

大阪労働基準局, 正会員 ○ 井岡 忠嗣
京都大学工学部, 正会員, 住友恒, 岩井重久

1. はじめに

乱流下における化学反応については、従来より工学分野でいくつかの研究がある。しかし、水質汚濁問題などに関連して、実際の流れ場での生物反応を含む各種の反応で、特に流動特性が反応特性に及ぼす影響について深く論議されたことは少ない。Dobbins, O'connor¹⁾による溶存酸素の吸収機構に関する研究はその数少ない研究の代表的なものである。この種の研究が少ない原因は、流動特性と反応がそれぞれ独立な現象と考えられているからで、本研究のように両者は独立な現象ではないと考える場合、本質的にはそれぞれの現象のどの段階が独立でないかを明確にして議論を展開する必要がある。しかし、本研究では水質流の基礎方程式を実際の流れ場で時間的、空間的に平均化する段階で、反応係数が分子間の衝突のみに立脚するものから、さらに総合的な接触あるいは出会いを前提とするものへ変化せざるをえない現実を考慮に入れて、不均一流場での反応は基本的に流動特性と独立ではありえないとの考えに立って研究を進めている。過去二回にわたり^{2), 3)}変動の流数空間での特性に若干の基礎的検討を加えてきたので、ここでは現象をよりマクロにとらえて「みかけの反応係数」について、考え方を明確にするとともに実験結果を報告しておく。

2. みかけの反応係数について

化学反応の速度論では反応速度を式(1)のように Arrhenius の式で定義する⁴⁾。ここで、 k_0 は速度定数、 E は活性化エネルギー、 R 、 T はそれぞれ気体定数、絶対温度で、 n が定数で頻度因子と呼ばれる。

$$k_0 = A \cdot \exp(-E/RT) \quad (1)$$

頻度因子 A は分子の衝突回数に比例するものと考えるのが一般的である点を考慮し、実際の流れ場でのみかけの反応速度 k をつぎのように考える。

$$k \sim Z_n \cdot k_0 \quad (2)$$

ここで Z_n は流れ場における種々の規模の水塊のうち n 番目の水塊同志の衝突(接触あるいは出会い)回数。

実際の乱流場での Z_n を乱流渦の特性をつぎのように記述しようものとする。

$$Z_n \sim \left(\frac{\pi l_n^2 U_n}{V} \right) \cdot \left(\frac{V}{\frac{4}{3} \pi l_n^3} \right) = U_n / l_n, \quad U_n \sim (\varepsilon l_n)^{1/3}, \quad \varepsilon \sim U'^3 / l \quad (3)$$

ここで n を代表渦と考え、 U_n 、 l_n は n の速度と至、 ε は流体の単位時間当りのエネルギー消費量、 l はエネルギーを保有する代表的な渦の平均至(マクロスケール)。以上より次式を与える。

$$k \sim k_0 \cdot \varepsilon^{1/3} \cdot l_n^{-2/3}, \quad \text{あるいは} \quad k \sim k_0 \cdot U' \cdot (l_0/l)^{1/3} / l_n \quad (4)$$

l_n は波数 K_n と $l_n = K_n^{-1}$ の関係にあるものとみ合わせ、次式のように波数でも記述しよう。

$$k \sim k_0 \cdot \varepsilon^{1/3} \cdot K_n^{2/3}, \quad \text{あるいは} \quad k \sim k_0 \cdot U' \cdot K_n^{1/3} / l^{1/3} \quad (4')$$

しかし、代表渦 n の存在がそれほど顕著でなく、時間、場所によって種々変化するとき、上式をさらに平均化して、平均的なみかけの反応係数 $\bar{k}$ を求めればよい。たとえば、式(4')を波数 K_n で平均化して次式を与える。

$$\bar{k} \sim \varepsilon^{1/3}, \quad \text{あるいは} \quad \bar{k} \sim \sqrt{U'^3} / l^{1/3} \quad (5)$$

上式の平均化は、特定の流れにおける(ε 、 l は一定)ある特定の反応(k_0 は一定)について、波数域について考えたもので、 $\sqrt{U'^3}$ は K_n の波数域での U' の自乗平均量である。上式のように総括的に取り上げた場合、 $\sqrt{U'^3}$ や l に関連する無次元量として、レイノルズ数($= \sqrt{U'^3} l / \nu$)が $\bar{k}$ にいかに関与するかをとも検討しておく必要がある。

乱流下におけるみかけの反応係数に関する研究としては、上述のように流数域における k の変化をいかに取り扱うかによって大別して二通りのアプローチがある。一つは水質変動のスペクトルを流数別に求め、 k と K_n の関係を定量化してゆく方法であり、他はマクロに、全流数域での平均的な関係を上述のような方法で定量化してゆく方法である。本報告では後者に限定して若干の実験結果について要約しておく。

3. 実験・データ処理法

実験は本報までと同様にヨード・フェン・ホル反応によって青紫色になった液と無色のオオ硫酸ナトリウム液を用いて、定常二相流を設け、境界面における反応を伴う混合乱流場を実験対象とした。流速はホットフィルム型流速計を使用し、濃度は光電型濃度計（ホトコダ）を使用して、両者の変化を連続的に計測した。測定したアナログデータをAD変換器によりデジタル化し、これをインポートデータとして種々の電算処理を行った。

4. 実験結果

両反応液の混合点である上流境界面と3m下流での境界面における濃度のスペクトル変化を図示したのが図-1で、反応がある場合、広範な波数域でスペクトル量の低減すなわち変動量の減少が認められる。この減少量の波数別考察を行なうにはさらに多くの実験結果を必要とするので、ここでは式(5)に関連する平均的な特性のみに注目してみる。図-2、図-3はそれぞれ k 値と E および $\sqrt{u'^2}$ との関係を図示したもので、いずれも定性的には直線的な比例関係も認めることができるといえる。したがって、今後はこの比例定数の定量化が重要であることが明らかにされた。

5. おわりに

Levich などによる従来の研究では、式(4)から式(5)の平均化過程における積分範囲の重要性が指摘されている。⁴⁾ したがって式(5)の比例定数を理論と実験の両面から定量化してゆくのはよいので、今後さらにこの定量化に研究に入る予定である。本研究は科研(文部省)085/26の一部で、かつ、松岡譲氏の助言と協力を得たものであり、謝意を表す。

【参考文献】

- 1). Dobbins, O'connor, Trans. ASCE, 123 (1958)
- 2). 3) 佐藤・井関外, 土木学会年報 (1949), (1950)
- 4). Levich, Physico-chemical Hydrodynamics, (1962)

