

1. はじめに

活性汚泥の化学成分のうちとくに生物的成分である核酸についての研究は活性汚泥に関するミクロな立場から新しい知見をもたらすと考えられる。活性汚泥の示す反応について統一的な解釈が得られないのは生物の関与する系の複雑性、多様性にある。その多様性の一つの現象に活性汚泥の生物相の変遷がある。このことはエアレーションタンクが、系としては単純であるが、一つの生態系であるから当然であるが、この小さな生態系を一つの高次の有機体または生物体とみてその核酸含量の消長を環境条件の変化とともに調べた。環境条件の変化としては一般に馴化と呼ばれる過程および完全混合槽における希釈率と濃度の変化をとりあげた。

2. 実験方法

2-1. 回分試験：名古屋市名城処理場の汚泥を種汚泥とし、グルコースまたはラクトースを唯一の有機炭素源として100 ppmに調製し、これにN, Pその他の無機成分を補強した人工下水を1ヶ月以上エアレーションし沈降性のよい汚泥についてつぎの周期で実験した。23時間エアレーションしたのちすぐ10倍撹拌、1時間静置し、その後上澄水をもて新しい下水を投入、エアレーションを再開する。

2-2. 完全混合試験：既報¹⁾のようなエアレーションタンクの実容積4Lのものを使用し、25±1℃にコントロールし、混合はエアレーションによって行なった。貯留槽、フィードパイプは常に細菌汚染を防ぐ努力をした。一定の希釈率において定常状態に達したかどうかは基質濃度定量、細菌量の均一性によってチェックした。活性汚泥は返送しない一過性の状態で実験し、使用した人工下水はグルコース、グルタミン酸ナトリウムの2種を有機源としN, Pその他の無機成分を補強しpH7.2としたものである。

2-3. 定量方法：SS；メンブランフィルター法、糖類；フェノール硫酸法、アンスロン法併用、アミノ酸；トリニトロフェニールベンゼンスルフォネート法、核酸の定量は既報²⁾の方法により過塩素酸により冷酸可溶画分(ASとする)、RNA, DNAに分画抽出しそれぞれの分画について燐、および260 mμ吸光度を求め、またRNAはオルシン法、DNAはジフェニールアミン反応も試みた。最終的な表示は260 mμ紫外部吸光度より求めた値を用いた。

3. 実験結果および考察

3-1. 回分試験による馴化：グルコース、ラクトースを基質とした溶液へ名城処理場の汚泥を種として投入してから回分試験を繰り返す経日的に核酸成分がどのように変化していったかを表-1に示す。核酸比はエアレーション時間の経過とともに変化する。エアレーション時間終了寸前のものを採取した汚泥についての分析値である。その結果RNA/DNA比が一定になるには1ヶ月以上

が必要であることがわかる。基質除去、酵素吸収からみればもっと早く一定になることを経験するが生物相が安定状態に達する（または極相）ことが真の馴化と考えると馴化には1ヶ月以上の月日を要することになる。細菌の平均世代時間が20~60分とすればもっと早く生物の交代は可能であるがどの生態系をもって世代時間だけで生物相の変遷速度は決められない。

表-1 馴化開始後の RNA/DNA比の変化

基 質	市城加理場 活性汚泥 0日目	馴化後 15日	30日	50日
Glucose	3.3	5.8	6.8	6.5
Lactose	3.3	5.0	9.1	9.1

活性汚泥処理の系が安定に達し真に馴化されたかどうか知る別の方法はエアレーション時間内の活性汚泥の諸成分のサイクルを知ることである。回分試験は周期的に流入→反応→流出が行なわれるからエアレーション時間内に対数増殖期があれば馴化したときには各成分の比増殖速度は等しくなる。また対数増殖期がなくても各成分は周期的な変化を示すためのいろいろな成分比も周期的になる筈である。いま各成分濃度を B_i , 活性汚泥全体の濃度（たとへば MLSS）を B , 各成分の比増殖速度を μ_i , 比増殖速度の最大値を μ_{max} とすれば対数増殖期は下記のように表わされる。

$$\mu_i = \frac{1}{B_i} \cdot \frac{dB_i}{dt} \quad : \quad \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n = \mu_{max} \cdot f(x), \quad B = \sum_{i=1}^n B_i$$

対数増殖期以外の相では $\mu_1 \neq \mu_2 = \dots = \mu_i \neq \mu_n$, $\mu_i = f(x)$ となるが t 時間後の成分比はそれぞれ $B_{i+1}(t)/B_i(t)$ は各回分試験相互間で等しい筈である。

図-1はラクトース馴化汚泥を馴化開始後40日（図中A曲線）、55日（B曲線）、70日（C曲線）の活性汚泥の核酸を経時的に測定したものである。SS, RNA, DNAの増加割合は同じであり、また各日の値も等しい。すなわち馴化開始後40日には馴化が完了しそれ以後は同じような増加が繰り返され各成分が周期的に変化することがわかる。

グルコースを基質にした場合は表-2に示すように今回の実験では50日の馴化日数を必要とした。最初のうちは核酸の増加とSSの増加が異なる unbalance growth であるが RNA と DNA は同じように増加してゆく。そのため RNA/DNA からみれば

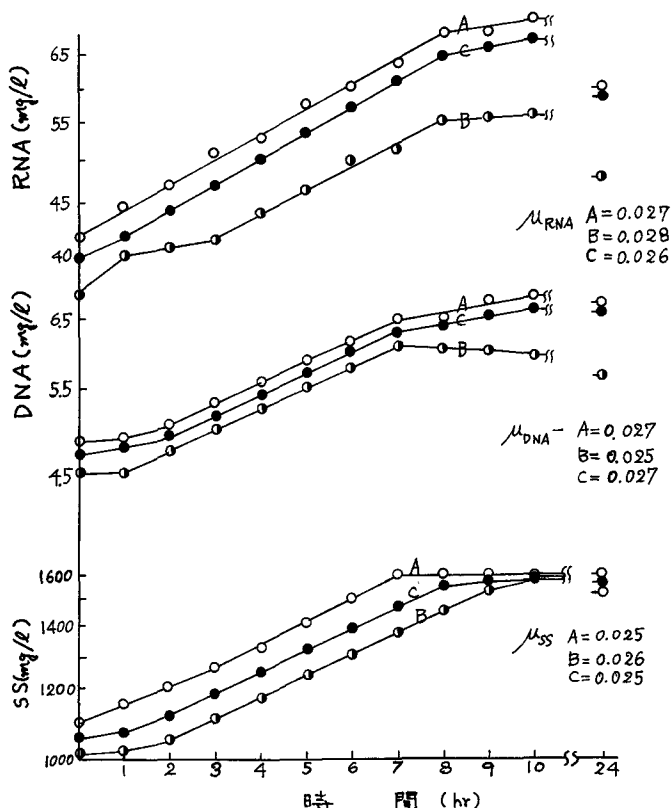


図-1 核酸量の経時的变化(ラクトース馴化汚泥)
A, B, Cは回分試験の順序を表わす(A→B→C)

ば30日ですでに安定しているようにみえるが μ_{DNA} , μ_{RNA} はまだ大きくなつてゆき50日で各 μ の値が等しくなる。30日と40日の汚泥はまだ真の馴化に達していないかもしれないが各成分が同じ速度で増加するので成分比が両日ではほとんど等しい。

表-2 馴化開始後の比増殖速度、核酸比の変化(グルコース馴化汚泥)

馴化 日数	回分試験の時間	μ_{DNA}	μ_{RNA}	μ_{SS}	RNA/DNA	$DNA/SS \times 10^3$
30	対数増殖期	0.029	0.029	0.061	7.5~7.9	2.0~2.5
	エアレーション時間				7.9	2.1
	〃 10 〃				7.7	2.2
40	対数増殖期	0.029	0.031	0.062	7.4~7.6	2.4~2.6
	エアレーション時間				7.9	2.6
	〃 10 〃				8.0	2.8
50	対数増殖期	0.063	0.063	0.062	7.4~7.5	6.6
	エアレーション時間				7.9	6.7
	〃 10 〃				8.1	6.7
	〃 24 〃				6.1	7.0

3-2. 完全混合試験による

核酸含量の変化: 完全混合系における微生物濃度変化は次式で表わされる。

$$\frac{dB}{dt} = \mu B - KB - DB \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで B ; 微生物量, K ; 異化代謝係数, D ; 希釈率(dilution rate)。定常状態では $dB/dt = 0$ だから(1)式は

$$D = \mu - K \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。この実験は汚泥を返送していないことおよびオーバーオール増加に注目するから K を無視して $D = \mu$ としてもよい。この μ がMonodの式にしたがうから(3)式のようになる。

$$\mu = D = \mu_m \left(\frac{S}{K_s + S} \right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

S について解けば

$$S = K_s \frac{D}{\mu_m - D} \quad \dots\dots\dots (4)$$

基質除去については

$$\frac{dS}{dt} = DS_i - DS - \mu(B/Y) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで S_i は流入基質濃度。定常状態では $dS/dt = 0$ だから

$$B = Y(S_i - S) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$Y = \frac{B}{S_i - S} \quad \dots\dots\dots (7)$$

比消費速度を Z とすると

$$D \frac{(S_i - S)}{B} = D/Y = Z \quad \dots\dots (8)$$

各希釈率における収量係数 Y と比消費速度 Z を各基質の合計を基質量とし(7), (8)式を用いてグルコース, グルタミン酸ナトリウムを含む人工下水を完全混合エアレーションで処理した実験を計算したのが表-3, 表-4であり, そのときの核酸量および比を図-2, 図-3に示す。希釈率の範囲を沈降分離性のよい汚泥のできる範囲に止めたので流出水の基質濃度について(4)式にみられる関係

は見出されない。表-3は流入水BOD濃度約200ppmの場合であり希釈率0.130以上になると白濁状態になって沈降性汚泥があまりなくなるがD=0.104においてすでに解体のような様相を呈して上澄水は濁ってくる。流入水BOD濃度約400ppmの場合はD=0.208で白濁してきてそれ以上のDでは活性汚泥が維持できなくなる。この表におけるYは2種基質の合計に基づいて計算したもので両基質の収量係数の相違を考慮していないが傾向は知ることができると考えられる。完全混合系では希釈率が変るとともに生物相も変化する可能性があるが活性汚泥を一つの有機体とみなし収量係数Yは希釈率によって変化することがわかる。

表-3, 表-4のYの値が1.0以上になっている場合があるが理論的に不可能な筈である。1.0以上になった理由は活性汚泥のフロックが大きくなってきて流出水へ均一に流れ出るのが避けられエアーシヨントラフ内のSS濃度が高くなったと考えられる。すなわち実験的に汚泥の返送をしなかったが自然に返送効果があったのであり活性汚泥のようなフロック状かつ沈降性の生物体を取扱う場合はこのような因子が加味されることを考慮しておくはならない。この系から流出する活性汚泥の割合を d とするとこの式は

$$\frac{dB}{dt} = \mu B - KB - dDB \quad \dots\dots (1)'$$

表-3 完全混合試験による核酸量の消長 — 1 (流入水BOD: 200ppm)

D	SS	DNA/SS $\times 10^{-3}$	RNA/SS $\times 10^{-3}$	AS/SS $\times 10^{-3}$	S_i	S_{ig}	S_{in}	S_o	S_{og}	S_{on}	Y	Z
0.010	77	13.0	27.8	2.5	255	175	80	30	0.0	30	0.342	0.029
0.026	77	12.0	33.9	2.7	228	158	70	30	0.0	30	0.389	0.067
0.052	180	5.36	26.3	1.2	246	170	76	20	0.0	20	0.796	0.065
0.078	230	4.35	30.4	1.0	241	181	60	20	0.0	20	1.041	0.075
0.104	94	10.0	54.6	2.3	245	170	75	35	0.0	35	0.448	0.232
0.130	71	12.7	63.8	3.0	238	173	65	41	3.0	38	0.360	0.361

注: D: dilution rate (hr^{-1}), SS: MLSS (mg/l), AS: 全酸画分, S_i : 流入水の全基質濃度 ($S_{ig} + S_{in}$) (mg/l), S_{ig} : 流入水のグルコース濃度 (mg/l), S_{in} : 流入水中のグルタミン酸ナトリウム濃度 (mg/l), S_o, S_{og}, S_{on} : それぞれ流出水の全基質, グルコース, グルタミン酸ナトリウム濃度, Y: 収量因子 ($\Delta B/\Delta S$), Z: 比消費速度 (hr^{-1})

表-4 完全混合試験による核酸量の消長 — 2 (流入水BOD: 400ppm)

D	SS	DNA/SS $\times 10^{-3}$	RNA/SS $\times 10^{-3}$	AS/SS $\times 10^{-3}$	S_i	S_{ig}	S_{in}	S_o	S_{og}	S_{on}	Y	Z	
0.052	270	11.8	60.1	1.4	510	350	160	750	5.0	70	0.621	0.084	記号は
0.078	560	5.4	31.4	0.7	505	350	155	71.0	1.0	70	1.290	0.061	上述の
0.104	800	6.1	25.0	0.5	484	346	138	30.0	0.0	30	1.762	0.059	とおり
0.130	800	9.8	35.8	0.7	470	337	133	61.0	1.0	60	1.956	0.067	
0.156	600	9.8	59.0	1.4	450	300	150	48.3	0.3	48	1.494	0.104	
0.208	300	12.8	99.7	2.0	462	316	146	50.5	0.5	50	0.729	0.285	

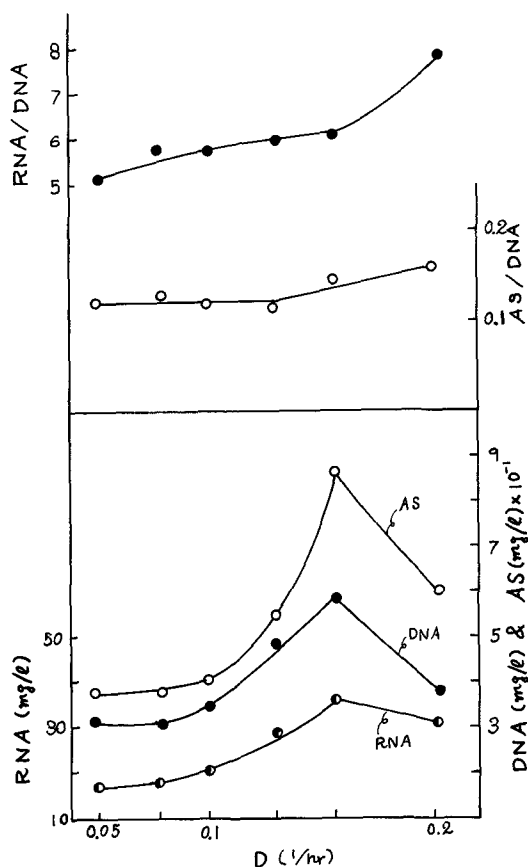


図-2 dilution rate と核酸量の関係
(流入水 BOD: 400ppm)

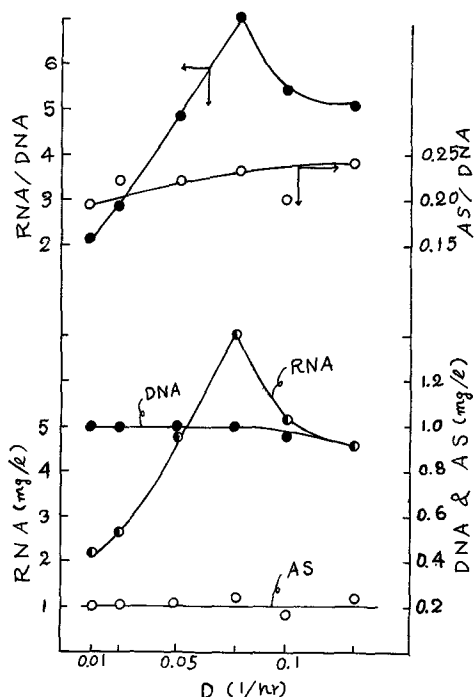


図-3 dilution rate と核酸量の関係
(流入水 BOD: 200ppm)

定常状態でとを重視すると

$$\mu = dD \dots\dots\dots (9)$$

これを(6)式に代入すると

$$B = \frac{1}{d} \cdot Y (S_L - S) \dots\dots\dots (16)'$$

$$Y = \frac{B}{(S_L - S)} \cdot d \dots\dots\dots (17)'$$

となり Y の値が表の値より小さくなり $Y < 1$ になる。そのためエアレーションタンクの SS 濃度 ($M LSS$) の測定値から Y の値を直接求めるのは無理で d を求めなくてはならない。流出中の SS 濃度を求め汚泥バランスから d を推算できるが本報告のような小さい系では SS 測定用の試料を採取するのに時間と労し正確な SS 値を得るのが困難である。概略を知るため不正確を承知で d を求めたり表3の実験では $D = 0.052$ のとき $d = 0.73$ となり $Y = 0.582$, $D = 0.078$ のとき $d = 0.65$, $Y = 0.678$ となった。すなわち流量の変化によって d も変わってくる。他の D のときも d はほぼ1であった。表-3の場合 $d = 0.3 \sim 0.6$ の間にあった。このように Y を補正してみても Y は D の増大とともに大きくなるが混合液が白濁してくる D のときから Y 値は小さくなる。純菌のときと違って Y 値が

小さくなってくるのは活性汚泥が解体の様相を呈するのを境として微生物相が急変した結果と考えられる。比消費速度をみても微生物の増殖に対する効率が変化している。

図-2, 図-3 をみると上記の沈降性の変化に於ける影響が核酸にも表われる。流入水 BOD 濃度 200 ppm の場合 DNA, AS とともに希釈率によって変化しない。400 ppm の場合は DNA, AS は希釈率によって変化している。両基質濃度の実験において同じ変化を示すのは RNA であり限界希釈率までは対数的に増加してゆく。RNA 濃度を $[RNA]$, a を係数とすると $\mu = D$ のとき RNA の変化はつぎのように表わすことができる,

$$\mu = D = a \ln \frac{[R]}{[R_0]} \dots\dots\dots (10)$$

ここで $[R_0]$ は休止の活性汚泥 ($\mu = 0$) のときの RNA 濃度であり, R_0 以下の濃度は活性汚泥の状態を意味するものは表現を換えれば活性汚泥の死を表わすものと考えられる。(10) 式を (1) 式を代入すると

$$\frac{dR}{dt} = a \ln \frac{[R]}{[R_0]} - kR - DR \dots\dots (11)$$

RNA は蛋白質合成に因子する物質だから μ の増加に対応する代謝調節として増加するものと思われる。故に完全混合試験と回分試験の結果は環境条件の相違により相互の比較は困難ともいわれるが, RNA の機能を考えて図-2, 3 のような結果が得られた (10) 式を用いて回分試験さらに押し出し流れ型のアレーシヨシコタンクにおける dR/dt の推定に使用可能とも思われる。しかし今迄得られたデータは図-2~3 のように流入基質濃度が変わると $[R]$ および a が変化してしまうので今後は $[R]$ を単位生物量あたりの量としてもっとデータを集める必要があると思われる。

4. 要 約

回分試験および完全混合試験により環境条件変と核酸量の变化の関係を調べた。結果を要約するとつぎのとおりである。

- 1) RNA / DNA 比からみると実際の処理場の活性汚泥が特定基質組成の液に馴化するには少くなくとも1ヶ月を必要とする。
- 2) 一定の周期で回分試験を繰り返すと馴化後は各成分が周期的に変化し, 成分比率が等しくなる。この段階において活性汚泥は安定し真の馴化がなされたことになる。
- 3) 沈降性のよい活性汚泥による完全混合エアレーションでは汚泥を返送しなくても自然に生じる返送効果を考慮しなくてはならない。
- 4) RNA は希釈率の増加とともに対数的に増えてゆく。沈降性のよい汚泥と解体的な汚泥の両方には細胞成分濃度, 数量係数, 比消費速度について差がある。

考 考 文 献

1. 金子光美: 混合微生物系による基質除去における基質相互間の影響, 水処理技術 11(9), 1970, 2. 金子光美, 金井玲子: 活性汚泥の核酸の定量(方法と含有量), 工業用水, 102, 1967, 3. Riley, W.H et al: The biochemical aspects of aerobic bacterial growth. Proc. 20th Ind. Waste Conf. Purdue Univ. Engng. Extn. Ser. No. 118 68