

2 魚の死亡事故と水質変動特性との関連

二 宮 勝 幸

2-1 はじめに

第1章では、水域や時期によって事故原因や発生件数などに違いが見られ、特に夏期の酸欠事故が過半数以上を占めていることが明らかとなった。夏期には都市河川のように水質汚濁の進んでいる水域では、底質中の有機物の分解によって、水中のDOが減少するとともにアンモニアやメタンなどが生成するため、魚の生息に不適當な環境となる。このような環境の中で、水質をさらに悪化させる要因が加わると、酸欠事故を招くような状態に至るものと推定される。経験的には、降雨時や水温上昇時に事故が発生するケースが多いことから、水質の一時的悪化は気象変化にともなう水質変動と強く関連しているものと考えられる。

気象変化による水質変動には、日周変動や季節変動および1年間より長い期間での変動¹⁾など周期的なものとともに、降雨などによる数日間程度の変動もみられる。降雨は不規則に発生し必ずしも周期的であるとは言い難いが、一降雨前後の狭い時間幅についてみると、降雨による水質変動も周期的現象とみなすことができよう。このように環境水質は、1年あるいはそれより長い期間の周期変動とともに日周および降雨影響の短周期変動をあわせもっている。これらの周期変動に人間活動による影響が加わって、水質変動が形成されているわけである。従って、事故に結び付く水質の悪化原因を把握するためには、基本的にこれら4つの周期変動特性を調べておく必要がある。

そこで、この章では酸欠事故と河川の水質変動との関係を基本的に把握するため、周期の短い順に、まず日周および降雨影響による変動、次に季節変動、最後に10年間の長期変動の各特性について、第1章で得られた結果をも考慮して検討した。

2-2 日周および降雨影響の水質変動特性

第1章では、柏尾川と大岡川における酸欠事故が近年増加傾向にあることがわかった。ここでは、①柏尾川と②大岡川における水質調査結果^{2,3)}をもとに、日周および降雨影響の水質変動特性について述べる。

2-2-1 調査地点及び期間

図2-2-1に調査地点を示した。柏尾川の調査地点は柏尾川環境水質測定局であり、大岡川のそれは大岡川中流に位置する越戸橋である。調査期間は ①1986年8月18日12時から同22日8時までの4日間、②1987年8月15日12時から同23日8時までの8日間である。

2-2-2 調査地点の概況

①：柏尾川は境川の最大支流で、その流路延長は約11kmである。その源流部は横浜市戸塚区内の丘陵地にあり、藤沢市内で境川に合流する。柏尾川上流部では市街化は進んでいないが、中流および下流部は市街地の中にあり、工場も多い。

②：大岡川は総延長24km、流域面積93km²下水道普及率90%以上の河川である。上流部は比較的自然が残っているが、中流部で分岐し市街地の中を通過して、横浜港および根岸湾に流入する。

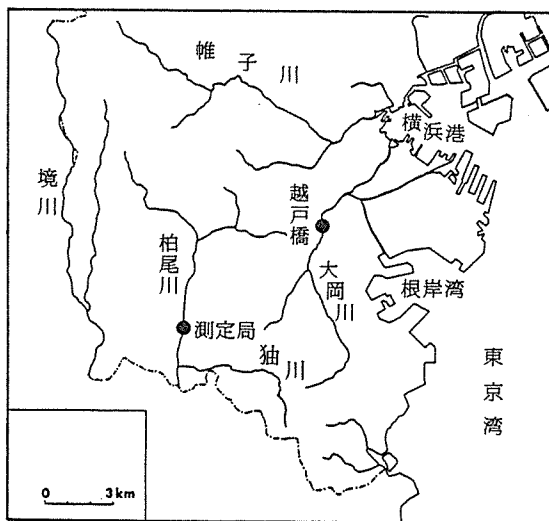


図2-2-1 調査地点

2-2-3 調査方法

内部を氷で冷却した自動採水器を用いて、4時間間隔で水質試料を各11ずつ採取した。毎日午前中に試料の回収を行い、直ちに常法により水質分析に供した。項目は①水温、濁度、pH、DO、COD、電気伝導率(EC)、 PO_4-P 、 NH_4-N 、 NO_2-N 、 NO_3-N 、CL、 SO_4-S ②前記の項目に加え、溶存態COD(S-COD)、SS、T-P、T-Nである。なお、①のある期間については、アカヒレによる24hrLC₅₀の濃縮毒性試験も行った。

2-2-4 結果と考察

ここでは、まず最も基本的な水質変動としての日周変動特性について、次に1日間より長い降雨影響の水質変動特性について述べる。

① 柏尾川

図2-2-2(a)～(d)に柏尾川の水質時系列を示した。まず、図2-2-2(b)のECについてみると、18日から19日にかけての降雨にともない、ECは減少していき、19日12時を境にして今度は徐々に増加していった。そして、20日20時以降になると、大きな変動は認められず、ECは $450 \mu S/cm$ 前後の値に戻った。このようにECが降雨のない通常の時期の値に戻った理由は、河川水質に対して降雨の希釈による影響がなくなったためと考え、降雨影響が認められなくなった時期として、8月21日12時から22日8時までの1日間の調査結果を中心に水質の日周変動特性について考察する。なお、この1日間については24hrLC₅₀も求めた。

図2-2-2の中この1日間の測定結果についてみると、各水質項目は1日周期あるいは半日周期など様々な周期を示しているため、それら相互の関係を要約するため、主成分分析法を用いて検討した。主成分分析法は、まず各水質項目が示す異なる周期のうち代表的な周期成分(主成分:Z)を選び出し、次にそれらの主成分のスコア時系列に対して各水質項目がどの程度似た変動を示すのかを因子負荷量と

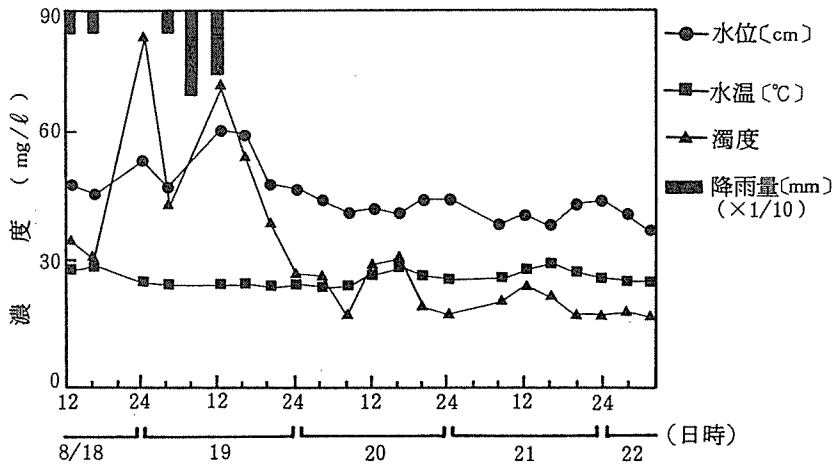


图 2-2-2 (a) 水質時系列 (柏尾川)

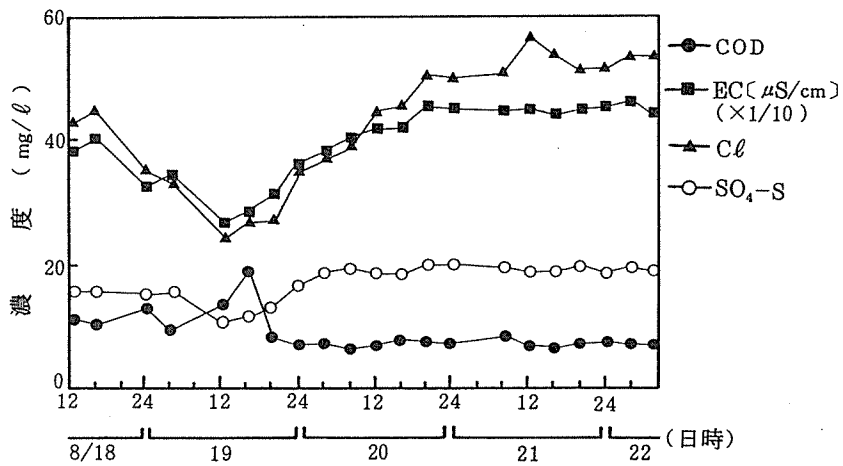


图 2-2-2 (b) 水質時系列 (柏尾川)

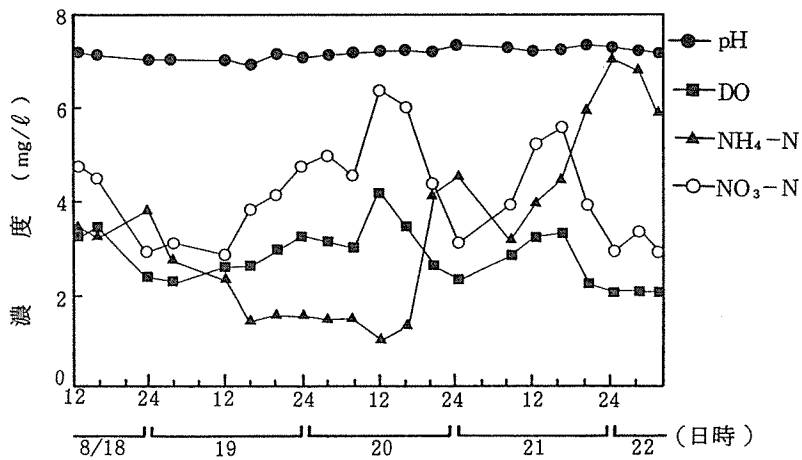


图 2-2-2 (c) 水質時系列 (柏尾川)

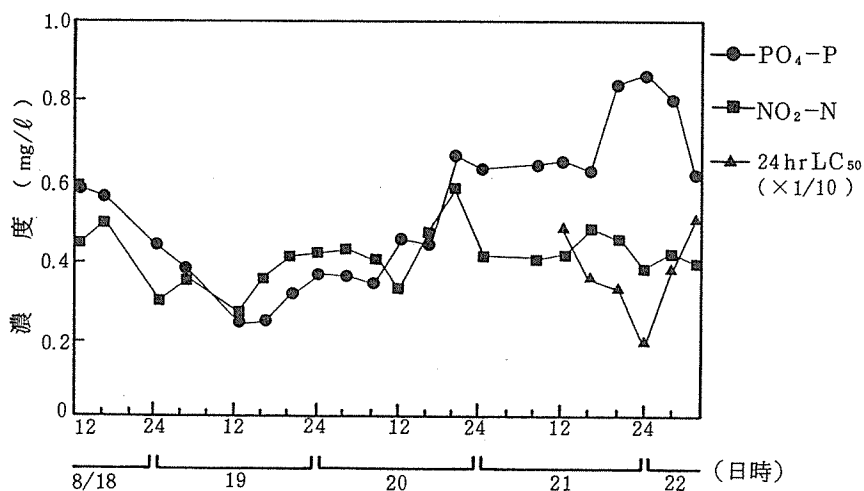


図 2 - 2 - 2 (d) 水質時系列 (柏尾川)

表 2 - 2 - 1 1 日間の主成分分析結果
(柏尾川 : 因子負荷量)

主成分	Z ₁	Z ₂	Z ₃
固有値	7.63	2.65	1.81
水位	-0.64	0.50	0.42
水温	0.80	0.08	0.55
濁度	0.91	0.26	-0.07
pH	-0.66	-0.49	0.19
DO	0.94	0.11	0.20
COD	-0.41	0.60	-0.22
EC	-0.47	0.75	-0.17
PO ₄ -P	-0.77	0.44	0.38
NH ₄ -N	-0.94	-0.02	-0.01
NO ₂ -N	0.55	0.16	0.63
NO ₃ -N	0.91	0.23	0.31
C1	0.80	0.21	-0.47
SO ₄ -S	-0.22	0.81	0.00
24hrLC ₅₀	0.69	0.29	-0.51
寄与率 (%)	54	19	13

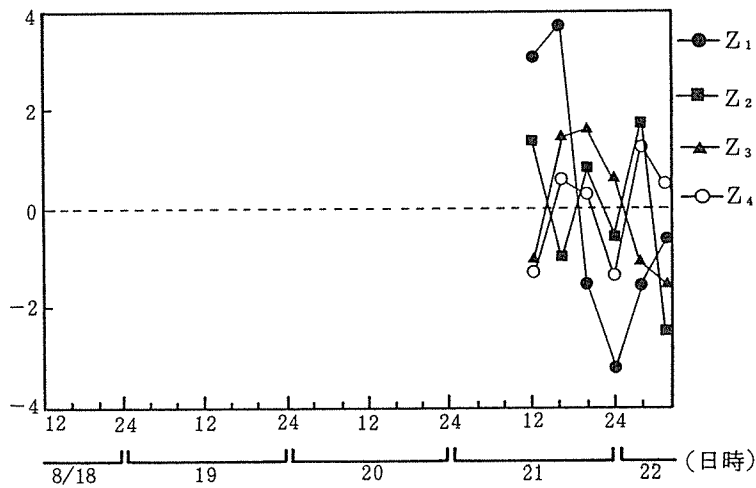


図 2-2-3 1日間の主成分スコア時系列 (柏尾川)

いう数値の大小で表す統計的手法⁴⁾である。表 2-2-1 にその 1 日間について主成分に対する各水質項目の因子負荷量を、図 2-2-3 には主成分スコアの時系列を示した。

図 2-2-3 から、第 1 主成分 (Z_1) は 12 時から 16 時にかけて最大値を、24 時に最小値をもつ 1 日周期の変動成分であることがわかる。表 2-2-1 において、ある主成分に対するある項目の因子負荷量が 1 に近い値を示せばその項目はその主成分スコアの変動と順に対応し、-1 に近い値を示せば逆に対応することを意味している。従って、 Z_1 に対して正の大きな因子負荷量をもつ水温、濁度、DO および $\text{NO}_3\text{-N}$ などが Z_1 と順に対応する成分であり、 Z_1 スコアと逆の変動、即ち昼間に低く夜間に高い変動を示す項目は $\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{PO}_4\text{-P}$ などであることがわかった。これらの関係から、 Z_1 は日周変動を説明する成分であると考えられる。 Z_1 の変動は 24hrLC_{50} と順に対応しているので、ここでは Z_1 についてだけ検討した。 24hrLC_{50} の濃縮毒性値は濃縮倍率で表されるから、低い値の方が高い毒性を示す⁵⁾。従って、濃縮する性質がありかつ 24hrLC_{50} と逆の変動を示す項目が濃縮毒性と関連する。それらは Z_1 の因子負荷量が負の値をもつ項目、即ち $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、EC および COD などであった。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は mg/l の濃度レベルで魚毒性を示し、その毒性はまた水温や pH が高いと強くなることが知られている (第 3 章参照)。 $\text{PO}_4\text{-P}$ についてはそのものの毒性はほとんどないが、還元状態で底質から溶出しやすいことなど物理化学的挙動が $\text{NH}_4\text{-N}$ と類似している。EC と COD は、未知であるが毒性を有する無機あるいは有機成分 (第 6 章で触れるが、例えば界面活性剤など) の存在の可能性を思い起こされる。結果として、 24hrLC_{50} の変動とよく一致し、平常時の都市河川水において一般的に認められる $\text{NH}_4\text{-N}$ が魚毒性と最も強く関連する物質であるといえる^{6,7)}。

次に、降雨影響による水質変動について述べる。

表 2-2-2 に全調査期間のデータに主成分分析法を適用した場合の因子負荷量を、図 2-2-4 にはその主成分スコア時系列を示した。

Z_1 は水位ピーク時の 19 日 12 時に最小値をとり以後増加する変動成分である。 Z_1 の因子負荷量が EC や栄養塩類に対して正の大きい値を示すのは、降雨による希釈影響の結果であり、濁度や COD に対して負の大きい値を示すのは、地表面および河川底質からの濁度成分の流出の結果であると考えられる。

表 2 - 2 - 2 降雨影響の主成分分析結果
(柏尾川：因子負荷量)

主成分	Z_1	Z_2	Z_3
固有値	7.59	2.84	1.14
水位	-0.88	0.17	0.23
水温	0.58	-0.35	0.67
濁度	-0.85	0.10	0.26
pH	0.88	0.10	-0.12
DO	0.00	-0.96	0.09
COD	0.77	0.13	0.48
EC	0.96	0.03	0.01
PO ₄ -P	0.83	0.40	0.30
NH ₄ -N	0.55	0.74	0.27
NO ₂ -N	0.63	-0.25	0.18
NO ₃ -N	0.25	-0.93	0.10
C1	0.94	0.08	0.18
SO ₄ -S	0.91	-0.02	-0.22
寄与率 (%)	58	22	9

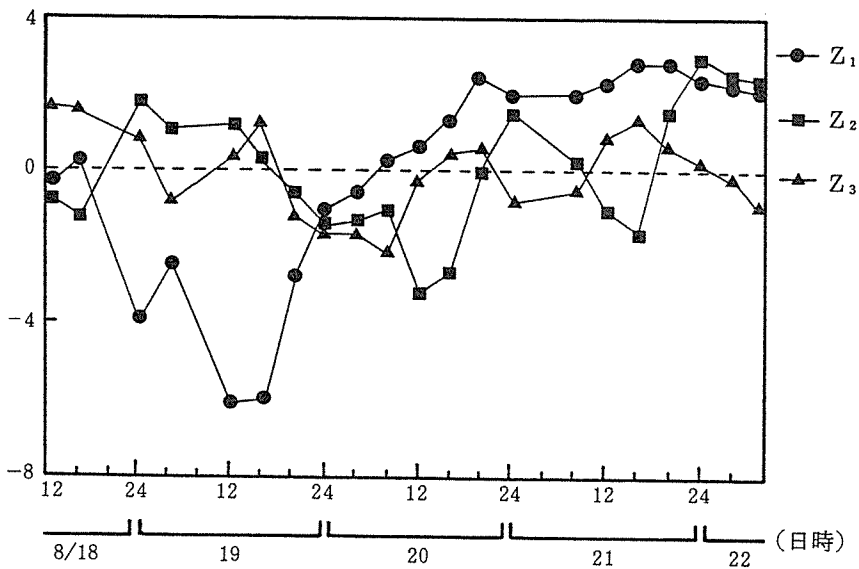


図 2 - 2 - 4 降雨影響の主成分スコア時系列 (柏尾川)

従って、 Z_1 は降雨による直接的な影響を説明する変動成分といえる。降雨の初期流出時に $\text{NH}_4\text{-N}$ が高濃度になる場合があるという研究報告もあるが、今回の調査結果では採水時間間隔が4時間と長かったためか、魚の死亡事故に直接結び付くDOや $\text{NH}_4\text{-N}$ との関連は見いだせなかった。また、第4章で触れるように、降雨時には水温が低下するがその度合いが大きいと魚の体力を消耗させ、結果として魚病を引き起こし死亡する可能性もある。今回は大きな水温降下は認められなかったことから、魚が死亡するまでには至らなかったとも考えられる。

一方、 Z_2 は、その最小値が Z_1 のそれより約1日遅れで現れる主成分であり、 Z_2 の変動と順に対応する項目は $\text{NH}_4\text{-N}$ 、逆に対応する項目はDOと $\text{NO}_3\text{-N}$ であった。降雨の直接的影響ではないこれらの3項目の変動傾向を詳細にみるため、3項目の時系列について24時間移動平均を行い、日周変動成分を除いた結果が図2-2-5である。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は最高水位から約半日たった20日4時前後に最小値を示した後増加しているが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ とDOは19日の降雨直後から増加していき20日8時頃にピークに達してから減少に転じた。 $\text{NO}_3\text{-N}$ については、降雨に伴い $\text{NO}_3\text{-N}$ の豊富な土壌からの溶出が時間遅れで表れたものと思われる⁸⁾。また、DOや $\text{NO}_3\text{-N}$ は $\text{NH}_4\text{-N}$ と酸素の過不足に基づく相対的な関係にあるため、日周変動の場合と同様にDOが少ない時は $\text{NH}_4\text{-N}$ が高い値をとる傾向を示した。今回の調査では、降雨のよる流出は河川水質を改善するという結果が得られた。

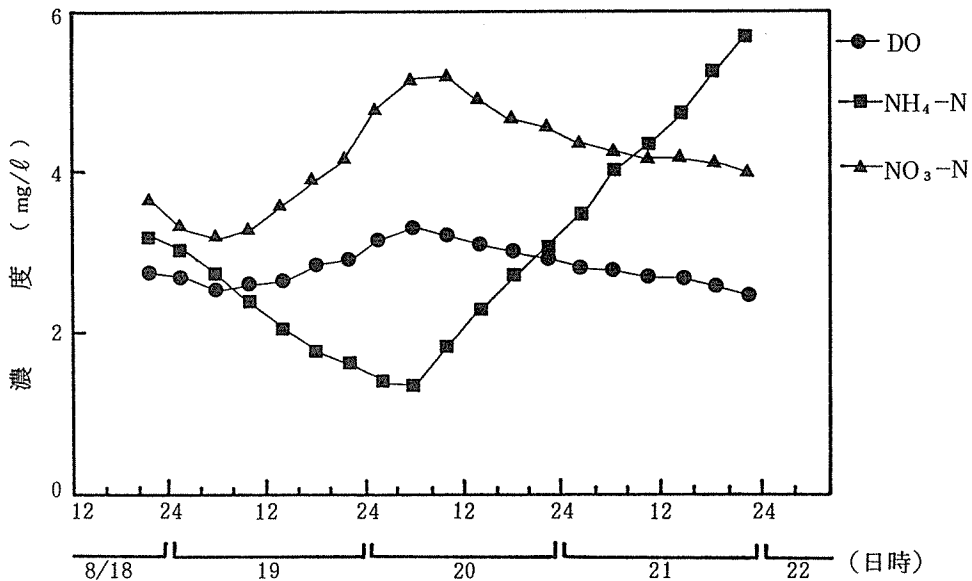


図2-2-5 水質の24時間移動平均時系列 (柏尾川)

② 大岡川

図2-2-6に8月15日12時から23日8時までの水質および気象時系列を示した。

柏尾川の場合と同様に、ここではまず降雨影響がみられない16日12時から17日12時までの1日間の調査結果について考察する。図2-2-6には、その期間を縦の点線の枠内で示した。

この期間のデータに主成分分析法を適用した結果を表2-3-3に、またその主成分スコア時系列を図2-2-7に示した。

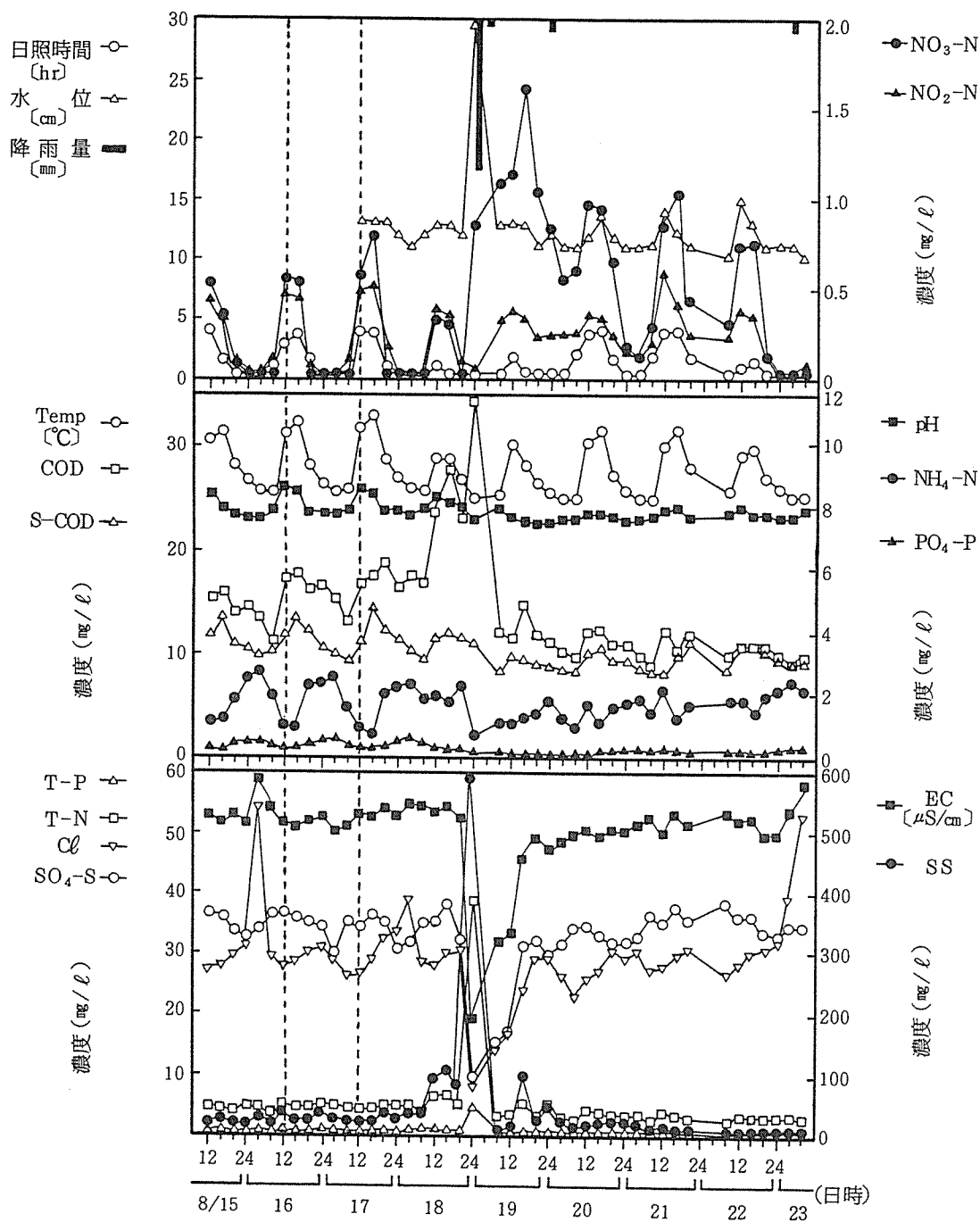


図 2-2-6 水質時系列 (大岡川)

表 2-2-3 1日間の主成分分析結果
(大岡川：因子負荷量)

主成分 固有値	Z ₁	Z ₂	Z ₃
Temp	0.96	0.19	0.17
pH	0.97	0.08	0.19
EC	0.47	0.54	-0.47
COD	0.58	0.76	0.22
S-COD	0.68	0.42	0.07
SS	-0.01	0.78	-0.28
T-P	-0.89	0.41	0.09
PO ₄ -P	-0.95	0.23	0.18
T-N	-0.22	0.86	0.21
NH ₄ -N	-0.97	0.18	-0.03
NO ₂ -N	0.97	0.02	0.18
NO ₃ -N	0.95	0.10	0.25
Cl	-0.51	0.77	-0.07
SO ₄ -S	0.73	-0.02	-0.67
寄与率 (%)	58	24	8

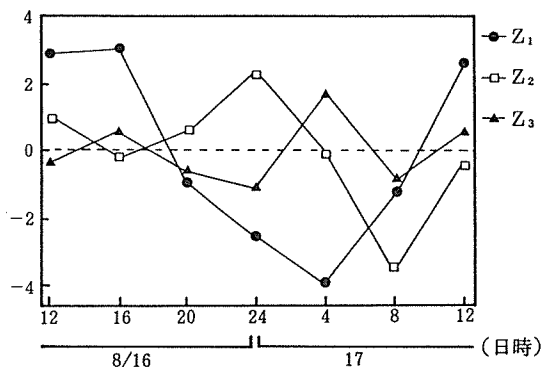


図 2-2-7 1日間の主成分スコア
時系列 (大岡川)

Z₁は4時に最小値そして16時頃に最大値をもつ1日周期の変動成分であり、Z₁と順に対応する項目は水温・pH・NO₂-N・NO₃-N、逆に対応する項目はT-P・PO₄-P・NH₄-Nであった。これらは、柏尾川の場合とほぼ同じ結果であった。一方、Z₂は12時と24時の2回極大値をもつ半日周期の変動成分であった。Z₂と順に対応する項目はT-N・SS・CLおよびCODであることから、Z₂は人間活動の影響を説明する変動成分と考えられる。従って、NH₄-Nが高い時にはDOが低くなることを考慮すると、大岡川ではNH₄-NとCODのピークが重なる夜間が魚の死亡事故を引き起こし易い時間帯といえよう。ただし、夜間は水温とpHが低いので、NH₄-Nの毒性が弱められ、また魚の代謝作用も低くなり必要な酸素量が少なくて済むことから、通常では魚が死亡するまでには至らないと考えられる。

次に、降雨影響に伴う水質変動について述べる。

表 2-2-4 に全調査期間中のデータに主成分分析法を適用した結果を、また図 2-2-8 にはそれらの主成分スコアの時系列を示した。

Z₁は柏尾川の場合と同様、降雨による直接的な影響を説明する変動成分である。Z₂は降雨影響をほとんど受けない毎日4時に極大を示す変動成分であり、Z₂は降雨流出時に最小値を示した後、漸増する変動成分であるが、いずれも因子負荷量の大きい項目で毒性と関連する項目はみあたらない。

一方、NH₄-N・PO₄-PおよびNO₃-Nについては、因子負荷量が1つの主成分だけに高くはなく、各主成分に分配されていた。そこで、柏尾川の場合と同様にこれらの項目についても、24時間移動平均を求め日周変動成分を除いたものが、図 2-2-9 である。これらの変動傾向はNH₄-Nの挙動に違いがみられる以外、柏尾川の調査結果とほぼ同じであった。NH₄-Nの挙動の特徴は降雨以前の18日10時にもピークを示していたことである。これは、図 2-2-6 を見るとわかるように、18日におけるNH₄-Nの変動は16、17日の日周変動パターンとは異なり、NH₄-Nが昼間に最低値を示さず夜間の濃度がそのまま推移したため、その24時間移動平均濃度は相対的に高くなりピークとして現れたものであ

表 2-2-4 降雨影響の主成分分析結果
(大岡川：因子負荷量)

主成分 固有値	Z_1	Z_2	Z_3
Temp	-0.01	-0.83	0.42
pH	0.03	-0.59	0.65
EC	0.90	-0.03	0.30
COD	-0.88	0.30	0.33
S-COD	-0.05	-0.35	0.83
SS	-0.89	0.32	0.25
T-P	-0.79	0.43	0.42
PO ₄ -P	0.55	0.54	0.43
T-N	-0.88	0.31	0.31
NH ₄ -N	0.58	0.68	0.10
NO ₂ -N	-0.16	-0.94	-0.02
NO ₃ -N	-0.50	-0.64	-0.40
C1	0.71	0.32	0.24
SO ₄ -S	0.76	-0.26	0.27
寄与率 (%)	41	28	17

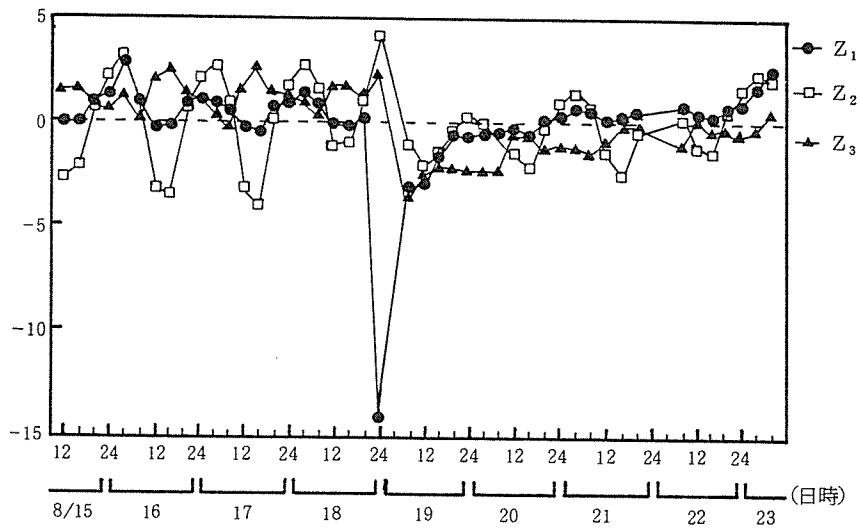


図 2-2-8 降雨影響の主成分スコア時系列 (大岡川)

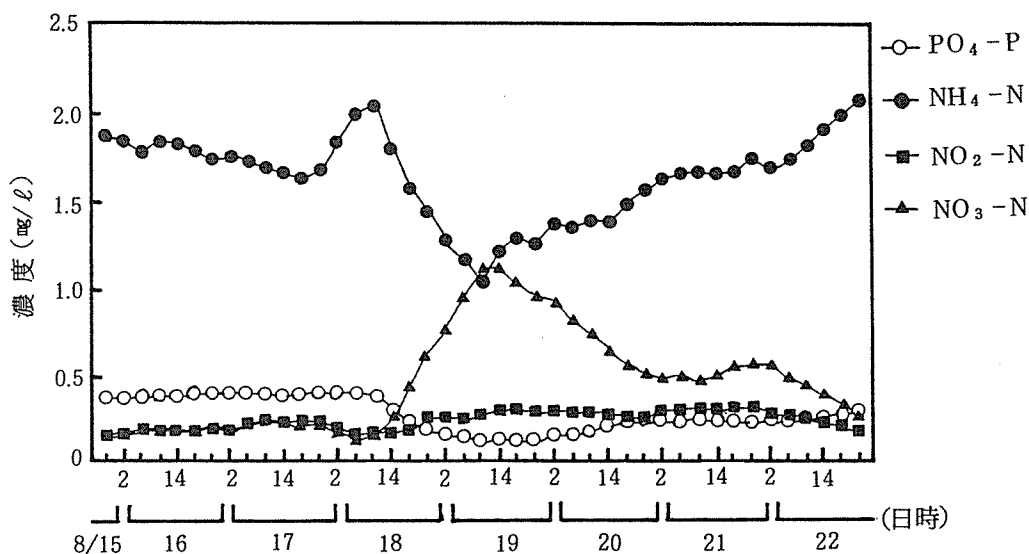


図 2-2-9 水質の24時間移動平均時系列 (大岡川)

る。18日におけるこれらの挙動は、水温とpHが18日12時以降はそれ以前に比べ低い値を示していることを考慮すると(図2-2-6)、次のように説明できる。18日には寒冷前線の通過とともに12時前から日照時間が少なくなり光合成作用が弱まったのでpHが低下した。そして、水温も低下し硝化菌の働きも弱まったため、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NO}_2\text{-N}$ は減少し相対的に $\text{NH}_4\text{-N}$ は増加した⁹⁾。このことは日照あるいは水温の低下が $\text{NH}_4\text{-N}$ を増加させ、魚に悪影響を与える可能性があることを示唆している。

2-2-5 まとめ

- (1) 日周の水質変動については、濃縮毒性変化から毒性は夜間に高く、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の変動と順に対応していた。また、夜間にはDOも低く魚の生息に不適な環境が形成されるが、水温やpHも低いため $\text{NH}_4\text{-N}$ の毒性や酸素欠乏の影響を弱めていると推察された。
- (2) 降雨影響による水質変動については、降雨によって一時的に濁度成分は高まるものの、水質はむしろ改善された。しかし、それ以降は徐々に $\text{NH}_4\text{-N}$ やCODは増加していき、逆にDOは減少した。
- (3) 日周および降雨影響の水質変動いずれについても、DOや $\text{NO}_3\text{-N}$ が多い時は $\text{NH}_4\text{-N}$ は少なく、逆にDOや $\text{NO}_3\text{-N}$ が少ない時は $\text{NH}_4\text{-N}$ は多かった。
- (4) 前線の接近は日照と水温を低下させ、それに伴い硝化菌の活性が弱まるため $\text{NH}_4\text{-N}$ は昼間でも夜間とほぼ同じ濃度で推移する現象が認められた。

2-3 季節変動特性

第1章において、事故の季節的特徴は夏期に酸欠に起因するものが多いことであった。また、日周および降雨時の水質変動特性から、加害要因に結び付く水質項目として、水温・pH・DO・NH₄-Nなどが挙げられた。ここでは、上記の項目の他に流量やDOおよびNH₄-Nと密接な関係のあるNO₃-Nも含め、河川水質の季節変動について考察する。

2-3-1 解析資料

検討に用いたデータは1981年から1985年までの毎月1回、その日の昼と夜の2回測定された公共用水域測定計画に基づく鷹匠橋（柏尾川）の1981年度から1985年度までのデータである。

2-3-2 結果と考察

水質時系列を図2-3-1に示した。

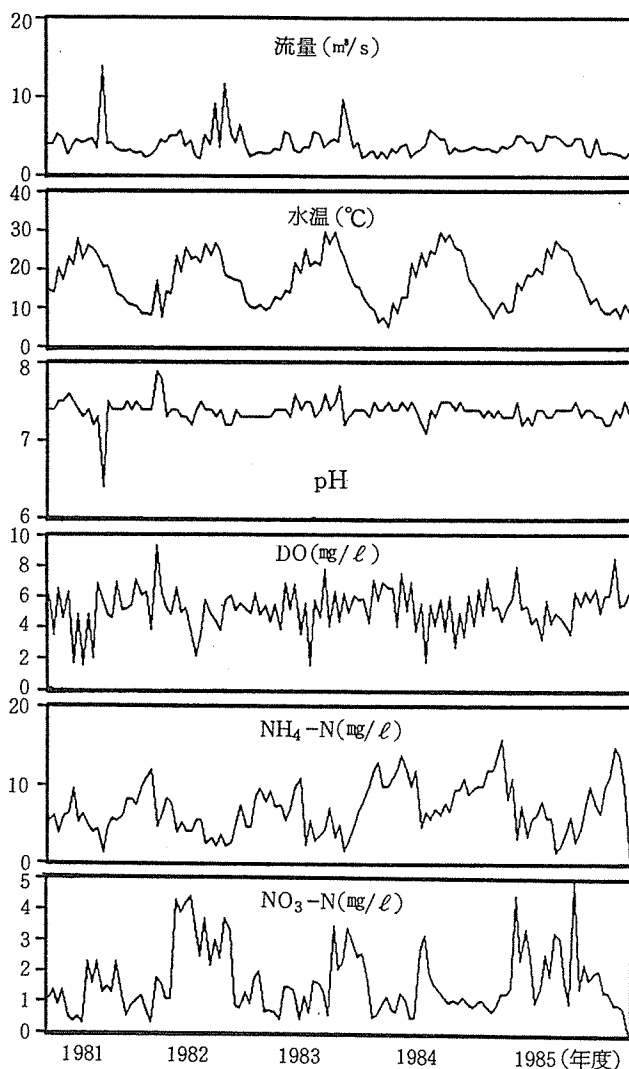


図2-3-1 鷹匠橋の水質時系列

今までと同様に、これらのデータに主成分分析法を適用した結果、表2-3-1の因子負荷量、および図2-3-2の主成分スコア時系列が得られた。 Z_1 は春から夏にかけて最大値を示す季節変動成分であり、 Z_1 の変動と順に対応する項目は流量・水温・ $\text{NO}_3\text{-N}$ で、逆に対応するのは $\text{NH}_4\text{-N}$ であった。 $\text{NH}_4\text{-N}$ が夏期に低い値を示す理由は、夏期には降雨量が多いため希釈効果があること、温度が高くなるためアンモニアの硝化反応が活発となることなどが考えられる。一方、 Z_2 は Z_1 のような季節変動を示さず、むしろ昼夜間の変動の大きい主成分であるといえる。 Z_2 の変動と順に対応する項目はpHとDOであり、これらは植物プランクトンの光合成作用によって夜間に比べ昼間に高くなっている。また、 Z_2 の変動は冬期に比べ夏期の方がその変動幅は大きい傾向がみられた。

従って、季節変動特性からみる限り、夏期には冬期に比べ $\text{NH}_4\text{-N}$ の魚に対する影響は少ないが、夏期には水温も高いので汚染底質は嫌氣的になっており¹⁰⁾、しかもDOの日周変動幅が大きいことなどから、ある程度の気象変化によってこれらの要因が複雑に絡み合い事故を引き起こすほど水質の悪化を招く場合があると推察される。

2-3-3 まとめ

- (1) 季節変動については、魚毒性と関連する $\text{NH}_4\text{-N}$ は夏期より冬期に高かった。
- (2) DOとpHについては季節変動は見られず、むしろ日周変動の方が大きかった。しかもその日周変動幅は冬期に比べ夏期の方が大きかった。

表2-3-1 5年間の主成分分析結果
(鷹匠橋：因子負荷量)

主成分 固有値	Z_1	Z_2	Z_3
流量	0.74	0.01	0.17
水温	0.75	-0.06	-0.48
pH	-0.09	-0.81	-0.49
DO	-0.17	-0.76	0.54
$\text{NH}_4\text{-N}$	-0.86	0.15	0.04
$\text{NO}_3\text{-N}$	0.72	-0.08	0.45
寄与率 (%)	41	21	17

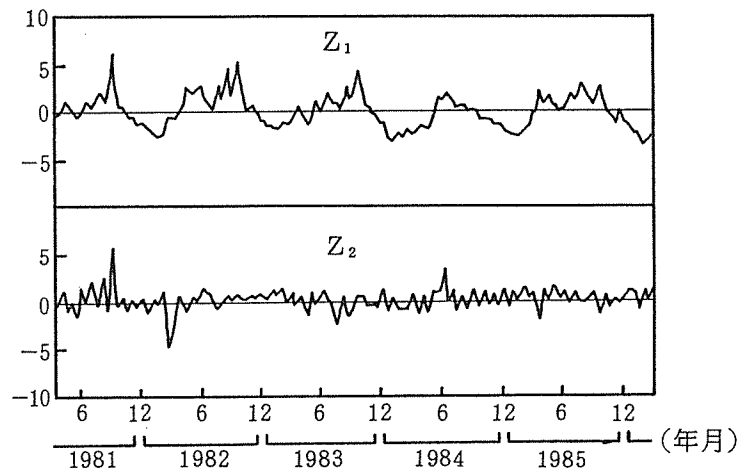


図2-3-2 鷹匠橋の主成分スコア時系列

2-4 10年間の水質変動特性

ここでは、第1章で得られた事故発生件数の経年および水域別の特徴に対して、同じ期間の水質統計値および水質変動特性との関係を検討した。

2-4-1 解析資料

検討に用いた資料は、神奈川県公共用水域測定計画測定結果の1976年度から1985年度までの毎月1回昼間のDO、NH₄-NおよびCODである。

図2-4-1に河川5地点、感潮域3地点、海域1地点の合計9地点の位置を示した。

2-4-2 結果と考察

表2-4-1にこの10年間の水質の統計値を、図2-4-2には同じ期間の水質時系列を示した。

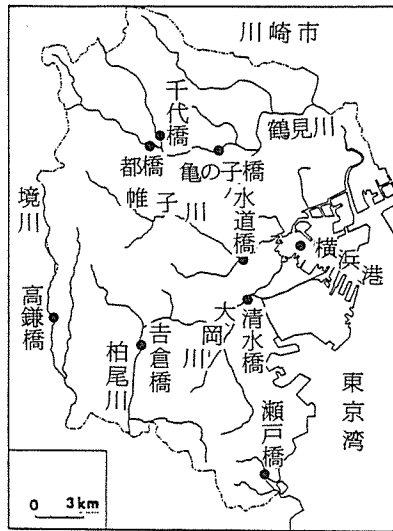
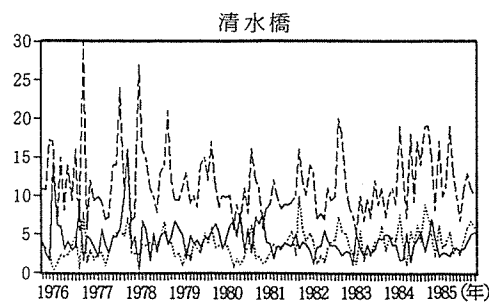
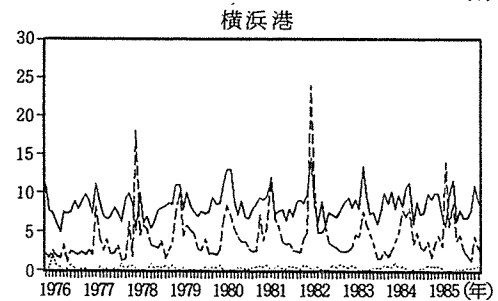
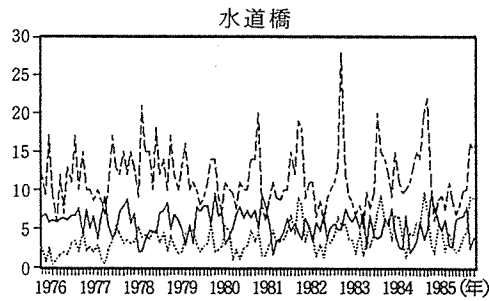
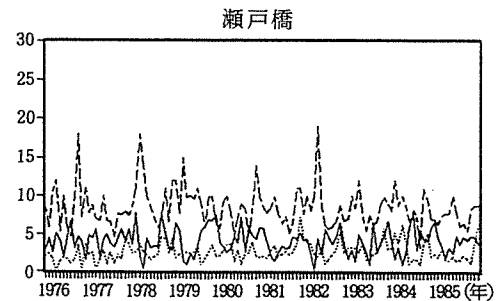
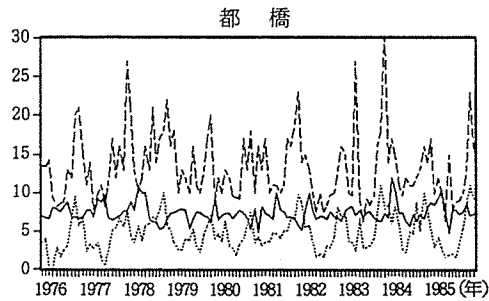
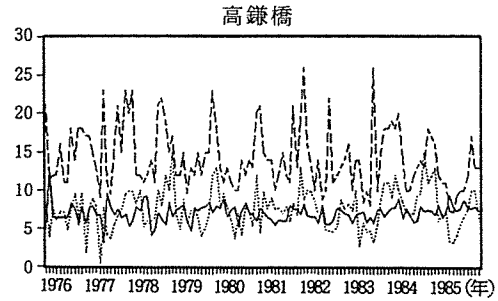
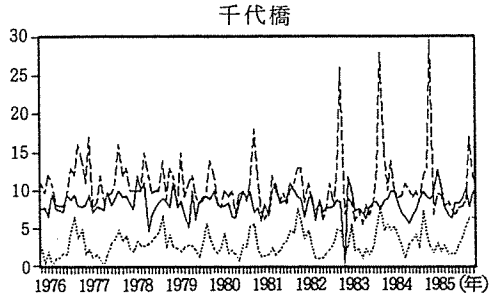
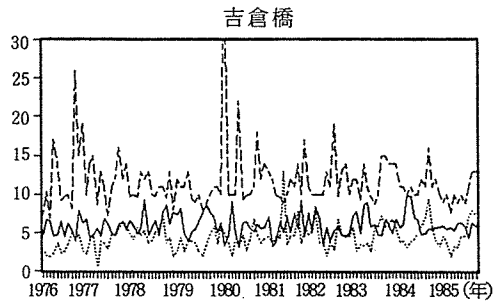
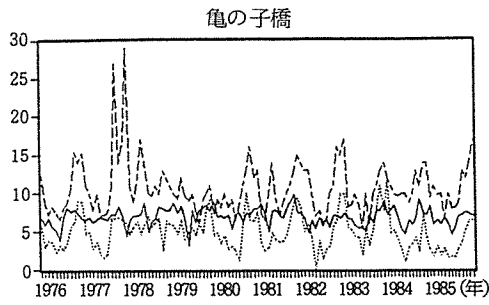


図2-4-1 測定地点

表2-4-1 1976~1985年度の水質統計値 (mg/ℓ)

	河川名	鶴見川			帷子川	大岡川	柏尾川	境川	宮川	海域
	地点名	龜の子橋	千代橋	都橋	水道橋	清水橋	吉倉橋	高鎌橋	瀬戸橋	横浜港
DO	平均値	6.9	8.4	7.4	5.5	4.2	5.9	7.0	4.0	8.3
	最小値	3.2	4.5	4.8	1.7	0.0	3.2	3.1	0.0	4.9
	最大値	9.9	12.7	12.1	9.5	16.0	9.8	13.1	7.7	14.5
	標準偏差	1.1	1.4	1.2	1.8	2.2	1.4	1.2	1.7	1.8
NH ₄ -N	平均値	4.4	3.0	4.8	3.7	3.6	4.4	7.5	2.6	0.3
	最小値	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0
	最大値	12.0	8.0	11.0	9.6	9.8	13.0	15.0	7.2	2.0
	標準偏差	2.3	1.7	2.4	1.9	1.8	1.7	2.6	1.3	0.3
COD	平均値	10.7	11.5	13.3	11.5	11.6	11.8	14.3	8.5	4.3
	最小値	5.3	5.5	6.3	5.0	5.2	6.9	7.2	3.2	1.0
	最大値	29	110	35	28	34	48	26	19	24
	標準偏差	3.5	9.8	4.6	3.8	4.5	4.4	4.1	2.6	3.2



— DO ···· NH₄-N - - - COD (mg/ℓ)

図 2 - 4 - 2 10年間の水質時系列

まず表2-4-1についてみると、DOの平均値が5mg/l以下を示す地点は瀬戸橋、清水橋であり、次いで水道橋の5.5mg/l、吉倉橋の5.9mg/lの順となっていた。前3者はいずれも感潮域に属している。また前2者のDOの最小値はいずれも0mg/lを示し、そしてそれらの標準偏差も1.7~2.2mg/lと他地点に比べ高いことから、一時的にしろDOの全く無い時期がありしかもDOの変動が大きいことは感潮域に住む魚にとって重大な脅威となっていると言えよう。ただし、これらの地点のNH₄-NやCODは他の河川の測定地点よりむしろ低いことから、汚染底質が堆積し嫌氣的になっていることと水の流動性が小さいことが水質悪化の大きな原因になっているものと考えられる。

DOの平均値が8mg/l以上を示す地点は千代橋と横浜港であった。千代橋については、生活系排水の河川への流入や流域周辺での工場の立地が少ないため、比較的水質が清浄を保っていると言える。千代橋のCODの平均値は11.5mg/lで同じ鶴見川の都橋のそれに比べて約2mg/l低い値を示した。これらことから、第1章でも述べたように、鶴見川水系において恩田川（都橋）に比べ本流（千代橋）の方が事故件数が少なかったことがわかる。横浜港については、そのDOの最大値が14.5mg/lと9地点のなかで最も高い値を示し、しかもその標準偏差は他地点に比べ大きいことから、その水質が良好というわけではなく、むしろ富栄養化現象に伴う植物プランクトンの異常増殖の結果と考えられる¹¹⁾。

NH₄-Nについては、境川の高鎌橋の平均値が7.5mg/lと他地点より約3mg/l以上大きな値を示した。従って、境川では水温やpHの少しの変化が魚の死亡事故に結び付く可能性が高いと思われる。しかし第1章で述べたように、境川では実際には事故はあまり起こっていない。現在、そこでは魚の個体数が極端に少なくなっているか、あるいは耐汚濁性の魚種しか生息していないものと推察される。また、高鎌橋ではCODの平均値も他地点に比べ最も高く水質汚濁の程度が大きいのに反して、DOは7mg/lと高い値を示した。これは、境川の河床勾配が大きいのでその曝気効果によるところが大きいため、そのことがまた境川で事故が少ない一因になっているものと考えられる。

次に図2-4-2をみると、各項目は明確な季節変動とともに、10年間のなかで大きなトレンドを示すことが認められた。例えば、水質汚濁の程度の大きい都橋ではCODが10年間のなかで何回か増加と減少を繰り返している。このように、各項目は季節変動以外にも様々な周期成分を含んでいると考えられるので、一例として都橋のデータについての周期成分を調べた¹²⁾。

図2-4-3に都橋の水質時系列のパワースペクトルを示した。いずれの項目も12ヶ月の周期成分の強度が最も大きかったが、それ以外の周期成分では各項目毎に違いがみられた。DOについては2ヶ月、3ヶ月、7ヶ月などの12ヶ月より短い周期成分だけが認められ、それより長い周期成分は存在しなかった。しかし、NH₄-NとCODについては30ヶ月の周期成分も認められた。そこで、最も強度の大きい12ヶ月の周期成分（季節変動成分）を除き長期の変動傾向をみるため、12ヶ月移動平均を行い、その結果を図2-4-4に示した。

図2-4-4から、千代橋、横浜港、瀬戸橋の3地点については、3項目ともあまり大きな変動はみられないが、それ以外の地点では1976~1985年の間にCODとNH₄-Nのピークが2~3回現れていた。ピークを示す時期は1977~1978年、1981~1982年、そして1984年であり、これらの時期は第1章・図1-1の事故発生件数がピークを示した時期とほぼ一致していた。従って、水質が悪化した年は事故が多発しやすい状況にあったと考えられる。

一方、感潮域の水道橋、清水橋、および瀬戸橋では、CODとNH₄-Nの変動パターンはDOのそれと明らかに逆な対応を示していた。これは、水質が悪化しCODやNH₄-Nが増えるとその分解に伴いDO

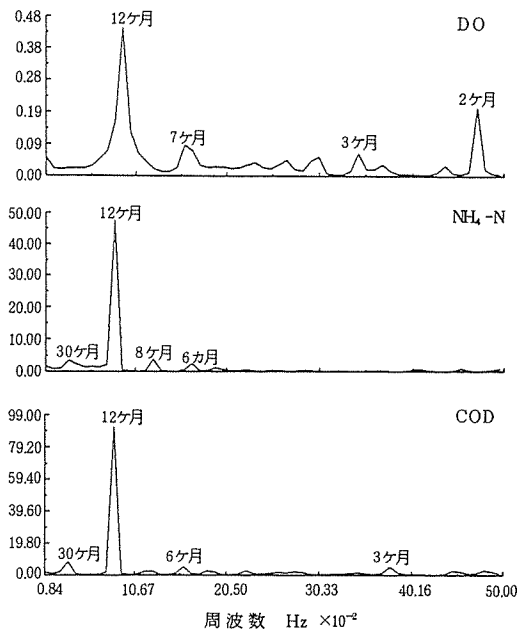
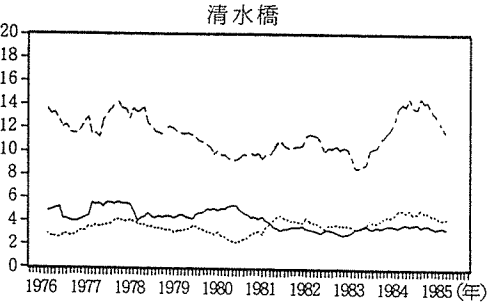
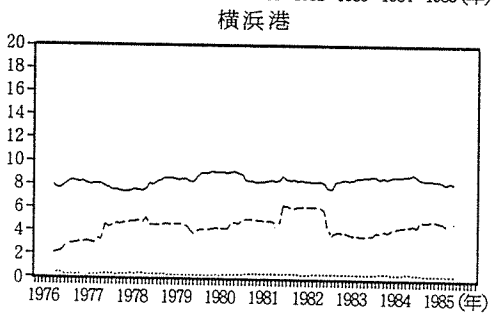
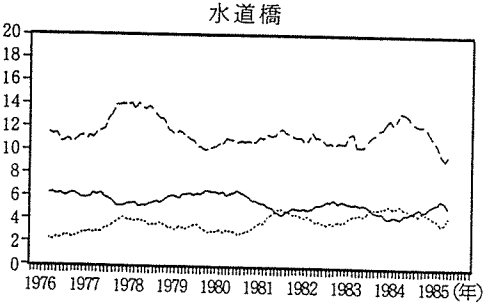
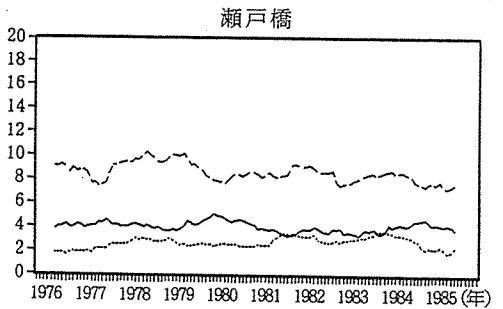
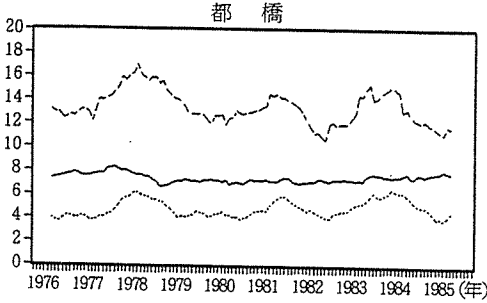
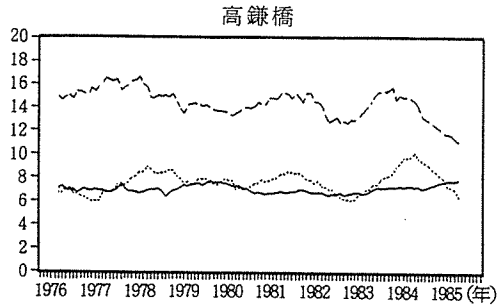
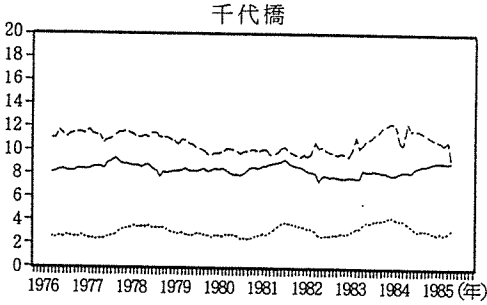
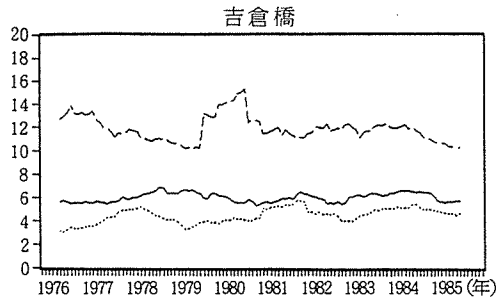
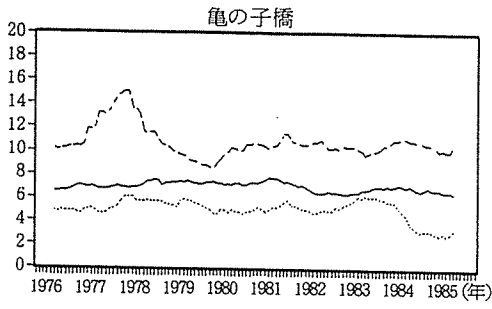


図 2 - 4 - 3 水質時系列のパワースペクトル (都橋)

が消費されるが、なかでも汚染物質の堆積しやすい感潮域でその現象が顕著に現れた結果であると推察される。

このように、年度によって水質汚濁の程度が異なる1つの理由として気象条件の違いが挙げられる。古田等¹⁾は河川水質変動の自然要因について検討を行い、平水時河川水質には月降水量の30ヶ月前後の不定周期の循環変動を背景とする循環変動がみられ、それが平水時河川流量の増減に影響し、その結果として流入負荷に対する河川水の希釈作用の強弱が水質濃度の変動をもたらしていることを明らかにした。このことを今回の結果について検討するため、図2-4-5に1976年度から1985年度までの気象時系列を示した¹³⁾。月平均気温をはじめいずれの因子も12ヶ月の周期をもち、またそれ以外にも長周期の変動を含んでいるようである。そこで、水質時系列と同様に気象時系列についてもどの様な周期成分があるのかを調べた。図2-4-6に気象時系列のパワースペクトルを示した。気温はほとんど12ヶ月の周期成分しか持たないが、日照時間や降雨量は12ヶ月以外に様々な周期成分を含んでいるのがわかる。特に、降雨量については水質時系列と同じ30ヶ月の周期成分が存在していた。その30ヶ月の周期成分が水質時系列とどの様な関係にあるのかを調べるため、図2-4-7に気象の12ヶ月移動平均時系列を示した。降雨量が目立って少ない年は1978年と1984年、やや少ない年は1981年であり、これらは水質が悪化した時期と同じであった。そして、1976~1977年頃に工場が活発に操業しておりそのため河川汚濁への影響が大きくそれ以降に魚数が減少したことを考慮すると、気象の12ヶ月移動平均時系列はやはり第1章・図1-1の事故発生件数の経年変化のパターンとも良く一致していた。一方、降雨量の少ない年には逆に気温が高くなる傾向がみられることから、温度が高くなると魚にストレスを与え、また嫌氣的分解などを促進させ酸欠事故が起り易くなっていると推察された。従って、30ヶ月周期の気象変化、特に降雨量と気温は水質に大きな影響を与え、それはまた事故を引き起こすポテンシャルを高めていることが示唆された。



— DO --- NH₄-N -- COD (mg/ℓ)

図 2 - 4 - 4 1976~1985年度までの水質の12ヶ月移動平均時系列

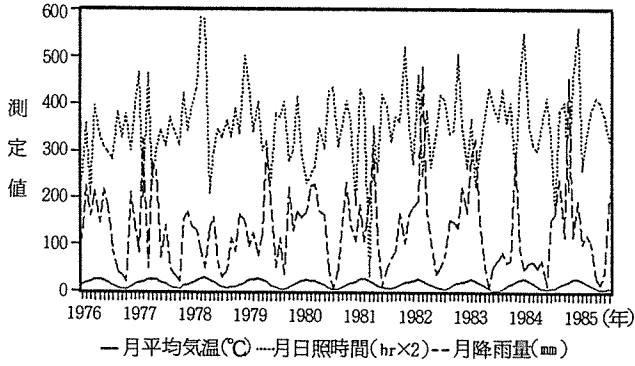


図 2 - 4 - 5 気象時系列

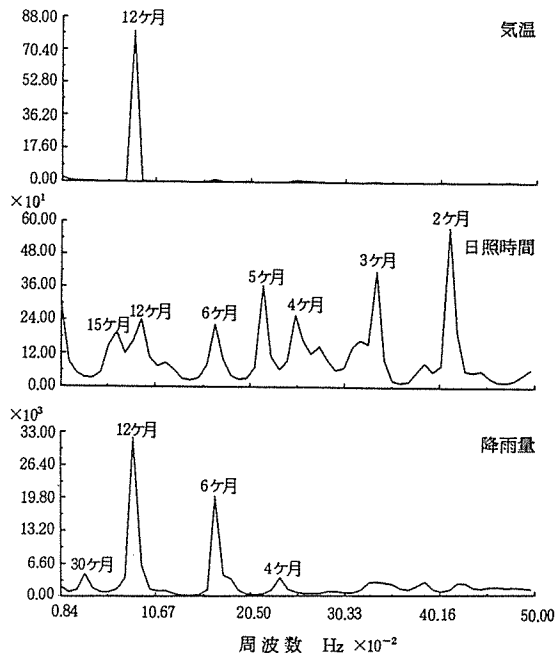


図 2 - 4 - 6 気象時系列のパワースペクトル

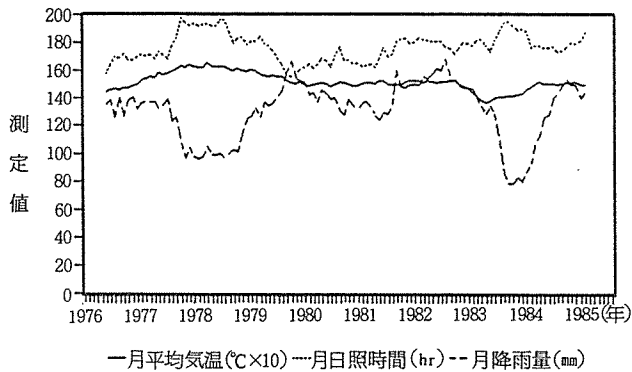


図 2 - 4 - 7 12ヶ月移動平均の気象時系列

2-4-3 まとめ

- (1) 感潮域では、DOが低い時にNH₄-NやCODが高くなることから、魚の生息にとって悪影響を与えている可能性が大きい。
- (2) 水質汚濁の程度の高い水域では、事故を引き起こすポテンシャルが高いが、そこに生息する魚種や河川形態などによって異なる状況も認められた。
- (3) 水質には30ヶ月の周期変動がみられ、それは気象変化と密接に関連していた。気象変化のなかでも、降雨量が少なく気温の高い年度は水質が悪化する傾向が認められた。また、その変動は過去における魚の死亡事故件数の増減とほぼ一致してした。

文 献

- 1) 古田正次、岩瀬敏夫：環境水質データの解析システムについて—河川水質変動の自然及び人為的な要因の検討への適用—、愛知県公害調査センター報告、17、35-438(1989)。
- 2) 二宮勝幸、水尾寛己：魚類へい死事故に関する調査—柏尾川—、横浜市公害研究所報、12、97-108(1987)。
- 3) 二宮勝幸、水尾寛己：主成分分析法を用いた周期的時系列データの解析(Ⅱ)—河川水質への応用—、横浜市公害研究所報、13、121-129(1989)。
- 4) 二宮勝幸：主成分分析法を用いた周期的時系列データの解析(Ⅰ)—COSINE関数モデルによる検証—、横浜市公害研究所報、13、113-119(1989)。
- 5) 水尾寛己、二宮勝幸：魚類へい死事故に関する調査(第2報)—アカヒレを用いた大岡川河川水の濃縮毒性—、横浜市公害研究所報、13、131-137(1989)。
- 6) Mayes M. A., Alexander H. C., Hopkins D. L. : Acute and chronic toxicity of ammonia to freshwater fish, *Environ. Toxicol. Chem.* 5 (5)、437-442(1986)。
- 7) Peter J. Ruffier, William C. Boyle, James K. Shmide : Short-term acute bioassays to evaluate ammonia toxicity and effluent standards, *Journal WPCF*, 53(3)、367-377(1981)。
- 8) 海老瀬潜一：面源負荷の流出に及ぼす水文条件の影響、国立公害研究所報告、95、57-69(1986)。
- 9) 須藤隆一：廃水処理の生物学、595-613、産業用水調査会(1977)。
- 10) 細見正明、須藤隆一：底泥からの窒素・りん溶出に及ぼす温度の影響、第20回水質汚濁学会講演集、138-139(1986)。
- 11) 二宮勝幸：横浜市沿岸および沖合域の水質変動特性、横浜市公害研究所報、14、105-120(1990)。
- 12) 日野幹雄：スペクトル解析、朝倉書店(1979)。
- 13) 日本気象協会横浜支部：神奈川県気象月報。