

異符号帯電コロイド粒子間のブラウンヘテロ凝集速度

Dynamics of Brownian Hetero-coagulation between Oppositely Charged Colloidal Particles

小林幹佳 (KOBAYSHI Motoyoshi) *, LIN Wei**, SKARBA Michal***, MU Changdao**
GALLETTO Paolo *** and BORKOVEC Michal ***

1. はじめに

土壌や水環境中の粘土や有機物といったコロイド粒子は、栄養塩や汚染物質のキャリアとして重要な役割を果たしている。コロイド粒子は環境条件に応じて互いに凝集・分散し、その輸送特性を変化させる。そのため、地域環境における物質移動を考える上では、環境条件に対応したコロイド粒子の凝集挙動を理解する必要がある。

通常、コロイド粒子の凝集分散挙動は、いわゆる DLVO 理論¹⁾ —帯電した粒子まわりの電気二重層に基づく相互作用力を記述する理論—によって説明される。しかしながら、この理論の定量的な妥当性の検討はまだまだ十分ではなく、理論の定量的な信頼性については疑問点も残されている。さらに、これまで DLVO 理論の妥当性を検討するために行われてきた凝集実験は、主に均一な粒子からなる分散系を対象としており、異なる性質を持つ粒子間のヘテロ凝集についての研究は少ない。

そこで本研究では、ヘテロ凝集過程の理解に向けて、異符号に帯電したコロイド粒子間の凝集に着目し、その凝集速度を pH、塩濃度を系統的に変化させて測定した。次いで、得られた実験結果を DLVO 理論によって解析し、その妥当性を検討した。

2. 方法^{2, 3)}

2. 1. 実験

実験には、単分散シリカ球 (日本触媒社製) を 800°C で熱処理した粒子 (直径 290nm, 以下 KEP30H) と、単分散 amidine latex 球 (IDC 社製, 直径 220nm, 以下 A220) を用いた。

各コロイド粒子の荷電特性を評価するため、レーザードップラー電気泳動法 (ZetaSizer2000, Malvern 社) により電気泳動移動度を測定した。

凝集速度は、レーザー (Verdi, Coherent 社) とゴニオメータ (CGS-8, ALV 社) を用いた静的動的同時光散乱法により評価した。測定した散乱光強度および流体力学的半径の経時変化から、KEP30H 粒子同士、A220 粒子同士のホモ凝集速度定数 k_{AA} , k_{BB} および KEP30H 粒子と A220 粒子とのヘテロ凝集速度定数 k_{AB} を求めた。

以上の実験は、pH、KCl 濃度を系統的に変化させて行った。その際、pH は HCl または KOH の添加により変化させた。実験に用いた溶液はすべて超純水 (Milli-Q, Millipore 社) から調整した。

2. 2. 解析

KEP30H 粒子の電気泳動移動度は、表面荷電密度を 1pK-Stern モデルにより計算し、それをもとに O'Brien-White の電気泳動モデルを用いて算出した。A220 粒子については、表面荷電密度を

* 岩手大学農学部 **四川大学 ***ジュネーブ大学コロイド界面化学研究室

* Faculty of Agric., Iwate Univ. ** Sichuan Univ. ***LCSC, Univ. of Geneva

キーワード: コロイド, ヘテロ凝集, シリカ, ラテックス, DLVO 理論

Key words : Colloid, Hetero-aggregation, Silica, Latex, DLVO theory

0.1C/m²として O'Brien-White モデルを適用した。

上記の実験と解析により評価された帯電挙動をもとに、DLVO 理論に基づいて、KEP30H 粒子と A220 粒子とのヘテロ凝集速度を表す安定度比 W_{AB} を算出した。ここで安定度比とは、電気二重層相互作用がない状態での凝集速度定数 k_{AB}^0 を相互作用がある状態での速度定数 k_{AB} で除したものであり、安定度比は凝集速度が速いほど小さくなる。

3. 結果と考察

図 1 の記号は電気泳動移動度の実験結果である。この図から KEP30H 粒子は pH に依存する負の表面荷電を有すること、A220 粒子は中性から酸性の領域でほぼ一定の正荷電を持つことがわかる。図中の実線は 2.2. で述べた理論モデルによる計算結果であり、計算においては、KEP30H 粒子の表面荷電特性を表す pK を 7.5、Stern 層のキャパシタンスを 2.9F/m²、荷電のサイト数密度を 8/nm² とした。A220 粒子については表面荷電密度を一定 (0.1C/m²) とし、Stern 層の存在は考慮しなかった。図 1 の通り、計算結果は実験結果を十分に表現できている。

図 2 には安定度比 W_{AB} の実験結果がプロットされている。塩濃度が低いほど W_{AB} は小さく、凝集が速いことが分かる。これは、塩濃度の低下に伴う電気二重層の厚さの増大が衝突半径の増加をもたらしたため、と考えられる。KEP30H 粒子の荷電量は pH により大きく変化するにも関わらず、 W_{AB} は顕著な pH 依存性を示さなかった。このことから、異符号に帯電している粒子間の凝集速度は粒子の荷電量にあまり影響を受けないことが分かった。また、DLVO 理論による計算値 (実線) は凝集挙動を十分に記述しており、DLVO 理論が妥当であることを検証することができた。

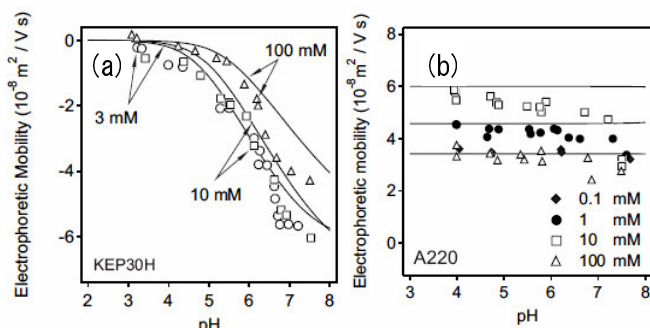


図 1 電気泳動移動度 (a)KEP30H, (b)A220.

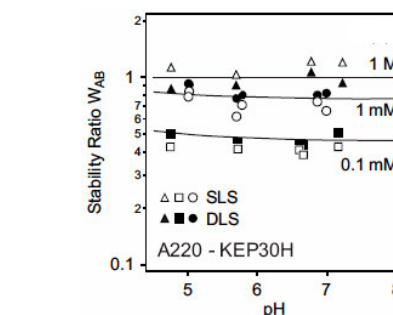


図 2 A220 粒子と KEP30H 粒子との安定度比

4. おわりに

異符号に帯電したコロイド粒子間の凝集速度を pH、塩濃度を系統的に変化させて測定し、得られた実験結果を DLVO 理論によって解析した。その結果 DLVO 理論がヘテロ凝集に対しても十分適用できることを確認した。

【謝辞】本研究の実施において、日本学術振興会海外特別研究員制度、岩手大学学長裁量経費および農業土木学会研究グループ助成金による支援を受けました。記して謝意を表します。

【引用文献】1)足立泰久, 岩田進午 (編) (2003): 土のコロイド現象, 学会出版センター. 2) W. Lin, M. Kobayashi, M. Skarba, C. Mu, P. Galletto, and M. Borkovec(2006): Heteroaggregation in Binary Mixtures of Oppositely Charged Colloidal Particles, Langmuir, 22, pp. 1038-1047. 3) M. Kobayashi, M. Skarba, P. Galletto, D. Cakara, and M. Borkovec (2005): Effects of Heat Treatment on the Aggregation and Charging of Stöber-type Silica, J. Colloid Interface Sci., 292, pp.139-147.