

空間スケールの減少が引き起こす反応の促進： 化学反応系のリズムとゆらぎ

一野天利

名古屋大学大学院人間情報学研究科
京都大学大学院理学研究科物理学第一教室
e-mail: ichino@chem.scphys.kyoto-u.ac.jp

実験室内で行われる化学実験や生化学実験は一般に mm 以上の空間スケールで行われる。それに対して、生体内で行われる生化学反応は μm オーダーという微小空間で行われる。そのような微小空間では、化学反応におけるゆらぎの影響が重要になると考えられる。本研究の目的は、非線形化学反応系における空間サイズの影響を調べることである。

システムサイズの影響を調べるために、代謝反応のモデルの一つである Belousov-Zhabotinsky (BZ) 反応を実験に用いた。数 μl の BZ 反応溶液を n-decane と 1, 2-dichloroethane の間の境界に浮かべた。この実験系において、BZ 反応溶液は球状となる。

図 1 では溶液サイズに依存した振動周期を、図 2 では同じく溶液サイズに依存した周期のゆらぎを示している。BZ 液滴のサイズの減少に依存して BZ 反応の周期が短くなっているのは明らかである。また、システムサイズの減少に依存して周期のゆらぎが増大している。

システムサイズの減少に伴い、振動周期が短くなり、その周期のゆらぎが増大する理由として、BZ 反応の反応速度をほぼ決定する亜臭素酸 (HBrO_2) の分子数のゆらぎを考えた。そのことを検証するために、BZ 反応のモデル方程式であるオレゴネーターを用いて、 HBrO_2 の濃度変化を表す式にガウシアンホワイトノイズを加えて数値計算を行った。以下に、その方程式を示す。

$$\frac{du}{dt} = \frac{1}{\varepsilon} \left(u - u^2 + fv \frac{u-q}{u+q} \right) + R(t)$$

$$\frac{dv}{dt} = u - v$$

$$\langle R(t) \rangle = 0$$

$$\langle R(t+\tau)R(t) \rangle = 2D\delta(\tau)$$

ここで、 u は亜臭素酸の濃度、 v は金属触媒の濃度、 $R(t)$ はガウシアンホワイトノイズである。

本研究会の発表では、このオレゴネーターを用いた数値計算の結果も示したのだが、ここでは、省略しておく。

本実験から、より微小な空間では、化学反応に伴う反応周期のゆらぎが増大され、非線形化学反応が加速されるといえる。この知見は、細胞内で行われている化学反応においても、空間スケールと、ゆらぎの効果が重要であることを示唆している。

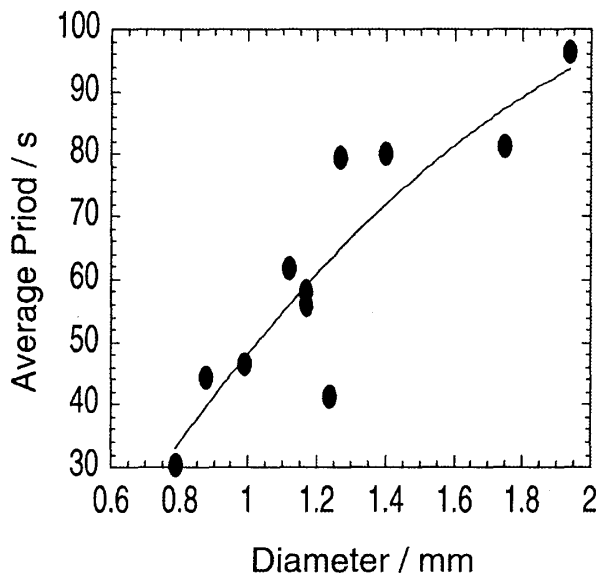


図1：BZ 反応溶液サイズに依存した振動周期の変化

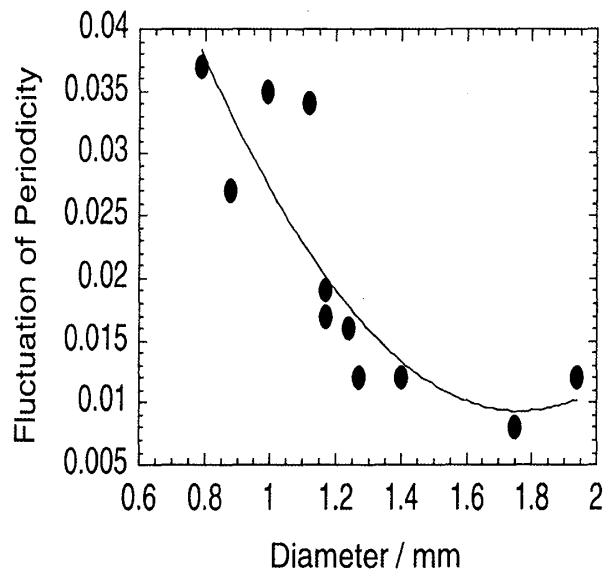


図2：BZ 反応溶液サイズに依存した周期のゆらぎの変化