

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26660189

研究課題名(和文)土中の炭素循環にตอบสนองした塩類集積プロセスに関する研究

研究課題名(英文)Study on salt accumulation process in response to carbon cycle in soils

研究代表者

西村 拓(Nishimura, Taku)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授

研究者番号：40237730

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：1960年代から乾燥地・半乾燥地の塩類集積に関して、Naイオンが卓越するNa土壌とCa資材を用いた改良についての研究が広く行われてきた。一方、塩類集積地では、炭酸Ca等の炭酸塩が集積している所も多く、この場合、炭酸塩の水溶解性が低いため、塩類集積の改善が困難である。炭酸塩は、土中水と気相のCO₂と化学平衡するため、土壌中のCO₂濃度を高くするとよく溶解する。この点に着目し、土壌呼吸等による土壌中CO₂濃度の変動と土中の炭酸カルシウムの溶解、さらにはこの溶解によって増大することが期待されるCaイオンのNa土壌改良効果を評価する土壌空気成分制御型室内土壌カラム実験装置を開発した。

研究成果の概要(英文)：Salt accumulation is a world-wide issue at arid and semi-arid regions. Problems of sodic soils and reclamation of the soil by using Ca amendments have been studying for several decades. Besides, vast salt accumulated areas are covered by carbonates such as calcium carbonate, too. Carbonates are often less soluble with water and this made carbonates accumulations difficult to be remediated. However, carbonates attain equilibrium with water and CO₂ in soil air phase. CO₂ concentration of soil air phase may be far greater than that in atmosphere due to soil respiration, and this may enhance solubility of carbonates. To discuss role of variable soil CO₂ concentrations on carbonates fate and sodic soil reclamation, we constructed laboratory soil column experimental scheme. In the column, soil CO₂ concentration can be controlled as well as soil moisture and CO₂ concentration can be monitored continuously.

研究分野：土壌物理学

キーワード：塩類集積 二酸化炭素 炭酸カルシウム 有機物

1. 研究開始当初の背景

地球上の陸地面積の4割が乾燥地で、そのさらに6割(陸地面積の約4分の1)で土壌劣化が起きていると考えられている。

土壌劣化のうち、乾燥地・半乾燥地で大きな問題となっているものに塩類土壌の問題がある。これは、土壌中にもともと存在した、もしくは灌漑水と共に負荷された水溶性塩類が蒸発に伴う土壌水の上方への移動に伴って地表付近に集まり、蒸発によって水のみが大気に移行し、塩類のみが地表近傍に集積する現象である。

1960年代から、塩類集積の問題は取り組まれてきた。主としてNaイオンの移動と集積、さらには、Naイオンが土壌中に卓越することによる土壌の物理性の劣化について多くの成果が得られてきた。また、硫酸CaなどCa資材を活用することで、Na土壌の物理性を改善し、塩の除去を促進できることもわかってきた。しかし、塩類集積土はNa土ばかりではなく硫酸Caや炭酸(重炭酸)Caが析出した塩類土壌もある。特に、炭酸Caが集積した土壌では、塩の溶解度が低いため、塩集積の改善が困難である。

一方、土壌呼吸による土壌から大気へのCO₂の放出に温室効果ガスの観点で関心が集まっているが、水とCO₂と共存するとき、炭酸Caの溶解度は、気相のCO₂分圧(CO₂濃度)に左右される(図1)。

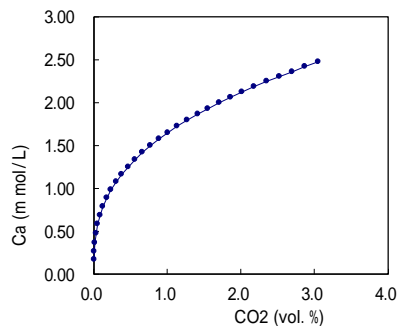


図1 CO₂分圧と炭酸Caの溶解

土壌有機物量や気候、土壌水分によっても異なるが、土壌中の気相のCO₂濃度は、大気よりも1オーダー以上高いことが多い。全球における評価としてBrookら(1983)の結果がある(図2)。

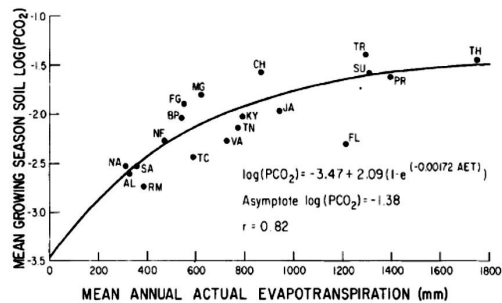


図2 年間の実蒸発散量と土壌CO₂濃度 (Brook et al. 1983 から)

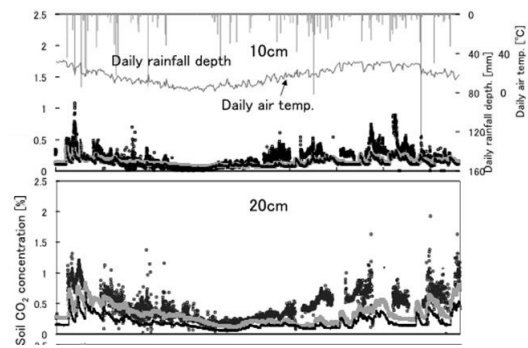


図3 クロボク土畑地表層土壌中のCO₂濃度のモニタリング値と予測値 (Kato et al. 2013)

西村もクロボク土畑で、土中CO₂濃度の1%を超える上昇をモニタリングし、数値予測がある程度可能であることを示した (Kato et al. 2013、図3)

これらに着目すると、集積した炭酸Caの溶解を促進したり、土壌中に存在する炭酸Caの溶解とCaイオンの放出を促進することでNa土壌の改良を図ることができる可能性が示唆される。

2. 研究の目的

気相のCO₂分圧の高い土壌中において、炭酸Ca溶解ならびにCa等の陽イオンをモニタリングする手法の開発ならびにイオン分布の特徴を明らかにする。

3. 研究の方法

(1)水分の測定

土壌水分の測定は、土壌水圧値から換算するテンシオメータ法、誘電率水分計が一般的であるが、蒸発実験で塩が地表に集積するような条件では、テンシオメータ法は、水分量が低すぎて適用不可能である。また、TDRなど誘電率水分計は、塩濃度が高くなると水分量の測定値の信頼性が低下する。そこで、本研究では、この二つに加えて、ThermoTDRセンサーというTDRセンサーの金属ロッド内にヒーター線と熱電対を封入したセンサー(図4)を用いて、熱伝導率の水分依存性も水分量モニタリングのために応用した(図5)。

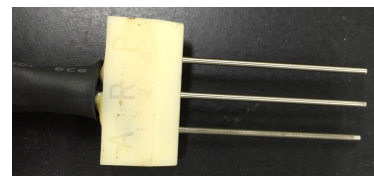


図4 ThermoTDRの写真

(2)土中のガス環境の制御

土壌中のCO₂濃度は、微生物や根の呼吸によって高くなる。実際に地表に植生をおく方法もあるが、成長段階によって呼吸量が異なることが予想されるなど、安定した実験条件が得られない可能性があるため、フローコン

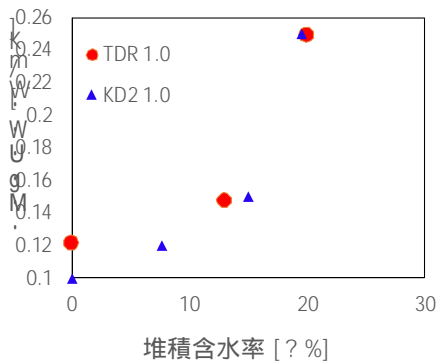


図5 堆積含水率と熱伝導係数の関係

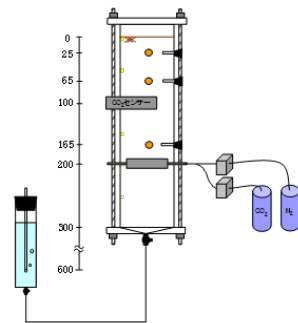


図6 実験装置全体の様子

トローラーと窒素ならびにCO₂ガスボンベを用いて、混合気体(CO₂濃度: 8 vol.%)を土壤中を通過させ、土壤中に部分的にCO₂が高濃度になる領域を設定し、土壤呼吸の代用とした(図6)。このとき、ガスは、カラム中側壁一端から水平にカラム中心を通過する通気性のパイプを流れ、そのまま他端へと流出する。したがって、通気性のパイプ壁面では、流下するガス濃度が維持されるが、ガスの圧力自体は、大気圧とほとんど変わらず、ガスは、主として拡散現象によって、カラム内へ広がる。

実験中、土壤中のCO₂濃度は、上述の高濃度のCO₂の流出部の濃度ならびに土壤中のCO₂濃度を西村らが開発した土中ガスモニタリング装置(加藤他、土壤の物理性)2013)図7を用いて、連続測定した。

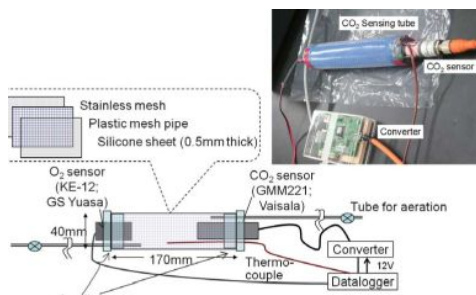


図7 土中ガスモニタリング装置(加藤他、2013より)

4. 研究成果

(1) 土壤カラム中のCO₂濃度の例

図6に示した実験装置では、地表に植生はないものの、自然土壌(宮城県岩沼市寺島)を用いたため、微生物の呼吸によって大気よりもかなりCO₂濃度になった(図8)。その値は、深さ10cmの位置で0.2%程度であった。深さ20cmの位置に窒素ガスを流下させた場合、窒素ガスの拡散に伴って土壤中の酸素濃度が低下し、土壤呼吸が抑制されると考えられる。実際に、100%の窒素ガスを流すと、その上方10cm(地表から深さ10cm)の位置で、0.07%程度のCO₂濃度を示した(図9)。さらに、深さ10cmの位置で窒素ガスではなく、濃度を調整した8%のCO₂を流通させると、ガス流通パイプの周囲では、8%、10cm上方の深さ10cmの位置では、約6%のCO₂濃度が維持できた。結果として、大気CO₂約0.04%に対して、これに近い0.07%から8%付近までの約100倍にわたる濃度範囲を制御できると考えられる。図10中、2/1にCO₂濃度が大きく低下しているのは、ガスボンベが空になったためである。

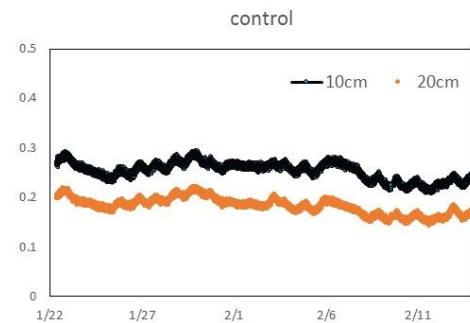


図8 土壌のみを充填したカラムの土壌中のCO₂濃度モニタリング結果

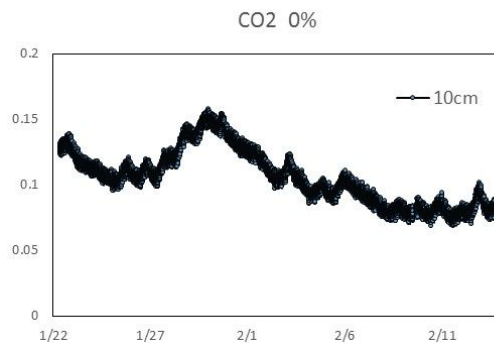


図9 カラム中深さ20cmの位置に、窒素100%のガスを流通させたときの、流通位置上方10cm(深さ10cm)のCO₂濃度

(2) 土壤カラムへのCO₂流通と土壌中のイオンの分布

深さ14cmの位置にCO₂流通のパイプを埋めたカラム土壌に適宜10mMのNaCl溶液を30mm分補給灌漑した。これを60日継続した後、カラムを解体し、カラム土壌に含まれるCa、Naイオンを測定した。カラムの条件としては、コントロールに加えて、炭酸Caを

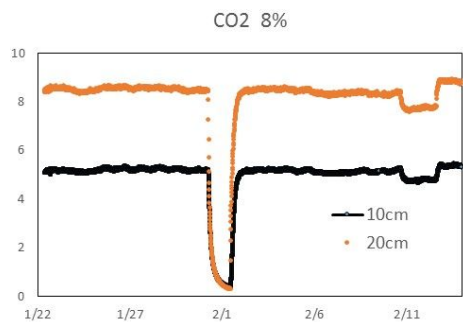


図 10 カラム中深さ 20 cm の位置に、CO₂:8% のガスを流通させたときの、流通位置上方 10 cm (深さ 10 cm) の CO₂ 濃度

加えたものと、炭酸カルシウムを加えた後に実験中常に CO₂ ガスを深さ 14 cm の位置に流通させたものの 3 つである。

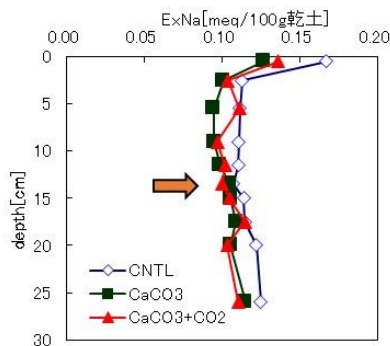


図 11 炭酸 Ca、CO₂ の添加の有無と実験後の土壌中の Ca, Na イオンの分布

コントロールの交換性 Na 分布に比べて炭酸カルシウム添加および炭酸カルシウム添加 + 高土壌 CO₂ 濃度のもので、交換性 Na が低めであることがわかる(図 11)。同量の Na イオンを NaCl 溶液の形で負荷しているため、この結果は、炭酸 Ca の溶解で生じた Ca イオンと補給灌漑で与えた Na イオンの競合吸着の結果と考えられる。CO₂ ガスを流通させなくても、大気の 10 倍程度の CO₂ 濃度になるため、60 日間の蒸発—灌漑実験では、土壌 CO₂ 濃度の違いによるイオン分布の差は明確にはならなかった。この点については、今後、長期の灌漑—蒸発実験を行う予定である。

参考文献

Brook, Folkoff and Box (1983) A world model of soil carbon dioxide, *Earth Surface Processes and Landforms*, 8(1): 79-88
 加藤千尋, 井本博美, 西村 拓, 宮崎毅, (2013) 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 CO₂ ガス濃度変動の検討, *土壌の物理性*, 124 : 25-33
 Kato, C., T. Nishimura., H. Imoto., T. Miyazaki (2014) Predicting Soil CO₂ Dynamics in Arable Land of Andisol Using SOILCO₂ Model, *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 18,

04014007

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

1. Guo, L., T. Nishimura, H. Imoto, and Z. Sun, (2015), Applicability of soil column incubation experiments to measure CO₂ efflux, *International Agrophysics*, 29: 413-42. (査読有)
2. 加藤千尋, 西村 拓(2015) 農地土壌水分状態予測に向けた GCM 予測値の時間ダウンスケーリング手法の検討, *農業農村工学会論文集*, 83(1): 11-18 (査読有)

〔学会発表〕(計 4 件)

1. 石橋咲耶, 取出伸夫, 渡辺晋生, 西村 拓, (2015), 湛水土中の有機物分解と酸化還元反応のモデル化, *土壌肥料学会大会*, 京都, 平成 27 年 9 月 9 日
2. 平館俊太郎, 伊田奈緒美, 西村 拓, (2015), 31P 核磁気共鳴スペクトルを利用した土壌リンの存在形態解析, *土壌肥料学会大会*, 京都, 平成 27 年 9 月 9 日
3. 石橋 咲耶・濱本 昌一郎・井本 博美・西村 拓(2014)炭酸カルシウム及び有機物を用いた塩類土壌の修復に関する研究, *農業農村工学会全国大会講演要旨集* pp.360-361、平成 26 年 8 月 27 日、新潟市
4. Ishibashi, S., Hamamoto, S., Imoto, H. and Nishimura, T. Remediation of sodic soil by calcium carbonate and rice straw, 20th World Congress of Soil Science, Korea, June 9, 2014.

6. 研究組織

(1)研究代表者

西村 拓 (NISHIMURA Taku)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授
 研究者番号：40237730

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

濱本 昌一郎 (HAMAMOTO Shoichiro)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授

研究者番号：30581946

井本 博美 (IMOTO Hiromi)

東京大学・農学部・技術職員

研究者番号：40419255

(4)研究協力者

石橋 咲耶 (ISHIBASHI Sakuya)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・博士課程院生