

東北大学 正〇 高橋克夫
同 学 遠藤銀朗
東北工大 畠山重久

1. 諸言

ガス吸収速度は、濃度推進力と物質移動係数の積で表わされ、液本体中の溶解ガスの濃度変化で表現すれば、(1)式のようになる。 K_L は液本体の水理条件、たとえば、流速、水深、河床勾配によって大きく変化し、また液体

$$\frac{dC}{dt} = K_L \frac{A}{V} (C_s - C_L) \dots (1), \quad K_{L,c} = (K_{L,z0c}) \theta^{(t-z0)} \dots (2)$$

の温度つまり水温によっても変化し得るものと考えられている。そして K_L に対する温度補正式が(2)式の形式で多くの研究者によって報告されており、研究者によって係数 θ の値は多少異なっている。本実験では、 K_L の温度依存性について、従来のガス吸収理論のモデルに含まれている分子拡散係数 (D_m) に注目しその分子拡散係数の関数形に含まれている物性値が K_L とどのような関係で結びつけられるかを実験的に研究したものである。

2. 物質移動係数に関する物性値の選取

ガス吸収に関する従来からの研究のいくつかを表-1に示した。この諸モデルの L (境膜の厚さ), γ (更新率) 等は液本体の水理的条件を表現しているものと考えられ、これらと水理量と結び付けることは種々の形で行なわれている。またこれらのモデル式には D_m が含まれておりこれと乱流場の水系に適用することは問題があるのではないかと筆者は考えていたが、 D_m と K_L に対する温度効果の関数と考えることもできるのではないかと思われる。しかし各温度における D_m の値を得ようとしても実験値はいくつかの温度の場合にかぎられており、その値は研究者によって異なっている。分子拡散係数に関して理論式も提案されているが充分とはいえないのが現状である。本実験の解析の上で、 D_m に関して Nernst-Einstein の式を用い、 $D_m \propto \frac{T}{\mu}$ の関係が成立するものとする。つまり D_m は粘度と温度にそれぞれ1次の関係がある。そして $K_L \propto D_m$ が成立するものとして結局 K_L に対して(3)式が成立するものとする。ここで Nernst-Einstein の式の D_m を K_L に置きかえる根拠は明らかではないが、たとえば、重境膜説の場合には、 $K_L \propto (D_m \propto \frac{T}{\mu})$ となり(3)式が成立立つ。しかし浸透説その他にあっては、 $K_L \propto (\sqrt{D_m} \propto \frac{T^{0.5}}{\mu^{0.5}})$

$$K_L \propto \frac{T}{\mu} \dots (3)$$

となるわけで(3)式は成立しない

表-1

Levis & Whitman	$K_L = \frac{D_m}{L}$	(=重境膜説)
Highbie	$K_L = 2 \sqrt{\frac{D_m}{L}}$	(=浸透説)
O'Connor & Dobbins	$K_L = D_m \cdot \text{Coh} \cdot \frac{1}{\mu^{0.5}}$	
村上の式	$K_L = 3.21 \times 10^5 \left(\frac{g}{cm^3} \right)^{0.6} \left(\frac{cm}{sec} \right)^{0.4} \left(\frac{1}{\mu} \right)^{0.5}$	

3. 実験装置

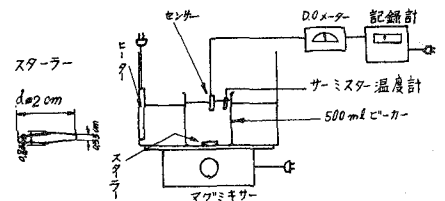
実験装置を図-1に示す。蒸留水500mlを入れ

たビーカーを投入ミヒターでコントロールした

恒温槽(塩化ビニール製)内に入れたものである。温度変化の範囲は15、20、25、30、35℃の5段階で行なった。水温の測定はサーミスター温度計を用いた。実験はビーカーの中に図-1のスターラーを入れマグミキサーで一定の回転を与えた。回転数の範囲は0(静水)、152~164、362~400、714~

図-1

800 rpm である。この回転数はストロボスコープで測定した。本実験で用いたマグミキサーおよびスターラーは回転数が不安定で本実験のような物質移動係数の微妙な変化を得ようとする時にはこのまじくはないと考えられた。溶存酸素の測定には回転がある場合の実験ではバグマン777型溶存酸素計およびそれに接続



いた記録計で行なった。また静水の場合には、10個の同一(500ml)のビーカーを恒温水槽の中に並べ一定間隔にサンプリングを行ない、ウインクラ法を用いて測定した。また、同時にバクマン Fieldlab 溶存酸素計を用いても測定した。両者の測定値にはほとんど差が認められなかった。

4. 実験方法 および計算方法

所定の温度に保った蒸留水を N_2 ガスで脱酸素し、その後の溶存酸素の回復をDOメーターおよびウインクラ法を用いて測定した。酸素移動係数については(1)式の $K_{La} (=K_L \frac{A}{V})$ として算出した。各回転数の水面形変化による接触面積の変化は無視した。酸素移動速度(N)は $N = K_{La} \cdot C_s$ として求めた。つまり溶存酸素が零の場合の吸収速度である。また粘性値については土木学会編「水理実験指導書」を用いた。また K_{La} の温度効果の影響としては「アンドレ」の式が成り立つものとして E/R を求めた。(4)式。攪拌レイノルズ数は(5)式で求めた。

$$K_{La} \propto e^{-\frac{E}{RT}} \dots (4) \quad Re = \frac{d^2 N \rho}{60 \mu} \dots (5) \quad \left(\text{ここで } d=2(\text{cm}) \text{ スターの長さ } N: \text{スターの回転数(rpm)} \right)$$

5. 実験結果

図-2に本実験より得られたデータと回転数レイノルズ数として $K_{La} (\%/\text{min})$ と粘性(μ)との関係として表わした。同一条件で数回データを取ったが図に見られるように多少のバラツキが見られた。しかし温度の増加が K_{La} の増加をもたらすという傾向は見られる。これらのデータから(3)式の μ を各回転数別に表わすと、表-2に示される値になる。静水の場合に特に大きな値を取ることに注目された。これらを従来の研究者によって提出された値 ($\theta=1.016 \sim 1.047$) にくらべるとほぼ一致しているが、静水の場合特に大きな値が得られている。また(4)式の E/R も同時に表-2に示してある。(3)式の μ の関係を知るために図-3に $\log K_{La} - \log \mu$ の関係を示した。 $K_{La} \propto \mu^\alpha$ を仮定し、指数 α を求めたのが同じく表-2に示してある。静水の場合には $\alpha = -2.64$ となり(3)式の場合の μ に対する指数-1とくらべてほど遠い値を示している。しかし攪拌がある場合には平均値として-1.11となり近い値を示している。そこで静水の場合には、 $K_{La} \propto \mu^{-2.64}$ 、攪拌実験の場合には $K_{La} \propto \mu^{-1.11}$ とそれぞれ水粘性(μ)と関係付けられるものとした。そこで K_{La} と T の関係を知るために、前述の関係が成立するものとして、図-4に攪拌の場合、 $\log K_{La}$ と $\log \frac{T}{\mu^{1.11}}$ および静水の場合、 $\log K_{La}$ と $\log \frac{T}{\mu^{2.64}}$ の関係を示した。この両対数の図から攪拌および静水の場合それぞれ $K_{La} \propto \frac{T^\theta}{\mu^{1.11}}$ および $K_{La} \propto \frac{T^\theta}{\mu^{2.64}}$ の関係式を仮定し、指数 θ を求めたのが表-2に示してある。この結果より特に静水の場合には1.00であり攪拌の場合にも0.89であり、ほぼ1と考えられ、これは先の(3)式の場合の T の指数1に近い値を示し、 T に関して一次の関係が得られた。以上まとめると(6)式となる。

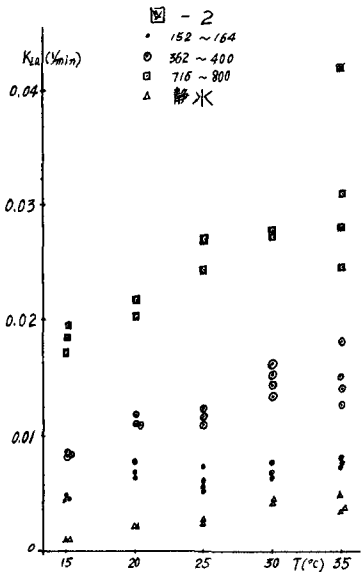


表-2

	θ	E/R	α	β
静水	1.060	5020.9	-2.64	1.00
152~164	1.022	1959.4	-0.97	0.77
362~400	1.028	2489.9	-1.24	0.98
716~800	1.026	2448.0	-1.14	0.91

$$\left. \begin{array}{l} \text{静水の場合: } K_{La} \propto \mu^{-2.64} T \\ \text{攪拌の場合: } K_{La} \propto \mu^{-1.11} T^{0.89} \end{array} \right\} \dots (6)$$

(6)式から、 K_{La} は粘度に大きく影響され、絶対温度($^{\circ}K$)には、数%があつた温度範囲ではほとんど影響されないことがわかる。一方酸素吸収におよぼすMLSS濃度の影響として $K_{La} \propto \mu^{-0.59} \mu^{-0.334} \mu^{-0.25}$ 等の関係が得られているがこのことからさらに細かい検討が必要であると考えている。図-5は N_{max}/N_{min} (一定 C)の関係が示されている。同時に $C_{50\%}/C_{100\%}$ の比の値も示した。つまり溶存酸素が零の場合に吸収速度(N)は温度の増加とともに増加するが、あるいはほとんど変化がないことがわかる。図-6に $\log K_{La}$ と $\log Re (= \frac{d^2 N \rho}{60 \mu})$ との関係を示した。

図 - 3

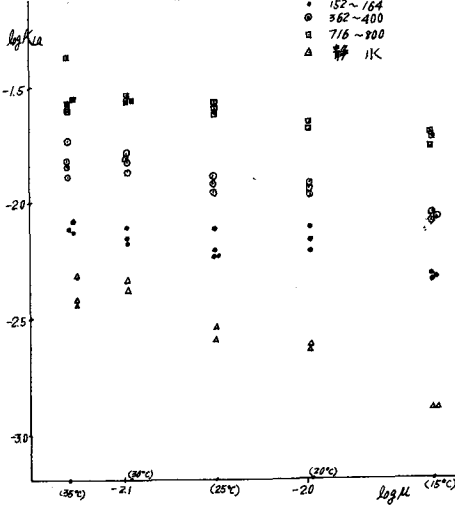
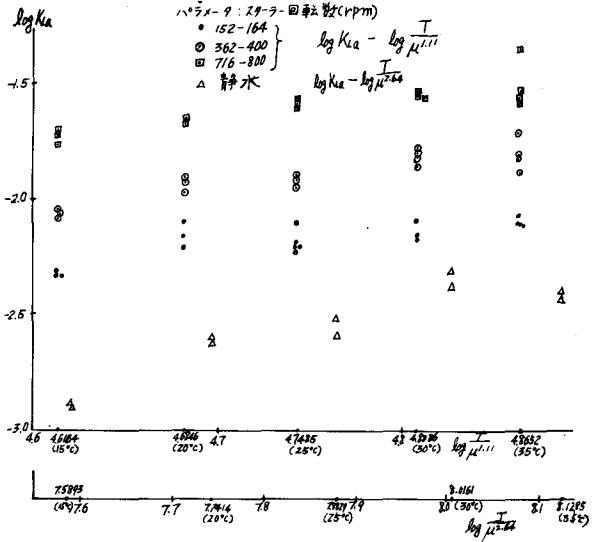


図 - 4



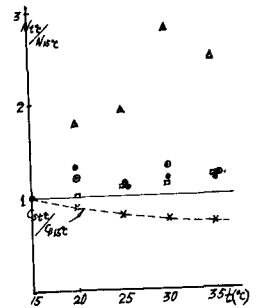
Re 数はその中に $\mu^{0.11}$ の項が入っており搅拌されている場合には K_{La} に対してよい指標と考えられる。 $K_{La} \propto Re^r$ の r を求めたところ 0.87 であった。

6. まとめ

K_{La} の温度依存性についての実験の結果および次の結果が得られた。

- (1) θ は静水で 1.060、搅拌のある場合で平均は 1.025 であった。
- (2) K_{La} に対する温度依存性についての半物性値として μ を選んだ結果を得た。
 $K_{La} \propto \mu^{-2.64} T$ (静水の場合)
 $K_{La} \propto \mu^{-1.11} T^{0.87}$ (搅拌の場合)
- (3) 吸収速度 (N) は温度の増加とともに多少増加するが、あるいはほとんど変化しないことがわかった。
- (4) K_{La} と搅拌レイノルズ数とはよい相関が認められた。

図 - 5



・謝辞

本実験を行なうにあたり協力を得た東北大学学生 牧野健二君に感謝いたします。

・記号

- K_{La} = 総括酸素移動容量係数 ($1/\text{min}$)
 C_L = 液本体中の溶解酸素 (mg/g)
 $C_{s,te}$ = t における飽和溶解酸素 (mg/g)
 N_{te} = t における酸素吸収速度 ($\text{mg}/\text{g} \cdot \text{min}$)
 $\bar{N}$ = スター-回転数 (rpm)
 d = スター-の長さ (cm), μ の粘度 (poise)

・参考文献

- (1) R. B. Bird: Transport Phenomena ; WILEY TOPPAN, RP513
- (2) 第4回衛生工学研究討論会 講演論文集。#出哲夫、永松定裕 P.9 (1967)

図 - 6

