

純有機化合物のBODと生化学的分解性

東京大学工学部 O 岡 沢 和 好

1. はじめに

5日間BODの値が、水中有機物の総量と果してどの程度の相関性があるのかという問題は、今まで多くの研究者によって様々な面からの追求がなされてきた。BOD反応を単分子反応であると仮定して、オーグメントBODと5日間BODとの比率を求めることもできるが、定数定数 k の値については 0.1 と 0.18 とも言われ、それによって5日間BODとオーグメントBODとの比は、 68% 、 88% というようになる。また5日間BODが最終的な酸素消費量の $65\sim 70\%$ を示すという意見もある。

しかし、5日間BODが、最終的な酸素消費量の、或いはオーグメントBODの何%位を示すかという問題は、廃水中に含まれる有機物の成分・組成・性状によって必ずしも一定であるとは考えられない。すなわち、酸素消費量と有機物総量との相関性は、廃水の成分である如々の有機物の生化学的な分解の特性・難易性及び廃水の組成・性状によって左右されるものと考えられる。その様な観点から、この小論に於ては如々の有機物のBOD曲線を検討することによりその分解特性・分解の難易性を論じ、その上に立って有機物を大雑把にグループングすることを試みている。従って直接的に5日間BODと有機物総量との相関性を試論せずに、如々の有機物の酸素消費量・酸素消費型をより一般的な視点から分析するという手法を取った。また組成に關する問題では、簡単な混合系モデルを考えて単一系に於る酸素消費量との比較検討を試みた。

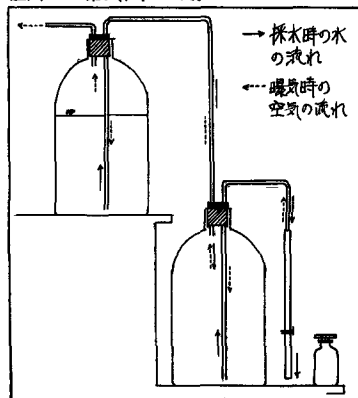
2. 実験方法及び実験条件について

試料としては、延べ4種(実質4種)の純有機化合物と、家庭廃水中の主成分を中心に、化学構造の上から偏りがない様考慮して選択した。界面活性剤についても、ハードタイプのABS-Na、ソフトタイプのLAS-Na・AOS-Na・AS-Naの代表的な4種を取りあげてみた。

実験は2つのシリーズに分けて行なったが、オ1のシリーズは44年3月10日から5月15日まで、オ2のシリーズは同8月31日から10月18日までである。オ1のシリーズでは37種の純有機物について、10~20日間のBOD曲線を求めると共に実験条件に關するBOD値の比較——試験方法による異同、接種量の多少による差異を検討した。オ2のシリーズでは、糖類の分解性について多糖類とその加水分解生成物である単糖類の比較を行ない、また混合基質を考えるステップとしてグルコースと他の有機物との1:1混合系を想定し混合系に於るBOD値と単一系に於るそれとを比較してみた。グルコースとの混合系としたのは、グルコースが廃水中の主成分の1つであること、またBOD値の再現性が比較的良く(後述)しかもグルコース自体は分解性が良い為基質混合の影響を受けにくい¹⁾という理由によった。グルコースと組み合わせた有機物は、酢酸・フェノール・グルタミン酸・ペプトン・ガラクトース・フルクトース・澱粉の7種であり、グルコースとの混合系に於るBODを測定する時期と並行して同一希釈水を用いて同一方法で単一系のBODを測定した。これは、接種液中の菌集団の偏在による影響を生じさせない為である。

BOD試験は、標準希釈法(表中にSDMと略す)と曝気法³⁾(同じくAMと略す)を使用し、DOの測定はウィンクラー法によった。曝気法の装置は図1に示す通りである。DOが2ppm以下に下がらないよう中途に曝気を行なってDOを補充したが、曝気時間は30分とし、その後15分間放置してから溶液のDOを測定。曝気直前のDOとの差を曝気によるDO添加量として計算した。

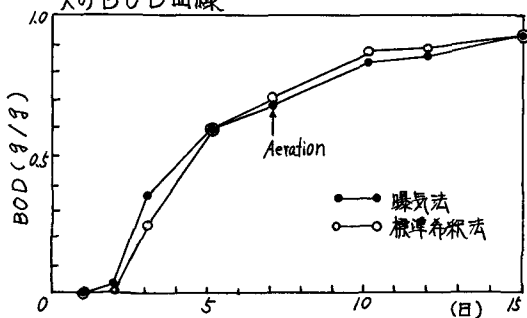
図1 曝気法の装置



植種液としては栄養投与後20~24時間経た、スチームミルクで飼育している活性汚泥の上澄液を使用し、植種量は植種の際に微生物と同時に取り込まれる基質の影響を考慮して、希釈水に対して0.1~1.0%という低い比率に抑えた。植種した微生物は、有機物に対する馴致の軽易性を検討する為、特別な馴致をせずに使用しており、定常的な赤への新たな有機物の混入という現象、或いは混合基質中での分解を試験する上で有効と考えた。なお、植種によるBOD値の補正の為に、活性汚泥上澄液のBODを測定したところシリーズIでは $BOD_{20} = 72 \sim 81 \text{ ppm}$ (4回)シリーズIIでは $BOD_{20} = 60 \sim 64 \text{ ppm}$ (2回)であった。

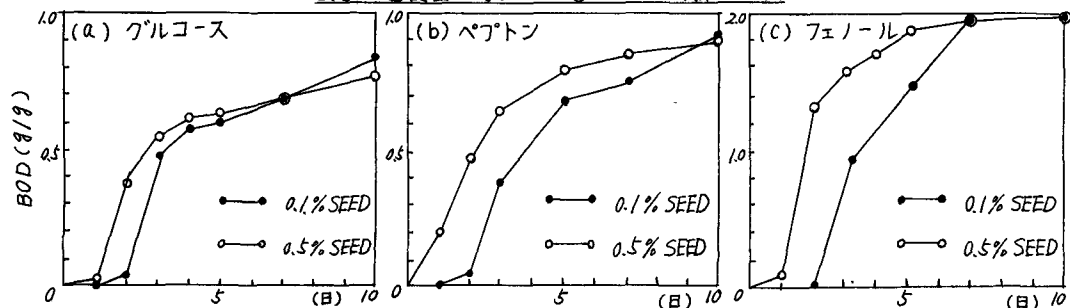
□実験条件による差異 グルコースについて同じく0.1%を植種し、標準希釈法と曝気法により同時に15日間測定したBOD曲線を図2に示す。曝気法の方が立ち上がりやや急激だった他は殆んど良く似た値を示し、少なくとも中途に曝気したことによる影響は生じていない。

図2 標準希釈法及び曝気法によるグルコースのBOD曲線



次に植種量の多少による影響であるが、0.1%植種の場合と0.5%植種の場合の10日間のBOD曲線をグルコース・ペプトン・フェノールについて図3に示す。植種量の増加は、遅滞期の短縮、短期間BODの増大などの現象として現れているが、細菌の分裂時間を考慮すれば植種量の多少に肉する事実はただ単に細菌数の多少だけとは考えにくい。微生物の馴致には、適応酵素の生成に際

図3 植種量の多少によるBOD曲線の差異



しエネルギー源・炭素源としての有機栄養が必要であり、植種の際に微生物と共に取り込まれる基質がその機能を果たすと考えられる。即ち、植種量の多少はその中に含まれる基質の多少という要因に負う処も大きいと思われる。しかし、これら植種量に関する事実は長期間BODにはそれほど影響を与えていない。

□グルコースによるBOD各日値の再現性 グルコースを試料として、10日間のBOD曲線を延べ6回求めた結果を図4に示した。図からも明らかなように、実験条件を変えて行なっても7日目までの値は次第に再現性が良くなることが認められた。各日の標準偏差を計算すると、1日目：1.23, 2日目：1.14, 3日目：0.21, 4日目：0.057, 5日目：0.025, 7日目：0.010 というように値は次第に収束する。しかし7日目以降の値はむしろ再び分散し始め、10日目に測定した5回のBOD値は、0.87, 0.83, 0.76, 0.74, 0.74 g/gであった。

BOD反応は決して単一の反応ではなく、微生物の増殖のエネルギーを得る為の基質利用というオーガニックの反応と、微生物の細胞組織として同化された有機物を呼吸基質として利用するオキシジェンの反応との、性質の異なる二段階の反応である。グルコースによる6回の実験結果は、オーガニックの反応が5〜7日という時期に終了して以後は内生呼吸期に移行しているということ、そしてその段階までのトータルな酸素消費量はかなり安定であることを意味している。しかし、その段階に達するまでの過程及びその後の内生呼吸期に移行してから酸素利用速度は必ずしも安定ではないらしい。なお他の有機物についても、BOD曲線の急激な上昇から緩慢な上昇へと移行する変曲点の位置を求めたところ3〜7日目に集中し、しかも4〜6日目に最も多いことが認められた。これらのことによりBOD反応に於ける5日目値は、グルコースに限らず増殖の為の基質利用というオーガニックの反応から、呼吸基質としての利用というオキシジェンの反応への移行期に当る有機物が多いようである。

3. 結果と考察

□純有機化合物のBODと生化学的分解性 表1に純有機化合物の5日間、10日間及び長期間BODの値を示す。単位は有機物1g当りの酸素消費量(g)として示し、TOD (Theoretical Oxygen Demand) の値は $C \rightarrow CO_2$, $H \rightarrow H_2O$, $N \rightarrow NH_3$ として計算した。なお尿素では $(NH_2)_2CO + H_2O \rightarrow 2NH_3 + CO_2$ となっており、硝化が無ければ計算上は全く酸素を消費しないことになるが、実験の結果も最初の15日間には殆んど酸素が消費されなかった。(実際15日間のBODは0.10 g/gであったが、尿素的加水分解が微生物により行なわれたものであるとすれば、その反応に要するエネルギーとして微生物自身の細胞組織が、または植種として取り込まれた基質を酸化せねばならないわけであり、15日

図4 BOD値の再現性

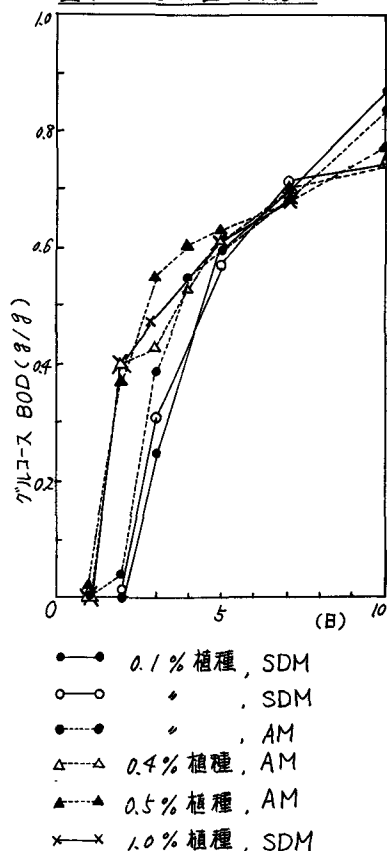


表1 醗育料化合物のBOD (その1)

有機物名	示性式	試験 方法	糖量 (%)	濃度 (ppm)	TOD (g/g)	5日間BOD (g/g)	BOD (g/g)	長期間BOD (g/g)	通称 日数	24時間 BOD
▶低級脂肪酸										
ギ酸	HCOOH	SDM	0.5	30-15	0.348	0.18 (52%)	0.31	17日: 0.35 (79%)	3	37 %
		SDM	1.0	23-11.5		0.24 (68%)	0.27	(79%)	1	25 %
酢酸	CH_3COOH	SDM	0.5	11-5.5	1.07	0.72 (85%)	0.79	17日: 1.05 (98%)	1	58 %
		SDM	1.0	24-6.0		0.76 (71%)	0.81	(76%)	1	34 %
プロピオン酸	$\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$	SDM	0.5	7.4-3.7	1.52	1.22 (80%)	1.28	20日: 1.58 (104%)	1	54 %
イソ酪酸	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{COOH}$	AM	0.1	12.5	1.82	1.03 (57%)	1.23	14日: 1.61 (88%)	2	20 %
▶アルコール										
メチルアルコール	CH_3OH	SDM	0.5	13-3.75	1.50	1.02 (68%)	1.18	20日: 1.31 (87%)	1	54 %
エチルアルコール	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	SDM	0.1	7.5-3.75	2.09	1.60 (72%)	1.63	(78%)	2	36 %
n-プロピルアルコール	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{OH}$	SDM	0.1	2.1-0.525	2.40	1.54 (59%)	2.03	(85%)	2	28 %
グリセリン	$(\text{CH}_2\text{OH})_2\text{CHOH}$	SDM	0.5	9.8-4.9	1.03	0.81 (79%)	0.89	15日: 1.06 (103%)	2	48 %
▶アルデヒド・ケトン										
ホルムアルデヒド	HCHO	SDM	0.1	2.5-0.625	1.03	0.30 (29%)	0.36	(35%)	2	25 %
アセトアルデヒド	CH_3CHO	SDM	0.1	6.5-3.25	1.82	0.65 (36%)	0.77	(42%)	2	23 %
アセトン	$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	AM	0.1	3.7	2.20	0.46 (21%)	1.15	14日: 1.48 (81%)	1	9 %
メチルエチルケトン	$\text{CH}_3\text{CO C}_2\text{H}_5$	SDM	0.1	4.8-2.4	2.45	0.32 (13%)	1.46	(60%)	3	23 %
▶エーテル										
ジエチルエーテル	$\text{C}_2\text{H}_5\text{O C}_2\text{H}_5$	SDM	0.1	37.5	2.67	0.00 (0%)	0.00	14日: 0.22 (8%)	10	4 %
▶エステル										
酢酸エチル	$\text{CH}_3\text{COO C}_2\text{H}_5$	SDM	0.1	11-2.75	1.82	0.77 (53%)	1.37	15日: 1.48 (81%)	3	34 %
酢酸イソブチル	$\text{CH}_3\text{COO}-$ $-\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)_2$	AM	0.1	6.8	2.20	0.40 (18%)	1.24	22日: 1.48 (67%)	4	18 %
▶芳香族化合物										
ベンゼン	C_6H_6	SDM	0.1	16.5-8.25	3.33	0.00 (0%)	0.35	21日: 0.97 (27%)	7	6 %
安息香酸	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$	SDM	0.1	22-11	1.97	1.25 (64%)	1.46	(74%)	1	36 %
フェノール	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	SDM	0.1	7.4-3.7	2.38	1.46 (61%)	1.98	(83%)	2	38 %
		SDM	0.5	8.3-2.08		1.86 (78%)	1.98	20日: 2.35 (77%)	1	55 %
トルエン	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$	SDM	0.1	11-5.5	3.13	0.02 (1%)	0.68	20日: 0.78 (25%)	5	10 %
アニリン	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	SDM	0.1	5.0-2.5	2.41	0.07 (3%)	1.30	21日: 1.63 (68%)	5	11 %
クレゾール	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{CH}_3)\text{OH}$	AM	0.1	4.3-2.15	2.52	1.29 (51%)	1.75	14日: 1.89 (74%)	3	47 %
尿素	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	SDM	0.1	19-9.5	不明	0.02	0.06	20日: 0.81	—	—

温度: 20°C

表1 純有機化合物のBOD (その2)

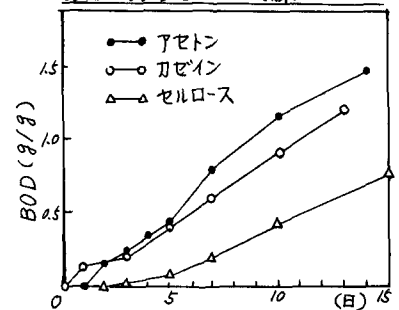
有機物名	示性式	試験 方法	濃度 (%)	濃度 (ppm)	TOD (g/g)	5日間BOD (g/g)	BOD (g/g)	長期間BOD (g/g)	還希 日数	24時間 BOD
▶ アミノ酸・蛋白質										
↓-グルタミン酸	$\text{HOOC}(\text{CH}_2)_2\text{CH}-(\text{NH}_2)\text{COOH}$	SDM	0.1	12.5-625	0.980	0.56 (58%)	0.78	20日: 1.12 (114%)	1	30 %
		SDM	0.5	10-5.0		0.75 (77%)	0.86	20日: 1.56 (159%)	0	34 %
グリリン	$\text{CH}_2(\text{NH}_2)\text{COOH}$	SDM	0.1	10	0.638	0.10 (15%)	0.39	14日: 0.49 (76%)	4	24 %
↓-アスパラギン酸	$\text{HOOCCH}_2\text{CH}-(\text{NH}_2)\text{COOH}$	SDM	0.1	20-10	0.481	0.36 (75%)	0.54	(113%)	3	48 %
カゼイン	不明	SDM	0.1	11-2.75	-	0.42	0.91	17日: 1.85	0	-
ゼラチン	不明	SDM	0.1	42-5.25	-	0.70	0.92	20日: 1.13	2	-
ペプトン	不明	AM	0.1	15	-	0.69	0.90	20日: 1.13	2	-
		SDM	0.5	9-4.5		0.79	0.90	20日: 1.61	0	-
アルブミン	不明	SDM	0.1	24-6.0	-	0.54	1.74	21日: 1.94	1	-
▶ 糖										
グルコース	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	SDM	0.1	20-5.0	1.07	0.60 (56%)	0.83	15日: 0.94 (87%)	2	24 %
		SDM	0.1	10-5.0		0.58	0.74	17日: 0.98 (92%)	2	
		AM	0.1	10		0.60 (56%)	0.87	15日: 0.94 (87%)	2	
		AM	0.4	10		0.61 (57%)	0.74	(69%)	1	
		AM	0.5	16.3		0.63 (59%)	0.76	20日: 0.87 (81%)	1	32 %
		SDM	1.0	14-3.5		0.61 (57%)			1	
ガラクトース	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	AM	0.5	11.25	1.07	0.74 (69%)	0.83	20日: 0.95 (89%)	1	33 %
フルクトース	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	AM	0.5	12.34	1.07	0.71 (66%)	0.82	20日: 0.91 (85%)	1	35 %
マンノース	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	AM	0.5	11.75	1.07	0.69 (64%)	0.81	20日: 0.89 (84%)	1	28 %
ラクトース	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	AM	0.5	12.55	1.12	0.63 (56%)	0.81	20日: 1.09 (97%)	1	24 %
サッカロース	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	AM	0.5	14.32	1.12	0.66 (59%)	0.81	20日: 0.88 (79%)	1	28 %
澱粉	$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$	AM	0.5	23.2	1.18	0.51 (43%)	0.77	20日: 0.93 (79%)	1	21 %
ラクトース	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	SDM	0.1	20-5.0	1.12	0.44 (39%)	0.44	(39%)	2	20 %
サッカロース	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	SDM	0.1	10.3-5.15	1.12	0.45 (40%)	0.56	(50%)	2	24 %
澱粉	$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$	SDM	0.1	10-5.0	1.18	0.47 (40%)	0.63	20日: 1.02 (86%)	2	25 %
セルロース	$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$	SDM	0.1	0.5	1.18	0.08 (7%)	0.42	15日: 0.70 (60%)	2	8 %
▶ 界面活性剤										
ABS-Na	$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{Na}$	AM	0.5	3.0	2.49	0.52 (21%)	1.00	15日: 1.35 (54%)	2	7 %
LAS-Na	$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{Na}$	AM	0.5	2.4	2.49	0.70 (36%)	2.09	15日: 2.51 (101%)	2	14 %
AOS-Na	$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{CH}=\text{CHSO}_3\text{Na}$	AM	0.5	2.4	2.42	1.69 (70%)		7日: 2.50 (103%)	2	32 %
AS-Na	$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{CH}_2\text{OSO}_3\text{Na}$	SDM	0.1	2.8	2.16	1.61 (75%)	1.79	15日: 2.22 (103%)	3	48 %

間の酸素消費量はそのような性質のものと考えられる)

まず表1より5日間BODのTODに対する比率をみると、酢酸・プロピオン酸・エチルアルコール・グリセリン・フェノール・グルタミン酸・アスパラギン酸・ $AO S-Na$ ・ $AS-Na$ では5日間でTODの70%以上もの酸素消費を示しているのに対し、エチルエーテル・ベンゼン・トルエン・アニリンなどでは10%以下の値しか示さず、殊にエチルエーテルとベンゼンでは全く酸素が消費されていない。5日目の値は、グルコースでは良く収束すること、また多くの有機物について増殖期から内生呼吸期への移行期と考えられることなどの点を考慮すれば、このような5日間BOD値の大きな差異は、結局その有機物固有の生化学的な分解の難易性に拘束されているものと考えられる。そこで、酢酸やエチルアルコールのように5日間でかなり良く分解される有機物を生化学的分解性の良い有機物その逆にエチルエーテルやベンゼンのように5日間では殆んど分解されない有機物を生化学的分解性の悪い有機物(生化学的分解に対して抵抗の強い有機物)と定義し、以下で分解性が良い(悪い)ということの意味を考えてみたい。

□ 遅滞の長さ及び遅滞終了後24時間の酸素消費量 有機物の生化学的分解性の良い・悪いという意味を、遅滞の長さ及び遅滞終了後24時間の酸素消費量という点から検討する為、表1に各種有機化合物のBOD曲線から遅滞の長さ及び遅滞終了後24時間のBOD(TODに対する百分率)を求めて示した。既に述べた様に遅滞の長さは植種の多少によって左右され、また基質濃度の影響もあるが(BOD試験では、基質濃度は希釈によりある一定範囲内に抑えられているから一応ここでは無視できるものとする)しかし、それぞれの有機物についてかなり特異的な傾向を持っている。グルタミン酸・アルブミン・カゼイン

図5 アセトン・カゼイン・セルロースのBOD曲線



安息香酸等は遅滞が短い(0.1%植種でも1日以内)の比して、エチルエーテル(10日)ベンゼン(7日)トルエン(5日)アニリン(5日)では著しく長い。ところで図5に示したアセトン・カゼイン・セルロースの様にBOD曲線がほぼ直線に近い有機物を除けば、殆んど全ての有機物について、遅滞終了後24時間は測定全期間中の最大酸素利用速度となっており、酢酸・プロピオン酸・メチルアルコール・フェノール(いずれも0.5%植種の場合)では1日の間にTODの50%以上もの酸素を消費している。平均的には遅滞終了後の24時間でTODの20~40%の酸素を消費する有機物が多く、一方エチルエーテル・ベンゼン・トルエン・アニリン・ $ABS-Na$ では、最も酸素吸収の激しい時期でさえ24時間BODは高々TODの10%程度にしか過ぎない。そしてこれらの結果より、生化学的分解性が良い(悪い)ということは、現象的には遅滞の短いこと(長いこと)及び酸素利用速度の大きい(小さい)ことの何れか或いは両方の面を持っていることがわかる。

BOD曲線が遅滞を示したということは、植種された微生物が与えられた基質を直ちに分解できる能力を備えていなかったこと、或いは微生物濃度が低過ぎたことなどがその理由として考えられるが、前述の様に植種量の多少は微生物数の多少というよりはむしろ同時に取り込まれる基質に依る方が大きいこと、また同じ植種量でも殆んど遅滞を示さないものから数日間の遅滞を示すもの迄あることが

らして、微生物教自体の影響はそれ程大きくないと思われる。遅滞ということ、酵素応答をも含めて新しい環境に対する微生物の生理形質の適応の為の期間であるとするれば、遅滞の長いということの意味は、微生物が分解基質として与えられた有材料に馴致するのに長期間を要すること、つまりその有材料が微生物によって馴致されにくいということと同義である。従つて、BOD曲線に於て長い遅滞を示した有材料は微生物によって馴致されにくいこと、遅滞の短い有材料では容易に馴致されるというように考えられる。

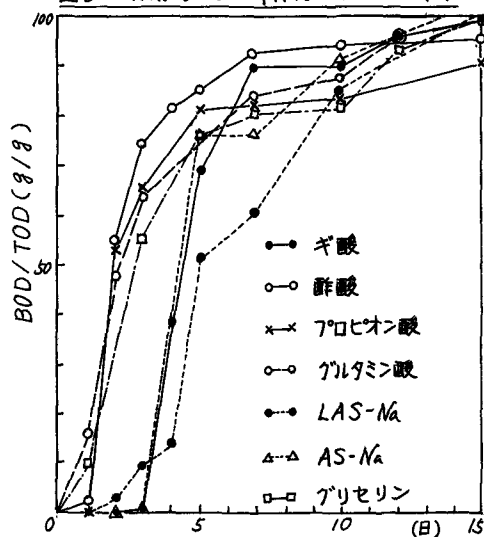
なお、遅滞の長さとして遅滞終了後24時間のBODとの関連を遅滞長さに応じた遅滞後24時間のBODとして比較すると、遅滞が1日のものでは平均TODの35%、2日のものでは25%、3日のものでは36%、4日のものでは21%、5日以上のものである8%となり、馴致の容易さはその後の酸素利用速度と一応切り離して考えて良さそうである。以上述べてきたことから、有材料の分解性は1つには微生物による馴致が容易であるか、そしてもう1つには酸素利用速度の大きさという2つの因子により支配されているものと考えられる。

口純有材料化合物の最終的な分解性 次に有材料が最終的にどれだけ酸化されるかという問題を表1の長期間BOD値より検討した。平均的には長期間BOD値はTODの70~90%程度を示すものが多く、これらの物質はそれ以上の長期にわたって測定を続ければ、最終的なBODがTODに達するのはほぼ確実と思われる。特に、ギ酸・酢酸・プロピオン酸・グルタミン酸・アスパラギン酸・LAS-Na・AS-Naなどでは15日間でTODの90%以上が酸化された。これら有材料のBOD曲線は、図6に示すように遅滞終了後の立ち上がりは急激で *plateau* が高い位置にあるか(ギ酸・酢酸など)或いは *plateau* を示さずに直線的にTODに達している(LAS-Naなど)ことが特徴的である。

BOD曲線がTODに比してどの程度の位置でプラトーを示すかは、有材料のいう増殖のエネルギーとし

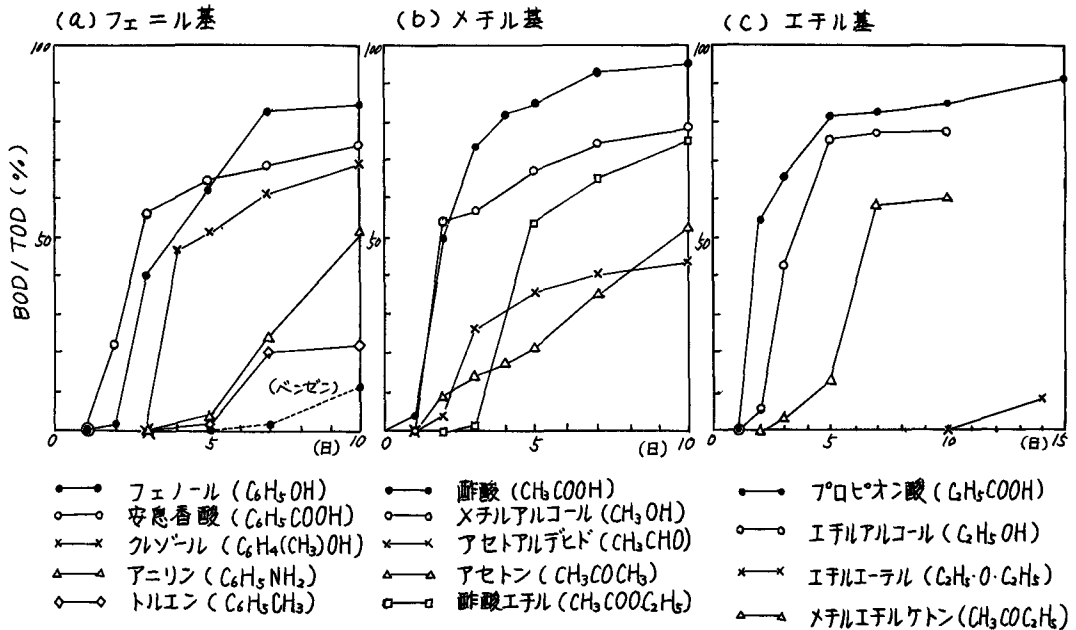
て利用される割合と、細胞組織に同化された後呼吸基質として利用される割合とで決まると考えられ細胞組織中に同化される比率が小さければそれだけ *plateau* は高い位置にでき、従つてTODに到達する時期も早いというように考えられる。一般的に脂肪酸・アミノ酸などはアルコールや糖類などより細胞組織への合成率が小さいといわれ²⁾ BOD曲線に於る *plateau* の相対的位置とはほぼ一致する。このことからBODがTODに達する時期の早い有材料は、分解が容易であるということの他に細胞組織への合成率が小さい有材料であるというように考えられる。一方これとは逆に、エチルエーテル・アルデヒド・ベンゼン・トルエン・ABS-Naでは長期間BODが小さいことが示されている。そこでこのような物質では、有材料自体の分解が未だに終了していないのか、途中の反応段階での馴致が遅れているのか、それとも微生物の細胞中に同化されているのかという疑問が生じるが、この実

図6 分解の速い有材料のBOD曲線



験からは明らかでない。

図7 基の種類による有機物の生化学的分解性



有機物の化学構造と生化学的分解性 有機物の分解性を化学構造の上から検討する目的で、図7にフェニル基 (C_6H_5-) メチル基 (CH_3-) エチル基 (C_2H_5-) に付加した基の種類によるBOD曲線の相違を示した。(a) 図から、①ベンゼン核は生化学的分解に対して抵抗が大きいこと ②ベンゼン核に何かの基が付加することにより分解性が良くなること ③特に $-OH$ 基や $-COOH$ 基は分解を良くすることがわかる。また (b)(c) 図も、カルボキシル基 ($-COOH$) ヒドロキシル基 ($-OH$) の付いた有機物は分解性が良いことを示している。そして $-CHO$ 基を有するアルデヒド、 $-O-$ の構造を有するエチルエーテルの分解性が悪いこと、 $-CO-$ の構造を持ったケトンは初期の分解性は悪いが長期的にはかなり分解されることが認められる。

口糖類の分解性の検討 代表的な4種のヘキソースについて求めたBOD曲線を図8に示す。これらはBOD曲線の形については非常に良く似ているけれど、代謝経路が全く等しいのにもかかわらずそのBOD値はほぼ全期間を通じて、ガラクトース>フルクトース>マンノース>グルコースの順になっており、その理由は良くわからない。

次にラクトース・サッカロース・澱粉について、

図8 ヘキソースのBOD曲線

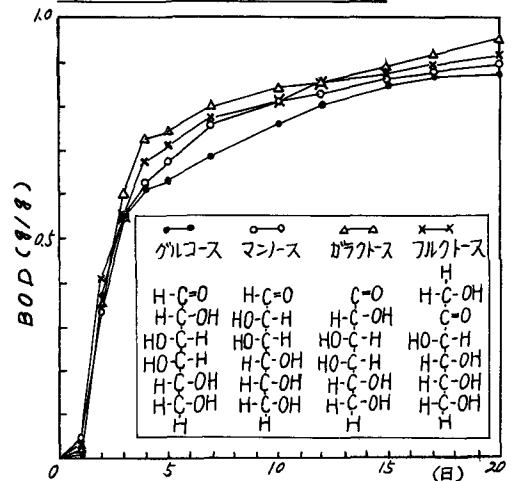


図9 多糖類とその組成単位ヘキソースのBOD曲線

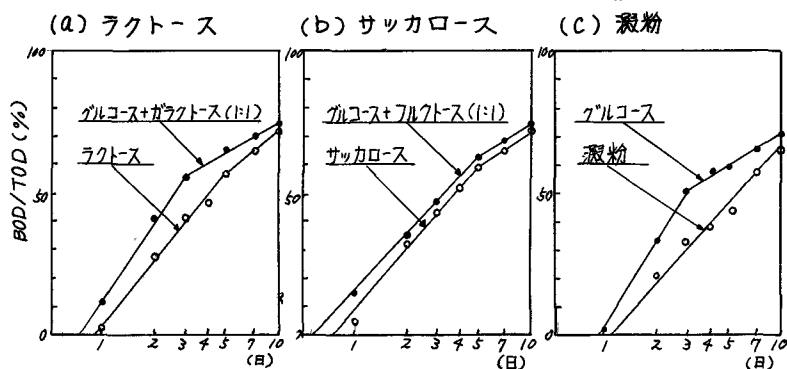
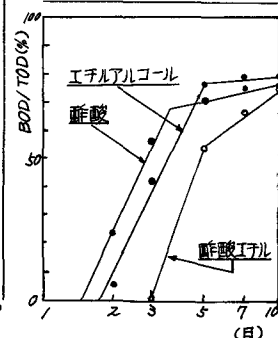


図10 エステルと加水分解生成物のBOD曲線



その組成単位であるヘキソースとの分解性を比較してみた。図9の結果より、多糖類のBOD値が反応の初期に於て組成単位のヘキソースのそれより小さいのは、必ずしも加水分解の速度が遅い（澱粉とグルコースとの関係ではそうも言えるけれど）ということではなく、むしろヘキソースの方が遅延が短いというのがその理由と思われる。そして長期的にみれば多糖の分解性は組成単位の分解性とかなり良く一致する。またそれと同様のことがエステルとその加水分解生成物との関係についても言えそうである。（図10）

□混合基質に於る有機物の酸素消費 表2はグルコースとの1:1混合系に於る有機物のトータルな酸素消費量を、それぞれ単独で測定した場合の値から単純和として合成した酸素消費量との比較を以て示してある。このうち、グルコース・ガラクトース、グルコース・フルクトースの系では、測定全期間を通じて合成値と良く一致した。（図11）これは、グルコース・ガラクトース・フルクトースの構造が酷似な上、しかも代謝経路が

図11 ヘキソース同士の混合系のBOD曲線

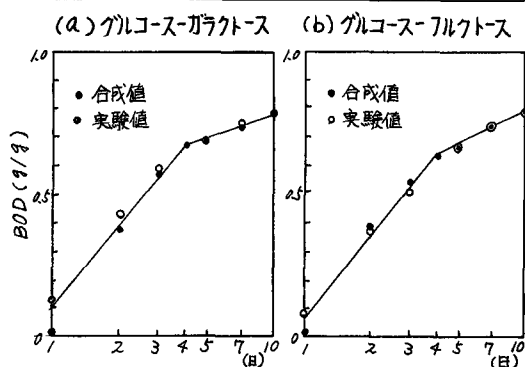


表2 混合基質に於るBOD

1:1 混合系	BOD ₅ (g/g)		BOD _∞ (g/g)	
	実験値	合成値	実験値	合成値
グルコース + ガラクトース	0.69	0.68	0.79	0.79
グルコース + フルクトース	0.67	0.67	0.79	0.79
グルコース + 澱粉	0.32	0.56	0.47	0.76
グルコース + グルタミン酸	0.67	0.69	0.79	0.81
グルコース + ペプトン	0.67	0.71	0.78	0.83
グルコース + 酢酸	0.73	0.77	0.83	0.86
グルコース + フェニール	1.35	1.24	1.53	1.37

同一であって、何ら相互作用が生じなかったものと思われる。一方、グルコース・澱粉の系では混合系のBOD値は、単一系からの合成値の60%を示したのみであった。特定の有機物に対する微生物の馴致は、その有機物が微生物の生存・増殖の爲のエネルギー源及び炭素源として必要とされる場合にだけ生じる現象であって、混合基質に於る有機物の分解は生化学的な分解の容易な有機物から優先的に生じるものと考えられる。前項で指摘した様に、澱粉の分解速度はグルコースのそれより遅く

かつ馴致もより困難である。このことからグルコース・澱粉の系に於る小さなBODの意味は、より分解性の良いグルコースが優先的に分解されることにより、澱粉の分解が抑制された結果というように思われる。なお、グルタミン酸・ペプトン・酢酸・フェノールとグルコースとの系に於るBOD値は、合成値と比して10%程度の上下が認められるが、全般的には合成値に近い値を示している。これらの有機物は既に論じてきたように、いずれも分解性が良く、従ってグルコースとの分解性に差異が小さかったことによりほぼ独立して分解が進んだものと思われるが、あるいは構造上の要因に由来することと考えられ、その点は明らかでない。

4. 総括

純有機化合物のBOD曲線から、その生化学的分解性という視点に立った試論を試みたが、それは水中有機物の好氣的分解がそれぞれに固有な分解の難易性によって支配されているという考えによるものであった。従って好氣的分解について有機物の側から考察することは、植種した微生物がどの有機物にも馴致されていない（又は全て加々の有機物に馴致されている）ことと、微生物相に極端な偏りがない（あらゆる微生物種が存在する）ことが、その前提として要求される。しかし微生物がどんな有機物にも馴致していないという状態を作ることは甚だ困難である。今回の一連の実験では、スキムミルクで飼育している活性微生物を特別な馴致なしに植種したわけであるが、特別な馴致をしていないということは必ずしもどんな有機物にも馴致していないということではなく、ミルクの成分であるカゼインや糖、或いはその分解生成物である各種アミノ酸・脂肪酸・脂質にも馴致されていると考えられるかもしれない。予め馴致してある微生物を植種することにより、遲滞の短縮・分解速度の上昇等の現象が生じるものと予想されるが、それがこの実験値にどのような影響を与えているかは明らかでない。なお今回求めた純物質のBOD曲線は、従来報告されたものに比して遲滞の長いことが特徴的であり、低い植種量と限定された飼育条件がその原因と考えられるが、しかしこれらのデータを下水を植種した場合のBOD値²⁹⁾と比較してみても、5日間値に隣する限りアルデヒドを除きかなり平均的な値であることが確かめられた。アルデヒドは馴化植種によって良く分解されるといわれ³⁾この結果は下水中の微生物とミルクで飼育している微生物との相の違い、各有機物に対する馴致程度の違いとして考えられる。なお有機物の分解性と混合基質との関連については未だ不明の点が多く、現在継続して研究中である。

参考文献

- 1) Stumm-Zollinger, E. "Substrate Utilization in Heterogeneous Bacterial Communities", J. of W.P.C.F., 40, R-213 (1968)
- 2) Young, R.H.F., Ryckman, D.W. and Buzzell, J.C., Jr. "An Improved Tool for Measuring Biodegradability", J. of W.P.C.F., 40, R-354 (1968)
- 3) Sawyer, C.N. "Bacterial Nutrition and Synthesis" in "Biological Treatment of Sewage and Industrial Wastes", Vol. 1, 3, Reinhold Pub. Corp. (1956)
- 4) Huikkilä, H. and Rand, M.C. "Biochemical Oxygen Demand of Pure Organic Compounds", S.I.W., 27, 1040 (1955)
- 5) Ludwig, E.J. and Ettinger, M.B. "Chemical Structures Resistant to Aerobic Biochemical Stabilization", J. of W.P.C.F., 32, 1173 (1960)