

東北大学 正員 松本順一郎
長岡技術科学大学 正員 原田 秀樹

1 はじめに； 従来、微生物の増殖・代謝活性の温度依存性は Arrhenius 式、Streeter-Phelps 式等によって整理されてきている。しかし、これらのモデル式に微生物活性が適用できるのは限られた温度範囲内であって、特に高温側では熱による細胞の失活現象によって、活性は急激に減少し、上述のモデルに従わなくなる。一方、著者は、先に、活性汚泥のような好気性他栄養型連続混合培養系の微生物活性は馴養温度と平均細胞滞留時間(SRT)によって影響をうけることを明らかにした。すなわち、馴養温度と SRT を選択因子とする集積効果によって、培養系の微生物活性の温度依存性を示す最適温度、最大活性値、耐性限界等がソフトするこれを報告した。ここでは、低温、高温側の両方を考慮した連続モデルによって、これらの温度依存性を定量化して比較検討し、混合培養系の微生物活性に及ぼす温度と SRT の馴養効果を整理したものである。

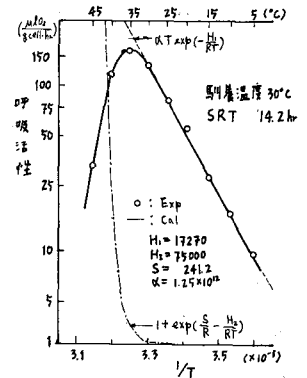


図-1. TL=ウス型プロット

2 モデル表示； 一般に微生物活性の温度応答は図-1のような曲線で示され、最適温度を越えると活性は急激に減少する。この現象は、次式のように、温度の上昇に従って、反応速度の増加項(分子)と、熱変性による失活項(分母)の比によって表わされ、実験値とよく一致する。

$$k = \frac{\alpha \cdot T \cdot \exp(-\frac{H_1}{RT})}{1 + \exp(\frac{S}{R} - \frac{H_2}{RT})} \quad (1)$$

ここに、 α は反応速度係数、 T は絶対温度、 R はガス定数である。 H_1, H_2, S, α はパラメーターである。

(1)式の曲線の接線の傾きは次式で表わされる。

$$RT^2 \frac{\partial \ln k}{\partial T} = RT + H_1 - \frac{K}{1+K} H_2 \quad (2)$$

ここに、 $K = \exp(\frac{S}{R} - \frac{H_2}{RT})$ である。したがって、最適温度 T^* は、

(2)式を0とする T を反復法から求められる。また、その時の最大速度 k^* は (1)式に $T=T^*$ を代入することによって得られる。 H_1, H_2, S に図-1で用いた値を代入すると、最適温度より低温側では、

$\frac{K}{1+K} \approx 0$ で接線の傾きは $(RT + H_1)$ で近似でき、高温側では、 $\frac{K}{1+K} \approx 1$ で $(RT + H_1 - H_2)$ で近似できる。通常温度範囲では $RT \approx 600$ であることを考慮すれば、 H_1 は低温側での温度感受性を示す Arrhenius 式中の活性化エネルギーに相当し、また高温失活

の温度依存性は $(H_1 - H_2)$ で表示しうる。

3. 実験方法および条件； 前報と同じである。

4. 結果と考察； 馴養温度と SRT を実験パラメーターとする連

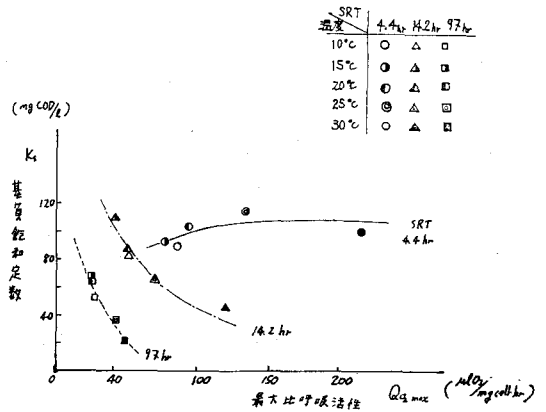


図-2. 呼吸活性 $10^3 \times \mu - \eta - \eta$, Q_{max} と k_p に関係する馴養温度と SRT の影響

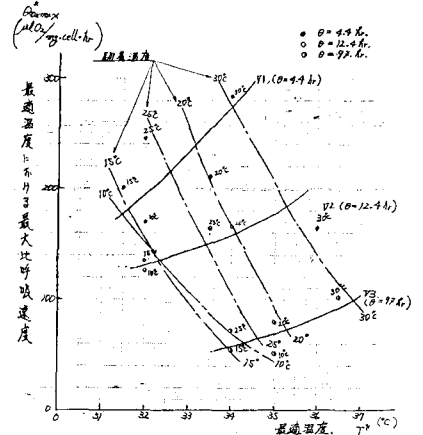


図-3. 最適温度と最大比呼吸速度の関係。

結果によつて、各培養系の呼吸活性の基質濃度依存性をワールブルグ線法によつて検討した。図-2は、呼吸活性パラメーター、 Q_{O_2max} (最大比呼吸速度) と K_s (基質飽和定数) によつて馴養温度と SRT の影響を示したものである。同一の馴養温度では、SRT が短くなるにつれて、 Q_{O_2max} と K_s はともに大きくなる傾向を示している。また、 Q_{O_2max} 、 K_s の変化中は馴養温度の高くなる程、大きくなる。SRT が 4.4 hr の系では、 K_s は馴養温度に対して依存性はなく、 Q_{O_2max} のみが馴養温度の上昇につれて、急激に増加している。SRT が長い系では、馴養温度が上昇すると Q_{O_2max} は増加するが、 K_s は逆に減少する傾向が見られる。すなわち、 K_s の馴養温度依存性は SRT によつて大きく異なる。

次に、各培養系の最大比呼吸速度の温度依存性及びその培養条件(馴養温度と SRT)の影響を、馴養温度と非等温の条件下で検討した。図-1はその一例である。最適温度 T^* とその温度における最大比呼吸速度 $Q_{O_2max}^*$ 及びその馴養温度と SRT の影響を図-3に示す。馴養温度が低くなるにつれて、SRT が短くなるにつれて最適温度 T^* は低温側にシフトする。また、 $Q_{O_2max}^*$ は SRT が長くなる程、馴養温度が低くなるにつれて、減少していく傾向が見られる。図-4は、高温側での失活現象に対する温度感受性係数 ($H_1 - H_2$) と $Q_{O_2max}^*$ との関係を示したものである。活性の大きい微生物相程、急激に失活する傾向にあり、また SRT が短い系程、馴養温度の高い系程、失活は激しい。図-5は、汚泥内のタンパク質量と炭水化物質量の比と $Q_{O_2max}^*$ との関係を示したものである。 $Q_{O_2max}^*$ は(タンパク質/炭水化物)含量比と正によく相関している。すなわち、SRT が短くなるにつれて、その比は増加する。しかし、馴養温度に対しては、はっきりした依存性は見られず。

次に、図-6は SRT=14.2 hr の系での Q_{O_2max} の温度依存性及びその馴養温度の影響を Arrhenius 型プロットで示したものである。混合培養系の微生物活性の環境への適応現象は2つの機能によつて支配されている。一つは、個体・細胞レベルでの微生物相自体の持つ環境適応性であり、酵素系の適合による活性度変化である。もう一方は、環境条件によつて微生物相の遷移によるホモレシジョンレベルでの活性度変化である。これは、各馴養温度での呼吸活性を結晶線で表わされる。生理学的調節(細胞レベル)による温度依存性は、活性化エネルギーで評価すると約 17000 ~ 19000 cal/mole であるが、生態学的調節(ホモレシジョンレベル)による温度依存性は約 14000 cal/mole である。したがって、温度による馴養効果は、種の置き換え(淘汰)による適応種の遷移を通じた要因補償作用によつて、生理学的な温度依存性よりもゆるやかである。すなわち、温度に対する要因補償作用は細胞レベルとホモレシジョンレベルで生じることが、後者の方がより効果的である。すなわち、温度による馴養効果とは、適応微生物相の交代によつて、生存のための環境条件の制限効果を弱める生態学的作用であると考えられる。

(参考文献) 1) 松本原田, 54年土木学会年講. 2) Johnson, et al. The Kinetic Basis of Molecular Biology (1954)

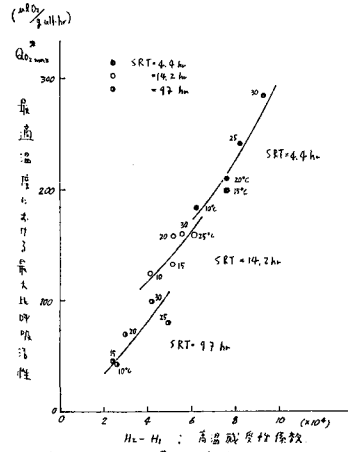


図-4. ($H_1 - H_2$) と Q_{O_2max} の関係

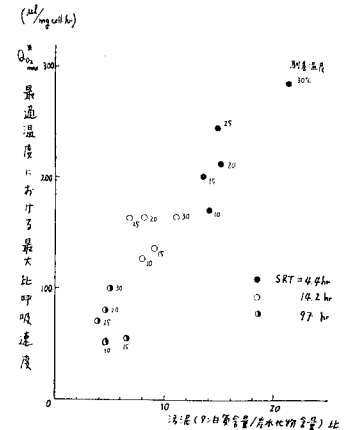


図-5. (タンパク質/炭水化物)比と Q_{O_2max} の関係

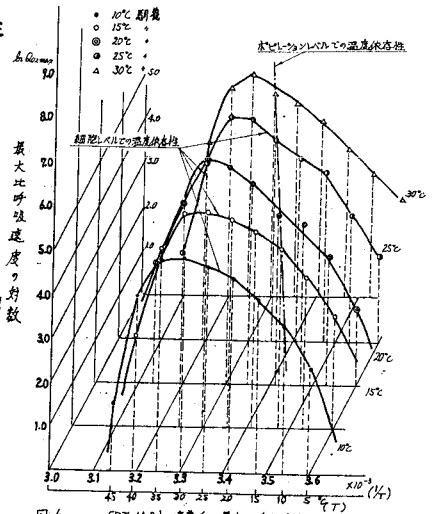


図-6. SRT=14.2 hr 培養系の最大比呼吸活性 Q_{O_2max} の温度依存性及びその馴養温度の影響