

千曲川水系における水質変化とその要因に関する試行的考察

石 澤 孝

信州大学教育学部

Trial Research on the Factor Influencing the Changes of Water Quality of Chikuma River

Takashi ISHIZAWA

Faculty of Education, Shinshu University

Key words: Chikuma River, water quality, path analysis, 千曲川, 水質, パス解析

1 はじめに

日常生活を営むために必要不可欠なものの一つが、飲料水である。「湯水のごとく用いる」とのたとえがあるように、われわれは空気と同じあたりまえの存在として、また安全なきれいなものとして、水を無意識なままに利用していることが多い。が、その飲料水を取水している河川や湖沼においては、近年富栄養化が進み、水の透明度が下がる等の現象が生じている。それらの現象の実態を把握することおよびその要因を探ることは、われわれの身近に生じている環境問題や、それに対処するための環境教育を行なう上でも重要なものである。

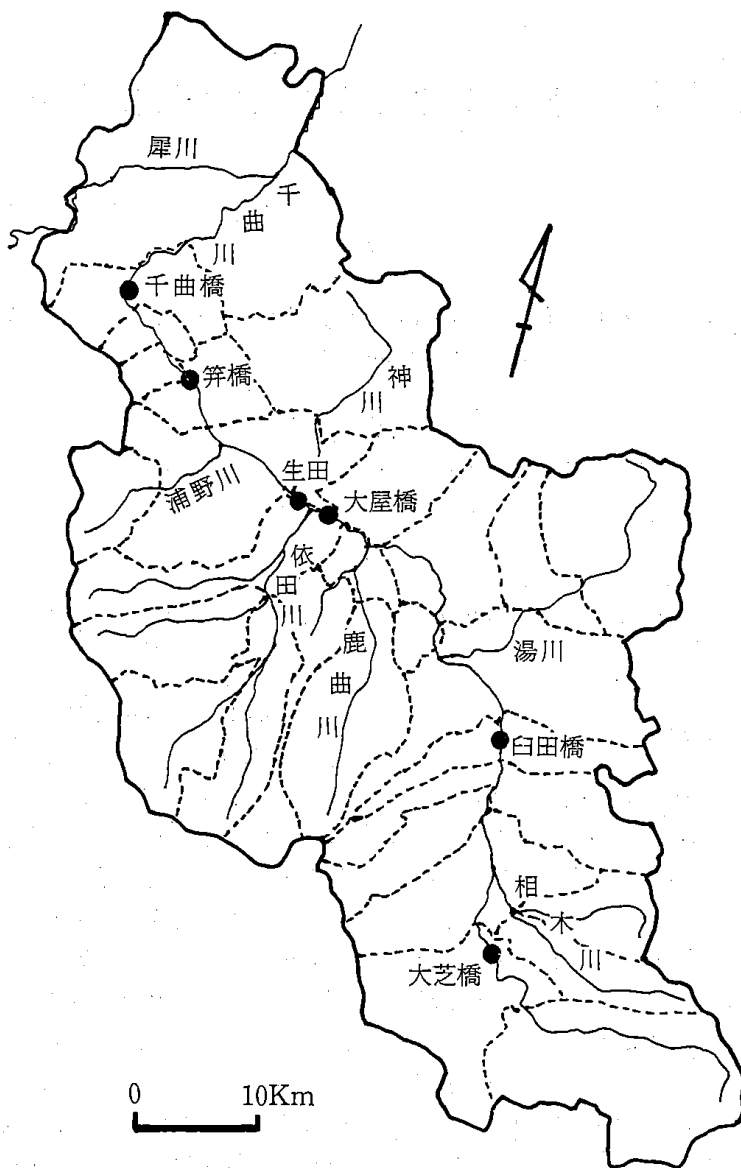
本研究で取り上げる千曲川も、上田市小牧で取水された表流水が上田市南部から長野市南部にわたる広い地域の水源となっているように、飲料水の取水源として、流域市町村において利用されている河川の一つである。本研究においては、環境問題と環境教育について考えるための手始めとして、千曲川水系における河川水の水質変化とその要因を探ることを目的としたい。なお、ここで取り上げた千曲川水系とは、犀川との合流点より上流の千曲川本流である。

分析にあたっては、水質変化の指標としてBOD値をとり、その資料として「水質測定結果（長野県）」を用いた。変化要因としては、とりあえず自然的因子が働かないものとの前提をおき、人為的因子のみについての検討を加えた。人為的因子は、生活排水系（家庭雑排水、し尿など）、事業所排水系（工場排水、事業所排水、ゴルフ場排水など）、農畜産排水系（農地

からの排水、畜舎からの排水、養殖漁場からの排水など）に大別される（国松・村松, 1989; 長野県, 1982; 日比野, 1973など）。それらの因子が働いて水質の変化が生じたという仮説をおき、因子として9指標を設け、パス解析法を用いてそれらの影響の大きさについての把握を行なった。パス解析法とは、あらかじめ要因と考えられる因子を設定し、それらの因子の関わり合いの強さを重回帰分析によって確認するという分析手法である。なお、ここでは重回帰分析の手法として、ステップワイズ法（変数増減法）を用いた。

入力変数としてはまず、生活排水系の指標として、排水原単位が等しいとの前提をおいて①人口をとり、資料として「住民基本台帳」を用いた。通勤通学や買い物などにより昼間人口が増減すること、観光地などでは観光客により人口が増減すること、さらに下水処理施設の有無とそのサービス範囲なども考慮すべきかもしれないが、算出手続きが複雑になるため、ここでは省略した。

事業所排水系の指標として、工場排水およびゴルフ場排水を考え、排水原単位が等しいとの前提をおき、工場の規模を表す指標として②工業従業者数、ゴルフ場の規模を表す指標として③ゴルフ場の面積をとった。農畜産排水系の指標として、施肥量が等しくまた排水原単位が等しいとの前提をおき、④田の面積、⑤畑の面積、⑥樹園地の面積、⑦牧草地の面積、⑧牛（乳牛・肉牛）の飼育頭数、⑨豚の飼育頭数を採用した。資料として、②は通産省の「工業統計表」、③は長野県生活環境部自然保護課の資料、④～⑨は農林省の「農林業市町村別統計書」を用いた。なお、ゴルフ場につ



第1図 千曲川水系と観測地点

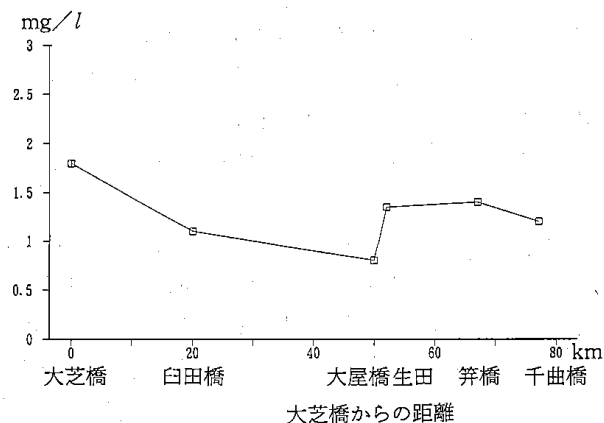
いては、1980年代後半に急激に増大しているため、その対数をとって、分析を行なった。

井沢町・御代田町・佐久市), 鹿曲川 (望月町・立科

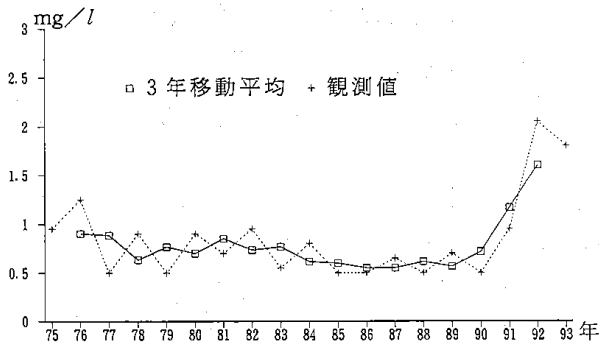
II 千曲川水系における水質変化

1 観測地点と水質変化

対象とした千曲川水系には、上流から南牧村の大芝橋、臼田町の臼田橋、上田市の大屋橋、丸子町生田、坂城町の筭（こうがい）橋、更埴市の千曲橋という、6カ所の観測地点がある。大芝橋と臼田橋間の距離は約20km、臼田橋と大屋橋間の距離は約30km、大屋橋と生田間の距離は約2km、生田と筭橋間の距離は約15km、筭橋と千曲橋間の距離は約10kmとなっている（第1図）。千曲川水系には多くの支流があるが、複数の市町村をその流域とする比較的大きな支流には、上流から相木川（北相木村・南相木村・小海町）、湯川（軽



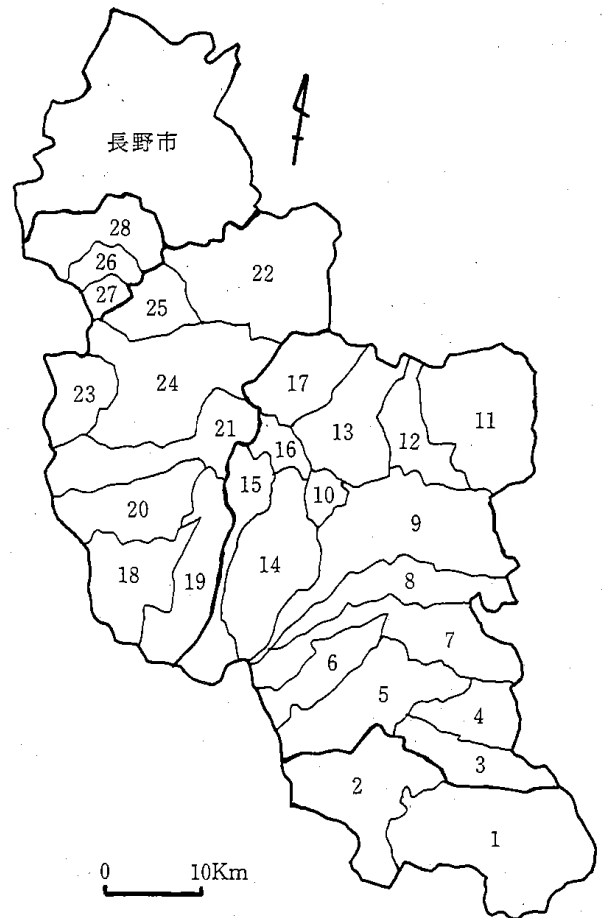
第2図 千曲川水系における水質の変化(1993年)



第3図 大芝橋における水質の経年変化

町・北御牧村), 依田川 (和田村・長門町・武石村・丸子町), 神川 (真田町・上田市), 浦野川 (青木村・上田市) がある。したがって, 大芝橋はこのような支流が流入しない最上流域の観測地点, 白田橋は相木川が流入する上流域の観測地点, 大屋橋は佐久盆地の湯川・鹿曲川などが流入する中流域の観測地点, 生田は依田川が流入する観測地点, 筭橋は上田盆地の神川・浦野川などが流入する下流の観測地点, 千曲橋は最下流の観測地点ということになる。

ところで, 各観測地点における調査日は必ずしも同一ではなく, また調査日における調査回数・調査時刻も異なっている。必ず調査が実施されているのは, 7月から8月にかけての時期 (以下, 夏期とする) と, 1月から2月の時期 (以下, 冬期とする) である。このことから本研究においては, 5カ所の観測地点にお



第4図 千曲川水系における集水域の市町村

1川上村 2南牧村 3南相木村 4北相木村 5小海町
6八千穂村 7佐久町 8白田町 9佐久市 10浅科村
11軽井沢町 12御代田町 13小諸市 14望月町 15立科町
16北御牧村 17東部町 18和田村 19長門町 20武石村
21丸子町 22真田町 23青木村 24上田市 25坂城町 26戸倉町 27上山田町 28更埴市

第1表 観測地点とその集水域

観測地点	集水域
大芝橋	川上村・南牧村
白田橋	川上村・南牧村・南相木村・北相木村・小海町・八千穂村・佐久町・白田町
大屋橋	川上村・南牧村・南相木村・北相木村・小海町・八千穂村・佐久町・白田町・佐久市・浅科村・軽井沢町・御代田町・小諸市・望月町・立科町・北御牧村・東部町
生田	川上村・南牧村・南相木村・北相木村・小海町・八千穂村・佐久町・白田町・佐久市・浅科村・軽井沢町・御代田町・小諸市・望月町・立科町・北御牧村・東部町・和田村・長門町・武石村・丸子町
筭橋	川上村・南牧村・南相木村・北相木村・小海町・八千穂村・佐久町・白田町・佐久市・浅科村・軽井沢町・御代田町・小諸市・望月町・立科町・北御牧村・東部町・和田村・長門町・武石村・丸子町・真田町・青木村・上田市・坂城町
千曲橋	川上村・南牧村・南相木村・北相木村・小海町・八千穂村・佐久町・白田町・佐久市・浅科村・軽井沢町・御代田町・小諸市・望月町・立科町・北御牧村・東部町・和田村・長門町・武石村・丸子町・真田町・青木村・上田市・坂城町・戸倉町・上山田町・更埴市

いてできるだけ統一的な分析を行なうために, まず夏期と冬期のそれぞれの観測地点における1調査日を選ぶことにした。次に, 調査時刻としては, 調査日の午前中において正午にもっとも近い時刻を用いることにした。ところで, 変化要因の分析のために使用した9指標の調査日は年1回であり, しかも資料によってその調査日が異なっている。季節の異なる観測結果を平均することについては議論があるかもしれないが, 他の指標との関係を考え, ここではとりあえず, 夏期と冬期における BOD 値¹⁾を平均した値を用いて分析を行なった。

2 BOD 値の流域における変化と観測地点における経年変化

1993年において, 6カ所の観測地点における BOD 値の変化を示したのが, 第2図である。図に示される

ように、BOD 値は、上流で湯川や鹿曲川など多くの支流が流入する大屋橋が最小であり、その上流と下流で多くなっている。これは、自然的な浄化作用、つまり、それらの支流からの流入により希釈された結果によるものかもしれない。とすると、依田川が流入する生田において BOD 値が急増しているということは、依田川の汚染がかなり進んでいることになる。また、水量の少ない最上流の大芝橋が最大となっているのも興味深い。いずれにしても、一般に、上流の水質は良く下流になるにつれて悪くなると考えられがちだが、このように、必ずしも下流になるにつれて水質汚染が進むわけではない。さらに、因子として取り上げた指標の数より観測地点数が少なく、このことから調査地点をケースとする分析は、パス解析の対象として好ましくはない。このため、調査年次をケースとした時系列的分析から、各観測地点において、水質変化の要因を探ることにした。

日本経済が高度成長から安定成長に変わって環境問題が注目された時期に相当する1975年から、近年の1993年にかけての BOD 値の変化について検討したところ、大芝橋にみられるように、年による変動が大きいことがわかる。このように変動が大きい場合には、移動平均をとると全体の変動が把握しやすくなる（第3図）。そこで、3年の移動平均値を求め、これを移動平均の中間年における値とみなし、時系列的分析を行なった。

分析は、各調査地点の集水域ごとに行なった。ところで、一般に統計値は市町村ごとに算出されているため、集水域における正確な統計値を算出することには多大の困難がともなう。このためここでは便宜上、行政区画で代用することにした。こうして、大芝橋の場合は、この観測地点より上流に位置する川上村と南牧村を集水域とみなした。以下、観測地点と集水域との関係は次のようになる。臼田橋の場合は、大芝橋における集水域と南相木村・北相木村・小海町・八千穂村・佐久町・臼田町。大屋橋の場合は、臼田橋における集水域と佐久市・浅科村・軽井沢町・御代田町・小諸市・望月町・立科町・北御牧村・東部町。生田の場合は、大屋橋における集水域と東部町・和田村・長門町・武石村・丸子町。箕橋の場合は、生田における集水域と真田町・青木村・上田市・坂城町。千曲橋の場合は、箕橋における集水域と戸倉町・上山田町・更埴市である（第4図、第1表）。

III 水質変化とその要因

1 最上流に位置する大芝橋の場合

大芝橋では、6ステップにわたる変数の増加の結果、プラスの3因子とマイナスの1因子の計4因子が求められた。重相関係数は0.9660と高く、全体の変動の91.1%が説明された。因子の寄与の度合いを示す標準偏回帰係数（以下、パス係数とする）をみると、プラスの因子においては「豚の飼育頭数」が2.1340、「牛の飼育頭数」が0.8758、「ゴルフ場の面積」が0.7245であり、マイナスの因子においては「製造業従業者数」が-0.9353であった（第2表）。この集水域においては、製造業従業者数が減少傾向にある。このことが、マイナスの因子として働いたものと考えられる。

つまり、この地域においては農畜産排水系と事業所排水系による要因によって水質汚染が起こっているのであり、豚や牛の飼育頭数が増加するほど、そしてまたゴルフ場の面積が増加するほど水質が汚染されることが確認された。一方、最大のマイナス因子として「製造業従業者数」が得られた。つまり、製造業従業者数が増加するほど水質が浄化されることになる。前述したように、製造業従業者数の減少もあるが、近年の工場は浄化施設が整備され、このことが寄与しているのかもしれない。いずれにしてもこの地域においては、牛や豚の畜舎やゴルフ場から出る排水の処理が、水質浄化のための鍵となっているものと考えられる。

2 上流に位置する臼田橋の場合

臼田橋では、変数の増減が1ステップのみにとどまり、マイナス因子として「製造業従業者数」が求められ、そのパス係数は-0.7002であった。つまり、製造業従業者が増加するほど水質が浄化されることになる。しかしながら、重相関係数は0.7002と比較的低く、全体の変動の45.6%が説明されるにとどまっている（第3表）。このことから、用いた指標では説明できない

第2表 大芝橋における因子とパス係数

大芝橋における因子	パス係数
牛の飼育頭数	0.8758
豚の飼育頭数	2.1340
製造業従業者数	-0.9353
ゴルフ場の面積	0.7245
重相関係数	0.9660
決定係数（自由度調整済み）	0.9108

他の因子が、その要因になっているものと考えられる。

3 中流に位置する大屋橋の場合

水質変化に影響する因子は見つからなかった。したがって、下水道の整備など、用いた指標では説明できない因子が、その要因になっているものと考えられる。

4 依田川が流入する生田の場合

変数の増減は1ステップにとどまり、因子として「樹園地の面積」が求められた。重相関係数は0.6558であり、全体の変動の339.2%が説明されるにとどまった。パス係数は0.6558であり、農畜産排水系である樹園地の面積が増加するほど汚染が進行することになる(第4表)。合流する依田川流域を含めた樹園地の面積が関係するものであろうが、説明率も低く、用いた指標では説明できない他の因子が、その要因になっているものと考えられる。

5 上田盆地の支流が流入する筈橋の場合

変数の増減は1ステップにとどまり、因子として「牛の飼育頭数」が求められた。重相関係数は0.8016であり、全体の変動の61.9%が説明された。パス係数は-0.8016であり、牛の飼育頭数が増加するほど水質が浄化されることになる(第5表)。上田盆地の畜産が関係するものであろうが、説得ある解釈が難しい。農村集落排水事業によって下水道が整備され、排水がこれらの施設によって浄化されていることが関係して

いるのかもしれない。

6 下流に位置する千曲橋の場合

水質変化に影響する因子は見つからなかった。したがって、下水道の整備など、用いた指標では説明できない因子が、その要因になっているものと考えられる。

IV おわりに

本研究においては、パス解析法を用いて、千曲川水系における水質の変化要因についての検討を行なった。その結果は、つぎのようにまとめられる。

千曲川水系には6カ所の水質観測地点がある。各観測地点において、BOD値を従属変数、変化要因と考えられる9指標を独立変数とし、それらの経年変化についての重回帰分析をおこなった。その結果、大屋橋と千曲橋においては、水質変化に影響する因子は得られなかった。また、臼田橋、生田、筈橋においてはそれぞれ1因子が得られたが、重相関係数およびその説明率が低く、本研究で取りあげなかった他の因子が、変化要因になっているものと考えられる。

唯一、90%を越える説明率が得られたのは、大芝橋である。大芝橋においては、4因子が得られた。この集水域における汚染要因は、農畜産系排水系と事業所排水系によるものであった。特に、この集水域においては、牛や豚の畜舎やゴルフ場から出る排水の処理が、水質浄化のための鍵となっていることが明らかになった。

以上のように、ここで取りあげた9指標では、大芝橋を除いて、水質の変化要因についての十分な説明を行なうことはできなかった。また、多くの支流が流入する大屋橋でBOD値が最小になり、依田川が流入する生田でBODが急増するなど、支流における水質が千曲川本流の水質にかなりの影響を与えているようである。今後は、これらの支流の水質変化に関する分析を含め、下水処理施設の整備状況や観光客による水質汚染という他の人為的要因や、自然的要因を加味した分析が必要であるものと考えられる。

本研究を行なうにあたり、資料の収集およびデータの入力作業において、長谷部謙一氏の協力を得た。また、資料の収集にあたっては、長野県生活環境部公害課、同環境自然保護課、農林省長野統計事務所の諸氏にお世話になった。記して感謝の意を表します。

注

1) 資料においては、観測値が0.5未満の場合には数

第3表 臼田橋における因子とパス係数

臼田橋における因子	パス係数
製造業従業者数	-0.7002
重相関係数	0.7002
決定係数(自由度調整済み)	0.4564

第4表 生田における因子とパス係数

生田における因子	パス係数
樹園地の面積	0.6558
重相関係数	0.6558
決定係数(自由度調整済み)	0.3921

第5表 筈橋における因子とパス係数

筈橋における因子	パス係数
牛の飼育頭数	-0.8016
重相関係数	0.8016
決定係数(自由度調整済み)	0.6187

値が記載されていない。その場合には、BOD 値を 0.5 とみなして分析を試みた。このケースがもっとも多くみられたのは、最上流の大芝橋であり、生田より下流の筭橋や千曲橋ではみられなかった。

文 献

国松孝男・村松浩爾 (1989) : 『河川汚濁のモデル解

析』 技報堂。

長野県衛生公害研究所 (1982) : 『諏訪湖の富栄養化に関する研究』 長野県。

日比野雅俊 (1973) : 愛知県における中小河川の水質汚濁について。地理評46, 795~810。

(受付 1996年1月31日)