

報 文

代掻き濁水の塩添加による凝集条件
— 代掻き濁水のカルシウム塩添加による凝集沈降浄化法(1) —

赤 江 剛 夫*

**Flocculation Condition of Puddled Suspension by Eleetrolyte Addition
— Clarification Method of Puddled Suspension
by Calcium Salt Addition (1) —**

Takeo AKAE

Division of Agriculture, Shiga Prefectural Junior College

Summary

The soil of the paddy field of Uso-river basin in Kotoh town, Shiga prefecture generates the very stable suspension when the paddy field is puddled. That causes a serious environment problem.

The author investigated the reason why the puddled suspension is so stable and contains so much suspended substances from the stand point of particle size distribution and dispersion-flocculation condition of the suspension. The two factors are considered to be the reasons. One is that this suspension is in a chemically dispersive condition. The other is that the soil increases clay size particles when it is mechanically disturbed.

In order to flocculate the dispersed puddled water, the chemical condition of flocculation was estimated using the hetero coagulation theory. In the calculation, the particles are supposed to be spherical, because the main clay mineral of the soil is Halloysite. The entimated flocculation condition was in good agreement with the experimental results. The Calcium ion concentration higher than 0.001mol/dm^3 was found to flocculate and clarify the suspension.

Key words : puddling, suspension, dispersion, flocculation, salt concentration, pH

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 64, 37-44, 1992)

I. はじめに

滋賀県の琵琶湖に流入する河川のいくつかでは、毎年の水田の代掻き時に濁水が発生して、これが河川、琵琶湖に流出し、水系を汚濁させる問題が生じている。濁水によって運ばれる栄養塩類が湖の富栄養化に悪影響を及ぼすことに加えて、濁水が漁業資源に与える影響が心配され、大きな問題となっている。この現象は圃場整備が完了して排水系統が完備してから、以前よりも顕著になったという指摘もあり、緊急な対応を求められている。

これに対し、昭和56年の濁水発生防止対策調査開始以来、代掻き時用水量の削減と排水量の削減、浅水代掻きの励行などの用水管理、営農上の対策や、畦畔浸透の防

止工、暗渠の利用、排水路への反復利用施設の設置などの対策も講じられているが、いまだに決定的な効果は上がっておらず、さらなる検討が必要とされている。

濁水流出防止の対策としては、第1に圃場で濁水を生じさせない発生源対策、第2に圃場から排水路へ流出させない対策、第3には流出した濁水を河川に出さずに回収する対策が考えられる。発生源対策として、ポリ塩化アルミニウムや合成凝集剤を用いた凝集法がいくつか検討され、その効果も確かめられているが¹⁾、魚毒性の問題が指摘されたものもあり²⁾、実用上問題が残されている。そこで、土壌中には普遍的に存在し、量的にも多く、土壌改良などにも用いられていて安全性が高いCa塩を利用して土粒子を凝集沈降させることが可能かどうかを検討することにした。

そのために本報では、まず濁水排出水田地区の土壌でなぜ濁水発生が問題となるのか、その原因を土壌の基礎

*滋賀県立短期大学農業部 〒525 草津市西渋川2丁目8-4

キーワード：代掻き、濁水、分散、凝集、塩濃度、pH

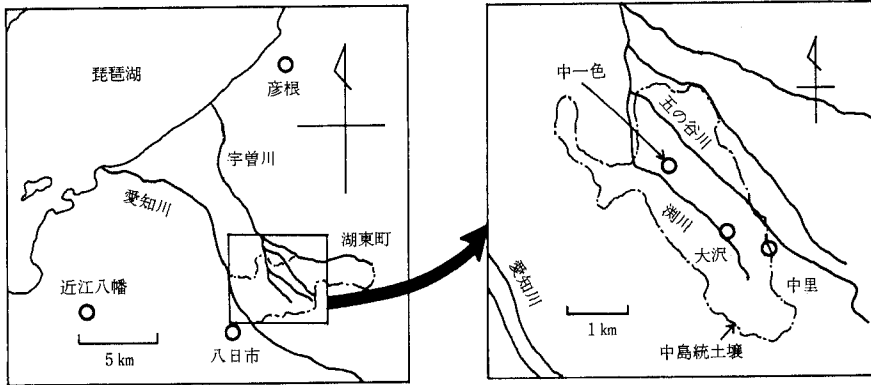


図-1 宇曾川水系と採土地点

Fig. 1 Uso-river basin and soil sampling point

表-1 土壌の基礎的性質

土 壤 名	真比重	土性	pH (H ₂ O)	陽イオン交換容量 (meq/100 g)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数
短大農場土	2.515	L	6.6	—	43.0	22.5	20.5
中一色表土	2.574	LiC	6.2	11.0	48.0	25.9	22.1
大沢下層土	2.675	LiC	6.9	12.1	49.2	25.4	23.8
中里表土	2.511	L	6.5	—	46.4	23.9	22.5

的性質および土粒子の分散・凝集の観点から明らかにする。続いて、Ca 塩を添加して代掻き濁水を凝集沈降させるにはどのような条件を作り出せばよいかを、理論的に推定するとともに、凝集沈降実験で凝集が実際に生じる条件を確かめる。

II. 採土地点と土壌の基礎的性質

1. 採土地点

最近の調査結果によると、滋賀県湖東地域の宇曾川水系で濁水問題がもっとも深刻である。中でも最も排水路の濁度の高いのは、五の谷川と湖川に接する湖東町西部地域(図-1)であった³⁾。

土地分類基本調査は、五の谷川と湖川を抱くようにして、斑紋を有する強粘質な細粒質褐色低地土である中島統土壤がおおっていることを示している(図-1)。この土壤帯よりも上流山間部では濁度が低いのに、ここに入ると濁度が著しく増大することからみても、中島統土壤は濁水発生の鍵となる土壤の一つであると考えられる。採土を行った中一色と大沢はいずれも中島統土壤に属する。

当地区では約10年前に圃場整備が終わり、用排水系統

が完備している。その後濁水発生対策として反復利用施設も設置されている。

この地域の下層土は、黄褐色を呈し、強く乱されなければ速やかに沈降する土壤であるが、圃場整備工事中に著しく分散し濁水を発生した例が、聞き取り結果から分かっている。場所によっては圃場整備の中で下層土が表土に混層され、表土が下層土の影響を受けている圃場も存在する。そこで、湖川流域の大沢地先で得た下層土についても検討した。

一方、滋賀県立短大農場土では、代掻き後比較的すみやかに粒子の沈降が進み、田面水は2、3日の内に澄んで濁水の流出はほとんど生じない。濁水排水田土壌との違いを調べるために、滋賀県立短大農場土を、対照として採取した。

2. 土壌の基礎的性質

採土した土壌の真比重、陽イオン交換容量(CEC)、pH、コンシステンシーを表-1に示す。

中一色表土、大沢下層土のX線回析結果は、ハロイサイト(7 Å)を主とし、これに少量のクロライト、カオリナイト、石英が含まれていることを示した。

また、五の谷川、湖川流域に属し、中島統土壤の上流側境界に位置する湖東町中里地区の水田表土および下層

土のX線回析結果も、主要粘土鉱物はハロイサイト(7 Å)であり、これにクロライトと雲母型粘土を少量含んでいる。中里土壤は、大沢、中一色土壤と比べやや黒色が強く粗粒であるが、やはり分散して濁水が発生し、乾燥すると非常に硬く固結する共通の性質をもつ。コンシステンシー指数も互いに類似している(表-1)。中島統土壤が類似した物理的特徴をもつのは、共通の主要粘土鉱物をもつためであろう。

III. 実験方法

1. 粒度試験

土壤粒子が静的に安定した分散状態を示すには、熱運動によって沈降が妨げられるような粘土あるいはコロイド粒径が存在すること、これらの粒子間に凝集を起こすような粒子間結合が生じないことの2つが条件となる。濁水発生の一の原因を成す微細粒径の分布状況を知るために、試料の粒径分布を比重計法により測定した。

この際、分散処理の程度を3段階に変えて、それが粒径分布に与える影響を調べた。試料の分散法として、①分散剤を加えずに、JIS比重計法で指定された攪拌機による攪拌分散を1分間行っただけのもの、②分散剤としてよく用いられるヘキサメタリン酸ナトリウム(HMP)を加え、攪拌機による分散を1分間行ったもの、③HMPを加えて攪拌機による分散を1分間行った後、さらに超音波分散器で3分間分散させたものの3種を採用した。

現地では、奨励されている水田ハローによる1回代掻きおよび慣行のロータリーによる荒代掻きと本代掻きの2回代掻きの両方が行われている。土壤の機械的分散の程度は、代掻き法によってかなり異なる。粒度試験での分散法と代掻き法との対応は明かではないが、強い代掻きが分散を促進することはこの地域の農家にとってもよく知られた事実である。②と③の処理は、化学的な分散を受けた土壤がさらに強度の機械的分散処理を受けて最も分散した時、すなわち最も危険な条件の時に、細粒分がどの程度存在しえるか潜在的な可能性を調べるものである。

2. ゼータ電位の測定

粒子の表面電荷のpH依存性を調べるために、顕微鏡電気泳動法で粒子のゼータ電位を測定した。分散している2 μm以下の微細粒径分をとって約0.002重量%の希薄な懸濁液を作成し、NaOHまたはHClでpHを調整した。測定は20°Cの恒温室で行った。

泳動セル中の粒子の泳動速度はセル内に生じる媒質の浸透流動にも影響されるので、その影響のない上部静止

帯と下部静止帯の2点での測定の平均値を泳動速度とする方法が一般に得られている。しかし、セル内の流速分布は非対象である場合がほとんどであり、2点の平均では不十分な場合が多い。そこで、非対象の流速分布にも適用できるとされている方法⁴⁾を採用した。理論的計算から、セル中の深さと泳動速度の間には2次式が成立することが知られていて、その係数から真の泳動速度が計算できる。そこで、泳動セル中10%毎の9点の各深さにおいて粒子速度を測定した。正極性で5個、反極性で5個の計10個の粒子速度を測定し、これら10個の平均値をその深さでの泳動速度とした。各深さで測定した9点の平均泳動速度と相対深さの関係に、最小自乗法で2次関数をあてはめて係数を定め、この係数から真の泳動速度を算定した。

粒子径が拡散2重層の広がり領域に比べて大きいので、泳動速度からゼータ電位の計算にはスモルコフスキーの式を適用した。

3. 塩添加による凝集沈降実験

粘土粒径分が多くても粒子間に結合が生じれば凝集沈降させることができる。陽イオンを添加した時、粒子間結合の発生によって生じる凝集沈降の状態を観察し、凝集を生じさせるための平衡外液濃度を求めた。

1価イオン系としてNaCl、2価イオン系としてCaCl₂を計量して蒸留水に溶解し、0.0001 mol/dm³から1.0 mol/dm³の10段階の塩濃度溶液を準備した。秤量した風乾土7.5gをこれらの各種塩溶液中300ml中に懸濁させ、重量濃度約2.5%の懸濁液を作り、超音波分散器で3分間分散した。機械的分散の程度は使用機械や回数など代掻き法によって異なるのであるが、強度の代掻きによって機械的分散が促進された最も危険な場合にも有効な凝集条件を求めるために、超音波処理した試料を用いた。

300ccの懸濁液から25ccを分取し、分取した懸濁液にHCl、NaOHまたはCa(OH)₂を加えてpHを4から10ま

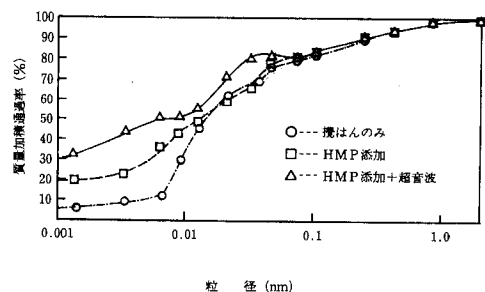


図-2a 粒径分布曲線(a)中一色表土

Fig. 2a Particle size distribution. (Top soil of Na-kaissiki)

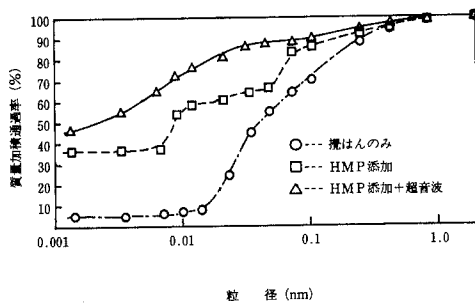


図-2b 粒径分布曲線(b)大沢下層土

Fig. 2b Particle size distribution. (Sub soil of Osawa)

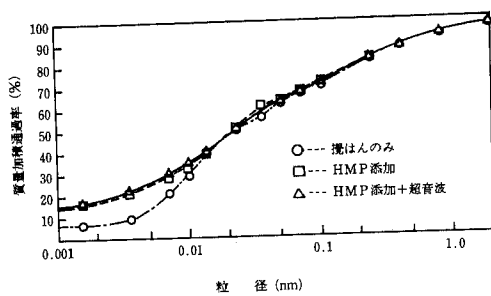


図-2c 粒径分布曲線(c)短大農場表土

Fig. 2c Particle size distribution. (Top soil of Shiga Junior College Experimental farm)

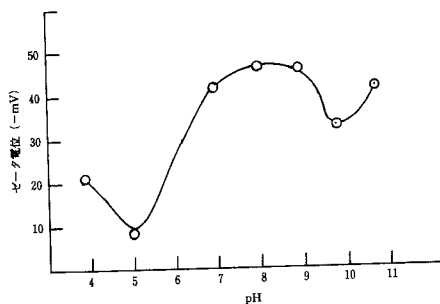


図-3 ゼータ電位のpHによる変化 (中一色表土)

Fig. 3 Dependence of Zeta potential on pH.

で変化させた。この懸濁液を試験管中に移して $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 中の恒温室に静置し、24時間、48または72時間後の分散凝集状態を観察した。懸濁液のpHをガラス電極で、NaおよびCaイオン濃度をイオン電極または原子吸光法で測定した。



図-4 球状ハロイサイトの電顕写真(庄子貞雄氏)(文献(8)p. 177より引用)

Fig. 4 Electron micrography of Halloysite. (Cited from Yamane et al. literature 8) p. 177)

IV. 実験結果と考察

1. 粒径分布

図-2に粒径分析試験の結果を示す。

短大農場表土は、分散剤を加えると幾分細粒化するけれども、さらに超音波で機械的に強度の分散処理をすることによってほとんど変化がなかった。

中一色表土は、化学的分散剤を加え、そのうえに機械的な分散をあたえることでかなり細粒径が増大している。2 μm 以下の粘土分は、短大農場表土で約15%であるのに対し、化学的、機械的分散を受けた中一色表土では約34%も存在しており、中一色表土は濃厚な濁水が発生する可能性をもつ土壤である。現地の代掻き水中にどの程度の粘土分が存在するかは、代掻きの強度や分散機能をもつ肥料の存在とも関係するが、念入りな代掻きをすれば、土壤が分散して濁水が発生し、乾燥時には堅く固結することは経験的に知られている事実である。

下層土では分散処理の程度によって、粒径分布にもっと大きい違いが認められた。攪拌機による分散処理だけを行った場合、0.05mm以上が58%を占め、0.01mm以下は5%である。この分散法では、振とう静置後約15分にはほぼ透明の上澄みを生じた。ところが、分散剤HMPを加えると著しく分散し、2 μm 以下の粘土分が36%まで増大した。この時の粒径分布は中一色表土とほぼ同じである。これに超音波で機械的な分散を加えると粒子はさ

らに細粒化し、粘土分は46%まで増大した。この時の土性はほぼ重塩土(HC)に近い。下層土は単に弱い機械的分散を受けても粗大粒子が破壊されず、短時間で沈降することから濁水発生に関しては安全な土壌であると考えられがちである。しかし、化学的に分散条件にある時、機械的分散を受けると粗大粒子が破壊されて細粒化し、粘土分が著しく増大する可能性を持っており、潜在的には濁水の原因となり得る土壌である。

以上のように、この地区の水田土壌は表土、下層土とも、化学的に分散条件にある時、機械的な分散作用を受けると、粗大集合粒子が破壊して細粒子分が増大する特性を持っている。したがって濁水発生防止の観点からは、土壌が化学的に分散条件にあるときには、できるだけ機械的な刺激を加えないような配慮をする必要がある。

2. ゼータ電位とpHの関係

図-3に中一色表土のゼータ電位とpHの関係を示す。pH7以上では $-40 \sim -45$ mVの値であるが、pHが7以下になるとかなりの低下を示し、pH5で最小の -10 mVとなった。このような傾向はカオリナイトの測定結果と類似しており、この土壌にpH依存性の荷電が存在することを示している。pH7以下でゼータ電位が低下するのは、粒子の全体としての負荷電量が減少していることを意味している。pH5付近で最低値を示したことから、この付近が等電点に近いと推定される。

3. 分散と凝集が生じる条件

(1) 凝集条件の理論的推定

粘土粒子間の結合の発生は、粒子表面の電位と対イオンの種類と濃度で決まる電気的反発力とファンデルワールス引力のバランスで説明される。このような考え方で粒子間結合の存在を予測でき⁶⁾。その結果は板状粒子のベントナイトの分散凝集試験の結果をよく説明することができた⁶⁾⁷⁾。こうした考え方で、分散が問題になっている中一色表土の凝集条件を推定してみる。

この地区の土壌の主要粘土鉱物であるメタハロイサイトは、1対1型であり、ケイ酸4面体層の底面を外側に向けて湾曲して重なり合い、キャベツ球状あるいは管状を呈することが電子顕微鏡観察の結果認められている(図-4)。ここでは、粒子を解析的に近似解が得られている球形と仮定して考察を進める。

ヘテロ凝集理論によると、半径 a_1 で表面電位 ψ_{s1} の球と、半径 a_2 で表面電位 ψ_{s2} である球が $2h_0$ の粒子間距離にある時、静電的相互作用のポテンシャルエネルギー $-V_R$ は、それぞれの粒子の表面電位が低く、電気2重層の厚さが粒子径に比較して小さい仮定のもとで、(1)式のように表される⁹⁾。

$$V_R = \frac{\epsilon a_1 a_2 (\psi_{s1}^2 + \psi_{s2}^2)}{4(a_1 + a_2)} \left[\frac{2\psi_{s1}\psi_{s2}}{(\psi_{s1}^2 + \psi_{s2}^2)} \cdot \ln \left\{ \frac{1 + \exp(-2xh_0)}{1 - \exp(-2xh_0)} \right\} + \ln \{ 1 - \exp(-4xh_0) \} \right] \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{ただし、} x^2 = 8 \pi n z^2 e^2 / \epsilon k T \quad \dots\dots(2)$$

ここで n ：イオン濃度(イオン数/cm³)、 z ：イオンの価数、 e ：電子の電荷、 ϵ ：媒質の誘電定数(=80)、 k ：ボルツマン定数、 T ：絶対温度(293K)である。

また、球粒子間のファンデルワールス引力のエネルギー $-V_A$ は、粒子半径が粒子間距離に比較して大きい時、(3)式で表せる¹⁰⁾。

$$V_A = -a_1 a_2 \times A / \{(a_1 + a_2) 12 h_0\} \quad \dots\dots(3)$$

ここでは、 A ：ハマカー定数は雲母の実測値である 2.2×10^{-20} jを用いた。

したがって全相互作用エネルギー $-V$ は $V = V_R + V_A \quad \dots\dots(4)$

以上の計算には粒子表面の電位が必要である。粒子の荷電には、同型置換による永久荷電とpH依存性の荷電がある。このうち粒子の永久荷電表面間が相互作用するときの表面電位は、粒子の表面荷電密度、対イオンの種類と濃度で決まり、これは拡散2重層理論をもとに計算できる⁶⁾。一方、電位決定イオンによって決まるpH依存性荷電による電位は、次のネルンスト式で計算する。

$$\psi = 2.302 \times (kT/e) \cdot (pH - pH_0) \quad \dots\dots(5)$$

ここでpH：溶液中pH、 pH_0 ：等電点pHである。

顕微鏡電気泳動法によるゼータ電位の測定結果から、

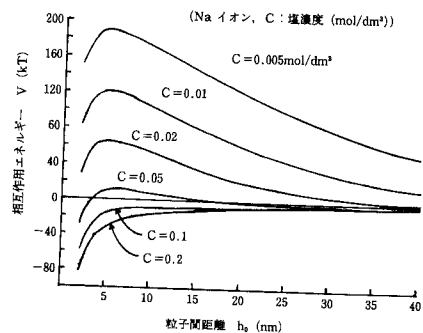
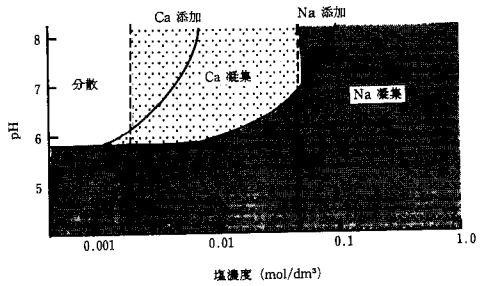
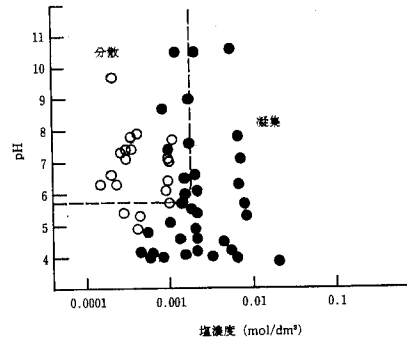


図-5 各塩濃度における相互作用エネルギーと粒子間距離(永久荷電粒子間)

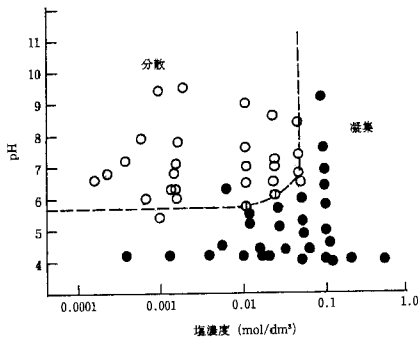
Fig. 5 Interaction energy and interparticle distance at different salt concentrations. (between permanent charges)



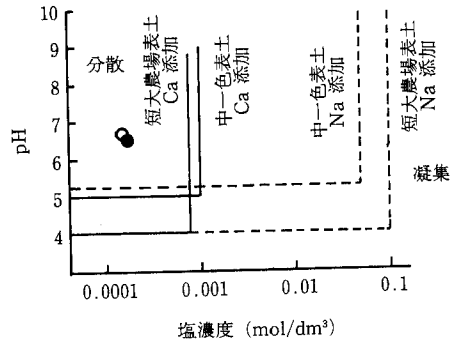
図—6 メタハロイサイトの限界凝集条件 (実線：永久荷電粒子間, 破線：永久電荷-pH依存荷電間)
 Fig. 6 Critical coagulation condition of Halloysite. (Solid line : between permanent charges. Broken line : between permanent charge and pH dependent charge)



図—7b Ca イオンを添加した中一色表土の分散凝集領域 (○：分散, ●：凝集, ⊙：緩速凝集, 破線：推定結果)
 Fig. 7b Dispersion-Flocculation condition of Nakaisiki top soil by Ca ion addition. (○ : dispersed, ● : flocculated, ⊙ : slow Flocculation, Broken line : calculated)



図—7a Na イオンを添加した中一色表土の分散凝集領域 (○：分散, ●：凝集, ⊙：緩速凝集, 破線：推定結果)
 Fig. 7a Dispersion-Flocculation condition of Nakaisiki top soil by Na ion addition. (○ : dispersed, ● : flocculated, ⊙ : slow Flocculation, Broken line : calculated)



図—8 中一色表土と短大農場表土の分散凝集領域 (実線：Ca 添加, 破線：Na 添加) 蒸留水懸濁液 ●：中一色表土 ○：短大農場表土
 Fig. 8 Dispersion-Flocculation condition of Nakaisiki top soil and Shiga J. C. Exper. farm top soil. (soild line : Ca addition Broken line : Na addition. Suspended by distilled water ● : Nakaisiki top soil. ○ : Shiga J. C. Exper. farm top soil)

中一色表土の等電点 (pH_0) は pH_5 に近いと考えられ、ここでの計算では $pH_0 = 5$ とした。

陽イオン交換容量は実測結果の $11.0 \text{ meq}/100 \text{ g}$ を用いた。これはハロイサイトの文献値 $5 \sim 15 \text{ me}/100 \text{ g}^{11}$, $10 \sim 40 \text{ me}/100 \text{ g}^{12}$ に一致している。粒子径や比表面積についても、粘土鉱物の種類によってほぼ決まった固有の値を取るの、実測値のないこれらの量については、文献より得た値を用いる。主要粘土鉱物であるハロイサイト粒子の比表面積として、 $60 \sim 160 \text{ m}^2/\text{g}^{12}$, 粒子径として $0.02 \mu\text{m}^{13}$, $0.05 \sim 1 \mu\text{m}^{12}$ とかなり幅をもった値が与えられているが、比表面積として $116 \text{ m}^2/\text{g}$ を、粒径には 0.02

μm^{13} を採用した。ここでの試算で採用した比表面積は報告された値の中間的な値であり、妥当な値であると考ええる。

等粒径同志 ($a_1 = a_2$) の凝集では (2), (3) 式における粒径関係項の形から分かるように、 V_A, V_R もも粒径に比例し、したがって V も粒径に比例する。このことは、急速凝集

($V=0$)の限界濃度は、粒径にかかわらず一定であることを意味し、同時に粒径が小さいほどの V の絶対値は小さく、凝集が生じ易いことを示している。これに対し、粒径が異なる粒子同志の場合は、 V は $a_1 \cdot a_2 / (a_1 + a_2)$ に比例するので、小さい方の粒子同志の値に近い値となる。したがって、凝集においては小さい粒子の存在の効果が大きいので、小粒径粒子に着目して考察すべきであらう。ハロサイトの粒径分布¹⁴⁾を考慮して、存在し得る小さい粒径に着目して検討するのが、ここでの目的にかなうと考える。

このような数値を適用して、CaとNaイオンについて塩濃度とpHを変化させた時の粒子の表面電位を計算し、粒子間の相互作用エネルギーを求めた。粒子間相互作用の種類としては、永久荷電表面同志の間の相互作用と永久荷電表面とpH依存性荷電表面間の2種類を考え、それぞれについて計算した。

拡散2重層の広がり方が粒子に比べて小さく、表面電位が低い条件で線形近似を行って導かれた(1)式は、表面電位60mV以下、 $ka > 5$ の時、良い近似値を与えるときとされている¹⁵⁾。計算の中で求めた表面電位のうちでこの条件が厳密に満足されるのは、Ca系では0.005mol/l以上、Na系では0.1mol/l以上の塩濃度の場合であった。これ以下の濃度では、 V の計算に近似による誤差が含まれよう。しかし、1:1型0.01mol/l電解質濃度で表面電位がそれぞれ46.1mV、102.4mVの時の線形近似による影響を評価した例では、 V のピークの値が約6%低くなることと示されている¹⁶⁾。凝集条件での表面電位は、Caイオンで約-70mV、Naイオンで約-85mVであったことから、凝集条件を求める目的のためには、線形近似による誤差はそれぞれ大きくなく、利用に耐える程度であると考えられる。

図-5はNaイオン系の永久荷電粒子間距離と相互作用エネルギーの計算結果である。通常、ポテンシャルエネルギー曲線のピークの高さが15kT以上の時、コロイドは安定であるとされている¹⁷⁾ので、 V が15kTを越える時、この結合は存在しないものと判定する。ピークが無い場合および15kT以下の場合には、その結合が生じるものと判定する。急速凝集と緩速凝集の速度定数の比である安定度比は、近似的には V の指数関数的で増大するとされており、15kTの障壁があると、 $V=0$ の場合の $e^{-15} = 3.0 \times 10^{-7}$ 倍の速度定数となる。 $V=0$ の急速凝集が1秒で終了すると仮定すると $V=15kT$ の場合には約38日かかることになる。

図-6は、塩濃度-pH表面上のどの条件で結合が生じて凝集し、どの条件で結合が生じずに分散するかその境界となる条件を示したものである。図中の破線は永久荷

電同志の凝集限界条件を、実線はpH依存荷電と永久荷電間の限界凝集条件を表している。推定結果によると、Naイオン添加で凝集を生じせるには、平衡外液をpH5.5以下にするかあるいは塩濃度を0.04mol/dm³以上にすればよい、Caイオンを添加した場合には、pHは同じく5.5以下であるが、塩濃度はNaよりも1オーダー小さい0.002mol/dm³以上にすれば凝集すると推定されている。

(2) 凝集試験による凝集条件の推定結果図-7は、中一色表土の凝集試験において、どのような平衡外液条件で分散または凝集沈降が観察されたかを、塩濃度-pH平面上に示したものである。図中、○印は分散沈降を生じたことを示し、●印は比較的急な凝集沈降を生じたことを示す。①印は、ほとんど凝集沈降するがわずかに分散している粒子も認められた緩速凝集状態を示している。

図-5によると分散と凝集がそれぞれ生じる領域はpH-塩濃度平面上で明確に区別して存在することが分かる。すなわち、中一色表土はNaを添加した時、pH5以下およびNa濃度0.1mol/dm³以上で凝集する。Caを添加した時は、pH5以下あるいはCa濃度0.001mol/dm³以上の領域で凝集した。図中の破線は理論的に推定した分散と凝集の境界を示したものである。推定した凝集領域は実験的に調べた凝集領域とNa、Ca添加のいずれもよく一致していると言える。したがって、ここで推定に用いた定数と考え方の枠組みは、当地区の土壌の凝集現象の説明に有効であると考えられる。

また、短大農場表土は、添加イオンがNaの場合、0.2mol/dm³以下で分散し、Ca添加では、0.002mol/dm³以下で分散した。pHについては明確な境界は中一色表土ほど認められなかったが、pH4以下の酸性で分散することはない。大沢下層土はNa添加では0.005mol/dm³以下かつpH7以上で分散した。Caを添加した時は、 10^{-6} mol/dm³の低濃度でわずかに分散が認められる程度で、ほとんどの条件で凝集した。

図-8は中一色表土と短大農場土の実測した凝集限界条件を示したものである。このように、中一色表土の分散領域が、短大農場土と比べ特に広いわけではなく、分散条件の領域そのものはほとんど変わらない。図中には、それぞれの土壌に蒸留水を加えて2.5%重量濃度懸濁液を作成した時の溶液中Ca濃度とpHをプロットしている。中一色表土懸濁液のCa濃度0.0002mol/dm³、pH6.6であり、このままでは分散条件にある。また短大農場土もほとんど同じ位置にプロットされている。したがって、現状ではいずれの土壌も分散条件にあって分散する可能性を持っている。

しかし、中一色表土には、分散処理を変えた粒度試験結果で示されたように、化学的な分散条件のもとで、機

機械的な分散作用が加わることによって微細粒子が著しく増大し、最悪の場合30%にまで達するという特徴がある。これは短大農場土には見られない中一色土壌の特徴である。現地で採取した代掻き水も蒸留水添加懸濁液とほぼ同じpH、Caイオン濃度を示したことから、中一色土壌は代掻き時には、化学的には分散条件にあることは確かである。これに代掻き作業による機械的分散が加えられて、微細粒子が増大し、濃厚で安定な濁水を発生するものと考えられる。

機械的分散をできるだけ小さくする代掻き法を採用することで、濁水の発生量を軽減することはできようが、濁水発生防止のためには、化学的な凝集条件を作り出すことがさらに根本的な方法である。それには、平衡外液のpHを低下させるかCa濃度を上昇させることが考えられる。現実には、pHを低下させることについては魚毒性や土壤養分の溶出などの問題が生じる可能性がある。したがって、Ca濃度を現在の約0.0002mol/dm³から0.001mol/dm³まで増加させる方法が安全で実用的な濁水発生防止策となろう。

V. 摘 要

滋賀県湖東町宇曾川流域の水田で発生する代掻き濁水の原因を、土壌の粒径組成と分散凝集条件から検討した。その結果、当地区では代掻き時に土壤溶液が分散を生じる条件に置かれて、これに代掻きによる機械的な分散が加わって微細粒径分が著しく増大するために、濃厚な濁水が発生するものと推定できた。粘土鉱物はハロイサイトと推定できたので、球状粒子へのテロ凝集理論を適用して凝集条件を推定した。推定結果は凝集試験で求めた凝集条件とよく一致した。Ca濃度を0.001mol/dm³以上にすれば凝集沈降による濁水の浄化が可能であることが分かった。

謝 辞

彦根県事務所土地改良課、中澤宏係長には、過去の濁水に関する調査資料を提供していただき、採土圃場の手配など便宜をはかっていただいた。滋賀県農業試験場環境部、大橋恭一係長からは、大沢下層土とその基礎的データを、(株)大林組技術研究所、川地武氏には粘土鉱物の同定結果を提供していただいた。滋賀県立短期大学学生、真本紀子さん、平野重久君、鶴田泰伸君、岩崎昌之君に

は実験に当たってご協力いただいた。記して謝意を表します。

引用文献

- 1) 滋賀県農業試験場：昭和56年度試験研究成績概要 p. 191 (1982)
- 2) 藤原公一、凝集沈澱 EB-a 145および PAC のニゴロブナ、ホンモロコおよびアユに対する毒性、滋賀県水産試験場研究報告, 99, pp. 54-59 (1987)
- 3) 滋賀県農林部：平成2年度農業排水対策事業実績書, pp. 6-8 (1991)
- 4) 森裕行・原 剛・麻生欣次郎：顕微鏡電気泳動法による鉱物粒子のゼータ電位測定、浮選, 27(4), pp. 171-178 (1980)
- 5) 赤江剛夫：粘土・水系に存在する粒子間結合様式の推定法—ベントナイト・水系の分散・凝集と流動特性(i)—, 農業土木学会論文集133, pp. 37-42 (1988)
- 6) 赤江剛夫：添加塩濃度がベントナイト・水系の分散・凝集および流動特性に及ぼす影響—ベントナイト・水系の分散・凝集と流動特性(ii)—, 農業土木学会論文集133, pp. 43-49 (1988)
- 7) 赤江剛夫：pH変化がベントナイト・水系の分散・凝集および流動特性に及ぼす影響—ベントナイト・水系の分散・凝集と流動特性(iii)—, 農業土木学会論文集133, pp. 51-56 (1988)
- 8) 山根一郎、松井健、入沢周作、岡崎正規、細野衛：図説日本の土壌, p. 177, 朝倉書店 (1978)
- 9) 北原文雄・渡辺昌編：界面電気現象, p. 73, 共立出版 (1972)
- 10) 8) と同じ: p. 81
- 11) 日本化学会編：季刊化学総説No 4, 1989, 土の化学, p. 51, 学会出版センター (1989)
- 12) 岩田進午、前田隆：土の物理化学と土質工学への応用 2. 粘土鉱物と土粒子の物理化学的性質, 土と基礎33(4), pp. 80-87 (1985)
- 13) 日本粘土学会編：粘土ハンドブック第2版, p. 132, 技報堂出版 (1987)
- 14) 須藤談話会編：土をみつめる, p. 54, 三共出版 (1986)
- 15) 8) と同じ, p. 73
- 16) 8) と同じ, pp. 71-72
- 17) 8) と同じ, p. 55

(受理年月日1991年9月4日)