

雄物川における水質の季節変動について

羽 田 守 夫

Seasonal Fluctuation of Water Qualities in the Omono River.

Morio HANEDA

(昭和55年10月31日受理)

Statistical analysis is used to consider the seasonal fluctuation of water qualities in the Omono River by using the author's data.

As a result, the following comments were obtained.

- 1) Water quality has a stochastic distribution such as normal probability distribution and logarithmic normal probability distribution.
- 2) Generally, the concentrations of turbidity, suspended solids, nitrate nitrogen and COD are high in Spring, and are low in Autumn.
But, in the same range of stream flow, the concentrations of SS and COD are low and that of $\text{NO}_3\text{-N}$ and chlorine are high in Spring.
- 3) As a season has its own hydrologic condition, seasonal fluctuation of water quality must to be considered in the same range of stream flow.

1 はじめに

河川の水質は、地形や地質、植生などの流域の特性や降雨量、気温などの水文因子等に影響されて変動する。特に、水質変動は河川の流量に左右され、水質によっては増水期や減水期に特有の変動を示す項目もある¹⁾。従って、水質によっては、同じ流量であっても出水の増水期と減水期毎に、また出水毎にあるいは季節によっても異なった濃度を示す項目もあり、これには、流量だけでなく気温やその他の因子が深く関係していると思われる。このように、水質は各成分毎に特有の変化を示し、この変動特性を把握することは、水質変動の解析や予測にとって基本的に重要なことと思われる。

そこで、ここでは、これまでに雄物川の水質調査によって得られたデータをもとに、季節変動について考察し、年間を通して各水質がどのような変動特性を持っているかについて統計的に検討してみた。特に、流量範囲毎に各水質の非超過確率を求め、これが季節毎に流量が変動するにつれてどのように変化するかについて弱干の知見が得られたので報告する²⁾。

2 使用したデータ

解析に使用したデータは、昭和49年から54年までの6年間に、各季節毎に任意に1ヶ月連続して行なった水質調査の結果である。春は、3月末から4月末の1ヶ月で、昭和50年、53年および54年の3回、計93日でありこれを春期とする。夏は、7月上旬から8月上旬までの1ヶ月で、昭和50年、53年および54年の3回、計92日でありこれを夏期とする。そして秋は、10月中旬から11月中旬までの1ヶ月で、昭和49年、52年、53年および54年の4回、計122日でありこれを秋期とする。季節毎に多少異なるが、合計10回、計307日のデータである。なお、冬期は、1回の調査結果しかないので省略した。

水質項目は、濁度、SS、DS、総硬度、アルカリ度、塩素イオン、COD (溶解性、浮遊性)、BOD、TOC、硝酸性窒素および紫外吸光度などである。

3 解析方法

水質データは、確率分布を示すことが知られてお

雄物川における水質の季節変動について

り、正規分布や対数正規分布がその代表的な例である。その分布関数は、それぞれ次のように表わされる。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right\} \dots(1)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\log\sigma} \exp\left\{-\frac{(\log x - \log m)^2}{2(\log\sigma)^2}\right\} \dots(2)$$

ここに、 σ ：標準偏差、 m ：平均値

昭和45年4月に閣議決定された「水質汚濁に係る環境基準について」によると、環境基準の達成状況を調査するため公共用水域の水質測定を行なう場合、生活環境の保全に関する環境基準の関係項目については、公共用水域が通常の状態（河川では低水量以上の流量の場合）の時に行なうことが決められている。

これは、河川の流量が低水流量程度になっても環境基準が維持されるべきであることを意味する。低水流量とは年間275日これを下回らない流量をいうので、環境基準は、年間75%以上の日数に対して達成されなければならない。このことから、水質についても、一般に75%非超過確率をもって水質測定値の代表値とすることが決められている³⁾。

変量 x がある値 x_c 以下となる確率 $p(x_c)$ を、 x_c の非超過確率といい、 x の確率密度関数を $f(x)$ とすると次のようになる。

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x_c} f(x)dx = p(x_c) \dots\dots\dots(3)$$

なお、変量 x がある値 x_c を超える確率 $q(x_c)$ を超過確率といい、 $p(x_c)$ とは次の関係がある。

$$q(x_c) = 1 - p(x_c) \dots\dots\dots(4)$$

水質の季節変動を考察するにあたり、まず各季節毎の平均値、最大値、75%非超過確率値（以下75%値と略す）を求め比較検討した。

次に、水質は流量に影響され、季節毎に流量などの水文因子が異なるので、この影響をなるべく少なくするために、水質データを季節毎に、流量範囲別に7つ程度のグループに分割し、このグループ内の水質の分布曲線から前述と同様に、50%値、75%値や平均値を求め、対応する流量にプロットして図示す

ることにより季節変動を考察した。

4 結果と考察

4・1 水文因子の変化

各季節毎の流量、降雨量および気温について、最大値、最小値および平均値をまとめて表-1に示した。これによると、流量については、春期は平均流量が一番大きく、他の季節の2~3倍の値で、これには融雪の影響が大きく関係している。夏期は、最小値と最大値の巾が大きく、平均値は春期よりは小さいが比較的大きい。これは、夏期が一般に渇水期であることおよび集中豪雨が梅雨の終りに必ずあり、この時洪水を生ずる程の降雨があるためである。これに対し秋期は、比較的流量が安定した変動の少ない時期である。次に、気温については、夏期、秋期、春期の順に低くなるが、夏期と春期とでは、平均気温で約20℃もの差があり、これがどのように水質に影響しているか注目される。また、各季節の中で最小と最大との差が1番大きい季節は秋期で、その差は約20℃である。

降雨量については、夏期が一番多く、これが夏期の流量が大きい原因であるが、次に多いのが秋期で流量の順序とは逆である。これは、春期には融雪が多くなることおよび秋期には、量は少ないが度々雨が降っていることを示している。

4・2 水質の分布曲線

水域の水質は、確率分布を示すことが知られている⁴⁾。ここでは、その例として正規分布の例を塩素イオンについて図-1に、対数正規分布の例をBODについて図-2にそれぞれ示した。

図-1には、昭和54年の単年度の場合について、季節毎に三点法でプロットしたものを示してあるが、各季節とも正規確率紙上で直線近似ができ、正規分布に近いことがわかる。同時に、正規分布で表わせる水質は、塩素イオンの他に総硬度、アルカリ度などがあり、主として無機イオンに多い。

図-2も、同じ時期のBODについて示したもの

表1 季節別水文気象因子

	流 量 (m ³ /sec)			気 温 (°C)			降 雨 量 (mm/day)	
	max	av	min	max	av	min	max	av
春 期	1,100	475	164	14.7	5.71	-1.33	24.8	3.19
夏 期	2,460	295	42.2	34.3	25.3	19.1	96.6	8.75
秋 期	599	155	59.2	20.2	10.7	-0.03	40.5	5.00

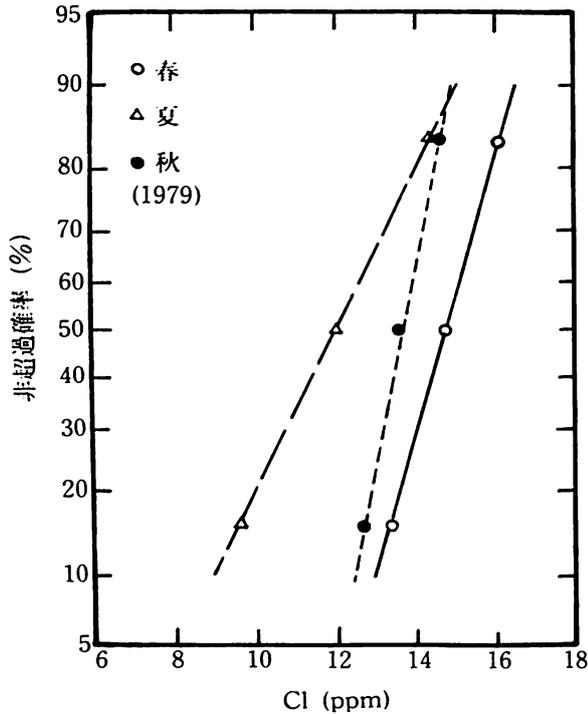


図1 正規分布の例

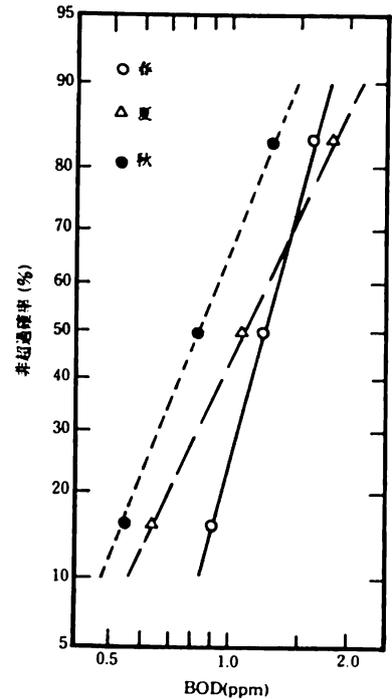


図2 対数正規分布の例

で、対数正規確率紙上で直線近似が可能である。同様に対数正規分布を示す水質には、濁度、SS、CODなどがあり、主に表面流出に関係する水質が多い。

4・3 季節別水質

表一2に、季節毎の各水質の最大値、平均値および75%値をまとめて示した。これによると、春期に大きい水質として、平均値ではSSとNO₃-N、75%値では、濁度、SS、CODおよびNO₃-Nがあり、夏期に大きい水質として、平均値では濁度、CODお

よびCl、75%値で総硬度とClがあり、秋期に大きい水質として、平均値でBOD、総硬度とアルカリ度、75%値でBODとアルカリ度がある。最大値は、ほとんどが夏期に生じており、これは夏期の洪水と濁水に関係していると思われる。また、平均値は最大値に左右されるので、水質の代表値として75%値を取ると、春期は、濁度、SS、CODおよびNO₃-N、夏期は総硬度とClそして秋期はBODとアルカリ度が高い値を示すと考えられる。

水質毎の季節変動をみると、浮遊性物質が影響す

表2 季節別水質の統計値

水質 (ppm)		Tur	SS	COD	BOD	Hard	Alk	Cl	NO ₃ -N
春期	max	128	326	13.2	8.73	25.0	12.8	20.0	0.430
	av	23.1	45.8	2.40	1.34	18.3	9.49	13.8	0.279
	75%	24.5	44.2	2.63	1.49	20.5	10.5	15.3	0.322
夏期	max	760	573	20.0	5.42	34.0	19.0	21.8	0.430
	av	27.5	45.0	2.64	1.31	23.1	12.6	15.4	0.216
	75%	19.2	36.0	2.31	1.50	30.1	14.8	19.1	0.252
秋期	max	58.7	84.0	5.66	4.88	32.2	18.0	18.9	0.406
	av	9.00	14.4	1.68	1.37	25.1	14.3	15.1	0.237
	75%	9.50	15.2	1.81	1.75	28.5	15.8	16.6	0.262

雄物川における水質の季節変動について

る濁度、SS、CODについては、春期、夏期、秋期の順の大きさに、平均流量の大きさに比例するが、総硬度やアルカリ度は、流量に反比例するので逆に秋期が大きく、次に夏期、春期の順になっている。一方、NO₃-Nは春期、夏期、Clは夏期、秋期、春期の順を示すなど水質により特有の季節変動を持っていることがわかる。

4・4 流量範囲毎の季節別水質

以上は、水質濃度を単純に比較した場合であるが、季節毎に水文因子が異なり流量が異なる以上、この影響をなるべく除いた上で比較しないと季節的な変動を十分に把握することはできないと思われる。そこで前述した流量範囲毎の水質の非超過確率値や平均値のプロットから季節変動を検討してみた。

図3に、Clについて季節毎に50%値、75%値および

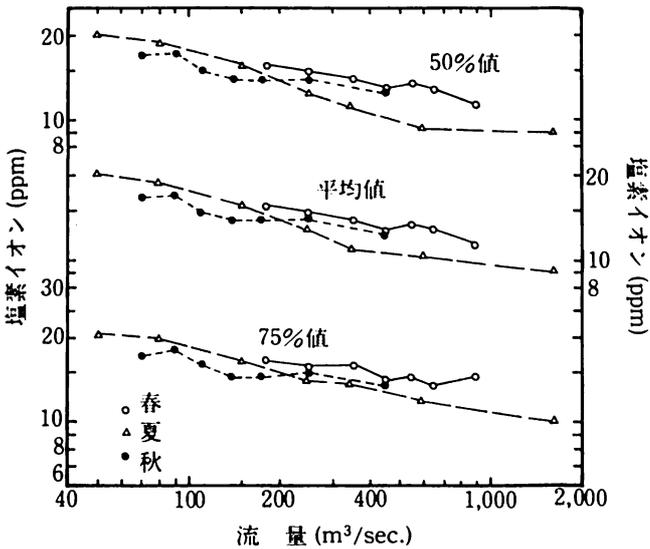


図3 Clの季節変動

び平均値の変化を示した。これによると、まず夏期は、流量が少ない時にやや高い値を示すが、流量が増すにつれ減少し、各季節の中で1番小さくなるのがわかる。秋期は、濃度の差が小さく、従って夏期とは逆の傾向になっている。春期も秋期と同じように変動が小さいが、秋期に比べてやや高く、他の季節よりも総じて1~3ppm程大きい値を示している。このように流量に対する季節変動をみると、濃度を単純に比較した場合とは傾向が異なり、明瞭に季節変動をみることができ。Clのこのような傾向は、春期の融雪による雪の影響や夏期の渇水の影響などに密接に関係していると思われる。

図4に、CODについて平均値と75%値を示した。

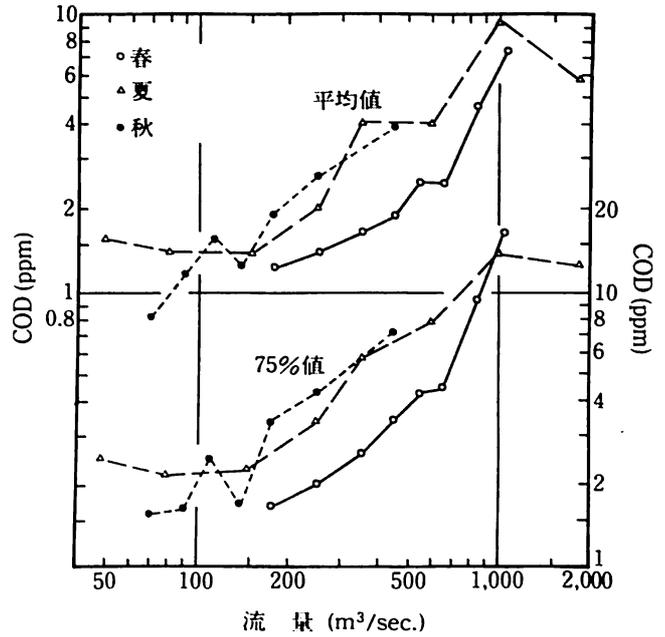


図4 CODの季節変動

これもClと同様に明瞭な季節変動が認められる。まず夏期と秋期は、ほぼ同じ傾向を示すが、流量が約150 m³/sec以下では夏期がやや大きく、それ以上では秋期がやや大きい値を示す。これに対し春期は、ほぼ全流量範囲に渡って小さく、その差は2~4ppmとかかなり大きいことが認められる。これは、表2の季節別水質の傾向とは異なり、季節変動を考える上で流量の変化が重要なポイントであることを示していると思われる。

図5には、SSの例を示した。SSの変動傾向はCODと良く似ているが、流量が100m³/sec前後で秋

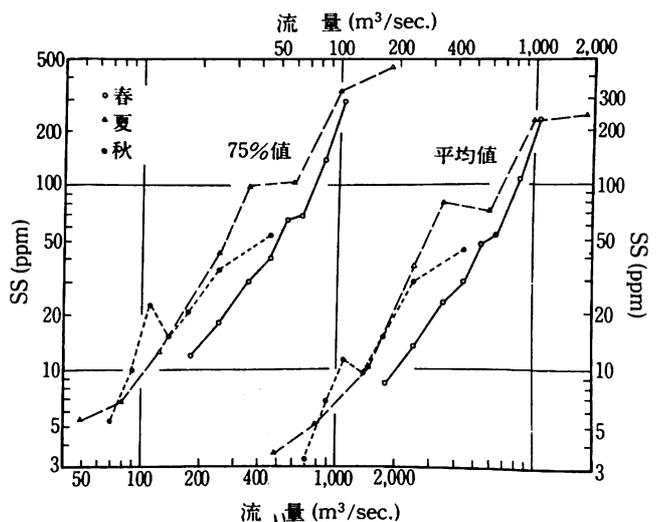


図5 SSの季節変動

期の方が夏期よりやや高く、それ以上の流量ではやや小さくなる点が異なっている。春期は、CODと同様にかなり小さく、その差は10~70ppm程であった。このことは、融雪期の流出機構が他の時期とはかなり異なることを示していると思われる。

図一6には、BODの例を示した。これより、BOD

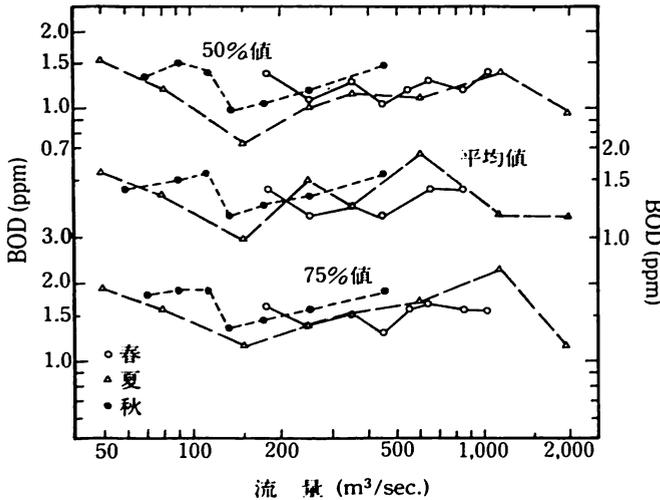


図6 BODの季節変動

は他の水質とは変動傾向が異なり、複雑な挙動を示すことが認められる。一般的に、全体としての大きな濃度変化はないが、流量が150m³/sec位の所で最も小さくなりそれ以下でも以上でもBODは徐々に増加する傾向が認められる。夏期に比べ秋期の方が0.1~0.5ppm位高い傾向を示している。また、春期は大きな変動はなく1.5ppm前後で安定しており、夏期よりもやや小さい値である。渇水の時にBODが高くなるのは、下水や排水の影響と思われる。また流量増大と共に徐々に大きくなるのは、河床の浮遊物やSS中の有機物のためと思われる。また、秋期にやや高い値を示す原因は、まだ明白ではないが、秋期のSSの成分が他の時期と異なるためではないかと思われる。以上、いずれにせよ季節的変動の傾向がこの図から認められよう。

次に、図一7にはNO₃-Nの例を示した。これによると、NO₃-Nは、季節により明らかに濃度の差がめられ、特に春期は他の時期よりかなり高い値を示すことが認められる。また、夏期と秋期とはほぼ同じような変動傾向を示すが、秋期の方がやや高いこともわかる。全体的な変動傾向は、BODの場合と全く逆であり、流量が約150m³/sec前後でピークを示しそれ以下でもそれ以上でも徐々に小さくなっている。この意味は、明確ではなく、今後の検討を要する。

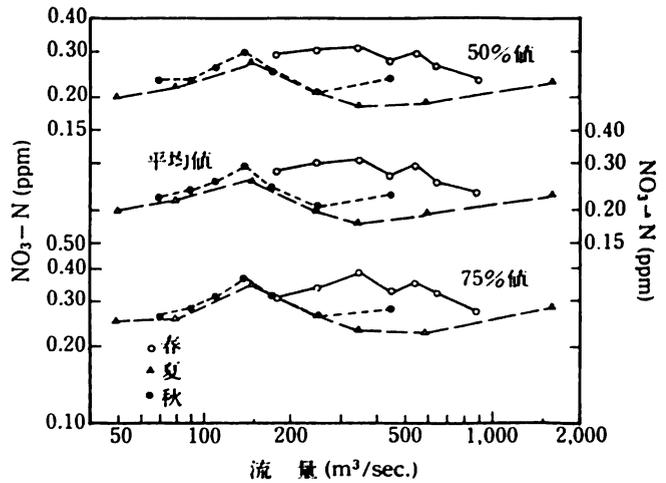


図7 NO₃-Nの季節変動

5 まとめ

河川の水質の季節的変動について、濃度の平均値や非超過確率値の比較および流量範囲毎に平均値等を求めて流量に対してプロットしての比較などを通して検討した結果、次のことが認められた。

- (1) 濃度を季節毎に分け、その平均値や非超過確率値を比較すると、濁度、SSおよびCODについては、濃度の大きさが春期、夏期、秋期の順序で平均流量の大きさに比例している。総硬度やアルカリ度は、この逆の順序を示すが、NO₃-N、ClおよびBODについては一定でなく、特有の変動傾向が認められる。
- (2) 水質データには、確率分布があり、正規分布と対数正規分布で表わすことができる。総硬度やCl等の溶降性物質は正規分布を、SSやCOD等の浮遊性物質は対数正規分布を示すことが多い。
- (3) 流量範囲毎の平均値等から季節変動をみるとその季節特有の水文、気象条件が水質に大きく影響しており、濃度だけの比較からは知り得ない傾向を把握することもできる。即ち、春期は融雪の影響で、SSやCODが同じ流量でも他の季節よりもかなり小さく、逆にNO₃-NやClは大きくなる傾向を示す。夏期は洪水と渇水の影響で、Clは渇水時に大きく洪水時に小さくなる傾向がある。秋期は比較的安定した水質を示すが、一般に夏期よりもやや高い水質が見られることなどである。従って、季節変動を見る時、濃度を単純に比較するだけでなく、同じ流量範囲の水質の非超過確率値等の比較を通して変動の傾向を知る必要があると思

雄物川における水質の季節変動について

われる。

謝 辞

本研究については、高橋淳、本荘谷勇一両君の援助を得た。また製図については、佐藤博之君の援助を得た。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

1) 羽田守夫、河川の浮遊物質の流出特性につい

て、秋田高専研究紀要15号, PP.74~79, 1980

2) 羽田守夫、河川の水質の季節変動について、第35回土木学会年次学術講演会概要集第2部, pp. 808~809, 1980

3) 矢野雄幸、三木正博、水質測定誤差とデータ処理。公害研究対策センター, 1974

4) 新田正、河川の水質の変動に関する研究、東京工業大学学報, No.20, 1961