J. Jpn. Soc. Soil Phys.
土壌の物理性
No. 157, p. 5～ 17 (2024)

論　文
Original Paper

土壌乾燥密度とダイズ生育が温室効果ガス動態へ与える影響の実験的検討

西脇淳子[1]，北原香織[2]，土井俊弘[3]，岡山　毅[4]

The influence of soil dry bulk density and existence of soybean vegetation on greenhouse gases movement

Junko NISHIWAKI[1], Kaori KITAHARA[2],Toshihiro DOI[3] and Tsuyoshi OKAYAMA[4]

Abstract: In this study, we investigated the production of CO_2, CH_4, and N_2O gases in the soil and their emission into the atmosphere using an indoor pot experiment, focusing on the soil dry bulk density and the difference between soybean cultivation and non-cultivation. As a result of the experiment under three types of soil bulk densities, it was confirmed that the difference in water infiltration and evaporation in the pores due to the difference in dry bulk density caused differences in the distribution of soil water and nitrogen within the pot, causing the surface layer to become oxidized, producing CO_2 and N_2O, consuming CH_4. As the depth increased, the amount of gas production and consumption decreased. Since this effect was large under the dry bulk density of 0.67 Mg m^{-3}, it was thought that the magnitude of water movement, gas movement, and solute movement in pores were related. In addition, differences in the amount of infiltration water affected the movement of dissolved gases, and the movement of nitrogen, which is a substrate for gas production. This resulted in differences in gas concentration in the soil, which subsequently affected the gas flux and production amount. Effects of soybean were observed in the production of N_2O and CO_2 in the soil and the large sink of CO_2 at the soil surface. Soybean cultivation was able to clearly reduce greenhouse gas emissions, but this was due to the dynamics of CO_2.
Key Words： laboratory pot experiment, green house gases, soil gas, gas flux

1. はじめに

現在，地球温暖化の原因となる温室効果ガスの大気中濃度が増加しており，農業は温室効果ガス発生の大きな要因であるとされている．IPCC（2021）の報告によると，世界の人為起源温室効果ガス総排出量のうち，農業活動による割合は 22 %（13Gt CO_2 換算）を占めている．農地から放出される主要な温室効果ガスは，二酸化炭素（CO_2），メタン（CH_4），亜酸化窒素（N_2O）であり，農地土壌や水田（稲作）などが温室効果ガスの排出源として挙げられる．これら温室効果ガスは土壌中で有機物分解や微生物活動などにより生成し，畑地では主に移流と拡散により大気へと放出されるが，通常の大気圧条件下では，ガスの濃度勾配によって生じる拡散移動が移動経路の大部分を占める．そのため，土壌のガス拡散係数推定のためのモデルが数多く報告されているが，日本国内に存在する間隙率の大きな土壌に対しては，モデル適用に関する検討数が少ない（川本ら, 2005）．Nkongolo et al.（2010）は，北海道の森林，草原，牧草地，およびトウモロコシ畑で土壌コアを採取し，各種土壌物理特性と CO_2，CH_4，NO，N_2O ガスフラックスとの相関を調べた．その結果，土地利用形態，およびガスの種類によって相関のあるパラメータは異なったが，CO_2 と CH_4 はモデルから求めた相対ガス拡散係数と屈曲度，さらに実測の気相率と相関があり，CH_4 は間隙率と相関があることを示した．土壌の乾燥密度は一部のガスフラックスデータと相関があったとされるが，その内容は言及されていない．しかし，他の土壌物理性と比較して間隙率と乾燥密度のバラつきが小さかったことから，間隙率や乾燥密度とガス動態の関係を把握することができれば，将来的なガス放出量予測に有益と考えられる．

温室効果ガスフラックスの測定は森林科学，環境科学，土壌科学などの多くの分野でクローズドチャンバー法（Rolston, 1986）による測定（e.g. Couwenberg et al., 2010, Adviento-Borbe et al., 2007）や，渦相関法（Aubinet et al., 2012）による観測（e.g. Pattey et al., 2005, Cabral et al., 2020），土中濃度勾配法（De Jong and Schappert, 1972）を用いた測定（e.g. Pihlatie et al., 2007, Kusa et al., 2008）が行われている．しかし，多くでチャンバー

[1]Tokyo University of Agriculture and Technology, Institute of Agriculture, 3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu-shi, Tokyo 183-8509, Japan. Corresponding author: 西脇淳子　東京農工大学大学院農学研究院, nishijun@go.tuat.ac.jp
[2]GRANVIRGO, 481-2 KitaNagai, Miyoshi-machi, Iruma-gun, Saitama 354-0044, Japan.
[3]Organization for the Strategic Coordination of Research and Intellectual Properties, Meiji University, 1-1-1 Higashi-Mita, Tama-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa 214-5871, Japan.
[4]Ibaraki Uiversity, College of Agriculture, 3-21-1 Chuo, Ami-machi, Inashiki-gun, Ibaraki 300-0393, Japan.
2023 年 9 月 13 日受稿　2024 年 5 月 31 日受理

法と濃度勾配法による拡散フラックスを比較するためのガス濃度測定が 1 深度のみであったり，森林土壌や草地での測定が多く（森本ら, 2009，Wolf et al., 2011），作物栽培を行う畑地での土中ガス動態に関する研究は少ない．森本ら（2009）は，森林土壌の深度別ガス濃度と地表面ガスフラックスの実測に基づく温室効果ガス動態の把握から，表層土壌で温室効果ガス生成と消失が生じることを示すとともに，CH_4 については同じ地域内での水田や転換畑は放出源であるが，調査対象とした泥炭林は吸収源であり，土地利用形態の影響が大きいと報告している．また，N_2O の挙動に関する要因解明にはさらなる検討が必要であることも報告している．遠藤ら（2010）は，黒ぼく土の畑地に埋設型モニタリングシステムを設置し，降雨時の土壌 CO_2 濃度上昇の要因として，土壌空気圧の変化や表層の遮蔽よりも微生物活性にもとづく土壌呼吸の活発化が原因と報告しているが，深度ごとのガス測定や土中ガス動態に関する検討は行っていない．そのため，土壌の物理特性が土壌中でのガス生成と動態に与える影響については情報が不足している．畑地圃場からの温室効果ガス発生量の評価に用いられている改良型 RothC モデル（白戸, 2005; 2006）でも，土壌層構造や間隙の連結性などの詳細な物理的性質の効果は組み込まれておらず，土壌物理性からの土中ガス動態の解明は重要な課題と考えられる．日本の畑地土壌は団粒化が進み，比較的間隙率が大きいため，ガス移動やガス移動に影響をおよぼす水移動なども起こりやすい．土中のガス動態は，さらに間隙構造や層構造などの土壌構造に依存するが，土壌の物理的特性とガス動態，植生の影響を考慮した研究が少なく，土壌物理性の変化がガス動態にどのような影響を与えるかも自明ではない．

本研究では，日本の団粒化が進んだ畑地土壌を模したポット試験を行うことで，土壌乾燥密度の違いとダイズ植生の有無が，土壌中でのガス生成と土壌面からのガス放出に与える影響を把握する．対象ガスは，農業分野からの排出が多い，二酸化炭素（CO_2），メタン（CH_4），亜酸化窒素（N_2O）とする．

2. 実験試料と方法

2.1 実験方法

試験は茨城大学農学部特殊実験棟の実験室で，1/2000 a ワグネルポットを用いて行った．実験室内に家庭用プールを 2 つ設置し，プール内にワグネルポットをそれぞれ 6 つずつ並べ，中央上部に光源（HID ランプ）を設置した（Fig. 1）．

ダイズ栽培–非栽培条件, 非栽培条件での乾燥密度 3 種類の条件に対して，それぞれ 3 反復で試験を行った．設定した乾燥密度は 0.84 Mg m^{-3}（ダイズ栽培，非栽培），0.76 Mg m^{-3}（非栽培），および 0.67 Mg m^{-3}（非栽培）である．供試土壌として，2 mm ふるいを通過した特選赤玉土（株式会社加藤産業）を用いた．赤玉土は通気性の良さのため選択した．体積含水率を 30 % に設定して水分調整を行った赤玉土を，設定した乾燥密度になるよう 4 層分にわけてワグネルポットに充填した．体積含水率を 30 % とした理由は，別にダイズ栽培圃場の深度 20 cm で ECH2O 5TE センサを用いて測定していた体積含水率の平均的な値が（各降雨イベント後の上昇が落ち着いた後）30 % 程度であったためである．この水分量に対する pF 値の実測は行っていないが，高ら（1992）のペースト状から軽埴土の赤玉土の水分特性曲線を参考に計算すると，pF 1.8 ～ 2.0 の圃場用水量の範囲で，植物にとっては正常生育有効水分量に相当すると考えられる．ワグネルポットの下端は閉鎖系とした．肥料は播種前に 1 度，500 mL の水に 0.6 g（T-N: 12 %，NH_4-N: 1.0 %，NO_3-N: 6.5 %，P: 20.0 %，K: 20.2%）を溶かしたものを各ポット表面から 0.05 g 分施肥した．ダイズは 9 月 27 日に，1 ポットにつき 6 か所土壌に穴をあけて 1 穴 3 粒ずつ播種し，初子葉が開く前に各播種点にて生育良好なダイズ 1 株を除いて間引くことで，総生育数を各ポット 6 株とした．栽培品種は納豆小粒（(株）柳川採種研究会）である．なおダイズは，令和 2 年 3 月に閣議決定された「食料 · 農業 · 農村基本計画」で戦略作物となっており，令和 12 年の生産努力目標が 34 万トンに設定（農林水産省, 2023）されている．

室内の明暗周期は 12 時間で，タイマーにより自動で切り替えた．室温はエアコンを 20 °C に設定して管理し

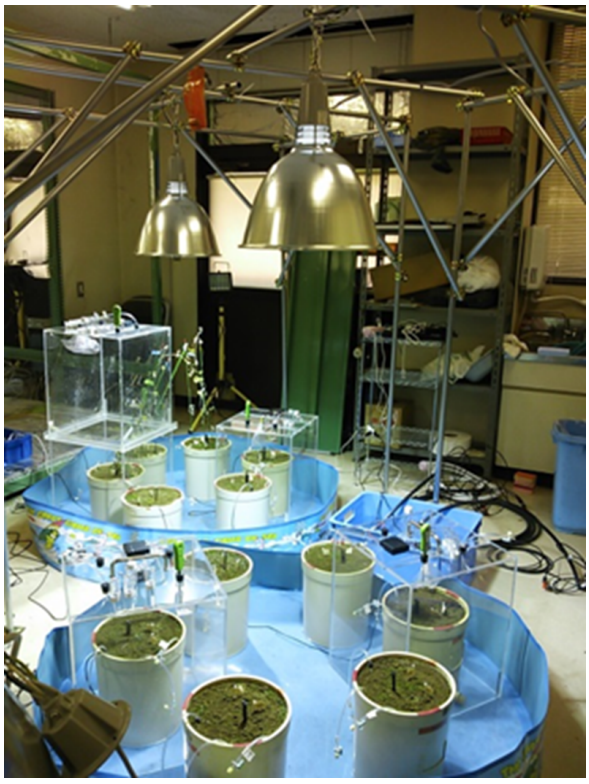


Fig. 1　室内ポット試験の様子.
Laboratory Pot Experiment.

たが，外部実験棟であるため，外気温の影響で 16 ～ 22 °C の範囲であった．

灌水は水分センサの値から体積含水率が 30 % となるように計算し，10 月 10 日と 23 日（播種後 13 日と 26 日）にポット上方から供給した．12 月 16 日（播種後 80 日）からは，定流量ポンプを用いて土壌表面への自動点滴灌漑（約 5.5 mL min^{-1}）を行った．灌水はダイズ栽培の有無にかかわらず，全ポットに行った．

2.2 地表面ガスフラックス

対象とした温室効果ガスは二酸化炭素（CO_2），メタン（CH_4），および亜酸化窒素（N_2O）である．土壌から大気へ放出される温室効果ガスの採取にはクローズドチャンバー法を用いた．チャンバーはアクリル製で，底面積 0.16 m^2，高さ 50 cm である．ガス採取時はポットを設置したプールに水を張り，チャンバー内への大気混入を防いだ．プール内水深は 2 cm 程度とした．ガスフラックスの計算は，水深および土壌充填ポットの容積を差し引いたチャンバー内容積を用いて下記の式より求めた．

$$Flux = \frac{\Delta C}{\Delta t} \times \frac{V}{A} \times \rho \times \frac{T}{273+T} \times \frac{u}{NW} \qquad (1)$$

ここで，$\Delta C/\Delta T$ は濃度の時間変化（kg m^{-3} h^{-1}），V はチャンバー内容積 (m^3)，A は土壌断面積（m^2），ρ はガス密度（N_2O は 1.977 kg m^{-3}，CO_2 は 1.976 kg m^{-3}，CH_4 は 0.717 kg m^{-3}），T はチャンバー内温度（ °C），u および NW はそれぞれ窒素または炭素の原子量，および各対象温室効果ガスの分子量である．なお，正のフラックス値は土壌から大気への放出，負のフラックスは大気から土壌への吸収を意味する．

また，ダイズ栽培試験では，ダイズの成長に沿ってチャンバーを 2 段重ねとすることで，ダイズを傷つけないようにした．採取したガスは真空バイアルに入れ，分析まで冷凍保存し，ガスクロマトグラフ（N_2O 測定では GC-ECD，CO_2 には GC-TCD，CH_4 では GC-FID；島津製作所，いずれも GC-8A）にて分析した．

2.3 土中 · 大気ガス濃度

ワグネルポット内の 5，15，25 cm 深に土中ガス採取用のシリコンチューブ（柳井 · 常田, 2009）を設置した．シリコンチューブの両端にガス透過性の低い塩化ビニル製のチューブを接続したシリコン栓をし，地上部までガス採取口を伸ばした．ガス採取口には三方コックを接続して常時閉鎖とし，土中ガス採取時に開放，シリンジで 30 mL のガスを採取した後，シリコンチューブ内に生じた負圧を緩和させるために抜き取ったガスと同量の窒素を注入した．採取後のガスの保存と分析は 2.4 項と同様である．実験室内の大気環境の確認のため，土中ガス採取日に室内大気を 3 反復で採取し，同様に分析した．

2.4 土中ガスフラックス

土中ガスフラックスは，拡散移動が支配的であると仮定し，深さごとのガス濃度差，および土壌のガス拡散係数を用いて Fick の法則から求めた．

$$Flux_{\mathrm{soil}} = -D_{\mathrm{s}} \frac{\Delta C}{\Delta z} \qquad (2)$$

ここで，$Flux_{\mathrm{soil}}$ は土中ガスフラックス（kg m^{-2} h^{-1}），D_{s} は下記で求めた各乾燥密度の土中ガス拡散係数（m^2 h^{-1}），$\Delta C/\Delta Z$ は深さごとの濃度差（kg m^{-4}）である．ガス拡散係数の算出は遅沢 · 久保田（1987）にしたがった．実験に用いた土壌と同じ乾燥密度，および体積含水率に調整した赤玉土試料を 100 cm^3 のステンレス製サンプラーに充填して拡散試験装置に設置した後，試験装置下部の拡散容器中に窒素ガスを充填し，サンプルと拡散容器との仕切り板をずらした後に，拡散容器に接続してあるガルバニ酸素センサにて電圧値の時間変化を 30 秒おきに記録した（midi LOGGER GL200A，GRAPHTEC 社）．酸素–窒素置換で乾燥密度 0.84，0.76，および 0.67 Mg m^{-3} のそれぞれの条件に対して求めた土中ガス拡散係数は，3.10×10^5，4.43×10^5，および 10.33×10^5 m^2 h^{-1} であった．

2.5 土中ガス生成量

土中での物質動態は質量保存則にしたがう．今回は 1 次元方向のガス移動のみ生じると仮定し，上述のフラックス算出深度間でのガス生成 · 消失に関しては，貯留項の変化は無視できると仮定し，次式のように当該領域を挟む 2 深度でのフラックスの差し引きにより計算した（森本ら, 2009）．

$$\Delta Flux_{\mathrm{soil}} = Flux_{\mathrm{soil_u}} - Flux_{\mathrm{soil_l}} \qquad (3)$$

ここで，$\Delta Flux_{\mathrm{soil}}$ は土中ガス生成量（kg m^{-2} h^{-1}）で正の値が生成，負の値が消失を意味する．また，$Flux_{\mathrm{soil_u}}$ は対象領域を挟む上側の深度での土中ガスフラックス，$Flux_{\mathrm{soil_l}}$ は対象領域を挟む下側の深度での土中ガスフラックスである．

2.6 土壌水分，地温，窒素

土壌水分，地温を経時的に計測するために ECH2O 5TE 土壌水分 · 温度 ·EC センサ（METER 社）を使用した．センサは各条件に対して 1 つずつのポットの深度 15 cm 地点に垂直に埋めた．データは CR1000 データロガー（Campbell scientific 社）を用いて，5 分ごとに記録した．

土壌の硝酸態（NO_3-N），およびアンモニア態（NH_4-N）の無機態窒素濃度はオートアナライザー（TRAACS2000, BRAN + LUEBBE 社）で測定した．土壌サンプルは直径 12 mm のストローを用いて，深度 0 ～ 10，10 ～ 20 cm の 2 層からそれぞれ 12 g 程度抜き出し，分析まで冷蔵保存した．採土後のポットには同室で保存していた赤玉土をあらかじめ水分調整をして埋め戻すとともに，同一か所からのサンプリングを防ぐために目印を立てた．土

壌採取は，初期，ガス採取開始から 2 週間後，土中 N_2O 量のピーク時，および試験終了時の 4 回行った．無機態窒素測定用の前処理としてはハーパー法（土壌環境分析法編集委員会, 2000）を採用し，10 %KCl 溶液 50 mL を土壌 9 g 程度に添加して撹拌機で 1 時間攪拌後，上澄み液をろ紙（ADVANTEC No. 5C）でろ過した．

3. 結果

3.1 地表面ガスフラックス

ダイズ非栽培条件に関して，CO_2 フラックスと乾燥密度との関係は確認されず（Fig. 2 a) -1），比較的データのバラつきが小さかった乾燥密度 0.67 および 0.84 Mg m^{-3} の条件下では試験期間中の積算フラックスは放出傾向を示した（Fig. 2 b) -1）．CH_4 フラックスには乾燥密度との関係は認められず (Fig. 2 a) -2，b) -2），乾燥密度 0.67 および 0.84 Mg m^{-3} では試験期間中の積算フラックスは吸収傾向，0.76 Mg m^{-3} では放出傾向を示し，フラックスの向きが CO_2 とは逆となった（Fig. 2 b) -2）．CH_4 では，乾燥密度 0.76 g cm^{-3} で比較的ばらつきが小さく，試験期間中の積算フラックスは大きな放出を示した (Fig. 2 b) -2）．N_2O は乾燥密度が小さいと吸収，大きいと放出となり（Fig. 2 a) -3），試験期間中の積算フラックスは乾燥密度 0.67 と 0.76 Mg m^{-3} の間で放出と生成が入れ替わった（Fig. 2 b) -3）．

ダイズ栽培条件下では，ダイズの成長とともに大きな CO_2 ガス吸収が確認された（Fig. 2 a) -1）．目視の観測により，ダイズは播種後約 21 ～ 28 日で開花が始まり，開花期は 3 ～ 4 週間続いた．CO_2 吸収フラックスは開花期に大きくなり，着莢 · 肥大期に小さくなった．試験期間中の積算フラックスは大きな吸収を示した（Fig. 2 b) -1）．CH_4 は開花期まで放出フラックスを示した後，着莢 · 肥大期にかけて吸収フラックスが続いた（Fig. 2 a) -2）．試験期間中の積算フラックスは吸収傾向であった（Fig. 2 b) -2）．N_2O ガスは大気への放出傾向が確認された（Fig. 2 b) -3）．これは CO_2 と逆の相関を示すように，開花期に放出量が増加し，着莢開始時期にピークを迎え，莢の肥大期に減少した (Fig. 2a) -3）．フラックスの向きは非栽培条件下の乾燥密度 0.84 Mg m^{-3} の地表面フラックスと同じであったが，N_2O のフラックス値はダイズ栽培条件下で大きく非栽培条件下では小さかった．

3.2 土中ガスフラックス

ダイズ非栽培条件下では，特に，地表面付近で乾燥密度が小さい場合に，CO_2 の大きな下向きフラックスが確認された（Fig. 3 a) -1_ ρ_b 0.67）．CH_4 はいずれの乾燥密度条件下でも試験期間を通して土中では上向きフラックスを示す傾向であったが，11 月中旬から 12 月頭（播種後 49 ～ 70 日後）にかけて特に深さ 2.5 cm で顕著な下向きフラックスが確認された（Fig. 3 a) -2）．20 cm 深を除いて，乾燥密度が大きいとフラックス値も大きかった（Fig. 3 a) -2，b) -2）．また，2.5 cm 深ではもっとも積算の上向きフラックスが大きかった (Fig. 3 b) -2）．N_2O は 11 月初旬（播種後 42 日）から下向きフラックスを示した後，徐々にフラックスが確認されなくなっていった（Fig. 3 a) -3）．特に，深さ 2.5 cm でのフラックスの変化が大きく，下向きフラックスの値も大きかった．試験期間中の積算フラックスに関して，乾燥密度が小さい場合に下向きフラックスが大きい傾向であった（Fig. 3 b) -3）．10 cm 深では試験期間を通して若干の上向きフラックスを示し，20 cm 深では乾燥密度 0.67 Mg m^{-3} で上向き，0.76 Mg m^{-3} で下向きに転じ，0.84 Mg m^{-3} で下向きフラックス値が大きくなった (Fig. 3 a) -3，b) -3）．

ダイズ栽培条件下では，2.5，20 cm 深での CO_2 は，地表面フラックス同様に開花期から着莢 · 肥大期にかけて上向きフラックスとして確認された（Fig. 4 a) -1）．CH_4 は上向きフラックスとなることが多く，着莢 · 肥大期に 0 から若干の下向きフラックスに転じたが，その後はまた上向きフラックスを示した（Fig. 4 a) -2）．特に，2.5 cm の深さでのフラックス値が大きかった（Fig. 4 a) -2，b) -2）．N_2O は，2.5 cm の深さで地表面フラックス同様に開花期から着莢 · 肥大期にかけての上向きフラックスが観測された（Fig. 4 a) -3）．

3.3 土中ガス生成と温室効果ガス排出量

試験期間中の積算土中ガス生成は，単位土壌質量あたりの量で比較することとし，各乾燥密度条件下での対象深度内のガス生成量（$\Delta Flux_{soil}$）を同深度の乾燥土壌質量で除した値を用いた（Fig. 5）．積算ガス生成に関して，非栽培条件下の乾燥密度 0.67 Mg m^{-3} の 0–2.5 cm 深で CO_2 は生成を示した（Fig. 5 a) -1）．CH_4 はいずれの乾燥密度でも 0–2.5 cm 深で消失，2.5–10 cm 深で生成したが，特に 0.67 Mg m^{-3} での生成 · 消失量が大きかった（Fig. 5 a) -2）．N_2O はどの乾燥密度でも 0–2.5 cm で生成，2.5–10 cm 深では消失し，その量は乾燥密度の小さな 0.67 Mg m^{-3} において多い傾向だった (Fig. 5 a) -3 ～ c) -3）．10–20 cm 深ではいずれの乾燥密度条件下においても，ガスの生成，消失量は少なかった（Fig. 5 a) ～ c)）．

ダイズ栽培条件下では，0–2.5 cm 深で，CO_2 と CH_4 は消失（Fig. 5 d) -1, 2），N_2O は生成傾向（Fig. 5 d) -3）を示した．特に CO_2 の消失量が多かった．2.5–10 cm 深ではいずれのガスも生成（Fig. 5 d) -1 ～ 3）され，特に N_2O の生成量が多かった．10–20 cm 深でのガス生成 · 消失量はいずれのガスでも少なかった (Fig. 5 d) -1 ～ 3）．

CH_4，N_2O それぞれの温暖化係数を 25，298（IPCC, 2007）として算出した試験期間中の総温室効果ガスの CO_2 換算値（Fig. 6）は，非栽培条件下では，正と負の排出量をとり，ばらつきの比較的小さい乾燥密度 0.67 と 0.84 Mg m^{-3} の条件では正の排出量となった．一方，ダイズ栽培条件下では，試験期間を通しての総温室効果ガス排出量は負であった．乾燥密度とガス排出量との間に関係は確認できなかったが，ダイズ栽培による排出量の抑制は顕著であった．

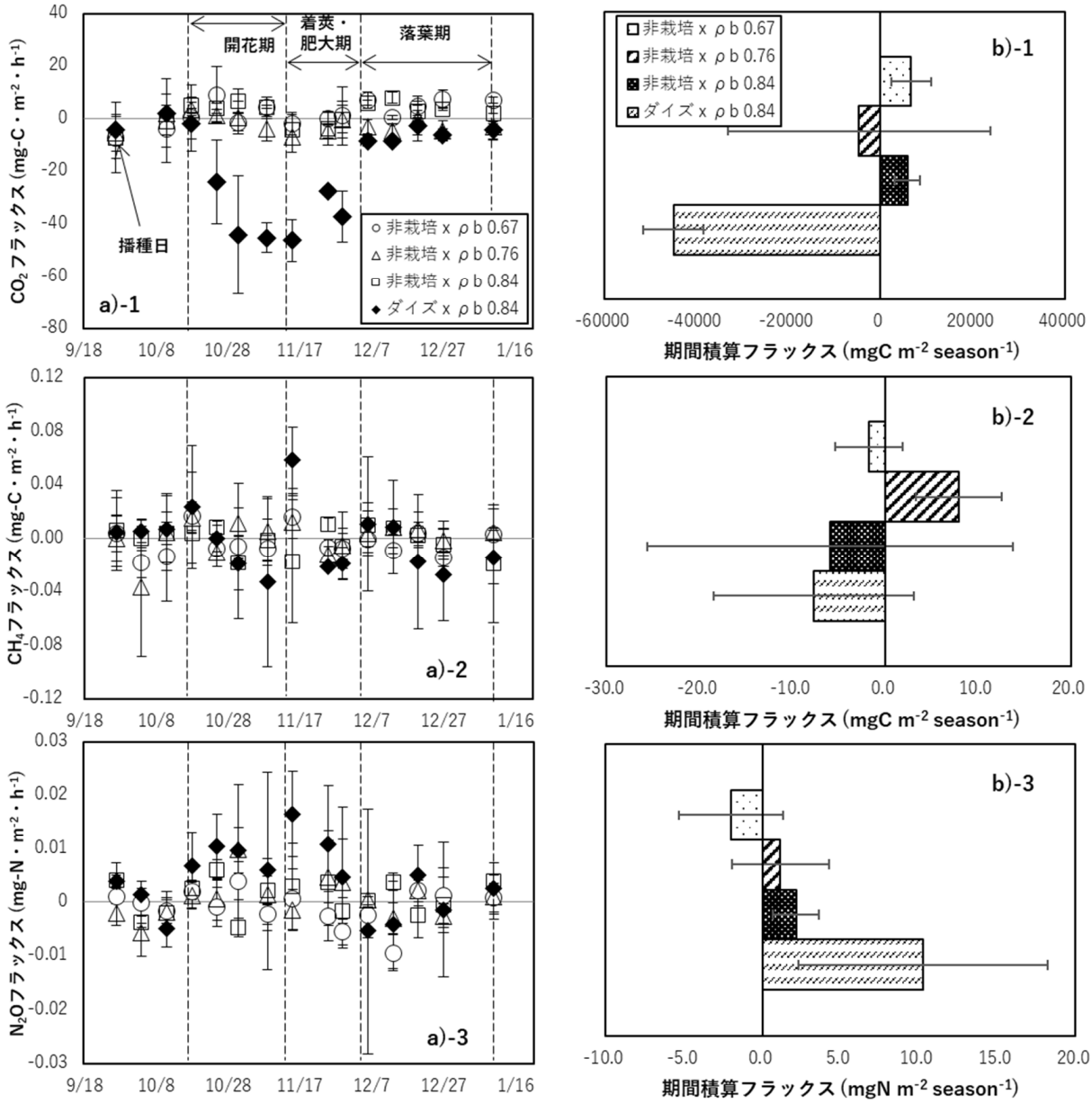


Fig. 2　地表面ガスフラックスの時系列変化 a) と試験期間中の積算地表面フラックス b)．1 CO_2，2 CH_4，3 N_2O.
データはすべて 3 反復の平均値、エラーバーは標準偏差.
Time dependent changes in surface gas flux a) and accumulated surface gas flux during this experimental period b). 1 CO_2, 2 CH_4, 3 N_2O.
All data are means of three replicates, error bars indicate standard deviation .

4. 考察

4.1 地表面ガスフラックス

ダイズ非栽培条件下では，乾燥密度 0.67 および 0.84 Mg m^{-3} の条件下で CO_2 が放出傾向で CH_4 は吸収傾向，0.76 Mg m^{-3} では CO_2 は吸収傾向で CH_4 は放出という，トレードオフの関係を示した（Fig. 2 b) -1，b) -2）．乾燥密度 0.67 および 0.84 Mg m^{-3} では試験期間中にそれぞれ 5 %，および 6 % 程度の土壌水分量（飽和度 (Water Filled Pore Space；WFPS)）の低下が確認されたが，0.76 Mg m^{-3} では 2 % 程度であった．よって，乾燥密度 0.67 および 0.84 Mg m^{-3} において，水分の下方浸透や蒸発により土壌が酸化的になることで CO_2 は生成量が増えて放出量が増加，CH_4 は生成量が減少することで吸収を示したのではないかと考えられる．CH_4 は還元状態で生成される．Kumar et al.（2016）は，乾田での 2 年間の試験より，CH_4 と CO_2，および CH_4 と N_2O との放出量にトレードオフの関係がみられたことを報告している．また，乾燥密度 0.76 Mg m^{-3} での試験期間中の大きな積算フラックス（Fig. 2 b) -2）に関しては，測定された WFPS がポット内の土層全体を通して安定していたため，常時 CH_4 が生成され続けていたと考えられる．

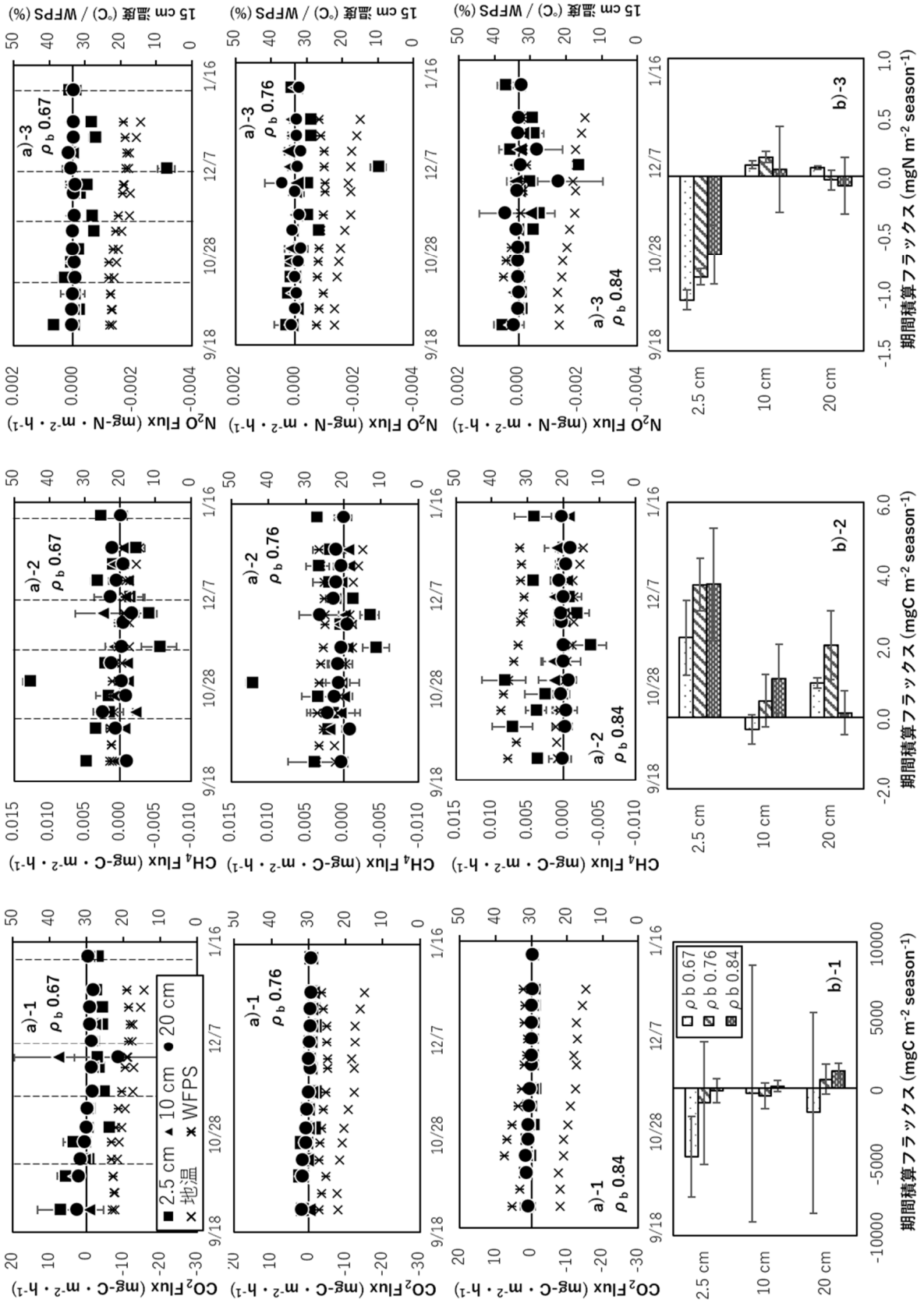


Fig. 3 ダイズ非栽培ポットでの乾燥密度ごとの土中ガスフラックス，温度，WFPS の経時変化 a) と試験期間中の積算ガスフラックス b)．1 CO_2，2 CH_4，3 N_2O.
ガスデータは 3 反復の平均値，エラーバーは標準偏差，温度と WFPS は反復なし．
Time dependent changes in soil gas flux, temperature, WFPS a) and accumulated gas flux during this experimental period without soybeans. b). 1 CO_2, 2 CH_4, 3 N_2O.
All gas data are means of three replicates, error bars indicate standard deviation. Temperature and WFPS data are not replicated.

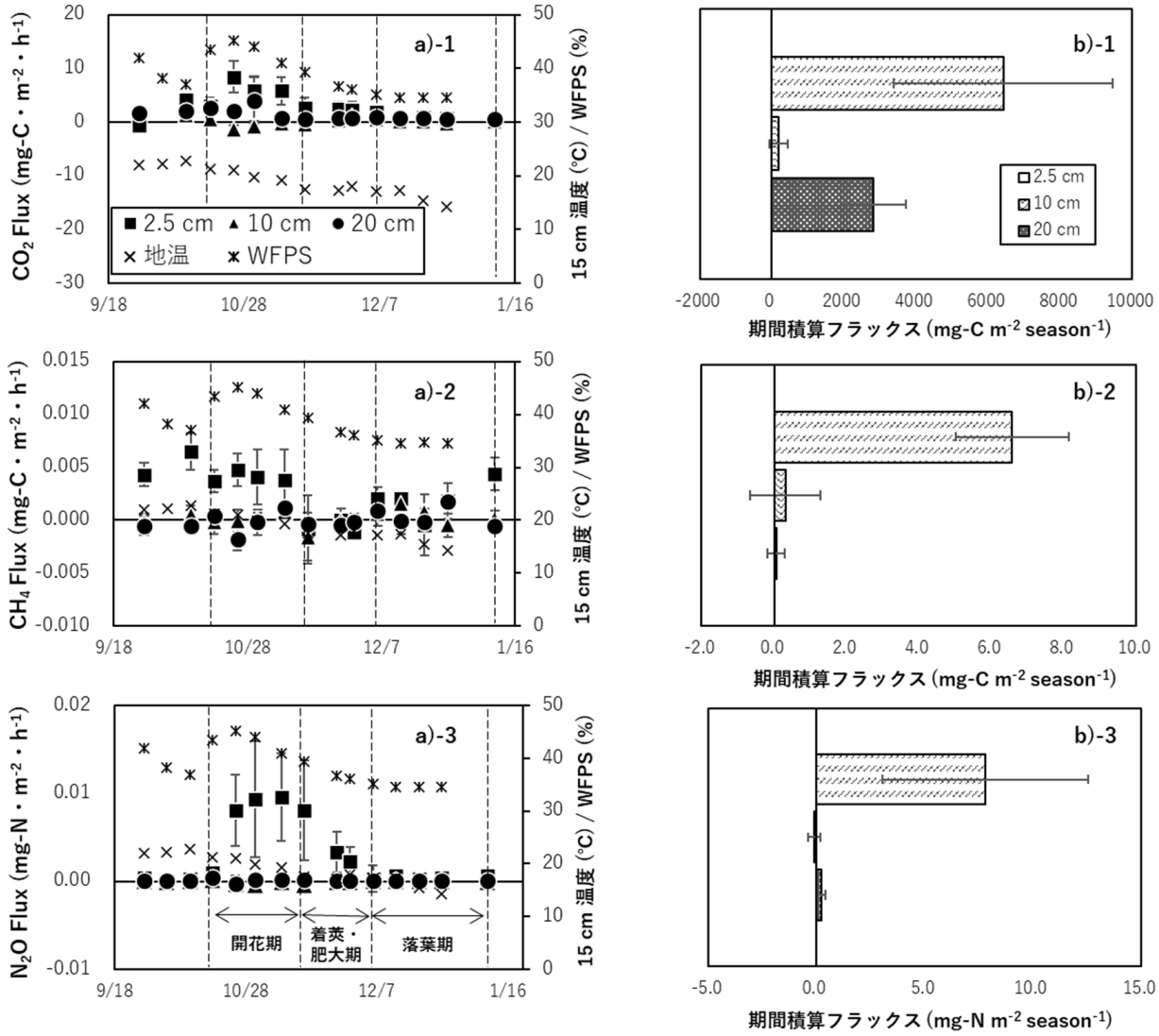


Fig. 4 ダイズ栽培ポットでの土中ガスフラックス，温度，WFPS の経時変化 a) と試験期間中の積算フラックス b).
1 CO_2，2 CH_4，3 N_2O.
ガスデータは 3 反復の平均値，エラーバーは標準偏差，温度と WFPS は反復なし.
Time dependent changes in soil gas flux, temperature, WFPS a) and accumulated gas flux during this experimental period b) with soybeans. b). 1 CO_2, 2 CH_4, 3 N_2O.
All gas data are means of three replicates, error bars indicate standard deviation. Temperature and WFPS data are not replicated.

一方で，乾燥密度 0.84 Mg m^{-3} では WFPS（Fig. 3）が高かったが，比較的浅いところに水が溜まっていたことが考えられる．そのため，層全体としての生成量が少なく，放出量が小さかった (Fig. 2 a) -2，b) -2）ことが推察される．乾燥密度 0.67，0.76 および 0.84 Mg m^{-3} に対応する間隙率はそれぞれ， 0.75，0.72 および 0.69 である．N_2O の乾燥密度と放出フラックスとの関係に関して，WFPS，地温との関連は確認できなかった．このことから，肥料として与えた窒素の動態が N_2O フラックスに大きく影響したと考えられる．肥料は同一量を同一日に与えたが，乾燥密度 0.67 Mg m^{-3} では下方への浸透水により移動，0.84 Mg m^{-3} では浅層に保持された水分の蒸発により窒素濃度が高くなることで，乾燥密度ごとにポット内の窒素分布に差ができ，浅層部の窒素分の利用で生成された N_2O が 0.84 Mg m^{-3} で多く放出された（Fig. 2 b) -3）ことが予想される．試験期間を通して硝酸態窒素の濃度が乾燥密度 0.84 Mg m^{-3} では 0.67 Mg m^{-3} よりも高く維持された（Fig. 7 a)，b)）ため，乾燥密度 0.84 Mg m^{-3} では硝化が起こりやすく，積算フラックスが放出を示した（Fig. 2b) -3）と考えられる．

ダイズ栽培条件下で，ダイズの生育がもっとも活発となる開花期に CO_2 ガスの吸収フラックスが大きくなったことから，ダイズの光合成の影響で CO_2 が吸収されるとともに根圏へ転流され，地表面フラックスとして大きな吸収を示したと考えられる．原薗ら（1992）は，ダイズ群落での CO_2 フラックス測定から，葉面積指数の約

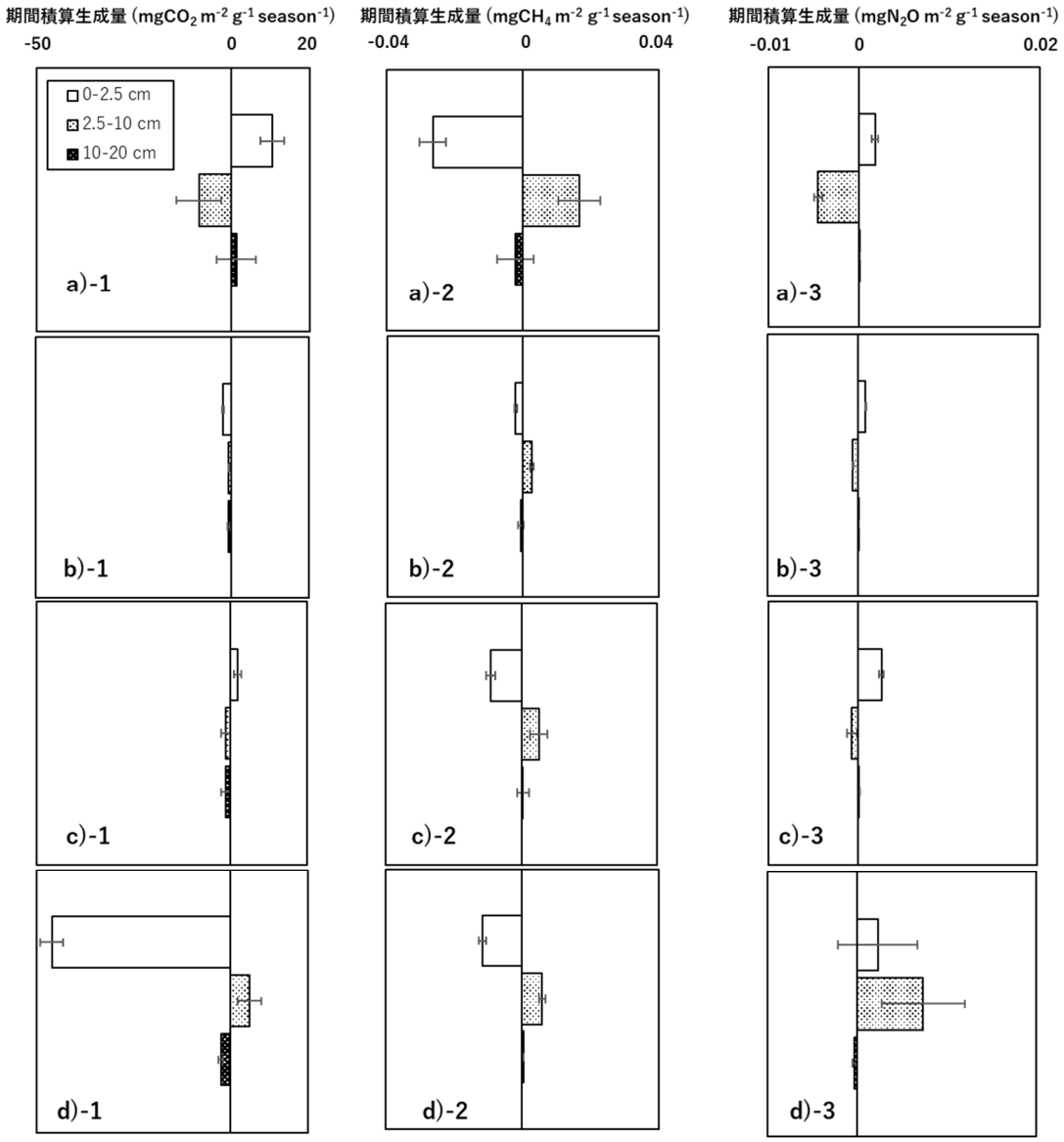


Fig. 5 深さごとの試験期間中の土壌 1 g 当りのフラックスに基づく積算ガス生成量．a) 非栽培 × ρ_b 0.67，b) 非栽培 × ρ_b 0.76，c）非栽培 × ρ_b 0.84，d）ダイズ × ρ_b 0.84，1 CO_2-C，2 CH_4-C，3 N_2O-N.
データはすべて 3 反復の平均値、エラーバーは標準偏差.
Cumulative gas production based on flux per gram of dry soil during the test period at each depth a) Non-cultivated × ρ_b 0.67, b) Non-cultivated × ρ_b 0.76, c) Non-cultivated × ρ_b 0.84, d) Soybean × ρ_b 0.84.
All data are means of three replicates, error bars indicate standard deviation.

0.8 への増加により吸収フラックスが放出量を上回り，生育旺盛な時期に最大の吸収量をとり，生育中期以後にダイズの CO_2 固定機能が低下することで吸収フラックスも減少したと報告している．河内（1962）は播種後 30 ～ 70 日の間（本試験では開花期 ～ 着莢 · 肥大期に相当）にダイズへの CO_2 同化実験を行い，播種後 60 日頃に同化のピークを迎え，最終的な乾物生産量のうち炭素換算で 80 % 以上が開花期以降の光合成によりもたらされると報告している．本チャンバー法による測定の時間間隔では，植物周辺大気中の CO_2 変化量に対する光合成の瞬時の応答を定量的に追いかけることは困難であり，他の要因も排除することはできないが，ダイズ栽培条件下で地表面でのガス吸収が確認されたことから，ダイズにより CO_2 ガス吸収が生じたと言える．

ダイズ栽培条件下で，CH_4 は突発的に高放出フラックスを示す日があったが，ダイズ栽培期間を通してフラックスは吸収傾向で（Fig. 2 a) -2，b) -2），ダイズ非栽培条件のような CO_2 とのトレードオフの関係は確認されなかった．ここから，先の CO_2 の地表面での吸収フラックスがダイズを介したものであることが示唆される．一方，N_2O の放出には，CH_4 とのトレードオフの関係が見られた（Fig. 2 a) -2，a) -3）ことから，土壌表層が大気との酸素のやり取り，および根の存在で酸化状態となり，CH_4 の消失による吸収フラックスと，根圏微生物の

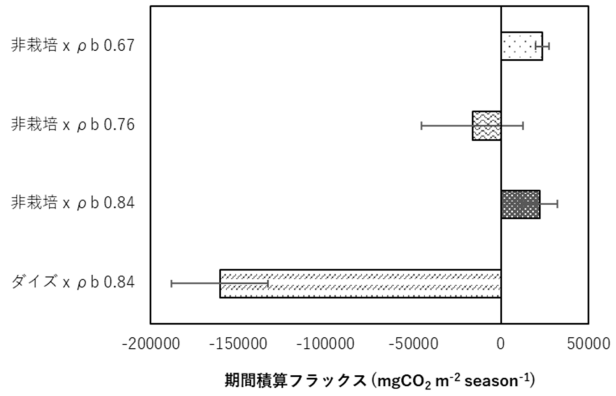


Fig. 6 試験期間中の温室効果ガス排出量 （CO_2 換算）．エラーバーは標準偏差.
Total gas emission during this experimental period (CO_2 eq.). Error bars indicatestandard deviation .

硝化による N_2O 生成での放出フラックスが生じたことが考えられる．乾燥密度 0.84 Mg m^{-3} 条件下での地表面 N_2O ガスフラックスはダイズ栽培 · 非栽培ともに向きが等しく，ダイズ栽培条件下で値が大きかったが，これは根圏微生物の活動に起因するかもしれない．

4.2 土中ガスフラックス

ダイズ非栽培条件下での，CO_2 の地表面近く，乾燥密度の小さな条件下での下向きフラックスは（Fig. 3 a) -1_ρ_b 0.67），WFPS の緩やかな減少と関係しているかもしれない．乾燥密度が小さい場合には間隙中で水が浸透しやすく，灌漑水の下方移動によってガス態の CO_2 が押し流されて下方移動したこと，また，下方移動した水に CO_2 が溶け込んで間隙中のガス濃度が低下したことから，下向きフラックスが生じたと考えられる．気体の水への溶解度はヘンリー定数により決まり，CO_2 の水への溶解度は高い．本試験で使用したワグネルポットは 29 cm の深さであるが，土中ガス濃度の測定深度はもっとも深い場合で 25 cm であるため，CO_2 ガスが水に溶解して深部へ移動したことが考えられた．CH_4 の表層での下向きフラックスは，土壌表層の乾燥で CH_4 の酸化分解が生じ，濃度が低下したためと考えられる．また，乾燥密度が高い場合の CH_4 の大きな上向きフラックスは，間隙の保水性が高いことで WFPS が高くなり，比較的嫌気的な環境で CH_4 が生成されて土中ガス濃度が上昇したことが原因と考えられる．20 cm 深では乾燥密度 0.84 Mg m^{-3} のフラックス値が小さかったが，他の乾燥密度条件下と比較して下方への水分移動量が少なく，相対的に好気的条件となることで土中ガス濃度が低く維持されたと考えられる．また，N_2O に関しては，乾燥密度の高低とフラックス値の大小が逆となった．一般に，N_2O は土中で生成されて大気へ放出するとされてきたが，土壌への N_2O 吸収が無視できない量であることが多数の論文で報告されてきており，Chapuis-Lardy et al.（2006）がレビュー論文としてまとめている．そのメカニズムは多岐にわたり複雑であるが，本試験で確認された無機態窒素量，および WFPS から，利用可能な無機態窒素量の少なさ（Fig. 7），好気性脱窒が負のフラックスと関係するのではないかと考えられる．Rosenkranz et al.（2005）は，松林の石灰質砂質土壌における測定で，土中の NO_3^- 濃度が < 1 mg N kg^{-1} – 乾土，NH_4^+ 濃度が < 42 mg N kg^{-1} – 乾土 であったことがアンモニア化と硝化率の低さを招き，負のフラックスと関連したと報告している．本試験でも NO_3-N と NH_4-N 濃度は乾燥密度 0.67 Mg m^{-3} 条件下で非常に低かったことが確認されている（Fig. 7）．また，一般に N_2O は嫌気的条件下で脱窒されて N_2 へと還元されるが，本試験では乾燥密度の高低と WFPS の大小が逆であったことから，比較的好気的な条件下で N_2O が消失していた．これまで，好気性脱窒菌の存在が明らかとされてきており（Robertson et al., 1989, 1995），本試験結果を説明できる可能性がある．さらに 20 cm の深さでは，乾燥密度の大小で，フラックスの向きが変化したが，乾燥密度 0.67 Mg m^{-3} では間隙率が大きく水の下方浸透で還元状態となり，脱窒による N_2O 減少で上向きのフラックスを示し，乾燥密度 0.84 Mg m^{-3} では深部の水分量が少なかったため，下向きのフラックスを示したと考えられる．

ダイズ栽培条件下の CO_2 ガスの上向きフラックスは植物根の生育にともなう土壌呼吸量の変化によるものと考えられ，開花期から着莢期には根の生育が旺盛で根呼吸が活発となり，表層で上向きフラックスが生じたと考えられる．また，落葉期には根の生育低下による呼吸量の低下と，地温の低下に伴う微生物活性の低下が生じたと考えられる．本試験中の地温は開花期の初めから着莢 · 肥大期の終わりまで 22 ～ 17 °C へと徐々に低下した．室内はエアコンにより温度管理を行っていたが，プレハブ様のシャッターと扉で屋外と通じているため，外気温の影響を受けて温度変化が生じた．Duke et al.（1979）は温度変化に関して，20 °C から 13 °C にダイズ根圏の温度を変化させた室内試験において，室温変更後の 48 h で根の呼吸量が 77 % 減少し，光合成量が半分になったことを報告している．CH_4，N_2O も開花期に上向きフラックスとなり，特に 2.5 cm 深でその大きさが大きかったことから，根の生育とガス濃度に関係があったと考えられる．ただし CH_4 に関しては，落葉期にも上向きフラックスが確認され，植物以外の影響で土中ガス濃度が影響を受けていたことも考えられる．乾燥密度と植物根の存在により WFPS は比較的高く維持されていたため，CH_4 生成が促進された可能性が考えられる．

4.3 土中ガス生成と温室効果ガス排出量

非栽培条件下では，特に地表面付近，かつ乾燥密度の低い条件下で CO_2 が生成，CH_4 が消失したことから（Fig. 5 a) -1，a) -2），間隙率が大きく大気からの酸素供給量が多かったことで土中炭素分解により CO_2 が生成され，CH_4 の酸化分解が生じたと考えられる．ただし，土中炭素の定量は装置の不具合で試験初期にしか行えず，酸素

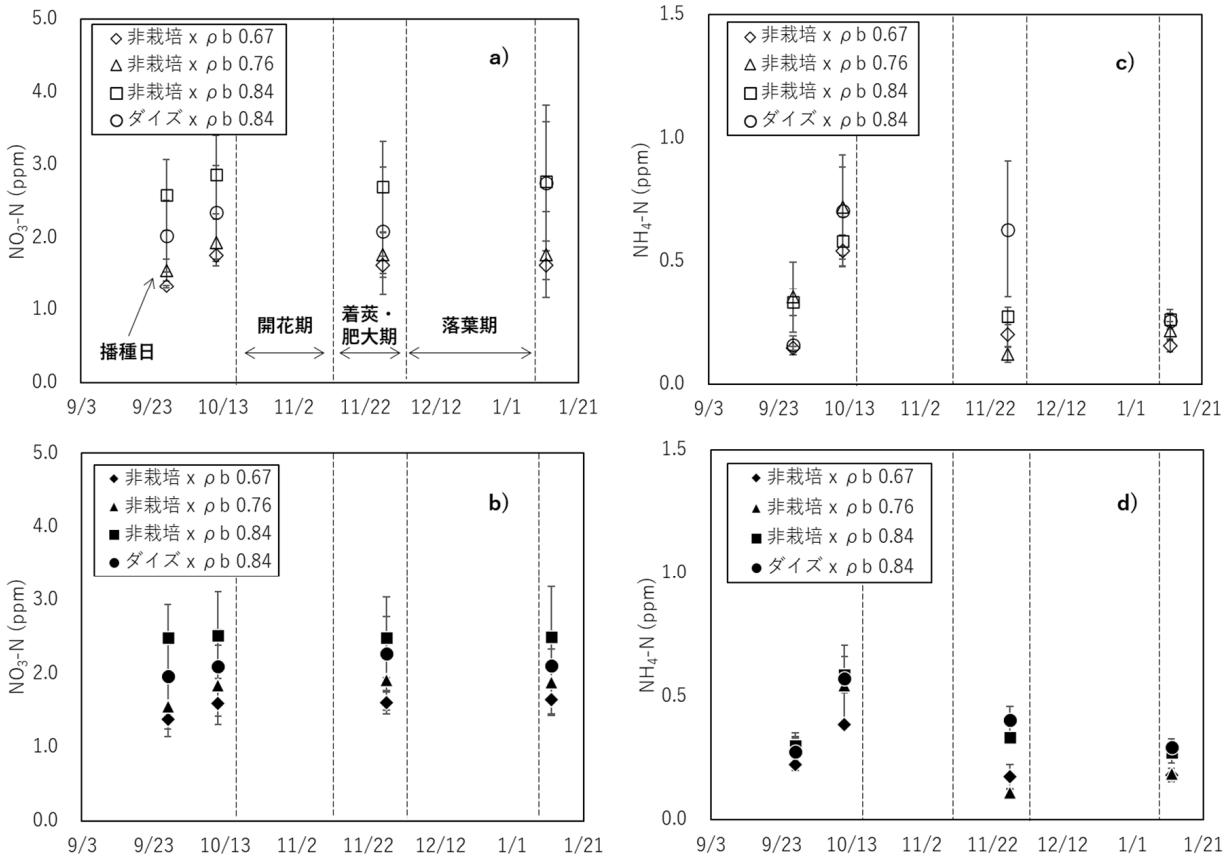


Fig. 7 土壌硝酸態・アンモニア態窒素濃度．a) 0–10 cm 深度の NO_3-N，b) 10–20 cm 深度の NO_3-N，c) 0–10 cm 深度の NH_4-N，d) 10–20 cm 深度の NH_4-N.
データはすべて 3 反復の平均値、エラーバーは標準偏差.
Soil nitrate/ammonia nitrogen concentration a) NO_3-N at 0–10 cm depth, b) NO_3-N at 10–20 cm depth, c) NH_4-N at 0–10 cm depth, d) NH_4-N at 10–20 cm depth.
All data are means of three replicates, error bars indicatestandard deviation.

濃度変化も追えていないため，本考察は推察の域を超えない．N_2O はどの乾燥密度でも表層で生成したことから，大気からの酸素供給により硝化が起こっていたと考えられる．土壌中の窒素に関して，試験期間を通して乾燥密度 0.67 Mg m^{-3} 条件下での NH_4-N および NO_3-N が低かったことから（Fig. 7），窒素分が分解されやすく，NH_4-N が硝化菌の働きで N_2O となり，NO_3-N まで変化せずにガス態で移動していたことが考えられる．また，2.5–10 cm 深では，特に乾燥密度の低い場合にガスの生成，消失が確認され，10–20 cm 深では生成・消失量は減少した．地表面に近い層では大気との酸素のやりとりが多かったこと，また，乾燥密度が小さい場合には間隙率が大きく水移動やガス移動が起こりやすいため，温室効果ガス生成・消失に影響する酸素濃度や水分状態の変化が起こりやすかったことが原因と考えられる．

ダイズ栽培条件下では，地表面付近で試験期間中の CO_2 の大きな消失が確認されたが（Fig. 5 d) -1），これはダイズ地上部による CO_2 の取り込みで下向きの地表面フラックスの値が大きくなったことによる結果であり，土中での消失を示してはいない．N_2O に関しては，地表面ガスフラックスの変化が，深度 5 cm と大気中の N_2O 濃度差と土壌の拡散係数から計算した拡散フラックスでよく表現することができた（Fig. 8）．したがって，N_2O は植物体内を通過せず土壌と大気間での拡散移動により移動したと予測されるため，N_2O の 0–10 cm にかけての生成は土壌中での生成と考えられる．また，2.5–10 cm 深で N_2O の生成量が多かった（Fig. 5 d) -3）ことに関して，ダイズ栽培–非栽培での土中窒素形態とその量の時間変化に明確な差異は確認されなかったが（Fig. 7），着莢・肥大期にダイズ栽培条件下での NH_4-N が他の条件下よりも高かった (Fig. 7c)）ことから，窒素固定により大気中の N_2 から NH_4-N が生成され（板倉ら, 2013），この NH_4-N が硝化で NO_3-N へと変化する中間過程で N_2O が生成されたと考えられる．一般に，WFPS が 60 % 以下での N_2O の生成は硝化により生じるとされる（Davidson, 1991）．ただし，本試験での窒素測定の時間スケールでは，NH_4-N と NO_3-N の詳細な時間変化を追うことができていないため，硝化に関しては推察の域を超えない．また，生成量と消失量が深さと共に減少したことから，20 cm よりも浅い部分でのガス生成と消失

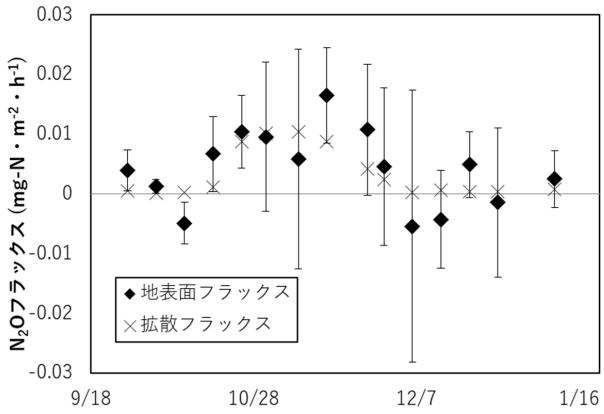


Fig. 8 ダイズ栽培条件下における N_2O 地表面ガスフラックスの実測データと拡散による推定フラックス.
データはすべて 3 反復の平均値、エラーバーは標準偏差.
N_2O surface gas flux and estimated diffusion flux with soybean cultivation.
All data are means of three replicates, error bars indicates-tandard deviation.

が主体と考えられる．森本ら（2009）は泥炭林でガス動態の測定を行い，植物根圏における酸化的環境の発達によるメタン酸化作用（Lombardi et al.，1997）が主要因となり，大気から拡散移動してきた CH_4 が 10.5 cm 深までには酸化により消失したと報告している．彼らは，N_2O に関しては，年間の 116 % が 10.5 cm までの上層で生成されており，地表面付近での生成が盛んであることを報告している．

試験期間中の温室効果ガスの総排出量の CO_2 換算値（Fig. 6）に関して，ダイズ栽培による負の温室効果排出量は，CH_4 と N_2O の温室効果ガス係数を考慮しても，主に CO_2 吸収量に起因していた．本試験では夜間のフラックス測定を行っておらず，試験期間中の総吸収量を大幅に見積もっているが，一般的な裸地よりも植生の存在する土壌では温室効果緩和機能が高いという報告とは矛盾しない．

5. おわりに

本研究では，CO_2，CH_4，および N_2O の土中での生成，および大気への放出に関して，土壌乾燥密度の違いとダイズ植生の有無の視点から室内ポット試験で検討した．乾燥密度の違いによる地表面ガスフラックスと土中ガスフラックス，土中ガス生成量の変化が観測されたことから，乾燥密度差により土中水移動や溶質移動に差が生じ，土壌の好気 · 嫌気状態やガス生成の基質となる窒素分の移動が起こることでガス動態に影響を与えたことが考えられた．また，ダイズ栽培によっても地表面ガスフラックス，土中ガスフラックス，および土中ガス生成量は影響を受け，根の生育による土壌呼吸量の増加，水利用による好気 · 嫌気条件の変化，根の生育による土壌微生物活動の変化などが関係すると予想された．また，温室効果ガス排出量は，ダイズ栽培により負の値をとった．今後は夜間のフラックス測定の実施が必要だが，裸地よりも植生の存在する土壌では温室効果緩和機能が高いと言える．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 18K05921 の助成を受けたものです．ダイズ栽培方法に関しては，茨城大学農学部の小松﨑将一教授，浅木直美准教授にご指導をいただきました．ここに記して，深く感謝いたします．

引用文献

Adviento-Borbe, M.A.A., Haddix, M.L., Binder, D.L., Walters, D.T. and Dobermann, A. (2007): Soil greenhouse gas fluxes and global warming potential in four high-yielding maize systems. Global Change Biology, 13(9): 1972–1988.

Aubinet, M., Vesala, T. and Papale, D. (Eds.) (2012): Eddy, Covariance: A practical guide to measurement and data analysis, p. 442. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York.

Cabral, O.M.R., Freitas, H.C., Cuadra, S.V., Andrade, C.A., Ramos, N.P., Grutzmacher, P., Galdos, M., Packer, A.C., Rocha, H.R. and Rossi, P. (2020): The sustainability of a sugarcane plantation in Brazil assessed by the eddy covariance fluxes of greenhouse gases. Agricultural and Forest Meteorology, 282–283: 107864.

Chapuis-Lardy, L., Wrage, N., Metay, A., Chotte, J. and Bernoux, M. (2006): Soils, a sink for N_2O? A review. Global Change Biology, 13(1): 1–17.

Couwenberg, J., Dommain, R. and Joosten, H. (2010): Greenhouse gas fluxes from tropical peatlands in south-east Asia. Global Change Biology, 16(6): 1715–1732.

Davidson E.A. (1991): Fluxes of nitrous oxide and nitric oxide from terrestrial ecosystems. FPAGE 219–235. in Rogers, J.E. and Whitman, W.B. eds. Microbial production and consumption of greenhouse gases: methane, nitrogen oxides and halomethanes. Washington (DC): American Society for Microbiology.

De Jong, E. and Schappert, H.J.V. (1972): Calculation of soil respiration and activity from CO_2 profiles in the soil. Soil Sci., 113 (5): 328–333.

土壌環境分析法編集委員会 (2000): 土壌環境分析法. 日本土壌肥料学会監修, 第Ⅴ章土壌化学, 9. 窒素, pp. 241–243. 博友社.

Duke S.H., Larry E.S., Cynthia A.H., Jerome C.S., Robert D.V. and John W.P. (1979): Low root temperature effects on soybean nitrogen metabolism and photosynthesis. Plant Physiology, 63: 956–962.

遠藤敏史, 常田岳志, 井本博美, 西村 拓, 宮﨑 毅 (2010): 埋設

型ガスモニタリングシステムを用いた降雨時の不飽和黒ボク土壌中 CO_2 ガス濃度変化の検討. 農業農村工学会論文集, 78(5): 317–323.

原薗芳信, 山田千絵, 西沢利栄 (1992): ダイズ群落の空気力学的パラメータと運動量, CO_2 の乱流輸送特性. 筑波大学水利実験センター報告, 16: 13–25.

板倉 学, Sánchez C., 森内真人, 南澤 究 (2013): ダイズ根圏の N_2O 発生機構と根粒菌による削減. 環境バイオテクノロジー学会誌, 13(2): 85–88.

IPCC The Working Group I (2007): Climate change 2007: The physical science basis. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf

IPCC The Working Group I (2021): Climate change 2021: The physical science basis. https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf

川本 健, 小松登志子, Per Moldrup, 吉川省子, 藤川智紀 (2005): 土壌ガス拡散係数予測モデルの提案と国内土壌への適用. 土壌の物理性, 101: 37–50.

河内 宏 (1962): 植物における光合成産物の分配 · 利用過程 ^{13}C トレーサー法による定量的解析. 化学と生物, 26(4): 254–259.

高 錫九, 矢橋晨吾, 雨宮 悠 (1992): 団粒性用土「赤玉」の水分保持機能について. 造園雑誌, 55(5): 145–150.

Kumar, A., Nayak, A.K., Mohanty, S. and Das, B.S. (2016): Greenhouse gas emission from direct seeded paddy fields under different soil water potentials in Eastern India. Agric. Ecosyst. Environ., 228: 111–123.

Kusa, K., Sawaoto, T., Hu, R. and Hatano, R. (2008): Comparison of the closed-chamber and gas concentration gradient methods for measurement of CO_2 and N_2O fluxes in two upland field soils. Soil Sci. Plant Nutri., 54(5): 777–785.

Lombardi, J.E., Michelle, A. and Chanton, J.P. (1997): Investigation of the methyl fluoride technique for determining rhizospheric methane oxidation. Biogeochemistry, 36: 153–172.

森本 聡, 永田 修, 川本 健, 長谷川周一 (2009): 泥炭林土壌の温室効果ガスの生成と消失. 土壌の物理性, 113: 3–12.

Nkongolo, N.V., Hatano, R. and Kakembo V. (2010): Diffusivity models and greenhouse gases fluxes from a forest, pasture, grassland and corn field in northern Hokkaido, Japan. Pedosphere, 20(6): 747–760.

農林水産省 (2023): 大豆をめぐる情勢について. https://www.maff.go.jp/kanto/seisan/nousan/daizu/seminar/attach/pdf/220218-5.pdf. (2023.9.9)

遅沢省子, 久保田徹 (1987): 土壌のガス拡散係数の測定法. 日本土壌肥料学雑誌, 58: 528–535.

Pattey, E., Edwards, G., Strachan, I.B., Desjardins, R.L., Kaharabata, S. and Wagner R.C. (2005): Towards standards for measuring greenhouse gas fluxes from agricultural fields using instrumented towers. Can. J. Soil. Sci., 86(3): 373–400.

Pihlatie, M., Pumpanen, J., Rinne, J., Ilvesniemi, H., Simojoki, A., Hari, P. and Vesala, T. (2007) ：Gas concentration driven fluxes of nitrous oxide and carbon dioxide in boreal forest soil. Tellus B, 59 (3): 458–469.

Rolston, D.E. (1986): Gas flux. In Klute, A. (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods., Agron. Monogr. 9. 2nd Edition, pp. 1089–1102. American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin.

Robertson, L.A., Cornelisse, R. and De Vos, P., Hadioetomo, R. and Kuenen, J.G. (1989): Aerobic denitrification in various heterotrophic nitrifiers. Antonie van Leeuwenhoek, 56: 289–299.

Robertson, L.A., Dalsgaard, T., Revsbech, N-P. and Gijs Kuenen, J. (1995): Confirmation of "aerobic denitrification" in batch cultures, using gas chromatography and ^{15}N mass spectrometry. FEMS Microbiology Ecology, 18: 113–119.

Rosenkranz, P., Bruggemann, N., Papen, H., Xu, Z., Seufert, G. and Butterbach-Bahl, K. (2005): NO_2, NO and CH_4 exchange, and microbial N turnover over a Mediterranean pine forest soil. Biogeosciences Discussions, 2: 673–702.

白戸康人 (2005): 農耕地における土壌有機物動態のモデリング. file:///C:/Users/j/Downloads/A2H170698.pdf, 東北大学機関リポジトリ（2023.9.11）

白戸康人 (2006): 日本およびタイの農耕地における土壌有機物動態モデルの検証と改良. 農業環境技術研究所報告, 24: 23–94.

Wolf, B., Chen, W., Brüggemann, N., Zheng, X., Pumpanen. J. and Butterbach-Bahl, K. (2011): Applicability of the soil gradient method for estimating soil–atmosphere CO_2, CH_4, and N_2O fluxes for steppe soils in Inner Mongolia. J. Plant Nutr. Soil Sci., 174: 359–372. doi:10.1002/jpln.20100015035.

柳井洋介, 常田岳志 (2009): ガス透過性膜を用いた土壌ガス採取による土壌微生物活性の原位置計測の可能性. 土と微生物, 63(1): 26–31.

要　　旨

本研究では CO_2，CH_4，N_2O ガスの土中での生成，および大気への放出に関して，室内ポット試験により 3 種類の土壌乾燥密度，およびダイズ栽培–非栽培の違いに着目して検討した．その結果，乾燥密度の違いによる間隙中の浸透水と蒸発の差で，乾燥密度 0.67 と 0.84 Mg m^{-3} 条件下では水分と窒素分のポット内分布に差が生じ，表層が酸化状態となることで，CO_2 と N_2O の生成，CH_4 の消失が確認された．深さが増すと生成 · 消失量は減少した．この影響は乾燥密度 0.67 Mg m^{-3} 条件下で大きかったことから，間隙率が大きい場合には下方への水移動が起こりやすく表層が酸化状態となりやすかったために大きな CO_2 と N_2O の生成と CH_4 の消失が生じたと考えられた．また，浸透水量の違いは溶解ガスの移動とガス生成の基質となる窒素の移動にも影響し，土中でのガス濃度差が生じ，ガスフラックスおよび生成量に影響した．ダイズの影響は，土壌中での N_2O と CO_2 の生成，地表面での CO_2 の大きな吸収に認められた．ダイズ生育により，温室効果ガス排出量を明らかに減らすことができたが，これは CO_2 の動態によるものであった．

キーワード：室内ポット試験，温室効果ガス，土中ガス濃度，ガスフラックス