解 説

淀川における1994年（平成6年）渇水と水質について

土永 恒彌*・石川 宗孝**・宇野 源太***・永井 勉夫****

1. はじめに

淀川は、桂川、宇治川、木津川の三河川が合流して大阪湾に注ぐ流程 37 km、平均流量 $286 \text{ m}^3/\text{s}$ の河川で、流域は、大阪、京都、兵庫、滋賀、奈良、三重の 2 府 4 県にまたがり、流域面積は $8,240 \text{ km}^2$ におよぶ大河川である。¹⁾ 流域人口は 1,063 万人と近畿の総人口の 53 %を占め、水需要は約 $640 \text{ 万 m}^3/\text{day}$ を淀川に依存しており、京阪神の主要な上水道源である。市街化面積は $1,000 \text{ km}^2$ を超え、上流部に京都市を始めとする人口集中地域が位置し、流域の開発も進んでおり、都市河川としての特徴を示している。しかし淀川を構成する三河川（宇治川、桂川、木津川）の水理・水文特性の違いや、流入汚濁物質の負荷の差異、季節変動などを反映して水質変動は複雑である。従って、淀川の水質保全は重要な意義を持っている。

一般に河川の水質は水文条件の変動の影響を受けることは明らかであるが、その影響の程度や影響を受ける水質項目はそれぞれの河川の大きさ、流域の状況、河状係数等で異なる。淀川においては、特に渇水時における水質悪化や降雨時における流出負荷の増大が重要な検討課題となっている。^{2), 3)}

淀川の渇水は通常秋～冬期に生起（最近では 1973, 1977, 1978, 1984, 1986 年が渇水であった²⁾）し、渇水時には水質の悪化が著しいことが知られている。1987 年以降幸い渇水に見舞われることがなかったが、1994 年（平成 6 年）は西日本全体で降雨が少なく、淀川においても 7 月～12 月にかけて渇水状況を呈した。著者等は、淀川水質汚濁防止連絡協議会の水質機構小委員会において渇水時の水質解析や水質予測の検討を行ってきた^{2) 3)}。また、淀川の中流域の豊里大橋

地点において 1989 年以降定期的な水質観測を実施し、中流域の水質変動特性の検討を行っている。淀川の渇水の経緯と 1994 年（平成 6 年）の渇水時の水質状況の概要を報告する。

2. 淀川の水質と水質

2. 1 淀川の流量と淀川の流況

表 1 に 1990 年における日平均流量の統計量⁵⁾を示した。

淀川流域では、気象学的に以下の 4 区域に分類されると言われている。¹⁾

- ①下流部区域：雨量の少ない瀬戸内海気象型に属する。
- ②木津川上流区域：太平洋型気候で、台風による雨量の多い紀南山地に連なっている。
- ③琵琶湖北部区域：降雨量の多い日本海型気候区に属し融雪期の流出が大きい。
- ④桂川上流区域：前線性雨量が多く梅雨期に流出が大きい。

淀川が気象特性が異なった流域によって構成されていることによって、年間を通じて比較的安定した流況

表 1 淀川本川および上流各河川の流況（昭和60年）

	R. Kizu	R. Katsura	R. Uji	R. Yodo
Average flow (m^3/sec)	47.2	27.3	204.0	285.9
95-day flow (m^3/sec)	44.1	26.8	219.7	298.4
Ordinary flow (m^3/sec)	27.1	15.1	151.8	209.9
Low-water flow (m^3/sec)	18.6	9.5	107.7	157.9
Drought flow (m^3/sec)	11.1	4.5	79.7	113.0

表 2 1990年における日平均流量の統計量

	R. Kizu	R. Katsura	R. Uji	R. Yodo
Max. (m^3/sec)	2,141.9	1,081.4	916.7	4,124.5
Min. (m^3/sec)	6.01	5.5	53.9	84.7
Av. (m^3/sec)	54.55	42.22	186.38	267.55
S. D. (m^3/sec)	180.74	89.54	108.24	351.99
Coefficient of regime	356.4	197.0	17.0	48.7

* 大阪市立環境化学研究所 Tsuneya TSUCHINAGA

** 大阪工業大学土木工学科助教授 Munetaka ISHIKAWA

*** 前大阪工業大学土木工学科教授 Genta UNO

**** 関西環境管理技術センター Michio NAGAI

を維持している。

宇治川の流量の変動は木津川、桂川に比して小さく年間を通じて安定した値を示している。1990 年における河伏係数は約 50 で、淀川に対する寄与率（平均流量比）は過去 30 年平均で 64% であった。木津川の流量は変動が最も大きく河伏係数 356 で淀川に対する寄与率は 19% と小さいが、降雨時の水質変動の寄与は大きい。桂川は淀川に対する寄与率は 17%（京都盆地を含む）で、木津川に比べて変動は比較的小さく、河伏係数は 197 であった。

2. 1 淀川における過去の渇水

淀川における最近の渇水は 1973 年（S48）、1977 年（S52）、1978 年（S53）、1984 年（S59）、1986 年（S61）が渇水年であった。淀川本川の各渇水年の流況は以下のようなものである。²⁾

1973 年（S48 年） 渇水：6 月から平均値を下回り、8 月には最低の 0.31（平均流量比）まで低下したが、以後徐々に回復し翌年 2 月には平均値を上回った。

1977、1978 年（S52、53 年） 渇水：3 月～5 月は 0.59～0.78 と平均値を下回ったが、6 月には平均値となった。その後流量は減少し 8 月には最低の 0.2 となり、その後回復に向かったが翌年 3 月まで平均値には至らなかった。

1984 年（S59 年） 渇水：7 月まで平均値並であったが、8 月は 0.35 と平均値を大きく下回り、その後も回復せず翌年 1 月まで 0.4～0.6 程度で終始し 2、3 月に 0.7 となり回復にむかった。

1986 年（S61 年） 渇水：7 月下旬から 11 月下旬までは 59 年とほぼ同様の流況で推移した。12 月中旬～1 月に琵琶湖流域を始め流域で平均以上の降雨量があり、回復に向かった。

2. 3 淀川の水質と変動特性

著者らは、長期の観測結果および、1989 年から実施している定期（日変量）観測の結果の解析から、淀川の水質の変動特性を以下のように整理した。^{3), 4)}

1) 流量は、アンモニア性窒素、塩化物イオンのような、汚濁項目あるいは都市活動の指標項目で、かつ溶解性の物質との間に負の高い相関性を示し、これらの物質が点的排出源からの負荷が大きいことを示している。

2) 流量との間に正の相関を示す項目は、長期（平水時）の結果には見られない。しかし、経日観測の結果では、浮遊物質が、流量との間に正の高い相関を示した。これは降雨時の流出や河道の攪乱による懸濁性物

質の増加によるものである。

3) 水温は一般細菌数との間に正の、溶存酸素との間に負の高い相関関を示している。アンモニア性窒素や、生物分解性有機物質は、水温との間に負の相関を示す。

4) 主成分分析の結果、第 1 主成分は流入汚濁物質に対する希釈の影響と、豊水～洪水時における懸濁性物質の増加を反映したような、流量の変化の影響を示す主成分であることがわかった。従って、点的発生源からの負荷を受ける地点では、寄与率は大きい値を示している。

5) 第 2 主成分は、長期（平水時）の観測結果では、すべての地点で水温の変化と微生物の活動の影響を示す主成分であることを示した。経日観測結果では、その年の気象・水文条件を反映して、平水時の結果と異なっており、アンモニア性窒素が抽出されないことがある。

6) 渇水時の水質は、淀川の渇水はすでに述べたように、秋～冬期に生起し、渇水時には、水質（特にアンモニア性窒素、BOD 濃度の増加）が悪化することが知られている。著者等は多変量解析法による渇水時の水質（特にアンモニア性窒素、BOD 濃度の増加）が悪化することが知られている。著者等は多変量解析法による渇水時の水質悪化が第一主成分によって総合的に評価できることを明らかにした。^{2), 3), 4)}

3. 1994 年（平成 6 年）渇水の状況

1994 年 6 月～1995 年 2 月の間の琵琶湖水位の状況を図-1 に示した。併せて 1939 年（昭和 14 年）および 1984 年における水位状況を示した。

図-1 琵琶湖水位の状況

図-2
淀川流量（牧方大橋）の経日変化(1)

図-3
淀川流量（牧方大橋）の経日変化(2)

琵琶湖水位の変化は6月始めに-15 cmを下回り、下旬には-20 cm、7月中旬には-30 cm、下旬には-50 cmと減少し、昭和14年渇水を上回る低下状況を示した。8月に入り水位はさらに低下し続け、9月には-100 cmを下回り、1939年渇水以来の低水位を記録したが、水位はさらに低下し9月15日には観測史上最低の-123 cm記録した。この後流域にはまとまった降雨が見られ、10月始めには、-50 cmと水位はかなり回復したが、その後12月末までは59年渇水と同様の水位を示した。1995年1月以降回復に向かった。

一方、淀川の基準地点である牧方での流量は、上流三河川の合計量であり必ずしも琵琶湖水位と一致しないが、琵琶湖水位の低下とともに減少している。図-2、図-3に1994年4月～12月の淀川流量（日平均、3河川の流量および取水量等から推定）の変化を示した。併せて1990年の変化を示した。6月中旬までは通年なみの流量で推移しているが、下旬から減少し始め7月初旬には100 m³/sec程度に減少した。7月9日前後に若干降雨があり200 m³/sec程度に増加したが、その後8月末まで90～100 m³/secで推移した。9月に入りさらに減少し、9月14、15日には60～70 m³/secまでに減少した。9月16～18日は木津川流域で若干降雨があり増加（400～500 m³/sec）したがその後再び減少した。そして9月30日に流域でかな

りの降雨があり2000 m³/sec近い流量を示した。しかし、その後再び減少傾向を示し10月中旬以降80～90 m³/secと渇水状況を呈した。

4. 1994年（平成6年）渇水と水質の特徴

著者等は、1989年から淀川の中流域の豊里大橋において水質観測を実施している。1994年は1988年以来の渇水であり、さらに夏期は通年に比べて気温が高く通常年では観測されない水質の観測結果が得られた。6月～12月の観測結果を用いて、1994年渇水の水質の特徴について考察した。水質測定項目は気温、水温、PH、塩化物イオン、浮遊物質（SS）、溶存酸素、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、総窒素、

表3 基本統計量

項 目	最大	最小	平均	標準偏差
水温 (°C)	33.0	15.0	23.9	5.20
PH	8.3	6.6	7.3	0.36
塩化物イオン (mg/L)	24.8	4.2	16.3	4.36
浮遊物質 (mg/L)	105	5	11	15.60
溶存酸素 (mg/L)	10.8	2.7	7.7	1.26
アンモニア性窒素 (mg/L)	0.65	0.03	0.22	0.227
全窒素 (mg/L)	1.95	0.83	1.20	0.228
COD (mg/L)	6.18	2.4	3.8	0.94
TOC (mg/L)	8.05	2.0	3.8	1.52
流量 (m³/sec)	1890	68.5	149	287

COD, TOC, TOC（溶存態）および変異原性試験で、観測結果の基本的計量を表 3 に示した。

4. 1 水質時系列

図-4 に塩化物イオン、アンモニア性窒素浮遊物質の、図-5 に水温 (W,T), PH, 溶存酸素 (DO) の時系列変化を、また図-6 に TOC, COD, 全窒素 (T-N) の時系列変化を示した。併せて、1990 年の観測値を通常年の一例として示した。

図-4 に示したように、塩化物イオンは渇水時には高い値を示し、降雨時の流量の増加した時は減少し、流量の変化と逆比例して変化している。一方浮遊物質は変化は小さいが流量の増加に伴って増加している。特に 10 月始めのピークは流量が $1890 \text{ m}^3/\text{sec}$ を示した時の流出によるものである。アンモニア性窒素は 7 月～8 月は通常年に比してかなり低い値で推移しており、9 月以降は 1990 年と同様の变化を示した。これ

図-4
塩化物イオン (Cl^-),
アンモニア性窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)
浮遊物質 (SS), の経日変化

図-5
水温 (WT), PH, 溶存酸素
(DO) の経日変化

図-6
TOC, COD,
全窒素 (T-N) の経日変化

は、1994年の夏は例年にない猛暑で、水温もかなり高く硝化の進行に伴ってアンモニア性窒素が減少したことによると考えられる。このことは、図-6に示したように全窒素の変化が1990年と大きく変わっておらず、淀川の窒素の流入負荷量は1990年と同様と考えられるので、アンモニア性窒素の減少は処理場や流出の過程での変化、すなわち硝化によるものと考えることによって説明出来る。

図-5で示したように、溶存酸素は7月～8月に8.0以上の値を示し過飽和状況を呈しており、8月5日には160%、9日には140%の値を示した。PHも7月～8月にかけてPHが8.0を超え、8月5日には8.1を示した。9月以降は7.0前後の値を示した。またこの傾向はCOD, TOCも同様の傾向を示しており、これらの現象の間に何らかの関係があると思われる。これは、相関分析で述べるように、流量の減少による滞留時間の増加と高温による富栄養化に起因するものと考えられる。

図-6に示したように、7月～8月のTOC, CODの変化は何れも溶存酸素の変化と対応しており、富栄養化によるプランクトン由来の有機物質を反映していると考えられる。

また、全窒素は7月～9月の間はほぼ一定の値である。1990年の8月～9月中旬のTOC, COD, 全窒素の増加は集中豪雨による流出の結果、流域の土壌、田

畑からの洗い出しによることがわかっている⁵⁾。従って、1990年以降全窒素の流出負荷はほとんど変わっていないと考えられる。

しかし、COD, TOC, 全窒素の変化は渇水による流量の減少、富栄養化、降雨時の流出などが合わさって複雑に変化する、と考えられる。

4. 2 相互関係

著者は、淀川の水質変動は、流量および水温によってその70%を説明出来ることを、主成分分析によって明らかにしてきた^{2), 3), 4)}。また、単年度の経日観測の結果から浮遊物質が流量との間に正の相関を示すことを明らかにした^{4), 5)}。1994年においても、塩化物イオンは流量との間に負の相関を示し ($r = -0.69$)、浮遊物質は正の相関を示した ($r = 0.89$)。またTOC (溶解性) が若干負の関係 ($r = -0.31$) を示した。このことは、渇水であっても基本的な水質の変動構造 (溶解性物質の希釈、懸濁性物質の増加) は通常年と同じであることを示している。しかし、アンモニア性窒素 ($r = -0.087$)、総窒素 ($r = 0.157$)、TOC ($r = 0.182$)、COD ($r = 0.151$) は流量との間に顕著な関係を示さなかった。

水温は、溶存酸素や微生物、および微生物分解を受けるような物質との間に負の相関が通常年では認められる。しかし、1994年の結果からは溶存酸素と水温との間には相関が認められなかった ($r = -0.139$)。一

方、通常年では認められないような TOC ($r=0.65$), COD ($r=0.54$) との間に正の、アンモニア性窒素との間に負の相関 ($r=-0.49$) が見られた。通常年では水温と TOC, COD との間には相関は見られない。

これは、溶存酸素と PH との間に相関が見られる ($r=0.402$) ことと併せて考えると、時系列の項で述べたように渇水により湛水区間の滞留時間が長くなり、猛暑による高い水温と重なり富栄養化現象が生じたことによるものと考えられる。すなわち、富栄養化により植物性プランクトンが異常増殖し、その結果炭酸ガスの減少によって PH が高くなる。一方炭酸同化作用により溶存酸素が増加する。その結果夏期の水温の高い時期の溶存酸素濃度の増加と、低水温時の増加とが相殺したことにより水温との相関関係が低下したと考えられる。またプランクトンの増殖により TOC, COD が増加し、さらに浮遊物質も増加する。浮遊物質と水温との間にも相関が見られた ($r=0.325$)。これらの現象が水温との間の相関関係を支配したのと考えられる。アンモニア性窒素と水温との関係は、近年の鳥羽処理場における様々な努力に加え、高い温度条件下で、下水処理場や流下の過程でアンモニア性窒素の硝化が促進されたことにより、流量の低下にも関わらずアンモニア性窒素が増加しなかったと考えられる。

6. お わ り に

1994 年の淀川の流況は、1986 年（昭和 61 年）以来の渇水状況を呈した。1989 年から著者等が中流域の豊里大橋において、水質の定期観測を実施して以来初

の渇水時の水質変化を把握した。

通常年では得られない知見が得られた。詳細な解析結果はあらためて報告したいが、概要を報告した。渇水は確率的には、数年に一回は生起する現象である。今回の知見が渇水時の水質保全施策に役立てば幸甚である。

なお、本報告の執筆にあたり貴重な助言をいただいた淀川水質汚濁防止連絡協議会水質専門委員会委員長の岩井重久先生に感謝します。

また、淀川 1994 年の水質観測に協力していただいた大阪工業大学土木工学科の卒業研究生の諸君に感謝します。

本報告で用いた 1994 年の流量データは近畿地方建設局河川調整課から提供していただいた。ただし、枚方流量は上流 3 河川の流量と取水量から著者が推定した値であり確定値ではない。

参 考 文 献

- 1) 淀川水質汚濁防止連絡協議会：淀川水質汚濁連絡協議会 25 周年記念誌, 1985 年。
- 2) 土永恒彌, 川島普, 宇野源太, 小田国雄, 永井勉夫：渇水時の水質及び負荷量の予測, 淀川水質機構調査 (第 12 報), 淀川水質汚濁防止連絡協議会, 1986。
- 3) 土永恒彌, 川島 普, 宇野源太, 小田国雄, 永井勉夫：主成分分析による渇水時の淀川の水質解析, 大阪市環科研報, No.49, pp.21-32, 1987。
- 4) 土永恒彌, 宇野源太, 川島 普：多変量解析法による淀川の水質解析, 環境技術, vol.21, pp764-775, 1992
- 5) 土永恒彌, 宇野源太, 川島 普：淀川における水質・負荷量の変動特性, 環境技術, vol.22, pp171-182, 1993