

# リゾチーム存在下におけるシリカの帯電および凝集挙動 Charging and Aggregation Behavior of Silica Particles in the Presence of Lysozyme

○ 黄 逸\*, 山口 敦史\*, 小林 幹佳\*\*

○ Yi Huang\*, Atsushi Yamaguchi\*, Motoyoshi Kobayashi\*\*

## 1. 研究の背景

濁水には粘土などのコロイド粒子が多く含まれている。コロイド粒子は電氣的反発力によりバラバラの分散状態を維持している。濁水の浄化においては、コロイドを凝集沈降させるために、粒子の総電荷を 0 にする必要がある。通常、懸濁液に正電荷を持つ凝集剤を添加すると、粒子が持つ負電荷が中和され、凝集沈降が発生する。しかし、実際にコロイドを凝集させる際には、濁質成分の濃度や多様性により、荷電中和を実現できる組成は経験的に決められている。よって、コロイド粒子の帯電と凝集に影響する要素を理解しておく必要がある。

本研究では、シリカ懸濁液にリゾチームを添加し、リゾチームとシリカの濃度比を変化させ、ゼータ電位と安定度比の変化を調べる。これにより、リゾチームとシリカ混合系における吸着、帯電機構と凝集挙動について考察する。

## 2. 試料と実験方法

### 2.1 実験試料

本研究では日本触媒より購入したシリカ粒子（シーホースター KE-P30, Lot No. 3A15）を用いた。粒径は  $302 \pm 20$  nm である。凝集剤として鶏卵白由来のリゾチーム（Sigma Aldrich, L6876-10G）を用いた。リゾチームは正に帯電する長球状のタンパク質であり、大きさは  $3 \times 3 \times 4.5$  nm である。分子量は 14.3 kDa である。

### 2.2 実験方法

電気泳動移動度測定実験において、KCl 濃度を 10 mM、リゾチームとシリカの濃度比を 0-0.024 に固定し、粒子濃度を 10、1、0.1 g/L に系統的に変化させ、懸濁液を調製した。HCl または KOH を用いて、pH を 5 または 7 に調整し、24 時間振盪攪拌し、リゾチームをシリカに吸着させた。その後、懸濁液を 20 分間、超音波分散させてから、懸濁液中のシリカ粒子の電気泳動移動度を Zetasizer NANO-ZS (Malvern) を用いて測定した。得られた電気泳動移動度からスモルコフスキーの式を用いてゼータ電位を求めた。

安定度比測定実験において、シリカ濃度を 0.1 g/L、KCl 濃度を 10 mM に固定し、リゾチームとシリカの質量比を系統的に変化させ、懸濁液を調製した。調製した直後から、HITACHI U-1800 型分光光度計により、凝集に伴う濁度の時間変化を測定し、相対的な凝集速度の逆数である安定度比を求めた。安定度比は pH 5 または 7 において求めた。

---

\*筑波大学大学院 生命環境科学研究科 University of Tsukuba, \*\*筑波大学 生命環境系 University of Tsukuba  
キーワード：コロイド・粘土、土壌の物理化学的性質

### 3. 結果と考察

ゼータ電位が粒子濃度による変化を図1に、ゼータ電位が pH による変化を図2に示す。横軸はリゾチームとシリカの質量比であり、縦軸はゼータ電位である。図1から、リゾチームとシリカの質量比が低い場合、シリカ濃度が異なっても、ゼータ電位は一致することがわかる。よってリゾチームの添加量が少ないとき、添加されたリゾチームはすべてシリカに吸着する考えられる。リゾチームの添加量が多くなると、ゼータ電位のずれが生じる。従って、リゾチームの添加量の増加に伴い、吸着できないリゾチームが生じる不完全吸着に変わると考えられる。これによって、粒子濃度の違いにより、ゼータ電位が異なる。図2から、pH 5の場合、pH 7の時に比べて等電点に達するために必要なリゾチームの量が少ないことがわかる。これはシリカとリゾチームの荷電量が変化したことが原因と考えられる。

安定度比の測定結果を図3に示す。安定度比は小さいほど凝集が速く、安定度比が1の線はリゾチームを添加しないときの最大初期凝集速度に相当する。各 pH における等電点を線で示すと、等電点の周辺に安定度比が最小になる急速凝集領域があることがわかる。このグラフより、等電点付近で凝集が起き、安定度比が1以下になることがわかった。従って、塩しか添加しない場合に比べ、リゾチームはシリカの凝集を促進する効果があることがわかった。pH 7の場合、急速凝集領域が狭くなっている。先行研究により、pH 7のとき、pH 5のときよりもリゾチームの吸着量が多いことが知られている。吸着量が少ない pH 5のとき、粒子表面にできる異種荷電のパッチと、別の粒子上の異符号に帯電するパッチ間との引力により凝集速度が上がり、急速凝集領域が広がったと考えられる。吸着量が多いとき、粒子表面に同種荷電層ができ、異種荷電間の引力の影響が弱まる。そのため、急速凝集領域が狭くなったと考えられる。

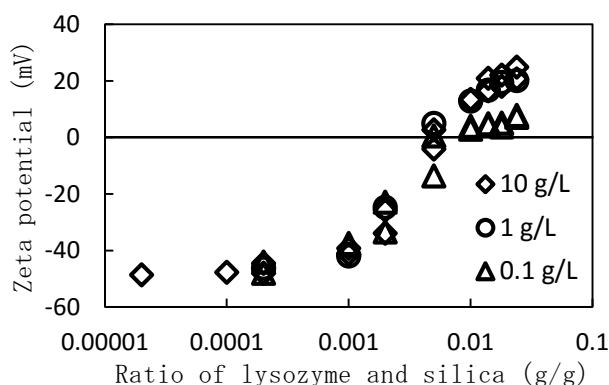


Fig.1 Zeta potential of silica against the ratio of lysozyme and silica (pH 7)

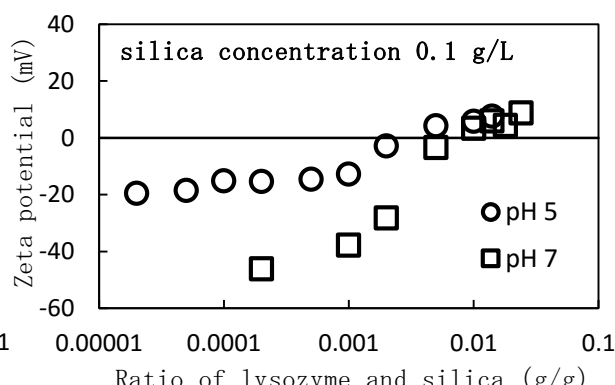


Fig.2 Zeta potential of silica against the ratio of lysozyme and silica

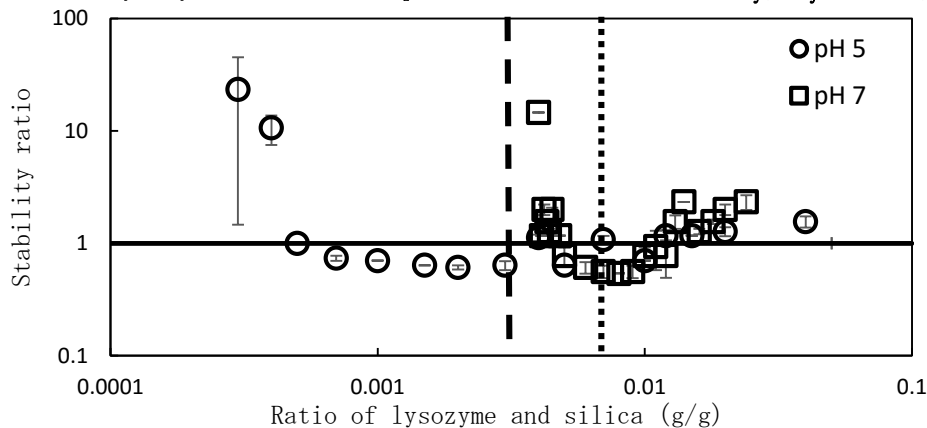


Fig.3 Stability ratio of silica against the ratio of lysozyme and silica