農地における泥炭分解量の現地評価手法に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：令 4～令 6
担当チーム：資源保全チーム
研究担当者：國島隼人、長竹新、
清水真理子、奥田涼太、
中山博敬、佐藤善文、
松田俊之

【要旨】
泥炭農地では、泥炭の分解は農地の沈下や農地からの温室効果ガス排出の一因である。泥炭地の水田では畑作や排水改良による農地の乾燥化が進み、泥炭の分解が促進される可能性が考えられる。しかし、上層が鉱質土、下層が泥炭土で構成される泥炭農地において泥炭分解の実態や泥炭分解量の現地評価手法について知見が不足している。そこで本研究では、上層が鉱質土、下層が泥炭土で構成される圃場を対象に泥炭分解の実態を把握した。また、泥炭分解量の現地評価手法について提案した。拡散法による土壌の深さ別の泥炭分解量の推定結果から、地下水深よりも浅い位置で泥炭の分解が進んでいることがわかった。拡散法で使用する土壌空気採取管は、深さ方向の設置間隔を 20 cm とし、鉱質土と泥炭土との境界を挟むように 2 深度と、地下水深までの間に最低 1 深度設置するとよいことがわかった。
キーワード：泥炭農地、泥炭分解量、現地評価手法

1. はじめに

食料・農業・農村基本計画[1)]では、生産性向上に対応した農業生産基盤整備を効果的に推進することとされている。農林水産省地球温暖化対策計画[2)]では、農地における温室効果ガス排出量の正確な算定のため、モニタリング技術や算出方法の改善に資する研究開発の重要性が記されている。泥炭農地では、泥炭の分解は農地の沈下や農地からの温室効果ガス排出の一因である。泥炭地の水田では畑作や排水改良による農地の乾燥化が進み、泥炭の分解が促進される可能性が考えられる。

土壌有機物や泥炭の分解量を評価する方法の一つに、有機物の分解時に発生する二酸化炭素（CO_2）、メタン（CH_4）の量で評価する方法があり、その計測方法は、農地では圃場表面から大気中に放出される CO_2、CH_4 フラックスを測定するチャンバー法が一般的である。しかし、北海道の泥炭地水田のように泥炭土の上に鉱質土が客土されている場合には、チャンバー法で捉えた CO_2、CH_4 の由来が鉱質土と泥炭土のどちらであるかを分離できない。そのため、土壌の深さ別に CO_2、CH_4 を評価する必要がある。深さ別の CO_2、CH_4 発生量は土層間での CO_2、CH_4 の拡散フラックスの差し引きから推定でき、これを拡散法と呼ぶ。これまで単一の土壌で構成する圃場での拡散法による有機物分解量の適用事例[3)]はあるが、鉱質土が客土された泥炭農地における適用事例はない。

そこで本研究では、拡散法を用いて鉱質土が客土された泥炭農地における土壌有機物分解量および泥炭分解量を深さ別に評価することを目的とした。また、拡散法とは別に、チャンバー法により圃場表面から大気中に放出される CO_2、CH_4 フラックスを直接測定した。拡散法とチャンバー法から得られた測定結果を基に、泥炭分解量の現地評価手法について提案した。

2. 調査地と方法

2.1 調査地と圃場の概要

調査は、泥炭地域である北海道新篠津村に位置する大豆作付け圃場で行った。100 cm 深までの土層構成は、0～30 cm 深が鉱質土、30～100 cm 深が泥炭土である。鉱質土層は耕起や締固めによる土壌硬度の違いで、Ap1（0～13 cm）、Ap2（13～20 cm）、Ap3（20～30 cm）に分けられた。泥炭土層は構成植物と乾燥度合いによって、H1（30～54 cm）、H2（54～73 cm）、H3（73～100 cm）に分けられた。泥炭土層の構成植物はホロムイスゲ、ヌマガヤ、ツルコケモモであり、高位泥炭もしくは中間泥炭に分類される。調査圃場には 1/500 下り勾配の暗渠吸水渠が設置されており、調査地点付近における吸水渠の管底の深さは圃場面から約 90 cm 深

である。

調査は 2022 年の 7 月 14 日から 9 月 28 日、2023 年の 6 月 21 日から 10 月 4 日に行った。観測結果に対する植物の呼吸に由来する CO_2 の影響を小さくするため、圃場内に約 10 m×2 m の裸地区を設け、その中で以降に示す拡散法およびチャンバー法の調査を行った。

2.2　拡散法

土壌の深さ別の CO_2、CH_4 フラックスを拡散法で測定した。一般に、気圧、温度、風速の変化によって生じる移流が土壌中のガス移動に果たす役割は小さく、土壌中のガス移動については通常、拡散が支配的であるとみなされる [4]。したがって、土壌中のガス移動は Fick の法則を用いて次式のように表すことができる [5) 6)]。

$$q = -D_s \frac{\Delta C}{\Delta z} \qquad (1)$$

ここで q は土壌中のガスフラックス（kg m^{-2} s^{-1}）で上向きの移動を正の値とした。D_s は土壌ガス拡散係数（m^2 s^{-1}）、C は着目するガスの濃度（kg m^{-3}）、z は距離（m）である。また土壌中において、質量保存則から次式が成り立つ。

$$\frac{\Delta(\theta_a C)}{\Delta t} = -\frac{\Delta q}{\Delta z} + r \qquad (2)$$

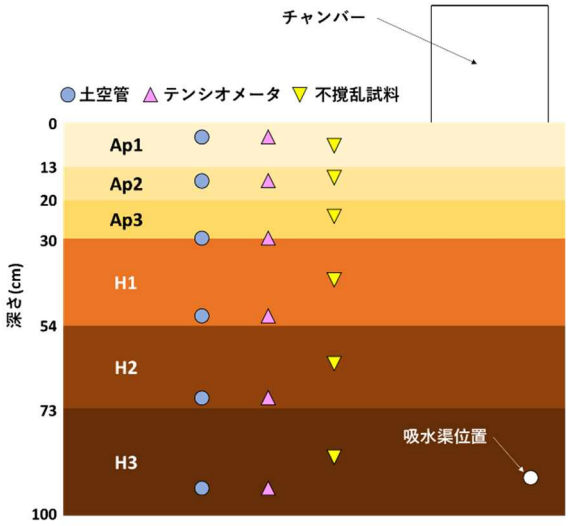
ここで θ_a は土壌の気相率（m^3 m^{-3}）、t は時間（s）、r は単位体積あたりのガスの生成あるいは消失速度（kg m^{-3} s^{-1}）である。通常ガス移動は水や溶質移動に比べて非常に速いため、左辺に示す土層内におけるガス貯留量の変化は無視できるほど小さいと考えると、(2) 式は次のように簡略化することができる。

$$\Delta q = \Delta z r \qquad (3)$$

これは層厚が Δz の土層に対する流入フラックスと流出フラックスの差（Δq）から、その土層における単位体積あたりのガスの生成あるいは消失速度 r が求まることを意味している。

（1）式と（3）式を用い、得られた CO_2、CH_4 フラックスと CO_2、CH_4 生成・消失速度を各測定日間で線形補完し、測定期間中における CO_2、CH_4 の積算フラックスおよび生成・消失量を求めた。

調査地の土壌断面と設置機器類を図－1 に示す。土壌中 CO_2、CH_4 採取のために、土壌空気採取管（以下、土空管）を 5、15、30、50、70、90 cm 深に 3 本ずつ設置した。土空管の構造は加藤ら [7)] を参考にした。測定日に各深度の土壌空気を 10mL 容量の真空バイアル瓶に採取し、実験室で CO_2、CH_4 濃度を分析した。CO_2 濃度は赤外線 CO_2 コントローラで、CH_4 濃度は FID 付ガスクロマトグラフィーで分析した。また、テンシオメータを 5、15、30、50、70、90 cm 深に設置し、各深度のマトリックポテンシャルを 30 分間隔で計測した。テンシオメータ間のマトリックポテンシャルは計測値を深さ方向に線形補完して推定した。



図－1　調査地の土壌断面と設置機器類

土壌ガス拡散係数 D_s は、50 mL の試料円筒で採取した不撹乱試料を用い、遅沢・久保田の方法 [8)] を参考に測定した。不撹乱試料は、6.5、16.5、25、42、63.5、86.5 cm 深で採取した。実験室において不撹乱試料のマトリックポテンシャルが、0、-10、-32、-100、-316、-500 cm になるように加圧板法で段階的に脱水し、各段階における D_s を測定した。D_s を大気中のガス拡散係数 D_0 で除し、相対ガス拡散係数 D_s/D_0 を求めた。実験室で調整したマトリックポテンシャル h と D_s/D_0 との関係式と、土壌空気の採取日時にテンシオメータで計測したマトリックポテンシャルから、採取日時における深さ別の D_s/D_0 を推定した。推定した D_s/D_0 に D_0 を乗じて採取日時における D_s へと変換し、式（1）のガスフラックスの計算に用いた。

2.3　チャンバー法

圃場表面から大気中に放出される CO_2、CH_4 フラックスを静的クローズドチャンバー法で測定した。常設した架台にガス採取口を取り付けたチャンバーを設置した後、チャンバー内の空気を CO_2 アナライザーで循環して CO_2 濃度を測定した。チャンバーは 4 分 30 秒間静置し、静置した直後と 30 秒毎に測定した。CH_4 濃度はチャンバー内の空気を 10mL 容量の真空バイアル瓶に採取し、実験室にある FID 付ガスクロマトグラフィーで分析した。チャンバーは 20 分間静置し、静置した直後と 5 分毎に採取した。CO_2、CH_4 濃度の時間変化から CO_2、CH_4 フラックスを評価した。チャンバー

内の CO_2 濃度測定時および CH_4 採取時にチャンバー内温度を測定し、CO_2、CH_4 フラックスの評価に供した。

2.4　地下水深

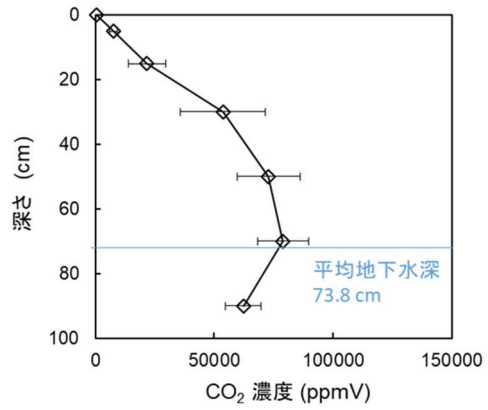
小型絶対圧水位計を用いて地表下 150 cm 深における圧力水頭を 30 分間隔で測定し、圃場面標高と圧力水頭標高の差を地下水深とした。

3．結果と考察

3.1　深さ別の泥炭分解量の推定結果

拡散法により求めた測定期間（約 6 か月間）における深さ別の CO_2 濃度の平均値を図−2 に示す。土壌中の CO_2 濃度は地表面から深くなるほど高くなり、地下水深を境に低くなる傾向があった。

拡散法により求めた測定期間（約 6 か月間）における深さ別の積算 CO_2、CH_4 フラックスおよび生成・消失量を図−3 に示す。22.5〜40 cm 深には鉱質土と泥炭土が両方含まれるため、CO_2、CH_4 の生成・消失量を、鉱質土層と泥炭土層の層厚比により案分した。測定期間中の地下水深はおおむね圃場面と吸水渠管底との間で変動し、平均値は 73.8 cm であった。測定期間中の 0〜80 cm 深の正味 CO_2 生成量は 234.6 g C m^{-2} であり、このうち鉱質土層が 168.4 g C m^{-2}、泥炭土層が 66.2 g C m^{-2} であった。泥炭土層では 80 cm 深までいずれの深さでも CO_2 が生成しており、80 cm 深までの泥炭が分解していることが分かった。泥炭土層内では地表に近い層ほど泥炭の分解が進んでいた。



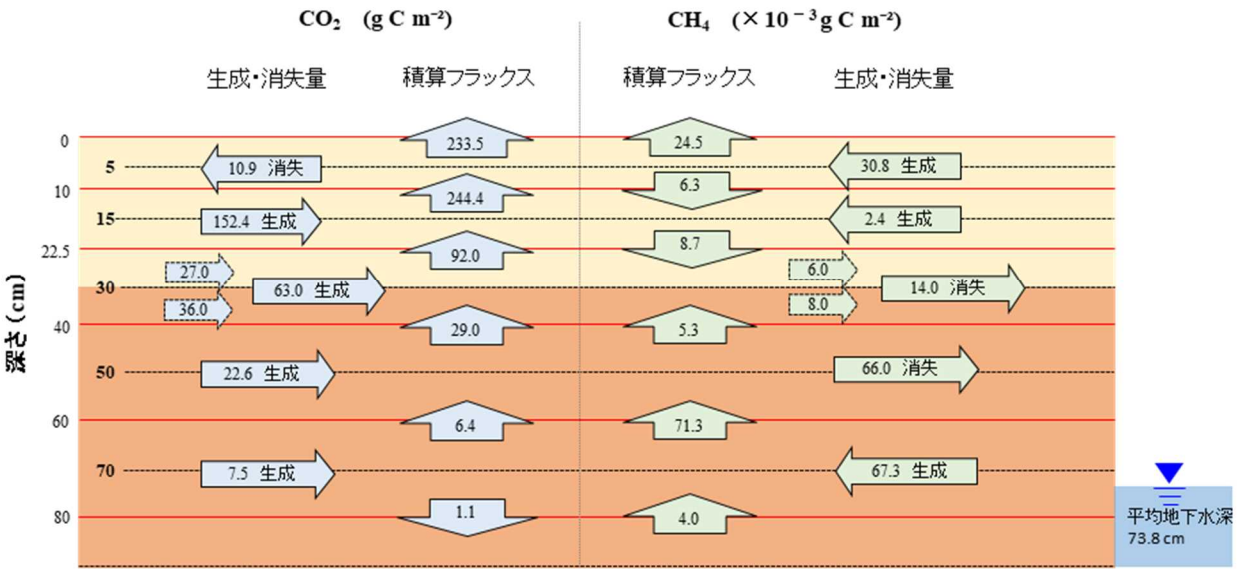
図−2　深さ別の CO_2 濃度

測定期間中の 0〜80 cm 深の正味 CH_4 生成量は 20.5×10^{-3} g C m^{-2} であり、このうち鉱質土層が 27.1×10^{-3} g C m^{-2}、泥炭土層が-6.6×10^{-3} g C m^{-2} であった。泥炭土層全体の正味 CH_4 生成量はほぼゼロであるが、これは 60〜80 cm 深の層において生成された CH_4 とほぼ等量の CH_4 が 22.5〜60 cm 深の層で消失したためであった。このことから泥炭の嫌気的な分解は主に 60 cm 以深で生じていた。また、嫌気的な分解で生成された CH_4 は上の層への移動の過程で、60 cm 深より浅い層においてほぼすべて酸化・吸収されたと考えられた。

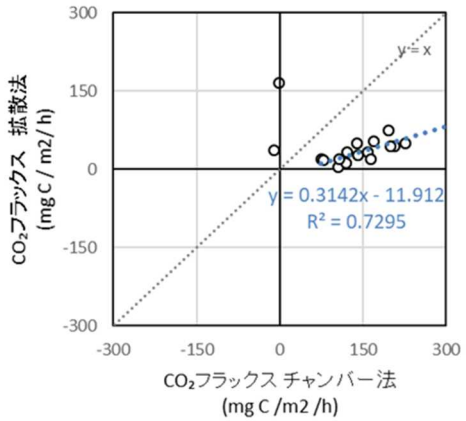
泥炭土層における CO_2 生成量は CH_4 生成量よりも約 840 倍大きく、CO_2 が主に生成された地下水深よりも浅い位置において泥炭の分解が進んでいた。

3.2　拡散法とチャンバー法の比較

圃場表面から大気中に放出される CO_2 フラックス（以下、地表面フラックス）を拡散法とチャンバー法で比較した（図−4）。両者の回帰式の決定係数は 0.73 であり拡散法とチャンバー法との相関関係が認められたが、回帰式の傾きは 0.31 であり拡散法はチャンバー法よりも地表面フラックスを過小評価する傾向であっ



図−3　拡散法による深さ別の CO_2、CH_4 の積算フラックスと生成・消失量の積算値



図－4 拡散法とチャンバー法で比較した圃場表面から大気中に放出される CO_2 フラックス

た。また、拡散法とチャンバー法との回帰直線から外れる点も見られた。拡散法がチャンバー法よりも地表面フラックスを過小評価する傾向になる要因として、既往の研究 [3] でも指摘されているとおり、地表面フラックスは今回土空管を設置した位置（5 cm 深）よりも浅い位置でのガスの生成が寄与している可能性が考えられた。

3.3 泥炭分解量の現地評価手法の提案

本研究では 6 深度に調査器具を埋設し、泥炭分解量を評価した。一方、実際の調査現場においてより少ない労力で泥炭分解量を評価するためには、より少ない調査器具の設置深度数で深度間での濃度勾配が測定できることが条件となる。CO_2 濃度の深さ分布（図－2）から土空管の深さ方向の設置間隔を 20 cm とすれば濃度勾配を測定できることがわかった。また、地下水深より浅い泥炭土層で泥炭の分解が進んでいたことから、鉱質土直下から地下水深までの泥炭を対象にするとよいことがわかった。以上から、拡散法で使用する土空管は、深さ方向の設置間隔を 20 cm とし、鉱質土と泥炭土との境界を挟むように 2 深度と、地下水深までの間に最低 1 深度設置するとよいことがわかった。また、データのばらつきを考慮して同じ深さに最低 3 本ずつ設置することが望ましい。

4 まとめ

客土された泥炭地水田の畑作時における泥炭分解を拡散法で評価した。拡散法による深さ別の泥炭分解量の推定結果から、泥炭土層における CO_2 生成量は CH_4 生成量よりも約 840 倍大きく、CO_2 が主に生成された地下水深よりも浅い位置において泥炭の分解が進んでいることがわかった。

泥炭分解量の現地評価手法の提案にあたり、拡散法で使用する土空管の設置方法を検討した。CO_2 濃度の深さ分布と泥炭の分解が進んでいる深さを考慮し、拡散法で使用する土空管は、深さ方向の設置間隔を 20 cm とし、鉱質土と泥炭土との境界を挟むように 2 深度と、地下水深までの間に最低 1 深度設置するとよいことがわかった。なお、拡散法はチャンバー法よりも地表面フラックスを過小評価する傾向がある。これは拡散法では最も浅い土空管から地表面までの有機物分解量を捉えられないことが一因である。そのため、土壌全体の有機物分解量に対する泥炭分解量の寄与を評価する際は、泥炭分解量は今回提案した方法で評価し、地表面フラックスすなわち土壌全体の有機物分解量はチャンバー法で評価するとよい。

参考文献

1) 農林水産省：食料・農業・農村基本計画 https://www.maff.go.jp/j/basiclaw/index.html（参照 2025 年 5 月 16 日）
2) 農林水産省：農林水産省地球温暖化対策計画 https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/climate/taisaku/top.html（参照 2025 年 5 月 16 日）
3) 森本聡、永田修、川本建、長谷川周一：泥炭林土壌の温室効果ガスの生成と消失、土壌の物理性、No.113、pp.3-12、2009.
4) Laursen,S.: Onugaseous diffusion of CO_2 in the unsaturated zone. J. Hydrology, Vol 122, pp.61–69, 1991.
5) Rolston,D.E., and Moldrup,P.: 4.3 Gas diffusivity, Methods of soil analysis Part 4-Physical methods, Eds. Dane,J.H. and Topp,G.C.,SSSA Soil Sci.Soc.Am,Book Series No.5, pp.1113–1139, 2002.
6) Webb,S.W.: Chapter 2 Gas transport mechanisms, Gastransport in porous media (Theory and applications of trans-port in porous media), Eds. Ho,C.K., and Webb, S.W., Springer, pp.5–26, 2006.
7) 加藤千尋、井本博美、西村拓、宮崎毅：小型チューブ埋設型土壌ガスモニタリングシステムを用いた農地土壌中 CO_2 ガス濃度変動の検討、土壌の物理性、No.124、pp.25-33、2013.
8) 遅沢省子、久保田徹：土壌のガス拡散係数の測定法、日本土壌肥料学会誌、第 58 巻、第 5 号、pp.528-535、1987.

STUDY ON ONSITE EVALUATION METHODS OF PEAT DECOMPOSITION IN AGRICULTURAL FIELDS

Research Period: FY2022-2024
Research Team: Rural Resources Conservation Research Team, Cold-Region Agricultural Development Research Group
Author: KUNISHIMA Hayato
NAGATAKE Arata
SHIMIZU Mariko
OKUDA Ryota
NAKAYAMA Hiroyuki
SATO Yoshinobu
MATSUDA Toshiyuki

Abstract: At agricultural fields in peatlands, peat decomposition contributes to land subsidence and greenhouse gas emissions. At paddy fields in peatlands, soil drying caused by crop rotation and drainage improvements may accelerate peat decomposition. However, there is a lack of knowledge regarding the conditions of peat decomposition and regarding onsite evaluation methods for quantifying peat decomposition in fields whose upper layer consists of mineral soil and lower layer consists of peat soil. This study aimed to clarify the conditions of peat decomposition in such fields and to propose an onsite evaluation method for quantifying peat decomposition. Estimates of peat decomposition at different soil depths determined using the diffusion method showed that the decomposition occurs in layers shallower than the groundwater level. The soil air sampling tubes used in the diffusion method should be installed at intervals of 20 cm in the vertical (depth) direction. It was found that it is advisable to place them at two depths across the boundary between mineral soil and peat soil, as well as at least one additional depth between that boundary and the groundwater level.

Keywords: Agricultural fields in peatlands, Quantifying peat decomposition, Onsite evaluation method