土壌コロイドの界面化学特性が表面流出に及ぼす影響
Effect of Soil Colloidal Properties on Surface Runoff

○山田健太*，小林幹佳*，藤巻晴行**
○Kenta YAMADA*, Motoyoshi KOBAYASHI* and Haruyuki FUJIMAKI**

1. はじめに

豪雨によって土壌表層にクラストが形成されると，土壌の透水性の低下に伴い，表面流出が起こる.これは,土壌の侵食や下流の貯水池への濁水流入による貯水量の低下を招く.したがって，土壌侵食の防止は持続的な農業や水資源の効率的な利用を図る上で重要な課題である．現在，クラストの形成は団粒の物理的分散と化学的分散によるものとされている．すなわち，前者は雨滴の衝撃による団粒の細粒化であり，後者は拡散電気二重層理論によって説明される，二重層の厚さの広がりによって発生する粒子間の静電的反発による分散である．Agassiら（1981）は降水の電解質濃度と土壌の交換性Na率を変化させて侵食実験を行い，電解質濃度が高いほど表面流出の発生が抑制されることを報告した．しかしながら，土壌コロイドの凝集分散に関係するζ電位，pHや電解質の濃度・種類が表面流出の発生に与える影響を詳細に研究した報告はない．そこで我々は，小型の人工降雨装置を用いて侵食実験を行い，土壌コロイド粒子の界面化学特性が表面流出特性に及ぼす影響を検討することを目的とした.

2. 実験の種類と方法

まず，土壌侵食が懸念されている鳥取マサ土を対象に界面化学特性の評価を行った．電解質濃度を系統的に変化させる溶液としてNaClと$CaCl_2$，pH調整剤としてHClとNaOHを準備した．土壌コロイドの荷電特性は電気泳動移動度を測定後，スモルコフスキーの式から算出して得られるζ電位から評価した．用いた懸濁液は，75 µm篩を通過した土粒子を用いて，土粒子濃度が5 g L^{-1}になるように，電解質の濃度・種類，pHを系統的に変化させて調製した．調製した懸濁液を10分間，超音波分散機にかけた後，20℃の恒温水槽に2時間静置させた．静置後，懸濁液上部のpHと懸濁粒子の電気泳動移動度を測定した．続いて，侵食実験に用いる降水溶液を決めるために，凝集沈降実験を行った．電気泳動移動度測定と同様の手順で土壌懸濁液を調製後，懸濁液上部の透過率，pHを測定した．侵食実験は，独自に作製した小型の人工降雨装置と土壌カラム（内径4.1 cm，高さ2.0 cm）を用いて行った（**Fig. 1**）．土壌カラムに2 mm篩を通過したマサ土を乾燥密度が1.25 g cm^{-3}になるように詰めた後，降水溶液で毛管飽和させた．その後，土壌表層より2.3 m上の位置から降水を与え，実験中に発生する表面流出水を10分毎に採水した.

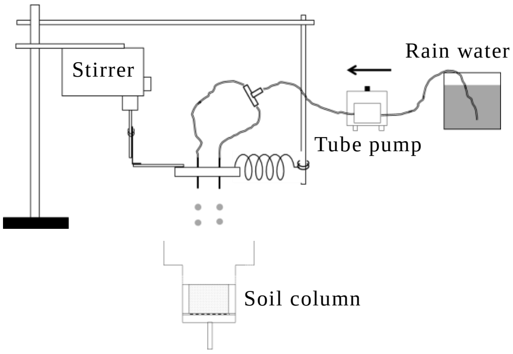

Fig.1　小型人工降水装置の概略図
Schematic representation of the experiment.

*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.*)
**鳥取大学 乾燥地研究センター (*Arid Land Research Center, Tottori University.*)

キーワード：コロイド・粘土，土壌侵食

3. 結果と考察

Fig. 2 にζ電位と pH の関係を示す．この図から，鳥取マサ土は負電荷を持つことがわかる．ζ電位の絶対値は，酸性側で 0 に近づく．これは，負に帯電した粒子表面に反対符号の H^+が吸着し，荷電中和したためと考えられる．荷電中和した粒子同士は，静電的反発力が低下し，ファンデルワールス引力により凝集する．また，10 mM NaCl より対イオンの価数の大きい 1 mM $CaCl_2$ の方が濃度が低いにも関わらず，ζ電位の絶対値は 0 に近いことが明らかとなった．**Fig. 3** に電解質濃度を変化させたときの懸濁液の透過率と pH の関係を示す．純水の透過率を 100%としたため，透過率が高いほど凝集沈降が促進され透明な上澄みが形成されたことを意味する．この図から，pH が低く，電解質濃度が高く，対イオンの価数が高いほど，凝集が促進されることが明らかとなった．また，100 mM NaCl，1 mM $CaCl_2$ は pH によらず透過率は一定であり，10 mM NaCl は pH<6，0.1 mM $CaCl_2$ は pH<7 で透過率は一定である．これらの濃度は土粒子間に静電的反発力の働かない急速凝集領域にあることを意味する．**Fig. 2** と **Fig. 3** より，鳥取マサ土の凝集分散挙動は古典的DLVO理論に定性的に従うことが明らかとなった．また，Na より Ca が強く吸着してゼータ電位の絶対値が下がることが推察される．

Fig. 4に侵食実験から得られた表面流出と降水時間の関係を示す．pHの影響として，凝集条件（純水，pH 4）より分散条件（pH 10）の方が表面流出の発生は早い．10 mM NaCl（pH 5.2-5.5）と1 mM $CaCl_2$（pH 5.0-6.1）はどちらも急速凝集領域であるにも関わらず，Na降水の方が降水開始から120分後の表面流出は高い．Kobayashi（2005）によると，Ca溶液で形成された土壌フロックの強度は，Na溶液で形成されたフロックの強度より約2.5倍高い．このことから，CaフロックよりNaフロックの方が雨滴の衝撃により分散しやすく，Caイオンが土粒子の結合強度を増強させることが推察される．

Fig. 5 にζ電位に対する侵食実験 120 分後の表面流出累積量を示す．この図から，ζ電位の絶対値の低下に伴って，表面流出の累積量も低下することが明らかとなった．この結果から，土壌コロイドのζ電位の絶対値の大きさによって，雨滴によって形成されるクラストの物理的な内部構造が異なることが推察される．

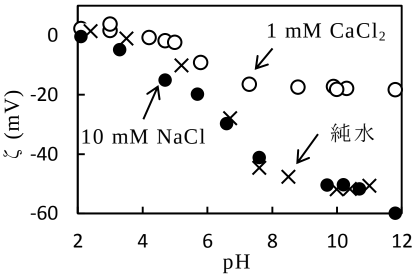

Fig.2 鳥取マサ土のζ電位と pH の関係．
The relationship between zeta potential and pH.

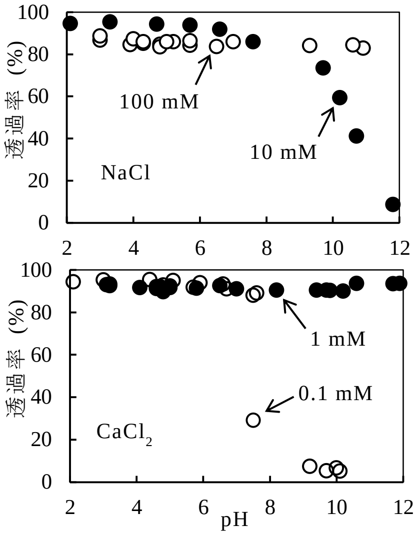

Fig.3 電解質濃度を変化させたときの透過率と pH の関係（上：NaCl，下：$CaCl_2$）．
The relationship between trancemittance and pH (upper: NaCl, lower: $CaCl_2$).

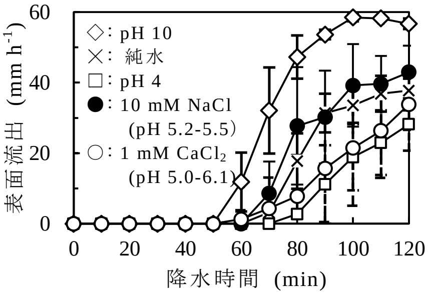

Fig.4 降水溶液の pH と電解質の種類を変化させたときの表面流出．
Effect of pH and electrolyte on runoff.

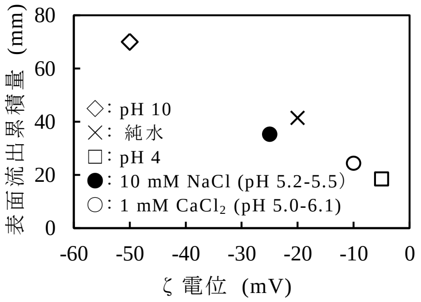

Fig.5 ζ電位と表面流出累積量の関係．
The relationship between cumulative runoff and zeta potential.

引用文献

Agassi, M., Shainberg, I. and Morin, J. (1981): Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. *Soil Science Society of America J.* **45**, 848-851.

Kobayashi, M. (2005): Strength of natural flocs. *Water Research*, **39**, 3273-3278.