

学 位 論 文 題 名

Evaluating the status of greenhouse gas budgets of paddy fields in central Hokkaido, Japan

(道央における水田の温室効果ガス収支の評価)

学位論文内容の要旨

二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)は地球温暖化にそれぞれ60%、20%、6%寄与する温室効果ガスである。これらのガス濃度は過去20年間に年間それぞれ0.5%、0.9%、0.25%増加している。水田はCH₄の排出の17%に寄与しているとされており、その他の温室効果ガス収支にも重要な役割を持っているとされているが、多くの不確実性がある。温室効果ガス排出は、農地管理、気候、土壌状態に影響をうけ変動する。水田では、稲ワラ施用はCH₄排出を増加させることが良く知られている。しかし、CO₂、N₂Oの排出に関する情報は不足している。さらに地域における温室効果ガス排出量の実態は不明瞭であり、その精緻化が要求されている。北海道では農地の20%を水田が占めている。とくに道央(石狩・空知)はその農地の69%が水田であり、北海道全体の水田面積の51%を占めている。北海道は11月下旬から4月下旬まで農地は積雪下におかれ、一般に10月の収穫後、稲ワラは土壌にすき込まれず、翌春の耕うんまで積雪下の土壌表面に放置されている。このような積雪寒冷地における水田の温室効果ガス排出に関する情報は極めて不足している。本研究では道央の実際の水田においてCO₂、CH₄、N₂Oの排出量を測定し、それらガスの地球温暖化への寄与を評価した。

1. 温室効果ガス排出は空知支庁の美唄市(43°18'N, 141°44'E)と三笠市(43°14'N, 141°49'E)のそれぞれ5つの水田においてチャンバー法で測定した。そのうちの1箇所は大豆から水田へ転換されたものであったが、他のすべては水田が連用されていた。土壌タイプは美唄では、グライ土の1圃場を除き、他はすべて客土処理された泥炭土であった。三笠は灰色低地土、泥炭土、擬似グライ土、グライ低地土、および褐色低地土であった。三笠の圃場では前作の残渣の一部あるいは全部が持ち出され、家畜の敷き料として利用されていた。美唄ではすべての残渣が圃場に残されていた。調査年の子実収穫量と純一次生産量は圃場管理、品種、土壌に影響を受けず、窒素施与量にも関係がなかった。土壌への炭素固定量は純一次生産量と有機物分解に伴うCO₂排出量、CH₄排出量、子実収穫量の合計量の差として計算される。純一次生産量は地上部、地下部を測定した。有機物分解に伴うCO₂排出量は無植栽区を設けて測定した。地球温暖化指数(GWP、CO₂換算した温室効果ガス排出量)を、IPCC(2001)が推奨する100年間の効果係数(CO₂を1として、CH₄は23、N₂Oは296)を用いて、 $GWP(g\ CO_2\ m^{-2}) = -CO_2(g\ C\ m^{-2}) \times (44/12) + CH_4(g\ C\ m^{-2}) \times (16/12) \times 23 + N_2O(g\ N\ m^{-2}) \times (44/28 \times 296)$ により求めた。ここで、CO₂はその収支を示し、純一次生産量と有機物分解に伴うCO₂排出量、子実収穫量の合計量の差として計算される。GWPが正となる圃場は温暖化を促進し、GWPが負の圃場は温暖化を改善することを示す。

2. 生育期間中の CH_4 排出量は $4.04 \sim 98.3 \text{ gC m}^{-2}$ であり、残渣が全て持ち出された圃場で最低値を示した。春すき込み直前の稲ワラ残渣の分解率は $43.1 \pm 11.7\%$ であったが、残渣がある圃場では、持ち出された圃場に比べて CH_4 排出量は 2 から 24 倍大きかった。この CH_4 排出量は、前作残渣中の有機炭素量により有意に回帰された ($y = 0.315x + 3.724$, $r^2 = 0.853$, $P < 0.01$, $n = 10$)。中干しされた 3 圃場と前作が大豆の 1 圃場からの CH_4 排出はこの回帰線より下にあった。これらの 4 つの圃場を除いて回帰分析を行った結果、より高い相関係数 ($y = 0.475x - 1.194$, $r^2 = 0.970$, $P < 0.001$, $n = 6$) を示した。用水管理と田畑輪換が水田から CH_4 排出を減らしている可能性が認められた。土壌との関係は明瞭ではなかった。

3. 水田における有機物分解に伴う CO_2 排出量は、生育期間中 $37.1 \sim 242 \text{ gC m}^{-2}$ であった。 CH_4 排出量と同様、この CO_2 排出量は、前作の残渣炭素量により有意に回帰された ($y = 0.665x + 41.25$, $r^2 = 0.759$, $P < 0.05$, $n = 10$)。同じ程度の稲ワラ残渣が入っている場合、中干しが行われた圃場では、行われなかった圃場に比べて約 300% も高かった。

4. 生育期間中の N_2O 排出量は $0.001 \sim 0.296 \text{ gN m}^{-2}$ であり、施肥量に比べて著しく小さく、全体では残渣炭素量と関係がなかった。しかし、美唄と三笠を区別してみると、三笠では残渣炭素量と N_2O 排出量には正の有意な相関関係が認められた。このことは、三笠がより表面が乾きやすいなどの N_2O を排出させやすい条件を持っていた可能性がある。今後の課題である。

5. 土壌への炭素固定量は、前作の残渣炭素量が増えるほど低下し、2 次曲線により有意に回帰された ($y = 0.007x^2 - 3.4811x + 365.32$, $r^2 = 0.903$, $P < 0.01$)。残渣炭素量が 150 gC m^{-2} までは土壌への炭素固定量は正であったが、残渣炭素量がそれ以上となると CH_4 と CO_2 排出量の増加により負となった。

6. 生育期間中の総 GWP は 前作の残渣炭素量と正の有意な相関関係を示した。 ($y = 13.8x - 894.3$, $r^2 = 0.892$, $P < 0.01$, $n = 10$)。総 GWP の構成要素のうち CH_4 排出と CO_2 収支は残渣炭素と有意な正の相関関係があったが、 N_2O 排出には関係は見られなかった。ただし、 CH_4 排出による GWP はすべての圃場で正の値を示し、 CH_4 排出が温暖化に寄与していることを示したが、 CO_2 収支による GWP は 1 つの圃場を除きすべて負の値を示し、温暖化を改善していた。このために、総 GWP は残渣炭素量が 50 gC m^{-2} までは負の値を示したが、それ以上の残渣炭素量では正になった。総 GWP が正の値を示す場合、 CH_4 排出がその 97 から 263% を占めた。一方、総 GWP が負の場合、 CO_2 収支がその 108% から 202% を占めた。

7. 年間の排出量を測定した 4 圃場の結果から、 CH_4 排出と有機物分解に伴う CO_2 排出の生育期間中の排出量の平均寄与率は、それぞれ 100%、58% であった。一方、 N_2O 排出は休閑中に平均 74% の寄与が認められた。GWP については、総 GWP への生育期間中の GWP の寄与率は 74~89% であり、 CH_4 の寄与が大きかった。

8. 以上の結果から、積雪寒冷地の水田では、積雪下の残渣の分解が十分でなく、翌春の残渣のすき込みが CH_4 排出に大きな影響を与える。したがって、前作の残渣量を減らすことは、生育期間中の CH_4 排出量を減らし、 CO_2 排出量、 N_2O 排出量も抑制するので、純一次生産量を増加することとともに

温暖化抑制の重要な緩和策と考えられる。用水管理、田畑輪換も CH_4 排出を抑制する可能性がある。土壌タイプは N_2O 排出に影響を与えるかもしれない。水田の温暖化への寄与を判断するためには、温室効果ガス収支を包括的に評価することが重要である。

学位論文審査の要旨

主 査	教 授	波多野 隆 介
副 査	教 授	長谷川 周 一
副 査	教 授	平 野 高 司
副 査	助教授	中 原 治

学 位 論 文 題 名

Evaluating the status of greenhouse gas budgets of paddy fields in central Hokkaido, Japan

(道央における水田の温室効果ガス収支の評価)

本論文は 7 章からなり、図 23、表 21、写真 11、引用文献 237 を含む 118 ページの英文論文である。他に参考論文 1 編が添えられている。

水田では、稲ワラ施用は CH_4 排出量を増加させ、中干しにより CH_4 排出量を抑制するといわれている。しかし、北海道のような積雪寒冷地における情報は不足しており、さらに CO_2 、 N_2O の排出に関するデータは少ない。本研究では道央の水田において CO_2 、 CH_4 、 N_2O の排出量を測定し、それらの地球温暖化への寄与を評価した。

空知支庁の美唄市と三笠市のそれぞれ 5 水田においてチャンバー法で温室効果ガス排出量を測定した。土壌は美唄では 1 圃上がグライ土のほか、すべて客土処理された泥炭土であり、三笠では灰色低地土、泥炭土、擬似グライ土、グライ低地土、および褐色低地土であった。美唄の泥炭の 1 圃場は大豆から水田へ転換されたものであり、その他は水田が連用されていた。そのうち美唄の泥炭の 3 圃場では中干しが行われていた。三笠では前作の残渣の一部あるいは全部が持ち出され、家畜の敷き料として利用されていたが、美唄ではすべての残渣が圃場に残されていた。落水は三笠で美唄より 10 日ほど早く、移植後 70 日目前後に行われた。調査年の子実収穫量と純一次生産量は圃場管理、土壌に影響を受けず、窒素施与量にも関係がなかった。土壌への炭素固定量は純一次生産量と有機物分解に伴う CO_2 排出量、 CH_4 排出量、子実収穫量の合計量の差として計算される。純一次生産量は地上部、地下部を測定した。有機物分解に伴う CO_2 排出量は無植栽区を設けて測定した。地球温暖化指数(GWP)を、IPCC(2001)が推奨する 100 年間の効果係数(CO_2 を 1 とし、 CH_4 は 23、 N_2O は 296)を用いて、 $\text{GWP} (\text{g CO}_2 \text{ m}^{-2}) = -\text{CO}_2 (\text{g C m}^{-2}) \times (44/12) + \text{CH}_4 (\text{g C m}^{-2}) \times (16/12) \times 23 + \text{N}_2\text{O} (\text{g N m}^{-2}) \times (44/28 \times 296)$ により求めた。ここで、 CO_2 はその収支であり、純一次生産量－有機物分解量－子実収穫量である。GWP が正となる圃場は温暖化を促進し、GWP が負の圃場は温暖化を改善することを示す。

生育期間中の CH_4 排出量は $4.04 \sim 98.3 \text{ g C m}^{-2}$ であり、残渣がすき込まれた圃場では全て持ち出された圃場より 2 から 24 倍大きかった。 CH_4 排出量は、前作残渣の炭素量により有意に回帰された

($P < 0.01$)。中干しされた3圃場と前作が大豆の1圃場からの CH_4 排出はこの回帰線より下にあった。これらの4つの圃場を除いて回帰分析を行った結果、より高い相関関係を示した($P < 0.001$)。これらは用水管理と田畑輪換が水田から CH_4 排出を抑制することを示している。土壌との関係は見られなかった。また、残渣炭素の CH_4 排出効率(gC/gC)は、平均0.14であり、熱帯や温帯の報告例の平均0.03より有意に大きく、残渣施与による CH_4 排出が大きいことが示された。200日間の積雪下での残渣の分解率は43%であり、15°Cでの分解率の75%に比べ有意に低かった。このことが、 CH_4 排出効率が高い原因の一つと考えられた。

生育期間中の有機物分解に伴う CO_2 排出量は、37.1~242 gC m^{-2} であった。 CH_4 排出量と同様、この CO_2 排出量は、前作の残渣炭素量により有意に回帰された($P < 0.05$)。ただし、中干しが行われた圃場では、行われなかった圃場に比べて300%高く、 CH_4 排出の抑制に引き換えて CO_2 排出が生じることが示された。

生育期間中の N_2O 排出量は0.001~0.296 gN m^{-2} であり、施肥量に比べて著しく小さく、全体では残渣炭素量と関係がなかった。しかし、美唄と三笠を区別してみると、三笠では残渣炭素量と N_2O 排出量には正の有意な相関関係が認められた。土壌の排水が関与していると思われた。

土壌への炭素固定量は、前作の残渣炭素量が増えるほど有意に低下した($P < 0.01$)。残渣炭素量が150 gC m^{-2} までは土壌への炭素固定量は正であったが、残渣炭素量がそれ以上となると CH_4 と CO_2 排出量の増加により、土壌への炭素固定量は負となった。

生育期間中の総GWPは前作の残渣炭素量と正の有意な相関関係を示した($P < 0.01$)。総GWPは残渣炭素量が50 gC m^{-2} までは負の値を示し、温暖化を改善していた。総GWPが正の値を示す場合、 CH_4 排出がその97から263%を占めた。一方、総GWPが負の場合、 CO_2 収支がその108%から202%を占めた。 N_2O 排出によるGWPは無視できるほど小さかった。

積雪寒冷地の水田では、積雪下での残渣の分解が十分でなく、翌春の残渣のすき込みが CH_4 排出を大きくする。前作の残渣量を減らすことは、生育期間中の CH_4 排出量を減らし、 CO_2 排出量、 N_2O 排出量も抑制するので、温暖化抑制の最も効果的な緩和策と考えられた。

以上のように、本論文は積雪寒冷地の水田からの温室効果ガス排出と農業管理の関係を精査したものであり、京都議定書への対応に欠かせないデータを提供しており、関連学会においても高く評価されている。よって審査員一同はHabib Mohammad Naserが博士(農学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。