim 200\ \mu\text{M}$ の範囲で独自の変動を示し、すべての河川間で有意な相関は認められなかった。

(2) 平均値

物理化学的環境要因の平均値（Table 1）が河川間で差があるのかをフィッシャーの多重比較を用いて検討した。その結果、流量は神路川が $0.09\pm 0.07\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ と最も少なく、他の2河川と有意差が認められた。水温は神路川が $19.61\pm 6.42\ ^\circ\text{C}$ と最も高いが、すべての河川間で有意差が認められなかった。Chl.a濃度は神路川が $5.21\pm 6.21\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ と

最も高く、他の2河川と有意差が認められた。NO₃-Nは神路川が $50.30\pm 33.51\ \mu\text{M}$ と最も高いが、すべての河川間で有意差が認められた。NO₂-Nは神路川が $0.99\pm 1.07\ \mu\text{M}$ と最も高く野川が $0.02\pm 0.12\ \mu\text{M}$ と顕著に低かった。また、NO₂-Nはすべての河川間で有意差が認められた。PO₄-Pは神路川が $3.46\pm 2.56\ \mu\text{M}$ と最も高く、他の2河川と有意差が認められた。SiO₂-Siは野川が $114.24\pm 45.00\ \mu\text{M}$ と最も高いが、すべての河川間で有意差は認められなかった。

2. 湾内への負荷量

総負荷量（3河川からの負荷量の総和）の季節変動をFig. 5に示す。Chl.a、NO₃-NおよびSiO₂-Siは夏季と秋季、NO₂-Nは秋季と春季、PO₄-Pは秋季に総負荷量が多くなる傾向が認められた。また、Chl.aのピーク時は神路川、もしくは野川による負荷が大部分を占めていたが、調査時の総負荷量に占める割合は3河川ともに類似していた（野川 $35\pm 16\%$ 、神路川 $24\pm 17\%$ 、池田川 $41\pm 15\%$ ）。NO₃-NとSiO₂-Siは神路川による負荷は少なく、野川と池田川が総負荷量の約90%（NO₃-N $87\pm 9\%$ 、SiO₂-Si $92\pm 4\%$ ）を占めていた。PO₄-Pも神路川による負荷は少ないが、野川と池田川が総負荷量に占める割合はNO₃-NとSiO₂-Siに比べて小さかった（ $68\pm 19\%$ ）。NO₂-Nは野川による負荷は少なく、神路川と池田川が総負荷量の $94\pm 21\%$ を占めていた。

3. 磯部川における流量と負荷量の関係

橋（1993）は比流量—流量（Q）/流域面積（A）—と比成分流出量—負荷量（L）/流域面積（A）—の関係を $L/A=c(Q/A)^n$ （c、nは定数）にあてはめ、 $n>1$ を流量の増加とともに高濃度になる洗い出し型、 $n<1$ を流量の増加とともに低濃度になる

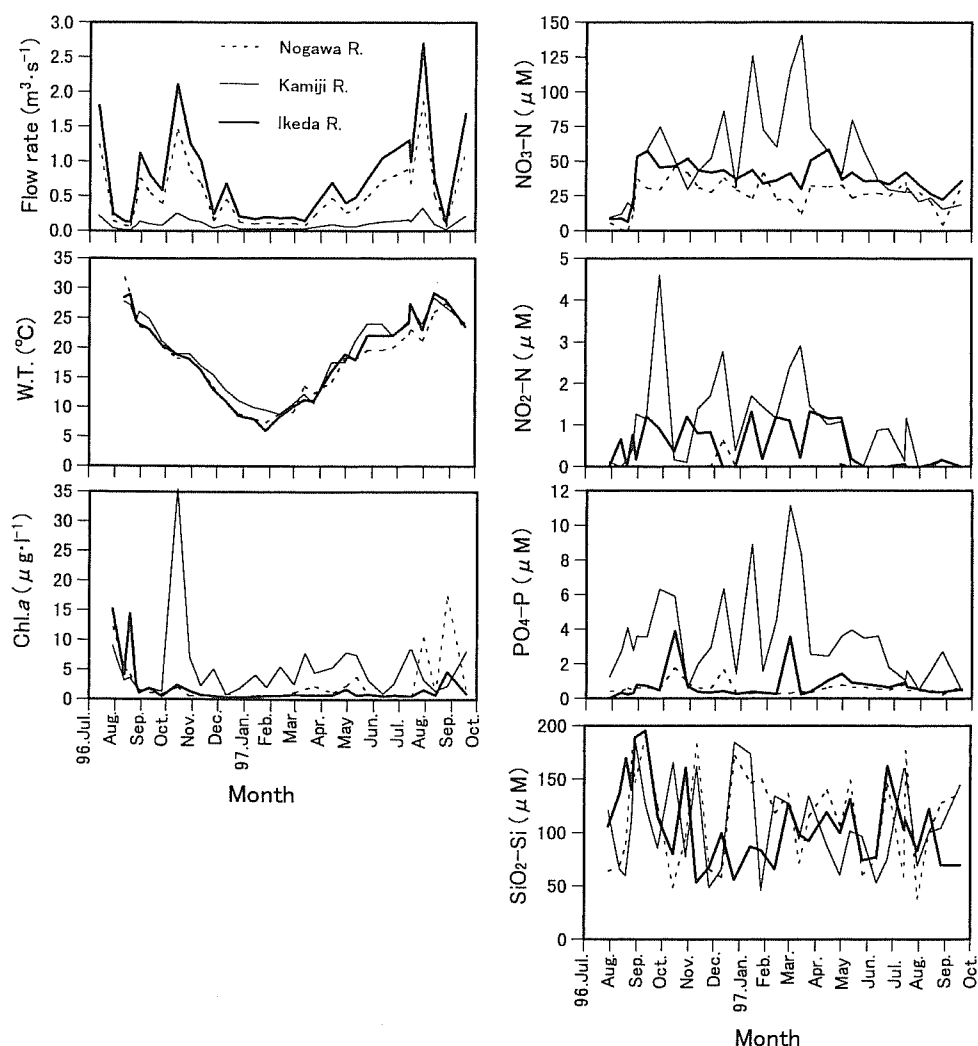


Figure 4. Time-series variations of physicochemical parameters (flow rate, water temperature, chlorophyll *a*, nitrate, nitrite, phosphate and silicate) in the three inflow rivers. Flow rates were estimated from the regression models in Fig. 2.

Table 1. Averages and standard deviations of physicochemical parameters in the three inflow rivers (average±standard deviation).

	Nogawa R.	Kamiji R.	Ikeda R.
Flow rate ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	0.49 ± 0.44	0.09 ± 0.07	0.72 ± 0.62
W.T. ($^{\circ}\text{C}$)	18.39 ± 6.62	19.61 ± 6.42	18.79 ± 7.07
Chl. <i>a</i> ($\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$)	2.62 ± 3.92	5.21 ± 6.21	2.07 ± 3.55
$\text{NO}_3\text{-N}$ (μM)	25.84 ± 11.65	50.30 ± 33.51	36.88 ± 13.06
$\text{NO}_2\text{-N}$ (μM)	0.02 ± 0.12	0.99 ± 1.07	0.48 ± 0.52
$\text{PO}_4\text{-P}$ (μM)	0.61 ± 0.35	3.46 ± 2.56	0.74 ± 0.84
$\text{SiO}_2\text{-Si}$ (μM)	114.24 ± 45.00	109.01 ± 42.96	107.77 ± 38.30

希釈型, $n=1$ を流量に関わらず安定した濃度を示す一定型と区分している。このモデル式を用いて磯部川の流量と負荷量の関係を検討した結果, $n=1.26$ の $\text{NO}_3\text{-N}$ は洗い出し型, $n=0.71$ の $\text{NO}_2\text{-N}$ は希釈型, $n=1.07$ の $\text{PO}_4\text{-P}$ と $n=1.00$ の $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は濃度一定型と判断された (Fig. 6).

4. 河川水の流入と湾内の栄養塩濃度

4-1. 湾表層における栄養塩類の時空間変動

磯部川 (3 河川の流量の加重平均) と湾表層 (0.5 m 層) における時空間変動図を Fig. 7 に示す。 $\text{NO}_3\text{-N}$ は周年湾内よりも河川で高濃度を示し, 夏季と秋季の低塩分時には高濃度の水塊が湾口に近い St.C にまで及んでいた。 $\text{NO}_2\text{-N}$ は春季と夏季および 97 年秋季において河川よりも湾内で高濃度を示す場合が認められた。 $\text{PO}_4\text{-P}$ は夏季と秋季において河川よりも湾内で高濃度を示す場合が認められた。 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は一年の大半が湾内よりも河川で高濃度を示し, 夏季と秋

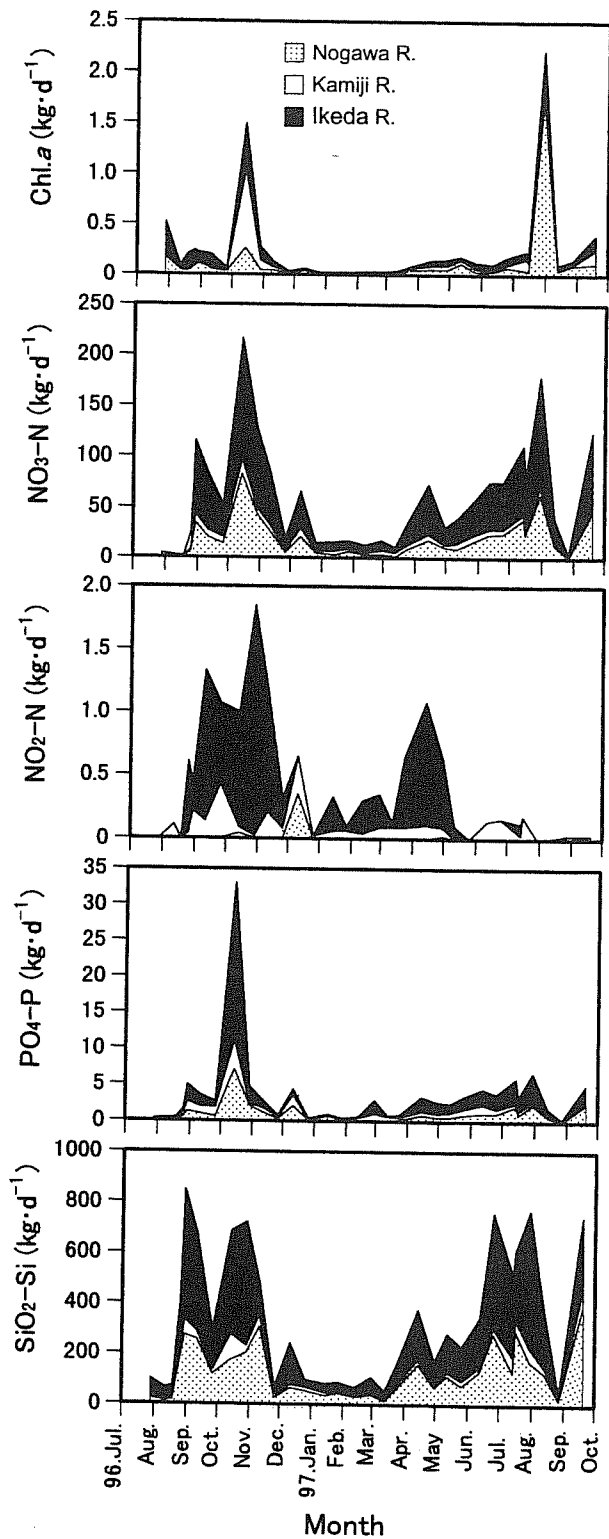


Figure 5. Time-series variations of the load quantities of chlorophyll *a* and nutrients (nitrate, nitrite, phosphate and silicate) to Matoya Bay by the three inflow rivers.

季の低塩分時には高濃度の水塊がSt.Cにまで及んでいた。

4-2. 総負荷量と湾内の栄養塩濃度の関係

総負荷量と湾内の栄養塩濃度の関係をスピアマンの順位相関を用いて検討した (Table 2). その結果, $\text{NO}_3\text{-N}$ は河口に近い地点の表層ほど負荷量と強い相関が認められた. $\text{NO}_2\text{-N}$ はSts.A, Bの0.5m層とSt.Cの2.0m層で負荷量と有意な相関が認められたが, 相関係数は0.40~0.42と小さかった. $\text{PO}_4\text{-P}$ はSt.Cのみで負荷量と有意な相関が認められた. $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は3地点ともに表層で負荷量と強い相関を示し, St.Aの0.5m層で最も強い相関 ($R_s=0.62$) が認められた.

4-3. 湾内における栄養塩類の挙動

栄養塩類の成分相関図をFig. 8に示す. $\text{NO}_3\text{-N}$ はSt.A-C間で保存的な挙動 (河川水との希釈混合のみで濃度が決定する挙動) を示した. $\text{NO}_2\text{-N}$ はSt.A-C間の2.0m層以浅で保存的な挙動を示すが, 4.0m層では付加作用 (河川以外の負荷) が認められた. $\text{PO}_4\text{-P}$ はSt.A-C間で非保存的な挙動を示し, St.Aの2.0m層以深において付加作用が認められた. $\text{SiO}_2\text{-Si}$ はSt.Aの2.0m層以深において若干の付加作用が認められたが, St.A-C間でほぼ保存的な挙動を示した.

考察

1. 河川水の窒素・リンと陸上環境

各河川の $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度および季節変動は野川と池田川で類似しており, 神路川のみが異なっていた (Table 1, Fig. 4). このように, 3河川は隣接しているにもかかわらず神路川で異なる濃度と季節変動を示すのは, ①集水域の自然地理環境が異なること, ②集水域からの負荷量が異なる, もしくは負荷量に対する希釈率が異なること, ③ダムによる影響の3点が原因に考えられる.

1-1. 自然地理環境の影響

一般に, 河川での硝化・脱窒作用は河床の微生物によって行われ (津野, 1990), 河川水中の $\text{PO}_4\text{-P}$ は流下に伴い懸濁物に吸着除去される (海老瀬, 1988). したがって, 河川水の滞留時間が長いほど $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ は低濃度になり, 流程や地形が類似した河川であれば同様の季節変動を示すと考えられる. また, 土壌中の $\text{NO}_3\text{-N}$ は森林・土壌条件によって大きく異なることから (平田・村岡, 1988), 土壌や地質も河川水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ に影響すると考えられる. 各河川の流程は神路川が最短で, 野川と池田川の流程, 地形, 表層土壌および表層地質は類似していた (Fig. 3a-c). したがって, 河川水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ はこれら自然地理環境を反映している可能性が考えられる.

植生の水質への影響としては, 集水域に広葉樹林が多くなると $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ は低濃度になり (浜端, 1989), $\text{NO}_3\text{-N}$ は広葉樹林よりもヒノキ林で高濃度を示すこと (岩坪・堤, 1968) が指摘されている. 神路川でスギ・ヒノキ植生の占める割合は26.6%と他の2河川よりも大きい

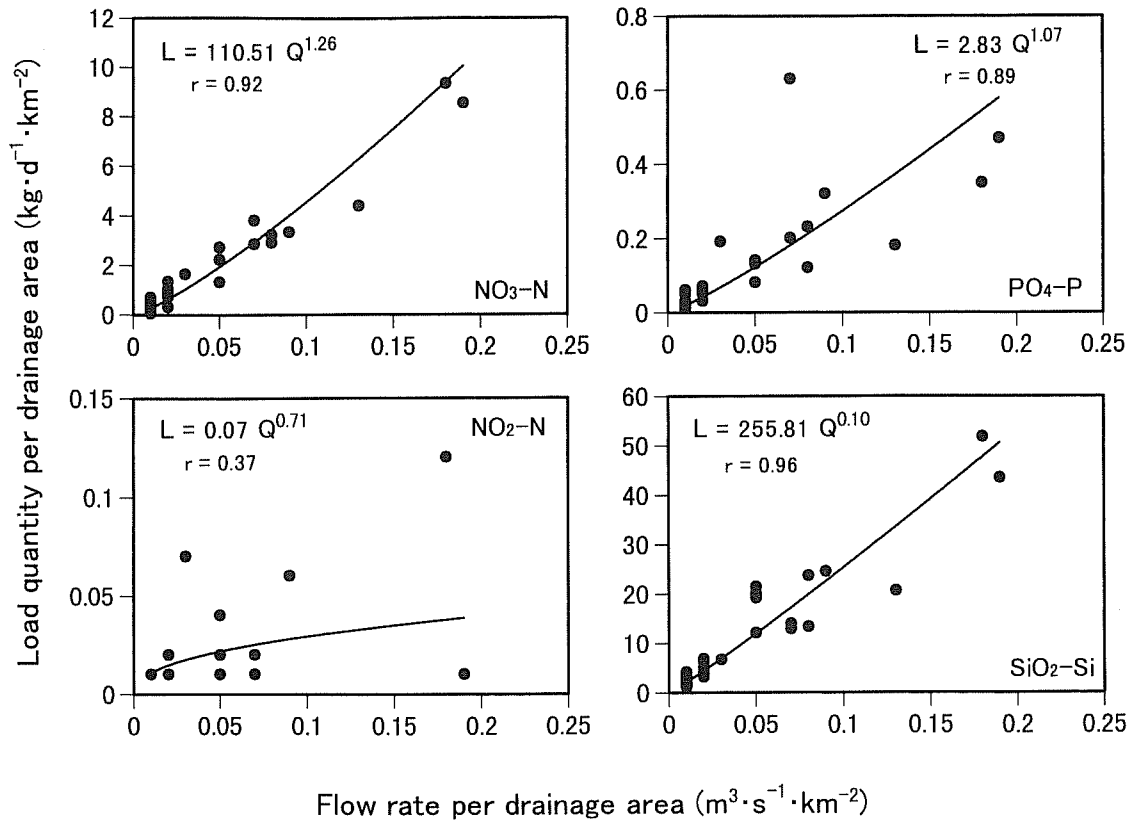


Figure 6. Loading characteristics of nutrients in relation to fresh water input in Isobe River. The load quantities of nutrients and flow rate in Isobe River are the total of the three inflow rivers.

(Fig. 3d), 広葉樹林であるシイ・カシ萌芽林の割合も神路川が最も大きかった (49.2%)。また、植生は各河川で異なる組成を示すことから (Fig. 3d), 本研究域では植生の違いは河川水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ の濃度と季節変動に反映されていないと考えられる。

1-2. 集水域からの負荷量と希釈率

既存のデータ (三重県科学技術振興センター保健環境研究所) をもとに各河川の単位面積当たりの原単位負荷量を求めると、窒素、リンともに3河川で類似していた (Table 3)。また、便宜的に希釈率を流量と負荷量の比と定義すると、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の希釈率は神路川で小さいが $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$ は3河川ともに類似していた (Table 3)。このことから、神路川の $\text{PO}_4\text{-P}$ が高濃度であるのは希釈率が原因であるが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は負荷量や希釈率以外の条件が原因と考えられる。

1-3. ダムの水質への影響

神路川の実測流量は API と強い相関が認められなかった (Fig. 2)。また、神路川の集水面積は野川の約 0.5 倍であるのに対して流量は約 0.2 倍と小さかった。このことから、神路川では本来流出すべき雨水の大半がダム湖内に貯留されており、そのためにダム下流域が低流量に維持されていると考えられる。

神路川のダム上流域には産業・生活系の汚濁源がないこ

とから (朝倉ほか, 1985), 人為的負荷はダム下流域に集中しているといえる。また、神路川の窒素負荷源は主に山林であるが、リンは山林と同様に人為的負荷も多い (Table 3)。したがって、神路川の窒素は主にダム上流域で負荷されるが、リンはダム下流域でも多く負荷されると考えられる。さらに、実測負荷量と原単位負荷量の比をみると、窒素は神路川で小さいがリンは窒素ほど大差が認められなかった (Table 3)。このことは、神路川の窒素は河川系内に貯留されるが、リンは他の2河川と同様に湾内へ流出することを意味している。つまり、神路川の窒素は主にダム上流域の山林から負荷されるためにその多くがダム湖内に貯留されるが、人為的負荷も多いリンはダム下流域でも多量に負荷されるために他の2河川と同様に河川系外に流出していると考えられる。

河川水の Total-N: $\text{PO}_4\text{-P}$ 比は人為的影響が強い河川ほど小さくなることが知られている (富野・吉岡, 1988)。各河川の $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$: $\text{PO}_4\text{-P}$ 比の平均値は野川 47.6 ± 25.7 、神路川 18.8 ± 11.9 、池田川 81.4 ± 54.8 となり神路川が顕著に小さかった。また、神路川における窒素とリンの人為的負荷の割合は他の2河川よりも比較的大きいことから (Table 3), 神路川は人為的影響を受けやすい河川といえる。さらに、神路川の $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ は $\text{NO}_2\text{-N}$ と類似した季節変動

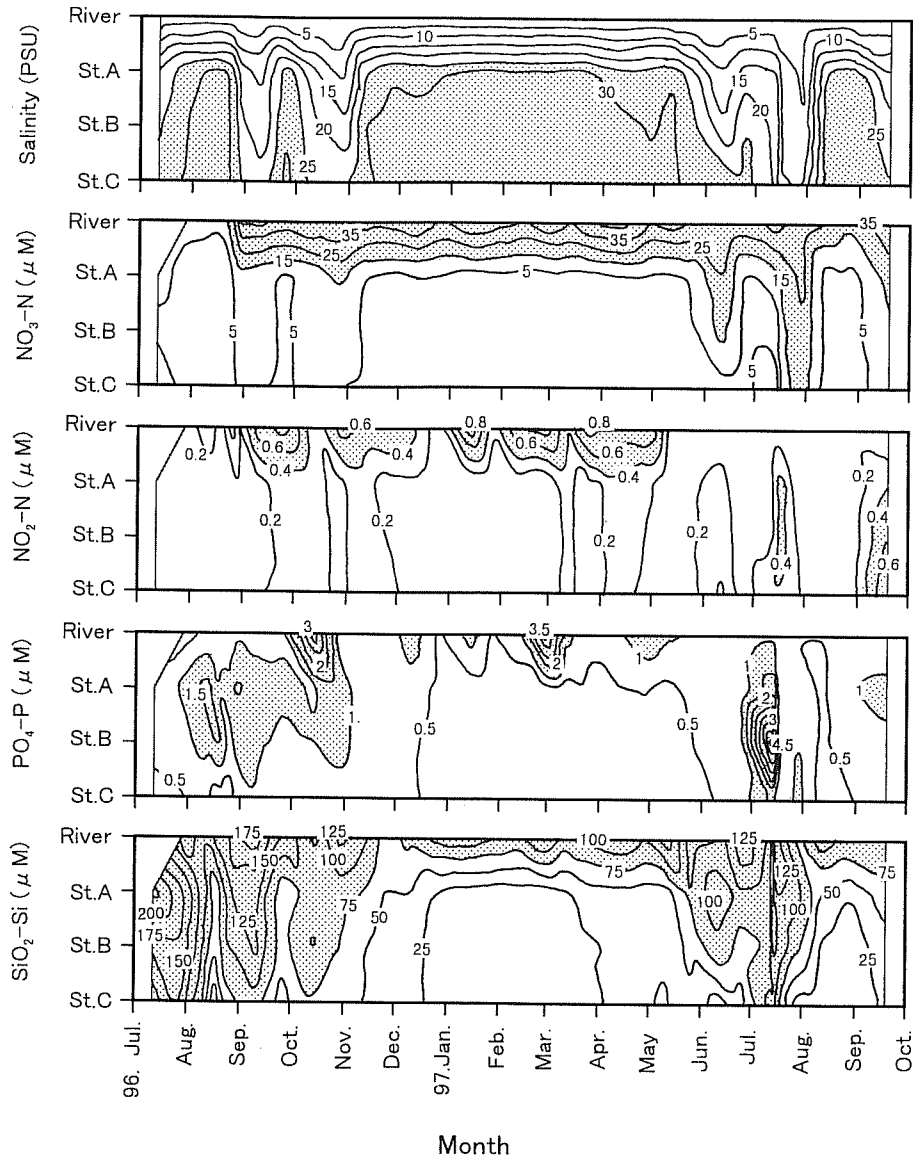


Figure 7. Time-series horizontal distributions of salinity and nutrients at surface waters in Matoya Bay. Shaded portion indicates high salinity and high nutrients.

を示し、ピーク時に他の2河川よりも高濃度を示した (Fig. 4)。河川水中の $\text{NO}_2\text{-N}$ は主に人間活動に由来すること (浜端, 1989) を考慮すると、神路川の $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ は人為的影響を強く受けたときに他の2河川よりも高濃度になると考えられる。

以上のことから、神路川の $\text{PO}_4\text{-P}$ が他の2河川と異なる濃度と季節変動を示すのは、自然地理環境が異なることと、ダムにより流量が低下した下流域に人為的負荷が集中していることが原因と考えられる。また、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が神路川で異なるのは、自然地理環境が異なること、山林起源の窒素がダム湖内に貯留されること、および人為的影響を反映しやすいことが原因と考えられる。

2. 河川水の $\text{SiO}_2\text{-Si}$ と陸上環境

$\text{SiO}_2\text{-Si}$ は雨水中にはほとんど含まれず (島田ほか, 1992)、人間活動によっても負荷されないことから (西村, 1983)、集水域の地質や土壌条件を最も反映しやすい成分といえる。しかしながら、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は3河川ともに類似した濃度を示し (Table 1); 季節変動も各河川で異なっていた (Fig. 4)。金子 (1998) は、近畿地方の渓流水中の $\text{SiO}_2\text{-Si}$ が地質によって変わらない理由として、一般的な岩石中の $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は溶出しにくいことと、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ の含有量は岩石によって大差がないことを挙げている。本研究域においても、 $\text{SiO}_2\text{-Si}$ が自然地理環境の違いを反映しないのは同様の理由が考えられる。

Table 2. Result of Spearman's rank correlation analysis between load quantity from Isohe River and concentration of nutrients in Matoya Bay. The load quantities of nutrients in Isohe River are the total of the three inflow rivers. Shaded portion indicates significant ($p < 0.05$).

		St.A	St.B	St.C
NO ₃ -N	0.5m	0.78	0.69	0.64
	2.0m	0.79	0.57	0.62
	4.0m	0.72	0.57	0.36
NO ₂ -N	0.5m	0.42	0.41	0.32
	2.0m	0.22	0.31	0.40
	4.0m	0.12	0.31	0.12
PO ₄ -P	0.5m	0.35	0.33	0.60
	2.0m	0.25	0.31	0.49
	4.0m	0.28	0.19	0.49
SiO ₂ -Si	0.5m	0.62	0.43	0.50
	2.0m	0.43	0.37	0.40
	4.0m	0.38	0.35	0.43

3. 湾内の栄養塩類への影響

NO₃-NとSiO₂-Siは湾内よりも河川で常に高濃度を示し (Fig. 7), 湾表層で河川からの負荷量と強い相関が認められた (Table 2). また, 湾内で保存的な挙動を示すことから (Fig. 8), 的矢湾におけるNO₃-NとSiO₂-Siは流入河川の影響を強く受けているといえる. 特に, 磯部川のNO₃-Nは流量の増加とともに高濃度になる成分であることから (Fig. 6), 湾内への影響は大きいと考えられる. 一方, NO₂-NとPO₄-Pは河川からの負荷量と強い相関が認められず (Table 2), 時折, 河川よりも湾内で高濃度を示した (Fig. 7). さらに, NO₂-NとPO₄-Pは湾底層からの付加作用が認められ (Fig. 8), 溶存酸素量が低下する夏季の底層で高濃度を示すことから (今井ほか, 1999), 流入河川と同様に湾底泥からの供給も大きく寄与していると考えられる. また, NO₂-Nは流量の増加とともに低濃度になる成分であり (Fig. 6), 湾2.0m層以浅で塩分と正の相関関係を示すことから (Fig. 8), 河川水の流入は湾表層のNO₂-Nを低濃度に希釈する効果もあることが示唆された.

以上のことから, 的矢湾におけるNO₃-NとSiO₂-Siの濃度と季節変動は人為的影響が比較的小さい野川と池田川の影響を強く受けているが, NO₂-NとPO₄-Pは植物プランクトンによる消費や湾底泥での再生といった河川以外の影響も大きく関与していることが示唆された. しかしながら, 本研究は毎月2回程度の観測調査であるため, 高流量時における河川の水質特性を正確に把握しているとはいえない. また, 人間活動を由来とするNO₂-N (浜端, 1989) が

Table 3. Estimated and actual load quantities, and dilution rates in the three inflow rivers. The estimated load quantity of Total-N and Total-P were supplied from the Mie Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science. The actual load quantity of nitrate plus nitrite and phosphate were calculated in this study. Parenthesis indicates relative load quantity. Dilution rate was defined as a flow rate ($m^3 \cdot s^{-1}$) per actual load quantity ($kg \cdot d^{-1}$). For flow rate see Table 1.

		Estimated load quantity ($kg \cdot d^{-1}$)						Total estimated load quantity per drainage area ($kg \cdot d^{-1} \cdot km^{-2}$)	Actual load quantity ($kg \cdot d^{-1}$)	Actual load quantity per total estimated load quantity	Dilution rate
		paddy	orchard	residential land	forest	population	Total				
Nitrogen	Nogawa R.	2.92 (11.5)	4.66 (18.3)	1.10 (4.3)	13.27 (52.1)	3.52 (13.8)	25.47 (100)	1.24	14.58	0.57	0.03
	Kamiji R.	1.09 (6.4)	3.45 (20.3)	0.40 (2.3)	8.26 (48.5)	3.83 (22.5)	17.03 (100)	1.55	2.44	0.14	0.04
	Ikeda R.	8.32 (19.8)	11.54 (27.5)	1.98 (4.7)	14.49 (34.5)	5.68 (13.5)	42.01 (100)	1.69	25.66	0.61	0.03
Phosphorus	Nogawa R.	0.16 (6.3)	0.06 (2.4)	0.04 (1.6)	1.33 (52.2)	0.96 (37.6)	2.55 (100)	0.12	0.82	0.32	0.60
	Kamiji R.	0.06 (3.0)	0.05 (2.5)	0.01 (0.5)	0.83 (41.7)	1.04 (52.3)	1.99 (100)	0.18	0.43	0.22	0.21
	Ikeda R.	0.44 (12.0)	0.15 (4.1)	0.07 (1.9)	1.45 (39.6)	1.55 (42.3)	3.66 (100)	0.15	1.65	0.45	0.44

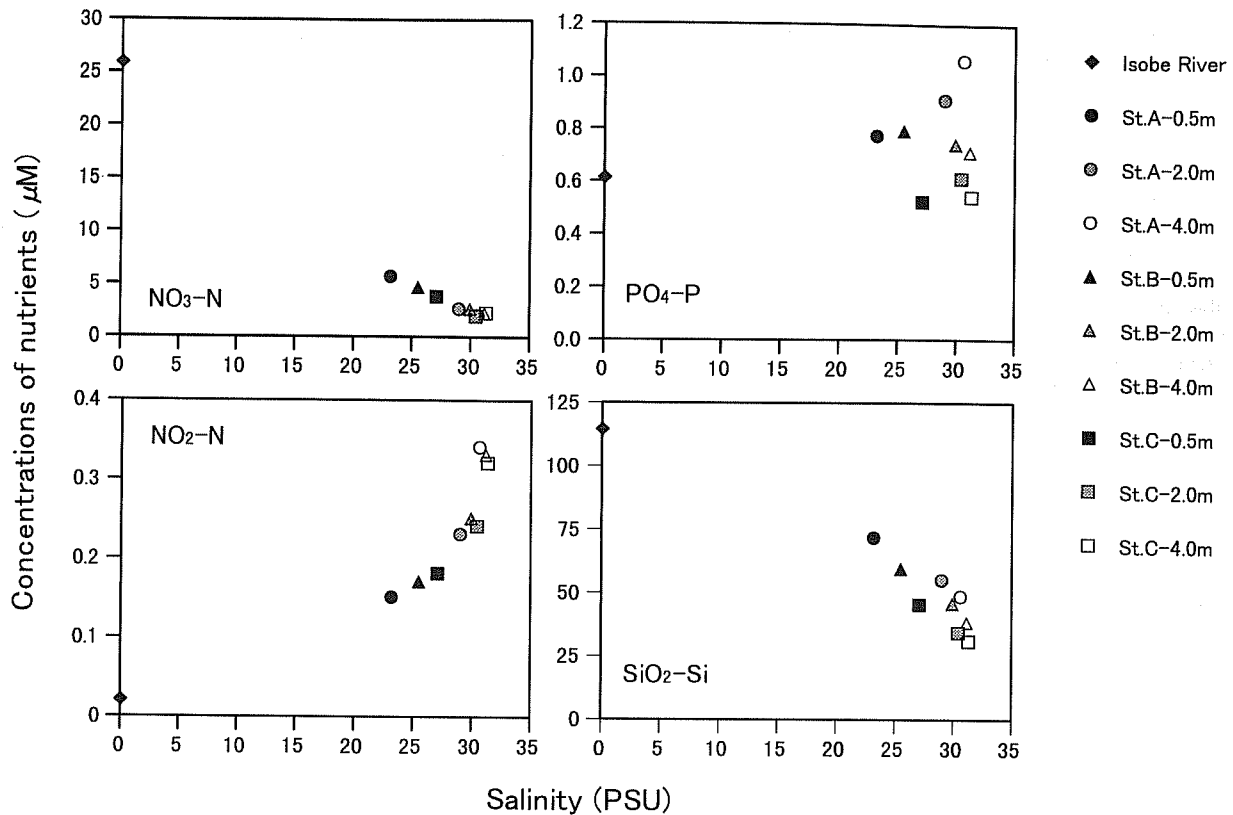


Figure 8. Mixing diagrams of nutrients in Isobe River and Matoya Bay. Salinity and concentration of nutrients in the bay are average of all data during the study period. The data for Isobe River is flow-weighted average of the three inflow rivers.

比較的高濃度であったことから、河川による $\text{NH}_4\text{-N}$ の負荷も無視できないと考えられる。したがって、今後は $\text{NH}_4\text{-N}$ を含めた出水期における河川水質の短期変動についても調査を行う必要がある。

謝辞

三重県科学技術振興センター保健環境研究所の地主昭博氏には流量と原単位負荷量のデータを提供していただいた。三重大学の関口秀夫教授と谷村篤助教授には本研究を進めるにあたり多くのご指導をいただいた。的矢湾養蠺研究所の太原英生副所長と元研究員の結城勝久氏、ならびに三重大学生物資源学部水圏生態学研究室の方々には観測調査にご協力をいただいた。同大学の田中雅史教授には流量解析に関してご教示をいただいた。同大学の田口和典博士には化学分析のご指導をいただいた。同大学の石川輝博士と基礎生産学研究室の方々には栄養塩の分析にご協力をいただいた。同大学の岩城俊昭博士には観測機器の便宜をいただいた。上記の皆様へ深く感謝の意を表します。また、有益なご意見をいただいた2名の校閲者と愛知県水産試験場の鈴木輝明氏に感謝の意を表します。なお、本研究の一部は文部省科学研究費補助金（課題番号10660177）の援助に

より行われたものである。

引用文献

- 朝倉章夫・河合 博・遠藤晃平 (1986) 神路ダム富栄養化対策調査—II. 昭和60年度三重県水産技術センター研究報告, pp. 111-113.
- 海老瀬潜一 (1988) 流下過程の水質変化の物質収支法. 国立公害研究所研究報告, **116**, 99-110.
- 浜端悦治 (1989) 流域・水質評価モデル. 河川汚濁のモデル解析 (國松孝男・村岡浩爾編), 技法堂出版, pp. 185-193.
- 平田建正・村岡浩爾 (1988) 渓流水質から見た森林の浄化機能に関する研究 (第3報) 溶存物質の流出機構. 国立公害研究所研究報告, **116**, 53-74.
- 本間昭郎 (1998) 無給餌養殖場. 沿岸の環境圏 (平野敏行監修), フジ・テクノシステム, pp. 651-661.
- 今井 直・須田有輔・町井紀之 (1998) 沿岸漁業生産における湿地環境の重要性に対する漁業者の認識. 日本沿岸域学会論文集, **10**, 53-63.
- 今井 直・太原英生・河村章人 (1999) 養殖漁場としての的矢湾の低次生産環境特性. 三重大生物資源学紀要, **23**, 1-12.
- 岩坪五郎・堤 利夫 (1968) 森林内外の降水量の養分量について. 京大演報, **40**, 140-155.
- 金子真司 (1998) 近畿地方における渓流水の広域調査—渓流水質にかかわる要因について—. 水利科学, **239**, 35-55.
- 木本凱夫・加治佐隆光 (1991) 浮島の森の水質環境調査. 新宮蘭沢浮島植物群落調査報告書 (新宮蘭沢浮島植物群落調査委員会

- 編), 和歌山県新宮市, pp. 43-61.
- 国松孝男・須戸 幹 (1997) 林地からの汚濁負荷とその評価. 水環境学会誌, **20**, 810-815.
- 西村雅吉 編 (1983) 海洋化学—化学で海を解く—. 産業図書, 東京, 286 pp.
- Parsons, T. R., Y. Maita and C. M. Lalli (1984) A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.
- 佐藤忠勇 (1958) 的矢湾養蠔研究所研究報告—的矢湾における真珠養殖の実態, 特に仕上漁場としての海況について—. 的矢湾養蠔研究所, **1**, 72 pp.
- 佐藤忠勇 (1968) 的矢湾養蠔研究所—その歴史及び現在, 並に的矢湾の海洋学的特性について—. 日本プランクトン学会報, **15**, 20-37.
- 島田緑子・大手信人・徳地直子・鈴木雅一 (1992) 山地小流域における地下水・渓流水のSiO₂濃度形成. 水文学会誌, **5**, 3-11.
- Suzuki, R. and T. Ishimaru (1990) An improved method for the determination of phytoplankton chlorophyll using N,N-Dimethylformamide. J. Oceanogr. Soc. Jap., **46**, 190-194.
- 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.
- 富野孝生・吉岡龍馬 (1988) びわ湖流入河川水における窒素および燐栄養塩の季節変化. 三重大学環境科学研究紀要, **12**, 3-11.
- 津野 洋 (1990) 河川における自然浄化機構と水理モデル. 自然の浄化機構 (宗宮功編), 技報堂出版, 東京, pp. 87-95.