

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年5月10日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23658190

研究課題名（和文）地球温暖化の観点からの農業土木事業の評価の試み

研究課題名（英文）Evaluation of drainage improvement and land reclamation projects from the perspective of mitigation of global warming

## 研究代表者

飯田 俊彰 (IIDA TOSHIAKI)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授

研究者番号：30193139

研究成果の概要（和文）：地球温暖化抑制の観点から、排水改良事業のCH<sub>4</sub>放出削減への効果の定量的把握が、千葉県印旛沼土地改良区管内の1地区を対象として試みられた。事業実施によるCO<sub>2</sub>排出量は0.518t-CO<sub>2</sub>/(ha・y)と試算された。計画最大減水深は事業実施前より実施後の方が2mm/d大きく、この増加によるCH<sub>4</sub>放出削減量を、カラム実験結果を元に算出したところ、-0.270～11.9 t-CO<sub>2</sub>/(ha・y)と試算された。一方、圃場実験では、4.5～8.3 t-CO<sub>2</sub>/(ha・y)のGHG削減効果が推定され、これはカラム実験にもとづく推定範囲に含まれた。

研究成果の概要（英文）：From the perspective of mitigation of global warming, the quantitative evaluation of the effect of a drainage improvement project on reduction of the methane emission was attempted, taking an example at a region in the command area of Imbanuma land improvement district in Chiba prefecture. The CO<sub>2</sub> emission by completion of the drainage improvement project was estimated to be 0.518 t-CO<sub>2</sub>/(ha・y). The planned maximum water requirement rate was 2 mm/d greater after the project than that before the project. Taking the obtained results by column experiments into account, it was estimated that the 2 mm/d increase in the water requirement rate brought about the methane emission reduction of -0.270～11.9 t-CO<sub>2</sub>/(ha・y). The results of field experiments suggested that the drainage improvement project leads to methane emission reduction of 4.5～8.3 t-CO<sub>2</sub>/(ha・y), which corresponded to the estimation based on the column experiments.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：農業水利学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：地球温暖化ガス排出削減，環境調和型農林水産，土壌圏現象，農業土木，排水改良，土地改良事業，メタン，温室効果ガス

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 研究の学術的背景

IPCCの第4次報告書によると、全球での長寿命の温室効果ガス（以下GHG）の放射強制力のうち約18%をメタン(CH<sub>4</sub>)、約6%を亜酸化窒素(N<sub>2</sub>O)が占め、CH<sub>4</sub>放出量のうち約34%が湿地や水田から、N<sub>2</sub>O放出量のうち約24%

が農地から発生している(Forster et al., 2007)。

湿地や水田では、湛水により大気と遮断された土壌が嫌氣的状態となり、メタン生成菌が活性化してCH<sub>4</sub>生成量が増大するが、中干しや間断灌漑により土壌が好氣的になるとCH<sub>4</sub>放出が抑制されることが知られている。

方、土壌が好氣的になると  $N_2O$  放出量が増大する。また、湛水が排除されると生成した  $N_2O$  は溶解することなく大気へ放出される (Iida et al., 2007a; Iida et al., 2007b)。

一方、1899年の耕地整理法制定当初から排水改良は農業土木事業の大きな柱であり、湿田の乾田化による生産性の向上は日本の農業土木事業の中心となってきた(農業土木学会, 2000)。湿地や湿田の排水改良は、土壌を好氣的に変えて  $CH_4$  放出を抑制するはずであるとともに、 $N_2O$  放出を促進する可能性がある。今後の、排出量取引制度や地球温暖化対策税の本格的導入の前に、農業土木事業による地球温暖化への影響を定量的に評価しておく必要がある。

## (2) 本研究の必要性および特色

以上の背景を踏まえ、本研究は、排水改良事業の地球温暖化に対する影響を定量的に明らかにしようとする試みである。事業実施の際の施工による  $CO_2$  排出を含めて、排水改良事業のカーボンフットプリントを評価し、その評価手法を世に提示しようとしている。

農業土木事業を地球温暖化の観点から評価しようとした試みはこれまでに国内外に無く、きわめて斬新なアイデアである。現時点では、農業土木事業がこれまでに地球温暖化を抑制してきたのか、加速してきたのかすらも、はっきりしていない。この点について、単なる過去の資料の上からの推定ではなく、科学的実測データに基づいた学術的試算を行う点に本研究の特色がある。本研究での試算結果は学会の常識を覆す内容である可能性もあり、農業土木事業に携わるものは皆、固唾をのんで見守るであろう。

首相は2009年9月の国連気候変動首脳会合で国内のGHG放出を2020年までに1990年比で25%削減すると表明し、日本はますます低炭素社会を希求する方向へ動く。日本のみならず地球温暖化抑制は世界的な動きであり、今後、排出量取引制度や地球温暖化対策税の導入等さまざまな方策が推進されるのは間違いない。このような状況の中、湿地や湿田の乾田化によるGHG削減効果は、これまで社会にまったく考慮されていない。これを科学的に試算して社会へアピールすることは、農業土木分野のみならず農業部門の地球温暖化抑制に対する貢献を社会へアピールすることであり、大きなチャレンジ性を持っている。排出量取引制度や地球温暖化対策税の観点から、本研究の成果の、農業土木分野あるいは農業分野に対する経済効果は計り知れない。

また、面源である農地での効果のある地球温暖化抑制対策は、面的に適用される対策でなければならず、これを広く展開する必要があるが、そのひとつとして排水改良事業を位置付けることができる。東南アジアの低湿地

には現在も広大な湿地や湿田が広がっており、その乾田化は地球温暖化抑制と食糧増産とを両立させる絶妙な選択肢となる可能性を秘めている。

さらに、本研究を遂行することにより、事業評価に新たにGHG排出削減の項目を追加することが可能となる。これは、気候変動時代に対応した、農業土木事業の価値の変化をもたらす、新たな枠組みでの事業LCA、コストベネフィット評価を導くことになる。実際の事業に当たっては、新たな枠組みに対応した設計・施工法の探求や事業評価法の検討等が必要となり、農業農村工学会に多くの新たな学問分野が開拓される。したがって、本研究の学術的波及効果は大きい。

今後、排出量取引制度や地球温暖化対策税が導入される中、農業土木事業による  $CO_2$  削減効果を評価する手法を提示することは極めて意義深い。本研究は、今後のすべての事業における同様の試算のモデルケースを提示することになる。

## 引用文献

Forster, P. et al. (2007): Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of WGI to the FAR of the IPCC* [Solomon, S. et al. (eds.)], p.141, Cambridge University Press.

Iida, T. et al. (2007): Nitrous oxide emission measurement with acetylene inhibition method in paddy fields under flood conditions. *Paddy and Water Environment* 5(2), 83-91.

Iida, T. et al. (2007): Variation in methane and nitrous oxide emission from practical paddy fields with intermittent irrigation. *農業土木学会論文集* 247, 45-52.

農業土木学会(2000): 改訂六版農業土木ハンドブック本編. 4-8, 農業土木学会.

## 2. 研究の目的

本研究では、過去の排水改良事業による湿地、水田からのGHGの放出を評価することにより、排水改良事業を地球温暖化の観点から経済評価することを目的としている。今後の排出量取引制度や地球温暖化対策税の本格的導入を前にして、農業土木事業による排出量削減分を科学的に提示することの社会的インパクトは非常に大きい。

## 3. 研究の方法

### (1) 研究方法の概要

本研究では、事業実施による  $CO_2$  排出量の推定と並行して、カラム実験および圃場実験によって現場の状況を再現し、実際にGHGフ

ラックスを測定して事業実施前後のGHG放出量の増減を評価した。以下に、研究の方法を具体的に述べる。また、研究代表者、研究分担者の役割分担をまとめて、表1に示す。

表1 研究代表者（飯田）と研究分担者（大澤，石田）の役割分担

	主 担 当 者	補助的担当者とその役割
文献・資料調査	飯田	大澤（主担当者と打合せて作業を分担する）
カラム実験	飯田	－（もっぱら主担当者が行う）
圃場実験	大澤	石田（圃場実験のアドバイスとサポートを行う）
現地調査	飯田	大澤，石田（現地での具体的作業を分担する）

### (2) 対象地区の選定と事業実施によるCO<sub>2</sub>排出量の推定

過去の排水改理事業の事業計画書や事業実施後の調査報告書等が土地改良区等に保存されているが、この中から本研究に適した研究対象地区を選定した。事業計画書には、事業実施前の対象地区の現況調査記録が残されている。ここから、事業実施前後の現場の状況に関する情報、事業規模に関する情報を読み取った。また、現地調査を行い、土地改良区職員に対し、事業実施前後の現場の状況についての聞き取り調査を行った。

### (3) カラム実験

内径14.5cm、外径16.5cm、高さ5cmの透明塩ビ製カラムを10段重ねた高さ50cmのカラムへ供試土壌を充填し、土柱模型を作成した。土柱模型では、下から順に水田の心土層（砂層）30cm、耕盤層10cm、作土層10cmを再現した。作土層、耕盤層には、山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター水田試験地でそれぞれに該当する土層から採取された土壌のうち、2mmふるいを通したものをを用いた。心土層には豊浦砂を用いた。各層の乾燥密度は、作土層0.78g/cm<sup>3</sup>、耕盤層1.10g/cm<sup>3</sup>、心土層1.52g/cm<sup>3</sup>とした。作土層の上に湛水カラムを設け、湛水深はすべての土柱模型において7.5cmで一定とした。各カラムの側面中央部には径12mmの小孔を開け、地温測定用、酸化還元電位測定用、水圧測定用の各センサーの挿入口とした。同一の土柱模型を4本作成し、2本ずつ2つの実験区に分けて、約30℃の恒温室内で実験を行った。

Run1では、地下水位を地表面下25cmにした小浸透速度実験区(LP)と地表面下75cmにした大浸透速度実験区(HP)を設定した。初めの助走期間中の浸透状況が安定した時点でCH<sub>4</sub>生成の基質としてグルコースを添加した。Run2では、地下水位を段階的に変化さ

せ、日本の通常の水田の浸透速度の範囲で浸透速度を変化させた。浸透速度の履歴がCH<sub>4</sub>フラックスに与える影響を考慮して、浸透速度について2種のスケジュールを設定した(CaseAおよびCaseB)。Run2では、すべての土柱模型で1%グルコース溶液を湛水に用いた。

CH<sub>4</sub>放出量の測定を、クローズドチャンバー法により1つのカラムにつき1日1回行った。チャンバーは、透明のアクリルでできたカラム形(内径17cm、外径18cm、高さ10cm)で、土柱模型上部のチャンバー用台座に脱着できるものである。チャンバーを設置後すぐに採取したガスを0分の試料とし、その10分後、20分後、30分後にガス採取を同様に繰り返し、それぞれ10分、20分、30分の試料とした。採取したガス試料のCH<sub>4</sub>濃度をガスクロマトグラフ装置(SHIMADZU, GC-2014)で分析した。

土柱模型の地表面下7.5cm、47.5cmに差し込まれたT型熱電対を用いて地温を測定した。恒温室内の気温を実験装置のすぐそばの床から高さ60cmと130cmで、水温を恒温室内のバケツに入った水で測定した。

土柱模型の地表面下2.5cm、7.5cm、12.5cm、22.5cm、32.5cmに差し込まれた白金電極と、湛水に浸した比較電極、さらに各土柱模型の湛水部に渡した金属線(塩橋の代用)により酸化還元電位を測定した。

土柱模型の地表面下2.5cm、7.5cm、12.5cm、17.5cm、22.5cm、32.5cm、42.5cmに差し込まれたポーラスフィルタと、水マノメータにより土中水の水圧を測定した。

浸透速度の測定を1日1回行い、6時間当たりには排水された量から浸透速度を算出した。また、浸透水中の溶存CH<sub>4</sub>濃度を、ヘッドスペース法で測定した。

### (4) 圃場実験

栃木県那須烏山市大木須地区に冬期湛水田と慣行田とを設け、通年で湛水する冬期湛水田を事業実施前、慣行田を事業実施後の状態とみなして圃場実験を行った。それぞれの試験田に1区画20.25m<sup>2</sup>の試験区をあぜシートで仕切って設け、5種類の施肥区(化学肥料、無施肥、籾殻牛糞堆肥、稲わら、落葉堆肥)を3区画ずつ設けた。各施肥区における肥料と有機資材の投入量を、表2に示す。供試品種にはコシヒカリを用い、冬期湛水田では休閑期に3~4ヶ月湛水した。土壌呼吸速度とCH<sub>4</sub>放出速度を、両水田の5種類の施肥区でクローズドチャンバー法で測定した。また、土壌呼吸速度の測定時には地温を、CH<sub>4</sub>放出速度の測定時には地温と酸化還元電位と稲の茎数を同時に測定した。年間土壌呼吸量と年間CH<sub>4</sub>放出量は、各放出速度と地温との関係式を用いて算出した。

表2 肥料および炭素投入量

肥料の種類	湿潤重 (kg/10a)	TOC (kg/10a)
化学肥料	55	0
籾殻牛糞堆肥	1000	96
稲わら	600	207
落葉堆肥	1389	126

#### 4. 研究成果

##### (1) 対象地区の選定と事業実施によるCO<sub>2</sub>排出量の推定

千葉県印旛沼土地改良区管内の押付地区を対象地区として選定し、土地改良区より関連資料を得た。押付地区では1978～1980年に事業費2億8300万円で排水改良事業が行われた。事業実施によるCO<sub>2</sub>排出量は、産業連関分析による原単位法で、耐用年数を考慮して0.518 t-CO<sub>2</sub>/(ha・y)と試算された。計画最大減水深は事業実施前には15 mm/d、事業実施後には17 mm/dと定められていた。

##### (2) カラム実験

事業実施前後でのCH<sub>4</sub>放出量変化については、まず、カラム実験を行って稲の無い水田土壌での浸透速度とCH<sub>4</sub>放出量との関係式を得て、2 mm/dの浸透速度増加によるCH<sub>4</sub>放出減少量を推定した。カラム実験の結果を図1に示す。次にこの関係式が稲がある場合にも成り立つと仮定し、既往の研究による稲の有無によるCH<sub>4</sub>放出量の比率を乗じてCO<sub>2</sub>量に換算したところ、差し引きで-0.270～11.9 t-CO<sub>2</sub>/(ha・y)の削減効果が試算された。また、カラム実験により、浸透速度増加により浸透

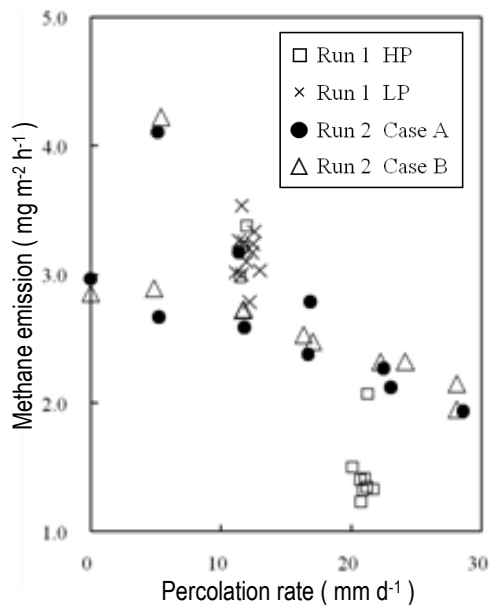


図1 カラム実験での浸透速度とCH<sub>4</sub>放出量との関係

水によるCH<sub>4</sub>輸送量が大きくなること、浸透水によるCH<sub>4</sub>輸送量は大気へのフラックスに比べ10～100倍程度大きいことが明らかとなった。

##### (3) 圃場実験

年間土壌呼吸量と年間CH<sub>4</sub>放出量に地球温暖化係数21を乗じた値の和をGHG放出量とし、図2に示す。化学肥料区では冬期湛水田と慣行田とでGHG放出量は同程度で、稲わら区ではGHG放出量は慣行田の方が大きかった。無施肥区、籾殻牛糞堆肥区、落葉堆肥区では、冬期湛水田からのGHG放出量の方が慣行田からのそれより大きく、それぞれ約5.4, 4.5, 8.3 t-CO<sub>2</sub>/(ha・y)のGHG削減効果が推定された。これらはカラム実験から推定されたCH<sub>4</sub>放出削減効果の範囲と一致していた。

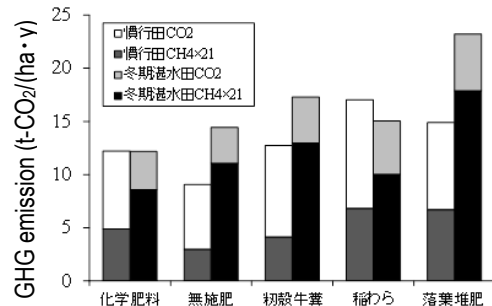


図2 圃場実験での年間GHG放出量

#### 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 酒井一人, 仲村渠 将, 吉永安俊, 長野敏英, 大澤和敏, 石田朋靖: 冬季の沖縄県北部亜熱帯広葉樹林地帯におけるCO<sub>2</sub>フラックスの地点および観測日による変動実態. 土壌の物理性, 査読有り, 122, 2012年, 23-31.

[学会発表] (計6件)

- ① 大澤和敏, 福富真奈美, 池田廉, 平井英明: 水田における冬期湛水と有機資材投入が温室効果ガス放出へ与える影響. 平成24年度農業農村工学会大会講演会, 2012年9月19日, 北海道大学高等教育推進機構
- ② 鈴木優輔, 大澤和敏, 長野敏英, 石田朋靖: 熱帯泥炭地の再湛水に伴うCH<sub>4</sub>及びCO<sub>2</sub>放出速度の測定. 平成24年度農業農村工学会大会講演会, 2012年9月19日, 北海道大学高等教育推進機構

- ③ Dei, H., Iida, T., Okajima, K., Noda, K., Kimura, M. : Effect of percolation rate on methane emission from paddy soil columns. PAWEES 2011 International Conference, October 27, 2011, Taipei, Taiwan
- ④ 出井宏樹, 飯田俊彰, 木村匡臣, 岡島賢治 : 水田土壌での浸透速度の違いがメタン放出に及ぼす影響. 平成23年度農業農村工学会大会講演会, 2011年9月7日, 九州大学箱崎キャンパス
- ⑤ 池田廉, 大澤和敏, 中井香緒里, 平井英明 : 農地における有機資材投入に伴う土壌有機炭素貯留. 平成23年度農業農村工学会大会講演会, 2011年9月7日, 九州大学箱崎キャンパス
- ⑥ 長谷川晃彦, 石川雅也, 梶原晶彦, 飯田俊彰 : 閉鎖型汎用化水田構造を有した転換畑地における温室効果ガスの削減効果. 平成23年度農業農村工学会大会講演会, 2011年9月7日, 九州大学箱崎キャンパス

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

飯田 俊彰 (IIDA TOSHIAKI)  
東京大学・大学院農学生命科学研究科・  
准教授  
研究者番号 : 3 0 1 9 3 1 3 9

### (2) 研究分担者

大澤 和敏 (OSAWA KAZUTOSHI)  
宇都宮大学・農学部・准教授  
研究者番号 : 3 0 3 7 6 9 4 1  
石田 朋靖 (ISHIDA TOMOYASU)  
宇都宮大学・理事  
研究者番号 : 0 0 1 5 9 7 4 0

### (3) 連携研究者

なし