

学 位 論 文 題 名

Evaluation of net greenhouse gas budget in
various upland crop fields in central Hokkaido, Japan

(道央におけるさまざまな畑地から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(CO_2)、メタン(CH_4)、亜酸化窒素(N_2O)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(IPCC 2001)。土壌からはそれら温室効果ガスが有機物分解、硝酸化成、脱窒を通して放出される。畑地からは主に CO_2 と N_2O が放出されることが知られている。ただし、それらの放出には、土壌の性質、気象、施肥、耕うんなど多くの因子が関与している。そのため、土壌からの温室効果ガスの放出は大きな時空間変動が生じることになる。地域レベルでの放出量を見積り、放出量を抑制する管理を行うためには、放出を支配する因子を定量的に評価する必要がある。

本研究では、三笠の幾春別川流域(30km^2)の一般農家の11の畑地で、2003から2005年の3ヵ年、無積雪期の4月から11月に2、3週間に1回チャンバー法で温室効果ガスの放出量を測定した。地温(5cm)、土壌水分(0-5cm)を同時に測定した。また土壌0-5cmの一般理化学性を分析した。 CH_4 、 N_2O 放出は植物を刈り取り、その直後に測定した。土壌有機物の分解による CO_2 放出量を得るため、それぞれの圃場に裸地区を設けて測定した。土壌の炭素隔離量は作物残渣と堆肥として投入された炭素と有機物分解により失われた炭素量の差として求めた。純温室効果ガス放出量は温暖化指数により CO_2 換算した N_2O および CH_4 放出量の合計から土壌の炭素隔離量を差し引いて求めた。温暖化指数はIPCC (2001)が推奨する百年換算値を用いた(CO_2 を1として、 CH_4 で23、 N_2O で296)

有機物分解を通して生じた無積雪期の積算 CO_2 放出量は1159から7349 kg C ha^{-1} であった。残渣炭素量は全ての地点、全ての年次で CO_2 放出量より少なかった。土壌の炭素隔離量は堆肥を投入した1箇所のコムギ畑のみ正(4901 kg C ha^{-1})であったが、他はすべて負となり(-7349から-785 kg C ha^{-1})、土壌から炭素が失われていることを示していた。

土壌からの CO_2 フラックスと地温および土壌水分の関係は土壌により異なった。積算 CO_2 放出量は土壌の粘土+シルト含量の2次関数で有意に表され($p < 0.0005$)、

粘土＋シルト含量が63%以下では積算CO₂放出量は粘土＋シルト含量の増加に伴って増加したが、粘土＋シルト含量が63%以上では積算CO₂放出量は低下した。粘土とシルトは土壌構造を安定化させる。土壌構造の安定化は地温と土壌水分の変動を抑制し、微生物を土壌動物の捕食から保護することが知られている。このことが粘土＋シルト含量の増加に伴い積算CO₂放出量を増加させた理由だと思われる。一方、粘土とシルトは有機物と複合体を形成し固定され、微生物による有機物分解を阻害することも知られている。このことが粘土＋シルト含量が63%以上で積算CO₂放出量が低下した原因だと思われた。

すべての地点はN₂Oの発生源だった。N₂Oフラックスは施肥後あるいは収穫期の降雨時にピークを示した。積算N₂O放出量は0.15から7.05 kg N ha⁻¹,であり化学肥料施与量の0.33から5.09 % であった。

N₂Oフラックスは窒素施与とともに有機物分解に伴う窒素の無機化に由来するものが知られている。本研究では、窒素無機化量を積算CO₂放出量をCN比で除して推定した。積算N₂O放出量と化学肥料窒素施与量との間には明瞭な関係は無かった($p > 0.4$)。しかし、粘土含量が最高の1地点を除き、積算N₂O放出量は有意に窒素無機化量と関係が認められ($p < 0.001$)、化学肥料窒素と窒素無機化量の合計(これを土壌無機態窒素プールと呼ぶ)にも有意な関係が認められた($p < 0.001$)。さまざまな気候、土壌、栽培法で得られた年間のN₂OとCO₂放出の文献値を用いて解析した結果はN₂O放出と土壌無機態窒素プールに有意な関係を示した。このことは、環境因子を用いてCO₂放出量を推定することによりN₂O放出量を推定できることを示している。

純温室効果ガス放出量は堆肥が投入されたコムギ畑のみ負の値を示し、温室効果ガスの吸収源であったが、それ以外は全て正の値を示し排出源であることを示していた。CO₂放出は純温室効果ガス放出量の47%から99%を占め、N₂O放出は1%から 53%を占めた。CH₄放出の寄与は無視できるほど小さかった。

以上の結果は以下のように要約される。1) 畑地ではCO₂放出とN₂O放出が主要な温室効果ガス放出であった。2) 土壌の炭素隔離は堆肥施与がない場合負であった。3) N₂O放出は化学肥料窒素とともに有機物分解に伴う窒素放出に有意に影響を受けていた。4) CO₂放出量は土性に依存していた。5) したがって圃場レベルの温室効果ガス放出の測定値を地域レベルへの拡大に土性と化学肥料施肥量を用いることが有効である。

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	准教授	中 原 治

学 位 論 文 題 名

Evaluation of net greenhouse gas budget in various upland crop fields in central Hokkaido, Japan

(道央におけるさまざまな畑地からの温室効果ガス収支の評価)

本論文は11章からなり図18、表16、引用文献265を含む133ページの英文論文であり、他に参考論文3編が添えられている。

農地土壌からの温室効果ガス(二酸化炭素(CO_2)、メタン(CH_4)、亜酸化窒素(N_2O))の放出は、土壌微生物の反応に伴い生じるが、土壌の性質、気象、施肥、耕うんなど多くの因子が関与し、大きな時空間変動が生じる。農地土壌からの温室効果ガス放出を抑制するためには、正確な放出量の見積りがまず必要であり、放出を支配する因子を定量的に評価する必要がある。本研究は、畑地における温室効果ガスの収支を見積り、流域レベルでの評価に結びつけようとしたものである。

三笠の幾峻別川流域(30km^2)の一般農家の11の畑地で、2003から2005年の3カ年、無積雪期の4月から11月に2、3週間に1回チャンバー法で温室効果ガスの放出量の測定を行い、同時に地温(5cm)、土壌水分(0-5cm)を測定した。また土壌0-5cmの一般理化学性を分析した。 CH_4 、 N_2O 放出は植物を刈り取り、その直後に測定した。土壌有機物の分解による CO_2 放出量を得るため、それぞれの圃場に裸地区を設けて測定した。土壌の炭素隔離量は作物残渣と堆肥として投入された炭素と有機物分解により失われた炭素量の差として求めた。純温室効果ガス放出量は温暖化指数により CO_2 換算した N_2O および CH_4 放出量の合計から土壌の炭素隔離量を差し引いて求めた。温暖化指数はIPCC(2001)が推奨する百年換算値を用いた(CO_2 を1として、 CH_4 で23、 N_2O で296)。

有機物分解を通して生じた無積雪期の積算 CO_2 放出量は1159から7349 kg C ha^{-1} であり、土壌の炭素隔離量は堆肥を投入した1箇所のコムギ畑のみ正(4901 kg C ha^{-1})であったが、他はすべて負となり(-7349から-785 kg C ha^{-1})、土壌から炭素が失われていることを示した。

積算 CO_2 放出量は土壌の粘土+シルト含量の2次関数で有意に表され($p < 0.0005$)、粘土+シルト含量が63%以下では積算 CO_2 放出量は粘土+シルト含量の増加に伴って

増加したが、粘土+シルト含量が63%以上では積算CO₂放出量は低下することを示した。このことは、粘土とシルトによる土壌構造の安定化に伴う水分保持能の増加が有機物分解を良好にする効果と、粘土とシルトが有機物と複合体を形成し有機物分解から保護する効果が現れたものと考察した。さらに気温、降水量を加えて重回帰分析を行うとより有意水準の高い関係を認めた。土壌の炭素隔離量は堆肥を投入した畑を除きやはり粘土+シルト含量と有意な関係を認めた。

生育期間の積算N₂O放出量は0.15から7.05 kg N ha⁻¹であり化学肥料施与量の0.33から5.09 %であったことを示した。N₂O放出は窒素施与とともに有機物分解に伴う窒素の無機化に由来するものが知られている。積算N₂O放出量と化学肥料窒素施与量との間には明瞭な関係は無かった($p > 0.4$)。窒素無機化量をCO₂放出量を土壌のCN比で除して推定したところ、1地点を除き、積算N₂O放出量と窒素無機化量の間には有意な関係が認められた($p < 0.001$)。さらに化学肥料窒素と窒素無機化量の合計の土壌無機態窒素プールも、積算N₂O放出量と有意な関係が認められた($p < 0.002$)。さらに、さまざまな気候、土壌、栽培法で得られた年間のN₂OとCO₂放出量の文献値を加えたところ、N₂O放出と土壌無機態窒素プールは同様の有意な関係を示すことを認めた。このことから、環境因子を用いてCO₂放出量を推定することによりN₂O放出量が統一的に推定できることを述べた。

堆肥が投入されたコムギ畑でのみ純温室効果ガス放出量が負となり温室効果ガスの吸収源であることが示された。それ以外の圃場では純温室効果ガス放出量は全て正の値となり、温室効果ガスの排出源であり、堆肥施与の効果が大きいことを示した。CH₄の放出量は無視できるほど小さく、土壌の炭素隔離量とN₂O放出が主要因子であることを認めた。堆肥施与がない場合の純温室効果ガス放出量は、作物に関係なく、土壌の粘土+シルト含量と有意に回帰され、現状の管理における温室効果ガス放出量は、土壌の粘土+シルト含量に基づき広域に推定できる可能性を示した。

このように、本論文は畑地からの温室効果ガス放出が気象、土壌、施肥に関わるパラメータにより関数化し、時空間変動を含む温室効果ガス放出の見積もり精度を向上させることに寄与したものであり、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Jijian Mu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。