

BOD試験に関する研究(オニ報)

— 反応速度論的考察 —

東大工 正員 市川新 ○横山道子

1. はじめに 本報告はオニ第4回土木学会学術講演会(1971年)において 同題の下に発表
した実験結果を、反応速度論的に考察を加えたものである。そこで示したように、1つの希釈倍率に
つき50~60本のふらん瓶に検水を分注し、20℃恒温室で同一条件下に静置したBOD反応が、
再現性が高くかつ異なる希釈倍率との比較も充分に行いうると結論出来たことにより、この解析を行
ったものである。我々の対象とした検水は、下水処理水・湖沼等の自然水であり、それらは、それぞ
れの生活空間において、充分に馴致されており、遅滞等がおきていないものとする。それ故、前回
も述べたように、馴致の必要のある廃水及び、選択的基質分解の行なわれる可能性のある複合基質の
BOD試験にこれから述べる現象が直接適用出来るものではないことを付記しておく。

2. BOD試験における細菌の活性 BOD試験は、酵素の存在下における細菌の有機物分解過
程と考えることが出来る。原生動物がBOD試験に影響を及ぼすとの説もあるが、今回使用した検水
においては、原生動物による呼吸量は、ほとんど無視出来るものと考えている。表1に示したものは
希釈直後の45μのミリポアフィルターで濾過を行った場合の浮遊物質濃度である。原生動物はその
大きさからみてこの濾紙上に捕獲されるものとするが その量は僅か1~2mg/lのオーダーであり、
さらにこの値から強烈残渣をさしひいて考える
と、より小さな値となってくる。それ故 溶存
酸素の減少はすべて、細菌の呼吸作用によるも
のと仮定しても大きな誤りはないものと考え、
以下にその解析を進める。

Table-1 Suspended Solids
determined by Millipore filter (0.45μ)

Series	Sample	Dillution	S.S. (mg/l)	VSS/TSS (%)
III	S.E.	3	2.00	38.5
		6	1.05	81.0
IV	S.E.	4	0.60	
		8	0.36	
VII	P.	3	1.25	
		6	0.50	
VIII	P.	no	2.70	91.5
		2	1.27	92.1
		3	1.05	95.2
IX	P.	2	2.57	33.9
		3	1.83	83.6
		4	2.17	77.0

細菌の濃度を示す指標がいろいろ提案されてい
るが、ここでは上水試験法に定められた一般細
菌数測定法を使用した。有機栄養菌の測定の為
の培地や、標準培地に、基質を添加して細菌数
を検討する研究が多く見られるが、ここでオー
ソドックスなものに限って行ったのは特な理由
はないが、試験に馴れていることと、簡便であ
ることによるものである。事実一般細菌数のう
ち、どれだけが生物酸化に関与するか定かでは
ないが、解析を対数増殖期に限って行ない、こ
の期間においては基質の分解に対応して増殖し
ているので菌数は示しえないとしても、この解
析に用いても大きな誤りはないと考えている。

{ VSS/TSSは東洋濾紙G B 100(ガラス繊維)で
濾過したものを105℃及び600℃で加熱させて、
その比をとったものである。}

片対数紙の横軸に時間、縦軸細菌数をとる（その1例を第6回土木学会概要集に示してある。）と、1～2日間、ほぼ直線であることが認められ、いわゆる対数増殖が行なわれていることがわかる。対数増殖の継続時間と、対数増殖速度を表しに示す。Series IV（下水処理水）の場合は、細菌数はほぼ一定値を示し、僅かづつ上昇している

Table-2 Substrate Concentration and Logarithmic Growth Rate

Series	Sample	Dillution	Duration (day)	Rate (1/d.)	COD (mg/l)	Biodegradable COD (mg/l)	L (mg/l)
II	S.E.	2.5	2	0.322	22.18	11.41	5.89
		5	3	0.196	11.09	4.01	2.69
III	S.E.	3.3	3	0.050	23.50	15.02	11.52
		6.7	1	0.996	11.75	6.74	5.34
IV	S.E.	4	6	0.053	1.34	0.87	2.46
		8	7	0.090	0.67	0.44	1.91
VIII	P.	no	1.75	0.860	50.98	38.13	22.69
		2	0.5	3.017	25.49	20.16	11.35
		3	2.25	0.904	16.79	12.00	7.57
		+ Dex.	1.25	1.944	30.03		16.15
IX	P.	2	1.25	0.583	24.41	15.01	7.06
		3	2	0.616	16.27	9.91	4.71
		4	1.5	1.126	12.40	7.63	3.53
X	P.	2	2.25	0.360	16.18	8.53	1.74
		+ Dex.	2.25	1.252	20.98	15.43	6.54 (4.69)
XI	A.R.	no	1	0.602	8.62		1.72
		+ Dex.	1.5	0.509	13.42		6.52 (3.52)

たすぎず対数増殖という事は出来ない。この時の蓄存酸素の減少が5日間で0.8 mg/lと極端に小さかったことから、対数増殖と基質の分解が行なわれなかったといっても差支えないと思われる。対数増殖速度の多くのものは、1.0 (1/d) のオーダーである。希釈倍率の差（すなわち基質濃度の差）による速度の差については、あきらかな傾向が認められず、この実験からだけでは定性的なことを言うことは出来ない。なお活性汚泥の生化学的考察を行った実験結果⁴⁾は、1.2～1.6 (1/d) となっておりそれと比較すると1桁小さい値となっている。

次に細菌の呼吸量を求めてみる。対象とする範囲が対数増殖期の場合は、(1)式によって求め、細菌数が減少している時及び(1)式のチェックの為に(2)式を用いた。その結果は表3に示す。

Table-3 Respiratory Activity (10^{-7} C₂mg/number/day)

Series	Sample	0-1 day			1-2 day			2-3 day		
		low	high	+Dex.	low	high	+Dex.	low	high	+Dex.
II	S.E.	0.08	0.14		0.21	0.09		0.10	0.02	
IV	S.E.	0.49	0.30	0.08	0.13	0.03	0.12	0.36	0.10	0.08
VII	P.	2.27	1.20	5.1	3.40	2.84	3.1	5.87	3.47	2.0
VIII	P.	260	26.2	48	55.0	2.7	1.95	26	2.0	0.38
IX	P.	25.2	34.3	3.95	3.05	2.68	0.82	2.62	1.94	0.11
XII	A.R.	9.8		2.1	1.27		4.0	0.7		0.6

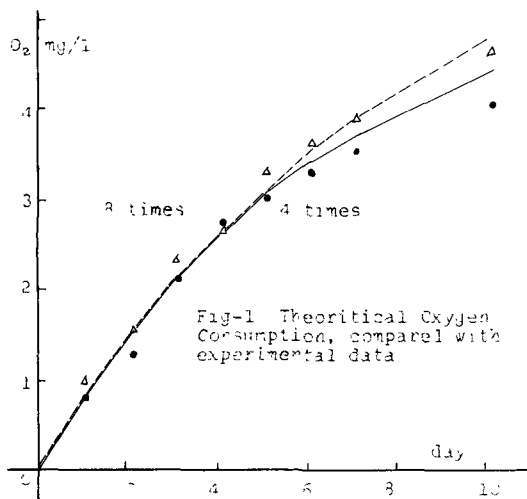
手塚：都立大学構内池(2.42), 碑文谷池(1.58), 諏訪湖(4.44) 単位 $\times 10^{-7}$ mg/個/日
low・high はそれぞれ低希釈倍率・高希釈倍率を示し、多くの場合その比は2倍となっている。

$$Q_1 = \frac{2.303 \cdot \Delta R \cdot \log \frac{B_t}{B_t - 1}}{(B_t - B_{t-1}) \cdot t} \text{ ----- (1)} \quad Q_2 = \frac{2}{B_t + B_{t-1}} \cdot \Delta R \text{ ----- (2)}$$

なおこの式を用いて池及び湖沼で実測された手塚のデータ³⁾を合わせて示した。この計算において、毎日のデータに変動があったので、移動平均をとり、それをもとにして計算を行なったのであるが、第0日目すなわち希釈直後の細菌数の測定がどうしても希釈分注作業の時間だけ遅れ誤差が出易く、出来るだけ速く行うようにし、さらに、0.25日、0.5日と測定して、この誤差を小さくするように努めたが充分でなく、そのため呼吸量の計算値もかなり変動している。表3をみてわかるように、日数が経過すると共に呼吸量が減少していることがわかる。これは、酸素消費量が指数関数的に減少していることと、細菌数が対数的に増加していることから当然のことである。前に述べたことから1～2日目の呼吸量が基準になるものと考えられるが、それによると、 $10^{-7} \sim 10^{-8} \text{ O}_2 \text{ mg/個数/日}$ のオーダーであり、処理水の $8 \times 10^{-9} \text{ O}_2 \text{ mg/個数/日}$ の値は、手塚のデータと、ほぼ同一であるが、多くの場合は、 $7 \sim 8 \times 10^{-8} \text{ O}_2 \text{ mg/個数/日}$ と1桁高めの値となっている。次に希釈倍率の差をみると、基質濃度が減少するにつれて、呼吸量が減少している。これは、希釈倍率が小さくなると酸素減少量は少なくなるが細菌数はそれ程大きな変化を示さないことが大きな原因であると考えられる。特に、下水処理水の場合その差が大きく、基質濃度が2倍になると、呼吸量は3～4倍となっている。

3. 反応論 — Michaelis's model の適用の検討. 一般にBODは、一次反応といわれているので、ここでもモーメント法により、反応恒数 k_1 と、究極BOD: L とを求め、その理論曲線と実測値とをプロットしてみると、図1に示すように、きわめてよい結果が得られ、一見、一次反応のように見られる。表4に反応恒数 k_1 , L を示す。希釈倍率の異なる2つの一次反応式を比べてみると、希釈倍率が増加する(基質濃度が低くなる)と k_1 値は小さくなり、逆に L 値は大きくなっており、Edeline⁹⁾が実際の河川の多くの実験結果から k_1 と L 値は逆比例の関係にあることを示したのと、ほぼ

Table-4 Kinetics of BOD determined by moment method



Series	Sample	Dillution	k_1 (1/day)	L (mg/l)
IV	S.E.	4	0.081	9.852
		8	0.054	15.240
V	S.E.	6	0.135	71.562
		4	0.068	44.240
VI	River	8	0.053	53.920
		3	0.174	30.570
VII	River	6	0.120	38.508
		2	0.073	22.694
VIII	P.	2	0.140	14.016
		3	0.085	14.604
IX	P.	4	0.072	13.728
		3	0.153	5.220
X	P.	3	0.153	5.220
XI	A.R.	no	0.108	1.721

同じ結果となっている。Series IX (不忍池)

に示すように、希釈倍率が異なることにより、 K_m 値は0.072~0.14と大きな差が認められるが、この3つの曲線はほぼ同一の曲線となっている。これは一次反応式が適用されるというより、一次反応式は数学的にかなり広い適用性があり、多くの実験結果を、指数関数に示せるということにすぎず、ここでも、実験結果に適合する(表1・ム)の組み合わせは無数にあるものと考えられ、それ故、単に曲線に近似出来るからといって、それから反応定数を論ずることはあまり意味がないと考えられる。前節において、対数増殖期の増殖速度が求められたので、これと基質濃度とを対応させることにより、BOD試験がMichaelis modelに適合する酵素反応であるかどうかを検討してみる。この場合、一番重要なことは、基質濃度を何であらわすかということである。同一検水において、希釈倍率の異なるものについては、基質濃度が希釈倍率の比になっていることは確かであるが、検水毎の比較を行なう場合は充分検討を加えなければならない。活性汚泥の実験では、基質濃度としてCODをとることがある(例えばGaudy⁴⁾)ので、ここでもはじめに希釈直後のCOD値を基質濃度としてとり、基質(S)と基質(S)/増殖速度(u)をそれぞれ横軸、縦軸にとってみると、図5-4に示すようになる。図5-4を見るとわかるように、きわめて変動が大きく、実際には、これらの点を結ぶ直線は無数にあり、この図から結論を導き出すことは不可能であるが、分布する点の集合の包絡線を図に示したように、直線I、IIとひくことにより、その勾配及び切片の値を求めた。一方下水処理水を原水とした場合には変動がさらに大きく、上の三点から直線をひいたのがIIIである。これから U_m と K_m を求めてみると表5のようなことになる。 K_m 値は、5.75~15.11の範囲にあることにより我々の希釈検水のCOD値にかなり近い値となっている。 U_m は0.75~2.22の値になり、下水の場合きわめて近い値となっている。多くの実験の対数増殖速度は、ほとんどこの範囲内にあり、最大速度にかなり近い反応が起きていのではないかと推定される。しかし、Series IV(処理水)は、この値から大きくはずれていることになり、Michaelis modelの適用外であることがわかる。

しかし、COD値というのは、有機物の総量であって、生物分解可能な有機物を示すものとは限らないので、ここでとりあげる基質とすることはきわめて疑問である。そこで、又つ方法によりCOD値から生物分解する有機物指標を推定しようと試みた。第一の方法は、5日間BODと5日間COD

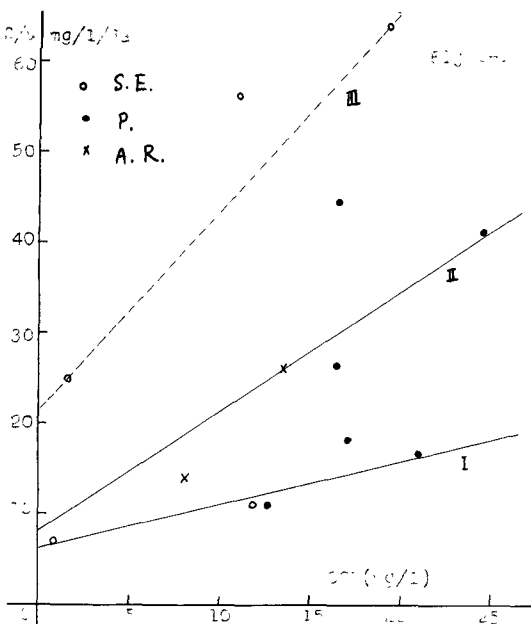


Table - 5 Range of K_m and U_m

		U_m (1/day)	K_m (mg/l)
COD	Sewage Effluent	0.465	10.14
	Natural Water	0.75-2.22	5.75-15.11
BOD	Sewage Effluent	0.694	6.80
	Natural Water	0.59-2.00	1.07-3.80

しかし、COD値というのは、有機物の総量であって、生物分解可能な有機物を示すものとは限らないので、ここでとりあげる基質とすることはきわめて疑問である。

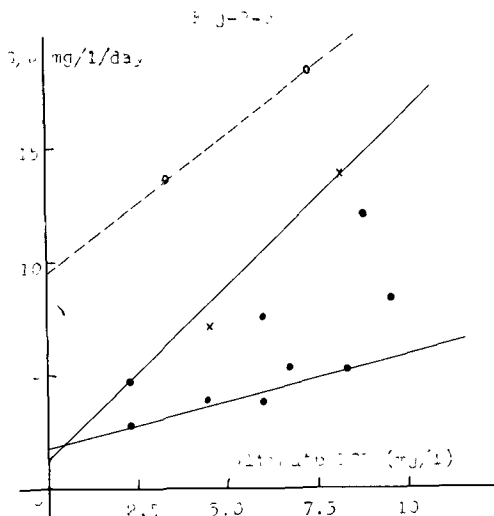
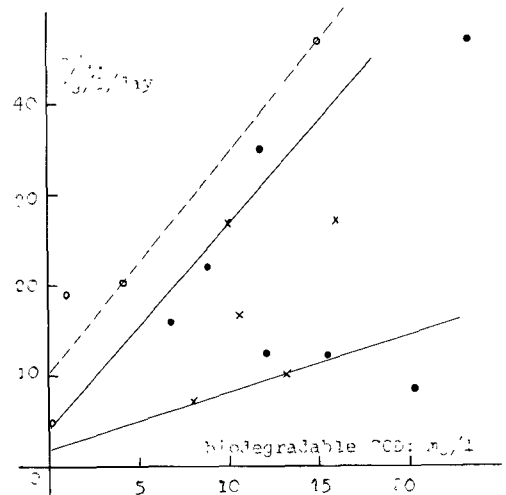
そこで、又つ方法によりCOD値から生物分解する有機物指標を推定しようと試みた。

第一の方法は、5日間BODと5日間COD

の減少量の比を生物分解比とし、これをCOD値にかけあわせたものを基質濃度とした。その方法は、同じ希釈倍率のものに、グルコースを4.5 mg/l 添加して、グルコースによる酸素消費量を求め、これとグルコースが完全に分解するのに必要な酸素量(4.8 mg/l)との比を生物分解比(生化学ではこれを呼吸商という)とし、同じくCOD値にかけあわせたものを指標とする方法である。図スー b はこの二つの方法による基質濃度を計算し($S - S_u$) 平面にプロットしたものであるが、図スー a に比べ変動が小さくなっている。前と同じように包絡線を推定して描き、各々の K_m 、 K_m を計算した。これによると、 K_m 値は1.99 ~ 4.52 mg/l となり平均の酸化率を65%とすると、COD値になおすと、2.76 ~ 6.95 mg/l に相当し、きわめて低い値となる。この最大速度も実際にはいくつかはこれに近いが、それ以上のものもある。

次に、基質濃度としてBODのplateau 値(平衡値)を基質濃度とした方が、BOD反応の原理からみて妥当ではないかと考え整理してみた。この場合、モーメント法を求めたL値をplateauとして用いた。実験において、硝化反応が認められたのはSeries IIのみであり、不思議池、小河内ダムの場合、対称とする2~5日間には硝化反応は認められなかった。Series II(下水処理水)の場合は、反応がおそくモーメント法によると k が0.05(1/日)以下となりL値が求められなかったため、同一希釈倍率に硝化作用抑制剤ATUを加えた場合の平衡値代用して、この解析のL値として使用した。又、要なる希釈倍率のL値の差が大きかったSeries IV(処理水)は対数増殖速度が小さく、モデルの適

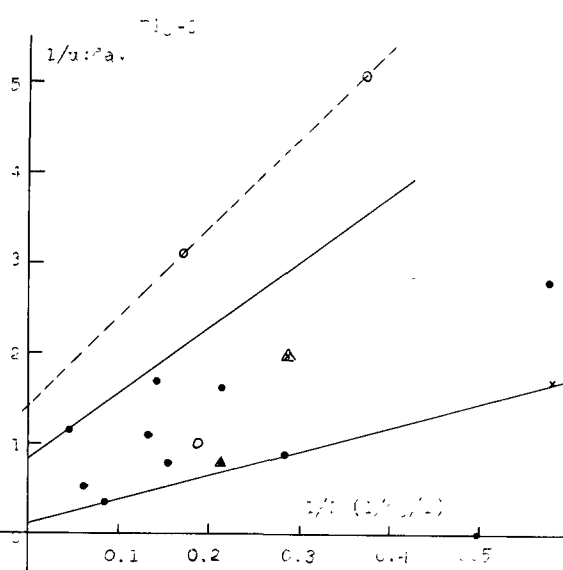
Fig-1-1



記号

- Q_1 = 細菌一個当り呼吸量 (mg/個数/day)
- ΔR = 単位時間当り酸素消費量 (mg/l)
- B_t = 細菌数 (個数/ml)
- k_1 = 一次反応定数 (1/day)
- L = 窮極BOD (mg/l)
- K_m = ミカエリス定数 (mg/l)
- S = 基質濃度 (mg/l)
- u = 反応速度 (1/day)
- u_m = 最大反応速度 (1/day)
- S.E. = 下水処理水
- P. = 池
- A.R. = 人工貯水池

用範囲外と思われるので除外し、その他は *Ser-*
-ies IX (不忠池) にみられるように、 L 値がほ
 ぼ一定であり、さらに、図から平衡値を求めて
 も L 値とそれ程大きな差はない等の理由により
 L 値を使用してもそれ程大きな問題はないと考
 えた。グルコースを加えた場合についても、計
 算を行ったが、この場合は添加しない場合の L
 値に添加グルコースが完全に分解するに要する
 酸素必要量の理論値を加えたものと、先に述べ
 た呼吸商を考えて、実際に分解に要した酸素量
 を加えたものの二種のデータを示した、図 2-C
 における、 Δ をつけたのが呼吸商を考えた計算
 値である。これをみると、下水とそれ以外の硬



水との間に大きな差が認められるがほぼ同じような範囲にあり COD 値で整理したものに対して変動
 が小さい、図 2-A と同じように包絡線で整理すると対数増殖速度は $0.59 \sim 2.00$ で、表 3 に示し
 た速度とよい対応を示している。 K_m 値は下水処理水の場合 6.80 mg/L となっているが、自然水の場合
 $1.07 \sim 3.80 \text{ mg/L}$ となり、 L 値に比べると若干小さい値となっている。このような方法で求めた
 K_m 値が真のものであるかどうかはこれだけの実験では明らかではないが、 K_m 値は標準希釈法の基質濃
 度とオーガー的には同じであると考えてもそれほど大きな誤りであるとは考えられない。この実験で
 の基質濃度が K_m 値に近しいことから、このデータ ($\frac{1}{1-x}$ 平面) にプロットしてみる。図 3 は基質濃度
 を L 値に替えたものである。このプロットから同じように点の包絡線の K_m 値 $0.13 \sim 1.0$ (g/L)、 K_m
 値は $8.4 \sim 37.5$ と ($S-S_m$) 平面の場合よりも変動が大きくなっている。

4. 実際の K_m 値の算定 前節で BOD 反応が酵素反応であるが、さらに *Michaelis model* が適
 用出来るかの検討を行い、包絡線という概念を用いることにより、 BOD 反応が *Michaelis* の仮説に
 従うとある程度予想することが出来た。そこで実際の BOD 試験の K_m 値を求めることは、希釈倍率を
 求める上に重要な意味をもつと考えるので以下に求めてみたい。一般に行なわれているような *Linear*
-weaver の方法を BOD 試験にあてはめるには、基質濃度を多くかえねばならない。活性汚泥の K_m 値を求
 めた *Gaudy* の実験では、基質濃度を 10 種類として行っているが、 BOD の場合飽和溶解酸素濃度が
 $8 \sim 9 \text{ mg/L}$ であり、基質濃度にあのずから制限があり、僅か 2~3 種の基質濃度でしか実験を行えない。
 このようにして行った 2~3 の基質濃度でえられた点から直線をひくことは可能であっても誤差
 が大きくその信頼性は低く、結論を出すことは危険であろう。そこで *Stratton et al* が開発した 2 つの
 反応曲線から求める方法に改良を加えて、データを整理してみることにする。すなわち、基礎方程式
 とし *Monod* (1942) の *model* とし $\frac{ds}{dt} = -KX \cdot \frac{S}{K_m + S}$ 今、 S を基質濃度とす
 ると、 KX は細菌による単位時間当りの基質利用量に等しい。この解析では、 S を COD ないし L と
 いう酸素消費量とっていることから、 KX は細菌の酸素消費量と考えてそれ程大きな誤りはない。
 この K 値は表 3 に示した値をとり、 X に細菌数をとってみる。2 つの反応線において、この式を変形

$$\text{し、 } -K_X = \frac{K_m + S_1}{S_1} \cdot \frac{dS_1}{dt} \quad -K'_X = \frac{K_m + S_2}{S_2} \cdot \frac{dS_2}{dt}$$

とあき、異なる希釈倍率の曲線から $K_X = K'_X$ になるような2点 t_1, t_2 を求め、それから

$$\frac{K_m + S_1(t_1)}{S_1(t_1)} \cdot \frac{dS_1}{dt} \Big|_{t=t_1} = \frac{K_m + S_2(t_2)}{S_2(t_2)} \cdot \frac{dS_2}{dt} \Big|_{t=t_2} \quad \text{とあき、} K_m \text{ について解}$$

$$K_m = \frac{\frac{dS_2}{dt} \Big|_{t=t_2} - \frac{dS_1}{dt} \Big|_{t=t_1}}{\frac{dS_1}{dt} \Big|_{t=t_1} - \frac{dS_2}{dt} \Big|_{t=t_2}} \quad \text{となり、} K_m \text{ 値をグラフ上から計算することが可能である。}$$

今、反応曲線を指数関数 $y = Le^{-kx}$ として近似出来るとするなら、上の K_m 値は

$$K_m = \frac{k_1 S_1(t_1) - k_2 S_2(t_2)}{k_1 - k_2} \quad \text{で示される。}$$

本来 K_m 値は、時間 t_1 (t_1 が決定されれば t_2 は自動的に決定される) に無関係であり、対数増殖期な
らびの点をとってもよいと考える。実際の計算において、低希釈倍率の反応曲線を S_1 で示し、 $t_1 = 1(\text{日})$
ととり、その時の呼吸量を求め、高希釈倍率の細菌増殖曲線からそれに等しくなるような時間 t_2 を求
め K_m を求めてみた。この場合、基質濃度としては、前節の考察を通じて L 値をとった。その結果は表

6に示す。なお Series VII (神田川) は細菌数が減りして
いるので、計算上は求められなかったが、Model の考え方からする
と適用出来ないものとする。この場合の L 値を参考値に示
した。この値はいずれも、前節の $S-S/\mu$ 平面で求めた範囲
よりも大きい ($\frac{1}{\mu} - \frac{1}{S}$) 平面の値に近くなっている。

この計算には、多くの仮説が用いられているし、理論的には

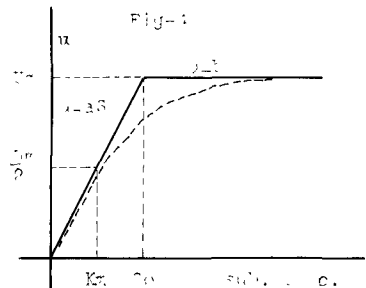
時間にも無関係に K_m が一定でなければならないが、対数増殖期間の長さ、溶存酸素消費曲線の形等によ
り、必ずしも K_m が一定とならなかった。このことから、 K_m 値そのものについて議論することは、今
のところ無理と思われるが、自然水を BOD 標準希釈法で行う場合、 K_m 値はオーダー的には L 値ない
し飽和溶存酸素量の値に近いということが出来るものとする。

5. 考察 以上、 K_m 値について述べてきたので、ここで、
その意味を考察し、BOD 試験にのみ注意せねばならない点
を考えてみたい。濃度と反応速度を模式的に元がくと図のよう
になる。さらに式化し $\mu = aS$ [$0 \leq S \leq S_0$]
 $= \mu_{max}$ [$S > S_0$]

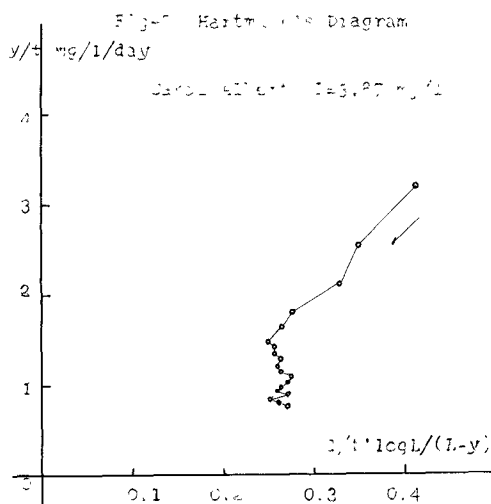
とおけるとすると、当然、 K_m 値は $\frac{S_0}{2}$ となる。すなわち、基質
濃度が K_m 値迄は濃度の増加にともない、反応速度は増加するが、それ以上になると、濃度に関係な
く一定となる。この model のように、表現出来るなら基質濃度が S_0 までは一次反応、それ以上の時は
0次反応ということが出来る。勿論、実際の反応系は、このような model 化を行なえず、最大速度
になるのは K_m 値の3~4倍であることが多い。前節に行った計算からみると、 K_m 値が約 $5 \text{ mg/l} \sim 10$
 mg/l のオーダーであるので、基質濃度が $20 \sim 50 \text{ mg/l}$ の場合迄は、一次反応ないしそれに近い反応

Table-6 Estimation of K_m

Series	K_m (mg/l)	L (mg/l)
II	18.11	5.89
IV	4.37	2.46
IX	3.07	7.06
VII	10.07	10.19



と言えるが、それ以上の場合には、0次反応に近いものと推定される。標準希釈法の場合5日間BOD値で3~7mg/lの範囲になるように基質濃度を定めているので、L値にすると最大15mg/l程度であり、それ以上の場合は、溶存酸素が完全に消費されてしまい、測定は行なえない。そののみならず、基質濃度が高いと0次反応となっていることもあり、一次反応論的データの整理のみでは説明がつかない現象が起きてくることを予測させるものである。しかし、 K_m 値の近くの基質濃度は直ちに一次反応であると決めつけるのも早計すぎ、それを見るには、基質濃度を(0~50)に変化させた時の反応速度を正確におさえてなければならず、



なんらかの形で追跡したいと考えている。なお、現在多く提案されているようなWarburg法をはじめとする、呼吸速度法、及び曝気法では、その基質濃度を、標準希釈法の数倍高くして行なうのが普通であるので、0次反応の範囲で呼吸量を測定している場合が多くなっているのではないかと考えられる。標準希釈法と本質的に異なる反応である可能性を示唆するものであり、単に結果値(積分値)の比較を行ったり、それから求める一次係数を用いて計算されるBOD₅との比較をする際には、このような反応速度論的考察を抜きにすることはきわめて危険であると考ええる。検水をヨーロッパの運河(Canal Albert)として酸素電極を用いて溶存酸素の連続消費曲線を描き、時間を4時間おきにヒリHartmannの図形上にプロットしたものを図5に示す。理論的には、この平面上、横軸に平行な曲線を描く時が、0次反応で、縦軸に平行な時が一次反応となるが、この場合、5日後から一次反応を示す直線となっているが、それ以前は別の反応と考えられる。実際の濃度反応速度の曲線は図6に示したような直線ではなく、点線で示したようなものと考えられるので、横軸に平行でなく45°に近い直線になっているものと考えられる。この直線でみる限り、希釈時においては基質濃度が高く0次反応に近い反応であり、基質が分解するにつれて一次反応の領域となって反応が行なわれていると考えることが出来る。ここに述べたように仮説が成り立つことを示唆している。

6. おわりに 本研究は未だ緒についたばかりで、実験を行う上での分析技術及び時間等、様々な制約があるので、これだけで結論づけは出来ず、今後検討していくつもりである。

Bibliography: 1) 市川・横山 [第26回土木学会学術講演会概要集II] 605 1971

2) 市川・横山 [下水道協会誌] Vol.8, No.88, 8 1971

3) Tezuka: Jap. Jour. Ecology Vol.18, No.2, 60 1968

4) Gaudy et al: Applied Microbiology Vol. 21, No.2, 253 1971

5) Edeline: Canal Albert: CEBEDEAU (1967)

6) Stratten et al: Canadian Journal of Microbiology Vol.15, 1201 1969

7) Hartmann: Advances of Water Pollution Research Vol. 4, I-14, 1969