

農地保全の研究

第41号

令和4年3月1日

(公社) 農業農村工学会 農地保全研究部会

巻 頭 言

令和 2 年度および 3 年度の農地保全研究部会の活動について

農地保全研究部会は、「農地保全に関する基礎的な研究と応用に関する総合的な研究を行うことにより、農業農村工学分野の学術・技術の振興と社会の発展に寄与すること」を目的として活動を行っています。これまでの活動は年 1 回、テーマを決めて連日実施してきた研究集会と現地研修会、これらの集会の資料および部会規約等を取りまとめた部会誌の発行、および総会を基本としておりました。昭和 54（1979）年 7 月に農地保全研究部会が発足、その後第 1 回研究集会が昭和 55（1980）年に滋賀県草津市において「農地保全と水食」をテーマに開催され、以降、中山間地域、農地の多面的機能、農村景観形成、農村空間、自然災害、東日本大震災、持続的農業、農業農村整備の在り方等と農地保全に関わる多くのテーマが取り上げられ、令和元年 12 月に節目である第 40 回研究集会が沖縄県石垣市で開催されました。

しかしご存じの通り令和 2（2019）年の年末より新型コロナウイルス（COVIT-19）の感染が拡大し、全国的、世界的に対面での“集会”の実施が困難となりました。農地保全研究部会に関しても農業農村工学会や他の研究部会の活動状況を勘案して、令和 2 年度の研究集会および現地研修会を中止することと致しました。当初は新型コロナウイルスへの対応方法が分からず、また感染拡大の予想すらできない状況であったとは言え、これまで毎年途絶えることのなかった部会活動が実施できなかったことを部会長として深くお詫び致します。

その一方で、実際に集まらなくても会議が可能となるオンライン会議が急速に社会に浸透してきました。農業農村工学会全国大会も令和 2、3 年度の 2 年連続でオンラインでの開催となるなど、学会や集会でのオンラインツール利用も広がって、会員の皆様も日々当然のように業務で使用されているかと思います。このような状況の中、農地保全研究部会では新たな活動として、全国大会における研究集会と、学生や院生、若手技術者による研究発表会を計画することとしました。研究集会については、令和 2 年度も土壌物理研究部会との共催で全国大会の企画セッションを実施させて頂いたのですが、令和 3 年度は農地保全研究部会単独で、「農地保全研究の最前線」というテーマの企画セッションを開催致しました。企画セッションでは 3 名の研究者の方から農地保全の核となる、土壌侵食（水食、風食）および土壌の塩類化について最新の研究成果をご紹介頂きました。今後も研究集会では大会講演会の企画セッションを利用して、様々な研究をご紹介頂く場をご提供できればと考えています。また、研究発表会については、令和 3 年 12 月にオ

ンライン会議（zoom）で開催し、4 大学から院生 3 名、学生 6 名の方に現在進めている研究に関してご講演を頂きました。聴講者にとって各大学での現在進行中の研究内容を知る機会となったとともに、参加した学生、院生にとっても他大学、研究機関、行政の方から意見を聞くことができる大変貴重な機会になりました。今後は行政や民間の若手技術者にもご講演を頂ければとも考えています。なお、現地研修会についても、関係各所との情報交換を進め、新型コロナウイルス感染拡大の状況から実施が可能と判断できましたら、皆様にもご連絡を差し上げたいと思います。

引き続き、新型コロナウイルス、社会情勢をみながら、部会運営について、できるだけ皆様にとって有意義なものとなるように検討を進めたいと考えております。いくつかの事業については見切り発車な部分があり、配慮の不十分な点多々あるかと存じます。お気付きの点が御座いましたら、遠慮なく事務局までご連絡ください。現在、部会運営についてご相談させて頂いているワーキンググループの先生方、および前事務局より引き続きお引き受け頂いた中野拓治副部会長はじめ琉球大学の先生方に多大なご尽力を頂き、今年度の活動を実施することができました。末尾になりましたが、ここに記して感謝の意を表します。

令和 4 年 2 月

公益社団法人 農業農村工学会

農地保全研究部会

部会長 藤川 智紀

目 次

【令和3年度 研究集会】

2021 年度（第 70 回）農業農村工学会大会講演会 「農地保全研究の最前線」	・・・1
講演 1 水食における土壌の受食性の制御に向けたコロイド化学の援用 山口 敦史 （宇都宮大学）	・・・2
講演 2 農地保全を目的とした風食の発生メカニズムの解明 鈴木 純 （信州大学）	・・・20
講演 3 塩類の管理と利用による塩類土壌の順応的な管理・保全に向けた研究 久米 崇 （愛媛大学）	・・・40

【令和3年度 研究発表会】

令和3年度 農地保全研究部会研究発表会について	・・・55
講演 1 群馬県嬬恋村のキャベツ畑における土壌侵食および吾妻川流域における 土砂流出の解析 池田 将隆 （宇都宮大学）	・・・58
講演 2 沈砂池堆積土の農地還元に伴う土壌受食性の変化 金敷 奈穂 （宇都宮大学）	・・・60
講演 3 島嶼環境の斜面補強工頭部分における腐食と防錆油変色 仲宗根 祥太 （琉球大学）	・・・61
講演 4 島尻マージ土における油分浄化と含水比・通気量の関係 饒波 圭吾 （琉球大学）	・・・62
講演 5 地下ダム建設と地域農業の状況 近藤 陸 （琉球大学）	・・・63
講演 6 地質の異なる地すべりにおける土中水の降雨応答 末吉 一輝 （琉球大学）	・・・64
講演 7 多良間島における地下水取水および降雨に伴う塩淡水境界の変化 島袋 大輝（琉球大学）	・・・65
講演 8 藤沢市における耕作放棄地の現状と農地活用に関する研究 濱崎 将伍 （日本大学）	・・・66
講演 6 簡易濃度計を用いた農地土壌における温室効果ガスの測定 池田 和幸 （東京農業大学）	・・・67

農地保全研究部会「農地保全の研究」あゆみ
農業農村工学会 農地保全研究部会運営要領
農地保全研究部会誌「農地保全の研究」投稿の手引き
令和３年度 農地保全研究部会構成員

2021 年度（第 70 回）

農業農村工学会大会講演会

T-6 企画セッション 6

「農地保全研究の最前線」

○ 水食における土壌の受食性の制御に向けたコロイド化学の援用

宇都宮大学 山口敦史

○ 農地保全を目的とした風食の発生メカニズムの解明

信州大学 鈴木 純

○ 塩類の管理と利用による塩類土壌の順応的な管理・保全に向けた研究

愛媛大学 久米 崇

コロイド化学を援用した水食における土壌の受食性の制御の試み

山口 敦史*

*宇都宮大学大学院 地域創生科学研究科

1. はじめに

降雨や流水の働きによって土壌が削り取られる水食は、肥沃な表層土壌を流し去ることで地力の低下や下流域での水質汚染を引き起こす。そのため、水食抑制対策を講じることが土壌保全に直結する。著者は侵食シミュレーションや土壌改良技術の高度化を通じた水食の抑制を目的として、土壌の受食性に関する研究を行っている。とくに、土粒子の凝集分散が土壌の受食性に影響することに着目して、コロイド化学を援用した研究を展開している。水食の研究にコロイド化学的な視点を取り入れるようになった背景には、博士課程までコロイド化学の基礎的な研究に従事してきた経験がある。本稿では第 70 回農業農村工学会大会講演会の企画セッションにおける講演内容をもとにして、著者が現在行っている土壌の受食性に関する研究と、そのような研究を着想するに至った経緯を、博士課程までの研究を振り返りつつ紹介する。

2. 水・土壌環境中のコロイドと博士課程までの研究内容

水・土壌環境中には粘土鉱物や鉄酸化物、腐植物質などに代表されるコロイド画分が無数に存在する。コロイド粒子の大きさは数 nm から数 μm であり、土壌の粒度区分では粘土からシルトの細粒分にあたる。コロイド粒子は比表面積が大きく表面に荷電を有するゆえに、栄養塩や汚染物質などを吸着したまま環境中を移動する。そのため、コロイド粒子の移動はそれ自体が物質の移動であるだけでなく化学物質の移動を伴う。このとき、コロイドの移動過程における土砂の剥離や巻き上げ、目詰まりなどは、土粒子間の相互作用に大きく影響される (Fig. 1)。加えて、環境中のコロイドは単一で存在することは稀であり、複数のコロイドからなる有機・無機複合体を形成して存在している。したがって、複数のコロイドからなる複合体間の相互作用とその移動特性を明らかにすることは、水・土壌環境中の物質の運命予測につながる。

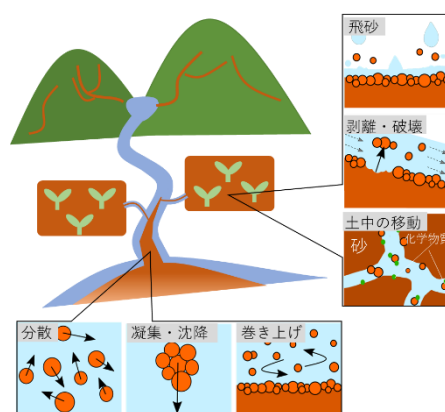


Fig. 1 環境中のコロイドが関わる現象

このような背景のもと、博士課程においては、大きさも荷電の符号も異なる二種類のコロイドからなるヘテロな懸濁液中における粒子間相互作用と懸濁液の降伏挙動に関する研究を行った。具体的には、無機コロイドと土壌有機物のモデル系として、負に帯電したコロイドシリカと正に帯電したタンパク質であるリゾチームの混合懸濁液における粒子間相互作用や降伏挙動に関する研究を行った。シリカとリゾチームの混合系では、互いに異符号に帯電しているため、小さなリゾチームが大きなシリカに吸着し表面の性質を変化させることで、シリカ粒子間の相互作用ひいては懸濁液の降伏値が変化する。このときシリカ

粒子間の相互作用はリゾチームとシリカそれぞれの性質、およびリゾチーム吸着後のシリカ粒子表面の性質に支配される。したがって、シリカ粒子間の相互作用のメカニズムを明らかにするためには、帯電挙動を含む各粒子の性質、リゾチームの吸着と吸着後のシリカ表面の性質および粒子間の相互作用を調べ、互いの関係性を検討する必要がある。これを行ったのが博士課程までの研究である。

以上のように博士課程までは、水・土壌環境中の物質移動の予測の高度化に貢献するべく、土壌コロイドのモデル系を用いた基礎的な研究に従事した。博士課程修了を控えて、日本学術振興会特別研究員 PD として新たな研究の題材を選択するにあたり、コロイド化学の基礎的な知見を生かしてより現実の問題に則した研究を行おうと思い立ち、土砂の剥離や凝集体の破壊過程を有する水食の研究を行うに至った。現在は、侵食シミュレーションモデルに生かせる形で土壌の受食性と土粒子間の相互作用を結び付けるため、コロイド化学の技術を取り入れた系統的な実験を行っている。以下では、現在の研究の背景と具体的な研究例を紹介する。

3. 水食シミュレーションにおける土壌の受食性

水食では土粒子や凝集体が土壌から剥離・飛散し、表面流よってに輸送される。水食量を決める要因は多岐に渡り、降雨量や気温などの気象条件、傾斜や畝の存在などの地形条件、粒度や乾燥密度などの土壌条件、耕耘の有無や栽培作物種などの営農・管理条件などが含まれる。これらの条件は地域や季節ごとに大きく異なることから、適切な水食抑制対策は対象とする場所・時期ごとに異なる。このような場合、実験的な手法のみで最適な侵食抑制対策を見出すことは難しく、侵食シミュレーションモデルを用いて各条件ごとの水食量と水食抑制対策の効果を予測・評価し、適切な対策を講じることが有効である。

国内で最も適用例の多い侵食モデルは 1978 年にアメリカの Wischmeier と Smith らによって提案された USLE (Universal Soil Loss Equation, Wischmeier et al., 1978) である。USLE は式(1)によって表現される経験式を用いて年間の土壌侵食量を評価する。

$$A = R \times K \times LS \times P \times C \quad (1)$$

ここで、 A は年間の土壌侵食量、 R は降雨係数、 K は土壌係数、 LS は地形係数、 P は保全係数、 C は作物管理係数である。各係数は、USLE を適用する圃場の降雨や地形の条件に加えて、圃場試験やノモグラフ、事前に設定された代表値のいずれかを用いて決められる。各係数の標準的な決定方法が存在することと併せて、各パラメータの設定が容易な点が USLE の大きなメリットである。一方で USLE の課題としては、各係数は経験的に決められるため必ずしも物理的なプロセスを反映していない点、一降雨ごとの侵食量への適用例こそあるものの基本的には年間の侵食量を推定するモデルである点、土砂の流れを表現できず流域レベルでの侵食量の予測は困難な点などが上げられる。これらの課題は、流域規模で新しい侵食抑制対策を検討する際には不利に働く。

USLE にみられるような経験的な侵食モデルの課題を克服すべく、より物理的なプロセスに則して一降雨かつ流域規模で侵食量が予測可能な侵食シミュレーションモデルが提案されている。その中でも、国内で適用例があるものとして WEPP (Water Erosion Prediction Project, Nearing et al., 1989) が挙げられる。WEPP は 1980 年代にアメリカの農務省が発表

し、1995年に斜面・流域モデルを含む形で公開されたプロセスベースの土壌侵食・土砂流出解析モデルである。ここでは、気象、作物・営農管理、地形、土壌データを入力すると、作物の生育や土壌の乾燥密度などの各種パラメータが日毎に計算され、表面流出量や侵食量が出力される。WEPPでは、日毎の侵食量を物理的なプロセスに基づいて予測できることから、侵食抑制対策の評価が可能である。例えば、町田ら(2020)は、WEPPを用いて沖縄県のサトウキビ圃場における水食量への栽培条件や地形条件の影響を検討している。

WEPPにおいて、水食は、流水の掃流力によって小流路で起こるリル侵食と、小流路間の地表面上で起こり雨滴の衝撃や表面流の掃流力が主因となるインターリル侵食に分けられる。リル侵食とインターリル侵食による侵食量はそれぞれ式(2)と式(3)を用いて計算される。

$$D_c = K_r(\tau - \tau_{cr}) \quad (2)$$

$$D_i = K_{ir} \times I_e \times \sigma_{ir} \times CK_{isl} \quad (3)$$

ここで、 D_c は剥離容量、 K_r はリル受食係数、 τ は流水の掃流力、 τ_{cr} は限界掃流力である。また、 D_i はインターリル侵食量、 K_{ir} はインターリル受食係数、 I_e は有効降雨強度、 σ_{ir} はインターリル流量、 CK_{isl} は勾配の効果を表す係数である。インターリル侵食では、インターリル流量 σ_{ir} の代わりに有効降雨強度 I_e を重ねる場合もある。式(2)と式(3)から読み取れるように、土壌の受食性は K_r 、 τ_{cr} 、 K_{ir} の三つの受食性パラメータによって表現され、圃場試験や室内試験により与えられる。また、実験的な手法は少なくない労力に加えて降雨装置などの設備を必要とするため、より簡単に測定できるパラメータから各受食性パラメータを推測する手法がしばしば用いられる。その具体例として、WEPPでは粒度と有機物含有量から受食性パラメータを算出する経験的な推定式が与えられており容易に使用できる。ただし、この推定式は、式の作成に用いられたアメリカの土壌以外への適用性が未知なことや、理論的な背景が乏しく水質や土壌の物理化学性などを反映できていないことなどの課題が残る。したがって、受食性に関わる土壌の性質を抽出し、より侵食の物理的なプロセスに依拠した経験式や理論モデルを構築することで、地域や土壌の管理手法によらず簡便に精度の高い侵食量の予測が可能になると考えられる。

4. 土壌の受食性と凝集分散挙動

受食性に関わる土壌の性質として土壌のコロイド特性が挙げられる。これまで土壌のコロイド特性に着目した水食抑制の研究に、土壌の交換性ナトリウム率や雨滴の電気伝導度の影響を検討した研究(Agassi et al., 1994)や、ポリアクリルアミド(PAM)と石膏を添加した際の影響を調べた研究(Nishimura et al., 2005)がある。これらの研究では、粒度や有機物含有量が大きく変化していないにも関わらず、適切な条件のもとでは侵食が抑制された。これは、Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek(DLVO)理論で予測されるようにイオン強度の増加によって拡散電気二重層が圧縮されたこと、土壌と雨滴のイオン組成が変化したこと、アルミニウム化合物やPAMが土粒子間を架橋したことにより、土粒子間の引力が増加し、雨滴の衝撃や流水の掃流力に対する耐性が向上したためであると考えられる。したがってこれらの実験結果は、土粒子間の相互作用が受食性と密接に関係していること

を示している．このように土壌のコロイド特性を利用した水食抑制対策が検討されてきた一方で，土粒子間の相互作用を既存のシミュレーションモデルに適用可能な形で受食性と結び付けた研究は不足している．そこで，土粒子間の相互作用を WEPP におけるリル受食係数と関連付けることで，土壌のコロイド特性を侵食シミュレーションモデルへ応用することを目指した研究を行ったので，ここで紹介する．

5. リル侵食における土壌の受食性と土粒子間の相互作用

リル侵食における土壌の受食性は，単位掃流力だけ増加した際の剥離容量の増分にあたるリル受食係数 K_r と，侵食が起こるのに必要な最小の掃流力にあたる限界掃流力 τ_{cr} を用いて表現される（式(2)）．このうち，限界掃流力と土壌のせん断強度の間に比例関係があることが報告されている(Léonard and Richard, 2004)．一方で，リル受食係数とせん断強度の間には明確な関係性は見出されていない．この理由として，多くの既往研究では土壌の種類や乾燥密度の異なる条件で行った実験結果を比較しており，せん断強度が必ずしも粒子間相互作用を代表していないことが考えられた．そこで，沖縄県石垣市のサトウキビ圃場から採取した島尻マージに，カチオン性高分子電解質であるポリジアリルジメチルアンモニウムクロライド（PDADMAC, $M_w < 100,000$ ）を添加することで，土壌の種類や乾燥密度を変化させることなく，土粒子間の相互作用を系統的に変化させながらせん断強度とリル受食係数の関係を調べた．加えて，島尻マージと PDADMAC の混合懸濁液を用いて電気泳動移動度および透過率を測定することで，島尻マージの凝集分散挙動と相互作用のメカニズムについて検討した．

島尻マージと PDADMAC の混合懸濁液の透過率測定後の様子を **Fig. 2** に示す（透過率および電気泳動移動度のデータはスライド 17 に表示）．写真から PDADMAC と島尻マージの質量比が $0.0020 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 付近で最も凝集沈殿が進行していることが分かる．懸濁液の凝集沈殿の様子と電気泳動移動度の測定結果から，はじめ中性付近で負に帯電した島尻マージは静電的な反発力により分散し，正に帯電した PDADMAC が吸着し荷電中和が起こることで引力が支配的になり凝集し，さらに PDADMAC の添加量が増加することで荷電反転し反発力が働くようになるため分散するものと考えられる．したがって，PDADMAC 存在下における島尻マージの凝集分散挙動は，DLVO 理論で予測されるように静電的な反発力に支配されるものと考えられる．ここで，本研究で PDADMAC の添加量ではなく質量比を用いているのは，質量比が等しい条件であれば島尻マージが同様の表面を有すると考

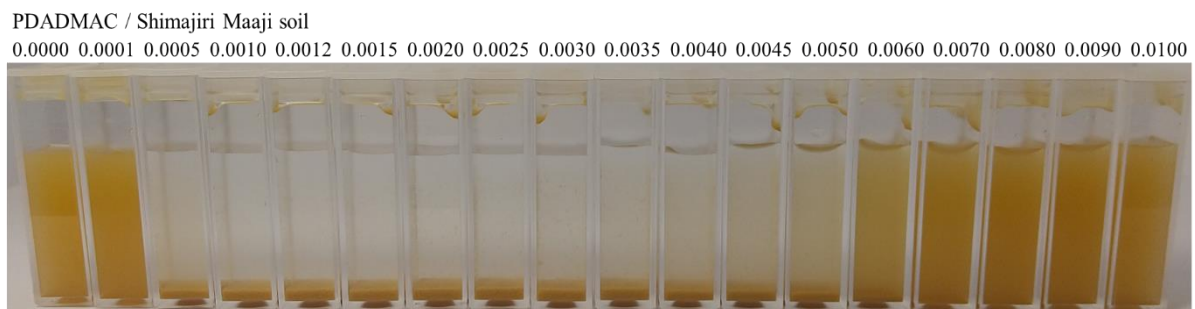


Fig. 2 透過率測定用の PDADMAC・島尻マージ混合懸濁液の様子．転倒攪拌後 10 分後に撮影した．懸濁液上部の数字は PDADMAC と島尻マージの質量比を表す．

えられるためである．これにより，透過率とせん断強度のように，島尻マーゼの濃度（または乾燥密度）が異なる条件で行った実験であっても比較検討することが可能である．

電気泳動移動度と透過率において荷電反転が確認された PDADMAC と島尻マーゼの質量比が $0.0000\text{--}0.0040\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ の範囲で，リル侵食実験およびせん断強度測定を行った．この質量比の範囲では，せん断強度は PDADMAC の添加量が増加するのにしたがって増加した（スライド 18, および 19）．また，荷電反転し透過率が減少した質量比 $0.0040\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ であっても，せん断強度は減少しなかった．これは，PDADMAC が吸着したことで静電的な反発力が減少したことに加えて，ひとつの PDADMAC が複数の土粒子にまたがって吸着する架橋作用に代表される非 DLVO 力が働いたためだと考えられる．

リル受食係数とせん断強度の関係を Fig. 3 に示す．せん断強度の増加に伴ってリル受食係数が減少した．これは，土粒子間の引力が増加することで，掃流力が増加したとしても土粒子が剥離せず耐えられるようになったためだと考えられ，土粒子間の相互作用がリル受食係数を決める重要な要素の一つであることを示している．また，リル受食係数をせん断強度の一次関数として近似した直線は，決定係数が 0.96 と大きいことから，妥当な近似であると言える．

既往研究において異なる土壌を用いた際にはせん断強度の大きさがリル侵食量の大小と一致しないことが報告されている (Govers and Loch, 1993)．このことから，本研究で得られたリル受食係数とせん断強度の関係は，PDADMAC を添加することで，粒度や乾燥密度を変えずに，土粒子間の相互作用を効果的かつ系統的に変化させたことで得られた結果であると言える．せん断強度測定はリル侵食実験に比べて簡便かつ屋外でも行えることから，本研究の成果は，土壌改良材の侵食抑制効果を効率的に評価することに使用できるのではないかと考えている．

6. おわりに

一見関係性の見えにくいコロイド化学と水食であっても，微視的な視点で見ると土粒子の相互作用がかかわる剥離や飛砂などの現象を通して密接に関連している．そこで本稿で紹介した研究では，土粒子間の相互作用をリル受食係数と結びつけることで，侵食シミュレーションへの応用につなげた．このように，コロイド化学の知見や技術を応用した実験および理論的な考察を行い，土壌保全にかかわる分野で用いられる適切なパラメータやモデルと結びつけることで，土壌保全技術のさらなる発展に寄与できるものと期待している．

謝辞：宇都宮大学の大澤和敏教授には，日本学術振興会特別研究員 PD の受入研究者として，研究の場を整え様々な助言を頂きました．厚く御礼申し上げます．本稿で紹介した著

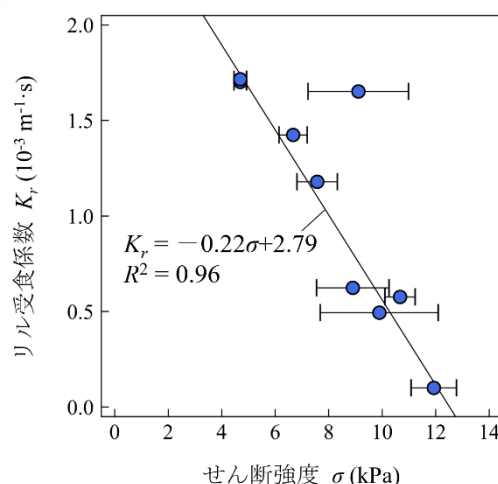


Fig. 3 リル受食係数とせん断強度の関係．エラーバーは 5-7 回の測定の標準偏差を表す．

者の研究は日本学術振興会より援助（KAKENHI 17J00332, 20J00757）を受けて実施いたしました。

引用文献

- Agassi, M., Bloem, D., Ben-Hur, M. (1994): Effect of drop energy and soil and water chemistry on infiltration and erosion, *Water Resour. Res.*, 30, 1187–1193. <https://doi.org/10.1029/93WR02880>
- Govers, G., Loch, R.J. (1993): Effects of initial water content and soil mechanical strength on the runoff erosion resistance of clay soils, *Aust. J. Soil Res*, 31, 549–566.
<https://doi.org/10.1071/SR9930549>
- Léonard, J., Richard, G. (2004): Estimation of runoff critical shear stress for soil erosion from soil shear strength, *Catena*, 57, 233–249. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2003.11.007>
- Machida, G., Osawa, K., Matsui, H. (2020): Soil erosion analysis by WEPP model at sugarcane fields in Okinawa, *J. Japan Soc. Civ. Eng. Ser. G (Environmental Res.)*, 76, I_327-I_334.
https://doi.org/10.2208/jscejer.76.5_I_327
- Nearing, M.A., Foster, M.A., Lane, L.J., Finkner, S.C. (1989): A Process-Based Soil Erosion Model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology, *Trans. ASAE*, 32, 1587–1593.
<https://doi.org/10.13031/2013.31195>
- Nishimura, T., Yamamoto, T., Suzuki, S., Kato, M. (2005): Effect of gypsum and polyacrylamide application on erodibility of an acid Kunigami mahji soil, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 51, 641–644.
<https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2005.tb00081.x>
- Wischmeier, W.H., Smith, D.D., Science, U.S., Administration, E., Indiana. Agricultural Experiment Station, L. (1978): Predicting rainfall erosion losses : a guide to conservation planning, Agriculture handbook. United States Department of Agriculture, Science and Education Administration in cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station, for sale by the Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, 58p.

【講演者略歴】

山口 敦史（やまぐち あつし）

所属：宇都宮大学大学院 地域創生科学研究科

職名：日本学術振興会特別研究員 PD

2020 年 筑波大学 国際地縁技術開発科学専攻（日本学術振興会特別研究員 DC1） 修了

2020 年 宇都宮大学大学院 地域創生科学研究科（日本学術振興会特別研究員 PD）

現在に至る

水食における土壌の受食性の制御に向けたコロイド化学の援用

宇都宮大学大学院 地域創生科学研究科
日本学術振興会特別研究員PD
山口敦史



* 著作権の関係により，学会発表時から図を一部変更・削除しています

2

略歴と研究歴

宇都宮大学（～現在）

2020年～現在 ム 大学院 地域創生科学研究科
日本学術振興会特別研究員PD

受入研究者：大澤和敏 教授

題目：土のコロイド特性を基軸とした土壌保全技術の高度化：
土壌の構造持続性と受食性の解明



筑波大学（～学位取得）

2011～2015年 生物資源学類

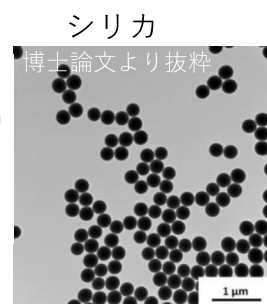
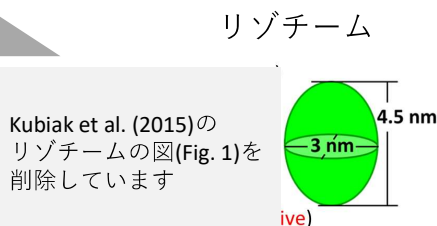
2015～2017年 生物資源工学専攻

2017～2020年 国際地縁技術開発科学専攻（博士農学）

2018～2019年 バイロイト大学（ドイツ）Physical Chemistry II

指導教員：小林幹佳 准教授

博士論文：コロイドシリカの帯電および降伏挙動に与えるリゾチームの影響



環境中のコロイド

コロイド粒子：数nm～数 μm の大きさをもつ粒子



0.002 mm		0.05 mm		2 mm
粘土		シルト	砂	礫

U.S. Department of Agriculture (USDA)の分類による

腐植酸（凝集体）

アロフェン

著作権の関係で図を
削除しました
Hakim et al. (2019)
Fig. 6 Cを示していました

著作権の関係で図を
削除しました
Takeshita et al. (2019)
Fig. 1を示していました

粘土鉱物
鉄酸化物
多糖類
タンパク質
etc...

Hakim et al. (2019)

Takeshita et al. (2019)

A. Hakim, T. Suzuki, M. Kobayashi, Strength of Humic Acid Aggregates: Effects of Divalent Cations and Solution pH, ACS Omega. 4 (2019) 8559–8567. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b00124>.

C. Takeshita, K. Masuda, M. Kobayashi, The effect of monovalent anion species on the aggregation and charging of allophane clay nanoparticles, Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp. 577 (2019) 103–109. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.05.054>.

環境中のコロイド現象

沈砂池

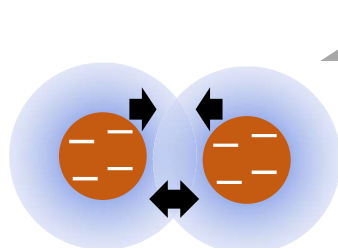
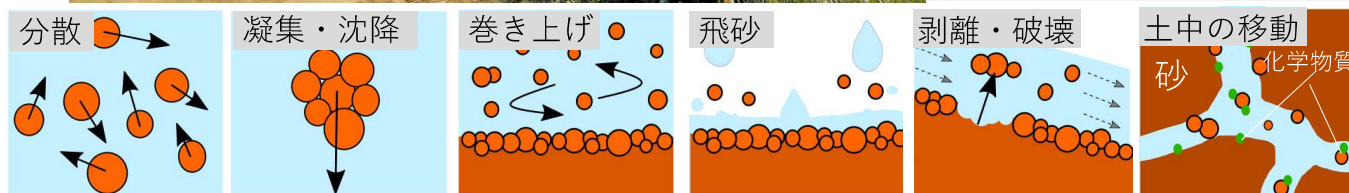
流水試験中の圃場

汚染された土壌



著作権の関係で図を
削除しました
Wikipedia 「土壌汚染」より
汚染された土壌の写真を
転載していました

Wikipedia 「土壌汚染」より転載



コロイド間の相互作用が
環境中の物質の運命を左右する

博士論文：コロイドシリカの帯電および降伏挙動に与えるリゾチームの影響

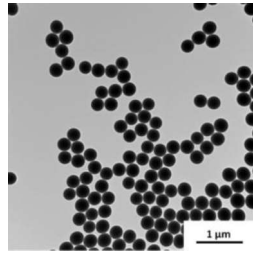
無機コロイド

コロイドシリカ

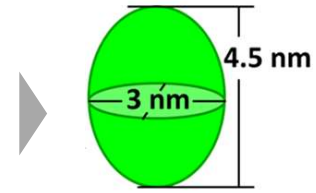
土壌有機物

リゾチーム（タンパク質）

著作権の関係で図を削除しました
Buffel et al. (1998)
Fig. 1 Bを示していました



著作権の関係で図を削除しました
Hakim et al. (2019)
Fig. 6 Cを示していました

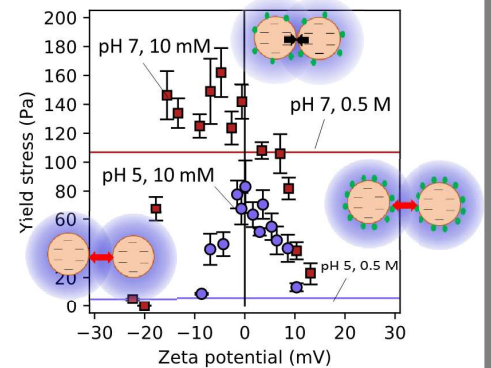
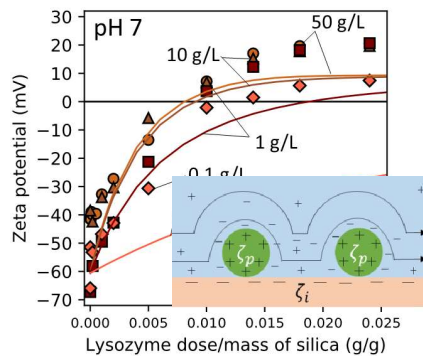
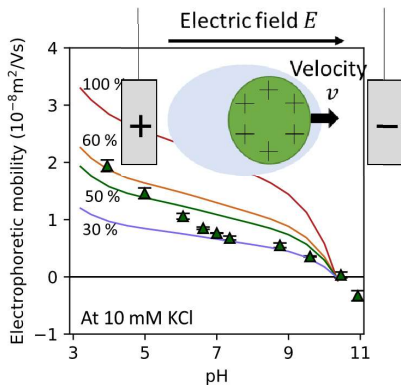


Hakim et al. (2019)

微小な材料の帯電挙動

ナノ粒子の吸着
ヘテロ表面の帯電挙動

ヘテロなコロイド懸濁液の
降伏値と相互作用

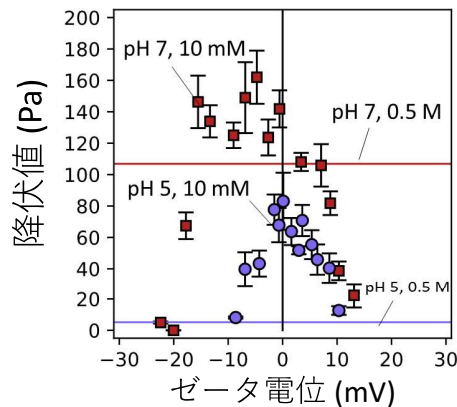


J. Buffel, K.J. Wilkinson, S. Stoll, M. Filella, J. Zhang, A generalized description of aquatic colloidal interactions: The three- colloidal component approach, Environ. Sci. Technol. 32 (1998) 2887–2899.
山口敦史, コロイドシリカの帯電および降伏挙動に与えるリゾチームの影響, 筑波大学博士論文, (2020)

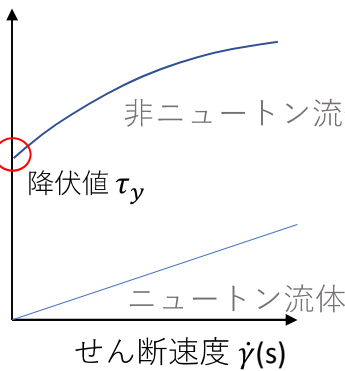
5

降伏値と粒子間相互作用

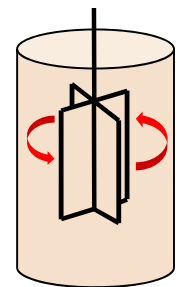
Yamaguchi et al. (2019) 図は博士論文から抜粋



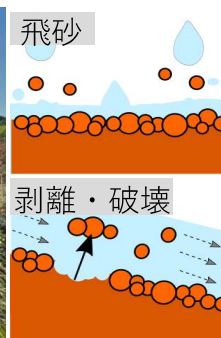
せん断応力 σ (Pa)



ベーンせん断試験



土壌侵食（水食）

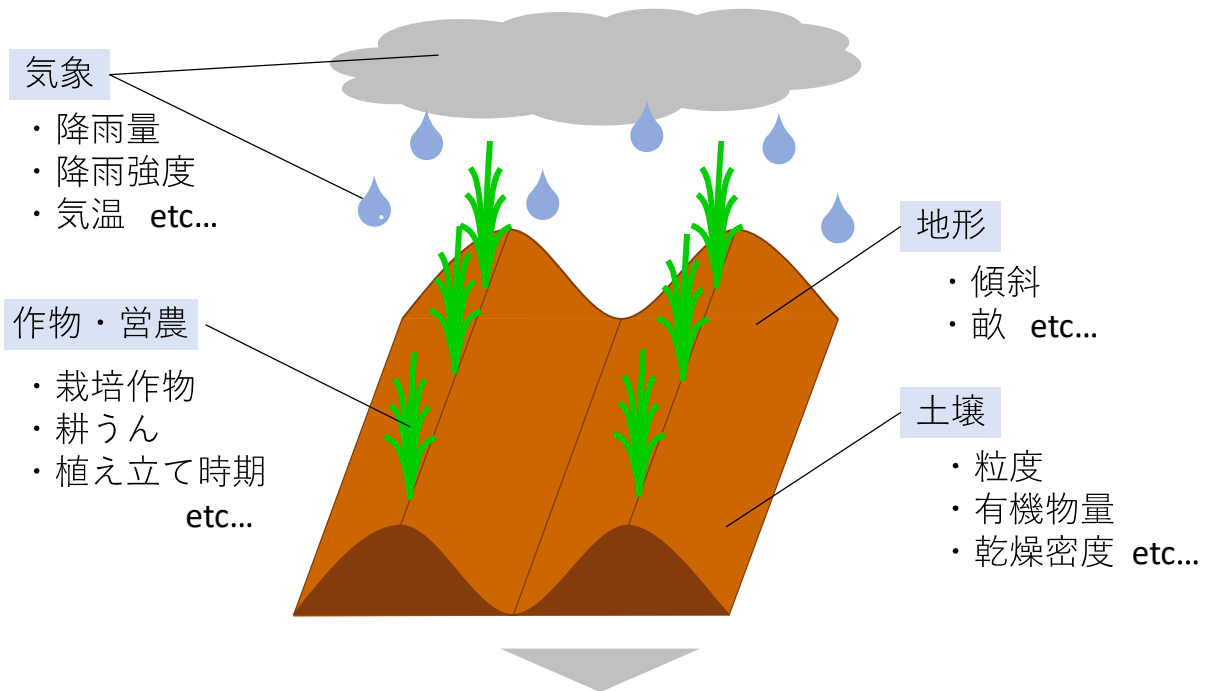


土砂の生産過程に土粒子間の
相互作用が関わる

研究してきたコロイド化学的な
知見が生かせる

土壌侵食（水食）に影響を与える環境要因

土壌侵食に影響与える要因は多岐にわたり，地域や季節，管理によって変化する



侵食シミュレーションモデルを用いて地域や土地，管理手法に合わせた侵食量の評価・侵食抑制対策を提案することが必要

土壌侵食シミュレーション：USLE

USLE (Universal Soil Loss Equation, Wischmeier et al. (1978))

$$A = R \times K \times LS \times P \times C$$

A ：土壌侵食量

R ：降雨係数 K ：土壌係数

LS ：地形係数

P ：保全係数 C ：作物管理係数

USLEのメリット

- ・ 容易に使用できる
- ・ 研究例が豊富にあるため他の条件との比較が容易
- ・ 各係数の決定方法が確立されている

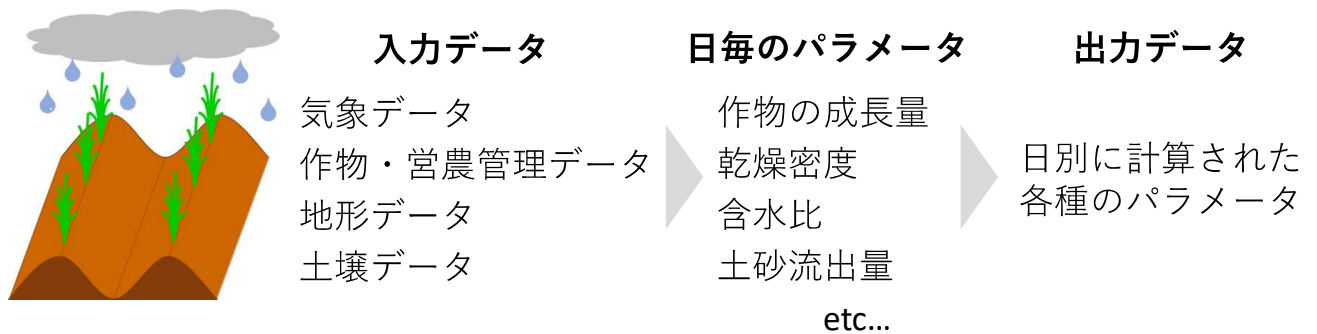
USLEのデメリット

- ・ 経験式であるため物理的なプロセスを反映していない場合がある
- ・ 基本的に年間の侵食量を予測する

物理プロセスベースの1降雨ごとの侵食量を予測できる侵食モデルの適用

WEPP：物理プロセスベースの侵食モデル

WEPP (Water Erosion Prediction Project)



WEPPのメリット

- ・ 物理的なプロセスを反映している
 - ・ 1日ごとの侵食量を予測できる
 - ・ 計算領域の水の流れを評価できる
- 侵食抑制対策の評価が容易

WEPPのデメリット

- ・ USLEなどに比べると複雑で必要なパラメータが多い

10

WEPPの使用例

町田ら（2020） *図を一部修正

WEPPを用いて沖縄県のサトウキビ圃場における土壌侵食量への、栽培条件や地形条件の影響を検討した

植え付け ————— サトウキビ ————— 収穫

著作権の関係で図を削除しました
町田ら (2020) 図-6および図-7を横並びで示していました

夏植え1年目

夏植え2年目

植生の乏しい時期に激しい雨が降った際の土壌侵食量が著しく大きくなる



裸地状態の土壌侵食量の評価および侵食抑制対策が重要

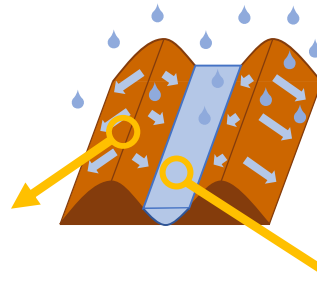
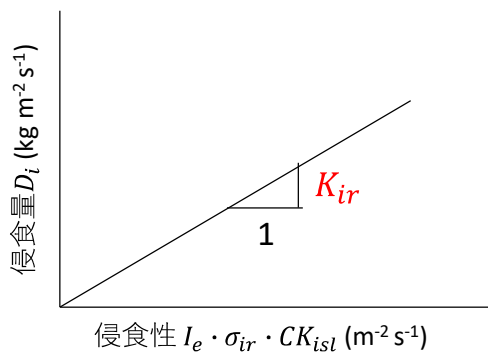
土壌侵食シミュレーション

物理プロセスベースの侵食シミュレーションモデル（WEPPやEUROSEMなど）では、しばしば土壌侵食はインターリル侵食とリル侵食に分けられる



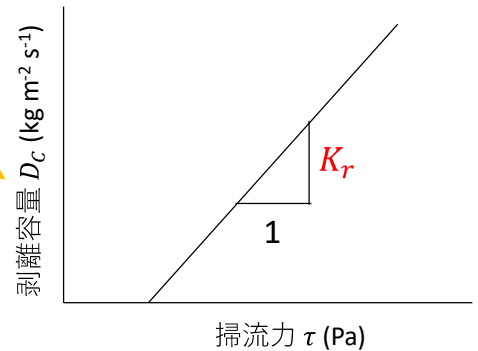
インターリル侵食

$$D_i = K_{ir} \times I_e \times \sigma_{ir} \times CK_{isl}$$



リル侵食

$$D_c = K_r (\tau - \tau_{cr})$$



I_e : 有効降雨強度
 σ_{ir} : インターリル流量
 CK_{isl} : 勾配の効果



圃場試験や屋内での実験によって受食性パラメータを評価可能
ただし、適切な設備や多大な土量・労力を必要するため、常に行うことは難しい

発表時に使用した図の出版

R. Kojima, K. Osawa, M. Matsuura, H. Fujisawa, M. Tomisaka, H. Matsui, Identification of soil erodibilities for an application of wepp model with biological ground cover by algae and fungi, J. Japan Soc. Civ. Eng. Ser. G (Environmental Res. 74 (2018) I_233-I_239.

A. Knapen, J. Poesen, G. Govers, G. Gyssels, J. Nachtergaele, Resistance of soils to concentrated flow erosion: A review, Earth-Science Rev. 80 (2007) 75–109.

受食性パラメータの推定式

測定が容易なパラメータを用いて土壌の受食性パラメータを推定する

WEPPで使用する推定式

Flanagan and Nearing (1995), WEPP; アメリカ
アメリカで行われた圃場実験をもとに逆解析によって求められた
経験的な推定式が用いられる

砂 (*sand*) > 30 %

$$K_{ib} = 27280000 + 1921000vfs$$

$$K_{rb} = 0.00197 + 0.0030vfs + 0.03863e^{-184orgmat}$$

$$\tau_{cb} = 2.67 + 6.5clay - 5.8vfs$$

clay: 粘土

vfs: 極細砂

orgmax: 有機物

(USDAの分類による)

使用のメリット

- ・ 粒度と有機物量のみから受食性を評価できるため容易に利用できる

使用のデメリット

- ・ 式の導出に用いた土壌以外への適用性が不明確
- ・ 理論的な背景が乏しく、土の物理化学性などは十分反映されていない

D.C. Flanagan, M.A. Nearing, USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP). WEPP Users Summary, 10 (1995)

Agassi et al. (1994) Fig.3を修飾

雨滴のイオン強度（脱イオン水 0.01 dS m^{-1} , 塩水 5 dS m^{-1} ）が雨滴侵食量に与える影響を検討した

DLVO理論

粒子間相互作用

= van der Waals引力 + 静電的な反発力



大 ← イオン強度 → 小

小 ← ゼータ電位の絶対値 → 大

凝集 ← 凝集・分散状態 → 分散

飛砂量 ($\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$)

著作権の関係で図を削除しました
Agassi et al. (1994)のFig. 4を示して
いました

雨滴の運動エネルギー ($\text{J mm}^{-1} \text{m}^{-2}$)

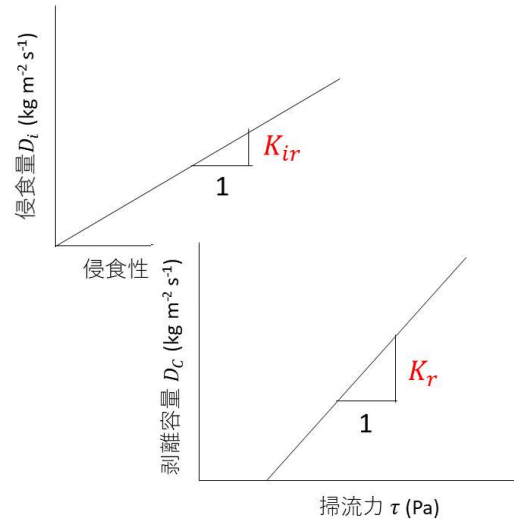
土粒子が凝集しやすい条件で侵食量が抑制されている

侵食シミュレーションへのコロイド化学の援用

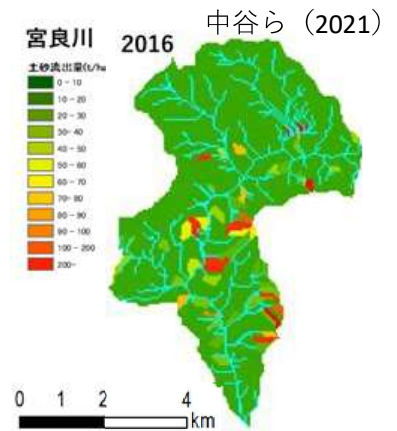
土壌コロイドの凝集分散



受食性パラメータ



侵食シミュレーション



コロイド化学を援用した土壌侵食の研究例

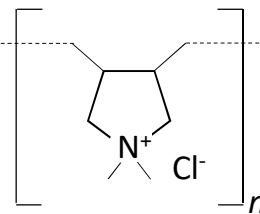
リル受食係数と粒子間相互作用の関係を検討

島尻マージ (沖縄県石垣島)

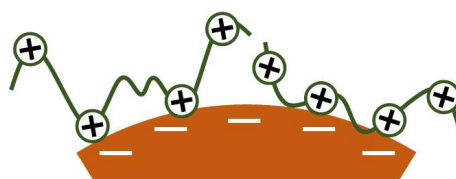


- 2 mmふるい通過分
- 粒度(USDA法, 小島ら(2018))
 - 粘土 5.1 %
 - シルト 44.1 %
 - 砂 50.8 %
- 有機物 6.76 %

Polydiallyldimethylammonium chloride (PDADMAC)

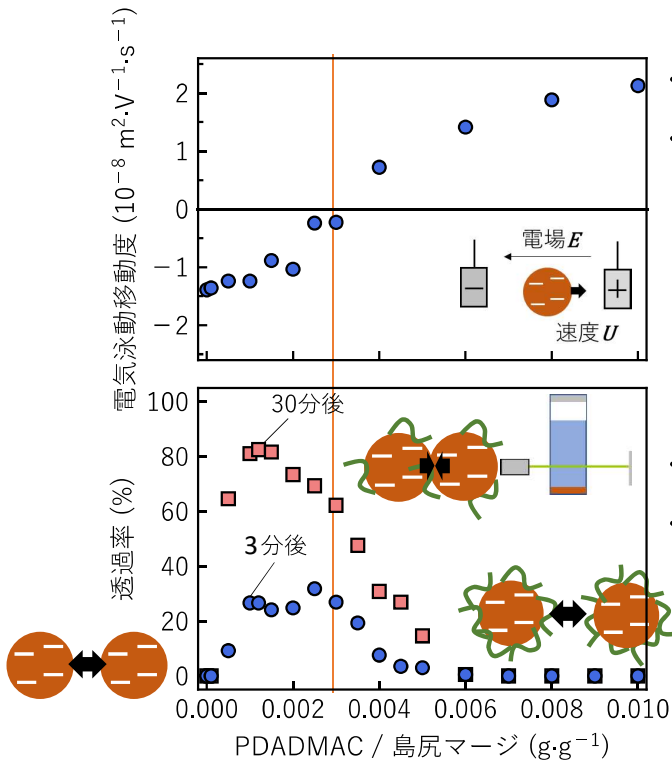


- 線状高分子電解質
- 強力チオン性
- pH依存性なし
- $M_w < 100,000$

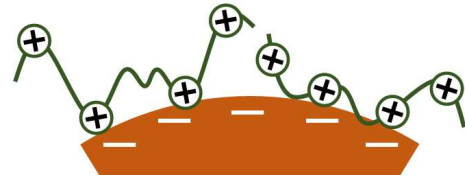


島尻マージにPDADMACが吸着することで
帯電状態が変化し、粒子間の相互作用が変化する

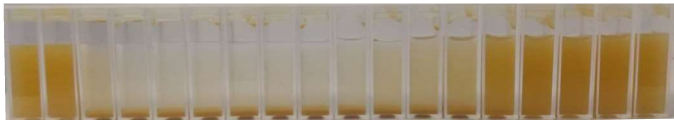
島尻マーヅ+PDADMAC懸濁液の凝集分散挙動



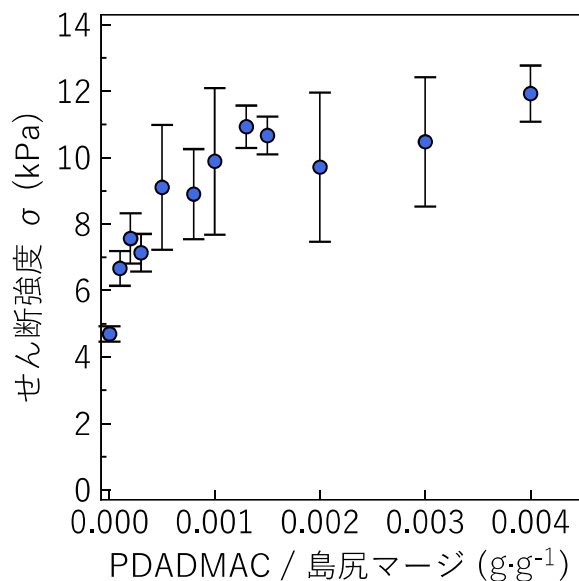
- ・ 島尻マーヅは中性付近で負に帯電
- ・ PDADMACの添加により荷電反転



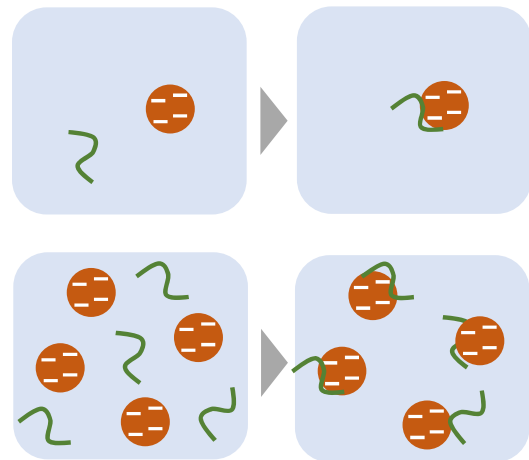
- ・ 等電点付近で凝集が速やかに起こる
 - ・ 電気泳動移動度の絶対値が増加 → 分散する
- => DLVO-likeな凝集分散挙動



島尻マーヅ+PDADMAC懸濁液のせん断強度

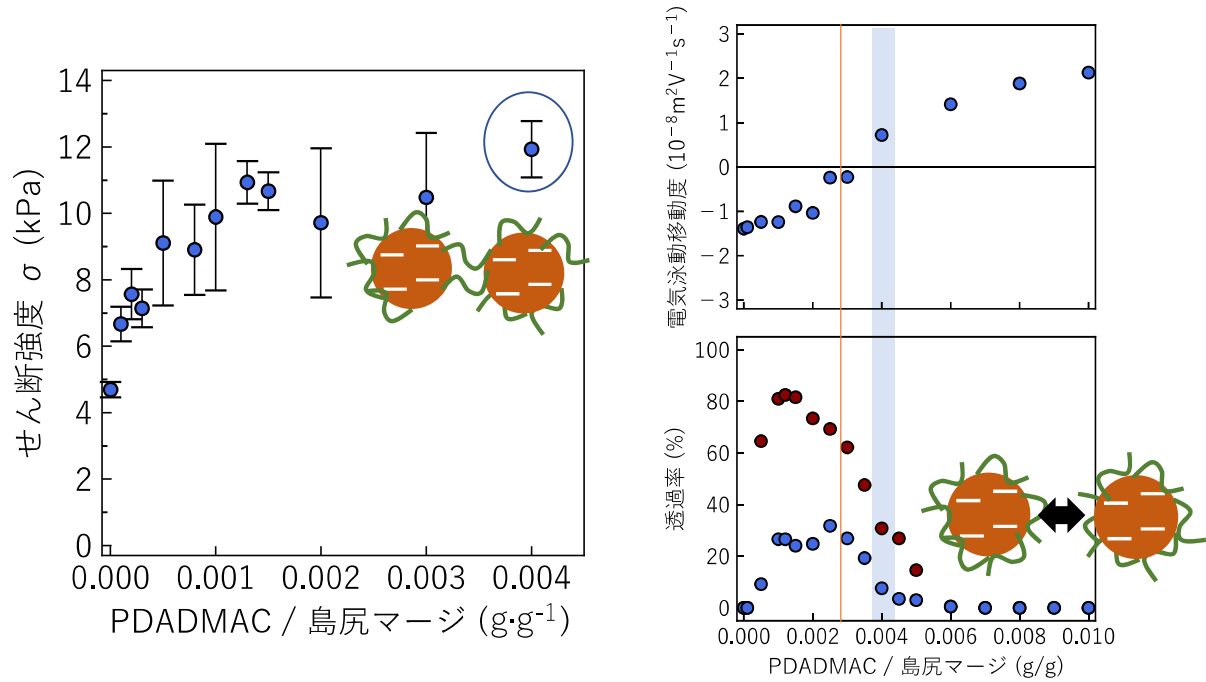


PDADMAC / 島尻マーヅ ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)
=>濃度が変わっても同様の表面が得られる



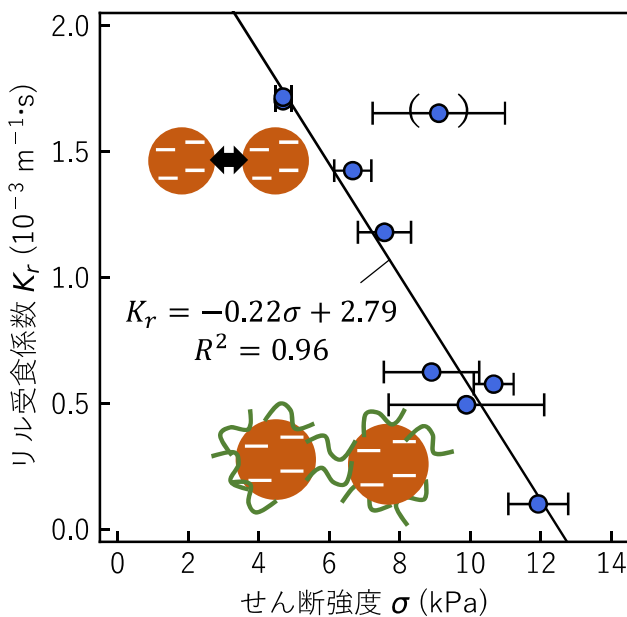
- ・ PDADMACの添加量が増加するほどせん断強度が大きくなる
- ・ せん断強度（破壊過程）は非DLVO力の影響を強く受ける

島尻マーヅ+PDADMAC懸濁液のせん断強度



- ・ PDADMACの添加量が増加するほどせん断強度が大きくなる
- ・ せん断強度（破壊過程）は非DLVO力の影響を強く受ける

土壌侵食におけるコロイド現象



近似式	決定係数 R^2
$K_r = -0.22\sigma + 2.79$	0.96
$K_r = 7.50/\sigma$	0.94
$K_r = 74.1\sigma^{-2.26}$	0.81

試験条件	実験値	推定式
島尻マーヅのみ	1.71	4.66
pDADMAC添加 (質量比=0.0040)	0.10	4.66

- ・ 土粒子間の相互作用がリル受食係数を支配するパラメータの1つ
- ・ リル受食係数がせん断強度の一次関数を用いて精度よく近似できる領域がある
- ・ 土壌の受食性に対する基礎的な知見となる
- ・ せん断強度は土壌改良剤などの侵食抑制効果の予測に使用できる

発表のまとめ

土壌コロイドの凝集分散



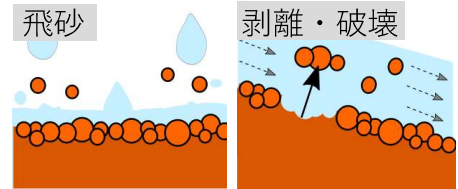
関係性は？



土壌侵食



土粒子間の相互作用に関わる現象



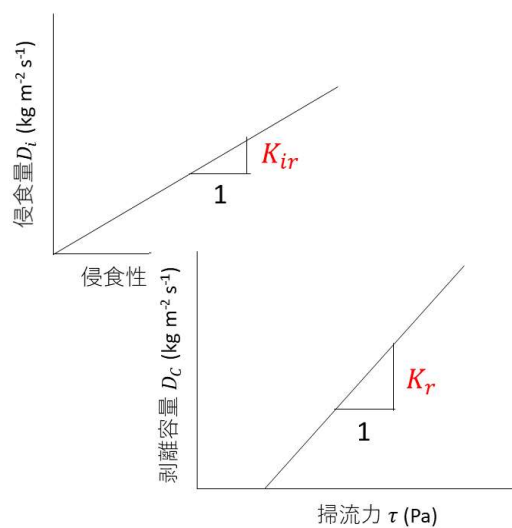
定量的に表現するには？

発表のまとめ

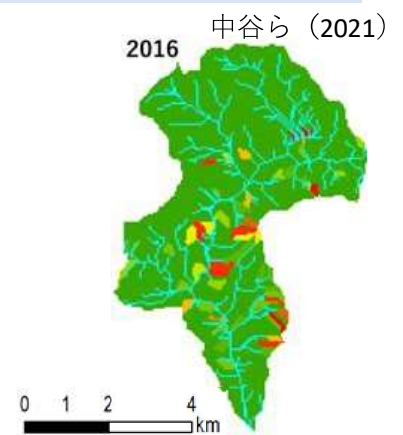
土壌コロイドの凝集分散



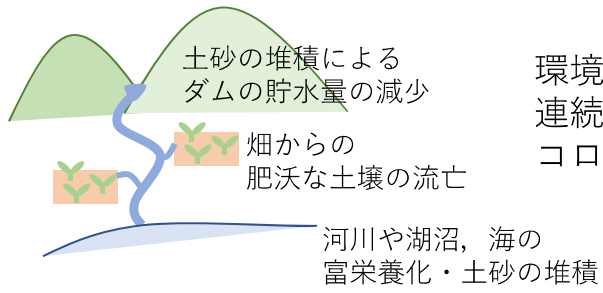
受食性パラメータ



侵食シミュレーション

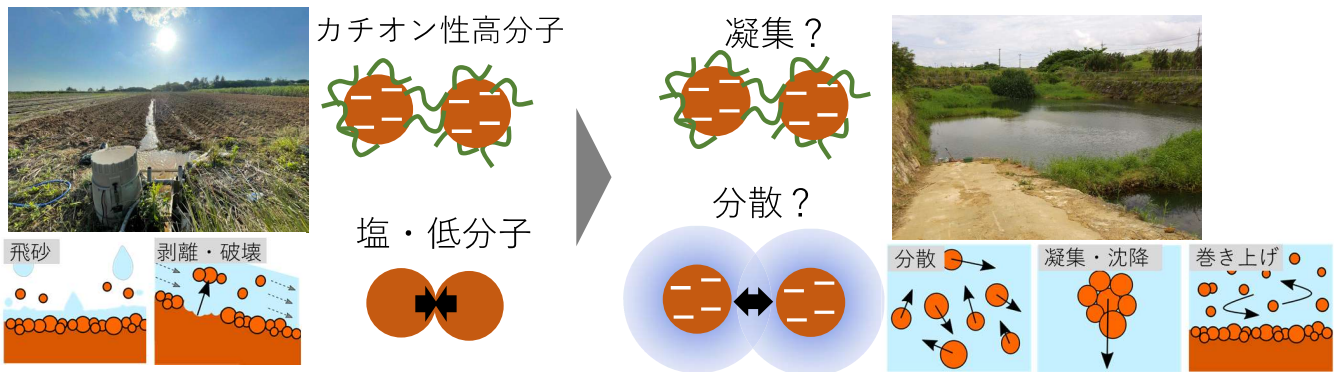


将来の展望



環境中の物質移動にかかわる個々の現象を
連続した現象として捉えて、
コロイド化学の視点から整理する

(例) 侵食抑制を目指した土壌改良剤と沈砂地での沈降特性



農地保全を目的とした風食の発生メカニズムの解明

鈴木 純*

*信州大学農学部

1. はじめに

砂塵は強風により地表から離脱した土の粒である。風食による砂塵の発生は農業生産の基盤である表土の亡失を意味し、また生活、交通などに影響を及ぼす。世界規模でみると、水食よりも風食による土砂移動が多いという報告がある。日本は降水量が多く、傾斜が大きい地形が多いため水食が顕著で、研究報告は風食のそれより多いようである。今から数年前、農地を起源とする風食に伴う砂嵐で視界不良となったことが原因とされる交通死亡事故が報道され、問題提起された。しかしながら農業側、つまり農家などがこの対応を必ずしも積極的には対応していないように見える。その理由としては、日本は作土が比較的肥沃で、年間数ミリメートル程度の厚さの作土の亡失は、それほどどののちの営農に影響を及ぼさないとの考えがあるのではないかとと思われる。世界的には風食に対する研究成果は多い。そして風食をテーマにした研究は、比較的進めやすいと筆者は考えている。Wind erodibility（受食性）で検索すれば容易に最新の研究成果が検索できる。これは、風食のメカニズムにやや不明瞭な要素がまだ多いことを表しているのだと思われる。一方で、風食を抑制しよう、とする技術開発に関する成果は多くはない。例えば散水による砂塵の抑制に関しては、多量の降雨の後の晴れた強風時には、降雨後数時間で砂塵が飛び始めることもあり、十分に技術が確立しているとはいえない。研究テーマにはよいが技術開発は困難である、これが風食研究だと思う。この理由は、風食は乾燥して軽くなった土の粒が存在する地表面と、風速の条件がそろえばどこでも発生する可能性のある場所が極めて広大であり、対応しきれないことに起因するようである。また個々の農地は個別の状況を有しており、1つの農業地域であっても、単一の技術によって対応することは困難であり、いくつかの技術を地域の実情に合わせて取り入れることが必要である。以下には、筆者がこれまで取り組んできた風食の抑制につながるメカニズムの解明の状況について論述する。なお文中にも記載があるが、本稿は研究途上の内容を多く含んでいる。農地保全を目的とした風食発生メカニズムの解明にはいまだ解明されるべき事柄が多いということで了解いただきたい。

2. 風食のメカニズム

砂塵は強風により地表から離脱した土の粒である。土の粒が地表から離脱して、転動、跳躍や浮遊（飛遊）の形態をとるかは、土の粒に働く力の釣り合いに起因する（図-1）。図-2は、微細な土の粒に働く諸力の釣り合いを表している。この力のつり合いに最も影響が大きい要素は土の粒（以下、土粒と記す）の質量である。土粒の質量は土粒に働く重力

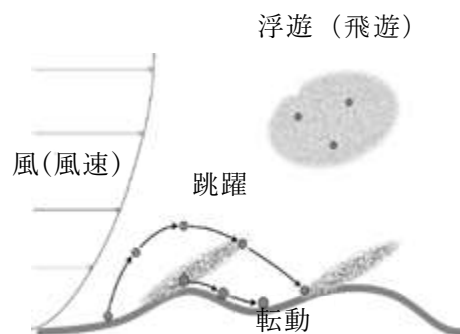


図-1 風食の形態（大澤）⁽¹⁾ に一部加筆⁽²⁾

であり、この力が大きければ土粒を地面にとどめ置く力が大きい。この意味で風食を受けやすい土とは土粒質量が小さい土、すなわち土粒密度が小さい土であることができる。著者はこれを素因と位置付けている（鈴木・星川，2010）。また、同様に力のつり合いで地表面上方で土粒に作用する風の力は風食の誘因と位置付けるべき要素で、もの粒の質量の影響が大きいと考えられる。これらの力のつり合いの結果によって、土粒が地表面を移動するだけの転動、地表面から離脱しても重力によって地表に戻る跳躍と重力の影響より大きな上方に土粒を引き上げる力による浮遊（あるいは飛遊）の形態を示す。

風食の誘因としての風の理論と限界摩擦速度 u^*_{crit}

(3) について、風の基本理論と砂塵となる土の粒（以下、土粒）の密度(Suzuki and al., 2020)を用いて、土の粒が動き始めると土の密度について検討する。信州大学農学部（長野県上伊那郡南箕輪村）構内農場の牧草地において風速と風向の観測を行った。風速は地上高 0.8, 1.3, 1.8m に設置した 3 杯風速計（牧野応用測器，AF750）を、風向は 2.1m に設置した風向計（VF016）の出力をデータログ（CR-10X）で 2 秒毎にスキャンして、10 分間の平均値、最大値をセーブした。風の鉛直分布に影響する要素である、植生の草高を適宜測定した。これらデータから Barneoud and Ek(2019)の方法で摩擦速度 u^* 、粗度 z_M 、地面修正量 d などの空気力学的諸量を求めた。

風対数則と摩擦速度 u^* について整理した過程を図-3 に表した。植生のない滑らかな平坦地の平均風速の鉛直分布 $u(z)$ は図-3(1)であらわされる。ここに u^* は摩擦速度、 z_M は粗度である。図-3(1)の $u(z)$ が u^* に等しいとして図-3(2)のおくと図-3(3)に書き換えられる。 k はカルマン定数で図-3(4)の右辺は 0.4 とおくことができ、図-3(5)のように書きかえて z について整理すると図-3(6)が得られる。そして図-3(7)のとおり u^* と等しい $u(z)$ の高さ z は粗度 z_M の 1.5 倍であることが導かれる。この関係から土粒が動き始めるときの風速を評価する。なお、評価に必要な土粒密度は 3 で詳述する。

砂塵が発生する農業地帯である長野県松本市今井地籍の畑地から、2016 年 8 月 10 日に深さ 10 cm で採取した土壌の粒径ごとの土粒密度 ρ_g を、Suzuki and Matsuoka(2020)の方法で求めた。図-4 (Suzuki and Matsuoka, 2020)は、内部に空隙を有する土粒の水分状態と粒径による密度の変化を表している。供試体の風乾の含水比は約 6% なので風乾の土粒密度 ρ_{gAD} は、粒径ごとに 1.05 から 1.21 g/cm³ となった。これが自然状態で最低の含水比と考えると、砂塵の密度はこの程度であることが推測される。また供試体の土粒

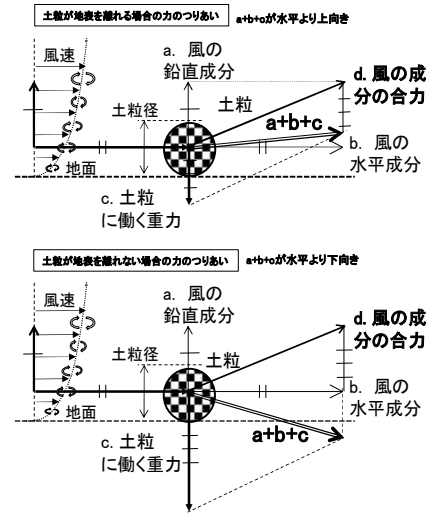


図-2 風の水平成分(a)と鉛直成分(b)と、土粒に働く重力(c)のつりあ

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_M} \quad (1)$$

$$u_* = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_M} \quad (2)$$

$$1 = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{z}{z_M} \quad (3)$$

$$\ln \frac{z}{z_M} = \kappa = 0.4 \quad (4)$$

$$e^\kappa = e^{0.4} = \frac{z}{z_M} \quad (5)$$

$$z = e^\kappa z_M = 1.5 z_M \quad (6)$$

$$u_{(1.5 z_M)} = u_* \quad (7)$$

$$u^*_{crit} = A \sqrt{\frac{(\rho_p - \rho_a) g D_p}{\rho_a}} \quad (8)$$

図-3 使用した風のモデル

子密度 γ_s は 2.49 g/cm^3 なので、風乾土粒密度 ρ_{gAD} と土粒子密度 ρ_s の比 ρ_{gAD}/ρ_s は 50% 以下であることがわかる。このデータを用いて、限界摩擦速度 u^*_{crit} を評価した。風速の鉛直分布のデータから地表面上で風速がゼロになる高さ Y (切片) を求め、 Y からゼロ面修正量 $d(m)$ を差し引いて粗度 $z_M=0.001m$ が得られた。したがって裸地では、図-3(7)、図-3(8)のとおりに高さ $1.5z_M = 0.0015m$ 、すなわち地表面からの高さ $1.5mm$ の平均風速 $u(0.0015m)$ が u^* になる。ここでは簡単のために土粒径に関わらず $u^*=u(0.0015m)$ が地表面の土粒に働くと考え、そして土粒に働く風に抵抗する効果を式(8)の限界摩擦速度 u^*_{crit} (Bagnold, 1941) で表現した。ここで図-3(8)の u^*_{crit} の算出に必要な粒の密度 D_p は、風乾と飽和の畑土壌の土粒密度として $1.1, 1.6 \text{ g/cm}^3$ 、砂または土粒子密度として 2.5 g/cm^3 を採用して検討する。

図-4 は、風速と土粒密度、粒径と限界摩擦速度の関係を表している。土粒が地表面で動き始めるときの摩擦速度は土粒密度が 1.1 g/cm^3 に対しては粒径による変化は小さいが、 2.5 g/cm^3 に対しては大きい。図-5 は土粒の密度、粒径と限界摩擦速度の関係を表したもので、図中に摩擦速度 u^* が 0.4 までを拡大した。破線は高さ $1.8m$ の平均風速 $u(1.8)$ に対する裸地の u^* で、この線の下に位置する u^*_{crit} で土粒は動き始めると考える。図-5 によると、 $u(1.8)$ が $2m/s$ では粒径が $0.05 \sim 1.0mm$ の土粒のいずれも動かないが、 $2.5m/s$ を超えると $0.05mm$ の土粒は密度が $1.1 \sim 2.5 \text{ g/cm}^3$ のいずれも動き始め、 $0.1mm$ の土粒は風乾時で密度が 1.1 g/cm^3 の場合だけが動く。 $4.0m/s$ では粒径が $0.1mm$ は密度が $1.6 \sim 2.5 \text{ g/cm}^3$ もすべて動き始める。 $5m/s$ では密度 1.1 g/cm^3 の $0.5mm$ の土粒も動き始めるが $1.6 \sim 2.5 \text{ g/cm}^3$ の土粒は動かない。

以上の結果から、次の2点が明らかになった。
①団粒構造の土粒密度は砂と比して小さい。また乾湿に伴う変化が大きい。
②乾燥した土粒の限界摩擦速度 u^*_{crit} は小さく、砂より弱い風で動き始めることが評価できた。
 u^*_{crit} は土粒が動き始める摩擦速度であり砂塵の発生を直ちに説明しないが、土粒密度の導入で受食性の定量的な評価が可能になった。また、砂塵のもととなる土粒の密度は砂塵発生の要因、つまり素因であり、言い換えると土粒密度が大きい地域では砂塵が発生しにくいことを説明できる可能性がある。

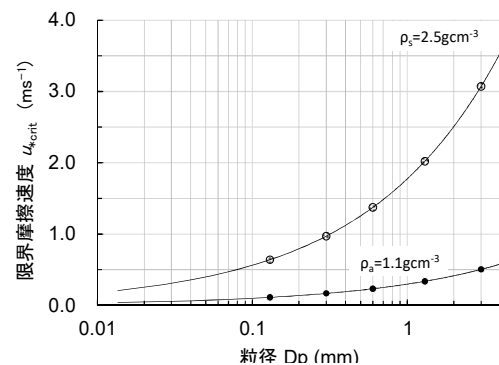


図-4 土粒の粒径と限界摩擦速度の関係

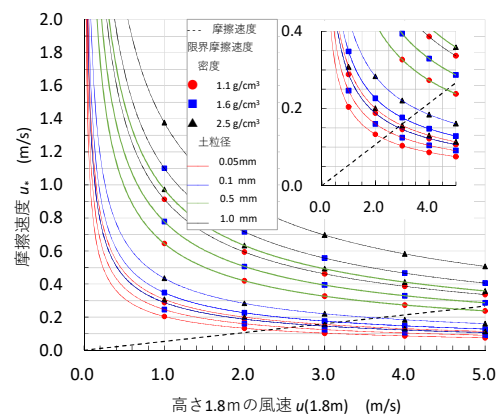


図-5 風速と土粒密度、粒径と限界摩擦速度の関係

3. 砂塵発生の素因としての土粒の密度(Suzuki and Matsuoka, 2020)

土粒子密度、湿潤あるいは乾燥密度などとして土壌密度の定義がある。土粒子密度は、土壌の特性として一般的に使用される。しかし、実際の自然状態の土壌は一般に団粒化しており、特に火山灰土壌の農地土壌は、粗大～微細な団粒構造が発達している。風食を受

ける土粒は団粒化したままの状態であると考えられ、図-3(8)の限界摩擦速度の算出には、土粒子密度より団粒密度が適していると考えられる。しかし形状が不整形で細孔空隙を有している団粒の密度を決定することはなかなか難しい。ここでは、土壌団粒の密度を決定する簡易な方法を紹介する。

土壌試料は、長野県松本市今井地籍の農地から採取した試料を使用した。ここで紹介する方法の適用性を評価するために豊浦砂を使用した。団粒密度の決定の概要は以下の通りである。最初に土壌は十分に風乾後に 5.0mm ふるいで粗大土塊を除去した。次いで土壌試料は、2.0mm, 1.0mm, 0.5mm, 0.25mm および 0.105mm の組ふるいを用いて、湿式篩別した。その後、各ふるいに残った土粒は、それぞれ残留ふるい径と通過ふるい径の中間の値をとって 3.5mm, 1.5mm, 0.75mm, 0.375mm, 0.175mm とした。第3に、画分された土壌凝集体を、水とともに約 7cm³ のアクリル製クリアケースに緩やかに詰め、約 18 時間以上、自重で圧密させた。アクリル製クリアケースはノギスで 0.05mm の精度で各ケースごとに寸法を測定した。ここでは、土粒はアクリルケースに単純立方充填され、個々の土粒は、球形と仮定している。なおこの球形については、ふるい分けによって規格化された粒径を有し、この粒径は土粒表面の凸凹を包含する外縁をとることにする。したがって、土粒表面の凹部分にある球の面と実際の土粒表面のギャップ（隙間）は土粒体積に算入される。土粒は規格化された粒径を有する球であり、これらの球はアクリルケース内で単純立方充填で詰められると仮定したとき、アクリルケースの体積に占める土粒の体積とその外周部の空間の体積比は、粒径にかかわらず一定であり、0.543 : 0.457 である。この時アクリルケースの外周は水で満たされており、土粒の内部空隙－土粒の表面の凹部を含む－は同様に水で満たされている。この状態で秤量し、次いで、試料は 105℃で炉乾燥され、試料の乾燥質量を得る。そして最後に、JIS-A-1202 による土粒子密度を求める。このような過程を経て乾燥土粒密度(ρ_{gd})と飽和土粒密度(ρ_{gw})は式 (1), (2) で定義される。

$$\rho_{gd} \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{W_{gd}}{0.543V_c}, \quad (1)$$

$$\rho_{gw} \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{W_{ad}}{0.543V_c} + \left(1 - \frac{W_{ad}}{\rho_s} \right). \quad (2)$$

ここで W_{gd} は乾土粒質量(g), V_c はキャリブレーションされたクリアケースの体積(内容積, cm³), ρ_s は土粒子密度(g/cm³)である。

図-6 に示すように、規格化された粒径ごとの土粒密度は、飽和状態で 1.66-1.71g/cm³, 炉乾燥状態で 0.99-1.14 g/cm³ の範囲で得られた。この試験方法の精度を評価するための豊浦砂の試験結果は、土粒子密度が 2.66g/cm³ で乾燥土粒密度は 2.92g/cm³ が得られた。砂の土粒は内部空隙をほとんど有しないと考えられるため、土粒子密度と一

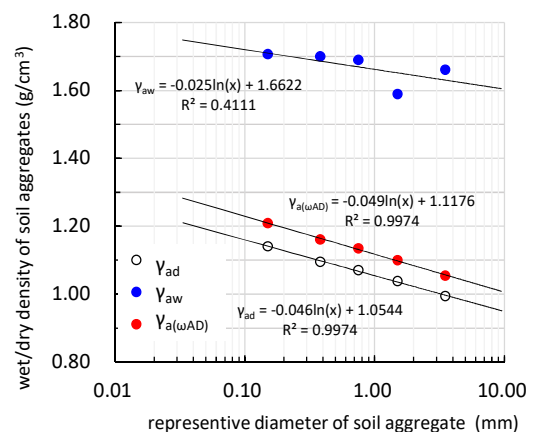


図-6 飽和、風乾および絶乾土粒密度

致するが、この差異がどのように生じたのかを評価することはできていないため、上記のプロセス改善する必要が認められる。

団粒密度は、ケロシンなどで団粒内部の間隙を置き換える方法があるが、砂塵になるような微細な団粒の密度の決定に利用できるかは議論がある。上記式 (1), (2) を整理すると、団粒分析によって画分した団粒の粒径別の密度 ρ_g は式 (3) で表される。

$$\rho_g = \frac{V_s}{V_s + V_{wi}} \rho_s + \frac{V_{wi}}{V_s + V_{wi}} \rho_w \quad (3)$$

ここで V_{wi} はクリアケースに入っている土粒の内部の水の体積、 V_s は土粒子体積である。式 (3) の適用により、東日本各地の乾燥土粒密度は $1.1 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ 程度の値を得ている。なお、単粒である砂の場合、粒状が球であれば土粒密度と土粒子密度は一致すると考えられる。データの監視のために実施した豊浦砂の密度は $2.78 \sim 2.84 \text{ g/cm}^3$ が得られた。一方、鳥取砂丘は $3.63 \sim 3.71 \text{ g/cm}^3$ となった。豊浦砂、鳥取砂丘砂ともに土粒子密度は 2.6 g/cm^3 程度であり、鳥取砂丘砂では過大評価している。これは、土粒を球と仮定したことに実際と矛盾があるためと考えられる。

次に東日本と西日本の土粒密度について検討する。関東甲信地方の各地の風食と農業の特徴が報じられており(鈴木ら, 2016), ここで砂塵になる土の粒径や粒度は地域によって違いがあることが明らかになっている。東日本各地の畑地から砂塵が発生することは知られており、一方で西日本ではあまり話題になることが多くはないようである。砂塵は強風により地表から離脱した土の粒である。土の粒が地表から離脱して、転動、跳躍や浮遊の形態をとるかは、土の粒に働く力の釣り合いに起因する。この釣り合いには、土の粒の質量の影響が大きい。上述した土粒密度を求める方法(土粒密度測定法)を各地の土壤試料で実施したところ、土粒密度の差異が認められたのでこれについて述べる。まず試料は、長野県松本市今井(以下、今井)はじめ、群馬県太田市藪塚(藪塚)、千葉県八街市八街(八街)、北海道帯広市清川(清川)の各地籍の畑地で採取した土壌ならびに和歌山県田辺市(田辺)のミカン畑と鳥取砂丘砂(鳥取砂丘)を供試した。土粒内部の空隙率が小さい砂は、土粒密度と土粒子密度が近くなると考え、既報データの多い豊浦砂を土粒密度測定法の評価のために供試した。試料は採取後に室内において十分に風乾して測定に供した。東日本の各地の土壌は火山灰土で土性は砂混じりシルト、田辺の土壌は鈹質土壌でシルト混じり砂質土である。これらの試料に対して 3 で述べた土粒密度測定法によって土粒密度 $r_g(\text{g/cm}^3)$ を求めた。試料は上述のとおり 5mm ふるいでふるい、残った土塊は軽くゴム塊でほぐした後に再度ふるった 5mm ふるい通過分試料を使用した。試料は、蒸留水を約 18 時間毛管飽和させたのちに 2.0, 1.0, 0.5, 0.25 及び 0.105mm の 4 つの組ふるい(DIK-2001)で水中篩別した。組ふるいを通過して水槽に通過した 0.105mm より小さな土粒を含む懸濁液は、0.074 および 0.032mm を順次通過させた。この分級された土壤試料は粒径ごとにまとめて蒸留水中で養生し保全した。したがって本研究の土粒は耐水性団粒の密度を求めることになる。

上記によって分級した土壤試料は、構造を破壊しないよう水ごと注意深く直方体のアクリルケースに充填した。この時若干の余盛りとして、約 18 時間静置した。この時間で試料

の自重で圧密を期待した．この後ガラス板で試料の余盛りと表面張力で盛り上がった水を擦切り，フタで封入した．そしてフタつきのアクリルケースと土壌試料，水の合計質量を測定した．なお，試料をアクリルケースに充填した後に -133Pa で脱気した場合の密度と脱気しない場合の密度との平均値には，有意差が認められなかったため脱気はしないことにした．土粒子密度は式(3)によって求めた．また，土壌有機物量の測定を実施した．一般的な土粒子密度は 2.6g/cm^3 程度であるのに対して有機物は 1.3g/cm^3 程度であり，有機物量の多少は土粒子密度に影響することが考えらる．ここでは試料の土壌炭素量を，C/N コーダー（JM100CN/HCN/TOC/TN）で測定した．

各地の粒径ごとの土粒密度を示した図-7によれば，東日本各地の粒径画分ごとの土粒密度は藪塚の 0.375mm （ $=1.77\text{ g/cm}^3$ ）と清川の 0.375mm （ $=1.60\text{ g/cm}^3$ ）を除き， 1.6g/cm^3 より小さい値が得られた．これに対して和歌山県田辺の土粒密度は $1.68\sim 2.46\text{g/cm}^3$ が得られた．また鳥取砂丘は $3.63\sim 3.71\text{ g/cm}^3$ ，豊浦砂は $2.78\sim 2.84\text{ g/cm}^3$ となった．図中に示した通り，土粒子密度は全試料で 2.6 g/cm^3 程度であり，土粒密度はこれを超えないと考えることができる．鳥取砂丘の値は本報告の土粒密度測定法の土粒の形状は球であるという仮定に起因した過大評価であると考えられる．本法で，土粒子密度 2.6 g/cm^3 の丸みをおびた豊浦砂の土粒密度は 2.8g/cm^3 程度を得る．本法の適用には土粒の形状は確認すべき要素であ

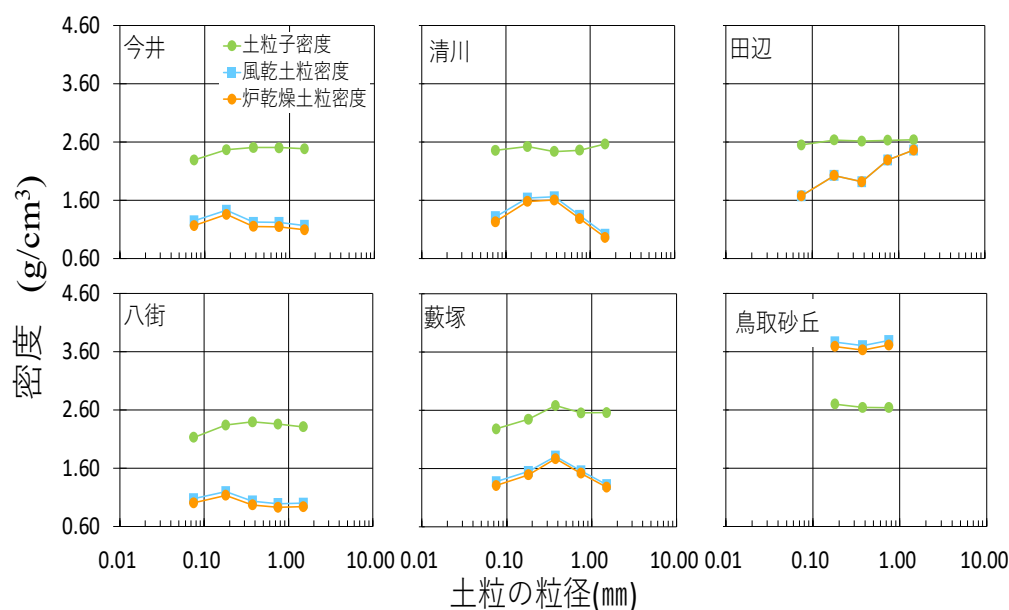


図-7 各地の土粒子と土粒の粒径別密度

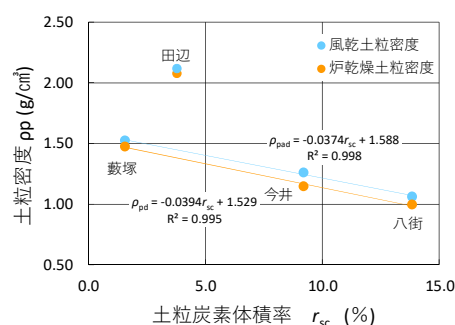


図-8 土粒炭素体積率と土粒密度

るほか、土粒内空隙率が小さい砂質土の土粒密度には土粒子密度が適用されるべきである。2で述べた通り、高さ 1.5m の風速が 5m/s の時、密度が 1.6 g/cm^3 以下の球形の物体は地表を移動しやすいと報告している。西日本の供試体は田辺の 1 体のみであるが、土粒密度の比較によって東日本の火山灰土壌の畑土は西日本に比べて風食を受けやすいといえる。

次いで土粒の炭素量と土粒密度についてみる。火山灰土で団粒が発達した今井、藪塚、八街と、鈹質土壌の和歌山県田辺市の土壌炭素体積率と土粒密度の関係は図-8 に示した。図-8 に示されるとおり、火山灰土では土粒体積に占める土壌炭素の割合と土粒密度には明確な負の相関が認められた一方、田辺は前出の 3 地区とは外れていた。火山灰土でも、有機物が多い土粒は密度が小さく、より砂塵として地表面を離脱しやすいことが明らかである。

東日本を広く覆う、空隙率が大きく、有機物量が多い火山灰土は、密度が西日本の鈹質土壌より明らかに軽く、これが東日本各地で砂塵が発生しやすいことの素因であると考えることができる。ここでは東日本と西日本の砂塵の発生しやすさを論じるだけの十分なデータを有していないが、土粒密度のデータは、今後の試料収集によって受食性や砂塵の発生しやすさの指標となると考えている。

なお、本稿で採用している式(3)で表される土粒密度は、現状の研究途上の手法によって得られたものである。いうまでもなく、画分した土粒とはいえ土粒径は均一ではない。また単純立方充填で直方体の中に均一に収まるわけではない。したがってここで示した土粒密度の決定方法は研究途上において、近似値を得る方法として採用していることを理解してほしい。

4. 新たな解決に向けた工学的対応

3.で検討した地域の土粒密度と土粒子密度の関係から、発達した団粒は土粒内部に 50% を上回る空隙を有していることが分かった。土粒密度の決定に際してはいくつかの過程を含んでいるが、この「軽い」土壌こそが受食性の要因であり、重い土に改良することが受食性の低下につながると考えられる。土粒密度を高く改良するためには、種々の方法を試行しなければならないが、最も容易な方法は土粒の乾湿の調整、すなわち散水である。筆者らは、現在、土粒密度とこれが限界摩擦速度に及ぼす影響を大気力学的に解明している。砂塵抑制の対象となる面積が膨大であり、新造品による対応は非現実的であると考えからである。また筆者はこれまで、畑地表面にカンテン搾りかす主体の被覆材導入と畑土壌への混入（鈴木ら、2014）、ムギ類による草生（鈴木ら、2015）ならびに冬生雑草による草生（鈴木、渡邊、2018）などの対症的な砂塵抑制法を提案してきた。先述のカンテン搾りかすを混入した畑地では微風時に砂塵が発生しない様子がとらえられている。カンテン搾りかすの混入によって受食性が退化した可能性を示している。広大な空間から発生する砂塵の抑制には、このほか、草生、雑草草生、散水などの多様な技術を組み合わせなければならない。しかしながら、対症法的な対策では広大な農地を保全するための砂塵の発生抑制は達成できないであろう。なぜ砂塵が発生するのか？これを根治的に解決するための視点で風食現象を観察することが必要である。

謝辞：本研究の一部は、科学研究費補助金、JST A-Step プログラムならびに同トライアウト

プログラムによって実施された。農業農村工学会農地保全研究部会には、このような発表の機会をいただきました。記して謝意を表します。

引用文献

- 1) 大澤和敏 (2016) : 第 6 章 2. 風食, 農地環境工学 第 2 版, 塩沢 昌, 山路永司, 吉田修一郎編 (文永堂出版), 184-185
- 2) 鈴木 純, 大澤和敏, 松岡延浩, 関東甲信地方の風食の特徴とその抑制対策 (2017) : 農業農村工学会誌, 85(7), 17-22
- 3) Bagnold, R, A.(1941): The physics of blown sand and desert dunes, Methuen, London, In: Kaneko H. (1963)(Translated into Japanese, Sozo-sha, 97)
- 4) 鈴木 純, 星川和俊 (2010) : 松本盆地南西部の畑地帯に発生する砂塵の素因, 農業農村工学会誌, 78(8), 29-34
- 5) 鈴木 純, 星川和俊, 神崎いずみ (2014) : 松本盆地南西部の畑地帯の砂塵を抑制する被覆材, 農業農村工学会誌, 82(12), 35-40
- 6) 鈴木 純, 星川和俊, 吉村伸一 (2015) : 松本盆地南西部の畑地帯の砂塵を抑制する草生, 農業農村工学会誌, 83(4), 31-34
- 7) 鈴木 純, 渡邊 修 (2018) : 松本盆地南西部の畑地帯の砂塵抑制に可能性を有する冬生雑草植生, 農業農村工学会誌, 86(10), 49-54

【講演者略歴】

鈴木 純 (すずき じゅん)

所属 : 信州大学農学部

職名 : 准教授

1987 年 信州大学農学部卒業

1989 年 千葉大学大学院園芸学研究科修了
長野県技術吏員 (農業土木職)

1994 年 信州大学農学部助手

現在に至る

農地保全を目的とした
風食の発生メカニズムの解明
Elucidation of wind erosion mechanism for
farmland conservation

鈴木 純
Jun SUZUKI

信州大学農学部
Agriculture, SHINSHU University

キーワード:
風食, 限界摩擦速度, 砂塵, 微細な土の粒, 密度



05/09/2019

農地保全を目的とした風食の発生メカニズムの解明

- 1. はじめに
- 2. 風食の実態
 - 2.1. 砂塵の実態
 - 2.2. 風食のメカニズム-釣り合い
- 3. 地表面上の微細な土粒に働く力
 - 3.1. 土粒密度(Suzuki & Matsuoka)
 - 3.2. 土粒密度と地表で動き始める風速
 - 3.3. 土粒に働く風の要素－限界摩擦速度 u_{*crit}
- 4. 風食の解決に向けた工学的対応

農地保全を目的とした風食の発生メカニズムの解明

- 1. はじめに
- 2. 風食の実態
 - 2.1. 砂塵の実態
 - 2.2. 風食のメカニズム-釣り合い
- 3. 地表面上の微細な土粒に働く力
 - 3.1. 土粒密度(Suzuki&Matsuoka)
 - 3.2. 土粒密度と地表で動き始める風速
 - 3.3. 土粒に働く風の要素－限界摩擦速度 u_{*crit}
- 4. 風食の解決に向けた工学的対応

05/09/2019

1. はじめに－農地保全の視点から見る風食とは－

生産

- 作物の生育基盤の亡失で生産力が低下
(砂塵が降り下りた地域は生産力が向上との報告)
- 作物に砂塵が入り込む
- 作物の幼苗を埋める, 根元を露出させる

環境

- 視程が低下

健康

- 生活環境, 健康への影響
(砂塵は $10\mu\text{m}$ より小さな土の粒を含む
(PM2,5も含むと思われる))



05/09/2019

農地保全を目的とした風食の発生メカニズムの解明

- 1. はじめに
- 2. 風食の実態
 - 2.1. 砂塵の実態
 - 2.2. 風食のメカニズム-釣り合い
- 3. 地表面上の微細な土粒に働く力
 - 3.1. 土粒密度(Suzuki&Matsuoka)
 - 3.2. 土粒密度と地表で動き始める風速
 - 3.3. 土粒に働く風の要素－限界摩擦速度 u_{*crit}
- 4. 風食の解決に向けた工学的対応

05/09/2019

2. 風食の実態 2.1 砂塵の実態

- 長野県塩尻市の圃場
- 地上高さ1.2mに設置した砂塵採取器
- 0.020mmふるい通過土粒12.6%
- 0.005mmふるい通過土粒0.4%
- 砂塵は単粒だけではなく、団粒を含む

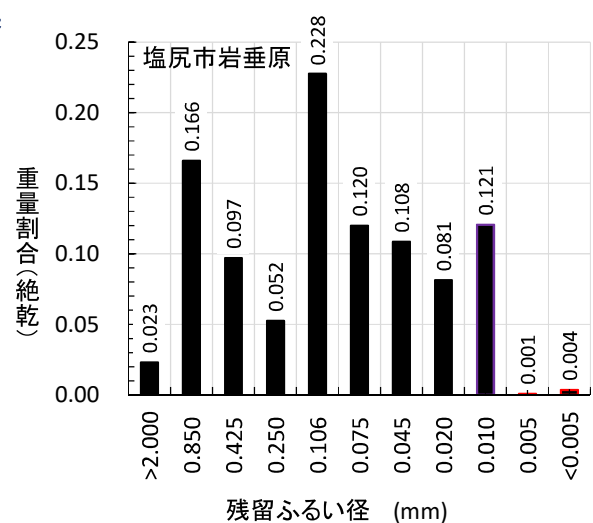
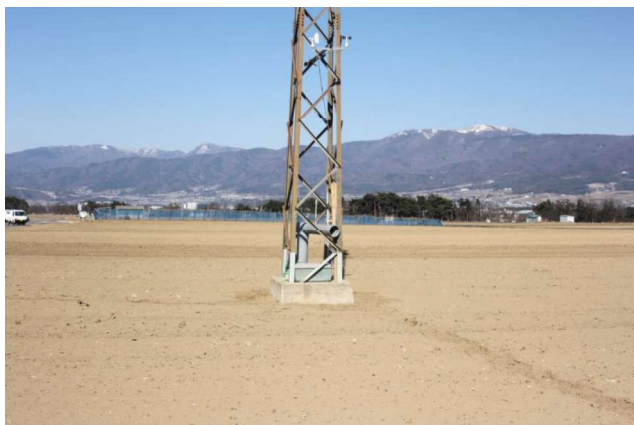


図1. 砂塵の粒径構成

05/09/2019

2. 風食の実態2 土粒の飛遊

・ 風食発生の原因

① 密度が小さい土の粒, 乾燥した土の粒は軽い

・ 風食発生の誘因

② 風が強い

農地保全を目的として, 上記の素因と誘因をどのように改良するか, これが, 課題解決の糸口となる。

「素因」の改良

「誘因」の改良

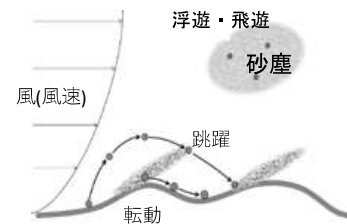


図2. 風食の機構

引用：大澤和敏, 第6章 2. 風食, 農地環境工学 第2版, pp.184-185, 文永堂出版, 2016 に一部加筆

05/09/2019

2. 風食の実態 2.2. 風食のメカニズム-釣り合い

- 土粒が地表面で移動し, 地表面から離脱する現象
- 転動, 跳躍や浮遊(飛遊)の形態をとるかは, 土粒に働く力の釣り合い(図3)に起因する。
- この釣り合いには, 土の粒の質量(重力)と風の力の影響が大きい。
土の粒の質量(重力):素因 風の力:誘因

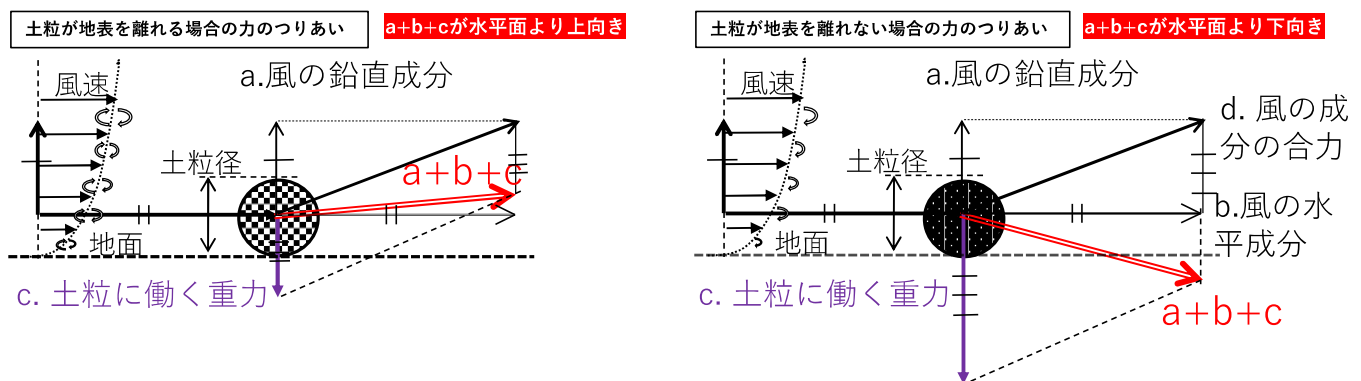


図3. 微細な土の粒に働く力の釣りあい

05/09/2019

農地保全を目的とした風食の発生メカニズムの解明

- 1. はじめに
- 2. 風食の実態
 - 2.1. 砂塵の実態
 - 2.2. 風食のメカニズム-釣り合い
- 3. 地表面上の微細な土粒に働く力
 - 3.1. 土粒密度(Suzuki&Matsuoka)
 - 3.2. 土粒密度と地表で動き始める風速
 - 3.3. 土粒に働く風の要素－限界摩擦速度 u_{*crit}
- 4. 風食の解決に向けた工学的対応

05/09/2019

砂塵の「素因」－砂塵になる微細な土の粒

- 「素因」の改良

質量が小さい土の粒(細かい土粒)

乾燥した土の粒は軽い



粒径が同じ、でも密度が異なれば粒の
質量は異なる

右のような微細な土の粒に対してその
ままの密度が欲しい(簡単に)

いくつかの仮定を採用して、土の粒の
密度を得る目標に続く段階として

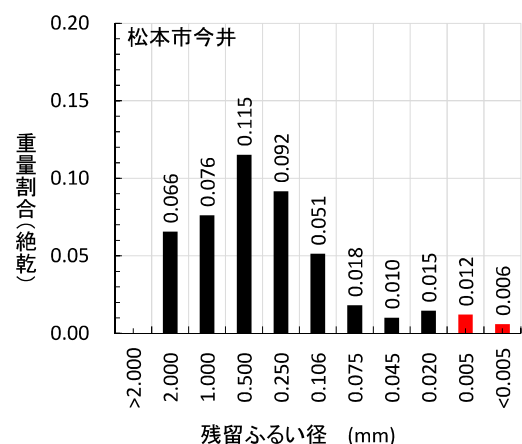


図4. 松本市今井で採取した表土の
粒径ごとの割合(団粒と単粒(砂粒)
の合計

05/09/2019

土粒の充填モデル

- 土粒は直径が均一な球体と仮定する

- 単位立方体に充填できる直径1/2の球は8つ

このとき、球の体積 $V_p = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}\right)^3 \times 8 = 0.524$

間隙の体積 $V_{wo} = 1 - 0.524 = 0.476$

→ 体積比 $V_p:V_{wo} = 0.524:0.476$ ◎体積比は球体の直径によらず一定

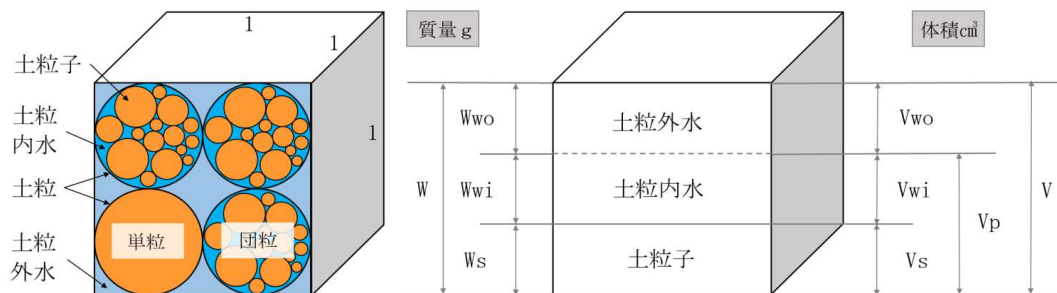


図5. 土粒の単純立方充填モデル

05/09/2019

土粒密度 ρ_g の導出充填モデル

- 体積比 $V_p:V_{wo} = 0.524:0.476$

$$V_{wo} = V_c \times 0.476 \quad (1)$$

$$W_{wo} = V_{wo} \times \rho_w \quad (2)$$

$$W_{wi} = W - W_{wo} - W_{sd} \quad (3)$$

$$V_{wi} = \frac{W_{wi}}{\rho_w} \quad (4)$$

$$V_p = \frac{W_{sd}}{\rho_s} \quad (5)$$

$$\rho_{pd} = \frac{W_{sd}}{V_p} \quad (6)$$

$$\rho_{ps} = \rho_{pd} + p_a \quad (7)$$

V_p	: 土粒体積	(cm^3)
V_c	: ケースの体積	(cm^3)
V_{wo}	: 土粒外水の体積	(cm^3)
V_{wi}	: 土粒内水の体積	(cm^3)
V_s	: 土粒子の体積	(cm^3)
W_{wo}	: 土粒外水の質量	(g)
W_{wi}	: 土粒内水の質量	(g)
W_{sd}	: 土の炉乾燥質量	(g)
ρ_w	: 水の密度	(g/cm^3)
ρ_s	: 土粒子密度	(g/cm^3)
ρ_{pd}	: 炉乾燥土粒密度	(g/cm^3)
ρ_{ps}	: 飽和土粒密度	(g/cm^3)
p_a	: 土粒空隙率	

$$\rho_p = \frac{V_s}{V_{wi} + V_s} \rho_s + \frac{V_{wi}}{V_{wi} + V_s} \rho_w$$

05/09/2019

- 水中ふるい分けによって画分された試料を粒径ごとにケースに充填する
- ケース上端で試料をすりきり，表面張力による水の盛り上がり無くした状態を充填された状態とする
- ケース内における土粒と間隙の体積比から団粒のままの土粒密度を求める

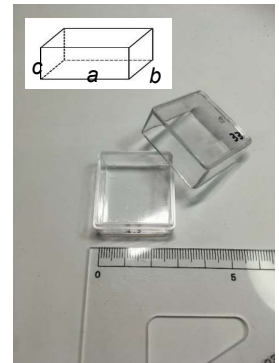
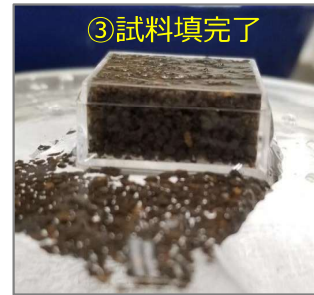
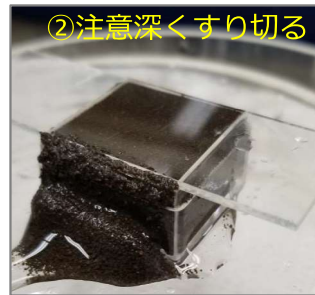
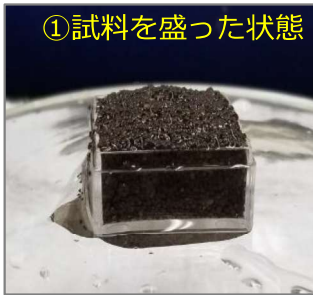


図6. 土粒の密度測定の様子(右写真の約8mLのフタつきクリアケースに画分した耐水性団粒を充填, 圧密を経て定量にいたる様子)

05/09/2019

土粒の密度

● 土粒の密度

土粒の水分状態と粒径による密度

風乾の土粒密度 $r_a(\omega_{AD})$ は, 1.05から1.21g/cm³

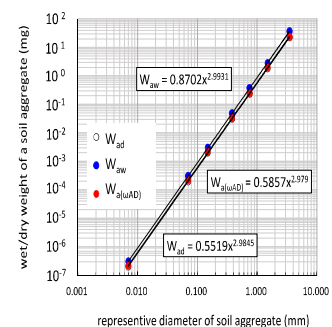
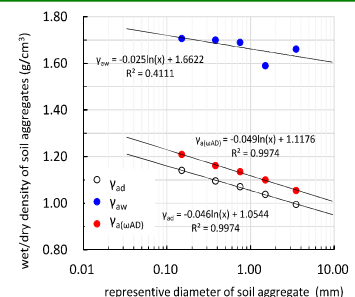
土粒子密度 r_s は2.49g/cm³だから r_a/r_s は<50%

→土粒の間隙率は50%程度である

● 土粒の質量

含水状態に対する画分ごとの土粒質量

砂塵になる微細な土粒のひと粒の質量は小さい



上記の結果は、微細な土粒の密度を得るという目標に続く現段階の土粒密度試験法による

図7. (上)飽和, 風乾および絶乾状態の土粒密度(下)含水状態に対する画分ごとの土粒質量

風

- ・ 誘因の改良

風の力を弱める
風の力を弱める
とは？

風による地表面
のせん断力を弱
めること

植生を生やす
防風林
被覆



05/09/2019

風の力の定量化

- ・ 風速のモデル
- ・ 式(1)滑らかな平坦地の平均風速分布 $u_{(z)}$
 u_* は摩擦速度, z_M は粗度
- ・ 式(2), (3)式(1)の $u_{(z)}$ が u_* に等しいとき
- ・ 式(4) k はカルマン定数だから右辺は0.4
- ・ 式(5), (6)書きかえて z について整理
- ・ 式(7) u_* と等しい $u_{(z)}$ の高さ z は粗度 z_M の1.5倍であることが導かれる
- ・ 式(8)土粒が動き始めるときの風速をBognoldの限界摩擦速度 u_{*crit} で評価

$$u_{(z)} = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_M} \quad (1)$$

$$u_* = \frac{u_*}{\kappa} \ln \frac{z}{z_M} \quad (2)$$

$$1 = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{z}{z_M} \quad (3)$$

$$\ln \frac{z}{z_M} = \kappa = 0.4 \quad (4)$$

$$e^\kappa = e^{0.4} = \frac{z}{z_M} \quad (5)$$

$$z = e^\kappa z_M = 1.5 z_M \quad (6)$$

$$u_* = u_{(1.5 z_M)} \quad (7)$$

$$u_{*crit} = A \sqrt{\frac{(\rho_p - \rho_a) g D_p}{\rho_a}} \quad (8)$$

図8. 使用した風のモデル

土粒に働く風の要素－限界摩擦速度 u_{*crit}

● 土粒の粒径と限界摩擦速度

土の粒が地表面で動き始めるときの摩擦速度

土粒密度 1.1g/cm^3 に対しては粒径による変化は小さく、 2.5g/cm^3 に対しては大きい。

● 風速 $u(1.8\text{m})$ と土粒密度, 限界摩擦速度

2m/s 粒径が $0.05\sim 1.0\text{mm}$ の土粒は動かない

2.5m/s 超える

0.05mm の土粒は密度が $1.1\sim 2.5\text{g/cm}^3$ の場合、

0.1mm の土粒は密度が 1.1g/cm^3 (風乾時)だけ動く

4.0m/s 超える

0.1mm は密度が $1.6\sim 2.5\text{g/cm}^3$ も動く

5.0m/s 超える

密度 1.1g/cm^3 の 0.5mm は動く

$1.6\sim 2.5\text{g/cm}^3$ は動かない

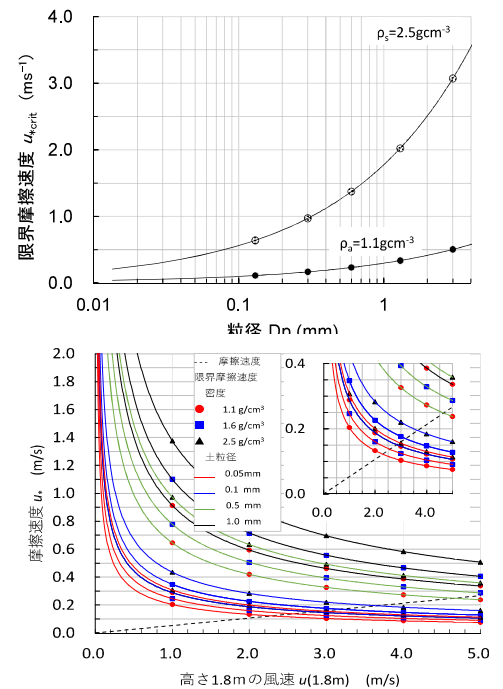


図9. (上)土粒径と限界摩擦速度の関係
(下)風速と土粒密度, 粒径と限界摩擦速度

東日本の畑地から発生する砂塵の素因

- 東日本各地： 長野県松本市今井, 群馬県太田市藪塚, 千葉県八街市八街, 北海道帯広市清川の東日本各地の畑地で採取した土壌

- 西日本： 和歌山県田辺市田辺ミカン畑, 鳥取砂丘砂(鳥取砂丘)

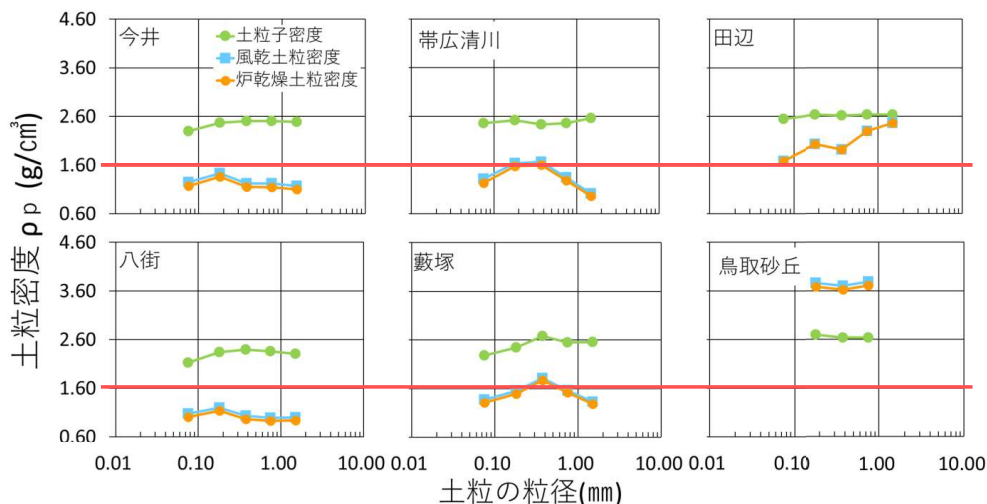


図10. 各地の土粒子と土粒の粒径別密度

東日本各地の土粒密度の差異に及ぼす有機物量の影響

・ 畑土の炭素体積率と土粒密度の関係

東日本各地(長野県松本市今井, 群馬県太田市藪塚, 千葉県八街市八街)の畑地土壌

和歌山県田辺市田辺のみかん畑

東日本の土壌

炭素体積率が大きいほど土粒密度が小さい

しかし, 田辺は外れる

火山灰土の営農管理(有機物施用方法)との関係

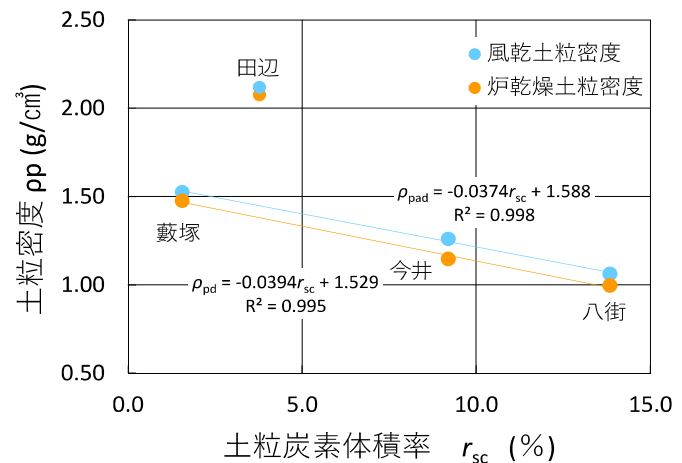


図11. 各地の土粒炭素体積率と土粒密度

05/09/2019

農地保全を目的とした風食の発生メカニズムの解明

- ・ 1. はじめに
- ・ 2. 風食の実態
 - 2.1. 砂塵の実態
 - 2.2. 風食のメカニズム-釣り合い
- ・ 3. 地表面上の微細な土粒に働く力
 - 3.1. 土粒密度(Suzuki&Matsuoka)
 - 3.2. 土粒密度と地表で動き始める風速
 - 3.3. 土粒に働く風の要素-限界摩擦速度 u_{*crit}
- ・ 4. 風食の解決に向けた工学的対応

05/09/2019

風食の解決に向けた工学的対応

● 「素因」の改良に対するヒント



図12. 砂塵抑制のためのパーライト主体の被覆材散布

風の力をよわめる対応

- よく行われている「草生」
その後の栽培のため、砂塵発生時期はすき込まれてしまう

- 被覆材の散布－主成分は鉱物「パーライト」のカンテン搾りかすを主体とした資材

効果は大きく、そのまますき込むことができるが、散布効率が悪く、資源も限定的



風の力をよわめる対応

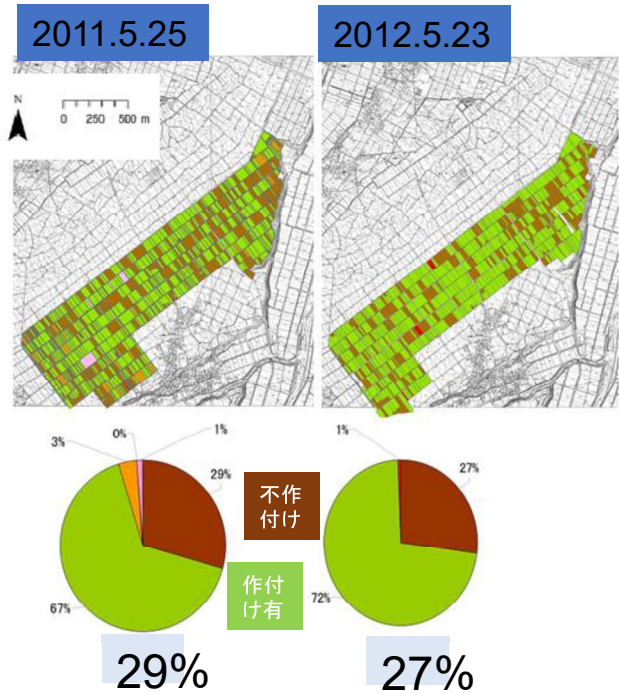


図13. 長野県塩尻市岩垂の5月末の不作付け状況（不作付けは当年が未作付け）

05/09/2019

まとめ

● 農地保全を目的とした風食の発生メカニズムの解明

風食の発生メカニズム「素因」と「誘因」

素因は砂塵になる土の粒の質量—密度と粒径

誘因は、風の強さと風の質

● 農地保全を目的とした風食の抑制

素因の改良

誘因の改良

風食はどこでも発生する(乾いた、微細な土、強い風)

風食が発生する場所は広い

様々な方法を組み合わせた対策が必要

体系立てた研究と技術の開発が求められている

塩類管理・利用システム導入による塩類土壌の 順応的な管理・保全に向けた研究

久米 崇*・山本 忠男**・清水 克之***

*愛媛大学大学院農学研究科

**北海道大学大学院農学研究院

***鳥取大学農学部

1. はじめに

農地における土壌塩類化は紀元前から発生している。土壌塩類化は、未だ根本解決されていない問題であり世界中で研究が続けられている。塩類化に関する研究は、1950年代以降から活発に行われ、1990年までにはFAOや米国土木工学会が農地塩類の評価と管理に関するテキスト(e.g., ASCE, 1990)を刊行し基礎的な研究はほぼ完成をみた。

2000年代以降は、灌漑先進国の米国や豪州などで、農地からの排出塩類を管理する灌漑排水システムの研究が活発に行われている。最も先端的なものは、生物的塩類濃縮(Sequential Biological Concentration, 以下、SBCと略す)システムであり、作物栽培と排水の再利用を繰り返し、塩類を濃縮し廃棄処理するものである(Ayars, 2014; Brackwell et al., 2005)。SBCシステムは、暗渠、ろ過システム、ソーラーエバポレーターなどの施設・設備と100 ha~1,000 haという大規模な農地を要求するため導入には様々な制限がある。

筆者らは、タイ王国コンケン県において、SBCシステム概念を援用し、排水改良による除塩と耐塩性作物栽培を調査圃場において進めている。また、高塩分濃度排水を製塩に資源利用するための調査とワークショップを実施し、製塩を含めた塩類管理・利用システムの導入を進めている(Kume et al., 2019)。コンケン県の対象地域における、平均的な土地所有面積は2~3 ha程度であり、経済的にも豊かではない。したがって、SBCシステムそのものの導入は難しい。現地における順応的な塩類の管理に向けて、地域の特性・実情を理解した上で、当該地域において普及可能なシステムの開発・改良を行う必要がある。

本稿は、筆者らがコンケン県で進めている塩類管理・利用システムの研究経過を報告し、塩類土壌の保全に関する情報を共有しようとするものである。

2. 調査対象地域と塩類管理・利用システムの概略

東北タイでは、総面積16.9万km²の約17%が塩類化の影響を受けている。同県は、タイの内陸部に位置し、周辺には塩類を地区外へ排出するための大河川や海洋は存在しない。したがって、除塩した塩類の排除には、県境を越える大規模な排水路網が必要になり現実的ではない。同県は平坦地形が広範囲に分布しており、排水不良地が多く存在することも塩類化の解決が進まない原因となっている。ここでは、雨季(5月~10月)には天水による稲作が行われ、乾季(11月~4月)にはため池の水を用いた野菜(トマト、ピーマン、カボチャなど)などが栽培されている。

コンケン県に筆者らが導入したシステムは、調査圃場の中央に排水路を掘削し、雨季の

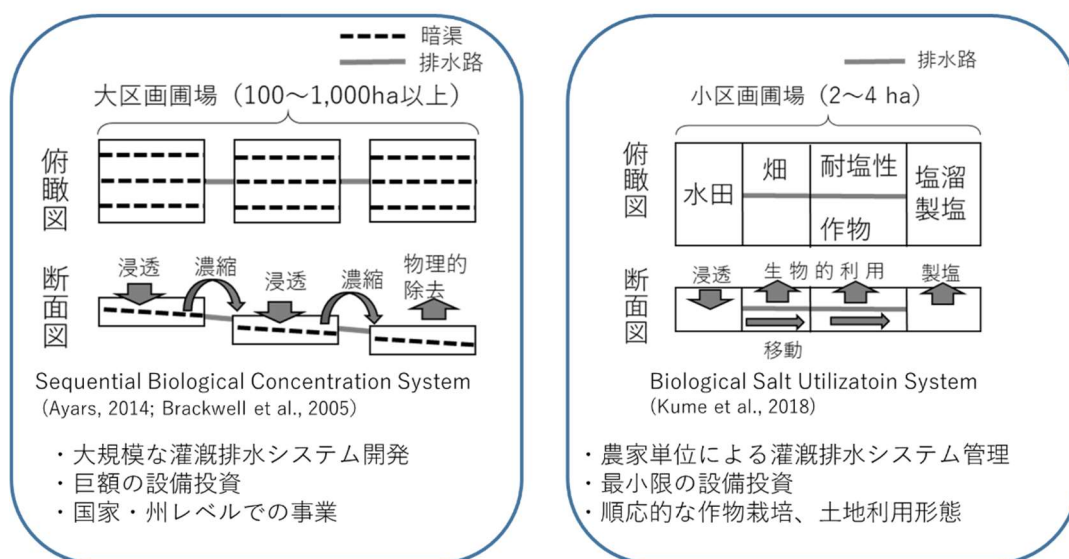


Fig.1 本研究（右）と SBC（左）による塩類管理・利用方法の違い

降雨をリーチング用水として利用し上流から下流にかけて除塩を進めながら、塩分濃度のレベルにあわせて稲作、耐塩性作物栽培、食用塩の製造を行うシステムである（**Fig. 1**）。このシステムは、排水を地区外へ排除するための排水路網を必要とせず、農家家計単位（2～3 ha 程度）で塩分管理を可能にするところに利点がある（Kume et al., 2021）。

3. 塩類管理・利用システム導入による途中結果

3.1 土壌塩分濃度変化

雨季における降水を利用したリーチングと排水改良によって、2019 年 3 月から 2019 年 12 月にかけて土壌の塩分濃度は最大で約 6 dS/m 塩分濃度が低下し、表層から 60 cm 程度まで除塩が進んでいた（**Fig. 2**）。また、EM38 によって測定した電気伝導度から、**Fig. 3** に示すように対象領域全体では平均して 15%以上塩分濃度が低下した（Nohara et al., 2021）。

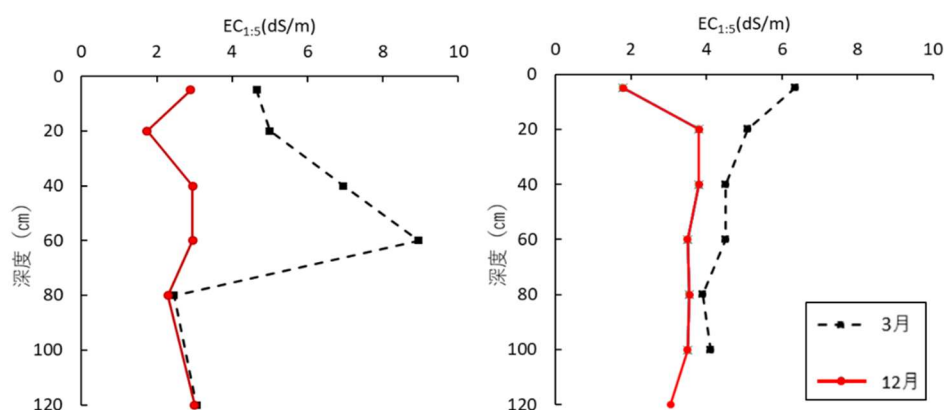


Fig.2 調査圃場におけるリーチング前後における塩分プロファイルの変化

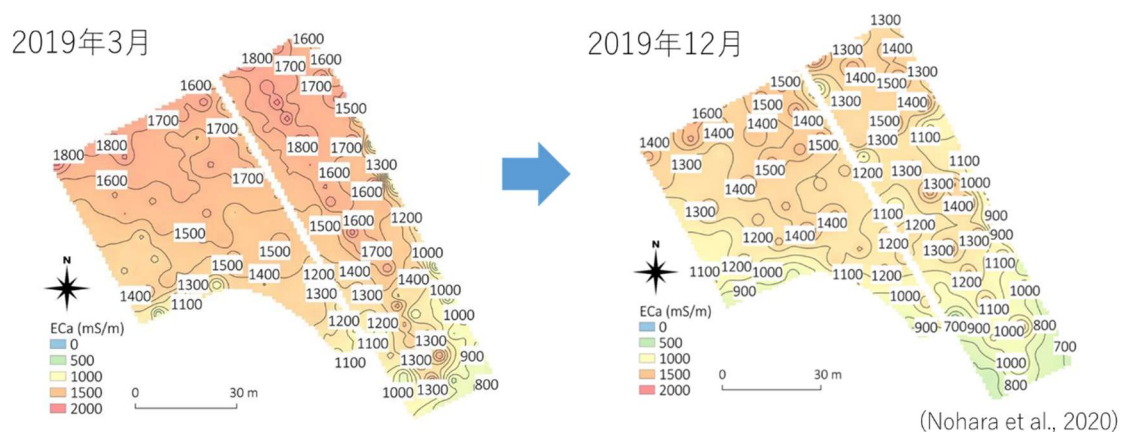


Fig. 3 調査圃場における塩分濃度の低下

3.2 耐塩性作物栽培試験結果

試験圃場では、除塩と並行してセสบニア (*Sesbania rostrata*) の試験栽培を行っている。2019 年 9 月には低塩分濃度土壌での栽培が成功し、2020 年 3 月から高塩分濃度土壌において種々の土壌改良資材を用いたセสบニアの栽培試験を行っている。Fig. 4 に示すように圃場内において生育に差があるものの、耐塩性作物栽培が可能なレベルにまで除塩が進んでいることが明らかとなった。また、愛媛大学農学部においてワサビノキ (*Moringa Oleifera* Lam.) のポット栽培試験を行い、 $EC_e = 8 \text{ dS/m}$ の高塩分土壌で生育が可能となる結果が得られている (稲田ら, 2020)。

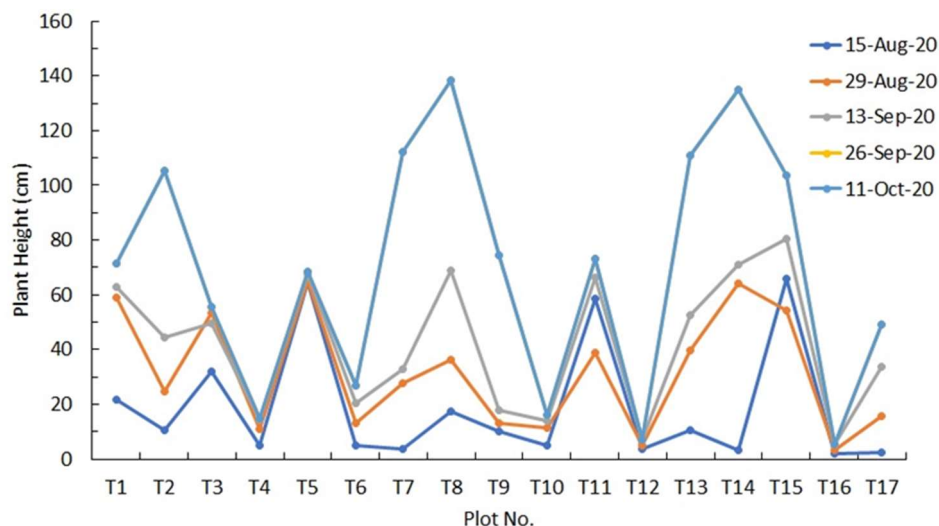


Fig. 4 改良した調査圃場における耐塩性作物（セสบニア）の生育結果

3.3 食用塩の製造販売

コンケン県では、伝統的な方法によって製塩が行われ、市場において食用塩として販売されている (Fig. 5)。本研究では、調査圃場の末端部に製塩小屋を建設し、上流から排出

された地下水中に含まれる高濃度塩類を用いて製塩を行っている。製造された食卓塩は、仲介業者によって買い上げられ、地元をはじめとする各市場で販売されている。食卓塩は 1kg あたり 18 バーツで仲買人に買い上げられているが、価格が下落傾向にあるため、農家収入向上のためには付加価値を付ける、塩を使った商品を開発するなどして、売価を向上させていく工夫が必要である。



Fig. 5 調査圃場末端において伝統的方法で製造された食卓塩

4. まとめ

本研究は、排水改良を主として塩類の管理を行い、耐塩性作物栽培と伝統的製塩による塩類利用を農家計単位で可能にするシステムの完成を目指している。本稿は、システム導入の途中経過の報告であり、除塩、耐塩性作物栽培、製塩といった農地における塩類の管理と利用が順調に進められていることを明確に示すものである。本システムを発展させることで、現地における塩類土壌の改良・保全が社会的・自然的な変化に対してより順応的に実施することが可能になるだろう。

謝辞：本研究は三井物産環境基金および JSPS 科研費（21H03692）の助成を得て実施している。記して感謝の意を表する。

引用文献

- 1) ASCE, 1990, Agricultural Salinity Assessment and Management, ASCE Pub., New York
- 2) Ayars and Soppe, 2014, Integrated on-farm drainage management for drainage water disposal, Irrig. and Drain.. 63: 102-111;
- 3) Blackwell et al., 2005, Evaluation of a sequential biological concentration system in natural resource management of saline irrigated area, Australian J. Water Res. DOI: 10.1080/13241583.2005.11465275
- 4) 稲田唯花, 久米崇, 治多伸介. 2020. 水田塩類土壌におけるワサビノキの耐塩性栽培実験. 2020 年度農業農村工学会全国大会. 439-440
- 5) Kume, T., Boonthai Iwai, C., Srihaban, P., Yamamoto, T., Shimizu, K., Matsuda, H. & Ubukata, F. 2019. The Cascading Salt Using System for Adaptive Environmental Governance to Sustain Rural Areas in, Khon Kaen Province, Thailand. The 10th International Conference on Environmental and Rural Development. Abstract Book 10th ICERD, 2nd NIC. Sakhon Nakhon, Thailand.
- 6) Kume, T., Boonthai Iwai, C., Yamamoto, T., Shimizu. 2021. Development of a system for salt removal, crop cultivation, and salt production that does not rely on a large-scale irrigation and drainage network. Poster session. GSAS21, FAO.
- 7) Nohara, N., Yamamoto, T., Kume, T., Shimzu, K., Boonthai Iwai, C. 2021. Effect of Excavated Small Draingane Channels on Desalinization in Northeastern Thailand. International Journal of Environment and Rural Development. (in press)

【講演者略歴】

久米 崇（くめ たかし）

所属：愛媛大学大学院農学研究科

職名：准教授

2003 年 京都大学大学院農学研究科博士後期課程修了

2004 年 総合地球環境学研究所 プロジェクト上級研究員

2007 年 鳥取大学乾燥地研究センター プロジェクト研究院

2008 年 総合地球環境学研究所 特任准教授

2012 年 愛媛大学農学部 准教授

現在に至る

塩類の管理と利用による塩類土壌の順応的な 管理・保全に向けた研究

Study on Adaptive Saline Soil Conservation by Salt Management and Utilization

久米 崇
(愛媛大)

山本忠男
(北大)

清水克之
(鳥取大)

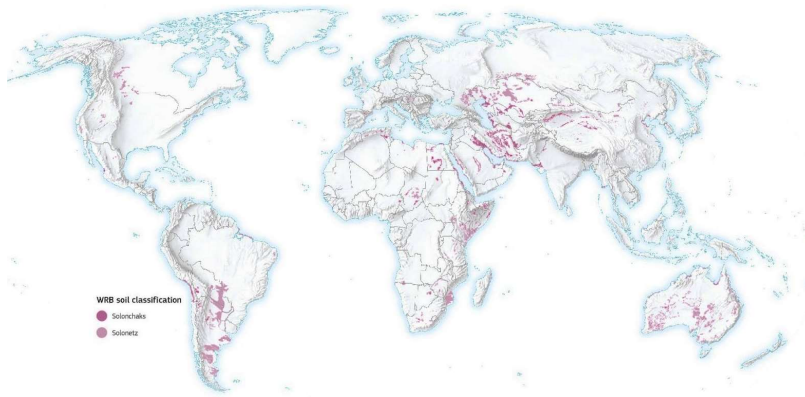
塩類土壌とは？



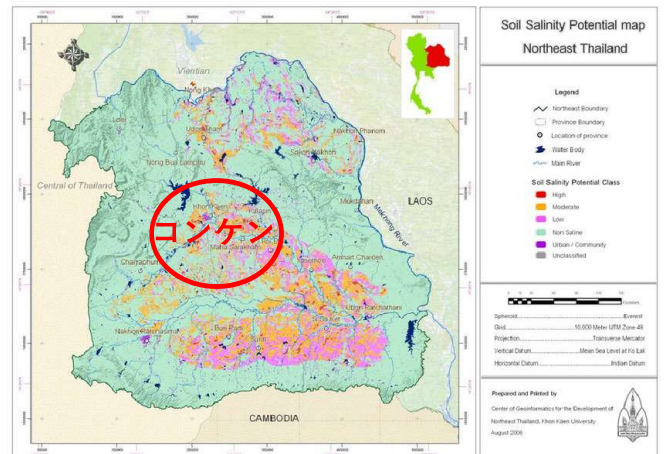
試験圃場（コンケン県バンパイ区）

- ・地質起源や灌漑水中に含まれる塩類（問題となるのはNaCl）が過剰に蓄積・集積した土壌
- ・土壌中の塩類は、毛管現象によって土層の下方から上方へ移動し、土壌表面で集積する
- ・植物は、土壌水と植物体内の浸透圧の差により、根から水分を吸収できなくなり、生育不能となる

世界と東北タイの塩類土壌分布



<https://wad.jrc.ec.europa.eu/soilsalinization>

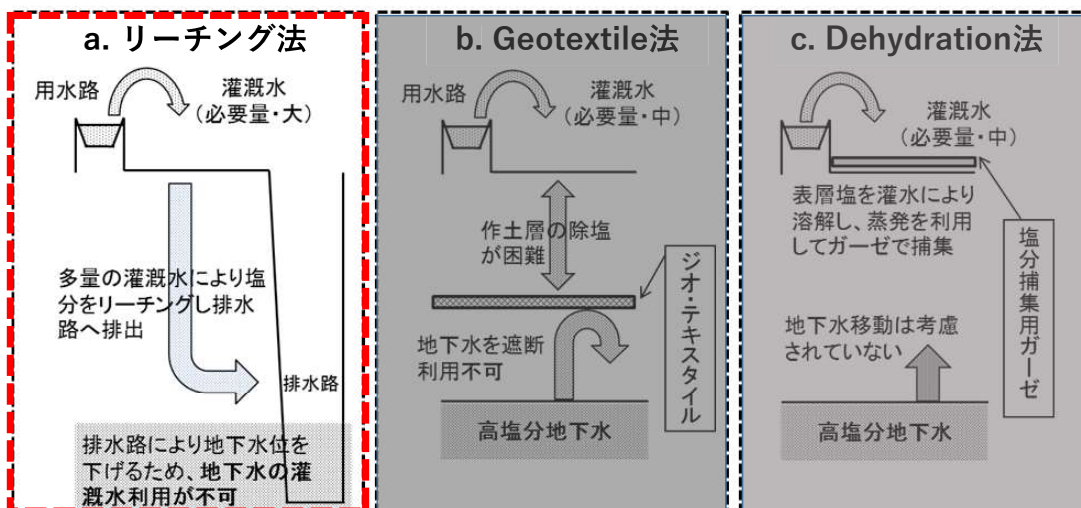


Mongkolsawat and Paiboonsak (2015)

- ・塩類土壌=世界の陸地の3.1% (397 Mha) (FAO, 2005),
- ・農業に起因する塩類土壌 = 76.6 Mha (Oldeman et al., 1991)
- ・塩類土壌は気候変動や人口増加によって増加 (Rengasamy, 2008)

- ・東北タイの土壌の17% (234,600ha) は塩類化している
- ・塩類はマハサラカム層（地質）起源
- ・農業は雨季の水田が主である（製塩は乾季の副業的。その他炭焼きなども）

塩類土壌の改良方法（従来法）



- ・除塩用水の確保、排水路網の整備が必要
- ・高塩分排水の排出先の確保（大河川、海洋）

コンケンには、水資源開発と排水路の建設が立地・地形的に極めて困難

圃場整備されていない低平排水不良農地



研究の背景

土壌塩類化の再定義 (Rethinking) :
塩類は害ではなく、資源である



塩類土壌の改良

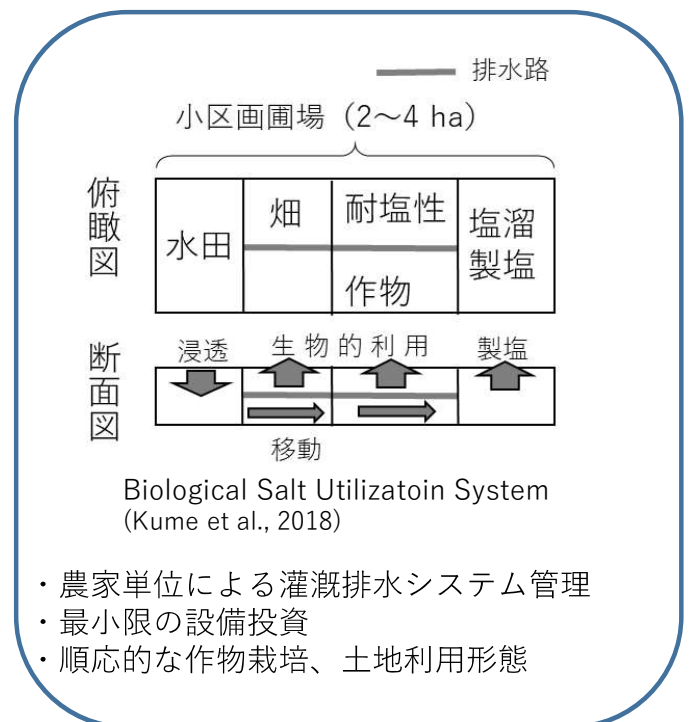
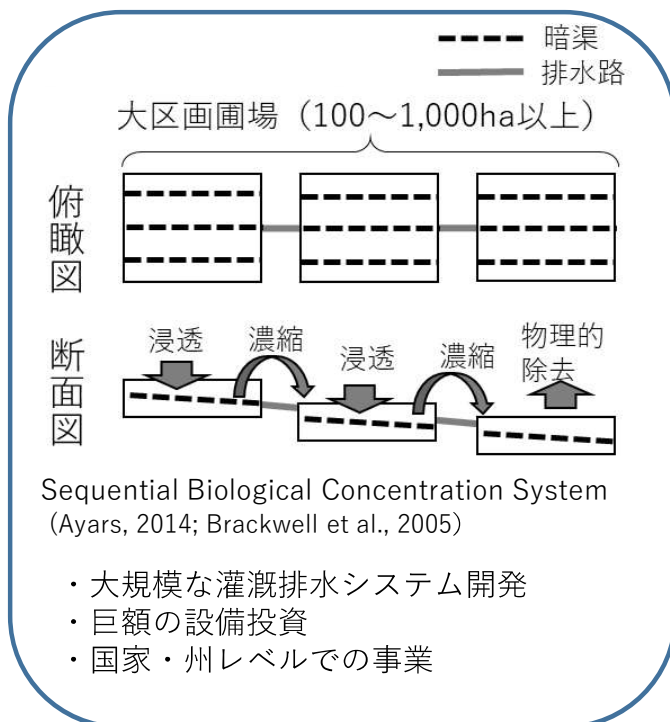
- ・リーチング
- ・排水改良
- ・地下水管理

塩類は、ここではないどこかへ排出される



食用塩や耐塩性作物栽培
による塩類の資源活用

塩類管理・利用方法の提案



三井物産環境基金（2018年度～2020年度（1年延長））

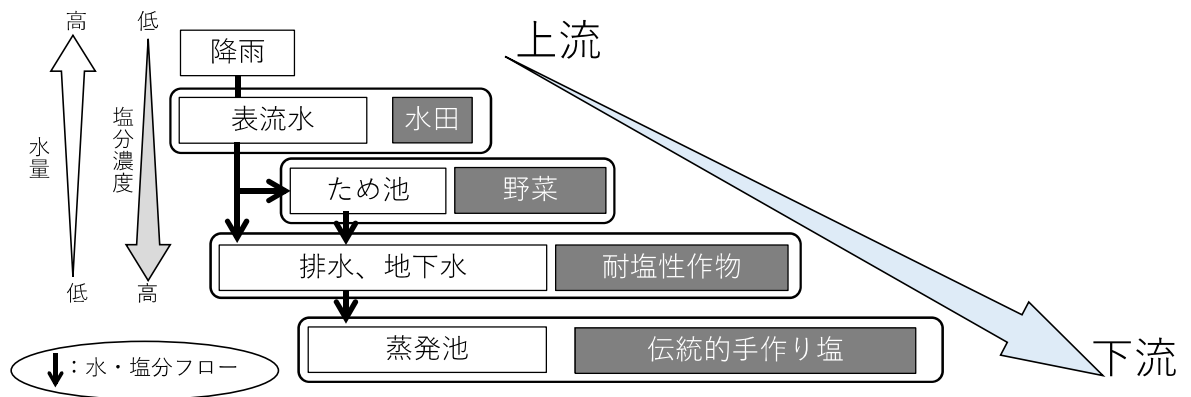
農地塩類のカスケード型利用システム導入による高濃度塩分を資源物質に転換する順応的環境ガバナンスの実践的研究

プロジェクトの主目的

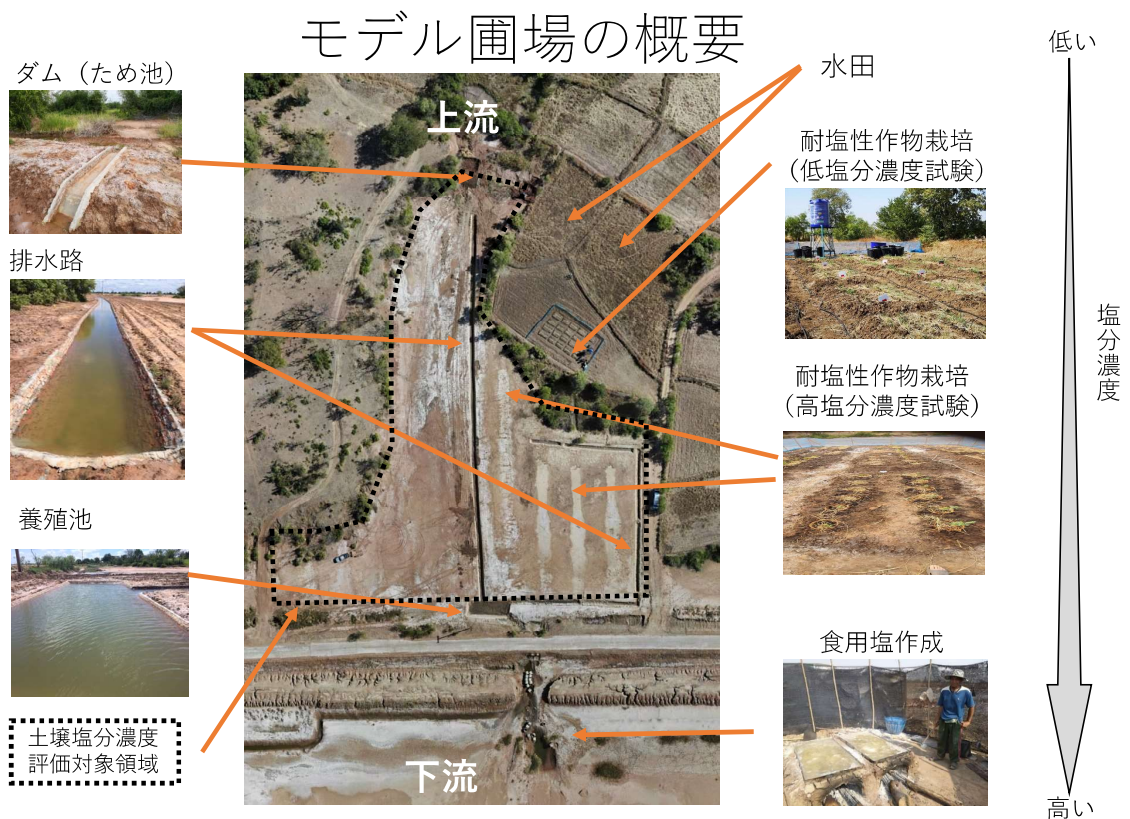
- 1) 試験圃場の塩類管理・利用（土壌塩分濃度低減）
- 2) 農家収入の増加（製塩と耐塩性作物栽培）
- 3) 塩類化問題を抱える複数地域のネットワーク構築

これらの目的を達成するために、
農地塩類の生物的塩類利用システム
を提案した

農地における生物的塩類利用システム



上流から下流に向けて、土壌中の塩分濃度が高くなることを考慮して、各塩分濃度に応じ土地利用を工夫するシステム



生物的塩類利用システムの特徴



これまでの成果

- ・ 土木施工・管理 (ほぼ完了)
- ・ 土壌塩分管理 (塩分濃度低下)
- ・ 製塩農家との協働関係の構築
- ・ 耐塩性作物栽培試験の実施
- ・ ミャンマーやベトナムの塩類化研究者らとの交流

耐塩性作物



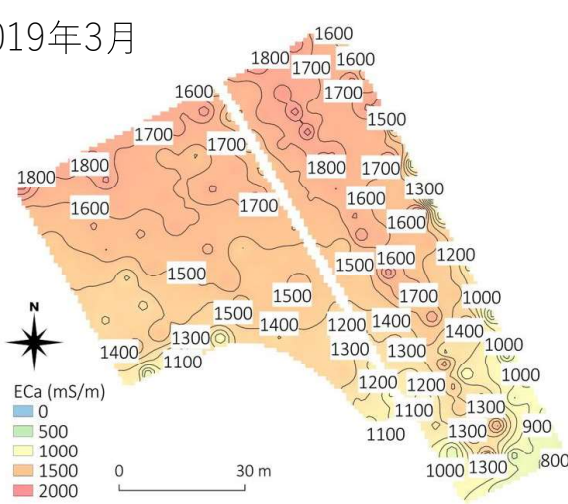
セスバニア (花を食用とする)



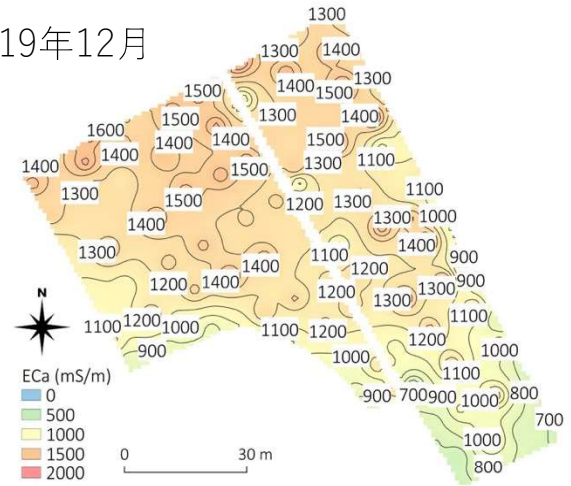
モリンガ
(ワサビノキ)
(すべての部位が食用可)

圃場全体における塩分濃度の低下

2019年3月



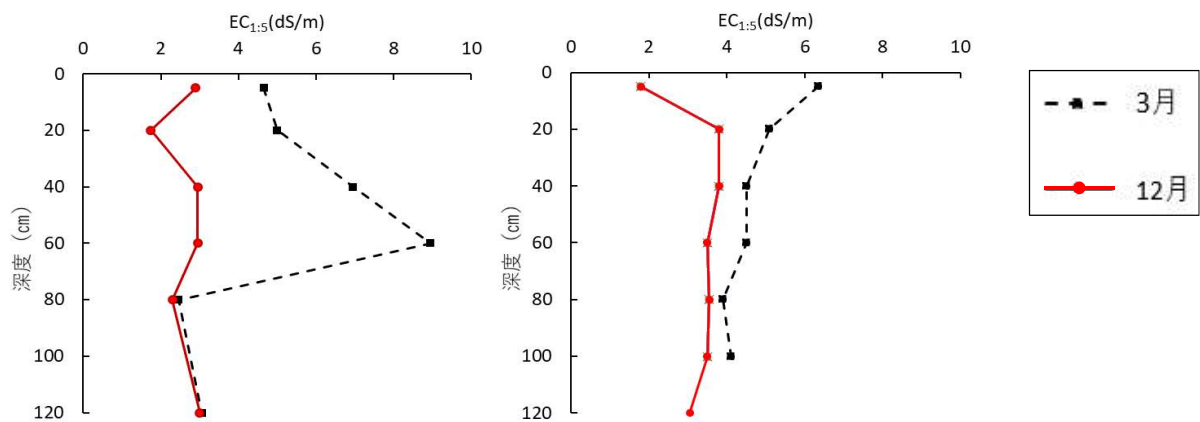
2019年12月



(Nohara et al., 2020)

12月、3月の深度0.75 mにおけるEC

土壌プロファイルにおける塩分濃度低下



2020年3月から雨季（6月～10月）を経て同年12月には大きく塩分濃度が低下した

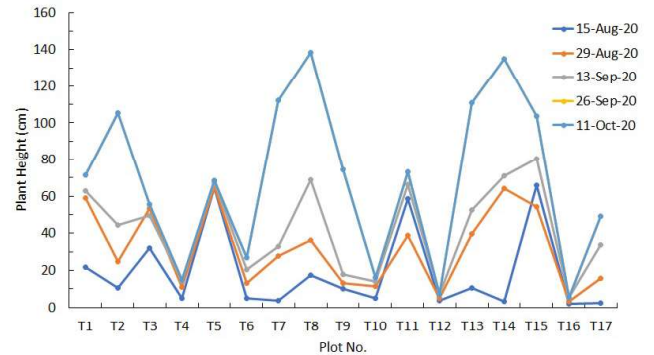
除塩が進んだ圃場における耐塩性作物栽培試験



2017年（研究開始前）
圃場の塩類集積状態



2020年8月～10月
除塩が進んだ同圃場における耐塩性作物栽培試験



耐塩性作物栽培試験の結果
プロットによって差があるが作物栽培が可能になった

今後の重点目標 1

目標値：農家の**年収10%up**（=1万バーツ程度）

例）1万バーツ分の収入（実質ベース）

5月～9月（雨季）

耐塩性作物(セスバニア100g, 50バーツ×100packs)

12月～4月（冬季～乾季）

製塩(食卓塩1kg, 18バーツ×280packs)



タイ産市販塩：250gで15バーツ

安い塩をどう付加価値をつけて高く売るか？



仲買業者に米袋に詰めて販売
1kgで18バーツ



パッケージ化してブックレット
を付けて販売（ギニアの例）

未来世代へ塩業をつなぐスターを誕生させる



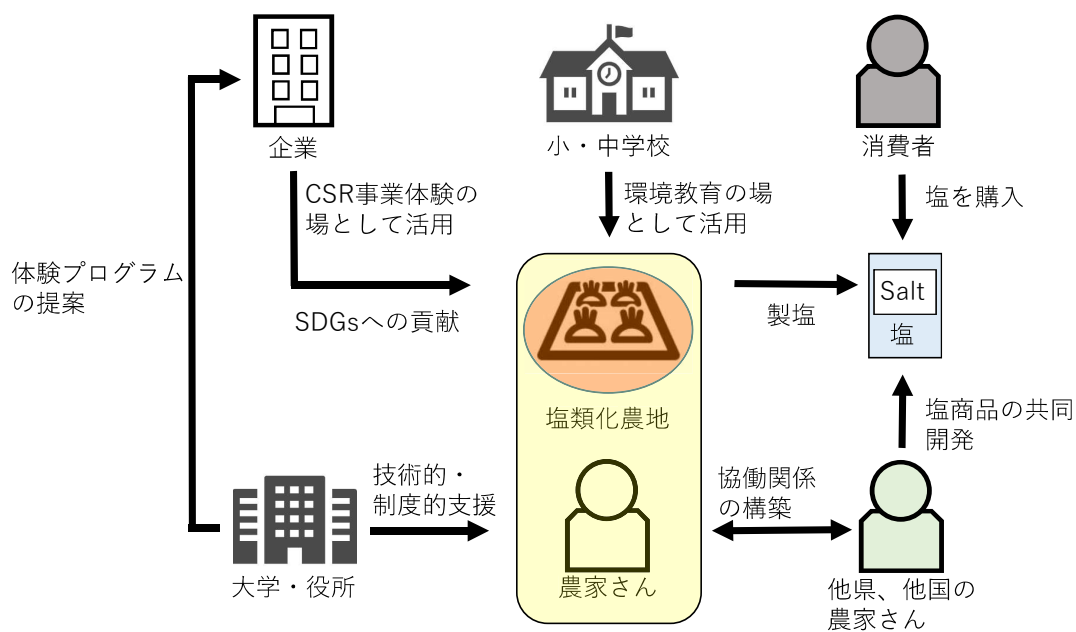
Mr. Kaewによる、コンケン大学学生さん向けの製塩レクチャー
の様子（2019年3月ワークショップ）

- ・インターネット上での製塩紹介
- ・研究会、講演会でのスピーカー
- ・各種メディアへの登場

.....などを通じて、コンケンの製塩を未来世代につなぐ活動を通じて、ここでの塩業の知名度を上げる。

今後の重点目標 2

目標：多様な人々や組織からなるネットワークの構築



【令和3年度 研究発表会】

令和3年度農地保全研究部会研究発表会について

令和3年12月5日

日時 令和3年12月6日（月） 13:00～16:00
場所 オンライン（zoom）開催（事務局は東京農業大学世田谷キャンパス内）
トピック：令和3年度 農地保全研究部会研究発表会
<https://zoom.us/j/93390427561?pwd=MGJLdEZ0dW9Uc3M1N0h1KzczZHZkdz09>
ミーティング ID: 933 9042 7561 パスコード: 502886
主催 農業農村工学会農地保全研究部会（担当支部：関東支部）
事務局 藤川智紀（東京農業大学）

スケジュール

1. 開会挨拶・趣旨説明 13:00～13:05

東京農業大学 藤川智紀（農地保全研究部会部会長）

2. 研究発表会

13:10～13:30 池田 将隆（宇都宮大学大学院地域創成科学研究科）

群馬県嬬恋村のキャベツ畑における土壌侵食および吾妻川流域における土砂流出の解析

13:30～13:50 金敷 奈穂（宇都宮大学大学院地域創成科学研究科）

沈砂池堆積土の農地還元に伴う土壌受食性の変化

13:50～14:10 仲宗根 祥太（琉球大学大学院農学研究科）

島嶼環境の斜面補強工頭部における腐食と防錆油変色

14:10～14:22 饒波 圭吾（琉球大学農学部）

島尻マージ土における油分浄化と含水比・通気量の関係
(休憩)

14:30～14:42 近藤 陸（琉球大学農学部）

地下ダム建設と地域農業の状況

14:42～14:54 末吉 一輝（琉球大学農学部）

地質の異なる地すべりににおける土中水の降雨応答

14:54～15:06 島袋 大輝（琉球大学農学部）

多良間島における地下水取水および降雨に伴う塩淡境界の変化

15:06～15:18 濱崎 将伍 （日本大学生物資源科学部）

藤沢市における耕作放棄地の現状と農地活用に関する研究

15:18～15:30 池田 和幸 （東京農業大学地域環境科学部）

簡易濃度計を用いた農地土壌における温室効果ガスの測定

15:30～15:55 質疑応答（時間内に聞けなかった質疑、全体へのコメントなど）

3. 総括・閉会挨拶 15:55～16:00

琉球大学 中野拓治 （農地保全研究部会副会長）

※1 院生は発表 15 分、質疑 5 分の計 20 分、学生は発表 7 分、質疑 4 分、指導教官からの追加説明 1 分の計 12 分としています。

※2 講演要旨については各発表前にチャットで配信したいと思います。

※3 終了後も 1 時間程度 zoom を開放していますのでフリートークが可能です。
お時間のある方はご参加下さい。人数が多い場合などはブレイクアウトルームで少人数の部屋を作ります。

※4 google フォームで作成したアンケートを作成致しました。聴講された方に回答をお願いしたいと思います。

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeOqgPADEqj4CTrfyeyoxfQXmypo_Q77zi6K1q_WIJPgL97K8w/viewform?usp=sf_link

発表への注意事項

- ・ 「農地保全」に関する研究、技術の発表であれば、テーマは特に定めません。土壌侵食、農地防災、土壌汚染の他、特殊土壌、耕作放棄、都市農地保全なども含みます。もし、判断の難しい場合には事務局にお問い合わせ下さい。
- ・ 発表者は原則として、学生、院生とします。発表は既発表（学会支部大会含む）のもので構いません。学部生の発表については、指導教員が質疑応答の後に説明を加えることができるものとします（発表時間の最後の 1 分）。なお、応募人数が多い場合には発表時間を短くすることや、多すぎる場合はテーマによって発表者を選抜することがありますので予めご了承下さい。

- 発表者には発表前に講演要旨を作成して頂きます。講演要旨は農業農村工学会全国大会の要旨の形式で1ページとします。講演要旨は発表会の前に学会ホームページを通じて参加者に配信すると共に農地保全研究部会誌「農地保全の研究」に掲載します。今年度は締め切りから発表会までの日数が少ないため、当日も zoom のチャットなどで要旨を配信したいと思います。
- 発表は原則としてパワーポイントまたは pdf によるスライドを用い、発表者が各自のパソコンから画面を共有して発表して下さい。
- 参加者の取りまとめはしませんので、参加をご希望される方は所定の zoom アドレスから随時アクセスをして下さい。参加者は部会会員（農業農村工学会会員）でなくとも農地保全研究分野に関わる技術者及び研究者、院生、学生を対象とします。特に院生、学生（低学年含む）については若手技術者の育成の観点からも積極的に参加をしてもらいたいと思います。

群馬県嬭恋村のキャベツ畑における土壌侵食および吾妻川流域における土砂流出の解析 Analysis of soil erosion in cabbage farmland in Tsumagoi Village, Gunma Prefecture and sediment runoff in the Agatsuma River watershed

○池田 将隆*・大澤和敏**・松井宏之**

○Masataka IKEDA*, Kazutoshi OSAWA**, and Hiroyuki MATSUI**

1. 背景・目的

嬭恋村は約 3000 ha の広大な栽培面積を有する夏秋キャベツの一大産地である。当地域は中山間地域に分類される傾斜地である¹⁾ため、土壌侵食が問題となっている²⁾。池田ら³⁾は嬭恋村のキャベツ畑における侵食抑制対策が土壌侵食に与える影響を定量的に評価した。この研究はいくつかの対策方法を評価しているものの、対策方法を組み合わせた場合の抑制効果は評価していない。さらに単一圃場での評価で留まっているため、広域での評価は行っておらず嬭恋村全体での土砂流出量は定かではない。また佐久間⁴⁾は、農地における土壌侵食は流出した土砂が下流域にて堆積することでその環境に影響を及ぼすこと、特に土砂堆積の影響を直接受けるのはダムであることを示した。嬭恋村の中央部には吾妻川が流れており、下流には八ッ場ダムが位置している。八ッ場ダムは重要な多目的ダムであるため堆砂を抑制することは重要な課題となる。一方で、西川ら⁵⁾は、全国のダム・堰を対象にダム管理に関連する各種指標を整理しデータベース化をした。その中で管理経過年数が 100 年に満たないにも関わらず堆砂率が 100%を超える、もしくは 100%に近いダムが存在するため、ダムの堆砂には課題があると示した。

そこで本研究は、嬭恋村のキャベツ畑における現在の流出土砂量と侵食抑制対策を実施した場合とを比較し、侵食抑制対策が吾妻川流域ひいては八ッ場ダムに与える影響を解析することを目的とする。

2. 研究の方法

本研究は、1. WEPP による侵食抑制対策の解析、2. 広域での侵食量および対策効果の評価、3. 侵食抑制対策が下流域に及ぼす影響の 3 つに構成を分けた。以下に各手順における詳細を記載する。

2.1 WEPP による侵食抑制対策の解析

侵食抑制対策を評価するために、WEPP(Water Erosion Prediction Project)を用いる。WEPP は米国農務省が開発したプロセスベースの侵食解析モデルである⁶⁾。本研究で用いる入力データは池田ら³⁾を参照した。営農条件には Table 1 に示す嬭恋村で栽培されている夏秋キャベツの主な作型に準じた条件を適用する。侵食抑制対策には Table 2 に示す 3 種類の対策を想定する。これらを単一または組み合わせて実施した際の侵食量を算出し、単一で対策を行った場合と対策を組み合わせた場合の侵食過程を比較・評価する。

Table 1 嬭恋村における夏秋キャベツの作型

早期		中期		晩期	
日付	作業	日付	作業	日付	作業
3/1	耕起	4/15	耕起	6/1	耕起
4/15	整地	6/1	整地	7/15	整地
4/30	定植	6/15	定植	7/30	定植
7/25	収穫	9/10	収穫	10/25	収穫
8/15	残渣 鋤込	10/1	残渣 鋤込	11/15	残渣 鋤込

Table 2 想定する侵食抑制対策

対策	内容
麦類によるカバークロップ(緑肥)	キャベツ畑の裸地期間(秋~冬)にライ麦やエン麦を作付け
グリーンベルト	3 m の植生帯で 100 m 斜面を 50 m 斜面 2 つに分断
農業機械の変更	耕起の一部(残渣すき込み等)をロータリー耕からプラウ耕に

2.2 広域での侵食量および対策効果の評価

嬭恋村全体を対象とした広域での侵食抑制対策の効果を GeoWEPP(Geospatial interface for WEPP)を用いて評価する。GeoWEPP は、WEPP を解析機構としており、流域スケールでの土砂動態の解析が可能なプロセスベースモデルである⁷⁾。嬭

* 宇都宮大学地域創成科学研究科(Graduate School of Regional Development and Creativity, Utsunomiya University)

**宇都宮大学農学部 (School of Agriculture, Utsunomiya University)

キーワード：土壌侵食, WEPP, GeoWEPP, 嬭恋村

恋村全域を対象に、慣行のキャベツ栽培を行った場合と侵食抑制対策を行った場合の土壌侵食量を算出後、2つの結果を比較し侵食抑制対策が婦恋村全域での土砂動態に与える影響を評価する。

2.3 侵食抑制対策が下流域に及ぼす影響

婦恋村の下流域に位置するハッ場ダムの管理に関連する各種指標と、キャベツ畑での侵食抑制対策による婦恋村全域の土砂動態の変化をもとに、婦恋村での侵食抑制対策が吾妻川流域ひいてはハッ場ダムに与える影響を評価する。

3. 結果および考察

キャベツの早期栽培における侵食抑制対策を組み合わせた場合の侵食量を Fig. 1 に示す。表中の Original は対策無し、Tillage は耕起の変更、Cover crop はライ麦によるカバークロップの作付け、Green buffer はグリーンベルトの設置を意味する。早期においてどの対策を行った場合も侵食量は減少した。またすべての侵食抑制対策の組み合わせにおいて侵食量は減少し、抑制効果は大きくなった。

中期・晩期における侵食抑制対策を組み合わせた場合の侵食量の結果を Fig. 2, Fig. 3 に示す。また月別の侵食量と田代市における月別の降水量を Fig. 4 に示す。中期・晩期において単一で抑制対策を行ったとき、ライ麦によるカバークロップを行った場合のみ侵食量が増加した。これはライ麦を作付けするために行う耕起が7月から9月の降雨が多い時期と重なり、この時期の侵食量が増加したことが原因である。また中期・晩期においては、カバークロップを含めて対策を組み合わせた場合、他方の対策を単一行った場合に比べ組み合わせて行った対策は抑制効果が小さくなった。これは、前述のカバークロップによる侵食量の増加が要因である。

上記のことからキャベツの栽培時期を考慮して対策を組み合わせる必要があると示された。

4. 今後の予定

今後は、ライ麦以外のカバークロップの導入の可能性を検討するとともに、できるだけ多くの対策方法を考案した上で解析を行う。また婦恋村のキャベツ畑や地域の条件に合わせて現地にて実際に適用可能な侵食抑制対策の組み合わせを提案する。その後、婦恋村全体を対象に侵食抑制対策を行う場合と行わない場合での流出土砂量を広域的に比較する。そして、その結果に基づいて婦恋村のキャベツ畑にて侵食抑制対策を行った場合に、現在のハッ場ダムに流入している土砂に与える影響を評価する。

引用文献

- 丸山浩明. 浅間火山北麓における耕境の拡大と農家の垂直的環境利用. 地理学評論 Ser. A, 1990, 63.2: 74-99.
- 荒川祐介; 東照雄. 1-17 婦恋村における傾斜侵食畑の開墾後 20 年間の土壌物理性の変化 (1. 土壌物理). In: 日本土壌肥科学会講演要旨集 38. 一般社団法人 日本土壌肥科学会, 1992. p. 9.
- 池田将隆, 金敷奈穂, 大澤和敏, 松井宏之: 群馬県婦恋村のキャベツ畑における栽培時期の違いによる侵食量の変化の解析
- 佐久間敏雄: 土壌侵食による生産機能の劣化と環境影響, 環境科学会誌, 8 巻 1 号, 93-102, 1995.
- 西川正敏; 堀江源; 坂本和雄. 全国ダム定期報告書データベースの総合解析. 水源地環境技術研究所所報= Report of Water Resources Environment Research Institute, 2013, 65-70.
- USDA ARS: USDA-Water Erosion Prediction Project Hillslope Profile and Watershed Model Documentation, NSERL Report #10, 1995.
- 辰野宇大, 大澤和敏, 西村拓, 溝口勝: GeoWEPP を利用した福島県飯館村における放射線セシウムの動態評価, H26 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 企-13-3

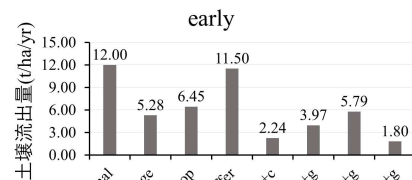


Fig. 1 早期栽培での侵食量の解析結果

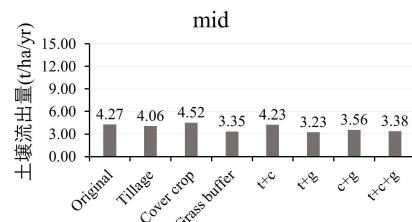


Fig. 2 中期栽培での侵食量の解析結果

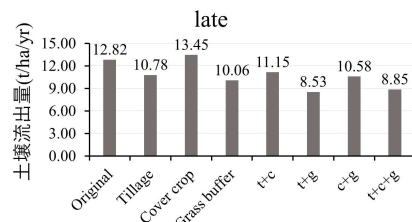


Fig. 3 晩期栽培での侵食量の解析結果

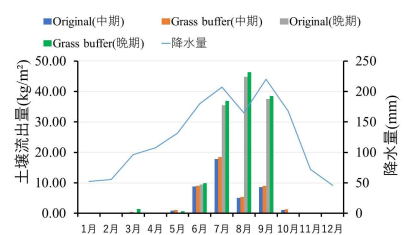


Fig. 4 月別の降水量と侵食量の解析結果

沈砂池堆積土の農地還元に伴う土壌受食性の変化 Soil erodibility changes due to adding deposits of sedimentation pond into farmland

○金敷 奈穂*, 大澤 和敏**, 藤澤 久子***, 富坂 峰人****
○Naho KANASHIK*, Kazutoshi OSAWA**, Hisako FUJISAWA***, Mineto TOMISAKA****

1. はじめに

沖縄地方では赤土等流出問題が深刻である。対策の一つに、沈砂池の設置がある。沈砂池は堆積土を適時浚渫することで効果が発揮されるが、十分な維持管理がなされていない。また、堆積土は農地に還元することが望ましいと考えられるが、その手法や評価は確立されていない。還元する手法として、土壌固化材イーファップ(以降 EU)の利用がある。EU はデンプンを主体とし、水分を多く含む土に添加すると瞬時に固化する。本研究では、EU を用いた堆積土を還元した際の土壌受食性の変化を室内および圃場試験で検証する。

2. 研究項目と方法

試験方法は、金敷らの手法で行った²⁾。室内試験では、島尻マージに、沈砂池堆積土に EU 改良を加えた土壌を用いた。①島尻マージ②島尻マージに EU 改良を加えた沈砂池堆積土 30 %混和（以降、EU 30%）③島尻マージに EU 改良を加えた沈砂池堆積土 50 %混和（以降、EU 50%）の 3 条件で降水試験・流水試験を実施した。圃場試験は石垣島のサトウキビ夏植え栽培圃場で、①島尻マージ②EU 50%③EU 15%の 3 条件で実施した。今回報告する観測期間は、2021 年 4 月 25 日から 2021 年 9 月 21 日までとする。

3. 結果と考察

室内試験の結果を Table 1 に示す。島尻マージのインターリル受食係数 K_{ib} と比較し、EU 30%は約 0.32 倍、EU 50%は約 0.23 倍となり、どちらも減少した。島尻マージのリル受食係数 K_{rb} と比較し、新 EU 30%は約 0.17 倍、新 EU 50%は約 0.25 倍となり、どちらも減少した。よってインターリル、リル侵食において、改良沈砂池を混和することで侵食を抑制した。また、降水試験の結果から求めた各条件の表面流出率を求めると、島尻マージが 98.8 %、EU 30%が 69.9 %、EU 50%が 68.7 %であったことから、透水性が向上したことが示唆された。以上より、改良沈砂池堆積土を島尻マージに混和することで、雨滴の衝撃や水流の剥離に耐性ができるだけではなく、透水性を向上させることで表面流出率を抑え、侵食抑制する可能性がある。

圃場試験の結果、総土砂流出量は対照区 434 g・m⁻²、EU 50%区 139 g・m⁻²、EU 15%区 157g・m⁻²であり、沈砂池堆積土混和率が高いほど土砂流出量が減少する結果となった。いずれのイベントも、改良沈砂池堆積土混和区の最大濁度が抑えられており、沈砂池堆積土は土壌侵食を抑制する効果があったと考えられた。また、混和初期は改良沈砂池堆積土混和区の表面流出率が大きく減少する傾向にあり、表面流出量の減少によって土砂流出量も減少したと考えられるが、農業機械を用いた営農管理後は、改良沈砂池堆積土混和区の表面流出率が大きくなる傾向にあり、今後の降雨イベントに注視する必要がある。この要因として、大雨や農業機械の重みにより、沈砂池堆積土の微細粒子が土壌の隙間に入り込み、締固めが生じやすくなった可能性が考えられる。

4. 結論と今後の予定

EU を使用して改良した沈砂池堆積土を圃場に還元することで、土壌侵食を抑制する可能性が示唆された。今後は、データ解析を継続し、混和量や営農管理などを考慮した効果的な浚渫土壌の還元方法を検討していく。

引用文献

- 1) 富坂峰人ら：新たな固化剤を用いた沈砂池堆積土砂の再利用技術の開発について(3)、平成 24 年度赤土等流出防止交流集会事例集、2012。
- 2) 金敷奈穂ら：沈砂池堆積土の農地還元による土壌受食性の変化および植物生長への影響、2020 年度農業農村工学会大会講演会、2020。

* 宇都宮大学大学院地域創成科学研究科 (Graduate School of Regional Development and Creativity, Utsunomiya University)

** 宇都宮大学農学部 (School of Agriculture, Utsunomiya University)

*** 日本工営株式会社 中央研究所 (R&D Center, NIPPON KOEI CO., LTD)

**** 日本工営株式会社 (NIPPON KOEI CO., LTD)

キーワード：農地保全、土壌改良、土壌侵食

Table 1 侵食試験の結果

条件	K_{ib} [kg・m ⁻⁴ ・s]	K_{rb} [s・m ⁻¹]
島尻マージ	6.57×10 ² (a)	9.77×10 ⁻³ (a)
EU 30%	2.10×10 ² (b)	9.88×10 ⁻³ (a)
EU 50%	1.50×10 ² (c)	2.22×10 ⁻³ (b)

異なるアルファベットは 5%水準で有意差があることを表す。

島嶼環境の斜面補強工頭部分における腐食と防錆油変色

Metal corrosion and oil discoloration of the head part of slope reinforcement works in the island environment

○仲宗根 祥太*, 中村 真也**, 東 康治***, 村山 篤****, 小町 理****, 翁長 淳*****

○Shota NAKASONE*, Shinya NAKAMURA**, Koji HIGASHI***, Atsushi MURAYAMA****, Osamu KOMACHI****, Atsushi ONAGA*****

1 はじめに

グラウンドアンカー工や鉄筋挿入工の維持補修に対する社会的関心が高まっている。グラウンドアンカーの引張材に腐食が生じると、破断や抜けで緊張力が低下し、斜面の安定が損なわれる恐れがある。沖縄県は高温多湿であるだけでなく、海岸から近い位置にある補強のり面が多く、また、台風など塩害をもたらす気象現象に見舞われることも多いため、特に沿岸部の金属部材は厳しい腐食環境下にあると考えられる。本研究では、地理的条件の異なる補強のり面を対象とし、のり面における複数のグラウンドアンカー・補強鉄筋の頭部構成部材と防錆油について、腐食・劣化の状況を調べた。

2 調査のり面と方法

調査は、斜面補強工頭部分の外観点検と露出調査からなり、沖縄県内の16か所を対象のり面とした。外観点検では、調査地におけるグラウンドアンカー・補強鉄筋の全てで実施することを基本とした。外観点検では補強材の飛びだしの有無や、頭部キャップ・支圧板の状態を調べた。この点検では補強材の飛びだしの有無や、頭部キャップ・支圧板の状態を調べた。露出調査は、湧水や防錆油の漏れが確認される箇所を選定し、のり面につき2箇所以上で実施した。露出調査では、キャップ内部の防錆油の充填量、色および劣化状況、定着具、くさび、マンションの状態と腐食の程度について調べた。また、一部の箇所では防錆油のサンプリングと測色を行った。頭部分の外観点検と、露出調査のデータを基に単回帰分析、重回帰分析、数量化Ⅰ類、クラスター分析を行った。

3 調査結果

外観点検198箇所および露出調査72箇所の結果を整理した。海からの距離と平均腐食レベルの関係を示したグラフでは、近似線は海からの距離が大きくなるにつれて平均腐食レベルが若干小さくなる右下がり傾向が確認されたが、相関係数は小さく、現段階では海岸からの距離と平均腐食レベルとの間に明確な関係があるとは言えなかった。また、防錆油の測色の数値データに対しクラスター分析を行った結果、調査地間において色の彩度や明度が異なることを確認することができた。さらに、数量化Ⅰ類による分析により、この色の違いは内部滞水の有無を主とした調査地の環境条件の違いによることが分かった。色の明るさと黄色度合いを表す数値は内部滞水との相関が大きく、赤色度合いはそれとの関係が認められなかった。今後、新たな調査で得たデータを追加し、部材腐食及び防錆油変色と環境条件との関係について精細な分析を行いたい。

謝辞：調査の実施にあたり、沖縄県土木建築部海岸防災課、中部および南部土木事務所、国土防災技術（株）の梶原氏および山崎氏、小嶋氏、サンスイ・ナビコ（株）の阿部氏、堀江氏、長木氏、田村氏および和田氏の協力を得た。記して謝意を表する。

*琉球大大学院 Grad. School of agri., Univ. of the Ryukyus, **琉球大 Univ. of the Ryukyus, ***国土防災技術（株）Japan Conservation Engineering & Co., Ltd., ****サンスイ・ナビコ（株）Sansui Navico Co. Ltd., *****（株）旭建設 Asahi Construction Co., Ltd.

キーワード：農地保全, 斜面安定

島尻マーグ土の油分浄化と含水比・通気量の関係

Relationship between the oil purification and the water content ratio/airflow quantity of Shimajiri Marge soil

○饒波圭吾*, 中村真也*

○Keigo NOHA*, Shinya NAKAMURA*

1. はじめに

沖縄県内では、油の取扱事業所が多いこと、米軍基地が今後返還されることなどから、沖縄県に分布する土壌における油分浄化技術が求められている。沖縄県に分布する土壌に関しては、国頭マーグ土の油分浄化の研究があり、土中の油分減少には含水比と通気量が強く影響を与えていることが明らかになっている（中野ら、2018）。島尻マーグ土における油分浄化についても、含水比と通気量に着目しつつ検討を行う。

2. 研究方法

沖縄市において採取した島尻マーグ土を試験に用いた。島尻マーグ土に軽油を添加した模擬汚染土壌を作成し、これらの試料を通気試験装置に設置し、TPH 分析用のサンプリングを 0, 3, 7, 14, 21, 30 日目に採取した。TPH 測定は、油汚染対策ガイドラインに基づき、GC-FID 法によって行った。測定された TPH 濃度の値から、様々な条件の通気量や含水比における島尻マーグ土の TPH 濃度の変化を整理した。

3. 結果・考察

(1) TPH 濃度の減少値と除去率

TPH 濃度は含水比 10%において大きく減少し、除去率は約 50%となった。TPH 濃度の減少は含水比 FMC で次に大きく、続いて含水比 15%, 20%, 25%, 30%の順で小さくなった。

(2) 国頭マーグ土の結果との比較

国頭マーグ土と島尻マーグ土の油分浄化の結果を比較した。島尻マーグ土は通気量 20ml/min で最も TPH 濃度が減少し除去率は約 50%である。国頭マーグ土では栄養塩を添加して通気を行った条件では 12 日後に 0 に近い値となり、除去率は約 100%となった。

国頭マーグ土の供試土と比べて、島尻マーグ土は粘土・シルト分が少なく、栄養塩の分布が偏り、微生物の活性にも偏りが現れた可能性がある。

4. まとめ(中間)と今後の予定

国頭マーグ土は通気量が多いほど浄化が進むが、島尻マーグ土でこの傾向は見られなかった。今後の予定として、含水比や通気量の変化によって TPH 濃度が経過日数でどのように変化するか考察を深める。また、実験期間中の土中の温度を測定したデータをまとめ、油分浄化速度との関係を調べる。

引用文献: 中野拓治, 中村真也, 松村綾子, 高畑 陽, 崎濱秀 明, 大城秀樹, 幸地優作, 平田英次 (2018. 6): 国頭マーグ土壌の油分浄化特性と影響要因, 農業農村工学会論文集, IDRE Journal No. 306 (86- 1), pp. I-87-I-94

*琉球大 Univ. of the Ryukyus

キーワード: 農地保全, 土壌改良, 土壌

地下ダム建設と地域農業の状況

Current status of regional agriculture after the construction of underground dams

○近藤 陸*, 中村真也*

○Riku KONDO*, Shinya NAKAMURA *

1. はじめに

糸満市は都市部に近いことから近年はサトウキビから商品価値の高いレタスやニンジンなどの野菜やキク、花卉類の作付け転換が進み、サトウキビの収穫量は年々減少しているとされている（吉本ら, 2007）。地下ダム供用後に作物毎の収量やかんがい水量などがどのような状況にあるのか知るとは将来の地域農業予測に必要であり一層の地下ダム水利用を考えるにあたり重要となる。本研究では、地下ダム水供用地域において農業の状況、施設栽培面積の増減を調査する。地下ダム建設の効果を明らかにし、建設時の計画や現状を踏まえ課題を見出す。

2. 研究方法

地下ダム水利用地域における作物ごとのかんがい水量、耕作面積の合計を大字ごと2014年から2018年の推移を整理した。同様に作物分類ごとのかんがい水量、耕作面積の合計を整理した。次にデータを総括し作物、かんがい水量、耕作面積の推移図を作成した。また、GISに当該地域で供用前後の空中写真を取り込み、施設栽培面積の増減を調べる。地下ダム水利用地域と利用水量、農業人口、収穫額のレイヤを重ね土地利用状況図を作成する。

3. 結果・考察

上里ファームポンド（以下FPとする）と新垣FPでの作物分類別灌漑面積の推移図から野菜のかんがい面積が徐々に増加していることがわかった。また、裸地面積は夏季の増加、冬季の減少を繰り返しているため夏季期間は休耕をし、冬季に耕作・生産をしていると考えられる。工芸作物のかんがい水量は面積に対して少量である。根菜類のかんがい水量は上里FPで2014年から2018年の過去4年間では51511haから218056haと約323%急増した。特に人参の増加率は大きかった。上里FPは野菜に多くの水量を要しているが新垣FPでは花卉類に多く使用されていることがわかった。沖縄のキクは正月や3月の彼岸など全国に出荷され高いシェアを誇っている。そのため毎年一定の需要があるため花卉類はほぼ横ばいで推移していると考えられた。高収入作物とされる野菜のかんがい面積は増加してはいるが、サトウキビが含まれる工芸作物は減少しているといえず作物転換が進んだかどうかは判然としない。沖縄県は亜熱帯気候を活かし、冬季が野菜生産の中心であることが読み取れる一方で、夏季は野菜生産には適さないとも考えられ、夏季農地の有効活用が課題である。今後、農業生産額、観光客数、地域や県の人口などを併せ、当該地域の農業と地下ダム建設の関係について考察を深めたい。引用文献：吉本周平, 土原健雄, 石田聡, 今泉眞之 (2007): 米須地下ダム流域における地下水硝酸性窒素濃度の動態について, 農工研技報, 206, 195~208

琉球大 Univ. of the Ryukyus

キーワード：農地保全, 土地利用計画, 生産施設, 農村振興, 用水管理, 測量・GIS

地質の異なる地すべりにおける土中水の降雨応答

Responses of ground water level and soil moisture to rainfall in landslides with different geology

○末吉一輝*, 中村真也*

Kazuki SUEYOSHI*, Shinya NAKAMURA*

1. はじめに

2021 年では, 全国において 12 月時点で 1316 件の土砂災害が発生しており, 土砂災害は毎年のように発生している(国土交通省, 2020). 沖縄県では, 2006 年に中城村安里において長雨による地すべりが生じた(沖縄県, 2012). 沖縄県は, 近年豪雨の発生回数は増加傾向にあり, 豪雨災害の発生リスクは高まっていると考えられる(沖縄総合事務局, 2020). 土砂災害を未然に予測し, 防止・軽減に向けた一層の取り組みが必要である. 本研究では, 島尻層群分布地域および付加体分布地域の「降雨地すべり」を対象とし, 地質の異なる地すべり斜面における土中水の降雨応答を明らかにする.

2. 研究方法

地質の異なる地すべりにおいて土壌水分, 地下水位, 斜面変動, 雨量の観測を行った. 観測システムは地すべりブロックの中央付近に設置した. 土壌水分量の観測には FDR センサを用い, 深度 10cm, 30cm, 50cm および 100cm に設置した. 地下水位計は, 深度 3m に設置をした. 電力供給は, 独立電源(バッテリーとソーラーパネル) によった.

3. 結果とまとめ(中間)

島尻層群分布地域の地すべり地では, 2021 年 4 月から 11 月の降雨イベントを対象に, 降雨に伴う地下水位の変化およびその増減を調べた. 地下水位は概ね $GL = -0.495m \sim -0.35m$ の範囲で推移していた. 降雨が多かった 6 月~7 月は, 地下水位は高めとなり, $-0.15m$ まで上昇した. 日降水量が 202mm に達した 6 月 29 日には, 地下水位は $GL = -0.172m$ から地表面まで上昇し, 9 時から 19 時までの間, 地表面に留まった. 地下水位は, 降雨開始約 1 時間後にゆるやかな上昇が始まった. 降雨後の地下水位の上昇について, 降雨開始 1 時間前の地下水位に対して降雨開始から 6 時間後の地下水位の比を求め, 地下水位変化率とした. 本地すべり地の変化率は 10%未満であった. 付加体分布地域の地すべり地では, 同年 9 月~11 月の降雨イベントについて検討した. 島尻層群分布地域の地すべり地と同様に地下水位は降雨開始約 1 時間後に反応が見られた. 地下水位変化率は, 5~50%であり, 島尻層群分布地域地すべり地に比べて大きく, 地下水位の上昇は速やかであった. 降雨に伴う地下水位の反応では, どちらも降雨開始約 1 時間後に反応が見られ, 付加体分布地域地すべり地は島尻層群分布地域地すべり地に比べ降雨後, 地下水位が大きく変動した. 今後, 降雨の強さや雨量による土中水の変動の様相や地すべり時の土中水のふるまいに着目し, 累積降雨や実効雨量の観点からの検討, 土質試験による物理的性質の比較などを行っていきたい.

琉球大学農学部 Faculty of Agriculture, Univ. of the Ryukyus

キーワード 地下水, 農地保全

多良間島における地下水取水および降雨に伴う塩淡水境界の変化

Fluctuation characteristics of the boundary between saltwater and freshwater in the underground of Tarama Island

○島袋大輝*, 中村真也*

○Daiki SHIMABUKURO*, Shinya NAKAMURA*

1 はじめに

多良間島の農業用水は集水池および降雨に頼る不安定なものになっている。一方で、多良間島には淡水レンズと呼ばれる賦存状態の地下水が存在することから、新たな水源として期待されている。本研究では、多良間島における地下水を安定的な農業利用につなげるため、地下水位と塩淡水境界の観測結果を整理し、降雨、潮位および気圧との関係を調べる。また、地下水の取水に伴う地下水と塩淡水境界の変化を明らかにする。

2 方法

本研究では、現地調査とデータの整理・分析を行なった。現地調査では、手ばかり水位計を用いて地下水位測定を行ない、地下水の電気伝導度（以下：EC）を観測した自記計を回収し、各深度の地下水のEC値を整理した。EC値と気象庁の気象データを活用し、沖縄総合事務局が行なった過去の現地調査の観測データと合わせて24ヶ所の観測孔の地下水位と降雨後の気圧、潮位、塩淡水境界、地下水および淡水レンズの厚さの変化を調べた。

3 結果

観測孔Aにおいて、地下水取水後にEC値の急上昇が見られたが、近隣の観測孔ではそのような現象は見られなかった。A孔内での上向きの流れ（孔内流）が発生したためと考えられ、局所的な現象と推測された。また、観測孔Bにおいて、降雨後の気圧、潮位、塩淡水境界、地下水位および淡水レンズの厚さの変化について調べた。塩淡水境界、地下水位および淡水レンズの厚さの変化は、断続的に雨が降っていた期間と雨が降っていなかった期間を比較すると、塩淡水境界深度、地下水位標高および淡水レンズの厚さが異なった。

4 まとめ（中間）と今後の予定

降雨が塩淡水境界の変動に影響していることが考えられることから、各観測孔の地下水位から淡水レンズを3次元化し、雨量と潮位および気圧を併せ時間的变化を見ることで塩淡水境界や地下水位の変動パターンを分析する。また、第二回の現地調査を予定しており、今後ともデータ分析を行なう。

謝辞：調査の実施にあたり、内閣府沖縄総合事務局土地改良総合事務所および同宮古支所のみなさまにご協力いただいた。記して謝意を表する。

*琉球大学農学部 Faculty of Agriculture, University of the Ryukyus.

キーワード：地下水、農地保全

藤沢市における耕作放棄地の現状と農地活用に関する研究

Study on Present Situation of Abandoned Farmland and its Utilization in Fujisawa

濱崎将伍* 小池麻央**, 中野巴菜**
Shogo Hamasaki, Mao Koike, Hana Nakano

1. はじめに

近年、全国的に耕作放棄地が増加しており、都市近郊地域である神奈川県藤沢市でも特に水田でその傾向がみられている。各自治体では、農地所有者に対する農地利用の意向調査や指導などにより、農地所有者が耕作放棄しないための施策を行っているものの、一般市民の農地需要の程度は不明で、一般市民に対して農地利用の意向を調査した事例は見られない。本研究では、耕作放棄地の解消や農地有効活用のための検討の一助とすることを目的として、耕作放棄地に対する市民の意識調査と、耕作放棄地における土壌環境と植生状況の調査を行った。

2. 方法

市内農地の現状調査では、令和2年度に全国農地ナビ・農林水産 HP・藤沢市 HP にて情報を収集した。市民意識の調査では藤沢市大庭地区および稲荷地区を対象としてアンケート調査を行った。主に耕作放棄地への関心・農業への意欲について質問した。

耕作放棄地における土壌環境と植生状況の調査にあたっては、藤沢市農業委員会よりの資料・藤沢市都市計画図・農地ナビの情報をもとに調査農地（放棄年数1年が2筆、5年が1筆）を選定した。土壌物理性調査では含水比試験・粒度試験（ピペット法）・有機物含有量試験（強熱減量）を調査項目とし、植生調査ではコドラート法（1m×1m）で調査し、調査農地に含まれる植物根の質量を調査した。

3. 結果および考察

農地の現状把握とアンケート調査の結果、藤沢市全体では耕作放棄地の大きな増加はないものの、解消の傾向は見られず特に大庭地区での増加が顕著であり、耕作放棄地の今後の利用策として市民の農業体験・憩いの場とすべきという回答が多く、一般市民にもある程度の農地需要があることが分かった。耕作放棄地の有効活用にあたって、これらの市民の農地需要も考慮に入れて政策に反映させるなどの必要性があるといえた。

放棄年数の違いが与える植生と土壌物理性への影響については、耕作放棄地では、攪乱されないためその期間が長くなるとシルト分の下方移動などにより土壌透水性は低くなること、耕作放棄地の植生は耕作放棄年数と土壌の水分量に大きな影響を受けることが明らかとなった。

また、耕作放棄年数5年では、植物の草丈が高く土壌の乾燥密度も高いことから、再び水田として利用するためには多くの労力が必要と考えられる。農地としての利用を考えれば、耕作放棄地であっても最低限の除草や耕耘など適切な維持管理が重要であるといえる。

耕作放棄地を解消し農地を有効利用するためには、農地中間管理機構が行う土地所有者との連携、若い世代への農地の貸付策の強化のほか、藤沢市のように好条件の農地でもその維持管理に対する助成などの対策も必要かもしれない。

所属：日本大学生物資源科学部生物環境工学科地域環境保全学研究室 Department of Bioenvironmental and Agricultural Engineering, College of Bioresource Sciences, Nihon University.

キーワード：耕作放棄地，農地保全，農地有効活用，植生，土壌物理性，藤沢市

簡易濃度計を用いた農地土壌における温室効果ガスの測定
Measurements of GHGs flux from farmland soil surface by closed chamber method
with continuous measurement device of CO₂

池田和幸 藤川智紀

IKEDA Kazuyuki, HUIKAWA Tomonori

1. はじめに

各産業における温室効果ガス排出量の削減は喫緊の課題であり、農業分野においても農地投入技術の開発など、土壌の炭素貯留能力が注目されている。土壌の炭素貯留能力を把握する上で土壌からの CO₂ 発生量（以下、フラックス）の評価が重要であるが、フラックスの測定法の一つにチャンバー法がある。チャンバー法においてはチャンバーを土壌表面に設置し密閉することで、容器内のガス濃度の時間変化を計測し、フラックスを算出する。通常はチャンバー内のガス濃度は 10 分ごとなど定期的に測定されるが、連続的なガスの変化については明らかにされていない。そこで 本研究では、チャンバー内におけるガス濃度の変化を簡易 CO₂ 濃度計を用いて、継続的に測定し、ガス濃度、気温、湿度の時間的変化を測定した結果を報告する。

2. 方法

2021 年 9 月から東京農業大学桜ヶ丘圃場（東京都世田谷区）において CO₂ フラックスの測定を行った。70cm×70cm の区画を 3 つ準備し、散布する水分量を変えた（以下、多、少、無）。チャンバー設置後、チャンバー内のガス濃度、気温、湿度をデータロガー付き CO₂ 濃度、温湿度測定器（TR-76Ui, T&D 社）で測定した。実験は晴天の日に行った。

3. 結果及び考察

チャンバー設置後、チャンバー内の CO₂ 濃度は 5～10 分程度急激に増加するが、その後直線的に増加して 1 時間程度は収束しないことが確認された（図 1）。それに対して湿度は CO₂ 同様、初期に急激に増加するものの約 15 分後に収束した。水分量の違いで比較したところ、今回の条件では水分量が多いほど CO₂ の濃度は増加しており、時間経過とともに濃

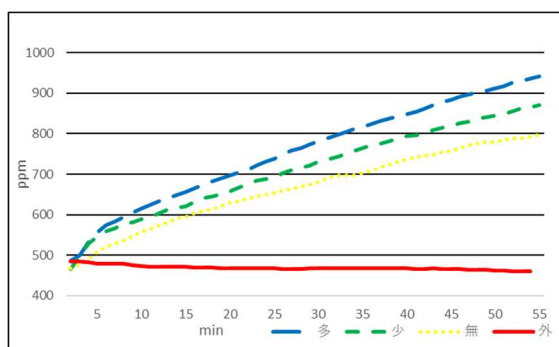


図 1 時間経過によるチャンバー内における二酸化炭素流出量の変化の例

度上昇量は増加し各時間での差も広がる結果となった。しかし、初期のガス濃度の上昇速度が高い場合でもその後のガス濃度の上昇が小さい場合もあり、測定前の土壌中のガス濃度が濃度変化に影響している可能性も考えられる。今後は、土壌の水分量とフラックスの関係性を評価すると共に、土壌内の炭素量を比較していくことが課題となる。

東京農業大学地域環境科学部 (Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture)

キーワード：クローズドチャンバー法, CO₂, 連続測定

農地保全研究部会研究集会のあゆみ

	開催日	テーマ	開催地（後援県）
第1回	（昭和55年6月13日）	農地保全と水食	草津市（滋賀県）
第2回	（昭和56年6月12日）	農地保全の諸問題	草津市（滋賀県）
第3回	（昭和57年7月22日）	農地保全、その対策と研究	山口市（山口県）
第4回	（昭和58年7月21日）	農業生産環境保全の課題とその対策	鳥取市（鳥取県）
第5回	（昭和59年7月19日）	風土と農地保全	鹿児島市（鹿児島県）
第6回	（昭和60年7月18日）	災害と農地保全	松江市（島根県）
第7回	（昭和61年7月17日）	土地生産力と農地保全	金沢市（石川県）
第8回	（昭和62年7月16日）	農地造成における設計施工と保全	郡山市（福島県）
第9回	（昭和63年7月25日）	特殊土壌地帯における地力保全	山形市（山形県）
第10回	（平成元年10月24日）	国土・農村空間の総合整備と農地保全	那覇市（沖縄県）
第11回	（平成2年7月18日）	緑の大地に豊かな環境・農地保全の新たな展開	帯広市（北海道）
第12回	（平成3年9月3日）	未来につなぐ豊かな大地	函館市（北海道）
第13回	（平成4年9月9日）	豊かな環境の創造急傾斜・火山灰地帯を新たに拓く	宮崎市（宮崎県）
第14回	（平成5年9月8日）	自然環境の保全と活用一火山灰土壌と地下水一	熊本市（熊本県）
第15回	（平成6年9月7日）	農業農村環境と水圏環境	中村市（高知県）
第16回	（平成7年9月7日）	農地の保全と地すべり	池田町（徳島県）
第17回	（平成8年11月14日）	農地および農道法面の保全	柳井市（山口県）
第18回	（平成9年11月20日）	急傾斜地帯における農地の保全	尾道市（広島県）
第19回	（平成10年10月29日）	源流地帯における農地の保全問題	岐阜市（岐阜県）
第20回	（平成11年8月26日）	棚田地帯の保全と整備	長野市（長野県）
第21回	（平成12年8月31日）	豊かで美しい地域環境を創る一農地保全の新たな展開一	青森市（青森県）
第22回	（平成13年9月6日）	湿地の活用・保全	秋田市（秋田県）
第23回	（平成14年9月10日）	生態系に配慮した農地整備の新展開	鴨川市（千葉県）
第24回	（平成15年9月9日）	農地整備・保全事業における農地の多面的機能について	長野市（長野県）
第25回	（平成16年11月9日）	低平地における農地保全と地域資源の活用	佐賀市（佐賀県）
第26回	（平成17年11月10日）	棚畑および下流地域における農地と環境の保全 一住民参加による保全を中心に一	鹿児島市（鹿児島県）
第27回	（平成18年9月26日）	環境と調和した農地保全	北見市（北海道）
第28回	（平成19年9月20日）	農村景観形成における農地保全の役割	美瑛町（北海道）
第29回	（平成20年10月23日）	中山間地における農地保全・地域資源の活用	松阪市（三重県）
第30回	（平成21年11月6日）	世界の農地保全問題の諸相 一水資源保全に対する技術の継承と日本の責任一	那覇市（沖縄県）
第31回	（平成22年10月7日）	持続的農業のための農地保全	前橋市（群馬県）
第32回	（平成23年11月10日）	中山間地域における農地保全と耕作放棄対策	甲府市（山梨県）
第33回	（平成24年11月20日）	東日本大震災に伴う樟波被害・対策とその後	仙台市（宮城県）
第34回	（平成25年11月26日）	東日本大震災により被災した農地の復旧・復興のいま	仙台市（宮城県）
第35回	（平成26年11月26日）	都市における農地の保全とその役割	藤沢市（神奈川県）
第36回	（平成27年11月12日）	農地保全と地域における農地活用の取組み	三島市（静岡県）
第37回	（平成28年11月17日）	農地保全と自然災害	高知市（高知県）
第38回	（平成29年11月16日）	水田転作と農地保全	福山市（広島県）
第39回	（平成30年11月8日）	未来に繋ぐ農業農村の新しい整備・保全の取組み 一美ら島・美ら海を巡る宝物語一	那覇市（沖縄県）
第40回	（令和元年12月17日）	亜熱帯島嶼域における農地保全と水環境の保全	石垣市（沖縄県）
第41回	（令和3年9月1日）	農地保全研究の最前線（農業農村工学会大会講演企画セッション）	オンライン実施

農地保全研究部会運営要領

平成24年3月30日施行

平成28年4月1日一部改正

社団法人農業農村工学会農地保全研究部会の運営については、定款、規則、研究部会規程に定めるほか、この要領に定めるところによる。

(名称)

第1条 この研究部会は、公益社団法人農業農村工学会農地保全研究部会と称する。

(目的)

第2条 この研究部会は、農地保全に関する基礎的な研究と応用に関する総合的な研究を行うことにより、農業農村工学分野の学術・技術の振興と社会の発展に寄与することを目的とする。

(事業)

第3条 この研究部会は、その目的達成のため、次の事業を行う。

- (1) 共同研究の推進
- (2) 研究集会の開催
- (3) 現地研修会の開催
- (4) 研究資料「農地保全の研究」の発行
- (5) その他必要な事項

(研究部会の構成員)

第4条 この研究部会の構成員は、(公益)社団法人の会員10人以上を主な構成員とする農地保全領域の研究者・技術者であって、この研究部会の研究活動の趣旨に賛同して参画した者とする。

(代表幹事)

第5条 この研究部会に代表幹事7名以内を置く。

- 2 この研究部会に代表幹事で構成する代表幹事会を置く。
- 3 代表幹事は、部会の構成員の互選で選出する。
- 4 代表幹事会は、代表幹事の中から部会長1名、副部会長1名、会計審査幹事1名及び会計幹事を互選する。
- 5 部会長、副部会長、会計審査幹事及び会計幹事の任期は、2年とし再任を妨げない。
- 6 部会長は、この部会を代表する。
- 7 副部会長は、部会長を補佐し、部会長に事故あるときは部会長の業務を代行する。
- 8 代表幹事は、部会長及び副部会長を補佐し、この部会の運営に当たる。
- 9 会計審査幹事は、この研究部会の収入・支出について、本部の監事の監査に先がけて審査する。
- 10 会計担当幹事は、部会長を補佐してこの研究部会の収支に係る経理事務を行う。
- 11 部会長、副部会長、会計審査幹事、会計幹事及び他の代表幹事は、無報酬とする。

(代表幹事会の任務)

第6条 この研究部会の代表幹事会は、次に掲げる事項を処理する。

- (1) この研究部会が行う研究計画案及び収支予算案の作成
- (2) 理事会で決定された研究の実施及び経理
- (3) この研究部会が実施した研究及び収支決算の本部への報告
- (4) この研究部会の構成員との連絡調整
- (5) 学会本部との連絡調整
- (6) その他必要と認める事項

(代表幹事会の開催)

第7条 代表幹事会は、年2回以上開催する。

- 2 代表幹事会は、研究部会長が招集する。

(議長・議決)

第8条 代表幹事会の議長は、研究部会長とする。

- 2 代表幹事会の議事は、過半数の代表幹事が出席し、出席した者の過半数を持って決する。可否同数のときは、研究部会長が決する。

3 議事の議決について委任状を提出した代表幹事は、出席したものとみなす。

(事業計画案及び収支予算案の作成)

第9条 研究部会長は、研究部会規程第6条に規定する収支予算案の作成に当たっては、当該年度の支出予算額は、当該年度の収入見込額に100,000円を加えた額の合計額以内の額とする。ただし、特に必要があるときは、当該合計額に当該研究部会の経年の収支差額の合計残額（本部繰入れ資産額を含む。）を加えた総額を超えない額とすることができる。

(申請等)

第10条 研究部会長は、研究部会規程第3条、第5条、第6条及び第8条に規定する申請及び提出については、予め代表幹事会の決定を得なければならない。

(事務局)

第11条 この研究部会事務局は、部会長の所属機関に設置する。

(経理)

第12条 この研究部会の活動に係る収入は、学会の収入として、支払は学会の支弁として経理する。

2 前項の経理は、事項別科目別に行う。

(庶務)

第13条 この研究部会の活動に係る庶務は、部会長の指定した場所において行う。

附則

農業農村工学会農地保全研究部会規約は、廃止する。

この要領は、平成24年3月30日から施行する。

この要領の適用日の前日において、現に部会長、副部会長、幹事及び会計監事である者は、それぞれこの要領施行の日からこの要領により選出された部会長、副部会長、会計審査担当代表幹事とみなす。

この要領は、平成28年4月1日から施行する。

農地保全研究部会誌「農地保全の研究」投稿の手引き

1. 編集方針

農業農村工学会農地保全研究部会は、農地保全に関する基礎的な研究と応用に関する総合的な研究を行うことにより、農業農村工学分野の学術・技術の振興と社会の発展に寄与することを目的としています。「農地保全の研究」の内容は、本研究部会の目的に適うものとします。内容に関する査読は行いません。

2. 投稿資格

著者のうち少なくとも一名は農業農村工学会員であることを投稿資格とします。ただし招待原稿はこの限りではありません。

3. 原稿

原稿はA4 サイズで10 頁までとし、題名、著者名・所属、本文（原則1 段組）の順として下さい。原稿執筆に当たっては「投稿論文テンプレート」をご参照ください。

4. 原稿提出先

農業農村工学会農地保全研究部会事務局。

5. その他

「農地保全の研究」に掲載された論文等の著作権（著作財産権，copyright）は、農業農村工学会に帰属します。

農業農村工学会農地保全研究部会 部会誌「農地保全の研究」 原稿執筆要領・テンプレート

保全 太郎*・土壌 さくら**

*農業農村大学農学部

**農村環境大学大学院農学研究科

1. はじめに

このテンプレートは、農地保全研究部会の部会誌「農地保全の研究」の原稿を作成するために必要なレイアウトやフォントに関する情報を記述しています。執筆時にご利用ください。

2. 基本方針

農業農村工学会農地保全研究部会は、農地保全に関する基礎的な研究と応用に関する総合的な研究を行うことにより、農業農村工学分野の学術・技術の振興と社会の発展に寄与することを目的としています。「農地保全の研究」の内容は、本研究部会の目的に合うものとします。内容に関する査読は行いません。

3. 全体のレイアウト

3.1 原稿用紙

原稿用紙は、縦置き A4 用紙・横書きとします。

3.2 マージン

ページのマージンは、次のとおりとします。

上マージン : 25mm

下マージン : 20mm

右マージン : 20mm

左マージン : 20mm

4. 題目部分のレイアウト

題目部分は、論文等の題目、著者名、所属機関名で構成されます。題目部分は、本文に合わせて日本語のみ、または英語のみとします。

レイアウトは以下の通りとします。

① 題目：明朝体（英語の場合は Roman 体）14 pt, センタリング

② 空行：1 行あけてください。

③ 著者名（姓名の順）：明朝体（英語の場合は Roman 体）10.5 pt, センタリング

④ 所属機関名：明朝体（英語の場合は Roman 体）10.5 pt, センタリング

著者と所属機関名はアスタリスク（*）の数で対応づけてください。

5. 本文部分のレイアウト

本文とキーワードの間に、行間スペースを 1 行設けてください。1 ページ約 40 行となるよう調整してください。本文のフォントは漢字・仮名は明朝体の全角 10.5 pt, 英字・数字は Roman 体の 10.5 pt を用いてください。本文が日本語の場合、句読点は全角のピリオド (.), カンマ (,) とします。

5.1 見出し

見出しのレベルは 3 段階までとします。したがって、第 3 レベルより下位の見出しは用いないでください。

5.1.1 見出しのフォント

見出し（章節）のフォントは、章節番号はゴシック体の 10.5pt（第 1 レベルは全角，第 2 レベル以下は半角），漢字・仮名・数字はゴシック体の全角 10.5pt, 英字はゴシック体の半角 10.5pt とします。

5.1.2 第 1 レベルの見出し

第 1 レベル番号，全角ピリオド（例えば 4.）の直後から見出しを書きます。見出しの上に 1 行の行間スペースを設けますが，見出しの下は行間スペースを設けません。

5.1.3 第 2 レベルの見出し

第 2 レベルの見出しの節番号は，第 1 レベル番号，半角ピリオド，第 2 レベル番号，半角スペース（例えば 4.1）の直後から見出しを書きます。見出しの上に 1 行の行間スペースを設けますが，見出しの下は行間スペースを設けません。

5.1.4 第 3 レベルの見出し

第 3 レベルの見出し項番号は，第 1 レベル番号，半角ピリオド，第 2 レベル番号，半角ピリオド，第 3 レベル番号，半角スペース（例えば 4.1.4）の直後から見出しを書きます。見出しの上に 1 行の行間スペースを設けますが，見出しの下は行間スペースを設けません。

5.2 数式および数学記号

数式は，次に示す式 (1) のように書いてください。

$$D_f = K_r(\tau_f - \tau_c) \left(1 - \frac{G}{T_c} \right) \quad (1)$$

数式の行は 10mm 程度のインデントを設けてください。

数学記号は，文章中に出てくる場合も，数式のフォントと同じものを用いてください。

式番号は括弧書きで右詰めにします。

5.3 図表

図表の例を **Fig.1** および **Table 1** に示します。図表番号の本文中の引用は**太字**にして下さい。

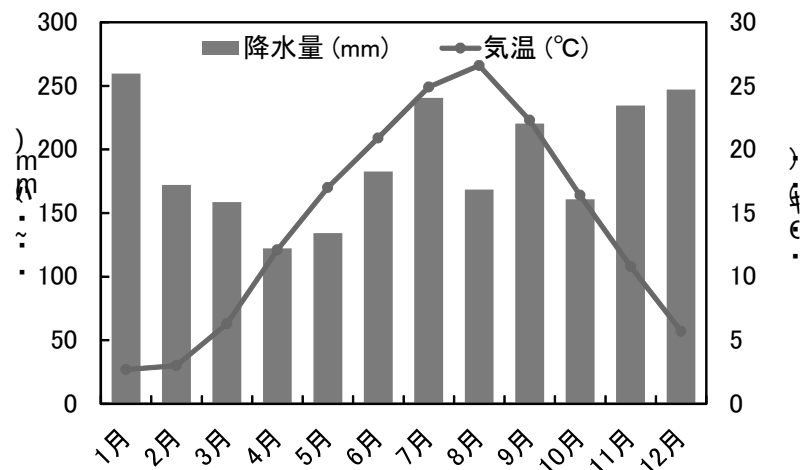


Fig.1 T市の月降水量と月平均気温の平年値

Table 1 圃場の土壌物理性

	ρ_s (g cm ⁻³)	ρ_d (g cm ⁻³)	砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)	土性	K_s (cm s ⁻¹)
1 層目	2.60	0.85	73.6	16.7	9.7	Sandy Loam	4.79×10^{-1}
2 層目	2.61	1.32	85.4	9.3	5.3	Sandy Loam	3.03×10^{-4}
3 層目	2.67	1.28	97.4	1.5	1.1	Sand	-

5.3.1 図表の文字および標題

図表の文字および表題のフォントは、漢字・仮名は明朝体の全角、英字・数字は Roman 体を使用してください。

図表中の文字のサイズは 10 pt 程度としてください。

図表の標題は、10 pt のサイズで次のように記載してください。

Fig+半角ピリオド+番号+全角スペース+標題

Table+半角スペース+番号+全角スペース+標題

なお、標題の番号は **Fig.1**, **Table 1** のように太字で表記してください。

5.4 引用文献

文献の引用は、農業農村工学会論文集で採用されている方法に従ってください。

本文中での文献の引用は、「Fan et al. (2013) によれば,」「……といわれている (高薮・金光, 2010 ; 佐藤ら, 1996a).」のように記述してください。

引用文献はすべて本文末尾にリストとしてまとめてください。見出し文字「引用文献」はゴシック体の全角 10 pt で書いてください。引用文献リストは、漢字・仮名は明朝体の全角 10 pt, 英字・数字は Roman 体 10 pt を用いてください。

引用文献は、邦文・英文に関わらず、筆頭著者の名字のアルファベット順に並べてください。同じ発行年に同一筆頭著者の文献がある場合には、発行年の後ろに a, b, c を付けて区別してください。

引用文献は下記の書式に従って、ぶら下がりインデント（全角 1 文字分のスペース）で書いてください。

6. 謝辞

謝辞を記載する場合には、本文の末尾、引用文献の前に置いてください。

7. 講演者略歴（「農地全研究集会」講演者の場合）

引用文献の後ろに、1 行の行間スペースを設け、下の例に従って講演者略歴を書いてください。【講演者略歴】の見出しをゴシック体の全角 10.5pt とし、改行して書き出し、漢字・仮名・数字は明朝体の全角 10.5pt、英字は Roman 体の半角 10.5pt とします。また、氏名にはふりがなを付けてください。

謝辞：謝辞は、本文との間に 1 行の行間スペースを設けて書きます。「謝辞」という見出しをゴシック体の全角 10 pt とし、その直後から謝辞の文章を書いてください。謝辞の文章は、漢字・仮名は明朝体の全角 10 pt、英字・数字は Roman 体とし、行間は 14 pt としてください。

引用文献

青森県（2014）：りんご生産指導要項 2014-2015, pp.127-128.

Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W. (1988): Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York, 572p.

Fan, J. C., Yang, C. H., Liu, C. H., Huang, H. Y. (2013) : Assessment and validation of CLIGEN-simulated rainfall data for Northern Taiwan, Paddy Water Environ., 11, 161-173.

気象庁 (2005) : 異常気象レポート 2005, http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/climate_change/2005/pdf/2005_all.pdf（確認日：2008/12/31）

高藪 出，金光正郎（2010）：力学的ダウンスケーリングのレビュー，天気，57(7)，435-447.

【講演者略歴】

保全 太郎（ほぜん たろう）

所属：農業農村大学農学部

職名：准教授

2004 年 ○○大学大学院農学研究科修了

2004 年 △△大学農学部 助教

2016 年 農業農村大学農学部 准教授

現在に至る

部会幹事（主な構成員）

1 安中 武幸	山形大学 農学部
2 猪迫 耕二	鳥取大学 農学部
3 岩田 幸良	農研機構 農村工学研究部門
4 大澤 和敏	宇都宮大学 農学部
5 落合 博之	北里大学 獣医学部
6 加藤 千尋	弘前大学 農学生命科学部
7 金山 素平	岩手大学 農学部
8 木原 康孝	島根大学 生物資源科学部
9 木村 匠	琉球大学 農学部
10 黒田 久雄	茨城大学 農学部
11 齋 幸治	高知大学 農林海洋科学部
12 斎藤 広隆	東京農工大学大学院 農学研究院
13 酒井 一人	琉球大学 農学部
14 酒井 俊典	三重大学大学院 生物資源学研究科
15 坂口 敦	山口大学 農学部
17 笹田 勝寛	日本大学 生物資源科学部 生物環境工学科
18 佐藤 泰一郎	高知大学 農林海洋科学部
19 塩野 隆弘	農研機構 農村工学研究部門
20 志田 麻由子	農林水産省 農村振興局 整備部 防災課
21 杉浦 俊弘	北里大学 獣医学部 生物環境科学科
22 千葉 克己	宮城大学 食産業学部
23 辻 修	帯広畜産大学 地域環境学研究部門
24 富樫 千之	宮城大学 食産業学部
26 成岡 市	三重大学大学院 生物資源学研究科
27 中野 拓治	琉球大学 農学部
28 中村 公人	京都大学大学院 農学研究科
29 中村 真也	琉球大学 農学部
30 中村 貴彦	東京農業大学 地域環境科学部
31 永吉 武志	秋田県立大学 生物資源科学部
32 西村 拓	東京大学大学院 農学生命科学研究科
33 西村 直正	岐阜大学 応用生物科学部
34 藤川 智紀	東京農業大学 地域環境科学部
36 東 孝寛	九州大学大学院 農学研究院 環境農学部門
37 肥山 浩樹	鹿児島大学 農学部 生物環境学科
38 三原真智人	東京農業大学 地域環境科学部
39 望月 秀俊	農研機構 西日本農業研究センター
40 森 也寸志	岡山大学 環境理工学部
41 山本 忠男	北海道大学大学院 農学研究院
42 吉田修一郎	東京大学大学院 農学生命科学研究科
43 ロイキンシュック	日本大学 生物資源科学部

農地保全の研究 第 41 号

令和 4 年 3 月 1 日

編集・発行者 (公社) 農業農村工学会農地保全研究部会

事務局 〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1

東京農業大学地域環境科学部地域創成科学科

TEL : 03-5477-5946

部会長 藤川 智紀

副部会長 中野 拓治

会計幹事 中村 真也

庶務幹事 木村 匠
