

木曾三川河口部および北伊勢湾における

栄養塩類の研究 (第1報)

三川による硝酸, アンモニア, 亜硝酸及び
磷酸塩類の伊勢湾への供給量について

小林 純・春名幸子・服部浩子

緒 言

河川に溶解して海に運び込まれる栄養塩類は、あたかも農作物に対する肥料と同様に、河口沿岸の生物資源の増殖をうながし、水産業に対して大きな貢献をもたらす。

木曾三川* は長野、岐阜、愛知、三重、滋賀の五県を流域に持ち、四国の半分以上にあたる9,100平方キロメートルの流域を有する我が国でも有数の大河川である。しかもこれら三川は、源こそ遠く離れているが、それらの沖積地である広大な濃尾平野を貫流してからは、殆んど同一地点に集まって、伊勢湾北部に注ぐ。三川の水量は年間約200億トンに達し、日本の三大河川といわれる利根川、信濃川、石狩川のどの一つに比べても水量がはるかに多い。だから木曾三川の流入は、伊勢湾の海苔、貝、魚などの漁場に対し、養分補給の面で大きな役割を果していることが考えられる。

本報では三川から伊勢湾に供給される窒素と磷の概略の量を把握する目的で、三川下流部を選んだ6ヶ所の採水場所で、9ヶ月余の間に18回の採水を行ない、 $6 \times 18 = 108$ 本の試水を分析して得た結果を報告する。

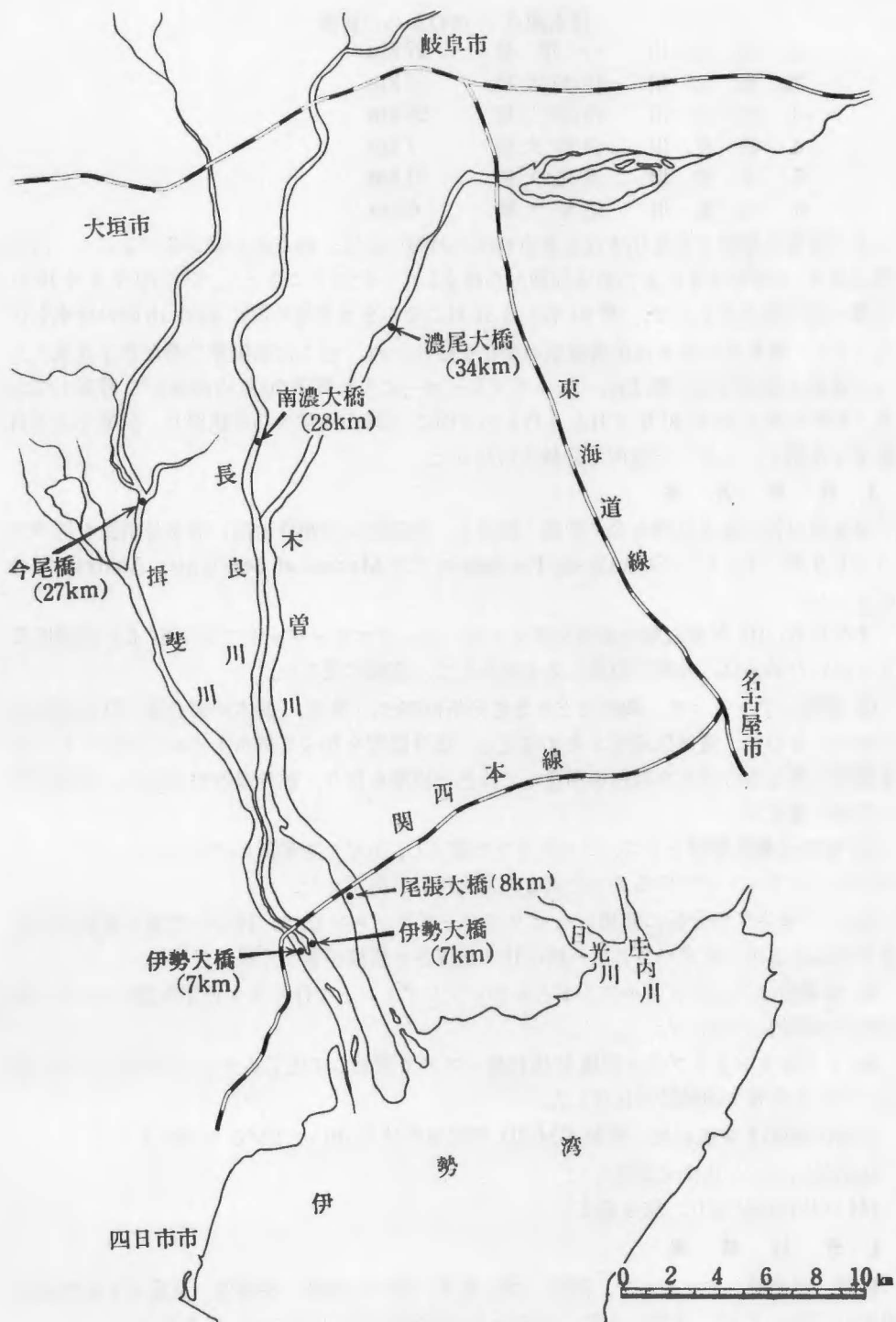
本研究は著者らが木曾川水系河口資源調査団(団長 信州大学繊維学部長 小泉清明博士)の水質班として実施した環境調査の一部であって、建設省中部地方建設局、同木曾川下流工事事務所から、研究費、分析場所、その他調査に必要な便宜を与えられたことを記して感謝する。

採水、分析およびその結果

1. 試水の採取と貯蔵

採水場所としては、次表の通り、三川下流部のうち海水の混入しない場所と、海水の影響を受ける、いわゆる感潮水域との2カ所ずつ、計6カ所を選んだ。

* 木曾、長良、揖斐の三川を一般に木曾三川と呼ぶ。



第 2 図 調 査 地 点 () 内は河口からの距離

| | 採水地点 | 河口からの距離 |
|----|----------|---------|
| 1. | 揖斐川 今尾橋 | 27 km |
| 2. | 揖斐川 伊勢大橋 | 7 km |
| 3. | 長良川 南濃大橋 | 28 km |
| 4. | 長良川 伊勢大橋 | 7 km |
| 5. | 木曾川 濃尾大橋 | 34 km |
| 6. | 木曾川 尾張大橋 | 8 km |

水の採集は建設省木曾川下流工事事務所において、橋上から採水場によって、河川流心部で、水深の1/2にあたる中間層から採水していただくこととし、昭和39年8月15日を第一回の採水日として、翌40年5月31日に至る9カ月半の間に随時18回の採水を行なった*。採取後の試水は栄養塩類の変化を防ぐため、直ちに自動車で桑名市小貝須にあった建設省城南分室に運ばれ、ジープフリーザーに入れ零下20度に冷凍して貯蔵しておき、われわれが昭和40年3月と6月との2回に、岡山大学から分析器具、試薬などを自動車で運搬し、上記の分室内で分析を行なった。

2. 分析 方 法

第2報以後に海水試料を多く取扱い関係上、国際的に信頼性の高い海水分析法を採用するつもりで、主として Strickland, Parsons の “A Manual of Sea Water Analysis”(4) によった。

すなわち、(1) 栄養塩類の変化を防ぐため、ジープフリーザー中で零下20°Cに冷凍貯蔵しておいた試水は、分析の直前に氷を融かして、室温に戻した。

(2) 硝酸、アンモニア、リン酸などの比色分析の際は、陸水、海水の混合率の異なる試水が混在するので、電気伝導度を先ず測定し、塩分濃度を知って試水をグループ分けし、塩分濃度の異なる合成海水数種を用意して比色の標準を作り、塩分濃度の相違による試料間の誤差を補正した。

(3) 硝酸は銅を触媒として、ヒドラジンで還元し、生じた亜硝酸がスルファニルアミドとエチレンジアミンとで作るアゾ色素を光電光度計で測定した。

(4) アンモニアの分析に使用したピリジノーピラゾロン法は、操作が複雑で薬品が高価な不利はあるが、従来のネスラー法に比べ正確さと感度が著しく優れていた。

(5) 亜硝酸はスルファニルアミドとエチレンジアミンとで作るアゾ色素を20センチの比色管で肉眼的に比色した。

(6) リンはリンモリブデン酸塩を塩化第一スズで還元して生じるモリブデンブルーを20センチの比色管で肉眼的に比色した。

電気伝導度は東亜電波工業製 CM-ID 型電導度計を用いて25°Cで測定した。

塩素量はモール氏法で滴定した。

pHは比色法により、塩分補正した。

3. 分 析 結 果

硝酸、亜硝酸、アンモニア、リン酸、pH、塩素、電気伝導度、混濁度(散乱光と紫外線透過度の二法による)、水深、水温、流量などの測定値が第1表に示してある。

* 採水者の都合により多くの場合土曜日に採水が行なわれた。

第 1 表 木曾三川下流部水質分析成績

(1) 揖斐川 今尾橋 河口より27km

| 採水 番号 | 採水 年月日 | 時 分 | 電氣伝導度 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 塩素量 (mg/l) | りん酸 $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l) | 硝酸 $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l) | 亜硝酸 $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l) | アモニウム $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l) | 混濁度 ⁽¹⁾ 散乱光 (mg/l) | 透過度 ⁽²⁾ (%) | pH | 水深 (m) | 水温 (°C) | 採水 日 正午の流量 (M ³ /sec) |
|----------|-----------|--------|--|---------------|---|--|---|---|-------------------------------------|---------------------------|-----|-----------|------------|---|
| 1 | 39. 8.15 | | 170.7 | 4.7 | 0.025 | 0.27 | 0.028 | 0.22 | 12.2 | 80.4 | 7.3 | 0.60 | | 26.7 |
| 2 | 8.23 | | 146.1 | 5.1 | 0.015 | 0.25 | 0.011 | 0.27 | 41.4 | 61.7 | 7.2 | 1.30 | | 72.7 |
| 3 | 9. 2 | | 91.0 | 3.3 | 0.005 | 0.42 | 0.003 | 0.01 | 12.5 | 89.5 | 7.3 | 1.00 | | 47.5 |
| 4 | 9. 5 | | 90.0 | 3.0 | 0.010 | 0.35 | 0.001 | 0.03 | 124.1 | 45.1 | 7.2 | 1.00 | | 72.7 |
| 5 | 9.13 | | 75.9 | 4.5 | 0.000 | 0.13 | 0.000 | 0.00 | 3.0 | 87.6 | 7.0 | 1.50 | | 32.6 |
| 6 | 9.22 | | 143.8 | 5.9 | 0.035 | 0.46 | 0.021 | 0.24 | 34.1 | 67.1 | 7.2 | 1.50 | | 82.9 |
| 7 | 10.10 | | 109.5 | 2.7 | 0.010 | 0.33 | 0.001 | 0.00 | 20.7 | 83.4 | 7.3 | 1.80 | | 67.3 |
| 8 | 10.22 | | 94.2 | 2.3 | 0.010 | 0.34 | 0.000 | 0.02 | 94.8 | 48.1 | 7.2 | 1.60 | | 84.4 |
| 9 | 11.14 | | 110.2 | 2.8 | 0.005 | 0.32 | 0.001 | 0.01 | 16.0 | 86.1 | 7.4 | 1.10 | | 27.5 |
| 10 | 12.12 | | 148.9 | 3.8 | 0.174 | 0.20 | 0.003 | 0.06 | 21.4 | 74.8 | 7.4 | 1.80 | | 58.2 |
| 11 | 40. 1.28 | | 84.2 | 4.1 | 0.005 | 0.20 | 0.001 | 0.07 | 43.0 | 72.3 | 7.2 | 1.10 | | 25.0 |
| 12 | 2.13 | | 74.4 | 3.6 | 0.005 | 0.21 | 0.001 | 0.01 | 53.9 | 63.5 | 7.7 | 1.80 | | 58.2 |
| 13 | 2.20 | | 107.9 | 3.1 | 0.010 | 0.31 | 0.001 | 0.03 | 18.2 | 86.3 | 7.2 | 1.70 | | 58.2 |
| 14 | 4.22 | 11:40 | 68.9 | 3.8 | 0.010 | 0.13 | 0.001 | 0.01 | 33.6 | 80.8 | 7.4 | 1.70 | 10.5 | 129.9 |
| 15 | 5. 1 | 10:40 | 68.1 | 2.6 | 0.010 | 0.19 | 0.002 | 0.00 | 30.2 | 78.3 | 7.4 | 3.20 | 11.5 | 124.4 |
| 16 | 5. 8 | 10:40 | 71.6 | 2.4 | 0.010 | 0.24 | 0.002 | 0.00 | 34.0 | 77.0 | 7.5 | 2.10 | 14.5 | 117.2 |
| 17 | 5.15 | 10:40 | 72.0 | 2.1 | 0.010 | 0.16 | 0.001 | 0.02 | 17.5 | 85.2 | 7.5 | 2.30 | 16.8 | 92.0 |
| 18 | 5.31 | 11:15 | 87.6 | 1.8 | 0.015 | 0.35 | 0.010 | 0.01 | 19.0 | 69.0 | 7.0 | 2.60 | 17.8 | 258.3 |
| 平均 | | | 100.8 | 3.4 | 0.020 | 0.27 | 0.005 | 0.06 | 35.0 | 73.7 | 7.3 | 1.66 | | 79.8 |

(1) 90度の角度に散乱する光を測定し、白陶土の混濁に換算した。

(2) 5 cm セルを使用し、波長 370 ミリクロンの紫外線により測定した。蒸溜水の透過度を 100% とした。

(2) 揖斐川 伊勢大橋 河口より7km

| 採水 番号 | 採水 年月日 | 時 分 | 電気伝導度 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 塩素量 (mg/l) | りん酸 $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l) | 硝酸 $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l) | 亜硝酸 $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l) | アモンニア $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l) | 混濁度 ⁽¹⁾ 散乱光 (mg/l) | 透過度 ⁽²⁾ (%) | pH | 水深 (m) | 水温 (°C) |
|----------|-----------|--------|--|---------------------------------|---|--|---|---|---|---------------------------|-----|----------------------|------------|
| 1 | 39. 8. 15 | 9:30 | 5638 | 1640 | 0.035 | 0.17 | 0.004 | 0.14 | 4.5 | 91.2 | 7.3 | 5.80 | |
| 2 | 8. 23 | 9:30 | 3133 | 859 | 0.020 | 0.08 | 0.003 | 0.16 | 12.2 | 84.7 | 7.7 | 5.00 | |
| 3 | 9. 2 | 14:30 | 16000 | 5060 | 0.025 | 0.27 | 0.006 | 0.21 | 13.0 | 84.5 | 8.5 | 6.00 | |
| 4 | 9. 5 | 9:00 | 586.2 | 120 | 0.030 | 0.15 | 0.011 | 0.15 | 51.7 | 68.1 | 7.2 | 5.30 | |
| 5 | 9. 13 | 9:30 | 16370 | 5170 | 0.045 | 0.28 | 0.011 | 0.13 | 11.7 | 85.1 | 7.7 | 6.00 | |
| 6 | 9. 22 | 9:30 | 1192 | 288 | 0.055 | 0.29 | 0.010 | 0.35 | 52.5 | 60.8 | 7.4 | 8.00 | |
| 7 | 10. 10 | 9:00 | 6529 | 1920 | 0.030 | 0.43 | 0.007 | 0.23 | 13.4 | 85.5 | 7.6 | 7.50 | |
| 8 | 10. 22 | 9:30 | 2925 | 806 | 0.045 | 0.43 | 0.003 | 0.14 | 80.8 | 50.7 | 7.7 | 7.00 | |
| 9 | 11. 14 | 9:00 | 8322 | 2480 | 0.025 | 0.21 | 0.006 | 0.10 | 14.5 | 81.8 | 7.3 | 6.00 | |
| 10 | 12. 12 | 9:00 | 19780 | 6210 | 0.025 | 0.18 | 0.007 | 0.05 | 12.5 | 85.3 | 7.6 | 6.00 | |
| 11 | 40. 1. 28 | 9:30 | 8687 | 2510 | 0.020 | 0.12 | 0.003 | 0.06 | 16.1 | 81.1 | 7.3 | 4.50 | |
| 12 | 2. 13 | 9:30 | 3651 | 1030 | 0.030 | 0.45 | 0.008 | 0.06 | 36.7 | 66.8 | 7.4 | 5.40 | |
| 13 | 2. 20 | 9:00 | 600.5 | 132 | 0.030 | 0.40 | 0.006 | 0.06 | 26.5 | 80.5 | 7.3 | 6.20 | |
| 14 | 4. 22 | 10:20 | 26060 | 8610 | 0.015 | 0.08 | 0.003 | 0.07 | 27.2 | 68.3 | 7.8 | 7.20 | 11.5 |
| 15 | 5. 1 | 10:00 | 118.0 | 7.3 | 0.015 | 0.41 | 0.006 | 0.09 | 39.6 | 73.8 | 7.2 | 6.60 | 12.8 |
| 16 | 5. 8 | 9:30 | 103.9 | 4.7 | 0.030 | 0.45 | 0.004 | 0.08 | 19.0 | 84.0 | 7.1 | 6.70 | 14.3 |
| 17 | 5. 15 | 9:25 | 262.8 | 43.2 | 0.020 | 0.26 | 0.006 | 0.15 | 31.7 | 78.8 | 7.2 | 6.70 | 17.9 |
| 18 | 5. 31 | 10:15 | 120.4 | 6.5 | 0.030 | 0.39 | 0.007 | 0.22 | 46.8 | 63.3 | 7.0 | 7.10 | 18.3 |
| 平均 | | | 6671.0 | 2049.8 | 0.029 | 0.28 | 0.006 | 0.14 | 28.4 | 76.4 | 7.5 | 6.28 | |

(1), (2) 前出

(3) 長良川 南濃大橋 河口より28km

| 採水 番号 | 採水 年月日 | 時 分 | 電気伝導度 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 塩素量 (mg/l) | りん酸 $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l) | 硝酸 $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l) | 亜硝酸 $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l) | アンモニア $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l) | 混濁度 散乱光 (mg/l) | 透過度 (%) | pH | 水深 (m) | 水温 (°C) | 採水日 正午の流量 (M^3/sec) |
|----------|-----------|-------|--|---------------|---|--|---|---|----------------------|------------|-----|-----------|------------|---|
| 1 | 39. 8. 15 | | 111.8 | 5.7 | 0.030 | 0.59 | 0.013 | 0.26 | 5.7 | 88.9 | 7.3 | 1.70 | | 40.8 |
| 2 | 8. 23 | | 117.9 | 6.3 | 0.030 | 0.53 | 0.013 | 0.46 | 6.7 | 84.3 | 7.2 | 2.00 | | 52.3 |
| 3 | 9. 2 | | 104.0 | 5.4 | 0.030 | 0.56 | 0.011 | 0.42 | 10.8 | 86.7 | 7.3 | 1.90 | | 49.9 |
| 4 | 9. 5 | | 123.5 | 6.1 | 0.025 | 0.68 | 0.013 | 0.31 | 7.5 | 87.9 | 7.2 | 2.20 | | 44.1 |
| 5 | 9. 13 | | 130.5 | 5.4 | 0.035 | 0.60 | 0.013 | 0.28 | 5.8 | 89.5 | 7.3 | 1.80 | | 43.0 |
| 6 | 9. 22 | | 77.2 | 2.1 | 0.025 | 0.41 | 0.003 | 0.18 | 22.8 | 78.3 | 7.0 | 4.50 | | 185.5 |
| 7 | 10. 10 | | 103.9 | 4.5 | 0.030 | 0.50 | 0.010 | 0.30 | 5.0 | 90.8 | 7.2 | 2.00 | | 79.4 |
| 8 | 10. 22 | | 100.5 | 4.2 | 0.045 | 0.44 | 0.011 | 0.24 | 6.1 | 91.0 | 7.2 | 2.20 | | 85.5 |
| 9 | 11. 14 | | 114.6 | 5.0 | 0.080 | 0.43 | 0.012 | 0.29 | 7.4 | 86.9 | 7.1 | 1.60 | | 45.2 |
| 10 | 12. 12 | | 126.3 | 5.4 | 0.090 | 0.45 | 0.018 | 0.11 | 13.5 | 83.4 | 7.2 | 1.50 | | 29.9 |
| 11 | 40. 1. 28 | | 135.7 | 10.4 | 0.080 | 0.46 | 0.015 | 0.30 | 9.8 | 84.7 | 7.3 | 1.30 | | 24.6 |
| 12 | 2. 13 | | 127.1 | 8.6 | 0.080 | 0.44 | 0.011 | 0.27 | 7.0 | 88.1 | 7.2 | 1.80 | | 46.4 |
| 13 | 2. 20 | | 109.6 | 3.9 | 0.055 | 0.51 | 0.011 | 0.55 | 9.5 | 85.1 | 7.2 | 1.50 | | 36.7 |
| 14 | 4. 22 | 13:30 | 83.0 | 2.9 | 0.060 | 0.23 | 0.008 | 0.63 | 10.0 | 82.8 | 7.2 | 2.10 | 13.5 | 58.5 |
| 15 | 5. 1 | 11:20 | 77.8 | 2.8 | 0.030 | 0.41 | 0.010 | 0.39 | 8.7 | 85.0 | 7.2 | 2.60 | 13.5 | 130.8 |
| 16 | 5. 8 | 11:10 | 89.0 | 1.4 | 0.025 | 0.49 | 0.011 | 0.51 | 14.0 | 83.3 | 7.1 | 1.80 | 16.3 | 101.8 |
| 17 | 5. 15 | 11:10 | 106.9 | 3.9 | 0.040 | 0.55 | 0.003 | 0.29 | 16.5 | 81.3 | 7.2 | 1.80 | 18.8 | 47.5 |
| 18 | 5. 31 | 11:50 | 79.0 | 2.7 | 0.015 | 0.55 | 0.007 | 0.21 | 19.5 | 76.2 | 6.9 | 3.80 | 18.0 | 393.7 |
| 平均 | | | 106.6 | 4.8 | 0.045 | 0.49 | 0.011 | 0.33 | 10.3 | 85.2 | 7.2 | 2.12 | | 83.1 |

(4) 長良川 伊勢大橋 河口より7km

| 採水 番号 | 採水日時 | | 電気伝導度 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 塩素量 (mg/l) | りん酸 $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l) | 硝酸 $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l) | 亜硝酸 $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l) | アモニウム $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l) | 混濁度 ⁽¹⁾ 散乱光 (mg/l) | 透過度 ⁽²⁾ (%) | pH | 水深 (m) | 水温 (°C) |
|----------|------|-------|--|---------------|---|--|---|---|-------------------------------------|---------------------------|-----|-----------|------------|
| | 年月日 | 時分 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 39. | 8.15 | 9:50 | 684.6 | 0.030 | 0.49 | 0.006 | 0.05 | 3.8 | 93.5 | 7.3 | 7.30 | |
| 2 | 8. | 8.23 | 9:50 | 1203 | 0.020 | 0.47 | 0.011 | 0.11 | 7.7 | 92.5 | 7.6 | 2.50 | |
| 3 | 9. | 9.2 | 14:50 | 15240 | 0.020 | 0.38 | 0.000 | 0.21 | 5.4 | 88.9 | 8.5 | 5.50 | |
| 4 | 9. | 9.5 | 9:30 | 1080 | 0.020 | 0.47 | 0.011 | 0.14 | 16.1 | 86.7 | 7.4 | 3.50 | |
| 5 | 9. | 9.13 | 10:00 | 9100 | 0.025 | 0.33 | 0.011 | 0.11 | 2.9 | 95.1 | 7.3 | 3.50 | |
| 6 | 9. | 9.22 | 10:00 | 182 | 0.025 | 0.63 | 0.008 | 0.11 | 29.7 | 82.4 | 7.1 | 4.50 | |
| 7 | 10. | 10.10 | 9:30 | 446 | 0.020 | 0.50 | 0.006 | 0.11 | 6.9 | 91.8 | 7.2 | 6.50 | |
| 8 | 10. | 10.22 | 10:00 | 543.8 | 0.030 | 0.53 | 0.007 | 0.11 | 24.7 | 77.8 | 7.2 | 6.00 | |
| 9 | 11. | 11.14 | 9:30 | 19200 | 0.020 | 0.20 | 0.008 | 0.07 | 7.7 | 88.3 | 7.6 | 4.50 | |
| 10 | 12. | 12.12 | 9:30 | 12190 | 0.020 | 0.19 | 0.007 | 0.05 | 9.0 | 88.7 | 7.5 | 5.00 | |
| 11 | 40. | 1.28 | 9:50 | 13960 | 0.020 | 0.27 | 0.007 | 0.13 | 12.4 | 81.5 | 7.4 | 4.00 | |
| 12 | 2. | 2.13 | 10:00 | 7780 | 0.020 | 0.49 | 0.010 | 0.14 | 11.5 | 83.6 | 7.3 | 5.00 | |
| 13 | 2. | 2.20 | 9:30 | 774.3 | 0.030 | 0.38 | 0.011 | 0.68 | 17.5 | 82.2 | 7.3 | 3.50 | |
| 14 | 4. | 4.22 | 10:50 | 259.4 | 0.025 | 0.32 | 0.008 | 0.24 | 7.5 | 89.8 | 7.0 | 2.60 | 12.8 |
| 15 | 5. | 5.1 | 9:40 | 87 | 0.010 | 0.52 | 0.006 | 0.06 | 19.9 | 78.2 | 7.1 | 2.80 | 13.0 |
| 16 | 5. | 5.8 | 9:50 | 96.5 | 0.020 | 0.49 | 0.006 | 0.11 | 10.4 | 85.8 | 7.2 | 2.30 | 15.6 |
| 17 | 5. | 5.15 | 9:35 | 680 | 0.020 | 0.54 | 0.011 | 0.23 | 13.5 | 85.0 | 7.2 | 1.60 | 18.7 |
| 18 | 5. | 5.31 | 10:35 | 87.5 | 0.015 | 0.62 | 0.004 | 0.02 | 35.1 | 73.0 | 6.9 | 2.30 | 17.8 |
| 平均 | | | | 4544.1 | 0.021 | 0.43 | 0.008 | 0.15 | 13.4 | 85.8 | 7.3 | 4.05 | |

(1),(2) 前出

(5) 木曾川 濃尾大橋 河口より34km

| 採水 番号 | 採水日時 | | 電気伝導度 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 塩素量 (mg/l) | りん酸 PO_4P (mg/l) | 硝酸 $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l) | 亜硝酸 $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l) | アモンニア $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l) | 混濁度 散乱光 (mg/l) | 透過度 (%) | pH | 水深 (m) | 水温 (°C) | 採水日 正午の流量 (M^3/sec) |
|----------|----------|-------|--|---------------|--|--|---|---|----------------------|------------|-----|-----------|------------|---|
| | 年 | 月日 | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 39. | 8.15 | 64.5 | 2.3 | 0.005 | 0.32 | 0.007 | 0.00 | 2.2 | 89.5 | 7.0 | 1.70 | | 76.7 |
| 2 | 8.23 | | 70.2 | 4.3 | 0.000 | 0.25 | 0.001 | 0.01 | 5.4 | 82.6 | 7.2 | 1.50 | | 67.6 |
| 3 | 9.2 | | 68.0 | 3.7 | 0.000 | 0.15 | 0.000 | 0.01 | 2.5 | 82.6 | 7.0 | 1.20 | | 55.8 |
| 4 | 9.5 | | 71.5 | 3.9 | 0.000 | 0.24 | 0.000 | 0.00 | 3.0 | 81.8 | 7.0 | 1.20 | | 53.0 |
| 5 | 9.13 | | 181.3 | 6.0 | 0.015 | 0.14 | 0.007 | 0.08 | 37.5 | 62.8 | 7.4 | 1.50 | | 43.8 |
| 6 | 9.22 | | 67.5 | 2.6 | 0.000 | 0.32 | 0.000 | 0.03 | 24.6 | 75.4 | 7.0 | 2.50 | | 501.9 |
| 7 | 10.10 | | 51.5 | 2.2 | 0.000 | 0.32 | 0.000 | 0.01 | 15.0 | 83.2 | 6.8 | 1.50 | | 264.3 |
| 8 | 10.22 | | 53.1 | 1.4 | 0.000 | 0.26 | 0.000 | 0.00 | 4.7 | 86.7 | 6.8 | 1.60 | | 182.7 |
| 9 | 11.14 | | 58.9 | 3.1 | 0.000 | 0.20 | 0.000 | 0.01 | 6.2 | 84.1 | 7.0 | | | 135.2 |
| 10 | 12.12 | | 77.0 | 4.2 | 0.000 | 0.21 | 0.001 | 0.02 | 5.1 | 83.0 | 7.0 | 1.50 | | 63.0 |
| 11 | 40. 1.28 | | 84.5 | 6.3 | 0.010 | 0.19 | 0.001 | 0.03 | 6.3 | 77.1 | 7.0 | 1.20 | | 53.0 |
| 12 | 2.13 | | 97.8 | 4.0 | 0.010 | 0.31 | 0.002 | 0.01 | 4.6 | 85.3 | 7.0 | 0.90 | | 58.6 |
| 13 | 2.20 | | 77.9 | 3.4 | 0.000 | 0.21 | 0.001 | 0.01 | 7.3 | 79.6 | 7.0 | 1.80 | | 64.6 |
| 14 | 4.22 | 14:10 | 62.4 | 2.3 | 0.000 | 0.26 | 0.002 | 0.00 | 7.7 | 83.0 | 7.0 | 1.20 | 12.5 | 155.7 |
| 15 | 5.1 | 13:20 | 45.4 | 1.7 | 0.000 | 0.39 | 0.002 | 0.00 | 13.0 | 80.8 | 7.0 | 2.30 | 11.8 | 286.3 |
| 16 | 5.8 | 11:50 | 47.6 | 1.2 | 0.000 | 0.31 | 0.001 | 0.00 | 6.3 | 81.8 | 6.9 | 1.35 | 13.8 | 206.0 |
| 17 | 5.15 | 11:50 | 58.5 | 2.2 | 0.000 | 0.25 | 0.002 | 0.00 | 4.3 | 80.8 | 7.0 | 2.10 | 16.7 | 87.6 |
| 18 | 5.31 | 13:20 | 38.0 | 1.0 | 0.005 | 0.43 | 0.001 | 0.00 | 36.0 | 72.0 | 6.9 | 2.05 | 16.5 | 613.3 |
| 平均 | | | 70.9 | 3.1 | 0.003 | 0.26 | 0.002 | 0.01 | 10.7 | 80.7 | 7.0 | 1.51 | | 165.0 |

(6) 木曾川 尾張大橋 河口より8km

| 採水 番号 | 採水 年月日時分 | 電気伝導度 25°C ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 塩素量 (mg/l) | りん酸 $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/l) | 硝酸 $\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/l) | 亜硝酸 $\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/l) | アモニア $\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l) | 混濁度 ⁽¹⁾ 散乱光 (mg/l) | 透過度 ⁽²⁾ (%) | pH | 水深 (m) | 水温 (°C) |
|----------|----------------|--|---------------------------------|---|--|---|--|---|---------------------------|-----|----------------------|------------|
| 1 | 39. 8.15 10:30 | 157.4 | 25.1 | 0.000 | 0.19 | 0.001 | 0.02 | 2.9 | 82.0 | 7.0 | 3.30 | |
| 2 | 8.23 10:30 | 2820 | 786 | 0.000 | 0.07 | 0.001 | 0.10 | 3.9 | 69.2 | 7.2 | 4.00 | |
| 3 | 9. 2 14:00 | 19160 | 6160 | 0.010 | 0.10 | 0.003 | 0.10 | 7.5 | 77.6 | 8.4 | 4.50 | |
| 4 | 9. 5 10:00 | 14840 | 4670 | 0.000 | 0.09 | 0.003 | 0.07 | 5.6 | 73.5 | 7.7 | 5.00 | |
| 5 | 9.13 10:30 | 6777 | 2000 | 0.005 | 0.07 | 0.002 | 0.09 | 6.8 | 76.6 | 7.1 | 5.00 | |
| 6 | 9.22 10:30 | 87.2 | 8.4 | 0.000 | 0.24 | 0.001 | 0.02 | 39.7 | 73.8 | 7.0 | 6.50 | |
| 7 | 10.10 10:00 | 80.2 | 8.3 | 0.000 | 0.36 | 0.000 | 0.00 | 9.1 | 86.3 | 6.9 | 5.50 | |
| 8 | 10.22 10:30 | 90.2 | 11.2 | 0.000 | 0.28 | 0.001 | 0.00 | 5.6 | 85.3 | 6.8 | 4.00 | |
| 9 | 11.14 10:00 | 2659 | 736 | 0.000 | 0.17 | 0.002 | 0.01 | 3.8 | 83.2 | 7.1 | 3.00 | |
| 10 | 12.12 10:00 | 8178 | 2360 | 0.000 | 0.12 | 0.002 | 0.01 | 9.5 | 75.7 | 7.1 | 3.00 | |
| 11 | 40. 1.28 10:30 | 10770 | 3170 | 0.000 | 0.08 | 0.003 | 0.00 | 8.2 | 76.4 | 7.3 | 3.00 | |
| 12 | 2.13 10:30 | 17430 | 5360 | 0.000 | 0.09 | 0.001 | 0.01 | 6.4 | 78.0 | 7.4 | 4.30 | |
| 13 | 2.20 10:00 | 6262 | 1850 | 0.000 | 0.16 | 0.001 | 0.00 | 8.6 | 66.1 | 7.2 | 4.70 | |
| 14 | 4.22 15:20 | 102.2 | 10.5 | 0.000 | 0.24 | 0.001 | 0.00 | 12.5 | 67.0 | 7.1 | 3.70 | 11.3 |
| 15 | 5. 1 14:30 | 84.4 | 9.5 | 0.000 | 0.37 | 0.001 | 0.00 | 17.0 | 68.5 | 6.9 | 4.50 | 14.5 |
| 16 | 5. 8 13:50 | 75.6 | 6.6 | 0.000 | 0.23 | 0.001 | 0.00 | 9.2 | 67.3 | 7.0 | 4.10 | 14.8 |
| 17 | 5.15 14:10 | 97.5 | 9.4 | 0.000 | 0.18 | 0.002 | 0.00 | 6.3 | 65.5 | 7.0 | 4.50 | 17.8 |
| 18 | 5.31 14:40 | 49.8 | 1.9 | 0.000 | 0.42 | 0.002 | 0.00 | 40.0 | 63.0 | 6.9 | 5.00 | 17.7 |
| 平均 | | 4984.4 | 1510.2 | 0.001 | 0.20 | 0.002 | 0.02 | 11.3 | 75.3 | 7.2 | 4.31 | |

(1),(2) 前出

硝酸塩 (Nとして示す): 揖斐川の今尾橋, 伊勢大橋の両地点での最高値はそれぞれ 0.46, 0.45 mg/l; 最低値は 0.13, 0.08 mg/l; また 18 回の分析値の平均は 0.27, 0.28 mg/l であって, 二つの地点の含有量に大差はなかった。

長良川の南濃, 伊勢両大橋では, 最高値が 0.68, 0.63 mg/l; 最低値 0.23, 0.19 mg/l; また平均値は 0.49, 0.43 mg/l であった。また木曾川の濃尾, 尾張両大橋では最高値 0.43, 0.42 mg/l; 最低値 0.14, 0.07 mg/l; 平均値 0.26, 0.20 mg/l であった。従って硝酸塩は長良川に最も多く, 木曾川に最も少量であった。

亜硝酸塩 (Nとして示す): 硝酸塩に比べると非常に少量ではあるが, 三川の二地点での平均値は揖斐川 0.005, 0.006; 長良川 0.011, 0.008; 木曾川 0.002, 0.002 mg/l であって, 長良川に多く木曾川に少量であった。

アンモニア塩 (Nとして示す): 揖斐川の二地点の最高値は 0.27, 0.35 mg/l; 最低値は 0.00, 0.05 mg/l で, 時間と場所による変動の幅が大きかったが, 平均値は 0.06, 0.14 mg/l であって, 硝酸塩よりも少量であった。しかし長良川の二地点では最高値が 0.63, 0.68 mg/l で硝酸塩の最高値と匹敵し, 最低値は 0.11, 0.05 mg/l, また平均値は 0.33, 0.15 mg/l であった。

また木曾川の二地点では最高が 0.08, 0.10 mg/l; 最低が 0.00, 0.00 mg/l; また平均値は 0.01, 0.02 mg/l で非常に少量であった。

したがって硝酸, 亜硝酸, アンモニアともに長良川が最高の含有量を示し, 木曾川が最低であるが, それらの相違は殊にアンモニアの場合に著しかった。

磷酸塩 (Pとして示す): 揖斐川の値は最高が 0.174, 0.055 mg/l; 最低が 0.000, 0.015 mg/l でやはり場所と時間による変動が激しく, 平均は 0.020, 0.029 mg/l であった。長良川の磷酸は最高 0.090, 0.030 mg/l; 最低 0.015, 0.010 mg/l; 平均 0.045, 0.021 mg/l であって, 冬季の南濃大橋に著しく濃厚であった。また木曾川では最高 0.015, 0.010 mg/l; 最低 0.000, 0.000 mg/l; 平均 0.003, 0.001 mg/l であった。したがって磷酸もやはり長良川に多く, 木曾川には桁違いに少量であった。

塩素: 海水の影響を受けない揖斐川の今尾橋, 長良川の南濃大橋, 木曾川の濃尾大橋の三地点では, 塩素量の平均はそれぞれ 3.4, 4.8, 3.1 mg/l に過ぎなかった。しかし感潮水域となると揖斐川の伊勢大橋での塩素量は最高時 8610 mg/l, 最低時 4.7 mg/l, 長良川の伊勢大橋では最高 6000 mg/l, 最低 6.1 mg/l, また木曾川の尾張大橋では最高 6160 mg/l, 最低 1.9 mg/l であった。したがってこれらの三地点では, 水深の 1/2 の中間層において, 最高時には海水が 1/3 程度混入し, 最低時には海水の影響が皆無であった。

pH: 海水の影響を受けない三地点では揖斐川が 7.7~7.0, 平均 7.3, 長良川が 7.3~6.9, 平均 7.2, また木曾川が 7.4~6.8, 平均 7.0 であったから, pH の値は 揖斐川 > 長良川 > 木曾川 の順であった。

三川の感潮部では海水の混入により pH の値が高まる傾向が見られたけれども, 総体的に揖斐川の pH が高い値を示した。

考 察

栄養塩類の濃度は, 以上に述べた通り三川間で相違し, また同じ河川でも時間と場所と

で変動がある。そこで先ず三川間に相違が生じた原因を検討してみたい。

小林(2,3)が以前に全国河川の水質を比較した際に、濃尾平野の影響のない、その上流地点で行なった三川の分析結果を引用してみると、第2表の通り、硝酸態窒素は三川ともに0.13~0.14 mg/lであって三川間に実質的な差がなかった。ところが、この成績に比較すると、今回の下流部での硝酸塩の定量値は長良川が3倍、揖斐川が2倍に著増しており、木曾川は6割程度の増加に止まった。従って三川が濃尾平野の農地、都市を貫流する間に受ける水質の変化は長良川が最も大で、木曾川が最も小と考えられ、同様の現象はアンモニア、磷酸塩についても観察された。

また小林(1)は木曾三川を含めて、岐阜県内の283箇所の河川、地下水、灌漑水を分析した際に、岐阜市以南の西南濃尾平野の試水に窒素が著しく多量で、これが農地の肥沃度と関係があることに気付いた。

以上の理由で、長良川沿岸の肥沃な農地は河川に対する肥料分の豊富な供給源であり、また岐阜市などの下水、し尿処理水も長良川の栄養塩類の増加に寄与するところが大きいと考えられる。

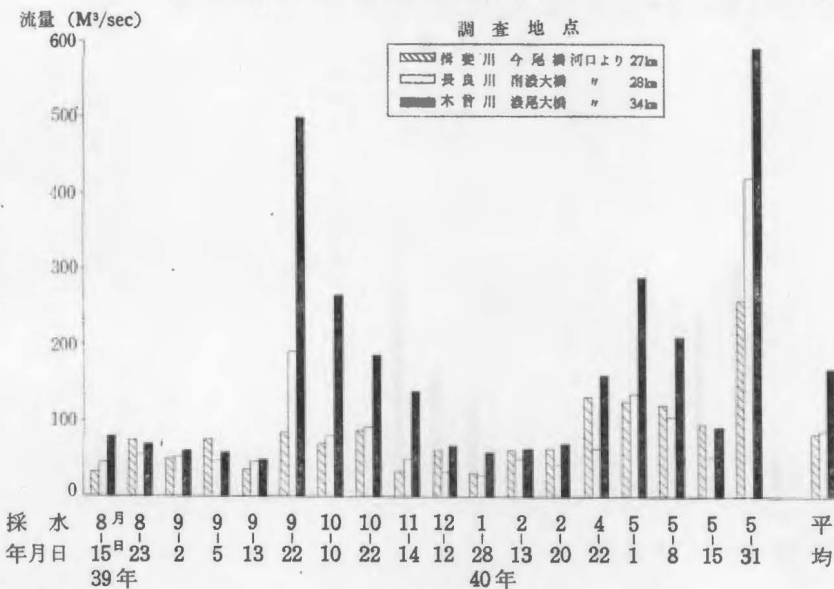
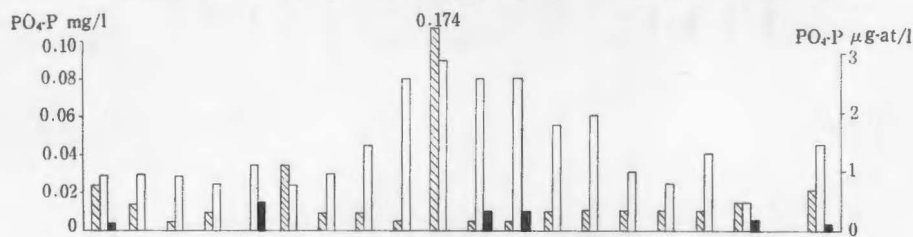
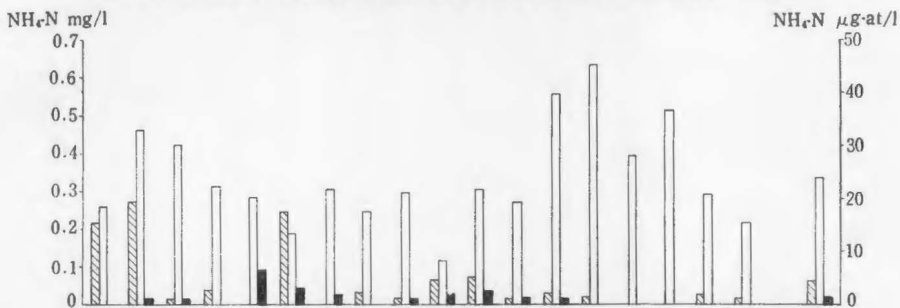
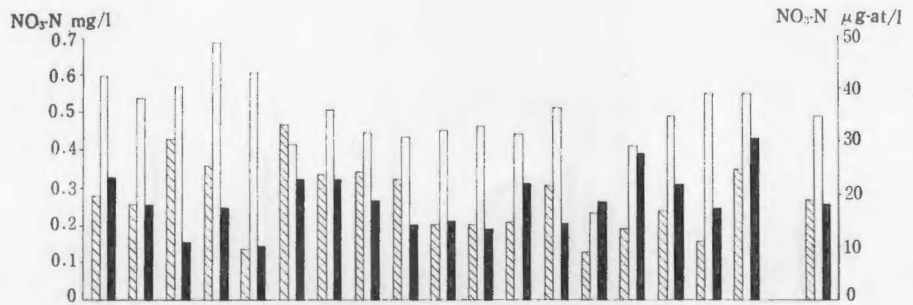
これに反し、木曾川流域では、農地に対する山地の面積が広く、その山地やまた雨水からの天然の肥料分の寄与が少ない上に、流域内の人口が比較的稀薄などの理由によって、他の二川に比べ栄養塩類の流入が著しく劣る結果となり、これが三川下流部において水質相違の生じた原因であると解釈される。

さらに我々は同一河川でも採水時により栄養塩類の濃度が著しく変動する現象に注目して二、三の考察を試みた。

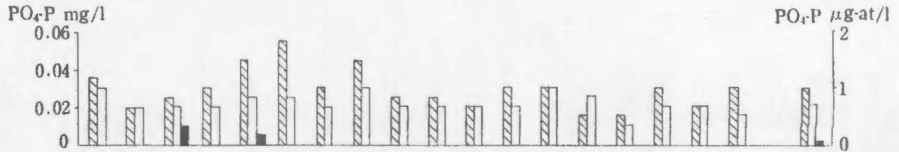
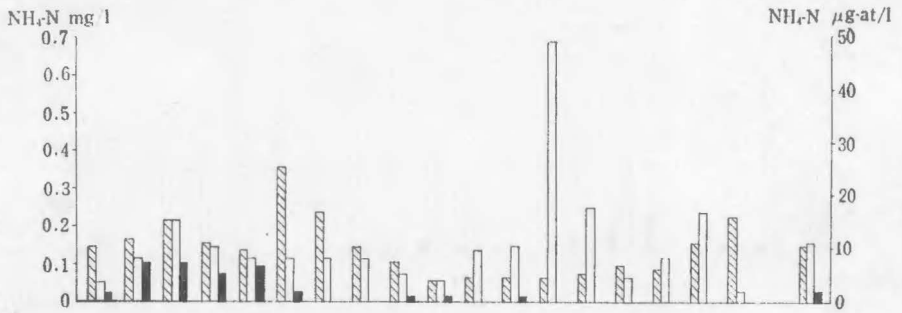
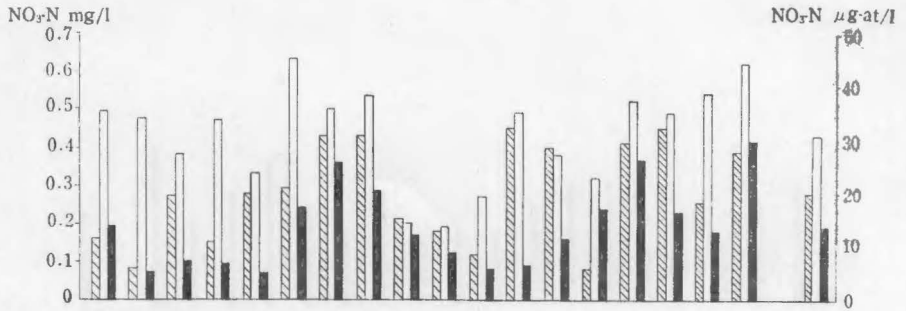
河川への栄養塩の供給源の一つが、上記の如く農地、都市下水などであるとすれば、河川への溶出量は当然農作業、市民の生活活動などに左右される筈で、仮りに天候や流量が一定条件に保たれたとしても昼夜、季節を通じ間断なく変化が生じるのは寧ろ自然の理であろう。しかも、河川中に溶解して含まれる塩類の濃度は、河川の流量によって左右されると考えられ、原則として増水時に稀釈され、渇水時に濃厚となることが予想される。

第2表 濃尾平野上流地点における木曾三川水質分析成績

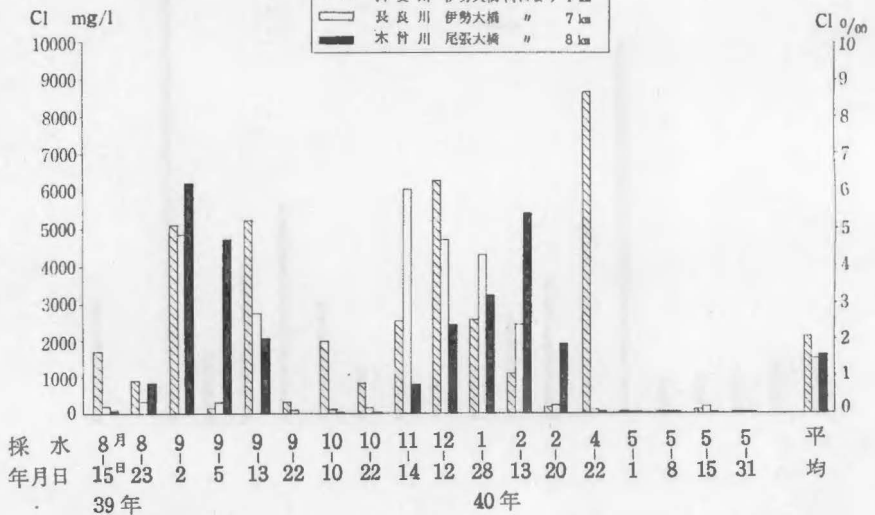
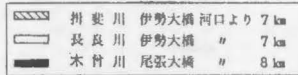
| 河川名 | 揖斐川 | 長良川 | 木曾川 |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 採水場所 | 岐阜県揖斐郡久瀬村三倉 | 岐阜県美濃市立花 | 愛知県犬山市木津 |
| 河口までの距離(km) | 70 | 75 | 60 |
| 調査期間 | 1952.6.15 ~1953.5.15 | 1952.6.15 ~1953.5.15 | 1952.6.15 ~1953.5.15 |
| 分析回数 | 12 | 12 | 11 |
| Ca mg/l | 8.5 | 6.1 | 4.7 |
| Mg | 1.9 | 1.0 | 0.7 |
| Na | 3.3 | 2.4 | 3.0 |
| K | 0.63 | 0.79 | 0.84 |
| HCO ₃ | 31.1 | 23.8 | 18.0 |
| SO ₄ | 3.5 | 1.2 | 1.2 |
| Cl | 2.7 | 1.4 | 1.4 |
| SiO ₂ | 8.2 | 13.3 | 12.2 |
| Fe | 0.03 | 0.03 | 0.08 |
| PO ₄ | 0.03 | 0.01 | 0.01 |
| NO ₃ -N | 0.13 | 0.14 | 0.14 |
| NH ₄ -N | 0.07 | 0.05 | 0.07 |
| 蒸発残渣 | 45.3 | 39.4 | 40.4 |
| 浮遊物 | 36.6 | 11.6 | 25.8 |
| pH | 7.1 | 7.1 | 6.8 |



第3図 三川下流部における硝酸、アンモニア、りん酸及び流量の時期的変化



調査地点



第4図 三河感潮水域における硝酸、アンモニア、りん酸及び塩素量の時期的変化

そこで、この予想の妥当性を検討するため、栄養塩類の濃度と流量の関係を、第1表中の(1)揖斐川、(3)長良川、(5)木曾川から抜萃して比較したものが第3図である。

採水18回のうち三川が最も増水した日は、梅雨期中の昭和40年5月31日であって、この日正午の流量は木曾川613.3、長良川393.7、揖斐川258.3立方メートル/秒であって、三川の18回の平均流量の3～5倍の水量であった。従ってこの日の栄養塩類は、流量増加に応じて、当然稀釈されることが予想された。然し、実際の分析結果は予想とは完全に相違しており、例えば木曾川の $\text{NO}_3\text{-N}$ は0.43 mg/lで、18回の分析値の中の最高値となったばかりでなく、18回の平均値0.26 mg/lの1.7倍の値であった。長良川の場合にも、当日の $\text{NO}_3\text{-N}$ は0.55 mg/lで、18回の平均値0.49 mg/lよりも高く、また揖斐川でも同様の結果が現れた。

反対に、三川の最濁水時の流量は、木曾川では昭和39年9月13日の43.8立方メートル/秒、長良、揖斐の両川では40年1月28日のそれぞれ24.6、25.0立方メートル/秒であって、第1表中の三川の平均流量の1/3～1/4に過ぎなかつた。それにも拘らず、当日の $\text{NO}_3\text{-N}$ は三川とも18回の平均値を下廻る稀薄な濃度を示した。

以上の如く、三川の流量が増濁水により、10～16倍の幅で変動したにも拘らず、硝酸塩が濁水時に濃厚となり、増水時に稀薄になるという予想は全く裏切られて、寧ろその反対の傾向すら現れた。

アンモニア塩と磷酸塩も、南濃大橋での磷酸塩を除き、流量との間に予想された相関が成立しなかつた。

これらの結果から、少なくとも調査した流量の変動範囲内では、栄養塩類は晴天の濁水時に土壤中に濃縮保持されて河川への溶出が困難となり、梅雨などの降雨期に、流量の増加と共に、予想以上の大量が滲出或は洗い出されると推定された。

しかも実際には、水源の山地や雨水に由来する天然の供給があり、その上に農地や都市における人間の活動、季節、天候、流量、土質など色々な条件が加味されるのであるから、河川中の栄養塩類の濃度が複雑な変化を繰り返しながら流下するのは当然と言わざるを得ない。

なお第4図は感潮河川における栄養塩類と塩分濃度との関係を第1表から抜萃したものであるが、両者間の相関については次報で取扱う予定であるから、ここでは図示だけに止めておきたい。

栄養塩類の供給量

三川の栄養塩類が上記の通り、濁水時に濃厚とならず、又増水時にも稀薄とならない事実が判明したので、ここでは伊勢湾への栄養塩類の供給量を

$$(\text{栄養塩類の濃度}) \times (\text{流量}) = (\text{供給量})$$

として概算してみる。

農業用の取水分を除いた長良川の流量は、昭和14～38年の毎年平均が41億トンであり、また長良川南濃大橋での硝酸性とアンモニア性窒素の含有値はそれぞれ0.49、0.33 mg/lであったから、上記の算式から硝酸性窒素が2,000トン、アンモニア性窒素が1,350トンとなり、さらに亜硝酸性窒素の50トンを加えると、窒素の合計は3,400トンとなる。こ

れが無機塩類の形で、長良川が伊勢湾へ供給する一年間の窒素の量であり、硫酸に換算すると16,000トン、約3億円に相当するわけで、その量は思いのほか多い。この数字にはプランクトンその他の有機性窒素は含まれていない。

岐阜県内の最近の肥料用窒素の消費量は、年間11,300トン(糞尿、堆肥は別)であって、仮りにその20%が長良川流域の農地に施用されたとすれば2,260トンである。この中の果して何%が前記の3,400トン中に寄与したかは不明であるけれども、施した窒素の一部は農地から河川に流出するし、また農作物に吸収された窒素も、人の食物となり更に排泄物となって、再び農地に戻されたり、又し尿処理して河川に放棄される。従って直接、間接の分を含めると、大気中へ逸脱する窒素以外は、施肥窒素の大部分が最終的には河川に集る筈である。このようにして、すでに農業上の任務を終えた肥料分は、陸地から海に流れ出し、水産資源の栄養塩となって、再び生物に吸収、利用され、水産業に貢献するというコースをたどって行く。

このほか雨水や、上流の山地からも河川への窒素の寄与があることは前述の通りであって、例えば濃尾平野の影響を受けない美濃市で測定した長良川の窒素0.19 mg/l(第2表から計算)がそれに該当する。けれどもこの値は南濃大橋地点の0.83 mg/lに比べると僅かに1/4に過ぎない。

従って長良川が伊勢湾に供給する窒素3,400トンのうち、大部分は濃尾平野の農地や都市からの人間活動、つまり広い意味での汚染に由来するものであり、他の一部が雨水や山地からの自然的寄与であると考えて差支えがない。

次に揖斐川につき同様の計算を試みると、昭和26~37年の年間平均流量が、農業用水を除外して38億トンであり、また今尾橋での硝酸、アンモニア、亜硝酸性の窒素の合計が0.34 mg/lであった。従って伊勢湾への供給量は1,300トンと推定され、長良川よりも著しく少ない。

また木曾川の場合は、昭和26~37年の年間平均流量が106億トン、硝酸性、アンモニア性窒素の合計が0.27 mg/lであるから、その供給量は2,900トンとなる。流量が長良川の2倍以上でありながら、窒素の供給量は却って少ない。

以上の計算から、木曾三川が伊勢湾へ供給する窒素の総量は年間7,600トン、硫酸に換算して36,000トンである。しかもこれが常時一定の割合で流入するのではなく、流量にほぼ比例して、冬などの渇水期には減少し、梅雨などの増水時には増加するのであるから、伊勢湾内に貯えられる栄養塩類の濃度は、時期的に大きく変動することが予想される。

磷酸塩は窒素に比べると非常に少量であるが、Pとして長良川が185トン、揖斐川76トン、木曾川32トンであって、三川の合計は293トンである。これを過磷酸石灰に換算すると、長良川2,500トン、揖斐川1,000トン、木曾川430トン、また三川の合計は3,900トンである。三川の中では長良川の供給量が最多で、木曾川が最少である。

要 結

木曾、長良、揖斐の三川が、伊勢湾に供給する栄養塩類の概略の量を知る目的で、三川下流部の6地点で、河川流心部の、しかも水深の1/2にあたる中間層から、9カ月半の間に18回ずつの試水を集め、栄養塩の変化を防ぐために零下20°Cで貯蔵しておき、分析の

直前に温めて氷をとかし、分析を行なって次の結果を得た。

硝酸、アンモニア、亜硝酸、磷酸の濃度は三川間で非常に相違し、農地や都市の影響が大きい長良川に最多、木曾川に最少であった。

梅雨期の増水時と冬の渇水時とで10~16倍の流量差があったけれども、三川の硝酸塩の濃度は増水時に濃厚、渇水時に寧ろ稀薄となって、流量との間に予想された負の相関が成立しなかった。この原因は渇水時には土壤中に濃縮保持されて、河川への硝酸塩の溶出が困難となり、降雨の際に洗い出され易いためと考えられた。

一年間に長良川が伊勢湾に供給する無機塩類としての窒素の量は3,400トンと推定され、硫酸に換算すると16,000トン、金額で3億円に相当する。この窒素の大部分は濃尾平野の農地に施された肥料や、岐阜市などの人間活動、つまり広い意味での汚染に由来し、他の一部が雨水や山地からの自然的寄与である。また長良川による磷酸塩の供給も、窒素の場合と同様に、他の二川よりも多く、Pとして185トン、過磷酸石灰に換算すると2,500トンである。

揖斐川からの窒素の供給は1,300トン、Pは76トンであり、また木曾川からは、流量が多いにも拘らず、窒素が2,900トン、Pは僅かに32トンである。

従って三川が供給する窒素の総量は年間7,600トン、硫酸に換算すれば36,000トンであって、約7億円に相当する。また磷酸塩の総計はPとして293トン、過磷酸石灰に換算すると3,900トンである。

しかもこれらの栄養塩類は伊勢湾にコンスタントに流入するのではなく、流量に比例して、渇水時に減少し、増水時に増加する。その結果として、伊勢湾内に貯えられる栄養塩類の量も、降雨の有無により大きく変動することが予想される。

参 考 文 献

1. 岐阜県農業試験場. 1965. 3. 岐阜県河川水質図及び説明書.
2. 小林純. 1955. 本邦河川の化学的研究. 第3報 関東地方の水質について. 農学研究 43(1) 63-106.
3. 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(1) 2-40.
4. Strickland, J. D. H., and Parsons, T. R., 1960. A Manual of Sea Water Analysis, Fisheries Research Board of Canada, Bulletin No. 125.