

国土地理協会 2020 年度助成報告

豊川上流域に隣接するダム湖の富栄養化現象の
発生有無の地理学的解明
—中央構造線の内帯と外帯からの流入河川に着
目して—

豊田工業高等専門学校

環境都市工学科

江端一徳

1 はじめに

1.1 研究背景

多目的ダムは、洪水調節、上水・工業用水・灌漑用水供給、発電等の種々な目的をもって建設される。このようなダム貯水池の持つ治水・利水・環境機能がバランスよく調和して初めて、ダムの効力を十分に発揮することが可能となる。ダムは、自然環境を大規模かつ人為的に変更するため、水環境に与える変化や影響が大きく、ダム湖に流入する土砂や有機物により、ダム湖内で固有の水質変化が起きる。豊川上流域には生活や農業用水等として利用されている宇連ダム、大島ダムが隣接して存在しており、ダム湖水の水質変化が下流河川へ及ぼす影響を考察することは利水管理上、重要な問題である¹⁾。これまでに、大島ダムでは、宇連ダムでは発生が確認されていない富栄養化がたびたび発生している。しかしながら、大島ダムの富栄養化の発生メカニズムについては未解明のままとなっている。

1.2 研究目的

本研究では、大島ダムと宇連ダムにおける富栄養化の発生ポテンシャルの有無を調べるため、ダム上流部から下流部の、両ダムの水質縦断変化ならびに下流への水質影響について解析し、周辺河川も調べることで、ダムの有無による水質の差異などについて解析を行い、豊川上流域における水質空間分布特性を把握することを目的とする。

2 既存の研究

2.1 豊川上流域における水質について

豊川流域において、降水時の栄養塩類の供給源は、観測点周辺の土地利用等によって特徴づけられていると推察されたとおり²⁾、豊川における窒素濃度、形態組成及び流送量については、窒素増加の機構として、施肥された肥料あるいは土壌還元された汚廃物（家畜系及び生活雑廃水）等が土壌生態系の影響により硝化され、土壌内移動度の大きい $\text{NO}_3\text{-N}$ として地下水流出などにより水系へ供給されるという報告がある³⁾。

2.2 水質縦断変化について

河川の水質変化について、ダム貯水池の水質は上下流と異なり、流下するに従い水質変化する場合があり、特に、クロロフィル-aが流下に従い低下する場合が認められている¹⁾。また、水温及び溶存酸素 DO の貯水池縦断方向の変化は小さいこと⁴⁾、さらに、有機物は流下方向に増大し、無機物は減少することが示されている⁵⁾。加えて、下流河川の水質はダム貯水池の水質形成が重要であり、ダムの影響を受け、水質が日々変化していることが明らかとなっている⁶⁾。

2.3 ダムの水質研究の現状

ダムの建設の際、湛水後 2 年間は、水没地域の土壌・植物からの栄養塩の溶出が原因と考えられ、一時的な水質悪化が認められている⁷⁾。また、我が国のダム湖の水質は全体的には良好であるが、流入河川の栄養塩レベルは高く、多くのダム湖が水質問題を生じ得る潜在的な富栄養化の状況にある⁸⁾。

2.4 ダムの富栄養化について

富栄養化とは、本来の意味では湖沼やダム貯水池などの閉鎖性水域が、長年にわたり流域から窒素化合物及びリン酸塩等の栄養塩類を供給されて、プランクトンや魚類が比較的少なく生物生産活動が活発ではない貧栄養から、中栄養を経て、栄養塩類の濃度が高く水域としての生物生産ポテンシャルが上昇した富栄養に遷移する自然現象をいう。

人為的負荷によりダム貯水池へ窒素、リンなどの栄養塩類の供給が増加し、その結果、水域の栄養塩類濃度が高くなる過程を「富栄養化」と表現し、富栄養に至っている状態を「富栄養状態」という。

富栄養状態に至った水域では生態系を構成する生物相が変化し、その変化は一般的には生物の多様性を減少させる方向に進む。極端な場合には、藍藻類の一部の特定種などが著しく優占する生態系となり、水域に悪影響を及ぼす現象を二次的に引き起こすため、公害や環境問題として広く認識されるような影響が発生する場合がある⁹⁾。

富栄養化の重要な指標となるリンや植物プランクトン発生量の指標とされるクロロフィル a は貯水池内を流下する過程で減少していくものと推定されている¹⁰⁾。また、ダム貯水池では、植物プランクトンの増殖に必要な栄養塩のうち、リンが制限因子となる場合が多いと報告されている¹¹⁾。

3 調査方法

3.1 調査地概要

本研究では愛知県新城市・設楽町に位置する宇連ダムと大島ダムの上下流河川、ダム湖及び、周辺支川（乳岩川、亀淵川、豊川）を対象とした（図-1）。

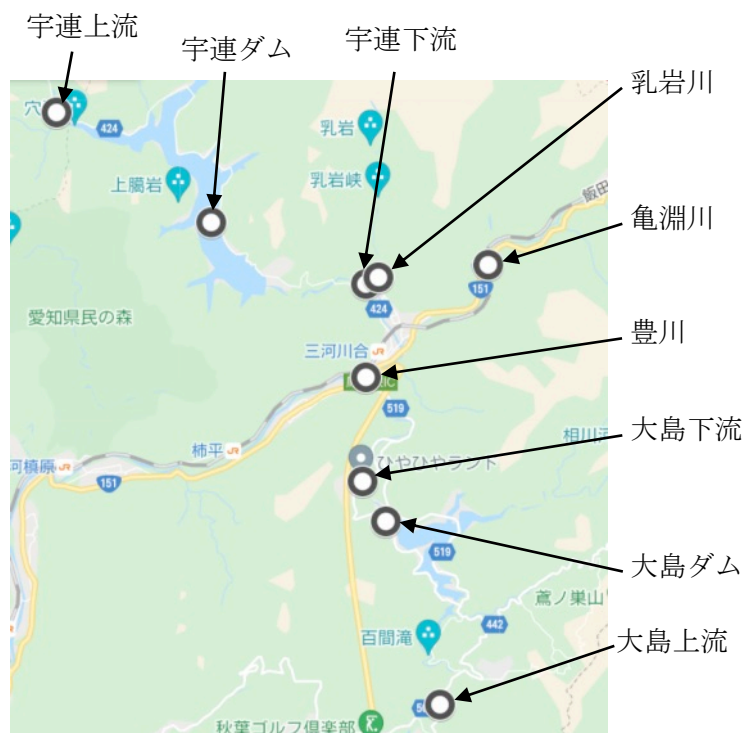


図-1 調査地点 (Google map より引用)

宇連ダム

灌漑・上水道・工業用水を目的としており、流域面積 26.3km²、有効貯水容量 2842 万 m³、堤高 65.0m である¹²⁾。

大島ダム

灌漑・上水道を目的としており、流域面積 18.4km²、有効貯水容量 1130 万 m³、堤高 69.4m である。

3.2 採水方法

各地点において月に一度，1L 採水ボトルに採水を行った．



写真 3.1 大島上流



写真 3.2 大島ダム

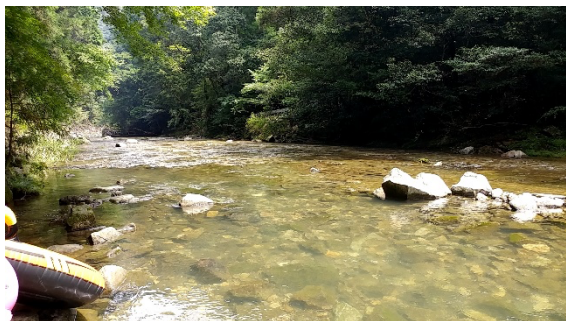


写真 3.3 大島下流

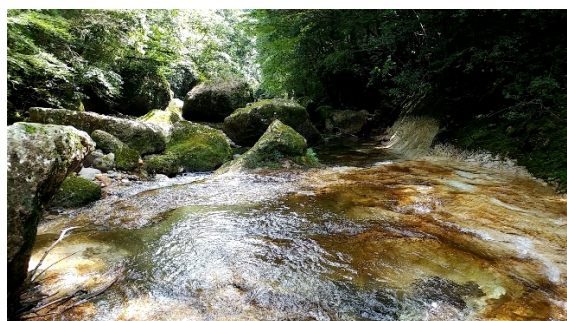


写真 3.4 宇連上流



写真 3.5 宇連ダム

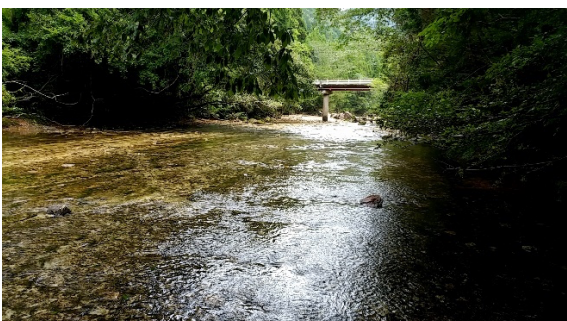


写真 3.6 宇連下流

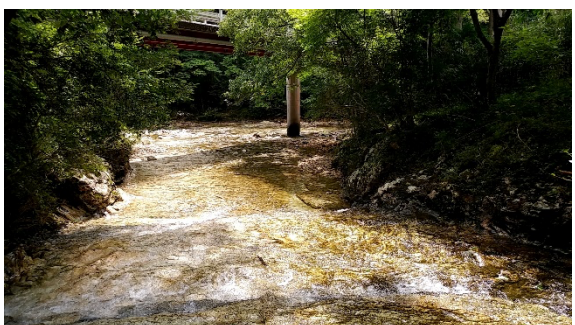


写真 3.7 乳岩川



写真 3.8 亀淵川

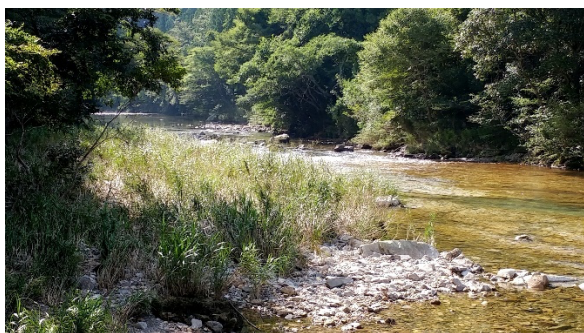


写真 3.9 豊川



写真 3.10 水中ドローンによる大島ダム内の観測



写真 3.11 水中ドローンによる宇連ダム内の観測

3.3 分析方法

採水した試料を実験室に持ち帰り，pH，EC，DOC 濃度，DIC 濃度，DTN 濃度，Chl.a，Phl.a の測定を行った．

pH，EC は、それぞれの計器(LAQUAtwin) により測定した．また，DOC 濃度，DIC 濃度，DTN 濃度は，採水した試料水をろ過した後，ろ過した試料水を，0.12mol に希釈した塩酸を添加し，全有機炭素計(analytikjena 製 multiN/C3100)を用いて測定した．測定方法は，燃焼酸化触媒法式 NPOC メソッドである．なお，分析機器の定量下限は 0.3mg/L である．DIC 濃度については，同様の試料水を用いて，

全有機炭素計(analytikjena 製 multiN/C3100)より分析した。そして、Chl.a, Phl.a は、採水した試料水を 600mL 程度、ろ過し、そのろ紙を用いて蛍光法により測定した。

4 解析方法

4.1 データ解析で使ったデータおよび対象期間

解析対象期間は、2021 年のデータとともに水資源機構の水質年報¹⁵⁾より 2008 年から 2020 年までの 12 年間の水質データを対象とした。使った水質データは pH, EC, DOC 濃度, DIC 濃度, DTN 濃度, Chl.a, Phl.a である。なお、宇連ダムはコロナ禍の状況により 2021 年 1 月から 10 月まで採水が行えていないため、2021 年は 11 月と 12 月のデータのみである。

4.2 クラスター分析

クラスター分析とは、集団の標本について各々の標本が持つ特性値から求めた類似関係に基づき、標本をグループ（クラスター）に分類する手法である。クラスター分析によって求めた類似関係を図（デンドログラム）に示し、調査点間の類似度を検討した。図の縦軸は調査点間あるいはクラスター間の類似関係を表しており、1 に近いほど類似度は高いと判断できる。多量のデータを解析するには、クラスター分析は有用な手段である¹⁶⁾。今回、フリーの統計解析ソフトである R を用いて、ウォード法によるクラスター分析を行った。

5 結果と考察

5.1 富栄養化の発生有無について

表-1 に 2003 年から 2020 年における大島ダムと宇連ダムの富栄養化現象の発生頻度、表-2 に 2003 年から 2020 年における大島ダムと宇連ダムの富栄養化現象の発生が確認された年について示す。大島ダムでは、18 年のデータ期間のうち半分以上の 11 年間、富栄養化現象の発生が確認されたが、宇連ダムではわずか 1 年しか発生していないことがわかった。これより、大島ダムの方が富栄養化の発生ポテンシャルが高いと考えられる。また、淡水赤潮は 5 月頃に多く発生を確認し、アオコは 10 月頃、水の華は 8 月に発生が確認された。

表-1 富栄養化発生頻度（2003年～2020年）

	淡水赤潮	アオコ	水の華	計	発生年数
大島ダム	11	2	1	14	11
宇連ダム	1	0	0	1	1

表-2 富栄養化発生年

	大島ダム	宇連ダム
2003		
2004	淡水赤潮	
2005	淡水赤潮	
2006	淡水赤潮	
2007	淡水赤潮	
2008		
2009		淡水赤潮
2010		
2011	淡水赤潮	
2012	淡水赤潮	
2013	淡水赤潮	
2014	淡水赤潮	
2015	淡水赤潮	
2016	淡水赤潮 アオコ	
2017	淡水赤潮 アオコ 水の華	
2018		
2019		
2020		

5.2 2021 年における水質結果

表-3 に 2021 年における水質結果を示す．まず，宇連ダム，大島ダムの上流から下流地点を比較すると，大島ダム流域の方が DOC，DTN 以外の水質項目が高い結果となった．このことから，大島ダム流域では大島ダムの富栄養化の影響を受けていると考えられる．また，ダムが上流部に存在しない乳岩川，亀淵川に着目すると，乳岩川は，DOC を除いて各水質項目が両ダム流域地点と比較して低かった．また，亀淵川では，EC 及び DIC がどの地点よりも大きく，両者の相関を取ると 0.87 と高い正の相関関係がみられた（図-2）．また，これら上流部にダムがない両河川の共通点として DOC，Chl.a，Phe.a が低い特徴があった．そして，両ダムからの放流水と乳岩川，亀淵川から水が混合し生まれる豊川は，宇連ダム流域と大島ダム流域の水質結果の間の値を示した．このことから，大島ダム流域から流下してくる水質は他の河川との合流によって低減されていると考えられる．

表-3 2021 年における水質結果のまとめ

調査地	pH	EC(μS/cm)	DOC(mg/L)	DIC(mg/L)	DTN(mg/L)	Chl.a(μg/L)	Phe.a(μg/L)
大島上流	7.70	67.7	0.95	6.42	0.15	0.44	0.43
大島ダム	7.48	46.8	1.49	4.26	0.14	1.81	1.36
大島下流	7.58	57.6	1.16	4.82	0.15	0.53	0.39
宇連上流	7.43	43.5	0.70	3.27	0.24	0.07	0.07
宇連ダム	7.10	29.0	2.07	1.80	0.13	0.25	0.17
宇連下流	7.31	35.7	1.51	2.50	0.17	0.09	0.09
乳岩川	7.14	25.0	1.02	1.55	0.06	0.07	0.08
亀淵川	7.74	84.0	0.64	7.22	0.30	0.03	0.05
豊川	7.50	45.3	1.29	3.46	0.18	0.19	0.19

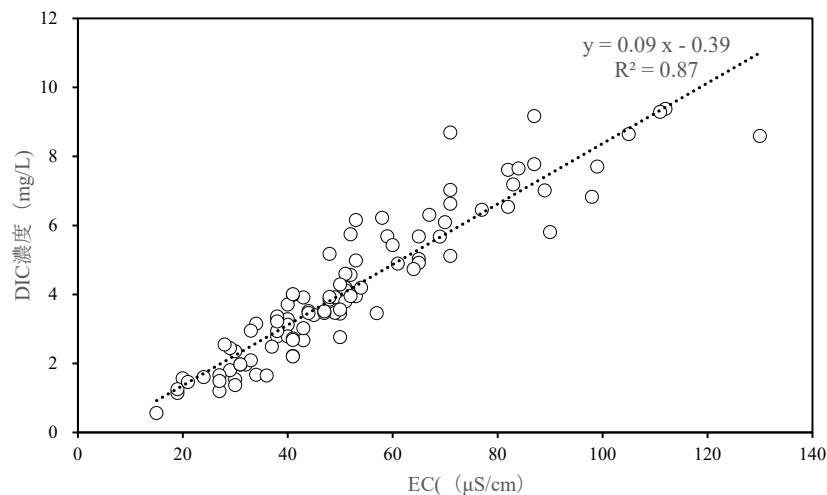


図-2 EC と DIC 濃度の関係

5.3 Chl.a 変化

5.3.1 Chl.a 季節変化

富栄養化を判断する上で、植物プランクトンの量を示す Chl.a の季節変化を知ることが重要である。特に、富栄養化が頻発している大島ダムに着目し、水質年報を用いて 2010 年から 2020 年までの Chl.a の月別変化を調べた結果、5 月から 7 月にかけて濃度上昇がみられ、その後減少する傾向であった(図-3)。これより、Chl.a は春季から夏季にかけて上昇し、その後減少していく季節変化が確認された。また、宇連ダムについては図-4 に示すように、あまり変化は見られなかった。これは、Chl.a が $2.0\mu\text{g/L}$ 以下の場合には正確な値が測られておらず、全て $2.0\mu\text{g/L}$ と統一して表示したためこのような結果となったと考える。図-3、図-4 で用いられている箱ひげ図とは、データの分布を把握する手法の一つで、箱髭図を用いることで平均値だけでは分からないデータのばらつき具合を視覚的に把握することができる。

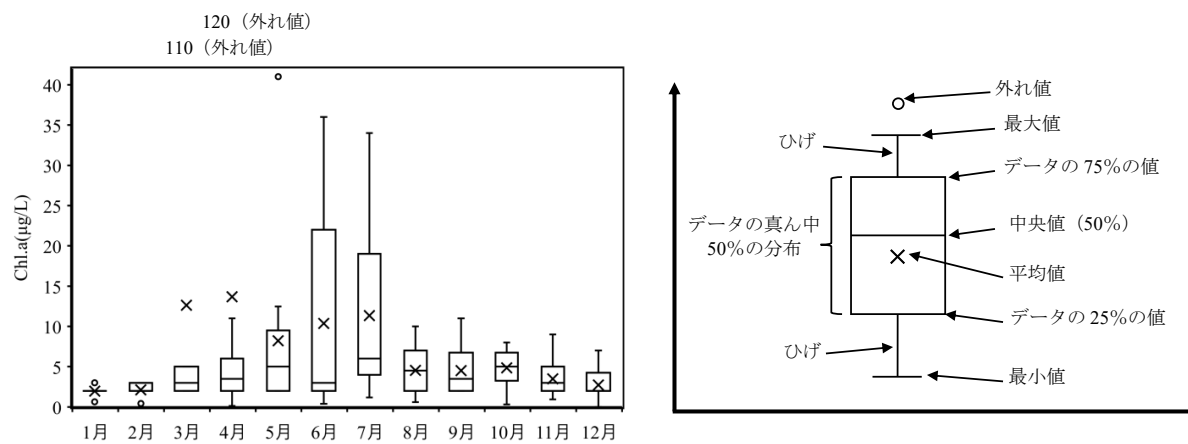


図-3 大島ダムにおける Chl. a の月別変化（箱ひげ図）

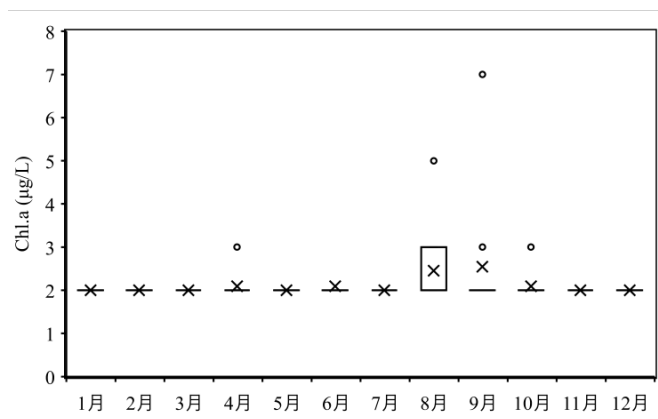


図-4 宇連ダムにおける Chl. a の月別変化（箱ひげ図）

5.3.2 2021 年 Chl. a 地点別比較

図-5 に、2021 年の各地点の Chl. a の月別変化を示す。7 月、8 月、11 月を除き、大島ダムがどの地点よりも Chl. a が高く、5 月に $12.5(\mu\text{g/L})$ と最大値を示した。また、大島ダム下流は、大島ダムの濃度変動に合わせ推移しており、大島ダムの影響を受けていることがわかった。一方で、宇連ダム流域、亀淵川では濃度変化がほとんどみられず、大島ダム流域と比較して低い結果となった。このことから、ダムが上流部でない河川では Chl. a は低く、ダムが上流部にある場合でも富栄養化発生の有無により Chl. a は変化すると確認された。一方、豊川では大島ダムの濃度変動に合わせ推移しているが変動量は大島ダム下流と比べ、小さいため、豊川の水質は大島ダム流域による影響を受けてはいるが、流下過程及び、他の河川との合流によって低減されていることが考えられる。

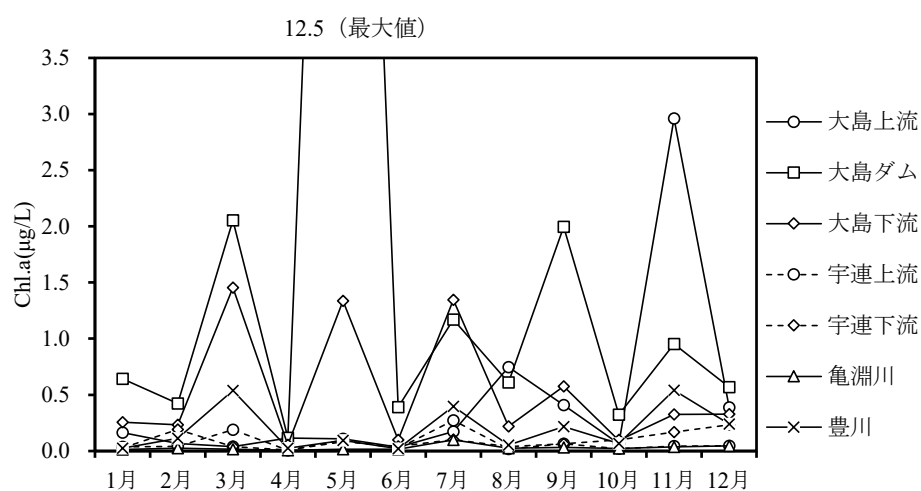


図-5 2021年の地点別 Chl. a の月別変化

5.4 クラスター分析

表-3の水質結果を標準化し、統計解析ソフトのRを用いて、ウォード法によるクラスター分析を行った(図-6)。この結果から、豊川上流域の水質は大きく2つのクラスターに分類できた。宇連ダム流域、乳岩川、豊川のクラスターと大島ダム流域、亀淵川、大島上流と下流、また、宇連ダム下流と豊川において関係性が高い結果となった。豊川は、宇連ダム流域のクラスターに分類されたことから、豊川の水質は宇連ダムの水質に似ていることが明らかとなった。

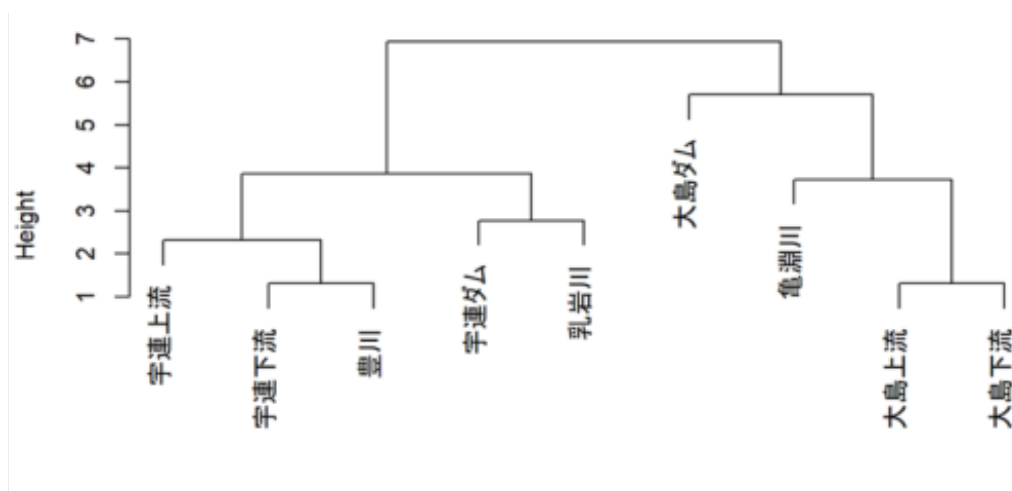


図-6 豊川上流域のクラスター分析結果

6 結論

本研究を実施した結果、以下のことが示された。

- 1) 大島ダムは、宇連ダムと比較して富栄養化の発生ポテンシャルが高いことがわかった。
- 2) 大島ダム流域の方が宇連ダム流域より DOC, DTN 以外の水質項目が高く、大島ダム下流では大島ダムの影響を受けている。
- 3) 上流部にダムがない乳岩川、亀淵川の共通点として DOC, Chl.a, Phe.a が低い特徴があった。
- 4) 大島ダムから流下してくる水質は他の河川との合流によって低減されている。
- 5) Chl.a は春季から夏季にかけて上昇し、冬季にかけて減少する。
- 6) クラスタ分析の結果、宇連ダム流域と大島ダム流域の大きく 2 つのクラスターに分類でき、豊川の水質は宇連ダム流域の影響を受けていることが示唆された。

参考文献

- 1) 河原長美，名合宏之，高杉滋：旭川ダム貯水池の富栄養化機構と下流への水質伝播，環境技術，第 24 巻，第 4 号，p.203-206，1995.
- 2) 佐野方昂，神谷正俊：豊川流域における降水中の栄養塩類，愛知県公害調査センター所報，第 13 号，p.116-120，1985.
- 3) 原田文男，古田正次，大塚治子，山本甫：豊川における窒素の形態及び負荷量，愛知公害調査センター所報，第 8 号，p.41-48，1980.
- 4) 道奥康治，神田徹，伊藤達平，西川孝晴，石川勝久，東野誠：底部に逆転水温層を有する部分循環貯水池の水質に関する研究，土木学会論文集，第 1997 巻，第 572 号，p.33-48，1997.
- 5) 松梨史郎，井野場誠治，下垣久，宮永洋一：手賀沼の水質の時空間変化特性に関する検討，水工学論文集，第 43 巻，p.995-1000，1999.
- 6) 藤井智康，見市智美：奈良県大迫ダム貯水池の水質特性および下流河川に及ぼす影響，奈良教育大学附属自然環境教育センター紀要，第 8 巻，p.9-20，2007.
- 7) 余湖典昭：新設貯水池の水質予測と懸賞に関する研究 一定山溪ダムを例として一，水環境学会誌，第 18 巻，第 10 号，p.766-774，1995.
- 8) 新井修，高須修二：ダム貯水池における水質の保全，日本ダム技術者協会誌，第 7 巻，p.90-97，1997.
- 9) 第 1 章 富栄養化現象，
https://www.maff.go.jp/j/nousin/noukan/eikyou_hyouka/attach/pdf/damu_suisitu-4.pdf，閲覧日：2022 年 2 月 1 日.

- 10) 工藤勝弘，河上智行，山田正：ダム貯水池内における栄養塩および植物プランクトンの挙動について，水文・水資源学会誌，第 17 巻，第 2 号，p.134-149，2004.
- 11) 今本博臣，竹谷薫，足立晃一，緑川一郎：高速リン吸着剤を用いた富栄養ダム湖の貯留水からのリン除去・回収実験，ダム工学，第 26 巻，第 4 号，p.177-183，2016.
- 12) 宮澤哲男，豊川流域の水文環境，岩田書院，1999.
- 13) 水質用語集 | 霞ヶ浦河川事務所 | 国土交通省 関東地方整備局，
<https://www.ktr.mlit.go.jp/kasumi/kasumi00012.html>，閲覧日：2022 年 1 月 14 日
- 14) 用語解説 - 国土交通省 九州地方整備局，
http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/site_files/file/river/utsukushi/ytk/yougo.pdf，閲覧日：2022 年 1 月 14 日.
- 15) 水質年報：水資源機構，
<https://www.water.go.jp/honsya/honsya/torikumi/kankyo/suisitu/index.html>，閲覧日：2021 年 5 月 26 日.
- 16) 吉原一紘，徳嵩平蔵：クラスター分析の概要，Journal of Surface Analysis，第 21 巻，第 1 号，p.10-17，2014.