

ラテックス粒子の電気泳動：二価イオンの効果

Electrophoretic mobility of latex particles: Effect of divalent ions

○小林幹佳*, 佐々木章乃*

Motoyoshi KOBAYASHI, Ayano SASAKI

1. はじめに

水中のコロイド粒子の表面は帯電している。この系に外部から電場をかけると帯電の度合いに応じてコロイド粒子が動く。この現象を電気泳動という。電気泳動速度を測定することにより、コロイドの凝集分散や界面への物質の吸着挙動を決定する上で重要な表面電位や表面電荷の値を推定できるとされている。

これまでの多くの研究では、古典的なスモルコフスキーの式により電気泳動移動度からゼータ電位を推定し、その値を表面電位としていた。しかし実際には、コロイド粒子のまわりに存在する拡散電気二重層の緩和効果やすべり面の影響を受けるため、スモルコフスキーの式を使用することには問題があることも指摘されてきた。

近年、緩和効果を考慮した理論と拡散電気二重層理論を組み合わせる標準理論により、表面電荷が一定であるラテックス粒子の電気泳動移動度を記述できることが明らかになってきた。しかしながらこれまでの研究では、自然水のように複数のイオンが混合した状態での電気泳動移動度の解析は充分には行われていない。そこで本研究では、一価と二価の対イオンが混合した溶液中におけるラテックス粒子の電気泳動実験を行い、実験結果を標準理論によって解析する。

2. 実験

コロイド粒子として、球形で単分散の IDC 製サルフェイトラテックス（直径 $2.8\ \mu\text{m}$ ）を使用した。この粒子は強酸基を表面に持つため表面電荷密度は一定 ($-0.07\ \text{C/m}^2$) である。

一価の塩として KCl を、二価の塩として MgCl_2 を使用した。 KCl 溶液と MgCl_2 溶液を、混合比 $X (= \text{Mg}/\text{K})$ を変えて混合・調整し塩溶液とした。

測定では、まず、調整した塩溶液と純水およびラテックス懸濁液を混合し、シリンジを使ってディスポセルに注入する。ついで、ディスポセルを Zeta sizer-NANO zs (Malvern) にセットし電気泳動移動度を測定した。実験は 25°C で行った。

3. 理論解析

まず拡散電気二重層理論により、表面電荷密度から表面電位を求める。つぎに求めた表面電位と拡散電気二重層理論より、仮定されたすべり面 x_s での電位すなわちゼータ電位を求める。最後に求めたゼータ電位とスモルコフスキーの式により緩和効果を考慮しない場合の電気泳動移動度を計算する。複数のイオンが混合した溶液においては、緩和効果を考慮した電気泳動移動度を計算できる解析的な式は得られていない。本研究では計算プログラム“CellMobility”を使用して電気泳動移動度を算出した。

* 岩手大学農学部

* Faculty of Agriculture, Iwate University

キーワード：コロイド，ゼータ電位，表面電位，表面電荷密度，ラテックス，すべり面

Key words : Colloid, Zeta potential, Surface potential, Surface charge density, Latex, Slipping plane

4. 結果と考察

Fig.1 には混合比 $X=Mg/K=0.33$ の場合の電気泳動移動度(EPM)が電解質濃度に対してプロットされている。図中の記号は実験値であり、実線は緩和効果を考慮した計算値、破線は緩和効果を無視した計算値である。計算においてはすべり面の位置を $x_s=0nm$ すなわちゼータ電位と表面電位が等しいと仮定して計算した場合（細線）と、実験値と理論値が近づくように調節した x_s を用いて計算した場合（太線）とがある。様々な混合比 X に対して同様のグラフを得た。

Fig.1 の通り、EPM の実験値は極値を持ち、塩濃度が高いあるいは低い場合には EPM の絶対値は小さくなる。緩和効果を考慮した理論値は実験値と同様の傾向を示している。一方で緩和効果を無視した理論値では電解質濃度が低くなるにつれて EPM の絶対値は継続的に高くなっていき、緩和効果を考慮した理論とのずれが拡大していく。このことから電解質濃度が十分に低くなると拡散電気二重層が発達し、緩和効果により EPM の絶対値が低くなることわかる。

実験値ではすべての混合比において緩和効果が現れており、緩和効果を考慮した理論と同じ傾向を示している。しかし、緩和効果を考慮した理論値においても、 $x_s=0$ の場合には理論値と実験値にはずれが生じており、すべり面の導入が必要となる。すべり面を考慮した理論値と実験値の比較からすべり面までの距離は水和イオンのオーダーである $0\sim 0.25\text{ nm}$ の範囲にあると推定できた (Fig.2)。また、 Mg^{2+} イオンが多いほど、すべり面が厚くなる傾向が見られる (Fig.2)。これは二価の水和イオンのほうが粒子表面に強く引きつけられやすいため、流動性の低い層が厚く形成されたためと考えられる。

また、極値周辺の実験値の絶対値は理論値よりも小さい傾向がある (Fig.1)。これは Mg^{2+} イオンが実際には表面により強く引き寄せられるためと推測される。

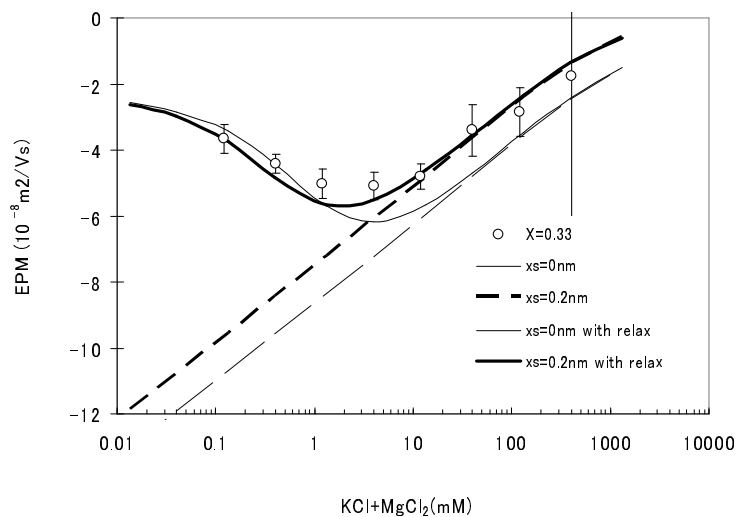


Fig.1 電気泳動移動度 (EPM) の塩濃度依存性. $X=0.33$.

5. まとめ

一価と二価の対イオンが混合した溶液中におけるラテックス粒子の電気泳動実験を行い、緩和効果を含む理論により、実験結果を解析した。緩和効果を考慮した理論値は実験値と同様の傾向を示した。しかし、理論値と実験値にはずれが生じており、すべり面の導入が必要であった。実験値と理論値の比較から、すべり面までの距離は $0\sim 0.25nm$ の範囲にあると推定できた。

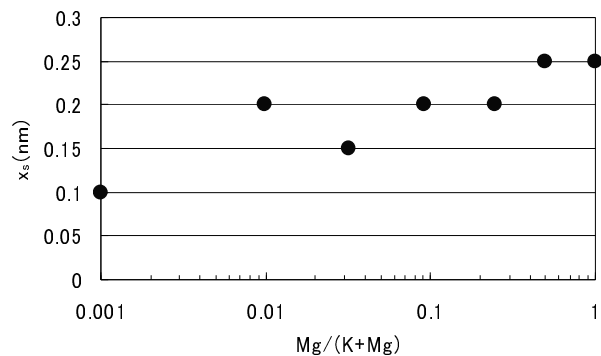


Fig.2 すべり面までの距離.