

津軽地域の灰色低地土りんご園における土中 CO₂ ガス濃度変動 Seasonal fluctuation of soil CO₂ concentration in gray lowland soil of an apple orchard in Tsugaru region

○加藤千尋・花岡美来・遠藤明・佐々木長市・伊藤大雄

Chihiro KATO, Miku HANAOKA, Akira ENDO, Choichi SASAKI, Daiyu ITO

1. はじめに

土壌呼吸は陸域の炭素循環を把握するうえで重要な要素である。また、農地における地球温暖化緩和策として炭素貯留能が期待される中、適切な耕起や施肥管理、灌漑などの圃場管理により、土中の炭素量を一定のレベルに維持することが求められている (農林水産省, 2008)。そのためには地表面から放出される CO₂ フラックスのみでなく、各深さの土中 CO₂ 濃度変動も把握し、土中で生じる有機物分解も検討することが有用である (加藤ら, 2013)。他方、青森県のリンゴ栽培面積は 20,800ha (H28 年; 農林水産省, 2016) であり、特に津軽地域の主要な土地利用である。リンゴ園における土中 CO₂ 動態の詳細はこれまであまり検討されてこなかった。そこで本研究では津軽地域の灰色低地土りんご園における土中 CO₂ ガス動態を明らかにすることを目的とした。

2. 材料および方法

(1) 土壌ガス採取および土中 CO₂ ガス濃度モニタリング

本研究では青森県藤崎町の弘前大学農学生命科学部附属生物共生教育研究センター藤崎農場のりんご園を対象地とした。灰色低地土 (土性: Silty Loam) が分布する対象圃場においてふじの樹 (矮性, 苗木移植から 3 年目) の脇に、土壌ガス採取管 (大起理化工業) を深さ 15cm と 40cm に挿入した。2018 年 4 月から 9 月に、月に 2 回程度ガスを採取、真空バイアルに入れて実験室に持ち帰り、ガスクロマトグラフ (SHIMADZU) によって CO₂ 濃度を定量した。また、2018 年 7 月から 9 月に、深さ 15cm に、ガス透過性を有すシリコンチューブに CO₂ 濃度変換器 (GMM221, Vaisala) を封入した小型チューブ埋設型ガスモニタリングシステム (C-BT-GMS; 加藤ら, 2013) を埋設し、土中 CO₂ ガス濃度を 30 分ごとに記録した。同時に、土壌水分センサ EC5 (METER) によって体積含水率も得た。CO₂ 濃度変換器、土壌水分センサの出力値に対し、それぞれ既往の研究に倣って校正を行った (加藤ら, 2013; Kato and Nishimura, 2017)。

(2) 数値計算

対象地における土中 CO₂ 濃度分布の季節変動、日変動や気象との関連を把握するため、非積雪期を対象に数値計算を行った。数値計算には、HYDRUS-1D ver.4.16 の CO₂ 移動モデルのオプションを用いた (Kato et al., 2014)。本モデルでは、土中水・熱移動はそれぞれ植物根の吸水を考慮した拡張型 Richards' 式、熱輸送式を支配方程式とする。土壌の水移動特性関数は van Genuchten-Mualem 式を仮定し、農研機構が公開するデジタル土壌図と土壌理化学性データベースを基にパラメータを決定した (Kato and Nishimura, 2017)。熱伝導率は Chung and Horton 式を仮定し、遠藤ら (2014) が同農場の土壌試料を用いて実測した熱伝導率-体積含水率の関係に近似させパラメータを決定した。

土中 CO₂ 動態モデルは、CO₂ 生成 (土壌呼吸) と移流、拡散による CO₂ 輸送によって表される。土中 CO₂ 生成速度 P は、土壌微生物呼吸 γ_s と植物根呼吸 γ_p の和によって表される。

$$P = \gamma_s + \gamma_p \quad (1); \quad \gamma_s = \gamma_{s0} \prod f_{s_i}, \quad \gamma_p = \gamma_{p0} \prod f_{p_i} \quad (2)$$

$$\prod f_{x_i} = f_1(z) f_2(T) f_3(c_a) f_4(h) \quad (3)$$

ただし式(3)において、 x は s (土壌微生物) または p (植物根) を表す。また γ_{s0} , γ_{p0} はそれぞれ土壌微生物、植物根由来のポテンシャル CO₂ 生成速度であり、最適水分量で 20°C の条件における CO₂ フラックスとされる。本研究では藤崎農場内のりんご園地における土壌呼吸速度と地温の関係式 (Ito and Ishida, 2016) を用いて算出した 20°C のときの土壌呼吸速度 (0.44 cm d⁻¹) を、土壌微生物由来 γ_{s0} 44% (0.19 cm d⁻¹)、植物根由来 γ_{p0} 56% (0.25 cm d⁻¹) の割合で按分して適用した (木部・鞠子, 2004)。また、 $f_1(z)$: 深さ ($f_1(z) = ae^{-az}$), $f_2(T)$: 温度, $f_3(h)$: 土壌水分量, $f_4(c_a)$: CO₂ 濃度の関数である。 f_1

弘前大学農学生命科学部 Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University

キーワード: リンゴ園, 土中 CO₂ 濃度, 数値計算

～ f_4 の各パラメータは黒ボク裸地土壌を対象とした Kato et al. (2014)と同じ値を用いた。

3. 結果および考察

(1) 現場試験

図1に土壌ガス採取管を用いて採取した深さ15cmおよび40cmの土壌ガスのCO₂濃度変動を示す。対象期間を通して、深さ40cmは深さ15cmと比較してCO₂濃度が高かった。また、特に深さ15cmにおいては7月中旬に濃度のピークが表れた。一般に土中CO₂濃度の上昇は、地温上昇と根の生長に起因する。対象地において地温のピークは7月下旬から8月初旬であり、ここでは下草やリンゴの根の生長時期が土壌呼吸の年変動に大きく寄与していることが示唆された(浜田ら, 1996)。

(2) 数値計算

図2に、(a)体積含水率、(b)地温、(c)土中CO₂濃度の数値計算結果と実測値の比較を示す。ただし地温は実測しておらず、深さ15cmに埋設したシリコンチューブ内の温度を載せた。数値モデルは、7月中は土中CO₂濃度変動を良く再現したが、8月以降CO₂濃度大きく見積もった。この原因として、8月以降リンゴの成熟期には成長呼吸量が小さくなること、下草の乾物生産量の減少とともに浅い位置(地表～深さ10cm程度)における根の呼吸速度が低下することなどが考えられる。そこで数値計算において8月以降、①植物根由来のポテンシャルCO₂生成速度 γ_{p0} を0.5倍とする、

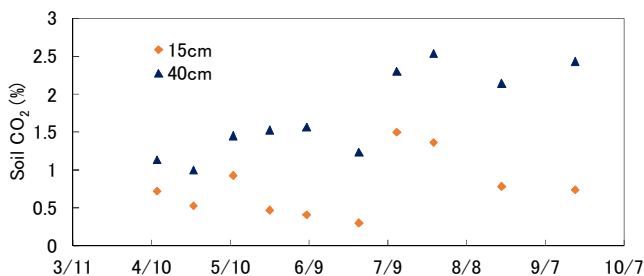


図1 深さ15cm, 40cmの土中CO₂濃度測定値
Fig.1 Measured soil CO₂ concentration at depths of 15cm and 40cm

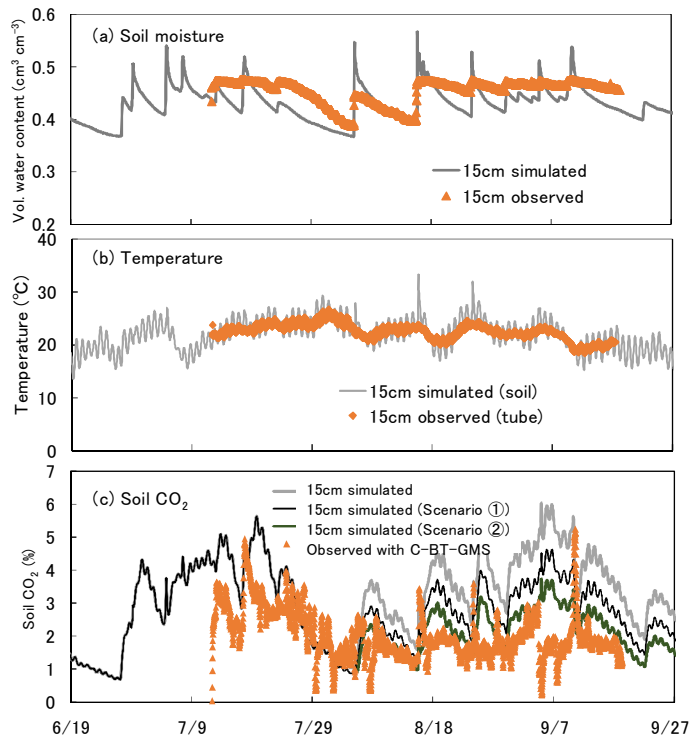


図2 深さ15cmにおける土壌水分量、地温、土中CO₂濃度の数値計算結果

Fig.2 Simulated soil moisture, soil temperature and soil CO₂ concentration at a depth of 15cm

②①に加え、深さ15cm以浅の土壌呼吸の寄与を低下させる($a=0.105 \rightarrow a=0.2$)二つのシナリオスタディを試みた。この結果を図2(c)に併記する。シナリオスタディにおいては、8月以降のCO₂濃度の減少が再現された。

4. まとめ

本研究では、津軽地域の灰色低地土リンゴ園において、非積雪期の土中CO₂濃度変動の把握を試みた。測定期間を通して深さ15cmの土中CO₂濃度は、深さ40cmと比較して濃度が低かった。また、深さ15cmでは7月前半に土中CO₂濃度のピークを示し、8月以降に低下する傾向を示した。数値計算によって、気象条件に加え下草やリンゴの根の呼吸特性が、現場の土中CO₂濃度変動に寄与していることが示唆された。

謝辞: 本研究は平成29年度弘前大学戦略的研究経費および科研費基盤研究(A)(18H03964:伊藤大雄)の支援をいただいた。東京大学 西村拓教授、弘前大学 殿内暁夫教授、前多隼人准教授にセンサや分析機器の利用でご助力いただいた。ここに記し謝意を表します。

参考文献: 1) 遠藤ら(2014), 農業農村工学会論文集, 294, 75-83, 2) 浜田ら(1996), 日林誌, 78, 376-383, 3) Ito and Ishida (2016), J. Agric. Meteor., 72(2), 63-71, 4) 加藤ら(2013) 土壌の物理性, 124, 25-33, 5) Kato et al. (2014), J. Hazard. Toxic Radioact. Waste, 18, 04014007-1-10, 6) Kato and Nishimura (2017), Paddy Water Environ., 15, 159-169, 7) 木部・鞠子(2004), 地球環境, 9, 203-212, 8) 農林水産省(2008), 地球温暖化防止に貢献する農地土壌の役割について, 9) 農林水産省(2017), 農林水産統計