

河川の水質評価における理化学的水質と生物の関連性

CHARACTERISTICS OF MICROORGANISMS RELATING TO
CHEMICAL WATER QUALITY OF RIVERS安田 正志*・中村 郁子**
By Masashi YASUDA and Ikuko NAKAMURA

1. はじめに

河川の水質汚濁は、汚濁物質によっては重金属類などのように個別に分析的に知らなければならないものもあるが、一般には人間の健康な生活や自然の生態などへの影響を考えれば、総合的に把握していく必要があると考えられる。近年、河川の汚濁状態を示す水質指標においても、総合的に示す試みが行われてきているが^{1)~3)}、まだ十分なものが見いだされていない。

現在のところ、水質調査などに主として利用されているのは BOD や COD などの理化学的方法によるものであるが、その水域の生物相に基づきその水質を判定する生物学的方法も同時に併用していくことが、水質の総合的把握への有力な手がかりとなると考えられる。

この場合に、この両方法の関連性と意義が明らかにされる必要があると考えられ、その関係として図-1 に示したような A, B, C の関係が考えられる。すなわち、A は、総合的な両方法の関係であり、河川の水質評価に際しては、この関係 A を考慮した総合的な判断が重要なわけである。また、B は生物学的水質階級とその判定の基礎となる各種生物との関係、さらには、C は、B あるいは

は A の関係の全体的妥当性を、各種生物の指標性から裏付ける関係である。

A の関係については、すでに筆者らは一定の知見を得ており⁴⁾、富山県内河川の水質調査結果を基礎にして、理化学的水質調査および生物学的水質調査は併用して行われるべきことを示し、また、統計学におけるカイ 2 乗検定の手法を導入して両方法における関連性について検討を加え、さらに各項目における統計量を考慮して、各生物学的水質階級における理化学的水質の濃度範囲を示すことができた。その結果をここに示しておく、表-1 のとおりである。

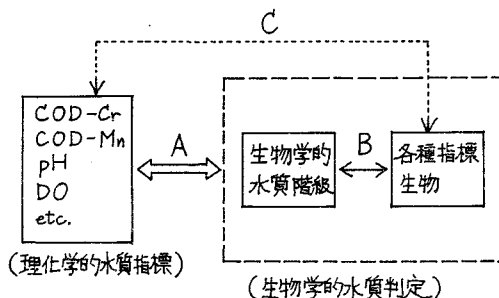
表-1 生物学的水質階級における理化学的水質指標の濃度範囲

水質階級	os	βms	αms	単 位
理化学指標				
COD-Cr	0~3	3~6	6~18	mg/l
COD-Mr	0~2	2~4	4~7	mg/l
DO	7.5以上	7.5以上	7.5以下	mg/l
DO (飽和度)	85 以上	85 以上	85 以下	%
NH ₃ -N	0~0.04	0.04~0.06	0.06~0.5	mg/l
NO _x -N	4 以下	4 以上	4 以上	μg/l
pH			7.0以下	

しかし、以上の検討は、生物学的水質判定の結果である生物学的水質階級と、理化学的水質指標との関係についてのものであり、この関係の全体的妥当性の根拠としては、さらに生物学的水質判定の基づいている各種指標生物に関する検討が必要であると考えられる。

そもそも生物学的方法の基本的考え方は、河川の生物には汚濁したところにみられる種類、あるいは清れつなとみにみられる種類があって、逆に、この種類や量から汚濁の程度を知ることができるということである。そして実際には、河川の汚濁程度をいくつかの階級にわけ、あらかじめこれに指標種を配列しておく（あるいは点数を与えておく）、河川の任意の調査地点におけるその指標生物の量と頻度から、その地点の汚濁の程度を知るのである⁵⁾。

そこで、本報告は図-1における B, C の関係について

図-1 理化学的水質指標と生物学的水質判定の
関連性に関する検討の考え方* 正会員 工修 富山県立技術短期大学講師 衛生工学科
** 理修 富山県立技術短期大学助手 衛生工学科

での検討を行い、生物学的方法を考慮した水質指標の総合化への基礎的知見を得ることを目的にしているのである。この検討は、一方において、各種生物の指標性に関する知見を得るばかりではなく、生物学的水質判定の実用上からも有用であると考えられる。すなわち、現在のところ、生物学的水質判定が基づいている汚水生物体系における生物種が限られているため、しばしば判定において不便が生ずることもあり、本報告におけるような知見の得られている種類が一層増加することが望まれるのである。

過去における汚水生物体系に関する研究としては、Kolkwitz u. Marsson⁷⁾⁹⁾, Fjerdingsstad, E.⁹⁾, Zelinka u. Marvan¹⁰⁾ 等々によるものがあり、わが国では、津田¹¹⁾によって指標生物表が提示されている。

また、指標生物の生理、生態学的な記述に関しては、Kolkwitz u. Marsson を受けた Liebmann, H.¹²⁾ によってなされた報告があり、また特に纖毛虫原生動物のいくつかの種について、Bick¹³⁾ は、pH, O₂ などの理化学的環境要因に対する耐忍範囲を示す試みを行っている。しかし、前述のようにまだこういった理化学的水質との関連を明らかにされた生物の種類は非常に限られており、さらには、理化学的水質と関連した河川の総合的な水質評価に関して実用化できるものは非常に少ない。気候、地質などの地理的、社会的要因を考慮するならば、日本の河川における知見を蓄積していく必要があると考えられる。

2. 検討に用いた資料および検討の方法

本報告で検討に使用した基礎資料は、筆者らが1972年7月31日～8月28日にかけて、富山県内27水系120地点にわたって行った水質調査の結果である。調査地点は、富山県内の平野部のほぼ全域にわたっている。理化学的水質項目としては、水温、気温、pH、酸度、アルカリ度、透視度、電導度、COD-Cr、COD-Mn、DO、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、塩素イオン、TS、全硬度の16項目であり、その他に流量も測定した。この採水時に、同時に各地点の代表的な石の表面、あるいは石の採取できないところでは岸のコンクリート張りなどの表面から、水生昆虫や付着藻類などを採取し、検鏡、同定を行った。水質判定は、津田¹¹⁾あるいはLiebmann¹²⁾の方法に従った。

この調査でみられた生物は、非常に多種にわたっているが、本報告においては、検鏡の際、生物の種類ごとにその量を +～Ⅲ の5段階に分け、(ただし、+; まれ、2%以下, ++; 少ない, 8%, +++; 普通, 15%, Ⅲ; 多い, 30%, Ⅳ; 極めて多い, 45%以上)¹⁴⁾ 水質判定に主体的に使用される量である Ⅲ 以上みられたもので、か

つそのような地点が20地点以上あった生物について検討を加えることにした。それは後で述べるように、各種生物における理化学的水質の分布状態から統計学的にその特性を検討するためには、資料数が多いほうがより妥当性が高くなるからである。そのように20地点以上にみられた種は、表-2のように6種類あった。

基本的な検討の方法は、統計学におけるカイ2乗検定の手法および区間推定の理論に従うものである。カイ2乗検定にはいくつかの手法があるが、本報告では、「適合度の検定」ともよばれるもので、ランダムサンプルをとり出した母集団の分布が、既知の分布にあっていのかどうかを調べる時などに使われる手法を適用した(なお、図-1中Aの関係についての検討には、同様に「独立性の検定」ともよばれる手法を適用することができた⁶⁾)。

理化学的水質項目のうちここで検討の対象としたのは表-1に示した項目についてである。これは、総合的な水質指標である生物学的水質判定とすでに関連の認められている理化学的水質項目について、各種生物との関連性を検討するのが、水質指標の総合化という趣旨から妥当であると考えたからである。そしてさらに、一般に塩

表-2 検討の対象とした生物名一覧

生 物 名	出現地点 数	略 号
(藍藻類) <i>Homoeothrix janthina</i>	30	Ho. ja.
(珪藻類) <i>Synedra ulna</i>	21	Sy. ul.
<i>Navicula heufleri</i>	21	Na. he.
<i>Nitzschia palea</i>	29	Ni. pa.
(昆虫類) [蜉蝣目] <i>Baëtis</i> sp.	30	Bä. sp.
[毛翅目] <i>Hydropsyche ulmeri</i>	20	Hÿ. ul.

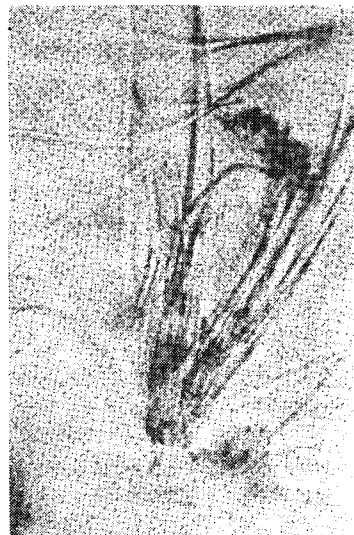
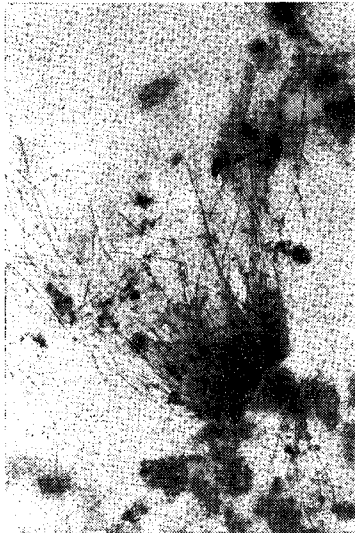
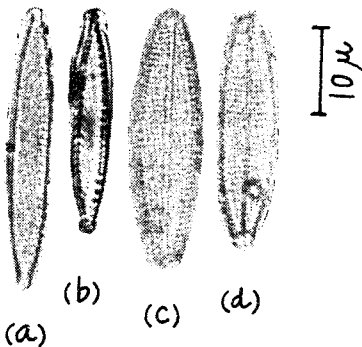


写真-1 *Homoeothrix janthina*



写真—2 *Homoeothrix janthina*



写真—3 *Nitzschia palea* (a, b) と *Navicula heufferi* (c, d)

分濃度が生物に影響を与えることはよく知られていることなので、塩素イオンも追加した。

なお、本報告では、水質以外の要因については検討の範囲外としているが、厳密に生物の生理学あるいは生態学的見地からすれば、水質以外の要因によっても影響を受けると考えられる。筆者らが行った調査では、水質以外の要因をできるだけ一定になるようにするため、水深は大体 30 cm 程度で瀬の底質が石礫であるところ、あるいは、さらに水深があり底質が砂や泥などの場合には、岸の石やコンクリート張りの表面に付着している生物を採取することとした。このような生物の採取場所について、あまりにも厳密に規定することは、この方法を広く実際に応用していくことを考慮するとあまり現実的であるとはいえないと思われる。したがって、筆者らが行った程度の規定のもとで、水質以外の要因をこみにして、かつ水質が表現されれば実用上十分有用であると考えられる。

3. 結果と考察

(1) 各種生物と生物学的水質判定

表—3 中の「出現地点数」の欄は、その生物のみられた地点について、それぞれの生物学的水質階級に属する地点数を示したものである。たとえば、*Homoeothrix janthina* についてみれば、この種のみられた 30 地点のうち、水質判定が *os* (貧腐水性) であった地点数が 12 地点、*βms* (β 中腐水性) であった地点数が 15 地点、*αms* (α 中腐水性) であった地点数が 3 地点であった。

それに対して、生物学的水質調査の可能であった全観測地点 104 地点のうち、*os* であった地点は 28 地点、*βms* は 40 地点、*αms* は 36 地点であった。なおこの地点数には *βps* (β 強腐水性) の地点は、4 地点と少なく、しかもここで取りあげた生物は、いずれもこの *βps* の地点には出現していないので、本報告では除外している。すなわち、以下の議論は *αms* 以下の水質階級である地点を検討の対象にしている。

さらに、この 104 地点のうち珪藻類は地点によって採取不能のところもあったので、珪藻類については採取できた 60 地点を全観測地点としている。その時 *os* であった地点は 8 地点、*βms* は 34 地点、*αms* は 18 地点であった。

以上の「出現地点数」をそれぞれの生物学的水質階級における度数として、全観測地点数における度数分布(あるいは珪藻類においては珪藻類の採取できた地点数における度数分布)を既知の分布とし、それぞれの生物における度数分布をランダムサンプルの結果として、この両者の間に差があるかどうかを調べるカイ 2 乗検定を適用することができる。そして、この時、差が認められないとすれば、その生物は生物学的水質階級のある階級に特に出現しやすい(あるいは出現しにくい)ということではなく、したがって水質階級に対する指標性が認められないのである。さらに、その生物がある水質階級に出

表—3 各生物の各水質階級における出現地点数と χ^2 検定

生物名	出現地点数				χ^2 検定	
	<i>os</i>	<i>βms</i>	<i>αms</i>	計	χ^2	棄却限界値
<i>Ho. ja.</i>	12(8.1)	15(11.5)	3(10.4)	30	8.22	5.99($P=0.05$)
<i>Bä. sp.</i>	18(8.1)	10(11.5)	2(10.4)	30	19.08	10.60($P=0.005$)
<i>Hy. ul.</i>	10(5.4)	10(7.7)	0(6.9)	20	11.51	10.60($P=0.005$)
全観測地点	28	40	36	104		
<i>Sy. ul.</i>	3(2.8)	15(11.9)	3(6.3)	21	2.55	2.77($P=0.25$)
<i>Na. he.</i>	0(2.8)	14(11.9)	7(6.3)	21	3.25	4.61($P=0.10$)
<i>Ni. pa.</i>	2(3.9)	19(16.4)	8(8.7)	29	1.40	2.77($P=0.25$)
珪藻類のみられた地点	8	34	18	60		

注) 出現地点数におけるカッコ内はその欄の期待値

表-4 各種生物の各理化学的水質指標における χ^2 検定

理化学指標	各濃度区間における出現地点数					χ^2	検定
	生物名	mg/l	0~3	3~6	6~		
COD-Cr	<i>Ho. ja.</i>	14(13.3)	12(7.8)	4(8.9)	30	6.37	5.99(P=0.05)
	<i>Bä. sp.</i>	22(13.3)	6(7.8)	2(8.9)	30	11.46	10.60(P=0.005)
	<i>Hg. ul.</i>	12(8.8)	6(7.8)	2(6.0)	20	3.95	2.77(P=0.25)
	全観測地点数	46	27	31	104		
COD-Mn	<i>Sg. ul.</i>	12(9.8)	7(6.3)	2(4.9)	21	2.29	2.77(P=0.25)
	<i>Na. he.</i>	8(9.8)	8(6.3)	5(4.9)	21	0.79	"
	<i>Ni. pa.</i>	13(13.5)	10(8.7)	6(6.8)	29	0.30	"
	全観測地点数	60	18	14	60		
D.O.	<i>Ho. ja.</i>	12(11.0)	16(13.0)	2(6.0)	30	3.45	4.61(P=0.10)
	<i>Bä. sp.</i>	21(11.0)	7(13.0)	2(6.0)	30	14.53	10.60(P=0.005)
	<i>Hg. ul.</i>	9(7.3)	11(8.7)	0(4.0)	20	5.01	4.61(P=0.10)
	全観測地点数	38	45	21	104		
pH	<i>Sy. ul.</i>	8(5.9)	13(11.2)	0(3.9)	21	4.94	4.61(P=0.10)
	<i>Na. he.</i>	3(5.9)	13(11.2)	5(3.9)	21	2.03	2.77(P=0.25)
	<i>Ni. pa.</i>	9(8.2)	16(15.5)	4(5.3)	29	0.19	"
	全観測地点数	17	32	11	60		
NH ₄ -N	<i>Ho. ja.</i>	12(9.8)	16(13.0)	2(6.0)	30	3.45	4.61(P=0.10)
	<i>Bä. sp.</i>	21(11.0)	7(13.0)	2(6.0)	30	14.53	10.60(P=0.005)
	<i>Hg. ul.</i>	9(7.3)	11(8.7)	0(4.0)	20	5.01	4.61(P=0.10)
	全観測地点数	60	18	14	60		
NO ₂ -N	<i>Sy. ul.</i>	8(5.9)	13(11.2)	0(3.9)	21	4.94	4.61(P=0.10)
	<i>Na. he.</i>	3(5.9)	13(11.2)	5(3.9)	21	2.03	2.77(P=0.25)
	<i>Ni. pa.</i>	9(8.2)	16(15.5)	4(5.3)	29	0.19	"
	全観測地点数	17	32	11	60		
Cl ⁻	<i>Ho. ja.</i>	3(8.9)	12(15.0)	15(6.1)	30	17.50	10.60(P=0.005)
	<i>Bä. sp.</i>	7(8.9)	16(15.0)	7(6.1)	30	0.61	2.77(P=0.25)
	<i>Hg. ul.</i>	1(6.0)	12(10.0)	7(4.0)	20	6.82	5.99(P=0.05)
	全観測地点数	31	52	21	104		
pH	<i>Sy. ul.</i>	4(5.3)	8(9.8)	9(5.9)	21	2.27	2.77(P=0.25)
	<i>Na. he.</i>	6(5.3)	12(9.8)	3(5.9)	21	2.01	"
	<i>Ni. pa.</i>	10(7.3)	9(13.5)	10(8.2)	29	2.90	4.61(P=0.10)
	全観測地点数	15	28	17	60		
pH	<i>Ho. ja.</i>	4(7.2)	10(12.7)	16(10.1)	30	5.44	4.61(P=0.10)
	<i>Bä. sp.</i>	3(7.2)	11(12.7)	16(10.1)	30	6.13	5.99(P=0.05)
	<i>Hg. ul.</i>	0(4.8)	9(8.5)	11(6.7)	20	7.59	7.38(P=0.025)
	全観測地点数	25	44	35	104		

注) 出現地点数におけるかつこ内は、その欄の期待値

理化学指標	各濃度区間における出現地点数					χ^2	検定
	生物名	mg/l	0~0.04	0.04~0.08	0.08~		
pH	<i>Sy. ul.</i>	4(4.9)	10(9.5)	7(6.6)	21	0.22	2.77(P=0.25)
	<i>Na. he.</i>	6(4.9)	11(9.5)	4(6.6)	21	1.51	"
	<i>Ni. pa.</i>	8(6.8)	14(13.0)	7(9.2)	29	0.82	"
	全観測地点数	14	27	19	60		
NH ₄ -N	<i>Ho. ja.</i>	20(13.8)	7(8.7)	3(7.5)	30	5.82	4.61(P=0.10)
	<i>Bä. sp.</i>	18(13.8)	10(8.7)	2(7.5)	30	5.50	"
	<i>Hg. ul.</i>	14(9.2)	6(5.8)	0(5.0)	20	7.51	7.38(P=0.025)
	全観測地点数	48	30	26	104		
NO ₂ -N	<i>Sy. ul.</i>	12(9.8)	7(6.3)	2(4.9)	21	2.29	2.77(P=0.25)
	<i>Na. he.</i>	10(9.8)	6(6.3)	5(4.9)	21	0.01	"
	<i>Ni. pa.</i>	12(13.5)	8(8.7)	9(6.8)	29	0.94	"
	全観測地点数	28	18	14	60		
Cl ⁻	<i>Ho. ja.</i>	17(13.3)	8(11.0)	5(5.8)	30	1.96	2.77(P=0.25)
	<i>Bä. sp.</i>	20(13.3)	8(11.0)	2(5.8)	30	6.69	5.99(P=0.05)
	<i>Hg. ul.</i>	14(8.8)	5(7.3)	1(3.9)	20	5.95	4.61(P=0.10)
	全観測地点数	46	33	20	104		
pH	<i>Sy. ul.</i>	7(7.4)	9(9.1)	5(4.6)	21	0.05	2.77(P=0.25)
	<i>Na. he.</i>	6(7.4)	8(9.1)	7(4.6)	21	1.64	"
	<i>Ni. pa.</i>	8(10.2)	13(12.6)	8(6.3)	29	0.94	"
	全観測地点数	21	26	13	60		
pH	<i>Ho. ja.</i>	7(9.0)	15(11.5)	8(9.5)	30	1.75	2.77(P=0.25)
	<i>Bä. sp.</i>	14(9.0)	11(11.5)	5(9.5)	30	4.92	4.61(P=0.10)
	<i>Hg. ul.</i>	7(6.0)	10(7.7)	3(6.3)	20	2.59	2.77(P=0.25)
	全観測地点数	31	40	33	104		
pH	<i>Sy. ul.</i>	5(4.6)	10(8.7)	6(7.7)	21	0.60	2.77(P=0.25)
	<i>Na. he.</i>	5(4.6)	8(8.7)	8(7.7)	21	0.10	"
	<i>Ni. pa.</i>	6(6.3)	14(12.1)	9(10.6)	29	0.55	"
	全観測地点数	13	25	22	60		

現しやすいものならば、その水質階級の欄の度数が、いずれの水質階級にも出現すべきとした時の度数すなわち期待値と比較して大きくなるはずである。

表-3 中のカッコ内は、その生物がいずれの水質階級にも出現するものであるとした時の期待値である。たとえば、*Homoeothrix janthina* においては、全観測地点 104 地点のうち 30 地点にみられ、期待値は、*os* では 8.1、*βms* では 11.5、*αms* では 10.4 である。そして、それぞれの生物について期待値の度数分布と、おのおの生物における実際の観測値における度数分布に対してカイ 2 乗検定を行った結果が、表-3 中の「カイ 2 乗検定」の欄である。

この結果、本報告で対象とした 6 種の生物のうち珪藻類を除く *Homoeothrix janthina*, *Baetis* sp., *Hydropsyche ulmeri* の各生物においては危険率 5% 以下で有意差が認められ、それらの生物は、それぞれ特定の水質階級の判定指標になりうることを示している。そしてさらに表-3 の各欄の観測値の期待値に対する大、小、またそのカイ 2 乗の値の大きさからそれぞれの生物について、判定指標とし得る水質階級は次のようにいえるであろう。珪藻類の *Homoeothrix janthina* は *os* ないし *βms*、昆虫類の *Baetis* sp. は *os*, *Hydropsyche ulmeri* は *os* ないし *βms* を示す確率が大きい。ただし、以上の議論からもわかるとおり、その他の水質階級にはみられないということではない。また、珪藻類の 3 種については、本報告において指標性なしとなったのは、*os* から *αms* のどの水質階級にも区別なくみられたということであり、逆に、これらの種のみられる時は汚染の程度が *αms* まで考えられるということになる。

なお、以上の種のうち珪藻類の *Synedra ulma* については、Lieomann, E.¹¹⁾、あるいは津田¹²⁾によって *βms* の指標生物とされており、同じく *Nitzschia palea* については、この両者のほか、Zelinka u. Marvan¹⁰⁾ においても主に *αms* で一部 *βms* の指標生物とされている。また、昆虫類の *Baetis* sp. は、津田の表¹¹⁾で *βms* ないし *os* の指標生物とされている。筆者らの検討方法によって得られた結果は、これらの規定と若干異なる結果となったが、このことは、これらの生物における指標性について、少なくとも富山県内の夏期の河川においては、以上の程度の違いがみられたということであり、これらの生物の指標性に関して今後さらに検討の余地があることを示している。

(2) 各種生物と理化学的水質

検討の対象とした理化学的水質項目のそれぞれについて、いくつかの濃度の段階におけ、その各濃度段階において、ある生物のみられた地点数の分布状態に対し (1) で行ったと同様な方法を適用し、さらに、統計処理した平均値の 15% 信頼区間を考慮することによって、各種生物の理化学的水質項目に対する関連性、さらにはその生物のみられた場合の確率の大きいと考えられる理化学的水質の濃度範囲を示すことができると考えられる。

a) 各種生物における理化学的水質からみた指標性の検討

表-4 は表-3 と同様な方法によって各理化学的水質項目の各濃度段階における地点数、さらに、全観測地点数 104 地点のうち各濃度段階における地点数をそれぞれ示したものの、および、それについて、各種生物ごとに、その分布状態と全観測地点における分布状態に差がみられるかを調べるため、カイ 2 乗検定を適用したものの結果である。ただし、珪藻類については、3. (1) と同様の理由によって全観測地点数は、珪藻類の採取できた 60 地点となっている。なお、この各濃度段階は、表-1 の結果を考慮して決定した。

表-4 におけるカイ 2 乗検定結果を危険率 5%、10% と区別してまとめて示したのが、表-5 である。この結果、COD-Cr では、*Homoeothrix janthina*, *Baetis* sp. について、5% 以下の危険率で有意差が認められ、COD-Mn では、危険率 10% 以下で、*Synedra ulna*, *Baetis* sp., *Hydropsyche ulmeri* の 3 種に有意差が認められた。

また DO については、危険率 5% 以下で有意差の認められたのは、*Homoeothrix janthina* と *Hydropsyche ulmeri* であった。その他については、いずれも危険率 10% で有意差が認められなかった。

表-5 各種生物と理化学的水質指標の χ^2 検定結果

生物名	理化学的指標 COD-Cr	COD-Mn	DO	pH	NH ₄ -N	NO ₂ -N	Cl ⁻
<i>Ho. ja.</i>	◎	—	◎	○	○	—	—
<i>Bä. sp.</i>	◎	◎	—	◎	○	◎	○
<i>Hy. ul.</i>	—	○	◎	◎	◎	○	—
<i>Sy. ul.</i>	—	○	—	—	—	—	—
<i>Na. he.</i>	—	—	—	—	—	—	—
<i>Ni. pa.</i>	—	—	—	—	—	—	—

注) ◎: 危険率 5% で有意差あり
 ○: " 10% "
 —: " 10% で有意差なし

表—6 各種生物における理化学的水質指標の統計量

生物名	資料数	理化学的水質指標	最高値	最低値	平均値	分散	標準偏差	平均値の95%信頼区間
<i>Ho. ja.</i>	30	COD-C _r	63.2	0.1	5.7	121.9	11.0	1.7~9.6
		COD-M _n	13.9	0.0	2.4	5.90	2.4	1.5~3.2
		DO (飽和度)	111	33	92	197	14	87~97
		pH	9.4	7.0	7.7	0.28	0.5	7.5~7.9
		NH ₄ -N	0.12	0	0.04	0.0007	0.03	0.03~0.05
		NO ₂ -N	176	0	15.2	1511	38.9	1.3~29.1
		Cl ⁻	424	2.41	22.9	5694	75	0~50
<i>Sy. ul.</i>	21	COD-C _r	4.6	0.1	3.3	2.82	1.7	2.6~4.1
		COD-M _n	3.5	0.3	2.2	0.65	0.8	1.8~2.5
		DO (飽和度)	124	79	95	67	8	91~99
		pH	8.4	6.4	7.4	0.24	0.5	7.2~7.6
		NH ₄ -N	0.10	0.02	0.05	0.0905	0.02	0.04~0.06
		NO ₂ -N	176	0	22.5	2078	46	3.0~42.0
		Cl ⁻	19.7	3.0	8.4	17.81	4.2	6.6~10.2
<i>Na. he.</i>	21	COD-C _r	35.2	1.1	7.0	408.5	20.2	0~15.7
		COD-M _n	13.3	1.8	3.1	14.00	3.7	1.5~4.7
		DO (飽和度)	111	23	84	338	18	76~92
		pH	8.4	6.8	7.3	0.15	0.4	7.1~7.5
		NH ₄ -N	0.95	0	0.14	0.07	0.26	0.03~0.25
		NO ₂ -N	176	2.1	23.4	1654	40.7	6.0~40.8
		Cl ⁻	2710	2.4	196	387900	623	0~462
<i>Ni. pa.</i>	29	COD-C _r	35.2	0.2	6.5	78.61	8.9	3.3~9.8
		COD-M _n	13.3	0.3	3.1	10.45	3.2	2.0~4.3
		DO (飽和度)	124	23	87	319	18	80~94
		pH	9.4	6.2	7.4	0.44	0.7	7.2~7.6
		NH ₄ -N	4.01	0	0.23	0.54	0.73	0~0.50
		NO ₂ -N	176	0	22.5	1764	42.0	7.2~37.8
		Cl ⁻	2710	2.4	106	339700	583	0~318
<i>Bä. sp.</i>	30	COD-C _r	12.8	0.0	2.4	8.23	2.9	1.4~3.5
		COD-M _n	6.8	0.0	1.6	1.81	1.4	1.2~2.1
		DO (飽和度)	101	61	89	72	9	86~92
		pH	9.4	6.2	7.6	0.34	0.6	7.4~7.8
		NH ₄ -N	0.12	0	0.04	0.0007	0.026	0.03~0.05
		NO ₂ -N	13.2	0	4.0	8.6	2.9	2.9~5.0
		Cl ⁻	16.2	2.4	6.0	12.71	3.6	4.8~7.3
<i>Hy. ul.</i>	20	COD-C _r	11.7	0.0	3.0	6.04	2.5	2.0~4.1
		COD-M _n	3.0	0.6	1.9	0.49	0.7	1.6~2.2
		DO (飽和度)	100	84	93	29	4	91~95
		pH	9.4	7.2	7.8	0.33	0.6	7.6~8.1
		NH ₄ -N	0.07	0	0.03	0.0004	0.021	0.02~0.04
		NO ₂ -N	176	2.1	12.5	1412	37.6	0~39.0
		Cl ⁻	13.4	3.0	6.7	11.06	3.3	5.2~8.1

注) 単位: mg/l (ただし DOは%, NO₂-Nは µg/l)

pH, NH₄-N, NO₂-N については、珪藻類の *Synedra ulna*, *Navicula heufleri*, *Nitzschia palea* のいずれの種においても 10% の危険率で有意差が認められなかった。しかし、*Homoeothrix janthina* では、pH, NH₄-N で危険率 10% で有意差が認められ、また昆虫類の *Baetis* sp. と *Hydropsyche ulmeri* では、pH, NH₄-N, NO₂-N のいずれにおいても危険率 10% で有意差が認められた。

また、Cl⁻ については、10% の危険率で、*Baetis* sp. 以外のいずれの種も有意差は認められなかった。

以上の結果において、たとえば有意差の認められた生物は、理化学的水質項目のある濃度段階に特に出現しやすい(あるいは出現しにくい)と考えることができ、すなわち、その理化学的水質指標からみて、指標性があると考えられるのである。

なお、カイ 2 乗検定は期待値が 5 以上でなければ近似の精度が低くなるという制約があるので、表-4 中にみられるように一部 5 より小さいものは、ここでは一応概略の傾向を示すと考えておくこととする。しかし、表-5 の全体的傾向からみて、この指標性の有無の判定に無理はないと考えられる。ただし、*Synedra ulna* では、COD-Mn において有意差が認められたが、そのほかの理化学的水質指標ではすべて有意差が認められていないのでこの結果の評価は保留しておくべきであろうと思われる。いずれにしろ、このような点については、今後さらにデータを積み上げて確認していく必要がある。

b) 各種生物における指標性と理化学的水質濃度範囲

前節の検討で理化学的水質指標からみて指標性の認められた生物について、さらに、その指標としての濃度範囲はどの程度になるのか検討を行った。まず、それぞれの生物について、各理化学的水質項目ごとに、どのような度数分布を示しているかを調べた。その結果の代表例として、*Homoeothrix janthina* について示したのが図

表-7 各種生物において指標性の認められる各理化学的水質濃度範囲

理化学指標	生物名						単位
	Ho. ja.	Sy. ul.	Na. he.	Ni. pa.	Bä. sp.	Hy. ul.	
COD-Cr	0~6	—	—	—	0~3	—	mg/l
COD-Mn	—	(1~3)	—	—	0~2	1~3	"
D.O.	95以上	—	—	—	—	90以上	%
pH	7.5以上	—	—	—	7.5以上	7.5以上	
NH ₄ -N	0~0.04	—	—	—	0~0.04	0~0.04	mg/l
NO ₂ -N	—	—	—	—	0~4	0~4	μg/l
Cl ⁻	—	—	—	—	0~5	—	mg/l
生物学的水質階級	os~βms	—	—	—	os	os~βms	

—2 である。この結果からもわかるとおり、これだけからはその分布の形式を決定するのは困難ではあるが、その生物種の出現しやすい濃度範囲を知るという目的からは、ここでは正規分布型と仮定しても十分有用であると考えられる。そのことは、図中に正規分布と仮定したときの平均値の 95% 信頼区間を示した結果からも、十分有用な仮定であると認めてよいと思われる。

そのような考えにしたがい、各生物ごとにその生物のみられた地点における理化学的分析結果を統計処理してまとめたのが表-6 である。

この表-6 の結果および表-4 の結果から互いに大きく矛盾しないということを条件に、各生物において指標としうる濃度範囲を総合的に示すことができる。表-7 に、その結果をまとめて示した。なお、最下欄には 3. (1) で得られている結果も同様に示した。ただし、この結果は、それぞれの生物がこの水質濃度以外の水域にはみられないということではなく、これらの生物を指標にできるならば、理化学的水質からみて、この程度の汚濁状態を表わしている確率が大きいということである。なお、COD-Cr については、10 mg/l 以下では正確な値が得にくいので¹⁵⁾、ここでは概略値と考えておくべきであろう。

この表-7 に得られた結果において、理化学的水質指標から示される濃度範囲と、生物学的水質判定から指標性があるとして示される水質階級の両者を比較対照してみた場合、表-1 の結果を背景に次のように考えられる。たとえば、*Homoeothrix janthina* においては、理化学的水質指標の COD-Cr は 0~6 mg/l と表-1 の os~βms に該当し、同様に、DO は 95% 以上で os~βms, pH は 7.5 以上で os~βms, さらに NH₄-N では 0~0.04 mg/l で os にそれぞれ該当している。そこで生物学的水質判定としては、総合的に os~βms となったと考えることができよう。

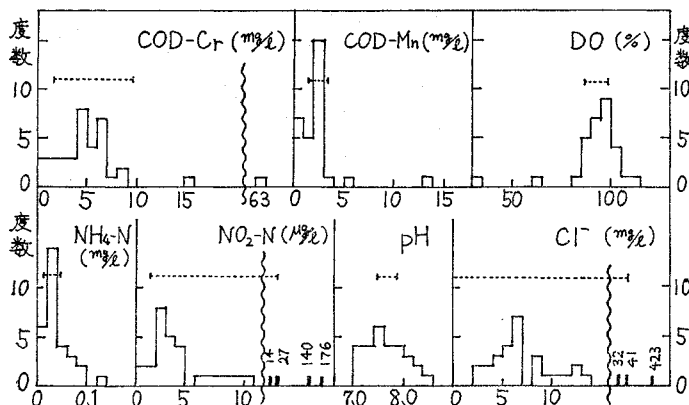


図-2 *Homoeothrix janthina* における度数分布 (ただし、点数は平均値の 95% 信頼区間である。)

本報告でとりあげた生物のあるものについては、すでにいくつかの報告がある。*Homoeothrix janthina* については、一般に日本での分布は非常に広いことが知られており¹⁶⁾、吉野川¹⁷⁾、相模川¹⁸⁾、久慈川¹⁹⁾などでの調査例が報告されており、井出ら¹⁹⁾はこの久慈川の調査から水質判定は貧腐水性からβ中腐水性に属すると報告している。*Synedra ulna* についても広く分布することが知られている^{20), 21)}。*Nitzschia palea* の出現例は非常に多く報告されており、非常に汚濁した水域にも大量にみられることがあり²⁰⁾、有機汚染に対して強い抵抗性があるとされている^{11), 22)}。また、*Navicula heufleri* については、わずかに汽水性を好むという報告²¹⁾がある。

以上のような報告例に対し、本報告において得られた結果は藍藻類の *Homoeothrix janthina* や珪藻類の *Synedra ulna*, *Nitzschia palea* については同様な性質をさらに統計的に裏付けることができたといえよう。

(3) 具体例

本報告において得られた結果をいくつかの具体的な調査地点にあてはめて矛盾しないかどうか検討すると、次のようであった。全調査地点のうち、本報告で検討の対象とした生物のみられた地点を任意に選び出し、理化学

表-8 具体例 (理化学的水質分析結果)

河川名 地点番号	河川名				
	舟川	白岩川	大岩川	井田川	山田川
地点番号	9	44	50	72	77
理化学指標					
水温 (°C)	22.0	24.8	24.9	22.8	19.5
電導度	86	100	91	122	145
pH	7.4	8.4	7.4	8.2	8.0
酸度 (CaCO ₃ mg/l)	2.9	0	3.6	0	0
アルカリ度 (CaCO ₃ mg/l)	27.8	27.9	23.6	37.4	34.9
COD-Cr (mg/l)	3.31	2.69	—	4.86	3.58
COD-Mn (mg/l)	0.75	2.33	1.95	2.10	2.12
DO (%)	97	91	92	100	99
Cl ⁻ (mg/l)	5.04	3.73	5.66	5.71	11.6
NH ₄ -N (mg/l)	0.06	0.05	0.05	0	0
NO ₂ -N (μg/l)	3.4	3	3.2	2.1	2.7
NO ₃ -N (mg/l)	0.27	0	0	0.13	0.15
透視度	>30	>30	>30	>30	>30
全硬度	29.7	34.8	26.9	50.2	52.6
T.S.	238	114	174	142	214

表-9 具体例 (生物相)

生物名	河川名				
	舟川	白岩川	大岩川	井田川	山田川
地点番号	9	44	50	72	77
(藍藻類)					
<i>Oscillatoria tenuis</i>					+++
<i>Homoeothrix janthina</i>			++++	++++	++++
(珪藻類)					
<i>Synedra ulna</i>		+++			
<i>Navicula viridura</i> var. <i>slesvicensis</i>			+++		
<i>N. heufleri</i>		++++	++++	++++	
<i>Cymbella ventricosa</i>		+++			
<i>C. turgidula</i>		+++		++++	
<i>C. turgidula</i> var. <i>nipponica</i>				+++	
<i>Nitzschia palea</i>		++++		+++	
<i>N. communis</i> var. <i>abbreviata</i>		+++			
(緑藻類)					
<i>Stigeoclonium lubricum</i>			++++	++++	
(蛭類)	○				
(昆虫類)					
<i>Baetis</i> sp.	○			○	○
<i>Hydropsyche ulmeri</i>	○	○	○		○
etc.	○	○	○	○	○
生物学的水質判定	os	βms	βms	βms	os

注) 藻類については、検鏡下 +++ 以上。

昆虫類については、本報で検討の対象とした種のみを示し、存在の認められる時、○とした。

的水質調査結果、および生物学的調査結果をそれぞれ表-8 および表-9 に示した。

これについて、各生物ごとに表-7 に得られた結果が満たされているかどうか調べてみる。たとえば、*Homoeothrix janthina* のみられた地点は、No. 50, No. 72, No. 77 である。このとき表-7 から *Homoeothrix janthina* のみられる時は、たとえば COD-Cr は 0~6 mg/l である可能性が非常に大きいと考えられる。そして、表-8 から COD-Cr は、No. 72 で 4.9 mg/l, No. 77 では 3.6 mg/l, (No. 50 は欠測) となっていて、その範囲に入っている。同様にして、各生物ごと、あるいは各水質項目ごとに比較対応させてみても、根本的には矛盾しているものはみられない。

ただし、いくつかについては表-7 からずれているものもあるが、そのずれはわずかであり、表-7 の数字も固定的に考えてはならないことを考慮すれば、この程度のずれは十分許容しうるものである。

4. 討 論

以上、筆者らの 1972 年夏期の富山県内水系の水質調査結果を基礎にして、本報告では、6 種類の生物について

て、その種のみられた地点数についての理化学的水質の分布状態を検討し、それらの種の水質判定における特性について検討を行った。ここでは、生物の存在を規定する要因としては、水質以外にも多くの要因が考えられるのであるが、それらを含んでも水質との関連が見出されれば、実用上は十分有意義であるという考え方をしている。そして、3. で述べたような結果を認めることができた。

しかし、これらの結果は、必要十分な条件ではないということに留意しておく必要がある。すなわち、その生物がみられる時、ある水質の状態であると判定することはできても、逆に、その水質の状態のとき、必ずその生物がみられるとは限らないのである。それは前述のようにその生物の存在を決定づける生態学的因子は、水質だけではないということからも考えられることであり、地質的、地理的、気候的あるいは社会的要因などが複雑にからまっているであろうと考えられる。

本報告において、これまでに Liebmann やその他の研究者によって述べられている生物に対しても、水質指標としての特性について、さらに理化学的水質との関連で統計的に把握していく手がかりを得られた。このことからいっても、本報告でとりあげた種以外についても、できるだけ多くの種について、このような検討を行っていくことは、前述のような理化学的、あるいは生物学的調査を併用した水質の総合的判断を行うための基礎資料として意義のあることであると考えられる。

さらに、3. での検討の結果から、次のようなことがいえるであろう。それは、その地点の生物相から総合的に判定された水質階級とある種の理化学的水質指標とは、ある相関が認められたとしても、おのおの生物からみた場合、それらの理化学的水質指標のいずれもが同じように該当するとは限らず、水質指標によってはずれを生ずることがある。これは、逆に、理化学的水質指標は「水質」を部分的に示しているということと関連がある。

また、本報告での検討は、各種生物のそれぞれについて関連性を調べたけれども、現実には、表-9 のようにこれらの生物は単独でみられることはまずなく、その生物群の構成によって総合的に判定しなければならないわけである。したがって、本報告で行った検討の方法に積み上げてそのような生物群の構成についての構造的な検討が必要になってくるであろう。すなわち、各種指標生物の組合せ状態から水質の状態を判定することが、より有効である可能性が大きい。このことについては、今後さらに検討の方法を追求していくべき課題であると思われる。

また以上述べた各種生物の水質指標としての特性につ

いて、他の地域あるいは他の時期においてもどの程度該当するかについては、今度の課題であり、さらに多くの地域でこのような調査が行われ、生物学的な水質判定によっても、水質の定量的把握が可能になること、あるいは水質の特異性の把握が可能になることが期待される。

5. 総括

富山県内水系における 1972 年夏期の理化学的および生物学的な水質調査結果に基づいて、そのうち 6 種類の生物について、水質の指標性の観点から特性を明らかにする試みを行い、水質指標の総合化への基礎的知見を得ることができた。

その方法および結果を要約すると次のようである。

(1) 図-1 に図示した考え方に基づき、A, B, C の関係を設定し、本報告では、特に B, C の関係についてカイ 2 乗検定の手法を導入し検討を加えた。検討の対象とした生物は、表-2 に示したような 6 種類である。また理化学的水質項目は、表-1 に示した項目および塩素イオンである。

(2) 各種生物と理化学的水質項目との相関においてカイ 2 乗検定の結果から、表-5 のようにある危険率のもとで、有意差の認められる種類があった。この有意差が認められるということは、その項目に対しその生物に指標性があるということである。

(3) このカイ 2 乗検定結果と表-6 の統計量から一定の原則のもとに、各種生物ごとに、その種のみられた場合に可能性が大きいと認められる生物学的な水質階級、あるいは、各理化学的水質項目の濃度範囲の結果は、表-7 に示されるとおりであった。この結果を、いくつかの具体的調査地点の結果にあてはめても大きな矛盾はみられなかった。

(4) ただし、本研究の対象とした資料は、富山県内河川における夏期のデータに基づいているのであり、得られた結果の数字などについては、地域的、季節的、その他の要因も考えられるので、さらに各地で調査が行われデータが積み上げられることが期待される。また、さらにその水域にみられる生物群の構成状態から定量的に水質状態の判定が行いえるような方法論についての検討も今後の大きな課題である。

6. 謝辞

本研究に対して、有益な助言と示唆を与えていただきました東京大学工学部 徳平淳教授に深甚の感謝の意を表します。

なお、本研究は、文部省科学研究費特定研究「環境汚

染制御」から一部補助を受けたものである。

参 考 文 献

- 1) 日本化学会編：環境質の指標，丸善，1974。
- 2) 清水 徹・水田満里・三浦敏子・信宗正男：多変量解析による汚濁評価，広島県衛研・公害研・研究報告，No. 21, pp. 34~40, 1974。
- 3) 佐藤孝彦・小瀬洋喜・友清祚仔子・佐々木佳子：河川の理化学的性状と生物学的水質階級，日本水処理生物学会誌，Vol. 9, No. 1, pp. 11~14, 1972。
- 4) 渡辺 直：多様性指数による生物学的水質判定，用水と廃水，Vol. 15, No. 5, pp. 37~42, 1973。
- 5) 井山洋子：中都市における河川，下水の汚濁とその汚水生物学的ならびに衛生学的調査研究，日本公衆衛生雑誌，Vol. 16, No. 9, pp. 737~755, 1969。
- 6) 安田正志・中村郁子：河川における生物学的水質判定と理化学的水質調査，土木学会論文報告集，No. 228, pp. 55~64, 1974。
- 7) 津田松苗：汚水生物体系論，水処理技術，Vol. 3, No. 4, pp. 1~2, 1969。
- 8) 福島 博・右田嶋紀子：生物学的水質判定ノート，産業公害，Vol. 8, No. 9, pp. 583~592, 1972。
- 9) Fjerdingstad, E.: Pollution of Streams Estimated by Benthic Phytomicro-Organisms, Int. Revue ges. Hydrobiol. Vol. 49, No. 1, pp. 63~131, 1964。
- 10) Zelinka, M. und Marvan, P.: Zur Prazisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer, Arch. Hydrobiol. Vol. 57, No. 3, pp. 389~407, 1961。
- 11) 津田松苗：汚水生物学，北隆館，1964。
- 12) Liebmann, H.: Handbuch der Frischwasser-und Abwasserbiologie, I, 2 Aufl., Verlag Oldenbourg, München, 1962。
- 13) Bick, H.: An Illustrated Guide to Ciliated Protozoa used as "Biological Indicators" in Freshwater Ecology, WHO/VBC/67.21, pp. 1~39, 1967。
- 14) 水野寿彦：日本淡水プランクトン図鑑，p. 268, 保育社，1964。
- 15) 日本規格協会：JIS K 0102, p. 29, 1970。
- 16) Kobayashi, H.: Chlorophyll Content and Primary Production of the Sessile Algal Community in the Mountain Stream Chigonozawa Running Close to the Kiso Biological Station of the Kyoto University, Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University Series of Biology, Vol. 5, pp. 89~107, 1972。
- 17) 渡辺仁治：大和吉野川の藍藻，陸水学雑誌，Vol. 29, No. 2, pp. 159~167, 1968。
- 18) 福島 博：生物学的水質判定と相模川の水質汚濁，神奈川県，1972。
- 19) 井出嘉雄・森田良美・福島 博：非汚濁河川の重金属量とその生物相の研究(2)，産業公害，Vol. 8, No. 11, pp. 747~759, 1972。
- 20) Hustedt, F.: Die Süßwasser-Flora Mitteleuropas, Verlag von Gustav Fischer, Jena 1930。
- 21) Patrick, R. and Reiner, C.W.: The Diatoms of the United States, Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia No. 13, May 10, 1966。
- 22) Palmer, C.M. (桑原訳)：用廃水藻類学，産業用水調査会，1972。

(1974. 6. 10・受付)