多変量解析を用いた丹波川流域における水質形成に関する研究

RESEARCH ON WATER QUALITY FORMATION OF TABA RIVER WITH MULTIVARIATEANALYSIS

牧野育代[1]・寶　馨[2]
Ikuyo MAKINO, Kaoru TAKARA

[1]正会員　学（工）京都大学大学院工学研究科　都市環境工学専攻（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂）
[2]フェロー　工博　京都大学防災研究所教授　　社会防災研究部門（〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄）

This paper discusses the water quality formation in the headwater zone of a river with a dam reservoir at its downstreamend. Other result analysis indicates that, the released water from the purification center in the upstream affect very match influence the water quality of the reservoir influent most became clear.　Moreover, it is understood the water quality formation of the valley can be classified with the land cover in the catchment.　In addition, the necessity of the forest management was suggested from observed value of the TN and suspended solids on private ground.　One of the source countermeasures that consider the water quality control of the reservoir is to pay attention to the fluctuation of the released water at the purification center.

Key Words: *Taba River, reservoir water quality, multivariate analysis, Water quality formation*

１．はじめに

本研究で対象とする丹波川流域は，多摩川の源流流域である．近年，その丹波川下流の小河内貯水池において水質汚濁化現象が目立つようになり，原因の究明が急がれている．これに関して筆者らは，これまでの研究で流入河川の水質特性とダム運用とが及ぼす貯水池水質への影響を検討し，特にダム運用に関する変更が貯水池の水質汚濁化現象の進行に関与していることを示唆した[1)]．しかしながら，貯水池の水質保全に関しては，基本的に発生源（陸域）対策は重要であり，これを無視することはできない．このような知見から本研究では貯水池の水質保全を考慮して，まず，貯水池集水域の中で最も河川流域面積の大きな丹波川流域の水質形成について多変量解析を用いて検討した．

発生源の水質解析においては，個々の調査地点の水質結果について検討することが多い．しかしながら，対象地のように支流の分岐や合流が複雑でかつ土地被覆の異なる各調査地点を持ち，さらに検討する水質項目が多い場合の水質形成を比較・検討するには，データの標準化が容易であり，一定のルールで水質解析が可能な多変量解析の手法の多様化が期待されよう．本稿では，主成分分析法とクラスター分析法の多変量解析手法を用いて，丹波川流域の水質形成について研究したのでここにその結果を報告する．

２．対象地の概要

丹波川の上流には東京都により管理される東京水道水源林が大きく広がり（管理森林区分）下流には民有林が広がる（図-1）．小河内貯水池（以下，貯水池）へと流入する4河川のうち，最も流域面積の大きい丹波川は貯水池への流入量の50%を有し貯水池の水質保全においてその流域での発生源対策は重要な位置を占める．流域全体の定住人口は798人余り（平成19年現在）で過疎化が進んでいる．人為的活動場所は丹波川流域の民有地である一部と本流河川沿いの集落とがあり，集落では民宿，キャンプ場，釣堀などの観光施設が点在する．工場の存在はなく農地も小規模なもので，その他は管理森林地帯と民有林とで占めている．なお，近年は民有林の荒廃が問題となり，それが新しい水質悪化の原因になることが懸念されている．対象地では下流に小河内貯水池があることから，流域において水質保全策（発生源対策）を実施している．代表的なものとしては公共下水道の完備お

よび下水処理施設（浄化センター）の設置と養魚場（釣掘りを含む）の餌や排泄物の対策が挙げられ，貯水池の水質保全に寄与している．

３．方法

(1)現地調査

現地調査は土地被覆の確認と水質観測のために行った．調査時は降雨時と洪水等の出水時をさけている．ただし，5月及び7月～10月の降水量の多い時期には調査時に流量増加が目視で確認できたものの通常の水質調査を行った．**図-1**に丹波川流域と貯水池流入部の位置及び水質調査地点示す．水質調査は基本的に1ヶ月～2ヶ月に1回の定点観測を行い現在も継続中である．調査地点は下流から，集落に接する丹波川下流の，toより上流(t1)，キャンプ地場下の河川(t2)，浄化センター下の河川(t3)，釣堀よりわずかに下流の河川(t4)の4地点，管理森林区分の範囲の一部分にある民有地の近傍(ps1)とその下流の河川及び沢(pr,ps2)の3地点，そして管理林区分に位置する河川(sr)及び渓流(s1～s4)の計12地点である．なお，民有地の土地被覆は森林がほとんどを占めているが，一部キャンプ地や民家が存在する．

(2)水質分析

現地での水質測定は水温(℃)，電気伝導度(Ec)，浮遊性物質（SS：懸濁物質）で，その他の水質項目は試水を持ち帰り分析した．解析に用いた水質項目は，貯水池の水質保全を考慮して総窒素(TN)，総リン(TP)，溶存有機物(KMnO)，浮遊物質(SS)，硝酸性窒素(NO3)，亜硝酸性窒素(NO2)，リン酸イオン(PO4)，アンモニア性窒素(NH4)の水質汚濁の関係項目，また，水質指標のとなるEc，水温(℃)，塩化物イオン(Cl)である．なお，浮遊性物質(SS)については，懸濁態物質とし検討した．濃度の単位はEcのμ/cmを除くとmg/lで，分析方法は上水試験法及びJIS K 1002に基づいている．

(3)データおよび解析

本稿では，2003年1月～2007年8月の主に現地調査における水質分析結果を検討した．ただし，t0地点及び貯水池流入部については2003年度～2006年度（平成15年度版～平成17年度版）の東京都環境局[2] 及び一部東京都水道局の水質データ[3] を利用した．水質解析では2003年～2005年の水質測定データをもとに，手法には，主に多変量解析を用いた．多変量解析ソフトはフリーソフトのExcelアドイン工房[4] を用いた．まず，単回帰分析にて観測項目ごとの水質データの相関を分析した．次に相関の確認できる水質項目について主成分分析を行いその結果を用いて流域の水質形成について考察した．さらに，クラスター分析より貯水池の水質に最も近い水質調査地点を明らかにして，貯水池流入部の水質形成との関係について考察した．

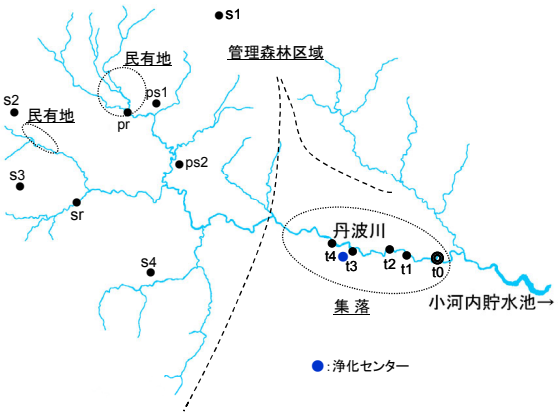

図-1　研究対象地と水質調査地点

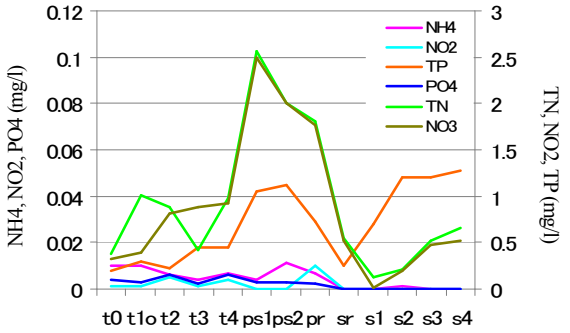

図-2　水質分析結果－1

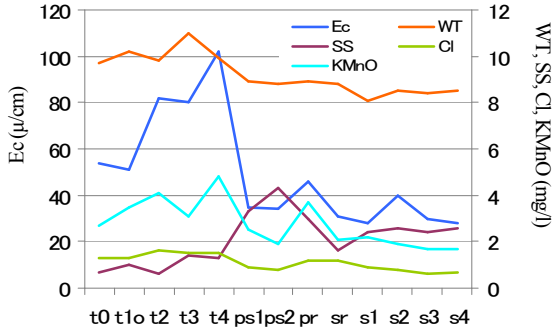

図-3　水質分析結果－2

４．水質調査結果

(1)水質観測地点の水質分布

図-2から**図-3**に，2003年1月～2005年1月の水質調査結果の平均値（n=21）より求めた水質分布を示す．現地調査は降雨時と出水時をさけたことで欠測の月が生じたことを考慮して約2年間のデータを用いた．

図-2は，調査地点ごとの窒素類とリン類の分布を示す．第１軸がNH4，NO2，PO4，第2軸がTN，NO3，TPである．TNとNO3はt1とt3を除く地点でほぼ同じ値となり，**図**中でほぼ同様の移動をしている．民有地近傍(ps1，ps2，pr)で特に高い第1ピークが出現した．PO4を除く水質項目においても民有地近傍で第1ピークが確認できる．また，TPとPO4を除く水質項目は，第2のピークが集落に

接する丹波川下流の4地点(t1～t4)にある．PO4は丹波川下流地点に第1ピークがあり上流（管理森林区分）に向かうに従ってほとんど検出されてない．TPの第1ピークはわずかな差で管理森林区分に第2ピークは民有地近傍に出現した．この**図**より，対象流域においてTPの流出は森林地帯で高いことがわかる．

図-3に示す水質項目はEc（第1軸），WT，SS，Cl，KMnO（第2軸）である．WTは丹波川下流で最も高く上流に向かって低くなる． SSは丹波川下流から上流に向かい徐々に高くなり民有地近傍で最大となって管理森林区分で再び低くなるが丹波川下流よりも高い．その他については，丹波川下流から管理森林に向かうに従って値が低くなる傾向がある．Clは降雨起源で人為的影響がなければ水域に添加されない．Clが低い管理森林区分は人為的な影響が低く，集落沿いの丹波川下流でその影響が高い傾向が見られた．

(2)季節変動

ここでは，2003年1月～2005年1月（n=21）の水質調査結果の季節変動を検討する．なお，紙面スペースの都合で項目・観測毎の水質データは示さないこととする．

水質汚濁に関わるTN，NO3，TPおよびClの季節変動は，丹波川下流の一部(t1とt3)と管理林区分に位置する河川(sr)では見られなかった．一方，民有地(pr，ps1,ps2)と丹波川下流の一部(t2とt4)では5月～10月に高くなり11月～2月に低くなる季節変動の傾向を示した．同調査地点周辺において5月～8月はキャンプ場開きや釣りの解禁等の人為的活動の場所が活発化する時期である．その時期と上記水質項目の水質濃度増加時期とが一致することから，それら水質汚濁化成分の季節変動は生活排水の増加により生じたと考えられる．

管理林区分に位置する渓流(s1～s4)のTPは，降水量の変動にほぼ沿った季節変動を示した．後述するようにTPの流出は，降水に伴う表層土壌の流出による寄与が大きいと考えられる．一方，TNとNO3は，s2とs4において，降水量の変動と相反する季節変動を示した．つまり，TNとNO3は降水により希釈された可能性がある．s1では4月～8月まで高く10月～翌年2月まで低くなり，樹木の生育期と生育期の終わりの期間にほぼ一致する季節変動を示した．また，s3ではほぼ一定の推移を示し季節変動は見られなかった．

Clは管理森林区分でほぼ一定であった．丹波下流においては3月および7月～9月にわずかながら変動する傾向を示した．その他の観測地点については一定の傾向は見られなかった．水温はいずれの調査地点においても7月～8月に最高値をとり１月～2月に最低値をとる季候に沿った季節変動を示した．SSは7月～11月で高い傾向を示し降水量増加の時期（5月及び7月～10月）とほぼ一致した．つまり，SSの季節変動は降水により生じたものと考えられ，懸濁物質（土壌起源）の多い森林地帯において顕著であった．このことについては詳しく後述する．

表-1 各水質項目の相関係数

* : 5%有意 (>0.553)
** : 1%有意 (>0.684)

	WT	SS	Cl	Ec	KMnO	TN	NH4	NO3	NO2	TP	PO4
WT	1	-0.385	0.827**	0.793**	0.662*	-0.031	0.532	0.024	0.206	-0.702**	0.619*
SS	-0.385	1	-0.416	-0.255	-0.157	0.772**	0.288	0.738**	0.019	0.590*	0.163
Cl	0.827**	-0.416	1	0.844**	0.851**	-0.072	0.458	-0.033	0.493	-0.906**	0.713**
Ec	0.793**	-0.255	0.844**	1	0.868**	-0.071	0.407	0.003	0.439	-0.657*	0.788**
KMnO	0.662*	-0.157	0.851**	0.868**	1	0.164	0.508	0.139	0.704**	-0.714**	0.808**
TN	-0.031	0.772**	-0.072	-0.071	0.164	1	0.453	0.956**	0.289	0.273	0.347
NH4	0.532	0.288	0.458	0.407	0.508	0.453	1	0.378	0.336	-0.370	0.732**
NO3	0.024	0.738**	-0.033	0.003	0.139	0.956**	0.378	1	0.294	0.296	0.323
NO2	0.206	0.019	0.493	0.439	0.704**	0.289	0.336	0.294	1	-0.312	0.430
TP	-0.702**	0.590*	-0.906**	-0.657*	-0.714**	0.273	-0.370	0.296	-0.312	1	-0.554*
PO4	0.619*	0.163	0.713**	0.788**	0.808**	0.347	0.732**	0.323	0.430	-0.554*	1

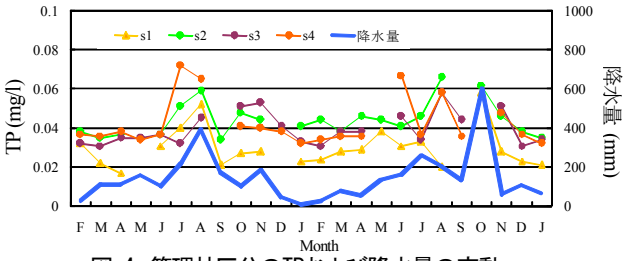

図-4 管理林区分のTPおよび降水量の変動

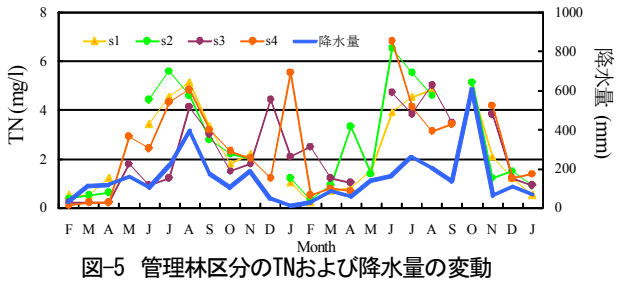

図-5 管理林区分のTNおよび降水量の変動

KMnOは管理林および民有地の森林地帯において3月～6月と9月～10月にわずかに高くなる傾向が見られたが明らかな季節変動は確認できなかった．また，NO2，NH4，PHについては，いずれの調査地点においても一定の変動傾向は示さなかった．

５．解析と考察

(1)単回帰分析

表-1に水質調査地点全てと水質項目全てにおける水質データより求めた単回帰分析の結果を示す．ここでは，有意1%と5%の相関関係について検討する．いずれの水質項目もどれかの水質項目との相関があり（5%有意の0.553以上），後の主成分分析に用いることに解析上の問題はないことがわかる．

他の水質項目と比べTPは負の相関関係を多く持つ．特にPO4と負の相関関係であることは注目に値する．また，窒素類とは無相関であり，SSと唯一正の相関を有する．SSは，TN，TP，NO3と正の相関関係にある．SSにTNとTPが含まれていればSSの増加に伴いTNとTPが同様に増加することが考えられる．しかしながら，TNとTPは無相関(0.273)であった．TNとNO3はほぼ同じ値を示し，TNの構成成分の形態はNO3が占めていることがわかる．NO3は溶存態であり懸濁態（SS）とは異なる．よって，懸濁態物質の含有量を表すSSにはTN（NO3）の含有は少量であり，SSとTNまたはNO3の単回帰分析

の結果は，見かけ上の相関関係であることが推測される．

SSとTPは正の相関関係にある．森林土壌のリンは，Fe，Ca，Alと難溶解性塩を形成するので土壌溶液中の濃度が低い[5]．また，生物的濃縮が認められ[6]，表層土壌において含有量が高い[7]．つまり,平常時の水中のリンは低濃度であるが，洪水等により表層土壌の流出（SSの流出）が生じた際には水中へのリンの流入量が増加して，リン濃度が高くなると考えられる．**図-4**と**図-5**に水源林地帯の調査地点におけるTPとSS，および降水量の季節変動を示す．なお，降水量は小河内ダム貯水池前のアメダスデータである．TPは降水量の増減にほぼ連動し変動している．SSは降水量の増加時以外においても多く流出していることもあるが，ほぼ降水量の変動と一致している．以上のことから，単回帰分析果に見るTPとSSの正の相関関係は，降雨の増加による表層土壌の流出，つまり懸濁態物質（SS）の流出に伴いSS起源のTPも流出することを表したと考えられる．

先述したように，TPとPO4は有意5%の負の相関関係にある．**図-2**を見るとそれは，TPは民有地を含む森林地帯で高く丹波川下流で低い一方，PO4は丹波川下流で高く森林地帯で低いという相反した関係を反映していることがわかる．また，人為的影響下にある水域を表すClは，栄養塩類においてPO4と唯一正の相関を持ちTPとは負の相関を持っている．このことは，PO4が人為由来であることを示唆し，その反対にTPは人為由来でないことが考えられ，４の（1）と同様の結果となった．

(2)主成分分析

水質形成の場においては，その形成因子（構成要素）が複数存在する．先の水質調査結果の検討および単回帰分析結果の検討では，一つ一つの要素について比較・検討し,水質形成に関しての断片的な理解が得られた．これに対して，以下では，複数の要素（多変量）を一度に取り扱い，要素の総合的な関係から水質形成上の特性を抽出する主成分分析を用いて丹波川流域の水質形成について検討する．

表-2に固有値と寄与率の値を示す．主成分3までで累積寄与率は90%近くになる．また，主成分3と4との累積寄与率の差は小さい．このことから本論では第3主成分までを採用することとする．**表-3**に固有ベクトルを示す．第1主成分では，TPが大きくマイナス(－)を取り，同様に大きなプラス(＋)を取るのがPO4，KMnO，Ec，Cl，

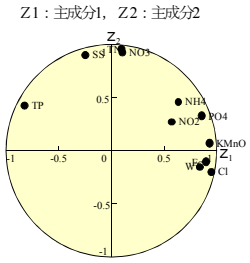

図-6 第1第2主成分の負荷量分散図

表-2 固有値と寄与率

成 分	主成分 1	主成分 2	主成分 3
固有値	5.501	3.237	0.881
寄与率(%)	50.01	29.43	8.01
累積寄与率	50.01	79.44	87.45

表-3 固有値ベクトル

変数名	主成分 1	主成分 2	主成分 3
WT	0.357	-0.088	0.365
SS	-0.103	0.502	0.099
Cl	0.404	-0.111	-0.026
Ec	0.384	-0.06	0.005
KMnO	0.399	0.039	-0.266
TN	0.042	0.531	-0.004
NH4	0.271	0.256	0.386
NO3	0.045	0.515	-0.022
NO2	0.245	0.149	-0.776
TP	-0.348	0.235	-0.048
PO4	0.365	0.181	0.177

WTである．これまで検討してきたように，TPは水質成分の多くと動向が異なり，その結果が固有ベクトルに反映したと思われる．すなわち，水質形成環境が自然下なのか(-TP)，人為的影響下なのか（TP，SS，TN，NO3を除く水質成分のまとまり）といった水質成分の特性を示す指標であると考えられるので，第1主成分は水質形成における自然(－)・人為(＋)の起源の判断の指標とする．

第2主成分は目立ったマイナスの係数を持つ水質成分はなく，TN，NO3，SSの係数(＋)が高い．なお，これら3つは第1主成分の係数においては低い値を取っていたものである．**図-6**に第1主成分と第2主成分との負荷量分散図を示す．TPは左の第2主成分0.5に位置し，多くの水質項目とは大きく外れている．また，SS，TN，NO3との距離も大きい．これより第1主成分とは独立した指標が抽出されたことが言えよう．このことより，第2主成分はTNとSSの流出特性とする．

第3主成分は，NO2が大きくマイナスを取っていて，NH4とWTが少し大きなプラスを取っている．これら水質成分は，排水等の放流水の影響が強い水域で検出されることが多い成分である．また，NH4とNO2は酸化・還元の反応が早い成分であり，汚濁源から遠ざかるに従って減少する．丹波川には釣り堀があり，また，浄化センターからの放流水（下水処理水）等，排水に準ずる水質が常に流入している．よって，第3主成分が意味するところは，排水に準ずる水質の放流による影響であると考えられ，第3主成分を排水に準ずる水質の流入と変化の指標と捉える．以上の主成分の解釈をもとに，第1主成分～第3主成分における各調査地点の主成分得点について，以下に検討する．

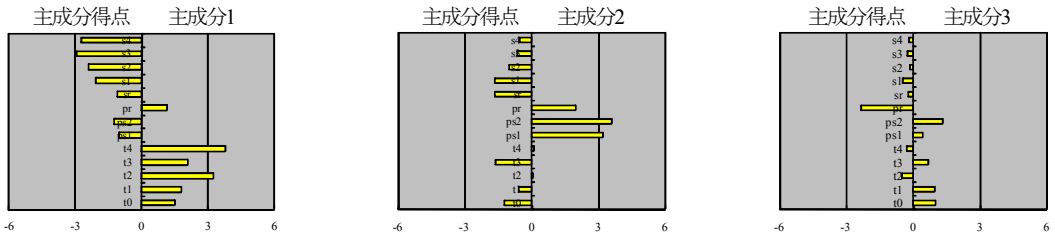

図-7 主成分得点の分布

図-7にその主成分得点の分布を示す．第1主成分は，丹波川下流と民有地近傍の河川(pr)でプラスを取っている．なお，丹波川下流における調査範囲において下流から上流に向かって値が高くなっていて（1.507～3.768），t4の釣り堀近くより水質汚濁が生じていることがわかる．その他の調査地点は人為的影響の低い地点であることが伺える．特に，管理森林区分は，その人為的影響の低さが目立つ．

第2主成分のTNとSSの流出特性においては，民有地近傍で高い値を取り，対象流域においてTNとSSは民有地による負荷が大きいことを示唆している．先の検討において，TN(NO3)はSS起源ではないことを示した．SSについては先述したように，降水に伴う表層土壌の流出が推測された．対象地の民有林においては荒廃が進んでいることが報告されていて[8]，出水時における土砂流等が生じやすいと考えられ，対象地の民有地においては森林管理の必要性が伺える．

TN(NO3)の起源については次のように考えられる．NO3は土壌土壌固相への吸着性が弱い．このため，森林土壌においてNO3は容易に流出し，土壌に保持されにくい[9]．森林土壌から流出するNO3には，大気降下物，地質（石灰岩），または森林伐採後のNO3の増加等が関係している．このうち，石灰岩の地質と森林伐採地は対象とする民有地の範囲で確認できない．一方，大気降下物は，NO3の起源であることが古明池[10]と鶴見ら[11]によって報告されている．そのことから渓流水中のNO3は大気降下物由来であることが考えられる．しかしながら，それでは民有地からさほど離れていない管理森林区分の渓流水中のNO3が相対的に大きく減少することの説明がつかず，民有地におけるTN(NO3)の起源には，その他の要因も関与していることが考えられる．**図-2**を見ると，NO2，NH4あるいはPO4は，民有地の観測地点でわずかだが増加傾向にある．また，TPも増加して水質汚濁化に関係するほとんどの水質成分で増加している．民有地は下水道が完備されておらず，特に，降水時には未処理のままの生活排水が河川へ流入することが考えられる．民有地の土地利用を考慮すると汚濁源は民家およびキャンプ場であろう．これらのことから，民有地に見るTN(NO3)の増加の要因，すなわちTN(NO3)の起源は，直接河川に放流される生活排水であると推測される．

第3主成分の排水の流入と変化については，丹波川下流河川でプラスを取っているものの，その範囲では上流に向かうに従ってプラスの値が低くなることが確認できる．よって，排水の流入はt4地点，すなわち釣堀より始まり，NO2とNH4の酸化・還元の変化が流下するに従って見られることが考えられる．また，管理森林地帯はマイナスを取っていてNH4とNO2の流入はないことが伺えるが河川を除く民有地近傍はプラスと取っており，上記の第2主成分で推測された結果と同様に，民有地では生活排水の流入が考えられる結果となった．

以上の検討により，調査地点における水質形成の傾向が見えてきた．対象地では，土地被覆と人為的影響により水質形成に違いがあるように思える．その推測を検証するため，**表-4**に土地被覆ごとの主成分得点の平均をしたものと観測に変化が見られた地点における主成分得点を示す．黄色は平均が±1以上になった部分である．また，青字はその他に検討を加えた数値である．人為的影響下の水質を示す第1主成分の得点は集落一帯で高く，管理森林区分では低いことが明らかとなった．詳細に見ると集落でも浄化センターより上流で高く，釣り堀が人為的影響の始点になっていることが示唆される．また，民有地においては河川で人為的影響が強く近傍の沢においては低いことがわかった．第2主成分のTNとSSの特性については，民有地で高く，特に近傍の沢で高い傾向が見られた．先に検討したように，森林管理の行き届かないことが原因となり，SSが流出しやすくなっていることが伺える．また，TN(NO3)については生活排水の流入が伺える．第3主成分の排水の流入については近傍の沢で0.9，次いで高い浄化センターの下流で0.5と，値としては大きくない．また，民有地の河川でマイナス2.4と最も低くなっているがプラスの値が大きくないこととNH4とNO2の酸化・還元の反応の程度を表していることをふまえると値の大きさには大きな意味はないと考えられる．

(3) クラスター分析

ここでは，クラスター分析の手法を用いて調査地点の水質と貯水池流入部の水質(Hr)との関係の検討を試みる．貯水池流入部の水質データは，顕著な水質汚濁化現象が確認された2003年と2004年のデータの年平均を用いた[2]．

まず，クラスター分析において水質調査地点の分類を行い，主成分分析で得た主成分の散布図と比べ水質調査地点の水質分類結果を確認する．なお，クラスター分析はユークリッドの平方距離の最短距離法を用いた．分析の結果を**図-8**に示す．図から丹波川下流のt0,t1と民有地の河川prのグループ，民有地近傍の沢ps1,ps2と管理森林区分の全てのグループがユークリッド平行距離の低い50程度まででグループ化している．一方，丹波川下流のt2,t3のグループは丹波川t4と400程度でグループ化している．そして，距離が700近くになってひとつのグループになる．これらのことから，t2,t3,t4は他の水質と異なっていることがわかるが，特に，t4の水質は異なっている．**図-9**に第1主成分と第2主成分との得点分散図を示す．**図**中の黒い囲みの中は距離の近い調査地点の集まりである．

表-4　土地区分別の主成分得点

区分名	主成分 1	主成分 2	主成分 3
集落一帯	2.5	-0.7	0.4
一部民有地（民有地）	-0.4	2.9	-0.2
管理林区域	-2.3	-1.1	-0.3
浄化センター下流	2.2	-0.6	0.5
浄化センター上流	2.9	-0.7	0.2
民有地河川	1.2	2.0	-2.4
民有地近傍の沢	-1.1	3.4	0.9

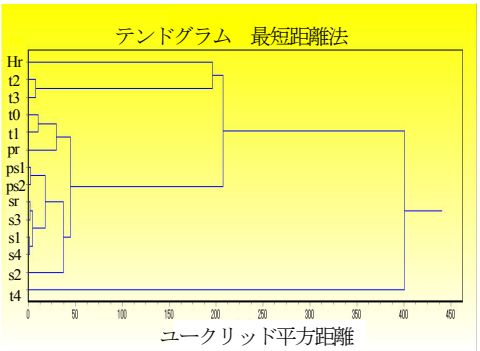

図-8　水質調査地点のクラスター分析

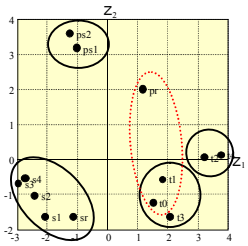

図-9　主成分1と主成分2の得点分散

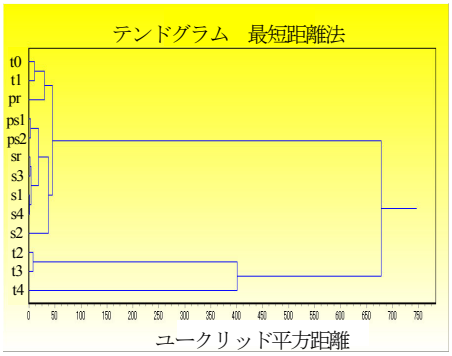

図-10　貯水池流入部を加えたクラスター分析

表-5　放流水から貯水池流入部までの水質変化

水質調査地点	放流水量 (m^3)	NH_4-N (mg/l)	NO_2-N (mg/l)	NO_3-N (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	PO4 (mg/l)
浄化センター	12284.1	1.40	<0.10	2.67	3.83	0.052	－
丹波川(t0)	－	0.01	<0.01	0.36	0.38	0.009	0.010
貯水池流入部(Hr)	－	0.01	0.04	0.36	0.54	0.015	0.006

図より管理森林区分ははっきりと他の調査地点と異なるグループを作っていることがわかる．民有地と丹波川下流は，それぞれ調査地点が2分していて，見方によると5つのグループに分かれる．図中の赤い点線の囲みは，クラスター分析において見られたグループで，そのグループが図-8と図-9の違いが見られる箇所である．以上より，主成分分析における水質観測地点の分類結果とクラスター分析の結果は良く似ていることがわかった．

次に，丹波川下流の貯水池流入部における水質データを用いて，貯水池流入部の水質がどの水質調査地点と類似するかについて，クラスター分析を用いて行う．図-10にそのクラスター分析の結果を示す．貯水池流入部の水質Hrは，丹波川下流のt2（キャンプ場下の河川水）,t3（浄水センター下の河川水）と最も似ていて，河川距離に対応していないことが示された．表-5に，浄化センターからの放流水（丹波山浄化センター，未発表），丹波川下流(t0)，貯水池流入部(Hr)の平成15年度における窒素類およびリン類の年平均を示す．表より，浄化センターの放流水は丹波川に流入し希釈され貯水池に流入する様が見て取れる．また，T-NとT-Pは丹波川下流に対して貯水池流入部で増加していることが確認できる．ここでの解析はその現象を反映したものであると考えられ，クラスター分析は一河川上の水質変化地点を推定するのに有効であった．

なお，T-NとT-Pの増加は，貯水池流入部において水質成分の滞積が生じているためと推測される．小河内貯水池の流速は平常時において2cm/s～5cm/sと遅い．このために，貯水池流入部において水質成分の滞積や，その滞積成分を利用した植物プランクトンの増殖が生じやすいような，平常時にはほぼ安定した水環境を形成していることが考えられよう．

６．おわりに

本研究では，下流に貯水池を有する水源地帯の河川流域における水質形成を多変量解析の手法を用いて検討した．その結果，流域の水質形成は，土地被覆によっておおよその分類が可能であることがわかった．また，民有地においてはそのTNとSSの観測値より，森林管理の必要性が示唆された．さらに，浄化センターの放流水は丹波川で希釈されTNとTPの濃度は減少するものの，貯水池流入部において増加した．それは，貯水池流入部において水質成分の滞積が生じている結果と考えられ，貯水池の水質保全における発生源対策においては，浄化センターの放流水の動向に着目することが一つの対策として考えられる．今後は，浄化センターへの流入水と放流水を調査し，その河川への影響を明らかにする予定である．

謝辞：本研究の施行にあたり東京都水道局水源管理事務所及び出張所の皆さまには多大な便宜をはかっていただきました．なお，本研究の一部はとうきゅう環境浄化財団の研究助成により施行しました．ここに感謝の意を深く示します．

参考文献

1) 東京都水道局：小河内貯水池管理年報，2003-2005.
2) 東京都環境局：水質年報，2003-2006.
3) 牧野育代・寶　馨・立川康人：流入河川の水質特性と冷水対策が貯水池水質に及ぼす影響，水工学論文集，50巻，2006.
4) http://www.jomon.ne.jp/~hayakari/index.html，早狩進.
5) 日本化学会：土の化学，学術出版センター，p.103，1989.
6) Bowen, H. J. M. : Environmental chemistry of the elements. Academic Press，London，p.333，1979.
7) 寺島滋・今井登・立花好子・岡井貴司・御子柴真澄・太田充恒・久保田蘭：関東地域の土壌，河川堆積物，東京湾堆積物の科学組成とバックグラウンド評価，地質調査研究報告，第58巻，第3号，pp.69-91，2007.
8) 東京都水道局：第10次水道水源林管理計画，2006.
9) 三枝正彦・庄子貞雄・酒井博：土肥誌，54，460，1983.
10) 古明池哲人：乾性，湿性降下物中の化学成分と降下量の地点特性，東京都環境科学研究所年報，pp.78-83，1991.
11) 鶴見実・一国雅巳：多摩川上流の沢水に含まれる無機成分の化学的特長，環境科学会誌，2，pp.9-16，1989.

(2007. 9. 30受付)