

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 26 日現在

機関番号：12401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26889015

研究課題名(和文) 地下温暖化が温室効果ガスの生成・消失に及ぼす影響の定量的評価

研究課題名(英文) Quantitative evaluation of effect of subsurface warming on production and consumption of greenhouse gases

研究代表者

齋藤 健志 (SAITO, Takeshi)

埼玉大学・理工学研究科・助教

研究者番号：30735668

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、温室効果ガスである二酸化炭素に着目し、地下の温度上昇がその生成・消失に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とした。二つの隣接する観測地点において、二酸化炭素の地表面放出量と土壌内各深度間のフラックスを定期的に観測することで、地下の温度とそれらの相関性を検討した。その結果、二酸化炭素の地表面放出量は、その90%程度が土壌内のごく浅い深度で生成されていること、そして、その放出量は、土壌内における地表面近傍の温度と弱い正の相関性があることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study was to evaluate quantitatively effect of subsurface temperature increase on production and consumption of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) as one of greenhouse gases. The CO<sub>2</sub> fluxes from soil surface and in soil were monitored by using combined techniques of a closed-chamber method and measurement of soil gas concentration in the unsaturated zone with laboratory experiment of gas diffusivity for soil core samples. Results show that approximately 90% of the soil surface CO<sub>2</sub> flux was produced at the shallow part of soil. The CO<sub>2</sub> flux might also have a moderate positive correlation with the subsurface temperature near the soil surface.

研究分野：地盤環境工学

キーワード：地下温暖化 温室効果ガス 二酸化炭素 フラックス 定量的評価

### 1. 研究開始当初の背景

近年、世界各地において、地下の温度が上昇する地下温暖化現象が観測されている。例えば、オランダの過去約 30 年間に渡る実測例では、深度 20 m 付近で、最大 0.8 程度の温度上昇が認められている。この現象は、すでに東京や大阪でも報告されており、地球温暖化や都市化など地表面温度の上昇がその原因として示唆されている。例えば、東京を含む大都市圏では、地下街や地下鉄などの地下構造物が発達しており、それらが過剰な排熱の放出源となっていることが考えられる。そのため、今後、特に大都市圏の地下においては、温度上昇が深刻化する可能性が懸念される。

このように、地下の温度が上昇した場合には、地下における物理的・化学的・生物的プロセスに変化が生じる可能性が報告されている。具体的には、炭酸塩鉱物の沈殿やケイ酸塩鉱物の溶解、主要な陽イオンや重金属類、溶存有機炭素などの動態変化が、室内試験により確認されている。また、微生物活動の活発化によって、その代謝産物である二酸化炭素、硫化水素やメタンなどの増加も想定されるが、実際に、室内試験においては、温度上昇に伴うより強い還元環境への変化も認められている。しかしながら、地下の温度上昇が地下環境に及ぼす影響はまだ研究事例に乏しく、その詳細は明らかになっていないのが現状である。

本研究は、以上のような地下の温度上昇が地下環境に与える影響のうち、直接的に地球温暖化の原因ともなる二酸化炭素やメタンなどの温室効果ガスの動態に着目する。特に、二酸化炭素が地表面から大気中に放出される現象は土壌呼吸と呼ばれ、植物による根呼吸と土壌微生物の呼吸、二つのプロセスの総和である。この土壌呼吸の速度については、地下の温度や水分量に大きく影響を受けることが報告されているが、特にフィールドスケールでの観測事例の蓄積が求められている。

### 2. 研究の目的

本研究では、温室効果ガスのうち、二酸化炭素とメタンに着目し、地下の温度上昇がそれらの生成・消失に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とした。

### 3. 研究の方法

研究方法の概要としては、地下の温度を強制的に上昇させた地点と、隣接する自然状態のままの地点において、二酸化炭素とメタンの地表面放出量ならびに土壌内のガス濃度分布を定期的に観測し、地表面および土壌内各深度間のガスフラックスを推定することで、温度上昇がそれら温室効果ガスの生成・消失に及ぼす影響を定量的に評価する。

試験サイトは、埼玉大学(埼玉県さいたま市)構内に設置し、深度 50 m まで閉鎖系の

高密度ポリエチレン製 U チューブ(強制的に地下の温度を上昇させる際に、温水をこの U チューブ内に循環する)を埋設した。U チューブの埋設地点から、水平距離で 1 m と 10 m の場所に、次に示すような観測地点を設置した。すなわち、両観測地点には、二酸化炭素とメタンの地表面放出量を測定するためのチャンバーベースを地表面に置くと同時に(測定方法は、後述の通り)、温度センサーを設置している。また、土壌内における深度 10 cm、25 cm、40 cm、65 cm、90 cm には、それぞれ温度センサー、水分センサー(デカゴン社製 10HS)、土壌ガス採取用のテフロン製ボールフィルターを埋設した。なお、温度センサーならびに水分センサーは、データロガーを用い、10 分間隔でデータを取得している。

地表面からのガス放出量は、クローズドチャンバー法に基づき、測定を実施した。具体的には、底面積が約 30 cm × 30 cm、高さが約 15 cm のアクリル製チャンバーを上記のチャンバーベースに載せ、基本的には 0 分、30 分、60 分、180 分後にチャンバー内のガス濃度を測定することを通じて、直線回帰法によりガスフラックスを推定した。なお、チャンバー内のガス試料は、小型の採気ポンプを用いてテドラーバックに採取し、二酸化炭素とメタンの標準ガスによってキャリブレーションされたポータブル型のガスモニター(Geotech 社製 GA5000)を使用して、定量を行った。

一方、土壌内のガス移動には、圧力勾配による移流と濃度勾配による拡散とがある。一般的に、移流が土壌内のガス移動に果たす役割は小さく、通常は拡散が支配的であるとみなされるため、本研究では、拡散移動のみに着目し、Fick の法則を用いた拡散法(二地点間の距離と濃度差、そして、土壌ガス拡散係数を使用)によって、土壌内各深度間のガスフラックスを推定した。推定に当たっては、各深度における土壌のガス拡散係数が必要となるため、試験サイトの二地点における各深度(深度 10 cm、25 cm、40 cm、65 cm、90 cm)から土壌コアを採取し、土壌ガス拡散係数を実験的に求めた。ちなみに、土壌内のガス濃度は、上述したチャンバー内のガス濃度測定と同様の手順により、測定を実施している。

以上のようにして、土壌内の温度ならびに水分量、ガスフラックス、そして、地表面の温度およびガスフラックスを定期的に観測しているが、2014 年 11 月からは、試験サイトに埋設した U チューブ内に約 60 ℓ の温水を継続的に循環することで地下の加熱試験を行い、上記のように U チューブから水平距離で 1 m と 10 m の地点において、それぞれ観測を行った。

### 4. 研究成果

本試験サイトでは、2014 年 11 月から U チ

ューブ内に約 60 の温水を循環することで地下を加熱してきたが、地下の温度が上昇して十分な観測結果が得られる前に、この加熱システムが不調となってしまい、長期間の加熱中断を余儀なくされた。そのため、本研究で対象とした観測深度は、最大でも深度 90 cm と浅く、年間の地下における温度変化は大きいことが考えられ、この自然状態における温度変化を利用し、地下の温度が地表面放出量ならびに土壌内各深度間のガスフラックスの生成・消失に及ぼす影響を評価することにした。なお、観測期間を通して、地表面および土壌内からサンプリングしたガス試料は、メタンが基本的に検出されなかったことから、二酸化炭素の動態に主眼を置いて報告する。

図 1 ならびに図 2 には、クローズドチャンバー法によってモニタリングした 0 分、30 分、60 分、180 分後の二酸化炭素濃度と、土壌内の各深度（深度 10 cm、25 cm、40 cm、65 cm、90 cm）における二酸化炭素濃度を、それぞれ一例として示す。このようなデータを定期的に取得することで、地表面ならびに土壌内各深度間の二酸化炭素フラックスを推定している。

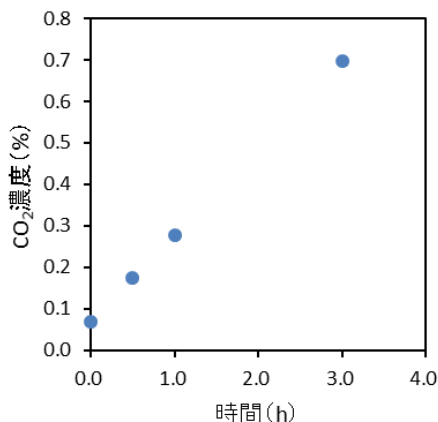


図 1. チャンバー内における 0 分、30 分、60 分、180 分後の二酸化炭素濃度測定結果の一例

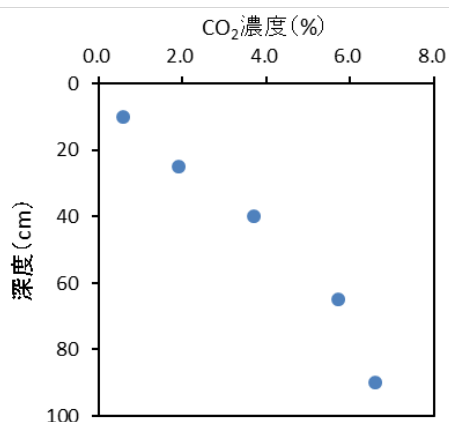


図 2. 土壌内の各深度（深度 10 cm、25 cm、40 cm、65 cm、90 cm）における二酸化炭素

## 濃度測定結果の一例

U チューブから水平距離で 1 m および 10 m の観測地点における二酸化炭素の地表面ならびに土壌内各深度間のフラックスを、図 3 および図 4 に示す。ここで、正の値は上向きへの移動、負の値は下向きへの移動を表している。これより、両観測地点ともに、基本的には全ての深度において、上向きの大気へ向かう二酸化炭素フラックスが得られた。また、土壌内の二酸化炭素フラックスと比較し、地表面におけるその放出量の方が、極めて大きい傾向を示していることが分かった。定量的には、地表面から放出される二酸化炭素の 90% 程度は、ごく表層付近の土壌内で生成されていることが示唆された。

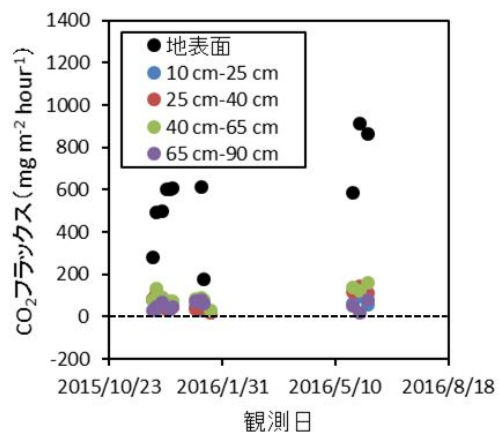


図 3. 二酸化炭素の地表面および土壌内各深度間のフラックス（U チューブから水平距離で 1 m の観測地点において）

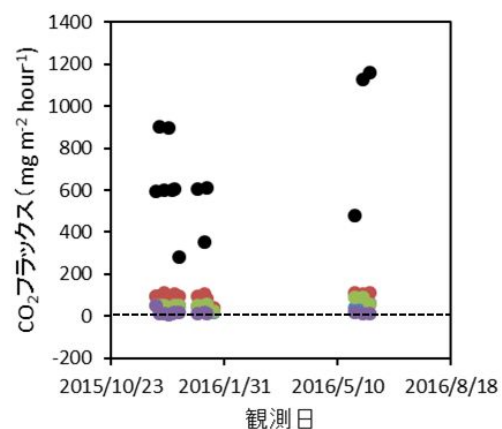


図 4. 二酸化炭素の地表面および土壌内各深度間のフラックス（U チューブから水平距離で 10 m の観測地点において。凡例は、図 3 と同様）

以上の結果をベースに、両地点における深度 10 cm の温度と地表面からの二酸化炭素フラックスについて、その相関性をプロットしたものが図 5 である。これより、深度 10 cm の温度が上昇すると、二酸化炭素の地表面フラックスが増加する可能性が考えられる。今

後は、継続的に観測を実施し、データの蓄積に取り組むことが極めて重要となる。また、二酸化炭素の地表面フラックス測定には、自動開閉式のチャンバー、そして、土壌内各深度間の二酸化炭素フラックス測定には、自動で連続的に濃度データを取得できるセンサーの採用などが、今後のデータ蓄積には有効であると考えている。

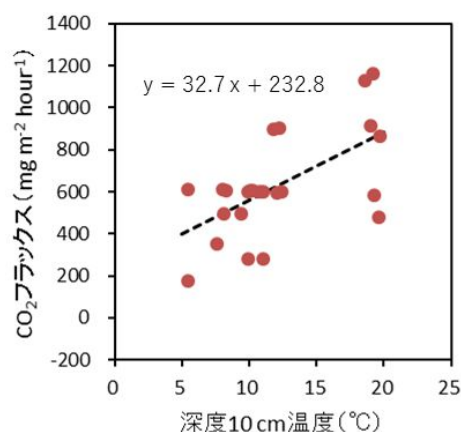


図5. 深度 10 cm の温度と地表面からの二酸化炭素フラックスの相関性 (図3 および図4と同様の二地点において)

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2 件)

Saito, T., Hamamoto, S., Ueki, T., Ohkubo, S., Moldrup, P., Kawamoto, K. and Komatsu, T. (2016): Temperature change affected groundwater quality in a confined aquifer during long-term heating and cooling. *Water Research*, 94, 120-127 (査読あり). DOI: 10.1016/j.watres.2016.01.043

Saito, T., Ueki, T., Ohkubo, S., Hamamoto, S., Kawamoto, K., Moldrup, P. and Komatsu, T. (2015): In-situ thermal disturbance affected groundwater quality in a marine sediment aquifer (Saitama, Japan). *Proceedings of the Third International Symposium on Advances in Civil and Environmental Practices for Sustainable Development*, 201-205 (査読あり).

[学会発表](計 2 件)

齋藤健志・上島雅人・川本 健・小松登志子 (2016): 長期的な地下温度変化が地下水質に与える影響の定量的評価第50回日本水環境学会年会(2015年度)アスティとくしま(徳島県徳島市).2016年3月16日~3月18日

Saito, T., Ueki, T., Ohkubo, S., Hamamoto, S., Kawamoto, K., Moldrup, P. and Komatsu, T. (2015):

In-situ thermal disturbance affected groundwater quality in a marine sediment aquifer (Saitama, Japan). *Third International Symposium on Advances in Civil and Environmental Practices for Sustainable Development*, Galle, Sri Lanka. 2015年3月9日

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

齋藤 健志 (SAITO, Takeshi)

埼玉大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号: 30735668