

水中のコロイド粒子の底面近傍での拡散係数 Diffusion coefficient of colloidal particles near bottom

○早川 員也*、小林 幹佳**

Kazuya Hayakawa*, Motoyoshi Kobayashi**

1. 背景と目的

水処理の固液分離における深層ろ過操作や、土壌中のナノ粒子の輸送リスク評価においては、多孔質体を構成する充填材料表面へのコロイド粒子の衝突および沈着の機構を理解することが重要である。

衝突および沈着といったコロイド粒子の挙動は、粒子の沈降やブラウン運動、移流による輸送などにより支配される。この時、衝突および沈着の場となる壁面近傍では、粒子と壁面の間に物理化学的、ならびに流体力学的な相互作用が働くため、粒子の挙動は溶液中とは異なる。この壁面の影響は、球形粒子については実験的にも理論的にもその理解が進んでいる。しかし、ナノファイバーやナノプレートのような非球形な粒子についての研究は未だ十分ではない。その理由として、(1)非球形粒子の場合、粒子同士、または粒子と壁面との間の物理化学的、ならびに流体力学的な相互作用や、並進と回転のブラウン運動などを解析的に記述することが困難であること、(2)壁面近傍等の制限された領域で、同一の非球形粒子の挙動を再現性よく繰り返し観察することが困難であること、の2点があげられる。

そこで、レーザーの焦点上に粒子を捕捉することができる光ピンセットを援用し、壁面近傍で粒子を捕捉し移動させることで、上記の問題(2)を解決し、問題(1)の解決につながる定量的なデータを取得できるのではないかと考えた。本研究では、光ピンセットを援用し、壁面の影響の有無によるコロイド粒子の挙動の差異を定量的に明らかにすることを目的とする。

2. 試料

球形のコロイド粒子として直径 $1.0 \mu\text{m}$ ($\text{CV} = 0.03$) のシリカを購入した。平板状のコロイド粒子として層状ケイ酸塩であるアイラアイトを合成し、精製した。合成は岩崎ら^[1]の手法に従った。平板状粒子の形状は、透過型顕微鏡、ならびに原子間力顕微鏡による測定より、一辺が $3.1 \pm 1.0 \mu\text{m}$ のほぼ正方形であり、厚さが $106 \pm 35.8 \text{ nm}$ であった。また、平板状粒子の厚さは、粒子の底面の幅によらず 100 nm 程度のほぼ一定の値であった。

3. 実験方法

バルク中における観察では、まず、球形粒子または平板状粒子の水分散系を三軸ステージに置かれたフローセルに注入した。注入後、各粒子が十分に沈降し底面に達するまでセ

*筑波大学大学院 生命環境科学研究科 Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

**筑波大学 生命環境系 Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

キーワード：拡散, アイラアイト, 光ピンセット

ルを 20 分間静置した。静置後、光ピンセットを用いて粒子をセル底面で捕捉し、ステージを動かすことで各粒子を底面の影響が十分に少ないと考えられる底面からステージの目盛り上で 50 μm 離れた地点まで移動させた。拘束から解放後の各粒子のブラウン運動の様子を 2 秒間動画撮影した。その後、ImageJ による動画解析により各粒子の拡散係数を算出した。得られた拡散係数を各粒子のバルク中における拡散係数の実験値とし、それぞれ理論値と比較した。また、各粒子の拡散には粒子の面に対して平行方向の並進拡散、垂直方向の並進拡散、回転拡散が存在するが、今回の実験では、平行方向の並進拡散のみ観察、ならびに解析を行った。

底面近傍での観察では、バルク中と同様に、懸濁液をフローセルに注入後、粒子が十分に沈降するまで 20 分間静置した。その後、沈降した粒子の挙動を動画撮影した。撮影した動画について、ImageJ による動画解析を行うことで、底面近傍における、各粒子の底面に対して平行方向の並進拡散係数を算出した。同様の操作を分散媒の電解質濃度を変化させて行った。

4. 結果と考察

球形粒子の拡散係数の測定結果を Fig.1 に示す。バルク中における球形粒子の拡散係数は $4.53 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ となり、ストークス・アインシュタイン式による理論値 $4.50 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ との差は約 1 % であった。次に平板状粒子の拡散係数の測定結果を Fig.2 に示す。バルク中における平板状粒子の正方形面に対する平行方向の拡散係数は $0.95 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ であった。この値は、アイラアイト粒子の底面を正方形と見たとき、その底面の外接円を円板の底面とする円板状粒子の、平行方向の並進拡散係数の理論値 $1.06 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ と、誤差約 12% で一致した。

底面近傍における各粒子の拡散係数は、バルク中での値の約 6 割に低下した。これは、分散媒の粘性の影響により、底面と粒子の間に大きな速度変化が生じにくくなり、バルク中に比べブラウン運動が抑制されたためと考えられる。また、イオンの添加により沈降した両粒子の拡散係数は低下した。これはイオンの添加により底面と粒子間の電気的な斥力が減少し、粒子がより底面に近づいたことで、底面の影響がより顕著に現れたためと考えられる。

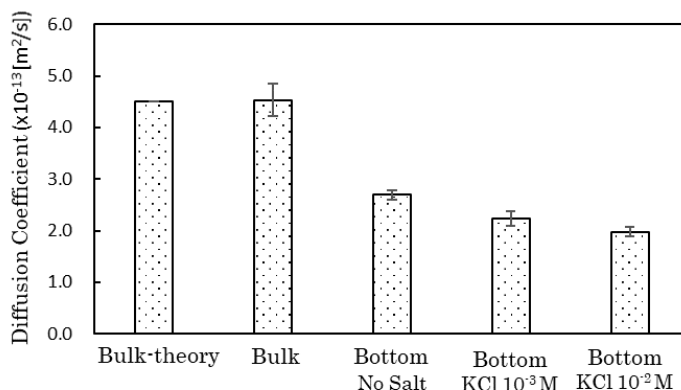


Fig.1 Diffusion coefficients of sphere particles

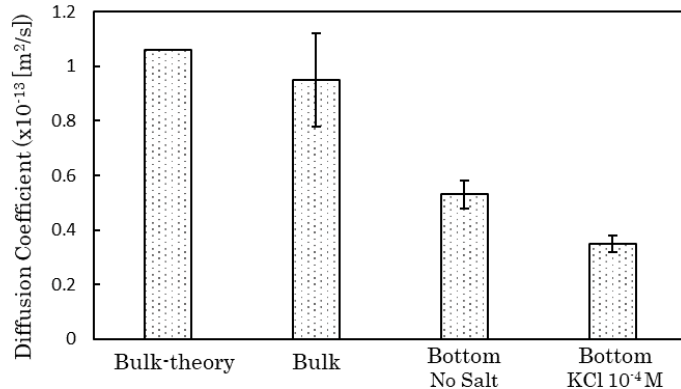


Fig.2 Diffusion coefficients of plate-like particles

- [1] T. Iwasaki, K. Murai, and S. Watano, “層状ポリケイ酸塩アイラアイトの水熱合成における結晶成長機構,” 粉体工学会誌, vol. 44, no. 6, pp. 434–440, 2007.