

機関番号：82107

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20510020

研究課題名 (和文) 野外加温操作実験による農耕地土壌の有機物分解に及ぼす温暖化影響の検証

研究課題名 (英文) Effects of experimental warming on heterotrophic soil respiration in a cultivated Andisol in Japan

研究代表者

岸本 文紅 (KISHIMOTO AYAKA)

独立行政法人農業環境技術研究所・物質循環研究領域・主任研究員

研究者番号：60334033

研究成果の概要 (和文) : 土壌有機物分解の温暖化に対するフィードバックとその制御メカニズムの解明は、農耕地土壌の炭素隔離の気候変動に対する将来予測を行う上で緊急な課題である。本研究は、土壌を温める野外操作実験による土壌有機物の分解に及ぼす温度上昇の効果を定量的評価し、その制御メカニズムの解明を目的とした。その結果、圃場スケールでの実験的加温 (深さ 5cm で +2°C) により、土壌有機物分解による CO₂ 発生は冬春のコムギ作で 2～13% 促進され、夏秋のダイズ作では 10～18% 低下した (新しい知見)。夏の高温乾燥条件下では土壌水分ストレスによる CO₂ 発生の低下が加温区でより大きかったためと考えられ、土壌有機物分解に及ぼす温暖化の影響予測には土壌水分との複合作用を考慮することが重要であることが示された。

研究成果の概要 (英文) : In order to study the effects of warming on the decomposition of soil organic carbon (Rh) under Asia monsoon climate and soil properties, we designed a field soil warming experiment for a cultivated Andisol. Raising the soil temperature by 2°C in the heated plots appeared to increase Rh during the cool seasons (winter to early summer) by approximately 2-13% compared to the non-heated control plots. In contrast, during the warm seasons (summer to Autumn), soil warming induced the decreased Rh in the heated plots, about 10-18% lower relative to the control plots. Our results suggest that 2°C temperature raise can have drastically different impact on soil organic matter decomposition between warm and cold season most likely through its effect on soil moisture regime, highlighting the importance of accounting for temperature vs. moisture interaction in the models when predicting soil carbon dynamic under climate warming scenario.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：生態系生態学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：土壌有機物分解、地球温暖化、野外加温操作実験、土壌呼吸、土壌炭素管理、温室効果ガス、黒ボク土、炭素循環のフィードバック効果

1. 研究開始当初の背景

- (1) 農業部門における地球温暖化緩和技術の一つとして、農耕地の管理方法の改善により土壌の炭素貯留量を増加させることが期待されている。一方、地球温暖化に伴う温度上昇によって、土壌に貯留されている膨大な土壌有機物の分解が促進され、それに起因する CO₂ 発生量の増加が温暖化を加速するといった正のフィードバックが危惧されている。温暖化に対する農耕地土壌の有機物分解のフィードバックとその制御メカニズムの解明は、温暖化緩和技術として期待される農耕地土壌の炭素隔離の気候変動への応答を明らかにするため、ひいては緩和技術の確立と政策促進のため緊急な課題である。本研究は、日本の代表的農耕地土壌（黒ボク土）を対象に、圃場スケールで土壌を温める野外操作実験による土壌有機物の分解に及ぼす温度上昇の効果を定量的に評価し、その制御メカニズムの解明しようとするものである。
 - (2) 土壌中に回転率の異なる炭素画分が存在し、土壌タイプによって土壌有機物の含量や画分および物理化学性が大きく異なることから、温暖化に対する土壌有機物分解のフィードバックはタイプ毎で異なることが予想され、それぞれの土壌タイプにおいての解明が急務である。日本を含む東アジア地域は、欧米に比べてはつきりとした季節性を持ち、生長期間中降水量が集中するモンスーン気候に属し、さらに火山灰起源土壌が分布するといった独特の土壌環境がある。しかし、日本ないし東アジア地域の農耕地において野外加温実験による土壌有機物分解の温暖化応答に関する研究は皆無といってよい。RothC など土壌炭素動態モデルを用いて東アジア地域における農耕地土壌の炭素動態の将来予測を行う場合、モンスーン気候下に成立する特有の土壌に対するパラメータの調節以外に、温暖化予測に対するモデル検証のための実測データがほとんどないことが課題である。本研究より、アジアモンスーン気候下にある火山灰起源土壌について有機物分解の温暖化応答に関する理解を深めることが期待できる。したがって、温暖化応答の情報の乏しい東アジア地域における農耕地土壌の炭素動態の将来予測を行う上、その不確実性を減らすことが期待される。
- ## 2. 研究の目的
- (1) 日本の代表的農耕地土壌（黒ボク土）の畑圃場において、圃場レベルで土壌有機物分解に及ぼす加温効果を定量的評価す

る。

- (2) それに対する環境要因（土壌温度と土壌水分との関係）および生物的要因（CO₂ 発生量の変化）がどのように関連しているかを明らかにする。

3. 研究の方法

- (1) 調査地と加温制御システム：日本の畑土壌の半分を占める黒ボク土を対象とし、小麦と大豆の輪作畑圃場（農環研の実験圃場、茨城県つくば市）を用いた。加温は予備実験にてテスト済みの赤外線ランプで土壌の上部から暖める方式を採用した。加温区および対照区をそれぞれ3つ（各区2m×2m）を設置し、加温区の土壌深5cmにおける温度（それぞれ5点の平均）を対照区の同一深度の地温よりプラス2±0.2°Cで電源をオン、オフすることにより高精度に加温制御ができた。また、地温プロファイル（2, 5, 10, 20 cm）および土壌水分の変化を同時モニタリングした。
- (2) 自動開閉システムによる土壌 CO₂ フラックスの連続測定：CO₂ フラックスの測定は、最も信頼性が高い通気法を用い、12個の自動開閉チャンバーを持つ測定システムを構築した。根の呼吸を含まないように、種まき後に速やかに作土層（20cm）の下部まで45cm×45cm×25cmの塩ビ板の枠を設置し、その中にチャンバー（内径20cm、各区それぞれ2個、各処理で6個）を設置し、土壌有機物分解由来のCO₂ 放出速度を連続測定した。チャンバー内の土壌温度と土壌水分も同時にモニタリングした。
- (3) 土壌中 CO₂ 濃度プロファイルの連続測定：CO₂ 生成（土壌微生物活性の指標）への加温効果を評価するため、土壌深さ別にCO₂ センサーによるCO₂ 濃度測定を行った。すなわち、加温区および対照区にそれぞれ2箇所のプロファイル（0, 5, 10, 20, 50 cm；枠ありと枠無し）を設置し、連続モニタリングをした。
- (4) 土壌理化学性に及ぼす加温効果の検出：加温実験開始前のinitial土壌、加温開始後定期的に土壌サンプリングを行い、炭素含量、土壌微生物バイオマスなどを測定した。

4. 研究成果

- (1) 土壌有機物分解由来のCO₂ フラックスへの加温効果の定量的評価
黒ボク土圃場において加温前の土壌特性（物理化学性など）や土壌からのCO₂ フラックスに地点間で有意差が無いことを確認した後、深度5cmの地温を対照

区+2°Cで制御し、2008年7月中旬より加温を開始した。土壌有機物分解（トレンチチャンバー法）に由来するCO₂フラックスの測定を2010年11月まで行った。その結果、実験的加温（深さ5cmで+2°C：図1a）は冬春のコムギ作で促進され、逆に夏秋のダイズ作で低下する現象を3年間のデータで繰り返し確認された（図1b, 1c）。

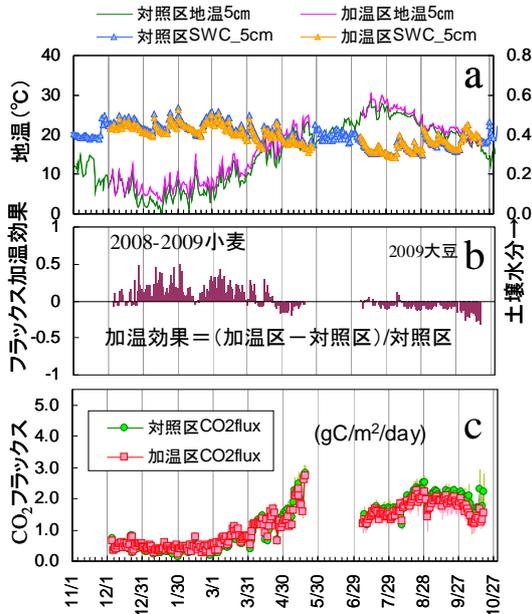


図1. 土壌有機物分解由来のCO₂フラックスへの加温効果と環境要因(2009年度を例に)。
a: 日平均地温(5cm深)と土壌水分(5cm深)
b: フラックスへの加温効果
c: 日積算フラックスの季節変化(対照区と加温区)

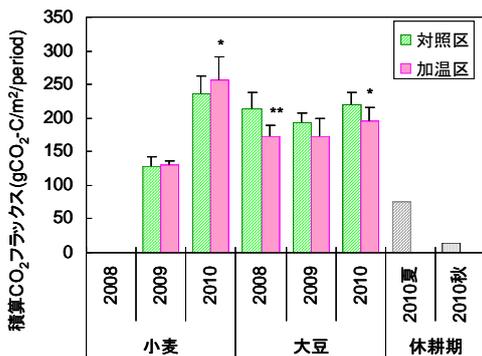


図2. 土壌有機物分解由来の積算CO₂フラックスへの加温効果(2008-2010)

図2に土壌有機物分解由来の積算CO₂発生量(作付けごと)を示した(*P<0.05, *P<0.01水準で加温区と対照区に有意差があったことを示す)。実験的加温(深さ5cmで+2°C)は冬春のコムギ作(12月-5月)ではフラックスが2-13%促進され、逆に夏秋のダイズ作では10-18%

低下したことが分った。フラックスへの加温効果(促進あるいは低下)の年々変動が大きいことも明らかになった。

(2) 土壌有機物分解由来のCO₂フラックスへの加温効果における制御要因

実験的加温が小麦作におけるフラックス促進は、温度が低い冬から春にかけて地温プロファイル全体へ加温効果が大きく(深さ20cmでも+1から+1.5°C)、単位面積あたりの分解量が増えるためと考えられた。図3で示したように、加温開始後、加温区における土壌中CO₂濃度(特に深さ20cm)が対照区より高くなること分った。これは深いところの土壌が温められ、微生物の活性が増加し、土壌有機物の分解量が増加することを示した。

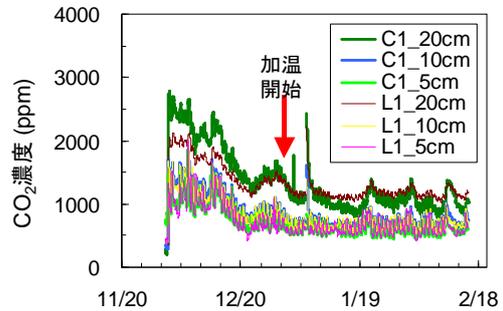


図3. 土壌中CO₂濃度プロファイルへの加温の影響(2009年11月から2010年2月; 枠あり)。Cは対照区、Lは加温区。

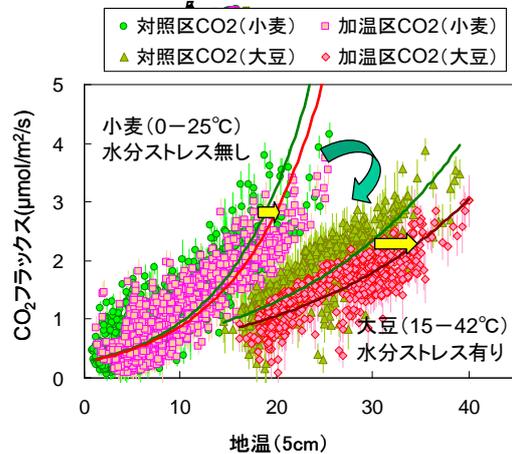


図4. 加温期間のCO₂フラックスと地温の関係における対照区と加温区の比較

一方、夏の高温乾燥(特に梅雨明け後)条件下CO₂フラックスが土壌水分ストレスによって著しく低下し、加温区でより高温乾燥であるため有機物分解がより強く抑制され、対照区のCO₂フラックスより低かったことが分った(図4)。

(3) 土壌理化学性に及ぼす加温の影響

各作付け期間において土壌炭素含量

は、加温区と対照区で有意な差が認められなかった(図 4a)。また、深さ別(0-5cm と 5-15 cm)の土壤微生物バイオマスにおいても、加温区と対照区で有意な差は認められなかった(図 4b)。しかし、ガス拡散にかかわる土壤物理性である仮比重は、対照区に比べ加温区で有意に増大した。

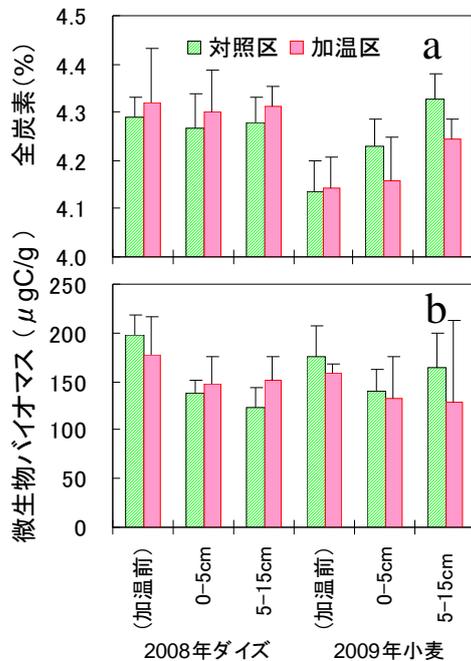


図5. 土壤炭素含量(a)および土壤微生物バイオマス(b)に及ぼす加温の影響(2008-2009年)。

(4) まとめ

土壤は陸域生態系で最大の炭素貯留庫であり、大気 CO₂ への土壤有機物分解のフィードバックは温暖化予測のキーププロセスである。既往の森林・草原など自然生態系における野外加温実験では、加温によって当初増加した土壤 CO₂ 放出は実験開始後 1-3 年以内に加温前の速度に戻り、温度上昇に対して「見かけ上の順化」現象が確認されている。そのメカニズムは、0 層(リター層)が発達の森林生態系などでは、リターなど易分解性炭素が早く分解されるため、「基質制約」によりフラックスが低下すると考えられている。一方、日本農耕地の半分の割合を占める黒ボク土は、火山灰起源のため、鉱物の安定化作用を受ける難分解性であるとされている。さらに、本研究の対象圃場は、10 年間以上堆肥投入されていないこと、地上部残渣は系外へ持ち出しされることから、土壤への炭素投入の少ない系である。また、土壤炭素の放射性同位体 ¹⁴C のデータからも、本研究

の対象土壤は難分解性炭素の割合が大きいことも分っていた。そのため、既往の森林など自然生態系における加温実験と異なる応答と予想されていた。

本研究では、易分解性炭素が少ない土壤における実験的加温により、土壤有機物分解による CO₂ 発生は冬春のコムギ作で 2~13%促進され、夏秋のダイズ作では 10~18%低下した(新しい知見)。これは、温度が低い冬から春にかけて地温プロファイル全体へ加温効果が大きく(深さ 20 cmでも +1 から +1.5°C)、単位面積あたりの分解量が増えるためと考えられ、土壤中 CO₂ 濃度プロファイルのデータからも推察できた。一方、夏の高温乾燥(特に梅雨明け後)条件下 CO₂ フラックスが土壤水分ストレスによって著しく低下し、加温区でより高温乾燥であるため有機物分解がより強く抑制され、対照区の CO₂ フラックスより低かったことが考えられた。また、難分解性土壤の割合が大きいため、基質の枯渇による制約も一因であると考えられる(既往研究の「基質制限」仮説と一致)。本研究の結果から、土壤有機物分解に及ぼす温暖化の影響予測には土壤水分との複合作用を考慮することが重要であると示した。

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 1 件)

- ① Yonemura S., Yokozawa M., Shirato Y., Nishimura S. and Nouchi I. (2009) Soil CO₂ concentrations and their implications in conventional and no-tillage agricultural fields. *Journal of Agricultural Meteorology* (農業気象)、査読有、65:141-149.

[学会発表] (計 10 件)

- ① Kishimoto (W. Mo) A., Yonemura S., Wagai R., Kondo M., Jomura M. and Shirato Y. (2010) Effects of experimental warming on heterotrophic soil respiration in a cultivated and soil in Japan: First two-year results. ASA, CSSA, and SSSA 2010 International Annual Meetings (2010 年 10 月 30 日-11 月 4 日、Long Beach, USA).
- ② Kishimoto (W. Mo) A., Yonemura S., Wagai R., Kondo M., Jomura M. and Shirato Y. (2010) Effects of experimental warming on

heterotrophic soil respiration in a cultivated and soil in Japan: First two-year results. The 4th EAFES International Congress in conjunction with the 8th ILTER-EAP regional conference (2010年9月13-17日、Sangju, Korea).

- ③ Yonemura S., Kishimoto (W. Mo) A., Wagai R. and Kita K. (2010) Development of an automatic measurement system to investigate as exchange by soil. The 4th EAFES International Congress in conjunction with the 8th ILTER-EAP regional conference (2010年9月13-17日、Sangju, Korea).
- ④ 和穎朗太・岸本(莫)文紅・米村正一郎・平館俊太郎 (2011) 土壤炭素プールの温暖化応答—微生物分解の温度依存性を規定する因子の解明. 日本生態学会第58回大会(2011年3月8日、札幌).
- ⑤ 岸本(莫)文紅・米村正一郎・和穎朗太・近藤美由紀・上村真由子・白戸康人(2010)野外加温操作実験による農耕地土壌の有機物分解に及ぼす温暖化影響の解明. 回日本生態学会第57回全国大会, P3-276 (ポスター発表、2010年3月18日、東京).
- ⑥ 近藤美由紀・内田昌男・村山昌平・岸本(莫)文紅・柴田康行 (2010) 放射性炭素同位体を利用した土壤炭素有機物の滞留時間の推定, 日本生態学会第57回全国大会, F2-08 (口頭発表、2010年3月18日、東京).
- ⑦ 米村正一郎・弓野未来・川上絢子・宮田綾・和穎朗太・莫文紅・北一之・川島茂人 (2009) 土壤ガス代謝自動測定システムの開発, 平成21年度研究集会講演要旨集 第15回大気化学討論会, 15.
- ⑧ 米村正一郎 (2009) 野外・実験室での自動測定・制御システムの開発について, 日本農業気象学会北海道支部2009年大会(2009年12月、札幌).
- ⑨ Kishimoto (W. Mo) A., Yonemura S., Shirato Y., Jomura M. and Yokozawa M (2009) A field soil warming experiment for studying global warming effects on soil organic carbon dynamics in agroecosystems, 農業気象国際シンポジウム ISAM2009, p88 (2009年3月26日、郡山).
- ⑩ 岸本(莫)文紅・米村正一郎・白戸康人・和穎朗太 (2009) 野外加温操作実験による黒ボク畑の温室効果ガ

ス発生量の変化. システム農学会 2009年春季シンポジウム. 一般研究発表会要旨集 25(別1), 50-51 (口頭発表、2009年5月30日、東京).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岸本 文紅 (KISHIMOTO AYAKA)
独立行政法人農業環境技術研究所・物質循環研究領域・主任研究員
研究者番号: 60334033

(2) 研究分担者

米村 正一郎 (YONEMURA SEIICHIRO)
独立行政法人農業環境技術研究所・大気環境研究領域・主任研究員
研究者番号: 20354128

(3) 連携研究者

内田 雅己 (UCHIDA MASAKI)
国立極地研究所・助教
研究者番号: 70370096