

令和6年度

鹿児島大学大学院連合農学研究科
先進の研究推進事業報告書

鹿児島大学大学院連合農学研究科

【事業一覧】

1. 先進的機能を備えた新規多糖ゲルの創出と評価
代表者：宗 伸明（佐賀大学） pp. 1-8
2. 泥炭農地の再湿地化が温室効果ガス(CO₂、CH₄、N₂O)排出量におよぼす影響に関する研究
代表者：酒井 一人（琉球大学） pp. 9-16

令和6年度連合農学研究科先進的研究推進事業報告書

先進的機能を備えた新規多糖ゲルの創出と評価

研究代表者 佐賀大学
応用生命科学専攻
先端応用生命科学連合講座
宗 伸明

研究の組織と役割分担者

	氏名及び職名	所属大学・専攻	研究の役割分担等
代表者	宗 伸明・教授	佐賀大学・応用生命科学	小課題 1、及び小課題 2 の一部
分担者	木村 圭・准教授	佐賀大学・応用生命科学	小課題 2 の一部
	遠藤 光・准教授	鹿児島大学・農水圏資源 環境科学	小課題 2 の一部

目次

1 研究の目的と概要	3
2 研究の成果	4
3 研究の総括と今後の課題・展望	7

1. 研究の目的と概要

① 研究の目的

多糖類は、単糖がグリコシド結合により多数連なった物質の総称であり、構成単位である単糖とは異なる特性を示す。多糖類は、生物界においては、エネルギーの貯蔵や形態構築の役割を果たすが、工業的観点からは、再生可能資源（バイオマス）と位置付けることもできる。特に、2015年9月、国連サミットにおいてSDGsが採択されて以来、持続可能な社会の実現に向け、多糖類を活用した機能性材料に対する期待は、益々高まっていると言える。多糖類は、その構造中に多数の水酸基を含むことから、内部に水を包含するゲル（ハイドロゲル）の形成に好適であり、多糖類のゲル材料としての適用性は、多糖類が持つ大きな魅力の一つであると考えられる。

一方、研究代表者は、これまで、新しい分析材料、分析手法、並びにその関連技術の開発に取り組んできた。最近では、タンパク質と無機ナノシートから形成されるハイブリッド材料の開発と分析化学的応用について検討を行った。タンパク質は、生命現象を担う生体分子であるが、例えば酵素は化学反応に対する触媒作用を有する優れた材料と捉えることもできる。分析化学分野においても、酵素は検出対象と高選択的に反応する、あるいは発色や発光などのシグナルを増幅する高機能性材料として活用されている。このような優れた材料である生体分子を、異種材料と融合することで、新たな機能を発現するハイブリッド材料を創出できる可能性がある。

そこで、本研究においては、先進的機能を備えた多糖ゲルの創出を目的とし、バイオセンシング機能を備えた新しい多糖ゲル材料の開発、及び、未利用資源に由来する多糖類を活用した新しいゲル材料構築法の開発、に取り組んだ。この際、多糖としては褐藻類由来の天然多糖で、D-マンヌロン酸とL-グルロン酸（図1）を構成糖とする多糖であるアルギン酸に特に着目し、これまでに開発したハイブリッド材料構築の手法を取り入れつつ、新たな多糖材料の開発を目指した。

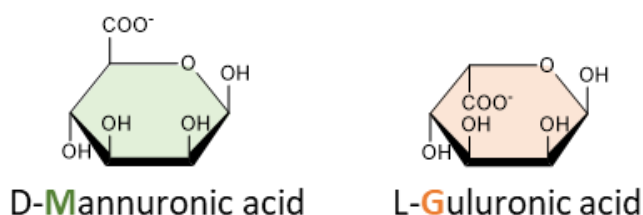


図1 アルギン酸の構成糖（D-Mannuronic acid, L-Guluronic acid）

② 研究の概要

本研究目的の達成を目指し、以下に示すような検討を行う。

・ バイオセンシング機能を備えた新しい多糖ゲルカプセル型材料の開発

カルシウムイオンにより誘起されるアルギン酸分子のイオン架橋反応を用い、アルギン酸ゲル中に酵素とシグナル生成のための基質を内包した球状の多糖ゲルカプセル型材料を作製し、そのセンシング機能を検討する。また、多糖ゲル材料のより多様な応用展開を図るため、ゲルカプセル型材料のナノサイズ化に関しても検討する。

・ 未利用資源に由来する多糖類を活用した新しいゲル材料構築法の開発

日本は、周囲を海に囲まれた島国であり、豊富な海藻資源に恵まれている。そこで、未利用資源としてのポテンシャルを持ち、かつアルギン酸を豊富に含有する海藻を見出し、多糖類の抽出、並びにゲル作製への応用を検討する。また、優れた物性を持つゲル材料の開発についても検討する。

2 研究の成果

本研究の遂行により、下記のような研究成果が得られた。

① バイオセンシング機能を備えた新しい多糖ゲルカプセル型材料の開発 (担当：宗)

・ 酵素とシグナル生成基質を内包した球状多糖ゲルカプセル型材料の開発と評価

アルギン酸ナトリウムからアルギン酸水溶液を作製し、カルシウムイオンによるアルギン酸分子のイオン架橋反応に基づき、酵素であるコリンオキシダーゼ (COD)、西洋ワサビペルオキシダーゼ (HRP)、並びに HRP の基質であるアンプリフルレッドを内包した球状のゲルカプセル型材料を作製した。溶液中、このゲルカプセル型材料にコリンを添加したところ、ほぼ無色透明であったゲルカプセル型材料が薄赤色へと変化し、これに伴いゲルカプセル型材料の蛍光強度の増大が観測された。従って、COD が触媒するコリンの酸化と過酸化水素の生成反応、並びに、生成した過酸化水素を用いて HRP が触媒するアンプリフルレッドからレゾルフィンへの変換反応 (図 2) が効率的に進行していることが確認された。レゾルフィンに由来する 585 nm の蛍光強度は、添加したコリン濃度が上昇するのに従って大きくなり、今回の実験条件においては、最終濃度が 0~25 μM のコリン濃度範囲において、コリン濃度と蛍光強度との間に高い直線性 ($R^2 \sim 0.997$) が確認できた。また、今回の実験条件では、最終濃度が 25 μM 、50 μM となるようにコリンを添加した場合、その蛍光強度の増大度は、コリン濃度が 0 μM (無添加) の場合と比較して、各々 13 倍、18 倍となった。

一方、COD の代わりにグルコースオキシダーゼ (GOD) を使用し、GOD、HRP、アンプリフルレッドを内包した球状アルギン酸ゲルカプセル型材料の作製も行った。この場合、ゲルカプセル型材料へのグルコース添加に伴い、GOD が触媒するグルコースの酸化と過酸化水素の生成反応、及び、生成した過酸化水素を用いて HRP が触媒するアンプリフルレッドからレゾルフィンへの変換反応、が進行すると期待できる。実際に GOD、HRP、アンプリフルレッドを内包した球状アルギン酸ゲルカプセル型材料にグルコースを添加したところ、ゲルカプセル型材料はほぼ無色透明から薄赤色へと変化し、添加したグルコース濃度

に応じた 585 nm における蛍光強度の増大が観測された。

以上のことから、作製した二種の多糖ゲルカプセル型材料が、各々の分析対象分子に対するセンシング機能を有していることが確認できた。

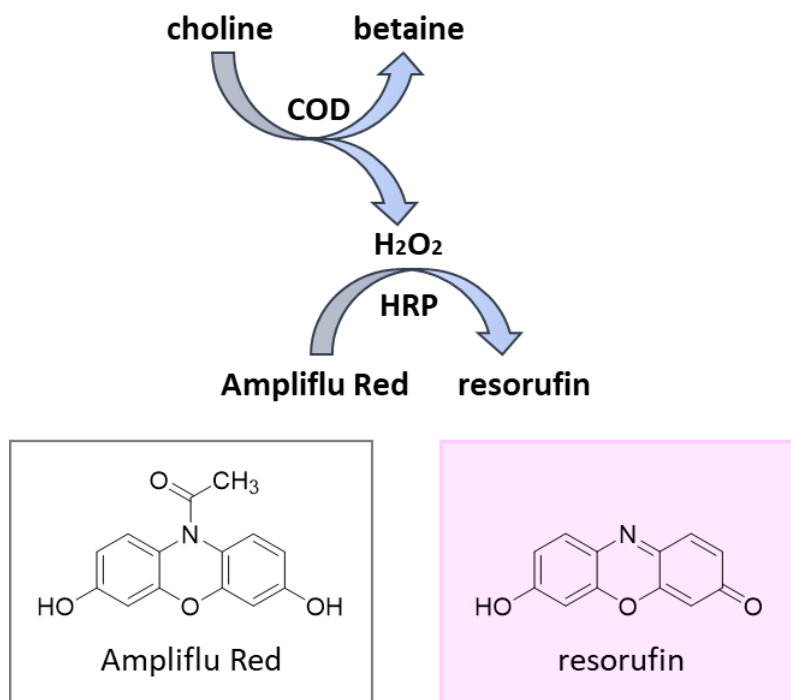


図2 共役酵素反応 (COD-HRP) に基づくアンプリフルレッドからのシグナル生成

・ナノサイズ化した多糖ゲルカプセル型材料の開発と評価

アルギン酸は、褐藻類の藻体から得られるアニオン性多糖である。そこで、アニオン性多糖であるアルギン酸と、甲殻類の外骨格から得られるカチオン性多糖であるキトサン間のポリイオンコンプレックス形成を利用し、多糖ナノカプセルを構築することを試みた。色素であるアクリジンオレンジを含んだアルギン酸ナトリウム溶液に対し、カルシウムイオン、キトサンを作用させることで、アクリジンオレンジを内包した多糖ナノカプセルの構築可能性について検討した。ゼータ電位・粒径測定システムによる粒径測定の結果、今回の実験条件において、数百 nm オーダーのナノカプセルの形成が示唆された。一方、上述の粒径測定の結果と正立顕微鏡による観察結果から、多くのナノカプセル凝集体の形成も示唆された。そこで、ナノカプセルの作製過程において、異なる処理時間による超音波処理を行ったところ、ナノカプセル作製過程における超音波処理の導入が、凝集体形成の抑制とカプセルの小サイズ化に寄与し得ることが示唆された。また、得られたナノカプセルのアクリジンオレンジに対する保持能を、紫外可視吸収スペクトル測定に基づき評価したところ、作製したナノカプセルがアクリジンオレンジに対する高い保持能を有していることが示唆された。以上のことから、アニオン性多糖であるアルギン酸とカチオン性多糖であるキトサンを併用することで、ナノサイズ化した多糖ゲルの構築が可能であり、その際の超音波処理の導入が、多糖ナノカプセル構築の制御に寄与し得ることが確認できた。

② 未利用資源に由来する多糖類を活用した新しいゲル材料構築法の開発

(担当：宗、木村、遠藤)

・未利用資源の探索と褐藻類からのアルギン酸抽出・ゲル化手法の検討

アルギン酸は褐藻類に含まれる多糖である。褐藻類からアルギン酸を得る目的において、未利用資源としてのポテンシャルを持つ褐藻類を検討するため、鹿児島（鹿児島湾）、佐賀（唐津市沿岸）における褐藻類の採集、視察を行い、候補の絞り込みを行った。

一方で、褐藻類からのアルギン酸抽出手法を、代表的な褐藻類であるコンブとワカメを用いて検討した（乾燥コンブ、生コンブ、乾燥ワカメ、生ワカメの4種類を使用）。洗浄、アルカリ性条件下における加熱処理、pH調整を行うことで、抽出物としてのアルギン酸を得た。得られたアルギン酸を用いてアルギン酸ナトリウム溶液を作製し、乳酸カルシウム溶液、及び塩化カルシウム溶液に滴下した。その結果、適切な条件下においては、アルギン酸ゲルカプセルの形成を確認できた。今回の条件においては、乾燥ワカメから抽出したアルギン酸が最も高いゲル形成能を示した。また、アルギン酸ナトリウム溶液へのキサンタンガム（図3）の添加が、ゲル形成能の向上へ寄与し得ることが示唆された。

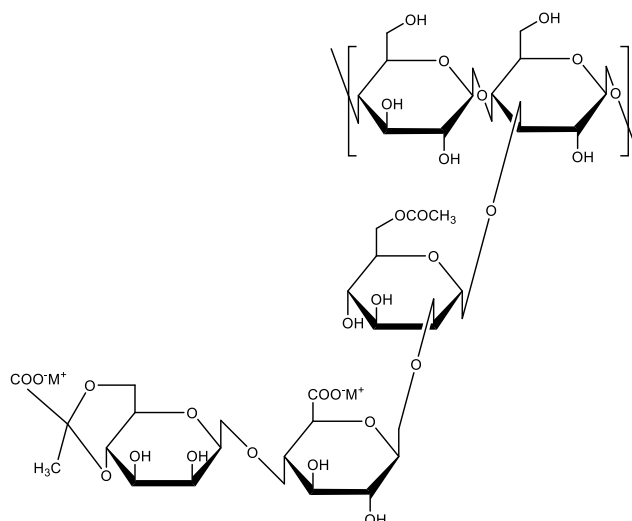


図3 キサンタンガム

・アルギン酸ゲル材料の物性評価

ゲルは多彩な応用が可能であり、ゲル内部に水を包含するハイドロゲルのみならず、乾燥により水を取り除いたゲル乾燥物も様々な材料応用が期待できると考えられる。そこで、アルギン酸ゲル乾燥物の物性評価について検討した。今回は、基礎的検討として、市販の種類が異なるアルギン酸ナトリウム試薬に可塑剤を併用してアルギン酸ゲル乾燥物を作製し、得られたアルギン酸ゲル乾燥物の物性評価を行った。得られた膜状のゲル乾燥物に対してオートグラフによる引張試験を行った結果、カルシウムイオンの存在やアルギン酸の分子量の差異が、膜状ゲル乾燥物の引張強さや伸び率に影響を与えることが示唆され、作製条件の調節に基づくアルギン酸ゲル乾燥物の物性制御が期待できることを確認できた。

③ 学会、論文等への成果発表

江頭深幸, 成田千紗, 宗 伸明. 生体分子のセンシングを目指したカプセル型材料の開発と性能評価. 日本農芸化学会 2024 年度西日本支部大会 (2024 年 9 月)

成田千紗, 宗 伸明. 多糖ゲルを用いるグルコース分析系の構築と応用. 日本農芸化学会 2024 年度西日本支部大会 (2024 年 9 月)

辻本千織, 宮崎愛理, 本田祐歌, 宗 伸明. 色素含有型多糖ゲルの構築と抗酸化力測定材料としての性能検討. 日本農芸化学会 2024 年度西日本支部大会 (2024 年 9 月)

江頭深幸, 成田千紗, 宗 伸明. グルコース蛍光検出のためのアルギン酸ゲルカプセル材料の開発. 日本食品科学工学会第 71 回大会 (2024 年 8 月)

成田千紗, 宗 伸明. 共役酵素反応を活用した比色分析用アルギン酸ゲル材料の開発. 日本食品科学工学会第 71 回大会 (2024 年 8 月)

辻本千織, 宮崎愛理, 本田祐歌, 宗 伸明. 抗酸化能比色測定用材料としての応用を目指した多糖ゲル材料の開発. 日本食品科学工学会第 71 回大会 (2024 年 8 月)

3 研究の総括と今後の課題・展望 (担当: 宗)

・研究の総括

本研究では、先進的機能を備えた多糖ゲルの創出を目指し、バイオセンシング機能を備えた新しい多糖ゲル材料の開発、並びに、未利用資源に由来する多糖類を活用した新しいゲル材料構築法の開発、に取り組んだ。

バイオセンシング機能を備えた多糖ゲルカプセル型材料の開発については、カルシウムイオンによるアルギン酸分子のイオン架橋反応を用いることで、COD、HRP、アンプリフルレッドを内包した球状アルギン酸ゲルカプセル型材料を作製し、このゲルカプセル型材料がコリンに対するセンシング機能を有していることを明らかとすることができた。また、COD を GOD に変換した球状アルギン酸ゲルカプセル型材料が、グルコースに対するセンシング機能を有していることも確認した。従って、適切な酵素を選択することで、本ゲルカプセル型センシング材料の検出対象を拡張可能であると考えられる。加えて、内包対象としてアクリジンオレンジを選択し、アニオン性多糖であるアルギン酸とカチオン性多糖であるキトサン間のポリイオンコンプレックス形成を活用することで、ナノサイズ化した多糖ゲルカプセルが構築可能であることも確認した。また、ナノカプセルの作製過程における超音波処理の導入が、多糖ナノカプセル構築の制御に寄与し得ることも確認できた。

一方、未利用資源に由来する多糖類を活用した新しいゲル材料構築法の開発については、鹿児島 (鹿児島湾)、佐賀 (唐津市沿岸) における褐藻類の採集、視察を行い、褐藻類からアルギン酸を得る目的において、未利用資源としてのポテンシャルを持つ褐藻類の検討を

行うことができた。また、褐藻類からのアルギン酸抽出手法について検討し、抽出したアルギン酸を用いてゲルカプセルの形成を確認した。加えて、キサントガムの添加が、ゲル形成能の向上へ寄与し得ることも確認できた。また、アルギン酸ゲルの様々な応用展開を図るため、種類が異なるアルギン酸ナトリウム試薬を用いて、アルギン酸ゲル乾燥物を作製した。得られた膜状ゲル乾燥物に対する物性評価の結果、作製条件の調節に基づく物性制御が期待できることが確認できた。

本研究の遂行に際しては、佐賀県玄海水産振興センター、佐賀県工業技術センター、佐賀大学総合分析実験センターの関係各位をはじめ、多くの方々に大変お世話になりました。この紙面をお借りして、心より御礼申し上げます。

・次年度に向けての課題・計画・展望等

次年度からは、今年度得られた成果を基に、更に発展的な課題に取り組みたい。バイオセンシング機能を備えた多糖ゲルカプセル型材料の開発に関しては、その検出能・選択性をより詳細に検討するとともに、より進化した性能を備えた多糖ゲル型分析材料の開発を目指したい。また、多糖ナノカプセルに関しては、作製手法に関する検討を重ね、ナノキャリアとしての優れた性能を備えたカプセルの開発を目指したい。一方、未利用資源に由来する多糖類を活用したゲル材料構築法の開発に関しては、抽出アルギン酸により得られるゲルの特性について、より詳細な検討を行いたい。本研究は多糖類を基体とした材料開発に関するものであり、再生可能資源の活用・高付加価値化に繋がるものである。従って、本研究を更に推進させることで、社会貢献を果たしたいと考えている。

・科研費等の競争的外部資金への応募計画

本研究において得られた成果と知見を活かして立案した研究課題が、令和7年度科学研究費補助金（基盤研究B）に採択された。

支援金の執行内訳

(単位：円)

費 目	金額 (税込)	内訳 (品名, 旅行先等)
物 品 費	2,961,250	遠心機、振盪機、薬品、プラスチック器具、ガラス器具等
人件費・謝金	0	
旅 費	38,750	研究打ち合わせ (鹿児島ー佐賀) 近距離経費 (海藻採取) (ガソリン代)
そ の 他	0	
合 計 金 額	3,000,000	

資料等

なし

令和6年度連合農学研究科先進的研究推進事業報告書

泥炭農地の再湿地化が温室効果ガス(CO₂、CH₄、N₂O)排出量に
およぼす影響に関する研究

研究代表者 琉球大学
農水圏資源環境科学専攻
地域資源環境工学連合講座
酒井 一人

研究の組織と役割分担者

	氏名及び職名	所属大学・専攻	研究の役割分担等
代表者	酒井 一人・教授	琉球大学・農水圏資源環境科学	研究の総括・土壌からのCH ₄ 排出分析
分担者	徳本 家康・准教授	佐賀大学・農水圏資源環境科学	土壌表面酸化層の分析

1 研究の目的と概要

① 研究の目的

熱帯泥炭地は地球の陸地表面の約 0.25%であるが、地球上の土壌炭素の約 3%が熱帯泥炭地に存在している。泥炭地を農地などに開発する時には排水し乾燥化する。それにより、有機炭素の分解が進み、二酸化炭素 (CO₂)の主要な発生源になる。さらに、泥炭火災による CO₂ 排出も無視できない量である。この状況に対して、排水した泥炭地帯の再湿地化により温室効果ガス(GHG_s)排出の削減に繋げることが考えられている。Darusman et al. (2023)は、1990 年から 2018 年までの再湿地化と GHG_s 排出に関する研究を分析し、泥炭地の二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、および溶存有機炭素(DOC)フラックスに対する再湿潤の影響について検討した。その結果、再湿潤化により泥炭分解が少なくなり CO₂排出量を大幅に削減することが明らかになった。。また、再湿地化後の CH₄排出量増加はあるが、総 GHG_s 量としては減少すると結論づけている。Lestari et al. (2022)は、インドネシア・リアウ州の熱帯泥炭地における GHG_s(CO₂、CH₄、N₂O)排出量に対する再湿地化の影響について調査した。その結果、CO₂排出量が大幅に減少し、再湿地化後の正味の GHG 排出量が大幅に減少したことが示された。Bockermann et al. (2024) は、再湿地化により CO₂および N₂O が減少し、CH₄が増加するものの GHG_s 排出総量は減少することを述べている。

このように、泥炭の湿地化は GHG_s 排出量削減につながるということが一般的な認識である。

しかし一方で、熱帯泥炭地からの CH₄ 排出は無視できないものであるという研究もある。Murakami et al.(2005)は中性化した泥炭を用いた CH₄ 排出量測定室内実験により、泥炭の中性化が CH₄ 発生増加につながることを指摘している。近年では、フラックス観測タワーを用いて生態系スケールでの CH₄ フラックスを求める研究が行われている。Chandra et al. (2023)は、泥炭地が CH₄ のソースとなっていることを報告している。また、伊藤ら(科研 基盤 B 18H02238)は中性化した泥炭農地からの CH₄ 排出が泥炭湿地林よりオーダーレベルで多いことを報告している。

これらのことを踏まえると、泥炭地帯からの CH₄ 排出は重要であり、泥炭農地再湿地化を行った場合、CH₄ 排出量増加は無視できないと言える。

ところで、再湿地化における GHG 排出特性の把握には、フィールド実験が重要である。水田を含む湿地における GHG 排出量測定にはいくつかの課題がある。湛水状態の湿地における GHG 排出の経路は植物体を通るもの(植物媒介 CH₄ 輸送)が最も多く、水田での CH₄ 排出量では約 8 割が稲を媒介しての排出であると言われている。そのため、クローズドチャンバー法では植物体全体を覆う大型チャンバーが必要であり、

この点が湛水湿地での GHG 測定を難しくしている一面であると言える。また、湛水状態での有機物分解やメタン発酵などの物質動態には水面下の土壌の酸化還元状態が大きく関わってくる。そのため、湿地からの GHG 排出に関する実験・観測結果を比較検討するためには、土壌表面酸化層の状態を把握する必要がある。

以上の背景から、本研究では最終的な泥炭の再湿地化が GHG 排出与える影響についての室内実験において検討に向けて次のような目的を設定した。

- ・ガス透過性チューブを用いた植物媒介 CH₄ 輸送シミュレーション手法の開発
- ・微生物活性が水田土中の表面酸化層と還元層の進行に与える影響の解明
- ・泥炭の pH 調整による温室効果ガス排出特性の検討

② 研究の概要

ガス透過性チューブを疑似通気機関とした植物媒介 CH₄ 輸送シミュレーションが可能であることを確認した。

水田土中の表面酸化層と還元層への土層分化に着目し、微生物活性の異なる条件で湛水した土カラムにおける溶存酸素 (DO), pH, 酸化還元電位 (Eh) の微視的な鉛直分布の計測と溶液中のイオン濃度分析を行った。微生物活性の高い条件では、表面酸化層が薄くなり還元層の還元が進行した。また、流出液の Ca²⁺ 濃度は、還元された Mn²⁺ と Fe²⁺ の交換吸着により増加した。

pH 調整しない泥炭(以下、酸性泥炭)と消石灰混合し pH 調整した泥炭(以下、中性泥炭)を用いた室内カラム実験により、pH 調整の有無による CH₄ 排出の違いについて検討した。その結果中性泥炭からの CH₄ 排出量が酸性泥炭よりかなり大きいことがわかった。このことより、pH 調整して農地として利用した泥炭地を再湿潤化した場合には、CH₄ の排出量が大きくなり、再湿地化による CO₂ 排出量削減とのトレードオフの関係が生じることが示唆された。

2 研究の成果

① 植物媒介 CH₄ 輸送シミュレーション手法の開発(担当:酒井)

土壌中で生成された CH₄ は、水中拡散、泡の噴出、植物媒介輸送の3つの経路で大気中に放出される。このうち、植物媒介輸送が最も多いことが知られている。湛水している土壌からの CH₄ 排出量測定法としてクローズドチャンバー法がある。測定時は植物体の伸長に合わせてチャンバーを用意しなくてはならず大がかりなものとなる。そこで本研究では、ガス透過性の高いシリコンチューブを用いて植物媒介輸送をシミュレーションする方法を室内実験により開発した。

室内実験には、水田土壌(東京農工大学農場の水田から採取した黒ボク土)と琉球大学の水田で採取された稲わらを用いた。5mm 篩通過試料に粉碎した稲わら(2mm 篩通過)を混合し、湛水した状態で約 1 週間養生した。土壌層にチャンバーを設置し、チャンバー内の CH₄ 濃度変化を測定した。

ガス濃度は、FT-IR を用い、あらかじめ求めておいた検量線により赤外線吸光度から求めた。電磁弁を使用し 40 分間隔で測定チャンバーを変えた。40 分の内、30 分間は測定、10 分間はガスセル内の換気を行った。FTIR のスペクトル測

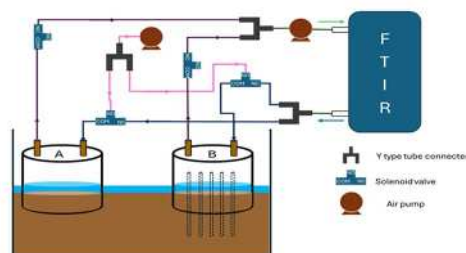


Fig. 1-1 ガス測定システムの概要

定間隔は 2 分とした。

実験は 2 つの条件で行った。実験 1 として、透過性チューブを設置しない場合と設置した場合の比較により、湛水状態において透過性チューブを経由した CH₄ 排出があるかの確認を行った。実験 1 において透過性チューブを経由した CH₄ 排出があることが確認されたため、実験 2 として透過性チューブの設置本数や深さの影響について確認した。

実験 1) Fig. 1-2 は、ガス透過性チューブの有無によるチャンバー内の CH₄ 濃度変化の違いを示したグラフである。C1 の結果より、気泡の放出および水中拡散による排出がほとんどないことが認められた。一方、C2 では測定期間中にチャンバー内メタン濃度の明らかな上昇が確認できた。これは、土中のメタンはチューブを通して大気中に排出されたということになる。以上の C1 と C2 の比較から、ガス透過性チューブを用いることにより植物媒介輸送の疑似的な計測ができることが確認

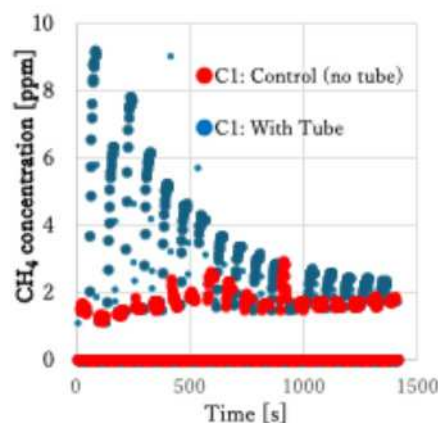


Fig. 1-2 ガス透過性チューブの有無によるチャンバー内の CH₄ 濃度変化の違い

できた。さらに C2 の実験データを見ると、計測前半は濃度変化が大きく、徐々に小さくなっていく。計測前半に濃度変化が大きいのは、測定開始前に土壌中で生成され溜まっていたメタンが排出されたためだと考える。このことより、土壌は嫌気的環境下にあり続けると、メタンも土壌内で生成され続けると考えられる。

実験 2) Fig. 1-3 にガス透過性チューブの有無によるチャンバー内の CH₄ 濃度変化の違いを示す。グラフの色はチューブの本数の違いを表し、赤が 5 本、青が 10 本、マーカーの形状は差し込み深さの違いを表し、三角が 4cm、丸が 8cm。ガスフラックスが大きい順に 8cm-10 本、4cm-10 本で 4cm-5 本と 8cm-5 本ではほとんど差がなかった。今回の実験では、このように同じ土壌においてもチューブ条件の違いによりガスフラックスが異なることが認められた。今回の実験では、同じ土層に 4 つのチャンバーを差し込んで測定をしたため土壌条件の違いは無いと考えている。このことから土中のチューブ長がほぼ同じである 4cm-10 本と 8cm-5 本では大きな差が出ないのではないかと想定していた。しかし、4cm-10 本の方が明らかに大きなフラックスとなった。ガスフラックスに本数は影響するが差し込み深さは影響しないのかということそうではなかった。8cm-10 本が 4cm-10 本の 1.5~2 倍のガスフラックスであることから、土中のチューブ長がガスフラックスに影響することが認められる。条件の違いで、予想した結果になったグループとならなかったグループがあったので、そこについては再実験が求められる。

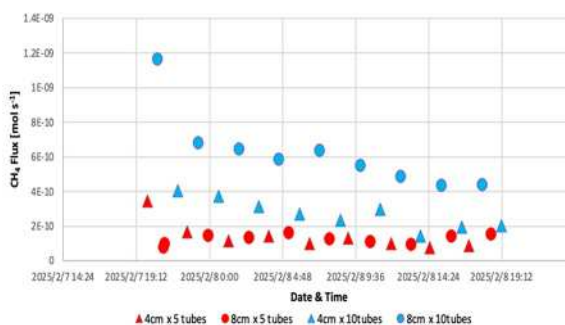


Fig. 1-3 ガス透過性チューブの有無によるチャンバー内の CH₄ 濃度変化の違い

今回の実験では、同じ土層に 4 つのチャンバーを差し込んで測定をしたため土壌条件の違いは無いと考えている。このことから土中のチューブ長がほぼ同じである 4cm-10 本と 8cm-5 本では大きな差が出ないのではないかと想定していた。しかし、4cm-10 本の方が明らかに大きなフラックスとなった。ガスフラックスに本数は影響するが差し込み深さは影響しないのかということそうではなかった。8cm-10 本が 4cm-10 本の 1.5~2 倍のガスフラックスであることから、土中のチューブ長がガスフラックスに影響することが認められる。条件の違いで、予想した結果になったグループとならなかったグループがあったので、そこについては再実験が求められる。

本研究では、ガス透過性チューブであるシリコンチューブを用いて、水田や湖沼にお

ける植物媒介輸送の再現ができることが確認できた。また、差し込むシリコンの本数や長さによって、メタン排出に差があることも分かった。今後の課題は、フィールドでの適用を考えてガス透過性チューブ設置条件のガス排出量に対する影響について定量的に把握することである。

② 微生物活性が水田土中の表面酸化層と還元の進行に与える影響(担当:徳本)

水田土中では田面水中からの溶存酸素 (DO) 供給と微生物による有機物分解過程の DO 消費により表面酸化層と還元層への土層分化が生じる。還元層は嫌氣的有機物分解によりマンガン、鉄の還元が進行し、可溶性の陽イオンが交換吸着する。また、隣接する表面酸化層と還元層は相互に影響を及ぼす。本研究では、水田土中の物質動態解明に向けて、水分浸透速度および有機物分解速度に関わる微生物活性が各種還元物質の移動に与える影響を明らかにするため、水分浸透条件下の湛水土カラムにおける水田土中の DO, pH, Eh の微視的な鉛直分布の計測と流出水のイオン濃度分析を行った。

供試土には、佐賀大学西圃場内の水田圃場から採土し、風乾後 2 mm 篩を通過した攪乱土を用いた。直径 14.9 cm, 高さ 10 cm のカラム底面に鳥取砂丘砂を 1 cm 充填し、その上に供試土を高さ 5 cm, 乾燥密度 0.95 Mg m^{-3} となるように均一に充填した (Fig.3-1)。その後、カラム下端から脱イオン水を供給して水分飽和した後、土表面に対してマリOTT管を用いて 1.2 cm 程度の湛水、カラム下端には -5cm の負圧を与え、飽和浸透を与えた。浸透溶液は、土中の微生物活性を高める 0.3 mol L^{-1} のグルコース溶液 (GS) と脱イオン水 (DW) の 2 条件とした。土表面 3 cm の DO, pH, Eh の計測には、ニードル型 DO, pH, Eh センサー (Unisense 社製) を用いた。センサーの位置を上下方向に 0.2 mm s^{-1} の速度で変化させ、湛水した土中の DO, pH, Eh の鉛直分布を計測した。また、流出水の重量測定より排水フラックスを測定した。流出水を定期的に採取し、イオンクロマトグラフ (Thermo Fisher Scientific 社製) を用いて陽イオン (Ca^{2+} , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+}) および陰イオン (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-) 濃度を分析した。

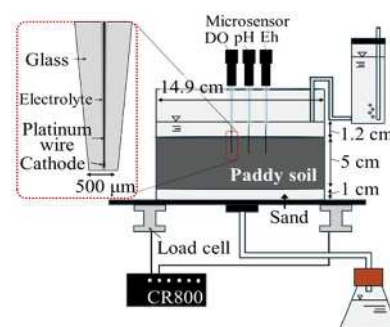


Fig. 3-1 湛水土カラム実験の概略

水分浸透開始から 6 日間の平均水分浸透速度は、GS では 0.73 cm d^{-1} , DW では 2.09 cm d^{-1} となった。また、両条件とも浸透速度が経時的に減少する傾向にあった。GS では、実験開始 2 日目からガス発生が確認された。土中に停滞したガスは、水分浸透を妨げ、ニードル型センサーの測定を不安定にしたと考えられた。GS の DO 濃度は DW より低く、表面酸化層が薄くなった (Fig. 3-2(a), (d))。グルコースを与えたことにより、有機物の分解速度が増加して酸素の消費速度が増えたことが原因と考えられる。土中水 pH は GS と WD に明確な違いは見られず、どちらの条件も 6.5~6.8 の範囲で変動し、pH6.5 程度まで低下した後、微増する傾向が見られた (Fig. 3-2(b), (f))。Eh は GS の方が速やかに低下し、5 日には -250 mV 程度まで還元が進行した (Fig. 3-2(c), (g))。GS の条件では、水分浸透速度が小さく DO の供給が小さいことに加え、微生物活性の高さから嫌気状態での有機物分解速度が早いいため還元が進行したと考え

られる。なお、Eh 分布はガス発生による影響が強く、深さ方向のばらつきが大きい。

両条件ともにカラム下端からの流出液中のカルシウムイオン (Ca^{2+}) と硫酸イオン (SO_4^{2-}) 濃度は増加した (Fig. 3-3)。 Ca^{2+} 濃度は GS の方が大きく、 SO_4^{2-} 濃度は DW の方が大きかった。 O_2 を消費した後の嫌氣的有機物分解では、嫌気呼吸の電子受容体を、硝酸、マンガン (Mn)、鉄 (Fe)、硫酸 (SO_4^{2-})、炭酸 (CO_3^{2-}) の順に変える逐次還元反応が進行する。還元の進行した GS では、還元された Mn^{2+} と Fe^{2+} が Ca^{2+} と交換吸着するため流出液の Ca^{2+} 濃度が増加したと考えられる。また、 SO_4^{2-} の消費が SO_4^{2-} 濃度の低下をもたらしたと考えられる。今後、還元の進行に伴うマンガンと鉄のイオン交換と形態変化を含む動態について、実験とモデルの両面からの検討が必要である。

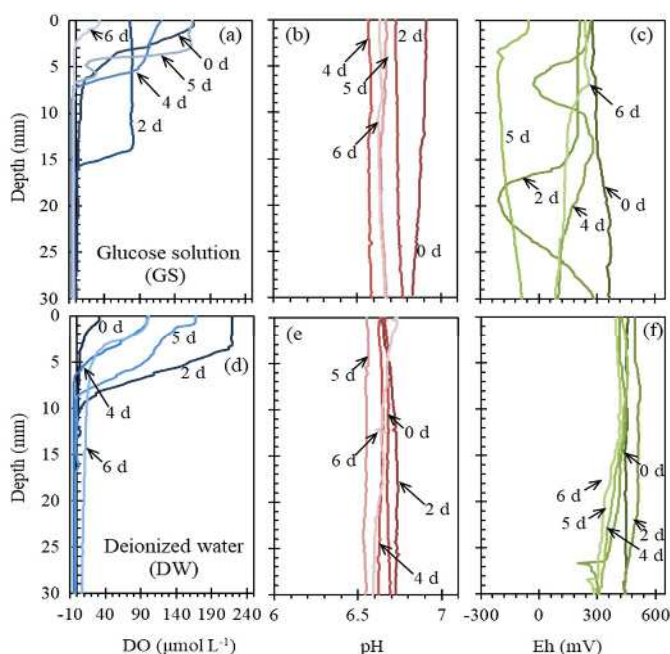


Fig.3-2 水分浸透開始 6 日間のカラム表層 30 mm の溶存酸素濃度 (DO), pH, 酸化還元電位 (Eh) の鉛直分布。上段 ((a)~(c)) は GS, 下段 ((d)~(f)) は DW の分布

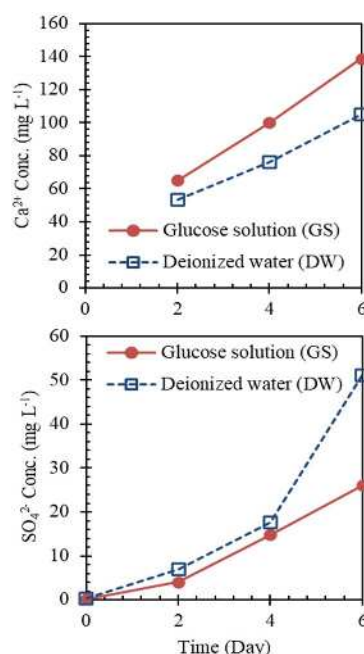


Fig.3-3 水分浸透開始 6 日間のカラム下端流出液中の Ca^{2+} および SO_4^{2-} 濃度

③ 泥炭の pH 調整による温室効果ガス排出特性の検討(担当:酒井)

熱帯泥炭地は地球の陸地表面の約 0.25%であるが、地球上の土壤炭素の約 3%が熱帯泥炭地に存在している。泥炭地を農地などに開発する時には排水し乾燥化する。それにより、有機炭素の分解が進み、二酸化炭素 (CO_2) の主要な発生源になる。さらに、泥炭火災による CO_2 排出も無視できない量である。この状況に対して、排水した泥炭地帯の再湿地化により温室効果ガス (GHGs) 排出の削減に繋げることが考えられている。(例えば、Darusman et al. 2023、Lestari et al. 2022、Bockermann et al. 2024)

しかし一方で、熱帯泥炭地からの CH_4 排出は無視できないものであるという研究もある(例えば、Murakami et al. 2005、Chandra et al. 2023、伊藤ら 科研基盤 B 18H02238)

これらのことを踏まえると、泥炭地帯からの CH_4 排出は重要であり、pH 調整された農泥炭農地の再湿地化を行った場合、 CH_4 排出量増加は無視できないと言える。

そこで本研究では、pH 調整しない泥炭(以下、酸性泥炭)と消石灰混合し pH 調整した泥炭(以下、中性泥炭)を用いた室内カラム実験により、pH 調整の有無による CH_4 排

出の違いについて検討した。

Fig.3-4 は酸性泥炭(C-1)と中性泥炭(C-2)の CH₄ フラックスのボックスプロットである。Drain が排水状態で、Inundation が湛水状態である。排水および湛水のどちらの状態でも C-2 の CH₄ フラックスが大きく、pH 調整が CH₄ 排出を大きくすることが認められた。特に、湛水状態では C-2 の方が CH₄ 排出量の増加が非常に大きくなる結果となった。

このことより、pH 調整して農地として利用した泥炭地を再湿潤化した場合には、CH₄ の排出量が大きくなり、再湿地化による CO₂ 排出量削減とのトレードオフの関係が生じることが示唆された。今後の課題は、実際の泥炭農地における再湿地化による CO₂ 排出削減と CH₄ 排出増加のトレードオフを定量的に評価することである。

④ 学会論文等への成果発表

本研究の3つの内容について、令和7年度中に学会発表および論文投稿する予定である。

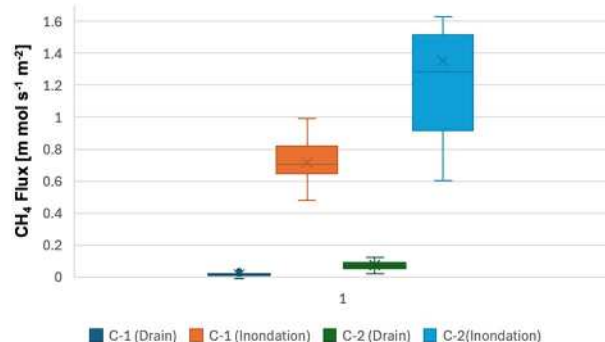


Fig.3-4 酸性泥炭(C-1)と中性泥炭(C-2)の排水時および湛水時の CH₄ フラックスの比較

3 研究の総括と今後の課題・展望

・研究の総括

本研究により、ガス透過性チューブを用いることにより植物媒介 CH₄ 輸送シミュレーションが可能であることを示し、湛水状態の土壌からの GHG 排出量測定手法を確立することができた。また、その手法を用いて、pH 調整して農地として利用した泥炭地を再湿潤化した場合には、CH₄ の排出量が大きくなり、再湿地化による CO₂ 排出量削減とのトレードオフの関係が生じる可能性があることを確認できた。

・次年度に向けての課題・計画・展望等

植物媒介輸送シミュレーション手法の開発については、実フィールドでの適用に向けて過酷なフィールド環境で適用可能な耐久性・持続性のあるシステム構築を目指す。

泥炭の pH 調整による温室効果ガス排出特性の検討については、CO₂、N₂O、CH₄ を同時に測定し、再湿地化による GHG 排出量削減効果を定量的に把握する実験を進める。

・科研費等の競争的外部資金への応募計画

これまで令和6年度、7年度において科学研究費補助金基盤研究(A)に申請してきた。残念ながら、2年とも不採択であった。本研究成果により、海外フィールドでの調査という研究課題の実現に向けて、課題および研究の明確な進展が見出せている。令和8年度においても引き続き基盤研究(A)への申請を準備中である。

4 支援金の執行内訳

(単位:円)

費 目	金額(税込)	内訳(品名, 旅行先等)
物 品 費	2,303,000 円	MycroHybrid 社製 NDIR 評価キット データロガーCR1000X 光学パーツ等消耗品 土壌分析消耗品 湛水実験用カラム消耗品
人件費・謝金	20,000 円	実験補助
旅 費	572,000 円	土壌科学研究シンポジウム(川崎市) 2 名 農業農村工学会(弘前) PAWE 学会(台湾) 泥炭土壌サンプリング(タイ国ハジャイ)
そ の 他	10,000 円	試料送料
合 計 金 額	2,905,000 円	

5 資料等

特になし