

## 二成分流体中を動く微小粒子の受ける力

コロイド粒子は数 nm~数百 nm 程度の大きさの微小粒子のことであり、コロイド溶液は塗料や化粧品、食料品など身の回りに数多く存在する。コロイド粒子系は、結晶相や分散相、ガラスなどの多様な状態をとることから、統計力学のモデル系として基礎的な研究がされている一方で、日用品の製品開発の面からも幅広く注目を集めている。

二成分流体にコロイド粒子を入れると、どちらか一方の成分が粒子表面により高い親和性をもつ。結果として、遠方では流体の組成は一定であるが、粒子に近づくと親和性の高い成分の組成が大きくなり、粒子周囲に組成勾配ができる。つまり、粒子周囲に吸着層ともいえる「とりまき」が形成される。組成勾配が生じる範囲は、温度と遠方における組成によって決まる相関長と呼ばれる長さにおよそ等しい。とりわけ、二成分が相分離臨界点に近い場合に相関長は長くなり、組成勾配の及ぶ範囲も大きくなる。このような組成勾配をもたらす効果に関する研究は、従来は静的な性質を対象にするものが多かった。ここでは、与えられた条件下で、コロイド粒子系がどのような熱平衡状態をとるかが主に研究されてきた。たとえば二成分の相分離臨界点近傍では、コロイド粒子が凝集することがわかっている。これは、組成勾配によって粒子間に引力が働くためと考えられている。

静止した流体中に剛体球を置き、そっと並進移動させると、周囲の流体から力を受ける。その力の向きは球の進む向きと逆であり、大きさは球の速さに比例する。この比例係数を抵抗係数という。抵抗係数は、Einstein-Stokes の関係式を通して拡散係数とも関係がついており、静的というよりは動的な量である。粘性係数  $\eta$  の単成分流体中において、半径  $r_0$  の剛体球の抵抗係数は  $6\pi\eta r_0$  と求められており、Stokes の抵抗法則とよばれる。従って抵抗係数は粘性係数が大きいほど、また半径が大きいほど大きくなる。本研究では、二成分流体中における一粒子の抵抗係数が、組成勾配によ

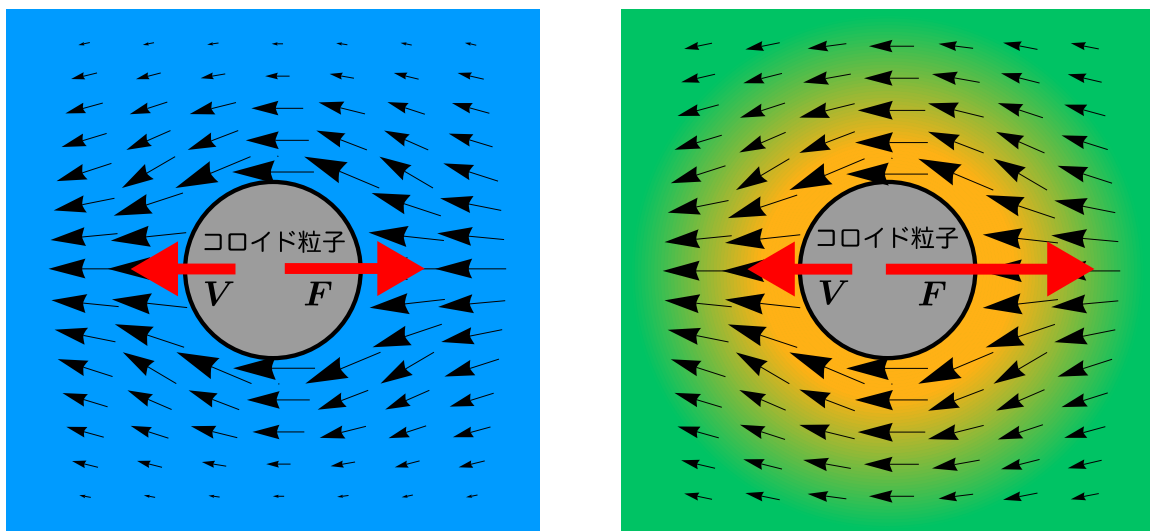


図1. 流体中でコロイド粒子を速度  $V$  で動かした場合の流速場の模式図。(左) 単成分流体の場合。流体がコロイド粒子にひきずられて流れが生じる。(右) 二成分流体の場合。コロイド粒子周囲にグラデーションで示した組成勾配が生じる。それにともない、単成分の場合と比較して、より広範囲に強い流れが生じる。コロイド粒子が流体から受ける力  $F$  は二成分流体の場合の方が大きくなる。

ってどのように変化するかを調べている。二成分流体の場合、コロイド粒子は前述のように、吸着層という着物を着たような状態といえる。そのように考えると、半径は相関長 $\xi$ だけ増えるとして、抵抗係数はおよそ  $6\pi\eta(r_0+\xi)$  となるように予想される。もしこの予想が正しいならば、抵抗係数の補正は相関長に比例することになる。

最近、京都大学の岡本氏、慶應義塾大学の藤谷氏、首都大学東京の好村氏ら三名は、流体の一方の成分とコロイド表面との親和性を考慮した二成分流体の流体力学を定式化し、親和性が弱いと仮定して方程式を解き、Stokes の抵抗法則がどのように変更されるかを調べた。彼らは、コロイド粒子周囲の組成勾配によって、単成分流体と比較して、より広範囲に強い流れが生じ(図 1)、抵抗係数が大きくなることを示した。特に、相関長が短いとき、抵抗係数の補正は相関長には比例せず、その 6 乗に比例することが示された。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2013 年 8 月号に掲載された。

本研究で筆者らは、簡単のため幾つかの単純化や仮定をした。主なものは、(1)粘性係数が組成に依存しない、(2)コロイド粒子は電荷を持たず、流体は塩を含まない、(3)くりこみ効果が無視できる程度には臨界点から離れている、の三点である。現実の多くの系では無視できない(1)と(2)を考慮した計算は今後の課題である。これらの課題の解決は、コロイド粒子の拡散の制御といった応用にもつながるであろう。また(3)については、臨界点に近づくにつれて相関長は発散するので、抵抗係数への影響は大きいことが予想される。そのような状況を考慮した研究も今後の課題である。さらに、高分子溶液や液晶中のコロイド粒子、生体膜中のタンパク質の拡散など、濃度場や配向場などの環境におかれた粒子の動力学の諸問題は数多く存在する。このような複雑な系に関する研究の更なる発展が期待される。

## 原論文

[Drag Coefficient of a Rigid Spherical Particle in a Near-Critical Binary Fluid Mixture.](#)

[Ryuichi Okamoto, Youhei Fujitani, Shigeyuki Komura: J. Phys. Soc. Jpn. \*\*82\*\* \(2013\) 084003](#)

問合せ先：岡本隆一（京都大学福井謙一記念研究センター）

藤谷洋平（慶應義塾大学理工学部）

好村滋行（首都大学東京大学院理工学研究科）