

直近 15 年間ににおける神戸市内都市河川水質の時空間変動特性

宇野宏司* 富士和伽**

A Spatiotemporal Fluctuation Characteristics of River Water Quality in Kobe City During the Last 15 Years

Kohji UNO* Nodoka FUJI**

ABSTRACT

瀬戸内海では、近年、栄養塩類の減少により水質の改善が過度に進み、海が痩せているとの指摘がある。「きれいな海」から「豊かな海」づくりへの転換を図るための施策を展開するには、陸域からの負荷量を適切に管理する必要があるが、そのためには、現状の陸域負荷量を把握することが重要である。本研究では、神戸市内を流れる河川の代表的な公共用水域水質測定点における水質測定結果(2001～2015年度)をもとに、市内都市河川の水質の時空間変動特性を明らかにした。また、生活環境項目である BOD, SS, DO, T-N, T-P の平均値を対象としたクラスター分析では、流域の地勢特性に対応した良好な分類結果を得ることができた。

Keywords : water quality, public waters, hierarchal cluster analysis, Kobe City

1. はじめに

公共用水域における水質の状況については、水質汚濁防止法第16条⁽¹⁾に定められた測定計画に基づいて常時監視がなされ、各自治体や関係機関でその測定データが公開されている。神戸市では、高度成長期に、工場や人口が集中している市街地からの排水により河川や海域での水質汚濁が進み、公害問題が深刻化したことを受けて、市内主要企業と公害防止協定を締結し、総量規制の考え方を導入した独自の規制や、下水処理施設の整備により生活排水対策等のさまざまな水環境保全施策が展開されてきた。その結果、市内の河川水質は大きく改善され、近年は良好な水質を維持している。その一方で、行き過ぎた水質改善が原因と考えられる海苔の色落ち問題など、新たな問題も生じている。そのため、平成27年10月には瀬戸内海環境保全特別措置法⁽²⁾が改正され、さらに平成28年10月には同法に基づく兵庫県計画⁽³⁾が策定された。瀬戸内海を人の活動により、自然が持つ価値や機能が最大限に発揮される「豊かな海(里海)」とすることを目的として、「沿岸域の環境の保全、再生・創出」「水質の保全、管理の推進」「自然景観、文化的景観の保全」「資質資源の持

続的な利用の確保」を4つの柱として、各種施策が進

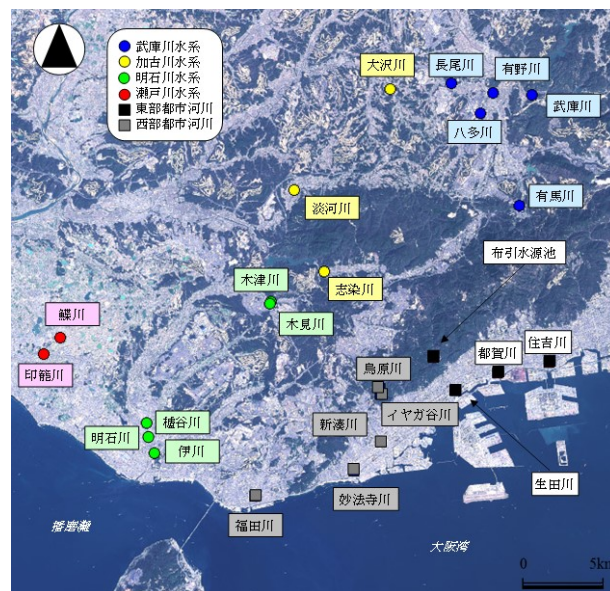


図1 解析対象地点の空間分布

められようとしているところである。

神戸市内の河川は、図1に示すように6つの水系(水域)に分けられ、それぞれ特色ある流域を有している。公共用水域の常時監視結果については、当該年の概況

* 都市工学科 准教授

** 都市工学科 卒業生

表1 解析対象地点の位置情報

水域名	水系名	No.	河川名	測定地点名	緯度 (N°)	経度 (E°)	標高 (m)
北神水域	武庫川水系	1	武庫川	亀治橋	34.86694	135.25750	133.8
		2	有馬川	長尾佐橋	34.80278	135.24861	330.2
		3	有野川	流末	34.86778	135.23000	158.0
		4	八多川	才谷橋	34.85611	135.22111	168.0
		5	長尾川	大江橋	34.87333	135.20056	168.1
	加古川水系	6	大沢川	万歳橋	34.87028	135.15694	120.5
		7	淡河川	万代橋	34.81167	135.08944	116.9
		8	志染川	坂本橋	34.76417	135.11056	150.0
西神水域	明石川水系	9	明石川	上水源取水口	34.66861	134.98583	10.5
		10	木津川	流末	34.74694	135.07250	118.0
		11	木見川	流末	34.74556	135.07194	111.2
		12	櫛谷川	流末	34.67611	134.98472	9.3
		13	伊川	二越橋	34.65861	134.99028	7.3
	瀬戸川水系	14	鱒川	西区岩岡町	34.72556	134.92389	43.6
		15	印籠川	西区岩岡町	34.71611	134.91194	27.4
都市河川水域	東部都市河川	16	住吉川	住吉川橋	34.71194	135.26889	11.8
		17	都賀川	昌平橋	34.70528	135.23278	7.5
		18	生田川	小野柄橋	34.69556	135.20278	10.0
		19	布引水源池	水源池上流	34.71444	135.18750	228.0
		20	新湊川	南所橋	34.66556	135.15028	7.7
	西部都市河川	21	鳥原川	水源池上流	34.69667	135.14972	125.0
		22	イヤガ谷川	水源池上流	34.69333	135.15000	97.5
		23	妙法寺川	若宮橋	34.64833	135.13139	6.0
		24	福田川	福田橋	34.63389	135.06083	1.4

【武庫川水系】武庫川

【加古川水系】淡河川



【明石川水系】明石川・伊川

【瀬戸川水系】印籠川



【東部都市河川】住吉川

【西部都市河川】福田川

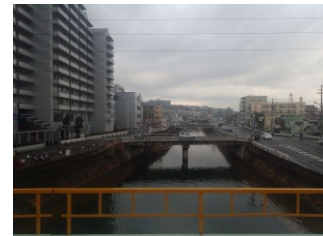


写真1 各水系(水域)の景観

や経年変化についてまとめられている⁽⁴⁾ものの、市内全域を対象にした河川水質の時空間的な変動特性までは言及されていない。また、市内河川を対象に底生生物と水環境との関係を調べた研究などがある⁽⁵⁾が、その他の既往の研究も少ない状況である。

神戸市内河川は、いずれも個々のスケールは小さいものの、それらをあわせると大阪湾奥部へのまとまった陸域流入負荷源として考えることができる。そのため、流域スケールでの水質変動を把握することは広域な水環境保全の観点からも重要である。特に、市内の下水処理施設の整備が概ね完了し、その整備率がほぼ横ばいになる2000年以降の期間を対象にすることは、対策実施後の陸域発生源負荷の実態を把握する上で意味をもつ期間である。

以上のような社会背景を踏まえ、本研究では、神戸市内における代表的な公共用水域水質測定点の測定結果(2001~2015年度)をもとに、時空間変動の特性や隣接する水域との相似性や独立性についての検討をおこなった。

2. 研究方法

2.1 解析対象水系(水域)の地形的特徴 表1に解析対象地点の位置情報、写真1に各水系(水域)の景観を示す。市内北東部に位置する武庫川水系河川(武庫

川・有馬川・有野川・八多川・長尾川)は、六甲山系北側の丘陵地を北上し、宝塚市や西宮市を經由して、大阪湾に流入している。測定地点付近は標高も高く、溪流となっている。市内北部に位置する加古川水系河川(大沢川・淡河川・志染川)は六甲山系北側から三木市や加古川市を經由して兵庫県内最大の流域規模を誇る加古川に接続している。市内西部に位置する明石川水系河川(明石川・木津川・木見川・櫛谷川・伊川)は、六甲山系西側から田園地帯を緩やかに流下し、明石海峡に流入している。市内西端に位置する瀬戸川水系河川は、最も流域面積が小さく、他の河川に合流することなく、独立して瀬戸内海に流入している。流域面積の約半分が農地であり、多くのため池を結ぶ水路ネットワークが形成されている。「表六甲河川」とも称される東部都市河川(住吉川・都賀川・生田川・布引水源池)及び西部都市河川(新湊川・鳥原川・イヤガ谷川・妙法寺川・福田川)における中下流域では、観測開始当初から市街化が進んでいるが、その源流の多くは六甲山系内にあり、清廉な水が流れている。

2.2 使用データ 対象とするのは表1、写真1に示す神戸市内6水域24地点の公共用水域水質測定結果のうち、2001年度から2015年度の4季(5月、8月、11月、2月)データ(生活環境項目:BOD, COD, SS, DO,

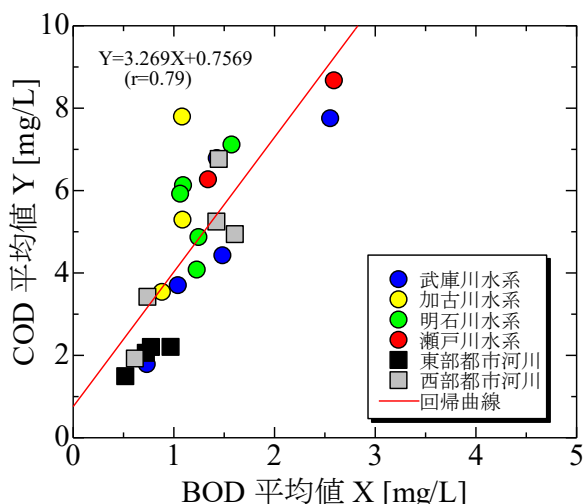


図2 水質相関図 (BOD-COD)

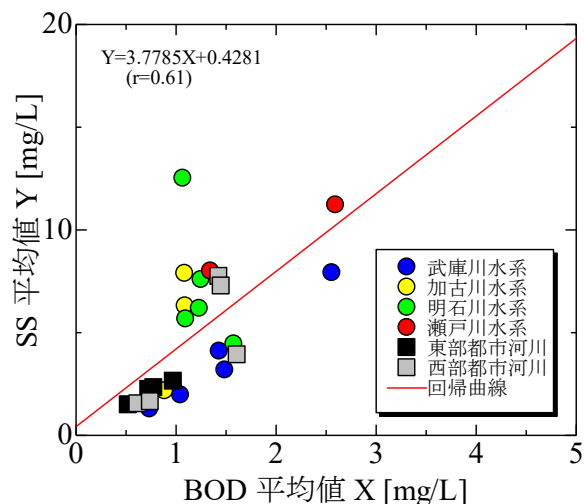


図4 水質相関図 (BOD-SS)

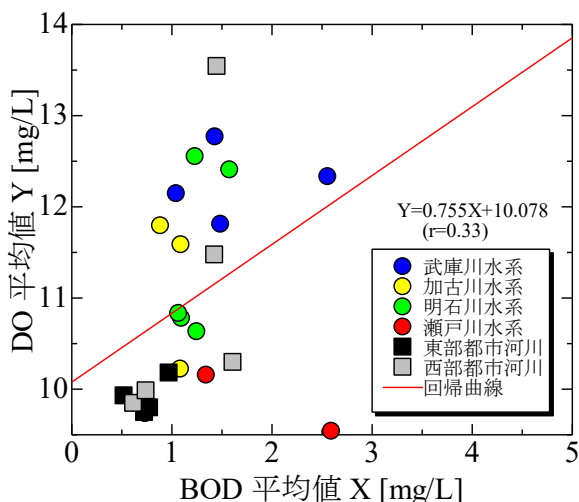


図3 水質相関図 (BOD-DO)

T-N, T-P) である。ただし、欠測の場合には直近の月の測定値を引用するか年平均値を適用するなどして補完した。また、定量下限値未満のものは、定量下限値を測定値とした。これらをもとに、各水質項目について年度ごとの統計値(平均値, 変動係数)を算出し、これを解析データとした。

2.3 統計解析 階層的クラスター分析は、最も似ている組み合わせから順番にまとまり(クラスター)にしていく方法で、途中過程が階層のように表せ、樹形図(デンドログラム)が得られる⁶⁾。

本研究でのクラスター間の距離測定方法には、分類感度が群平均法や最短距離法などの他の測定方法よりも優れているとされるウォード法を採用した。

階層型クラスターの短所として、分類の対象が非常に多い場合、計算量が多くなり、実行が困難になったり、樹形図(デンドログラム)が巨大になり、結果が不明瞭になったりすることが指摘されている。そこで

本研究では、各河川だけではなく、6つの水系(水域)を対象にした分析についても実施し、両者を比較した。

3. 結果と考察

3.1 水質項目間の相関特性 図2にBOD(生物化学的酸素要求量)とCOD(化学的酸素要求量)との相関を示す。両者はともに試料水中に含まれる有機物等を酸素消費量を指標として表したものであり、強い正の相関が見られた。ただし、前者は微生物分解によるもの、後者は酸化剤を用いた分解によるものであり、両者は必ずしも一致しない。河川では有機物の指標としてBODを用いるのが一般的であるが、ここでは各水系における事業排水からの影響を検証するために両者を比較することとした。一般に畜産系や食品事業系からの排水の影響が強いところではCOD/BOD < 1となることが知られている。神戸市では事業規模こそ大きくはないが、西区を中心に畜産業も展開されている。しかしながら、市内河川ではいずれの測定地点もCOD/BOD比が1を超える結果となっており、そのような影響は確認されなかった。

図3にBODとDO(溶存酸素量)との相関を示す。両者の間には弱い正の相関が見られた。一般に上流域(溪流)では流れが速く、不連続な縦断面形状により落差も大きいため、水面が波立ちやすく酸素の取り込み量が多い。そのためDO値は高くなる傾向にあるが、そのような地勢条件を満たす武庫川水系ではこのことが確認された。また、一般に下流に向かうにしたがって、有機物量が増えBOD値は上がる傾向が見られるが、東部都市河川や西部都市河川では、下流域の測定地点でもBOD値は低いままである。この要因としては、河川長が短いため、森林域に源を発する良質の河川水が容易に下流に流達しやすい地勢にあることや、市街地における分流式下水処理施設の整備により、流下過程で生活雑排水の流入がなく、汚染されにくい状況であ

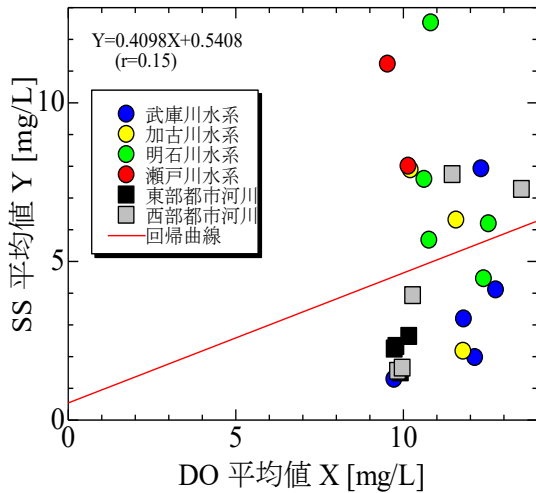


図5 水質相関図 (DO-SS)

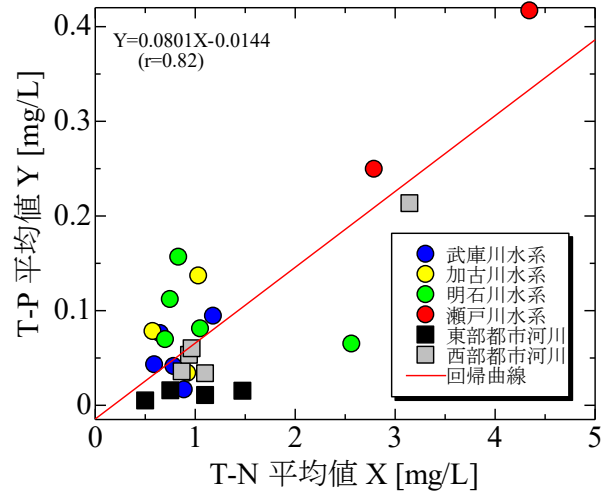


図6 水質相関図 (T-N-T-P)

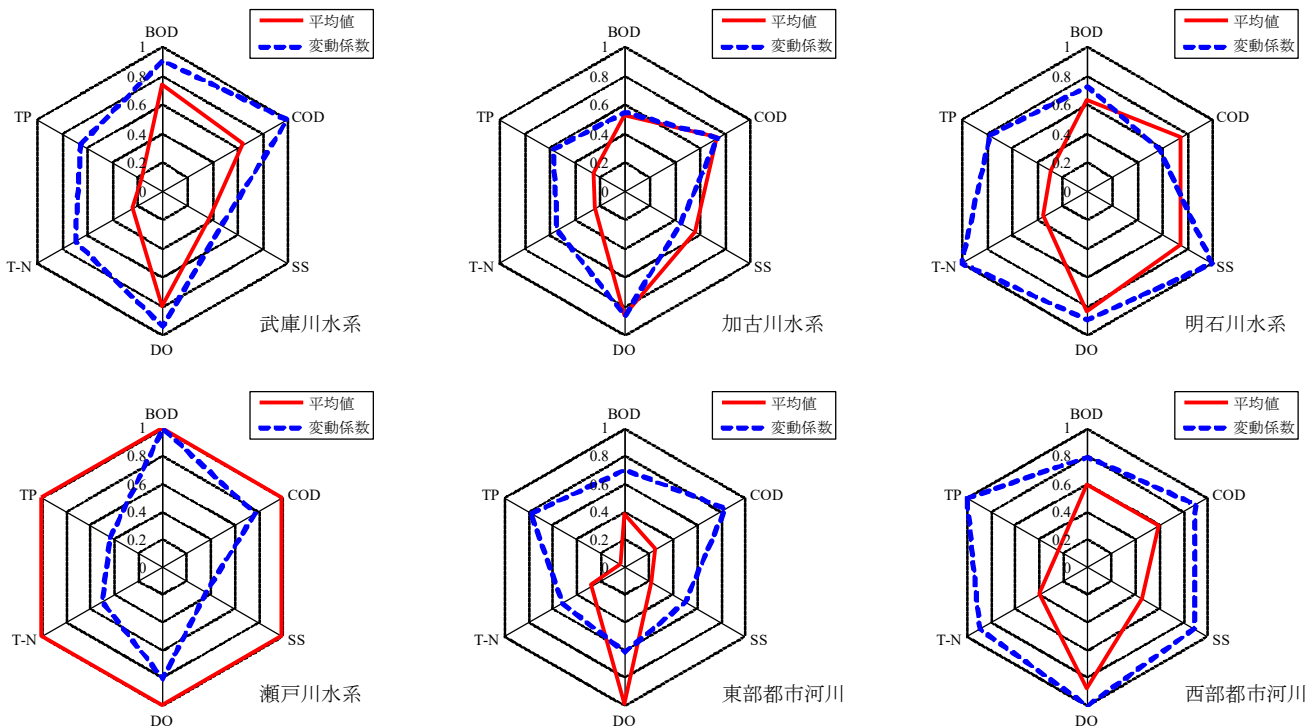


図7 水域別水質レーダーチャート

ることなどの理由が考えられる。

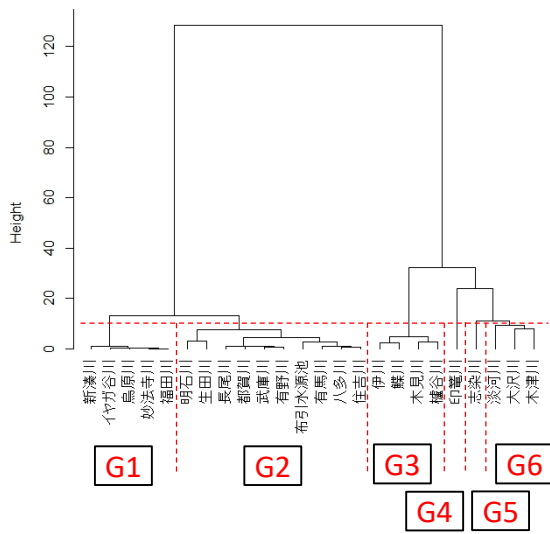
図4にBODとSS(浮遊物質)との相関を示す。両者の間には正の相関が見られ、河川中の浮遊懸濁物質の多くは有機物である可能性が高いと考えられる。これが腐敗した場合には水中の溶存酸素が消費され、水質の汚濁が進行することが懸念されるが、当該水域では、図5に示ように、いずれの河川ともDO=8mg/Lを上回っており、DOとSSとの相関は弱く、水質汚濁が進行しているとは考えにくい状況である。

図6にT-N(全窒素)とT-P(全リン)との相関を示す。両者の間には強い相関が見られた。他水系に比べて、瀬戸川水系における栄養塩濃度が顕著に高くあら

われている。この要因としては、瀬戸川流域に張りめぐらされた用水ネットワークへの給水源が上流の呑吐ダムからのものであることや、流域面積の約半分が農地という土地利用形態にあると考えられる。なお、西部都市河川においてもT-NとT-Pが高い測定地点が1点見られるが、これは新湊川での測定結果で、鈴蘭台処理場での下水処理水流入の影響を受けているためである。

3.2 水域別水質の時空間変動特性 図7に水域別水質レーダーチャートを示す。各図において、平均値、変動係数ともに全水域の最大値(DOのみ最小値)で除

【河川別水質 5 項目平均値】



【河川別水質 5 項目変動係数】

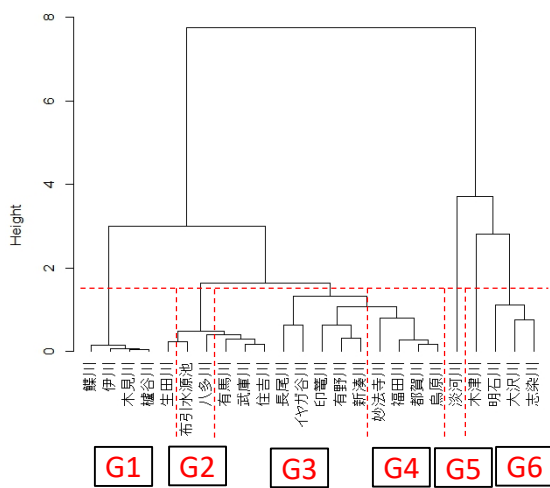
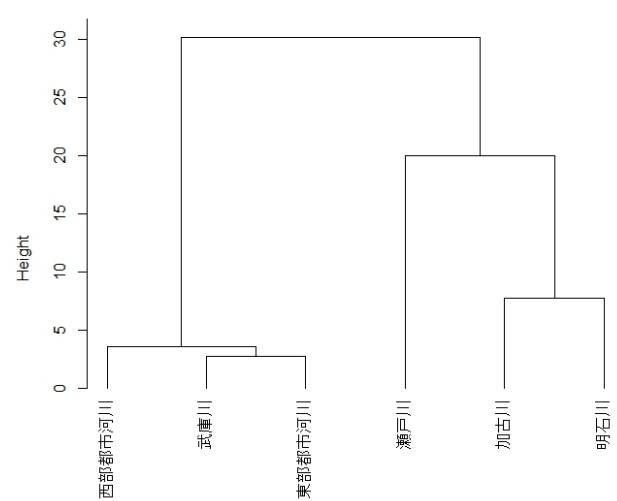


図8 河川別クラスター分析結果

することで0(影響小)~1(影響大)間で基準化して表示している。各レーダーチャートの平均値を比較することにより水系(水域)間の空間変動特性を、変動係数を比較することにより時間変動特性を把握することができる。前者の特徴としては、瀬戸川水系における環境負荷の増大傾向(DO減少, その他の水質項目の増加)や、武庫川や加古川, 東部都市河川における栄養塩(T-N, T-P)流入の低下傾向を見ることができる。一方、後者の特徴としては、直近15年間で安定している加古川水系や東部都市河川と比較して、明石川水系や西部都市河川での時間的変動が大きくなる傾向を見ることができる。

3.3 クラスタ分析 図8に河川別の分析結果, 図9に水域別の分析結果を示す。河川別の水質平均値を用いた分類結果(図8上)について, 6つのグループに分けた際の各グループに含有される河川の属する水系を

【水域別水質 5 項目平均値】



【水域別水質 5 項目変動係数】

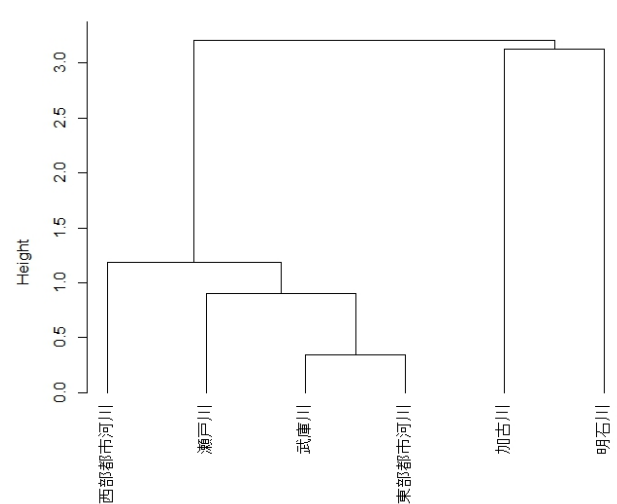


図9 水域別クラスター分析結果

みると, G1は全て西部都市河川, G2は東部都市河川と武庫川水系, G3は明石川水系, G4は瀬戸川水系, G5とG6は加古川水系の河川が卓越する結果となっている。また, それより上位の階層での類似性についても, 実際の地勢に近い分類結果を示している。例えば, G1とG2の関係については, 西部都市河川と東部都市河川及び武庫川水系という地勢状のつながりが分類結果にもよくあらわれている。その一方で, 河川別の水質変動係数を用いた分類結果(図8下)は, 前述の平均値を用いた場合のような結果を得るには至らなかった。この場合, G1における明石川水系, G2における東部都市河川と武庫川水系, G6における加古川水系の卓越は良好な分類結果と見なせるが, G3では西部都市河川が卓越する一方で全ての水系の河川が含まれているなど, 地理的な位置関係からの解釈が難しい結果となった。

水域別の水質平均値を用いた分類結果(図9上)に

【BOD 平均値】

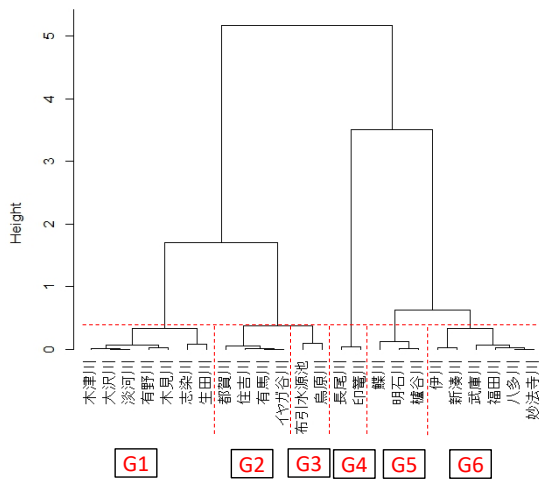


図10 河川別クラスター分析結果

については、河川別の水質平均値を用いた分類結果（図8上）と同様に、実際の地勢関係を反映した良好な分類結果を示している。一方、水域別の水質変動係数を用いた分類結果（図9下）については、こちらも河川別の水質変動係数を用いた分類結果（図8下）と同様に、地理的關係からは説明困難な分類結果が得られた。

上記の結果は、個々の河川スケールや水域スケールで流域の水質特性の把握を試みる場合、時間的な変動特性よりも濃度そのものの空間特性に着目することがより有効であることを示している。ただし、図10に示すように1項目のみに着目するだけでは、得られた分類結果の妥当性は低く、複数の水質項目を選択する必要がある。今回指標として選択したBOD、DO、SS、T-N、T-Pは、生活環境項目の中でも最も基本となる指標であり、観測当初から測定されているため、いずれの河川においてもデータは充実しており、他の流域・河川との比較をする上でも有用であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、神戸市内における代表的な公共用水域水質測定点の測定結果をもとに、水系（水域）スケールでの水質の時空間変動の特性について検討した。直近15年の生活環境項目（BOD・DO・SS・T-N・T-P）の水質データの平均値を用いてクラスター分析を行ったところ、良好な分類結果が得られた。

各機関や自治体で継続的に取得されている公共用水域水質データの多くは、現況の環境監視の指標として使われるに留まっているが、対象範囲の広さ、周期的な観測定時性の確保、精度保証といった面で、他の追従を許さない優れたオープンデータとしての活用が期待できる。今後は、他の水質項目についても同様の解

析を進め、より多角的な視点から、当該水域における水質の時空間変動特性について明らかにしていく予定である。

参考文献

- (1) 水質汚濁防止法施行令：
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S46/S46SE188.html>（2018年10月1日確認）。
- (2) 瀬戸内海環境保全特別措置法：
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S48/S48HO110.html>（2018年10月1日確認）。
- (3) 兵庫県：瀬戸内海の環境の保全に関する兵庫県計画，
http://www.kankyo.pref.hyogo.lg.jp/files/5014/7696/7418/03_.pdf（2018年10月1日確認）。
- (4) 神戸市：公共用水域の常時監視，
<http://www.city.kobe.lg.jp/life/recycle/environmental/earth/kokyo.html>（2018年10月1日確認）。
- (5) 小谷英之，辻本剛三，藤原雅弘，日下部重幸，中尾幸一：神戸市内の河川における底生生物と河川環境との関わり，河川技術論文集，Vol.8，pp.289-294，2002。
- (6) 新納浩幸：Rで学ぶクラスタ解析，オーム社，208p.，2007。