

河川における生物学的水質判定と理化学的水質調査

STUDY ON THE BIOLOGICAL AND CHEMICAL
WATER QUALITY RESEARCH安田正志*・中村郁子**
By Masashi Yasuda and Ikuko Nakamura

1. はじめに

河川の水質汚濁を論ずる場合、現在、河川の水質をBODやCODといった理化学的試験によって表現した濃度、あるいはそれに流量を考慮した汚濁負荷量に基づく方法が主体となっている。しかし、さらにその水域に生息する生物相に基づいて、その水質を判定する生物学的方法の有用性も広く認識される趨勢にあり、水質基準や規制、モニタリングなどにおいても、現在主要に行われている理化学的方法の他に、将来は生物学的水質判定もその特徴を生かして広く取り入れられると考えられる。

けれども、現在のところ、その両方法にはいかなる関連性があり、またどのような意義があるかについて、まだほとんど解明されておらず、実用上その点が最も大きな問題点であろう。本報告は、そのことに鑑み、両方法による水質資料を比較対照することによって、両者の関連性と内在する意義を明らかにすることを目的としている。

そもそも一般に、理化学的試験による水質の表現は、汚濁物質をその試験方法に即して分析的に決定していくものであるが、河川汚濁という面から見た場合、水質を部分的に表わしているにすぎないという側面がある。それはあくまでも変動する水質の一時的な値であり、一般には繰り返し測定を行う必要があるとされている。しかし現実には、連続的に測定することには多くの場合いろいろの困難があり、限界があるであろう。

一方、生物学的方法による水質判定は、Saprobien Systemを基本としているものである。Liebmann¹⁾によってその各種指標生物についての生理、生態学的な記述がなされ、この方法の意義付けがなされたものであ

る。この原理は、水質の汚濁の程度によってそこに生息する生物の種や群集構成が異なることに基づいている。水質の汚濁の程度を水質階級として段階的に分割し、それぞれに指標種を配列しておく。そして、調査地点の指標生物の優占度や群集構造からその地点の水質階級を判定していくのである²⁾。すなわち、生態学的方法といわれるものであるが、これにはLiebmannらのほか、その変法ともいべき多くの提案がなされてきている^{3)~5)}。

しかし、このSaprobien Systemによる水質判定にもまだ解決すべき問題点が多く残されている。ある地点の生物相を決定する要因は水質ばかりでなく、流速、底質、水温、光、その他のいろいろな環境要因が複雑に影響している。それらの多様な環境要因の中から、できるだけ水質を正確に示すようにする手法が開発される必要がある。逆に言えば、それらの要因を含んだもので水質がどの位表現されるかというアプローチもあろう。しかも、この水質階級は汚水生物学の分野での経験的蓄積の中で、理化学的試験とはほとんど関連なく独自に形成されてきたものである。

とはいうものの、生物学的水質判定は理化学的試験とは異なる有利な点が多くある。中でも最大の利点は、その河川の過去の一定期間の平均的、総合的な状態を表わすことができるということである⁶⁾。

現在、理化学的、生物学的いずれの方法においても、河川の水質調査として広く行われているけれども、それらが、同時にはほとんど行われていないのは、その方法の確立されていく経緯にもよっているのであろう。しかし、水質汚濁を解決していくためには、この両方法のそれぞれの長所を生かして相補い合う形で調査が行われていく必要がある。すなわち、水質を規制し、モニタリングを行っていく上において、この両方法による総合的な水質把握とその検討が有用であろう。

河川の理化学的水質と生物学的水質階級との関係を調

* 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

べた研究としては、これまでに Sládeček⁷⁾, Hamm et al⁸⁾, Thomas, Cyrus, Z., Šřamek-Hušek など⁹⁾ のほか、わが国では津田の報告⁹⁾ がある。これらは、生物学的水質階級について BOD や D.O. などの濃度範囲を示したものである。またこの他の種類の研究としては、佐藤ら¹⁰⁾ による理化学的測定値から判別関数を使って生物学的水質階級を推定する試みや、井出ら¹¹⁾ の非汚濁河川における重金属量とその生物相についての調査研究などの報告もある。しかしながら、この両方法を相互補完的に使用し、水質状態を総合的に把握していくためには、まだ十分の見知が得られているとはいえない。

以上のことから、筆者らは本報告において主に水質モニタリング等の実用的見地に立って、富山県内河川における理化学的水質試験と生物学的水質判定の資料を基礎にして、その両者の関連性について検討を行い、それぞれの意義と問題点を明らかにし、河川の水質把握の進展に寄与したいと考えた。

2. 使用した資料

検討に使用した主要な資料は、筆者らが、1972年7月31日～8月28日にかけ、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。理化学的試験としては、水温、気温、pH、酸度、アルカリ度、透視度、電導度、COD-Cr、COD-Mn、D.O.、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、塩素イオン、T.S.、全硬度、の16項目で、分析法は大略 JIS K 0102 あるいは下水試験方法に従った。採水時に同時に、流速と断面形を測定し、流量を算出した。また、生物学的水質判定のための生物相については、各地点で代表的な石を数個選び、水生昆虫をピンセットで採取するとともに、石表面の付着藻類を金属ブラシでこすりとり、それぞれびんに入れてホルマリンで固定した。サンプルは持ち帰り、検鏡、同定した。石の採取できないところでは、岸壁等の付着藻類を採取した。生物学的水質判定は、主に津田⁹⁾ と Liebmann¹¹⁾ の方法によった。調査地点は図-1に示したとおりで、富山県内平野部のほぼ全域をカバーしている。

富山県内河川については、これまでに理化学的水質調査として、建設省、富山県公害センター¹²⁾ などのほか、小林¹³⁾、高倉ら^{14)~16)}、前田¹⁷⁾ の報告などがあり、生物学

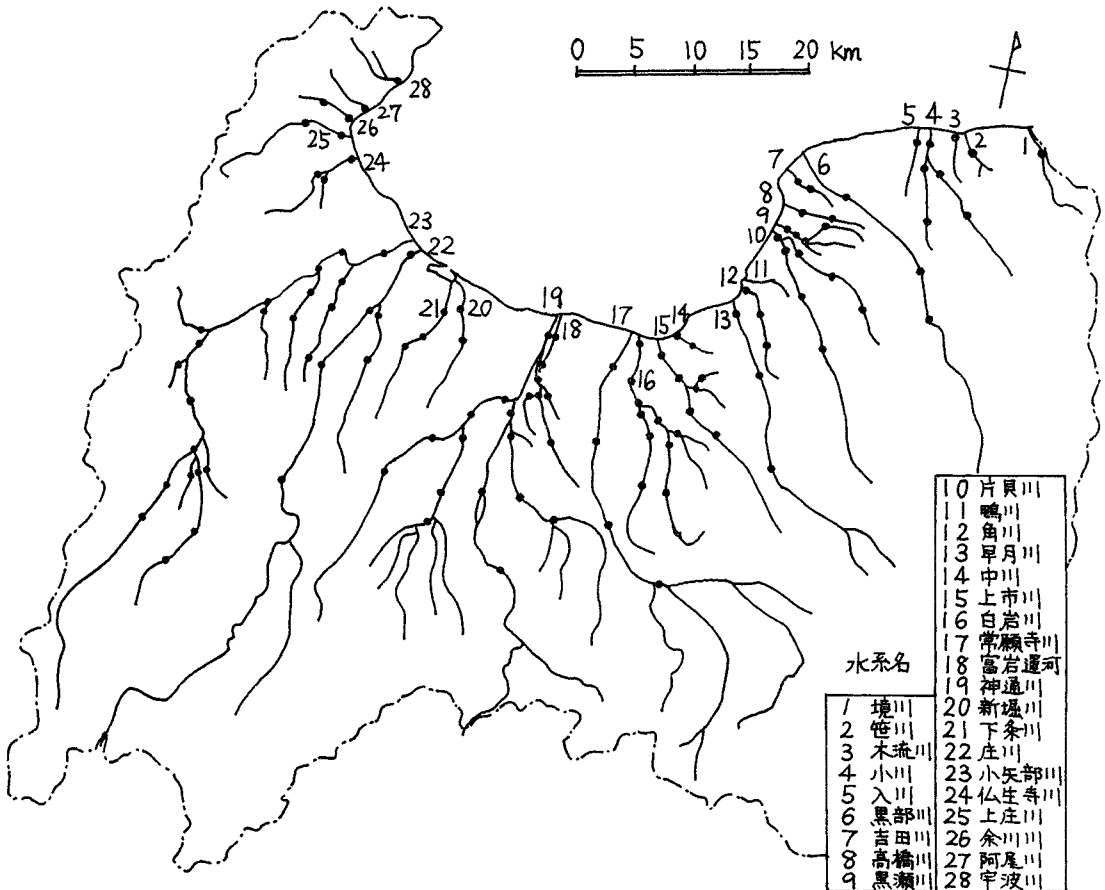


図-1 富山県内水系名と調査地点

的調査としては、井田川¹⁸⁾、神通川¹⁹⁾、小矢部川²⁰⁾、²¹⁾、祖父川²¹⁾、白岩川²²⁾、称名川²³⁾などについて行われており、さらに井山²⁴⁾は県内 21 河川の下流域について調査結果を報告している。

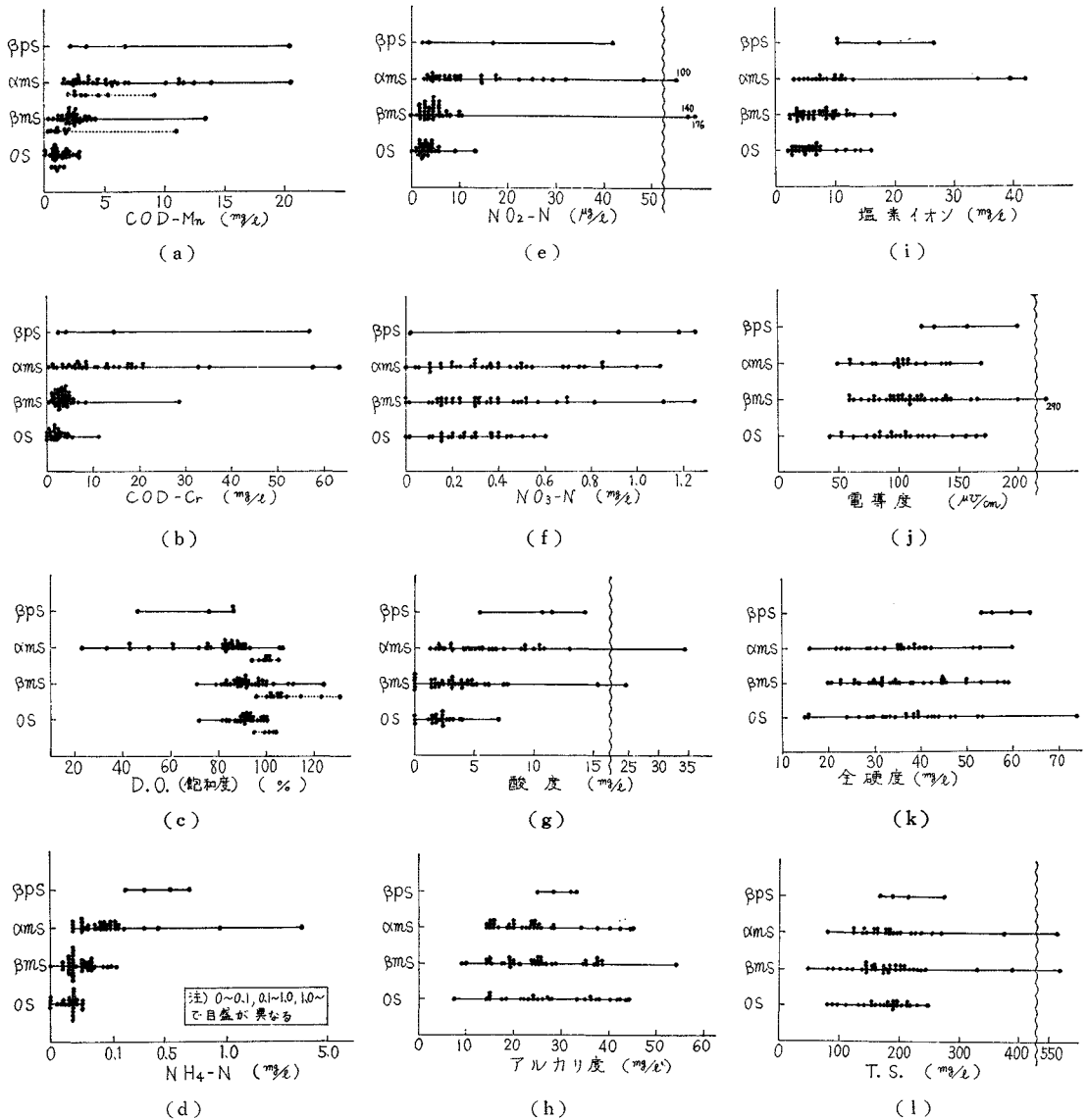
3. 結果と考察

(1) 各生物学水質階級における理化学的水質の分布²⁵⁾

筆者らの水質調査資料に基づき、理化学的水質指標のそれぞれについて、各地点ごとの結果を対応させて、生物学的水質階級と濃度の関係をプロットした結果は図一

2 のようであった。各調査地点については、1 回だけの採水測定結果ではあるが、同時期に行ったものであるから季節的な要因は同一条件にあると考えられる。しかし、特に理化学的水質指標については、流量の影響や時間的変動も大きく、したがってその結果は確率的と考えられる。そこで、河川の多様な自然的社会的条件を背景にして「水質」を考えるということからすれば、同時期での異なる地点の調査結果を合わせるということには、その分布の状態、ばらつきの程度に重要な意味があると考えられ、本報告ではそれを考察の対象とする。

本調査結果では、生物学的水質判定の可能であった地点は合計 109 地点で、そのうち α ps (α 強腐水性) に入るのは 1 地点のみで、 β ps (β 強腐水性) は 4 地点、



図一 各理化学的水質指標と生物学的水質階級

α ms (α 中腐水性) は 36 地点, β ms (β 中腐水性) は 40 地点, os (貧腐水性) は 28 地点となっており, β ps 以上は地点数も少なく評価が困難であるので, ここではとりあえず α ms 以下について検討を行う。なお, 図中に点線で示した結果は, 富山県が行った水質調査結果のうち, われわれの行った調査地点と同一であるもので, 同年 6 月 28 日～9 月 27 日 (19 地点, 25 資料) の結果を示したものである。これは, 生物学的調査と理化学的調査が同時採取でない場合の影響をみるために掲げたものである。また, このうち β ms には, 71 年 11 月に行ったわれわれの生物学的水質調査²¹⁾と対応させた県の調査結果も 1 点含まれている。なおまた, 塩素イオン, 電導度, 全硬度, T.S. については, 明白な感潮部の地点は, あらかじめ除いて検討を加えた。

これらの結果からわかるように, それぞれの生物学的水質階級において, 理化学的水質濃度はかなり大きなばらつきを示している。生物学的水質判定は, 汚濁状態を段階的に区分するのであるから, これは当然の結果とも考えられる。しかし, 全体的な傾向として生物学的水質階級で腐水性の強いほどそのばらつきの幅が大きくなっている傾向にみられる。このことは, 生物学的水質判定からみた場合汚濁の進んでいるところほど, その理化学的水質変動が大きいことを示している。

まだ水質階級の間でそのばらつきがかさなる部分のみられ, このことは汚濁状態を判定する際には, 理化学的水質調査を繰返し行うか, 生物学的水質判定を併用するなどによって総合的に判定しなければならないことを示している。たとえば, 図-1 の COD-Mn でみれば, 2~3 mg/l では os から β ps までにわたっており, これのみでは汚濁の状態を判断することに限界があるのである。

筆者らの調査期間の前後 1 か月以内に行われた富山県の水質調査資料との対応の結果は, 筆者らの結果のばらつきの範囲に含まれている。生物の種類はたとえ季節的に水温等の影響を受け変化したとしても²⁶⁾, やはり同じような水質に対応する種があらわれてくるので, それをもとに水質判定をすれば水質階級としては, 特別のことがない限り, 前後 1 か月の範囲では変化していないと考えて十分である²⁷⁾。すなわち, 生物学的水質判定は長期間の変化を見るのに適しているのである。したがって, ここで行ったような比較対照は許容されるとして問題はないと考えられる。

(2) 度数分布

図-2 に示したような測定データに基づいて, 理化学的, 生物学的両方法の関連性などについて論ずるためには, さらに統計学的方法の適用が必要であろう。まず,

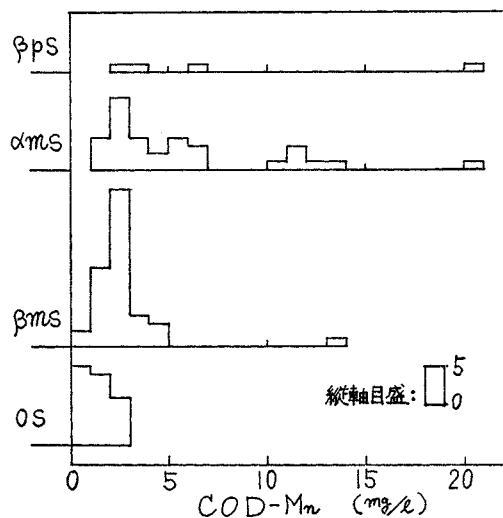


図-3 (a) 各水質階級における度数分布 (COD-Mn)

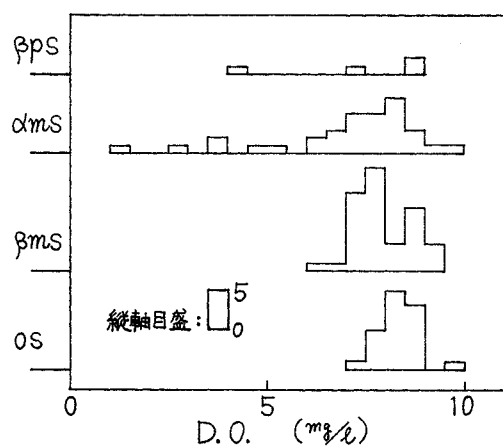


図-3 (b) 各水質階級における度数分布 (D.O.)

それぞれの理化学的水質指標の濃度を適当な級区間に分割し, 各生物学的水質階級ごとにどのような度数分布を示すか調べてみた。その結果の例として COD-Mn, D.O. について示せば 図-3 のようであった。したがって, 理化学的水質指標のあるものについては 図-3 に示したような分布をすることから, 統計的処理によって前記両指標間の相関の有無や平均値の区間推定などの検討が可能であると考えられる。

(3) 生物学的水質階級と理化学的指標の関連性

河川汚濁の立場からみた場合, 生物学的水質判定, 理化学的水質指標のいずれもその水域の汚濁状態を知る尺度である。ただし, その方法が異なるわけである。また, 理化学的水質指標にもいろいろの項目があり, それぞれの意義を持っている。そこで, 河川の汚濁状態を知るとい立場から, どういう項目において生物学的方法

表一 生物学的水質階級と各理化学的指標における χ^2 検定結果

理化学指標	級 区 間			単 位	χ^2
COD-Cr	0~3	3~6	6~	mg/l	55.69
COD-Mn	0~2	2~4	4~	"	53.52
D.O.	~7.5	7.5~8.5	8.5~	"	15.49
D.O. (飽和度)	~85	85~95	95~	%	17.89
NH ₄ -N	0~0.04	0.04~0.08	0.08~	mg/l	49.47
NO ₂ -N	0~4	4~10	10~	μg/l	36.66
NO ₃ -N	0~0.25	0.25~0.50	0.50~	mg/l	4.55
pH	~7.0	7.0~7.4	7.4~	"	25.61
酸 度	0~2.5	2.5~5.0	5.0~	mg/l	32.50
アルカリ度	0~20	20~30	30~	"	3.29
塩素イオン	0~5	5~10	10~	"	10.75
電 導 度	~90	90~125	125~	μV/cm	1.20
全 硬 度	0~30	30~40	40~	mg/l	0.43
T.S.	0~150	150~200	200~	"	0.92
透 視 度	~20	20~30	30~	"	22.07

注) 自由度 4 において、棄却域を示す χ^2 は 9.49 ($P=0.05$), 13.28 ($P=0.01$), 14.86 ($P=0.005$) である。

による水質の把握と関連があるかを調べることは、逆にその項目の持っている意義が確認されることになろう。

そのような考えから、河川汚濁という対象に対して理化学的指標の各項目と生物学的水質階級とについて、その両指標間の相関の有無を調べるため、カイ 2 乗検定の分割表 (contingency tables) を適用した。その結果が表一である。使用できた資料数の制約と、カイ 2 乗検定は期待度数が 5 以上でなければならないという制約から、理化学的水質資料は 3 段階とした。このときの帰無仮説は、各理化学的水質指標と生物学的水質判定との間には関連がなく独立であるということである。

この結果、生物学的水質階級の間での有意差は別として、5% の棄却域で全体として生物学的水質判定と相関の認められるのは、COD-Mn, COD-Cr, DO, pH, NH₄-N, NO₂-N, 塩素イオン, 酸度, 透視度で、相関のみられなかったのは、NO₃-N, 電導度, 全硬度, アルカリ度, TS であった。また 1% の棄却域とすると前記のうち塩素イオンが相関なしとなった。

COD-Mn, COD-Cr, D.O., NH₄-N, NO₂-N は河川等の水域に対する人為的有機汚濁の尺度となるものであり、この結果からも生物学的水質判定の方法は、既述のような利点を生かして、理化学的調査と併用していくことが可能であり、意義があることが確認されたわけである。pH も酸, アルカリの存在のほか、通常の河川では有機性汚濁物質のバクテリアによる分解などの影響を受ける指標である。透視度も河川の濁りの程度を示す尺度であり、一般に濁りの原因として粘土性物質のほか、有機性物質の影響も考えられる。また、pH あるいは透視度のいずれも生物にとって重要な環境要因であるから、これらが生物学的水質判定と相関があることは十分考えられる。酸度は pH の要因も含まれ、水にアルカリを加えた時の緩衝作用の大きさを示すと考えれば、有機性

汚濁物質の影響も考えられるが、一般に溶存する炭酸の影響が大きいと考えられている²⁸⁾から、有機性汚濁に対してこの指標を生物学的水質判定と関連ありとすることは考えにくい。したがって、酸度については結論は保留しておくべきだろう。

塩素イオンは、一般に人間活動による汚染の指標とされている。しかし、富山県のような感潮部をかかえた海岸部の河川では、人為的有機性汚濁の指標とすることは困難であると考えられ、前記のような結果となったと思われる。そのほかの理化学的水質指標が相関なしとなったのは、それらの指標の意義から考えれば十分納得のいくところである。なお、県の資料を込みにした場合も傾向は変わらなかった。

(4) 各水質項目における統計的考察

(3) の結果を背景として、理化学的水質項目のそれぞれにおいて各生物学的水質階級ごとに資料を統計処理した結果が表二である。この結果に従って、(3) で相関ありとなった項目についてさらに検討を加えておこう。

COD-Mn について、生物学的水質階級の os と β ms, β ms と α ms のいずれにも信頼度 99.8% 以上のきわめて高い有意差がみられ、カイ 2 乗検定の結果とよく合っている。また平均値の 95% の信頼区間をとってみると、生物学的水質階級の os では 1.09~1.65 mg/l, β ms では 1.98~3.12 mg/l, α ms では 4.51~6.45 mg/l であった。すなわち、生物学的水質階級の COD-Mn でみた濃度範囲を 95% の信頼度で段階的に区分することができることを示している。しかし、図二で示したように実際にはこのようなきれいな段階区分の範囲外にあるものも多く、これをただちに確定的なものと考えすることはできない。けれども COD-Mn でその分析値が、たとえば 1.5 mg/l であった場合、その地点の水質は os である可能性が大きいというように考えることができる。

われわれの使用した資料数からその可能性の大きさを検討してみれば、 os に入る資料数のうち 2 mg/l 以下の割合は 78.6%, β ms で 2~4 mg/l の割合は 62.5%, α ms で 4~7 mg/l の割合は 30.6% であった。このように汚濁程度の高いほどその割合が小さくなっているのは、分散が逆に大きくなっていることと関係している。特に α ms で 4~7 mg/l に入る割合が低いのは、2~4 mg/l に入るものが 38.9% もあることが影響している。また一方、COD-Mn で 2 mg/l 以下である資料数のうち os である割合は 57.9%, 2~4 mg/l で β ms である割合は 55.6%, 4~7 mg/l で α ms である割合は 84.6% であった。

すなわち、以上のような前提の下において COD-Mn

表-2 各水質項目における統計量

理化学指標	生物学的 水質階級	資料数	最大値 (mg/L)	最小値 (mg/L)	中央値 (mg/L)	平均値 (mg/L)	分散	標準偏差 (mg/L)	平均値の95% 信頼区間 (mg/L)	平均値の有 意差の信頼 度 (%)	備 考
COD-Cr	os	28	11.4	0.41	2.03	2.44	5.09	2.25	1.61~3.27	84.1	
	β ms	40	28.4	1.13	2.87	3.55	17.79	4.22	2.24~4.86	>99.8	
	α ms	36	63.2	0.21	9.43	13.41	202.05	14.21	8.77~18.05		
COD-Mn	os	28	2.99	0.02	1.19	1.37	0.58	0.76	1.09~1.65	>99.8	
	β ms	40	13.29	0.30	2.25	2.55	3.66	1.83	1.98~3.12	>99.8	
	α ms	36	20.60	1.54	3.84	5.48	8.75	2.96	4.51~6.45		
D.O.	os	28	9.70	6.56	8.22	8.26	0.40	0.63	8.03~8.49	81.6	
	β ms	40	9.94	6.12	7.94	8.03	0.65	0.81	7.78~8.28	99.5	
	α ms	36	9.40	1.94	7.52	7.06	3.73	1.93	6.43~7.69		
D.O. (飽和度)	os	28	101	72	92	91.5	37.5	6.1	89.2~93.8	25.1	単位: %
	β ms	40	124	71	91	92.1	85.2	9.3	89.2~95.0	>99.8	
	α ms	36	107	23	83.5	78.1	344.7	18.6	72.0~84.2		
NH ₄ -N	os	28	0.05	0	0.034	0.028	0.00021	0.015	0.023~0.033	>99.8	
	β ms	40	0.12	0	0.035	0.046	0.00058	0.024	0.039~0.053	96.3	
	α ms	36	4.01	0.034	0.086	0.280	0.458	0.677	0.059~0.501		
NO ₂ -N	os	28	13.2	0	2.6	3.2	7.1	2.7	2.2~4.2	90.1	単位: μ g/l
	β ms	40	176	0	4.0	12.1	1147.8	33.9	1.6~22.6	30.3	
	α ms	36	100	2.6	8.4	14.5	306.6	17.5	8.8~20.2		
NO ₃ -N	os	28	0.62	0	0.25	0.26	0.028	0.17	0.20~0.32	93.6	
	β ms	40	1.25	0	0.315	0.36	0.076	0.27	0.27~0.45	47.1	
	α ms	36	1.10	0	0.36	0.40	0.075	0.86	0.31~0.49		
pH	os	28	8.6	7.0	7.6	7.60	0.45	0.67	7.35~7.85	60.5	
	β ms	40	9.4	6.4	7.4	7.49	0.09	0.30	7.40~7.58	>99.8	
	α ms	36	7.6	6.2	7.1	7.10	0.45	0.67	6.88~7.32		
酸 度	os	28	6.9	0	1.9	2.0	1.9	1.4	1.5~2.5	94.9	単位: CaCO ₃ として mg/l
	β ms	40	24.4	0	2.3	3.4	18.6	4.3	2.1~4.7	99.6	
	α ms	36	34.2	1.3	5.2	6.8	32.7	5.7	4.9~8.7		
アルカリ度	os	28	44.2	7.4	26.8	27.9	103.3	10.2	24.1~31.7	73.7	同 上
	β ms	40	54.1	8.9	24.55	25.2	86.7	9.3	22.3~28.1	37.6	
	α ms	36	45.3	14.1	23.2	24.2	72.3	8.5	21.4~27.0		
塩素イオン	os	28	13.4	2.31	4.95	5.9	13.73	3.71	4.62~7.36	82.3	明白な感潮部 は除く
	β ms	40	19.7	2.44	6.22	7.2	13.80	3.72	6.07~8.37	96.6	
	α ms	25	41.9	3.04	9.76	11.8	106.55	10.32	7.73~15.83		
電 導 度	os	28	166	44	100.5	10	1104	33	92~116	62.7	同 上 単位: μ S/cm
	β ms	40	290	60	104	11	1622	40	99~125	11.9	
	α ms	25	370	60	103	11	3529	59	81~137		
全 硬 度	os	28	73.8	14.8	38.3	36.8	148.5	12.2	32.3~41.3	5.6	同 上
	β ms	40	58.7	21.0	34.1	36.6	105.3	10.3	33.4~39.8	27.4	
	α ms	25	60.0	15.9	36.2	35.7	98.1	9.9	31.8~39.6		
TS	os	28	248	80	182	169	1889	43	153~185	68.8	同 上
	β ms	40	568	48	176	144	21869	148	98~190	94.4	
	α ms	25	562	80	180	201	8667	93	165~237		
COD-Mn	os	33	2.99	0.3	1.16	1.33	0.52	0.72	1.08~1.58	>99.8	県の資料を 含む
	β ms	49	11.60	0.2	2.05	2.49	4.64	2.15	1.89~3.09	>99.8	
	α ms	44	13.93	1.54	3.64	5.22	8.31	2.88	4.37~6.07		
D.O.	os	33	10.7	6.56	8.39	8.47	0.64	0.80	8.20~8.74	31.8	同 上
	β ms	53	10.4	6.12	8.39	8.39	1.00	1.00	8.12~8.66	99.5	
	α ms	44	9.4	1.94	7.84	7.36	4.97	2.23	6.70~8.02		
D.O.U (度飽和)	os	33	104	72	93	92.8	44.2	6.6	90.5~95.1	88.8	同 上 単位: %
	β ms	53	121	71	95	95.9	131.3	11.5	92.8~99.0	>99.8	
	α ms	44	107	23	86	82.1	354.3	18.8	76.5~87.7		
pH	os	33	8.6	7.0	7.6	7.55	0.43	0.65	7.42~7.68	59.3	同 上
	β ms	53	9.4	6.4	7.4	7.45	0.06	0.25	7.38~7.53	>99.8	
	α ms	44	7.6	6.2	7.1	7.09	0.65	0.80	6.85~7.34		

の 2 mg/l 以下では os, 2~4 mg/l では β ms, 4~7 mg/l では α ms である可能性が大きいということであり, そのような観点で水質の評価が可能である。

COD-Cr については, os と β ms での有意差の信頼度は 84% と低いが, これは 10 mg/l 以下では分析法自体に限界があり²⁹⁾, COD-Cr については概略値と考える。したがって, そのことを前提として, 各水質階級の平均値の 95% の信頼区間を考慮して COD-Mn と同じように考えると, 3 mg/l 以下では os, 3~6 mg/l では β ms, 6~18 mg/l では α ms である可能性が大きい。そして os に入る資料数のうち 3 mg/l 以下の割合は 71.6%, β ms では 3~6 mg/l の割合は 35%, α ms では 6~18 mg/l の割合は 52.8% であった。特に β ms では 3 mg/l 以下であるものが 57.6% もあることが, β ms でこのように 30 数% と小さくなったことに影響している。また COD-Cr で 3 mg/l 以下である資料数のうち os に入るものは 41.7%, 3~6 mg/l で β ms である割合は 56%, 6~18 mg/l で α ms である割合は 86.4% であった。

D.O. については, 濃度, 飽和度のいずれにおいても, β ms と α ms の間では高い信頼度で有意差がみられるが, os と β ms の間では, 飽和度では全く有意差がなく, 濃度でも有意差の信頼度が 90% 以下となっており, この間では有意差はないと考えられる。95% の平均値の信頼区間と, カイ 2 乗検定の分割表において α ms の濃度で 7.5 mg/l 以下および飽和度で 85% 以下の欄のカイ 2 乗の正の側の値が大きかったことから考えて, D.O. の濃度で 7.5 mg/l 以下, 飽和度で 85% 以下の場合, 生物学的な水質判定からみて α ms 以上の汚濁の程度を予想させる。しかし, os と β ms の汚濁の程度は D.O. からは区別がつけられないということである。

D.O. は藻類の光合成による酸素発生の影響を受け³⁰⁾, β ms において飽和度で最大値が 124% にも達していることからこの要因が大きいと考えられる。しかし, さらに汚濁が進んで α ms になると, 有機物の分解による酸素消費が卓越してくると考えられる。

NH₄-N については, os と β ms の間で非常に高い信頼度で有意差があり, β ms と α ms ではやや低くなるが, しかし 96% で有意差がある。平均値の 95% の信頼区間は os では 0.023~0.033 mg/l, β ms では 0.039~0.053 mg/l, α ms では 0.059~0.50 mg/l となっている。一方, カイ 2 乗検定の分割表において特に os で 0.04 mg/l 以下および α ms で 0.08 mg/l 以上の欄のカイ 2 乗の値が正の側に大きくなっていった。したがって, これらの結果から考えると, NH₄-N は, os では 0.04 mg/l 以下, β ms で 0.04~0.06 mg/l, α ms

では 0.06~0.5 mg/l である可能性が大きい, β ms の範囲は断定するのは少し困難である。

NO₂-N では, os と β ms の間の有意差の信頼度は 90.1% であるが, β ms と α ms の間の有意差は 30.3% ときわめて低く有意差は認められない。したがって, NO₂-N は汚濁の有無の判定に利用できる水質指標であると考えられる。平均値の 95% の信頼区間とカイ 2 乗検定結果から, NO₂-N の 4 μ g/l 以上は生物学的な水質階級における β ms 以上の汚濁を予想させるといえるであろう。

pH については, D.O. の結果と似た傾向にあり, β ms と α ms で有意差が認められるが, os と β ms ではほとんど有意差は認められない。pH も D.O. と同様に藻類の光合成の影響を強く受けることは知られており, os, β ms で最大値がそれぞれ 8.6, 9.4 と高くなっているのはこの影響であると考えられる。したがって, 平均値の 95% の信頼区間とカイ 2 乗検定結果から, pH 7.0 以下は生物学的な水質階級における α ms 以上の汚濁である可能性があるということになるであろう。

(5) 流量および負荷量による検討

理化学的水質指標は, 流量の影響を受けることはよく知られているところである。そこで, 生物学的な水質判定と理化学的水質指標との関連性においても流量の影響を

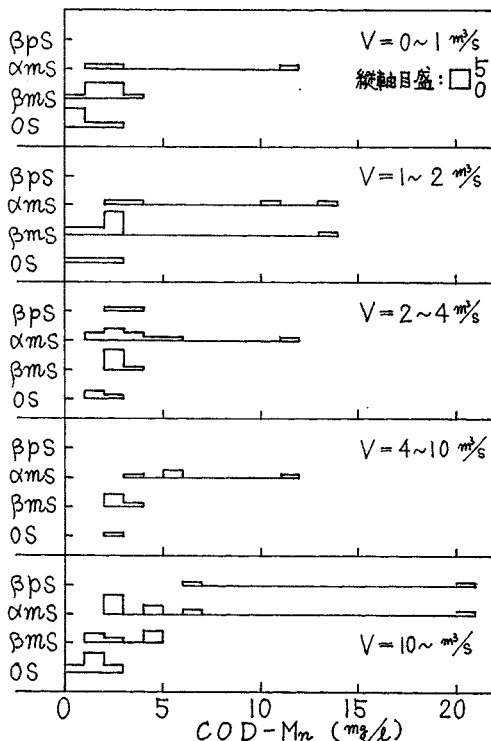


図-4 (a) 流量別における度数分布 (COD-Mn)

調べてみた。その例として、COD-Mn と D.O. について流量をパラメータとして度数分布で示した結果が図-4 である。

さらに COD-Mn, COD-Cr について流量と濃度の積、すなわち負荷量と生物学的な水質階級の関係を示したのが図-5 である。この図-5 の結果に対してカイ2乗検定を適用した結果は、COD-Mn, COD-Cr のいずれにおいても相関が認められなかった ($P=0.10$)。

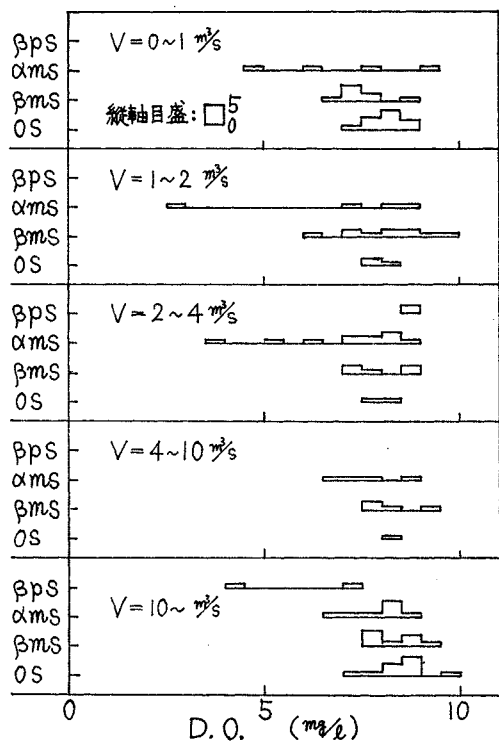


図-4 (b) 流量別における度数分布 (D.O.)

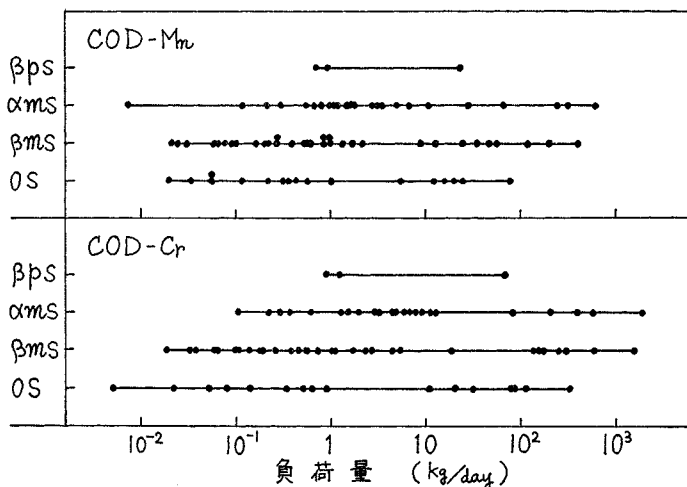


図-5 生物学的な水質階級と COD 負荷量

表-3 生物学的な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 化学指標	os	β ms	α ms	単位
COD-Cr	0~3	3~6	6~18	mg/l
COD-Mn	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 ₄ -N	0~0.04	0.04~0.06	0.06~0.5	mg/l
NO ₂ -N	4 以下	4 以上	4 以上	μg/l
pH	—	—	7.0 以下	

以上の結果からわかるように、本調査結果では、生物学的な水質判定と理化学的水質指標の相関において、流量の要因は影響していないことを推測させる。このことについては、その水域の生物学的な水質判定の基礎となる各種の生物の生存にとっては、河川に流れている汚濁物質の総量(負荷量)が影響するのではなく、その生物の周辺の汚濁物質濃度が影響すると考えられる。したがって、両指標の相関において流量あるいは負荷量ではなく、濃度が要因となると考えることができるであろう。

しかしながら、図-4 に示した結果については統計的考察を行うにはデータが少ないなどの問題点もあり、さらに流量の影響については流速や水深などの要因の検討も必要であると考えられるので、以上の点については今後さらに検討を加えていくべき課題であると考えられる。

4. 討 論

以上、富山県内河川における '72 年夏期の水質調査結果を基礎として、生物学的な水質判定と理化学的水質指標の間の関連性とその意義について考察を加えた。その結果、生物学的な水質判定とわれわれの行った理化学的水質調査項目のうち、COD-Mn, COD-Cr, D.O., NH₄-N, NO₂-N, pH, 透視度については高い信頼度で相関があることが明らかとなった。またそれらについての統計的考察によって、それぞれの生物学的な水質階級に対して、ある濃度範囲が該当することの可能性の大きいことも示した。その結果をまとめると表-3 のようになる。

しかし、3.(4) で考察したように、この結果は決して固定的なものではなく、この範囲からはずれるものもかなりの割合で存在するので、あくまでも一つの目安と考えるべきである。3.(1) で示したように生物学的な水質階級において、各理化学的水質指標の濃度分布はかさなる部分があるのである。

しかしながら、変動の大きい河川の水

質に対して、その汚濁の状態を判定することにおいて、現実の問題として水質調査を何回も繰返し行うことは、人員的、時間的さらには経済的にしばしば大きな困難が存在する。その時において、数少ない調査結果からでもその判断をできるだけ正しく引き出すための判断基準として、この結果は有用性を持つであろう。その時に有機性汚濁の状態の調査のためには、以上の項目はいずれも簡単な分析方法であり、同時に分析することが望ましいと考えられる。さらには、生物学的水質調査を併用すれば、その調査結果からの汚濁状態の判断はかなり正確に行うことが可能であると考えられる。

また以上の結果から、生物学的水質調査方法を見直した場合、われわれの行ったような調査方法で十分、その水質の判定が可能であることが明らかとなった。すなわち、確かに水域の生物相に影響する要因は複雑であろうけれども、実用的な水質判定の見地からは、その地点の石を数個選び、その表面に附着している藻類や原生動物、水生昆虫を採取することによって定性的に行ってよい。流速、底質、水温、光などの要因が各地点でかなり異なると考えられるが、それらの要因を含んだままでも、水質モニタリングの立場から十分水質の把握が行えるであろう。

ただし、以上の結果についてはいくつかの限定があるのである。その第一は、富山県の夏期の資料に基づいているということで、当然のことながら、他の地域また他の時期においてこの結果を同様にあてはめるのは危険であろう。けれども、ある地域で、ある時期において一度生物学的水質調査、理化学的な全般的な調査を行って、このような結果を出しておけば、その後に行う調査の判断がかなりやりやすくなるのは確かであると考えられよう。さらに一般化していくためには、各地で同様な調査が行われることが期待される。

また第二の点としては、われわれの調査では人員的時間的に BOD の分析が不可能であきらめざるを得なかった。しかし BOD は水域の汚濁状態を示す重要な因子であることを考えれば、BOD についても評価を行う必要があるであろう。

さらに第三としては、この調査はあくまでも河川の有機性汚濁を対象としたものであって、それ以外の性質の工場廃水や鉱山廃水などを対象としていないので、それらについては、その廃水の性質によって理化学的水質指標さらには生物学的水質判定の意義は異なってくるのは当然のことである。

第四には、本報告で行った比較対照は同時期であるが異なる地点の水質資料に基づくものである。しかし、同一地点で、両方法の水質調査を長期間繰返し行うことによる検討のやり方によっては、新たな知見が得られる可

能性もあるであろう。

第五には、本報告では資料数の関係から、生物学的水質階級の α ms 以下を考察の対象としたが、 β ps 以上については今後の課題である。

5. 総括

富山県内河川の '72 年夏期の生物学的水質調査、理化学的水質調査結果から、次のような点を明らかにした。

(1) 生物学的水質階級のそれぞれにおいての理化学的水質のばらつきは、水質階級間にかさなる部分があり、その項目だけではその部分の汚濁状態の判断は困難である。したがって、両方法の併用はきわめて有用であることを示した。

(2) 生物学的水質判定とそれぞれの理化学的水質項目について、カイ 2 乗検定の分割表によってその関連の有意性を調べた結果、われわれの調査項目のうち COD-Mn, COD-Cr, D.O., $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, pH, 透視度について関連が認められた。

(3) 以上の理化学的水質項目について、各水質階級の濃度範囲は表-3 に示した範囲となる可能性が大きい。この結果は、水質モニタリングなどにおける水質評価の面で一つの判断基準として有用であろう。

(4) 本調査結果では、生物学的水質調査、理化学的水質調査の両方法の関連において、流量あるいは負荷量の影響は認めがたかったが、この点については今後さらに検討すべき課題である。

(5) その他いくつかの今後さらに検討すべき問題点を指摘した。

謝辞 この報告をまとめるにあたって、東京大学工学部 徳平淳教授にいろいろとご討論いただき、多くの示唆を与えられた。また、富山県公害センターの関係者の方々には資料の提供をいただき、大変お世話になった。さらにわれわれの採水調査時には、本学学生（当時）小泉春洋、向井松正両氏には多大の協力をいただいた。ここに、上記の皆様には心から感謝いたします。

なお、本研究は文部省科学研究費特定研究「環境汚染制御」によるものである。

参考文献

- 1) Liebmann, H.: Handbuch der Frischwasser- und Abwasser-biologie, I, 2. Aufl. Verlag Oldenbourg, München, 1962.
- 2) 津田松苗: Saprobiensystem の表, 淡水生物, Vol. 4, pp. 1~9, 1956.
- 3) 津田松苗: 汚水生物体系論 (1)~(6), 水処理技術, Vol. 3, No. 4~9, 1969.
- 4) 福島 博: 生物学的水質判定ノート, 産業公害, Vol. 8, No. 9, pp. 583~592, 1972.
- 5) Zelinka, M. u. Marvan, P.: Zur Präzisierung der

- biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer, Arch. Hydrobiol., Vol. 57, No. 3, pp. 389-407, 1961.
- 6) 津田松苗：汚水生物学，北隆館，1964.
- 7) Sládeček, V. : The Ecological and Physiological Trends in the Saprobity, Hydrobiologia, Vol. 30, pp. 513-526, 1968.
- 8) Hamm, A. et al : Die Bewertung der Gewässergüte nach dem Sauerstoffhaushalt im fließenden Gewässer, Die Wasser-wirtschaft, Band. 55, Heft. 9, p. 307~310, 1965.
- 9) 津田松苗：水質汚濁と生態学，下水道協会誌，Vol. 8, No. 86, pp. 1~6, 1971.
- 10) 佐藤孝彦・小瀬洋喜・友清作仔子・佐々木佳子：河川の理化学的性状と生物学的な水質階級，日本水処理生物学会誌，Vol. 9, No. 1, pp. 11~14, 1972.
- 11) 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，産業公害，Vol. 8, pp. 661~668, pp. 747~759, 1972, Vol. 9, pp. 121~132, 1973.
- 12) 富山県公害センター：業務年報第 1 号（昭和 45, 46 年度）昭和 47 年.
- 13) 小林 純：日本の河川の平均水質とその特徴に関する研究，農学研究，Vol. 48, No. 2, p. 63~106, 1960.
- 14) 木沢 進・高倉盛安：富山県東部中小河川の水質について，富山県立大谷技術短期大学研究報告，Vol. 3, 47~55, 1970.
- 15) 木沢 進・高倉盛安：富山県西部中小河川の水質について，富山県立大谷技術短期大学研究報告，Vol. 4, pp. 30~39, 1971.
- 16) 高倉盛安・木沢 進・藤森一郎：富山県内における河川の水質汚濁状況，富山県立技術短期大学研究報告，Vol. 6, pp. 43~56, 1973.
- 17) 前田左門：称名川水系の陸水学的研究，用水と廃水，Vol. 6, No. 2, pp. 128~132, 1964.
- 18) 堀 令司・亀谷敬子：井田川（神通川の支流）の汚濁について，用水と廃水，Vol. 4, No. 6, pp. 469~474, 1962.
- 19) 富山県水産試験場：神通川漁場環境保全基礎調査報告書，昭和 45 年 5 月.
- 20) 富山県水産試験場：小矢部川漁場環境保全基礎調査報告書，昭和 44 年 5 月.
- 21) 中村郁子・安田正志：小矢部川および祖父川における生物学的な水質調査，富山県立技術短期大学研究報告，Vol. 6, pp. 65~78, 1973.
- 22) 富山県水産試験場：昭和 42, 43 年度事業報告書，昭和 45 年 12 月.
- 23) 堀 令司・亀谷敬子：称名川の硅藻，立山・称名滝総合学術調査団報告，pp. 126~132, 1962.
- 24) 井山洋子：富山県内諸河川の下流域の生物学的な水質判定，日本水処理生物学会誌，Vol. 9, No. 1, pp. 4~9, 1972.
- 25) 安田正志・中村郁子：化学的な水質指標と生物学的な水質指標の関連性について，土木学会第 28 回年次学術講演会講演概要集，pp. 472~473, 1973.
- 26) 神奈川県：相模川の藻類植生と水質汚濁，1971.
- 27) 金沢秀夫・青山完爾・磯部吉章：生物学的な水質判定による諏訪湖流入河川の汚濁の経年変化，陸水富栄養化の基礎的研究第 2 報，pp. 63~70, 1973.
- 28) 半谷高久：水質調査法，丸善，1960.
- 29) 日本規格協会：JIS K 0102, p. 29, 1970.
- 30) 植田勝巳：高見川の藻類の光合成および呼吸量について，吉野川の生物生産力の研究第 3 号，pp. 3~5, 1971.

(1974.1.14・受付)