

湿地・泥炭地生態系における CH₄, N₂O 収支に攪乱が与える影響

学位論文内容の要旨

土壌は温室効果ガスであるメタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)の放出源であり、それぞれ全球放出量の4割、6割が土壌由来とされる。土壌中でCH₄は還元状態で生成し、N₂Oは硝化の副産物、脱窒の中間物質として生成する。CH₄、N₂O収支は土壌微生物の活性に影響を受け、土壌の乾湿、地温、有機物含量などにより左右される。自然状態の湿原生態系は過湿環境下で泥炭を蓄積し、泥炭地を形成している。泥炭地湿原は陸域面積に占める割合は小さいものの、その炭素蓄積量は膨大である一方、自然湿原からのCH₄放出量は全球の約2割を占める。気候変動に伴う環境変化の顕在化や農地開発により、湿地・泥炭地のCH₄、N₂O収支は大きく変化すると考えられる。本研究は北方、温帯、および熱帯の湿地・泥炭地のCH₄、N₂O収支に対する攪乱の影響を明らかにすることを目的とした。

1. 北海道・石狩泥炭地の美唄湿原(43°19'N、141°48'E)は周辺の農地開発の影響によりミズゴケ中心の原植生へのササの侵入が進行している。ミズゴケ区とササ区(丈20cm)で2002年6月～2003年6月に調査をおこなった。東シベリア・中央ヤクーティア帯には約1万年前の永久凍土の融解・沈下で形成されたアラス(沼地を伴う草地)が点在する。ヤクーツク近郊のアラス(62°19'N、129°30'E)の沼地、湿潤草地、乾燥草地とともに周囲のカラマツ林さらに森林火災跡地、伐採跡地で2004、2005年の生長期間(5～9月)に調査をおこなった。インドネシア熱帯泥炭地帯では火災、農地開発による攪乱が進行している。中央カリマンタン・パラカラヤ(2°17'S、114°01'E)の熱帯泥炭地の天然湿地林、火災跡地、転換農地(無施肥草地、畑地)で2002年3月～2004年3月に調査をおこなった。各地点でクロードチャンパー法を用いCH₄、N₂Oフラックスを経時的に測定し年間(シベリアは成長期間)の収支を得た。CH₄とN₂Oを比較するためCO₂換算した地球温暖化ポテンシャル(GWP)を求めた。
2. 自然湿地のCH₄放出は、ヤクーツクのアラス湿地で大きく(174～864 kg C ha⁻¹ y⁻¹)、カリマンタン・天然泥炭湿地林(-0.21～0.34 kg C ha⁻¹ y⁻¹)で北海道・ミズゴケ湿原(132 ± 35 kg C ha⁻¹ y⁻¹)に比べ小さかった。これらは、文献値の傾向(北方、温帯、熱帯の泥炭地それぞれ0.75～552、132～1320、0.18～12 kg C ha⁻¹ y⁻¹)と北海道、カリマンタンでは一致していたが、ヤクーツクではやや大きかった。ヤクーツクでの乾燥草地、森林、森林攪乱地ではCH₄は吸収もしくはわずかに放出されていた。北海道・ササ侵入湿原のCH₄放出はミズゴケ湿原よりやや低い有意な差は無かった。カリマンタンでは天然泥炭湿地林のCH₄放出に比べ森林火災跡地は同様に低い一方、農地は高い傾向を示した。
3. 自然湿地のN₂O放出はヤクーツクのアラス湿地(-0.034～-0.017 kg N ha⁻¹ y⁻¹)、北海道・ミズゴケ湿原(0.23 ± 0.40 kg N ha⁻¹ y⁻¹)に比べカリマンタン・天然泥炭湿地林で大きかった(0.62～4.4 kg N ha⁻¹ y⁻¹)。ヤクーツクでは湿地が乾燥した地点でN₂O放出の増加(0.16～1.7 kg N ha⁻¹ y⁻¹)が見られ、北海道ササ侵入湿原ではミズゴケ湿原と差はなかった。しかし、カリマンタンの畑地では著しく大きなN₂O放出を示し(21～259 kg N ha⁻¹ y⁻¹)、これは既往の北方・温帯・熱帯の泥炭農地からの報告(それぞれ2.0～37、4.2～165、-1.1～3.3 kg N ha⁻¹ y⁻¹)に比べ大きかった。
4. 北海道・美唄湿原でのCH₄、N₂O放出へのササの侵入の影響は認められなかったが、ササ区ではミズ

ゴケ区に比べ土壌空気中の CH_4 、 CO_2 濃度が高く、 N_2O 濃度は低下しており、より還元的な環境が生成していた。このことは、ササの侵入により湿原表面の泥炭の物理性が変化しガス拡散を抑制したためと思われる。湿原を畑地化すると CH_4 放出は削減されるが N_2O 放出が増加した。一方水田化すると CH_4 放出量が約5倍増加した。

5. ヤクーツクのアラス沼地周辺湿潤草地からの CH_4 放出は湛水状況の違いにより大きく変動し、湛水日数と放出量に有意な正の相関があった。GPSにより沼地面積を測定し季節変動を把握すると、融雪期に沼地面積は最大となり夏期間に減少し、降雨により一時的に増加していた。そのためヤクーツクでは春先に CH_4 放出量が大きいと推察される。本アラスからの総 CH_4 放出量は同面積の森林による CH_4 吸収の374倍と見積もられ、本地域のアラス面積割合は17%とされることから、本地域はアラスの存在により CH_4 の放出源となっているとみられた。また、ヤクーツクでの N_2O 放出は生長期間中に湛水の消滅した湿潤草地で突発的に見られたが、年間の温暖化への貢献をGWPで比較するとアラスからの N_2O 放出は CH_4 放出に比べ極めて小さかった。

6. ヤクーツクの火災、伐採による攪乱跡地でもカラマツ林と同様の CH_4 吸収もしくはわずかな放出であり、有意な差は無かった。 N_2O 放出もカラマツ林同様小さかった。火災跡地、伐採跡地の CH_4 、 N_2O 放出はカラマツ林と同程度であり、森林攪乱の CH_4 、 N_2O 収支への影響はアラスに比べて小さかった。従って、森林攪乱後に永久凍土が融解し沼地化する場合に CH_4 放出の問題が顕在化することになる。

7. カリマンタン熱帯泥炭地では、森林火災跡地の CH_4 、 N_2O 放出は天然林と大きな差はなかったが、農地化により大きく増加する傾向にあった。GWPで比較すると CH_4 よりも N_2O の方が温暖化への貢献が大きく、無施肥の草地でも N_2O 放出が有意に増加していた($7.1 \sim 23 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$)。 N_2O フラックスは乾期よりも雨期に高く、土壌水分変化が N_2O 放出の季節変化の制御要因であった。

8. いずれの地域も CH_4 、 N_2O ともに、森林火災や伐採、異種植物の侵入による自然泥炭湿地の攪乱のみでは大きな放出量の変化は認められなかった。しかし、北海道での例のように、土壌中の濃度分布が変化するなど、その放出のメカニズムは変化している可能性が認められた。本研究では CH_4 放出は熱帯で小さく北方で大きい一方、 N_2O は熱帯で大きく北方で小さいという逆の傾向を示し、 CH_4 と N_2O 放出にはトレードオフの関係が認められた。 CH_4 放出が熱帯泥炭湿地林で北方湿地に比べ小さかった理由としては、熱帯では水位の低下幅が極めて大きく還元が進みにくく、また CH_4 生成の基質となる有機物の質も嫌氣的分解を受けにくい可能性があると考えられる。対照的に北方の湿地は湛水が維持され還元的になりやすく大きな CH_4 放出が生じる傾向が認められた。永久凍土地帯での新たな湿地形成は強力な CH_4 のソースを不可逆的に増加させるため、森林攪乱後の回復過程と湿地形成の因子解明が求められる。また、 N_2O 放出が熱帯の農地で大きかった理由は、農地への化学肥料や家畜糞尿の投入、排水による泥炭の乾燥が微生物活動の活発化を促し、土壌中窒素循環速度が増加した可能性が高く、今後その原因解明が求められる。

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

湿地・泥炭地生態系における CH₄, N₂O 収支に攪乱が与える影響

本論文は10章からなり、図49、表21、引用文献242を含む129ページの和文論文である。他に参考論文10編が添えられている。

土壌は温室効果ガスであるメタン(CH₄)、亜酸化窒素(N₂O)の主要な放出源であり、その収支は土壌微生物の活性に影響を受け、土壌の乾湿、地温、有機物含量などに左右される。気候変動に伴う環境変化の顕在化や農地開発により、湿地・泥炭地のCH₄、N₂O収支は大きく変化すると考えられる。本研究は北方、温帯、熱帯の湿地・泥炭地のCH₄、N₂O収支に対する攪乱の影響を明らかにすることを目的とした。

1. 北海道・石狩泥炭地の美唄湿原(43°19'N、141°48'E)は周辺の農地開発の影響によりミズゴケ中心の原植生へのササの侵入が進行している。ミズゴケ区とササ区(丈20cm)を調査地とし、周辺の転換農地(水田、畑)での測定例と比較した。東シベリア・中央ヤクーティア一帯には約1万年前の永久凍土の融解・沈下で形成されたアラス(沼地を伴う草地)が点在する。ヤクーツク近郊のアラス(62°19'N、129°30'E)の沼地、湿潤草地、乾燥草地と周囲のカラマツ林、森林火災跡地、伐採跡地を調査地とした。インドネシア熱帯泥炭地帯では火災、農地開発による攪乱が進行している。中央カリマンタン・パランカラヤ(2°17'S、114°01'E)の熱帯泥炭地の天然泥炭湿地林、火災跡地、転換農地(無施肥草地、畑地)を調査地とした。各地点でクロードチャンバー法を用いCH₄、N₂Oフラックスを経時的に測定し年間(シベリアは生長期間)の収支を得た。CH₄とN₂Oを比較するためCO₂換算した地球温暖化ポテンシャル(GWP)を求めた。
2. 北海道では湿原の畑地化でCH₄放出は削減されるがN₂O放出が増加した。水田化するとCH₄放出量が約5倍増加した。植生変化は農地化ほど大きな影響を与えなかった。東シベリアではアラス沼地近傍湿地はCH₄の放出源であり(174~864 kg C ha⁻¹ y⁻¹)、北海道の水田と同程度であった。その他の地点のCH₄、N₂O放出は小さかった。インドネシアでは天然泥炭湿地林のCH₄放出(-0.21~0.34 kg C ha⁻¹ y⁻¹)は北方湿地に比べ小さかった。森林火災がCH₄、N₂O収支に与える影響は明確ではなかった。農地化によるN₂O放出増加は北方より大きく、畑地のN₂O放出(21~259 kg N ha⁻¹ y⁻¹)は泥炭農地からの報告例に比べ極めて大きかった。

3. 北海道の泥炭湿地の水田化は水位上昇に伴う CH_4 放出増加を、畑地化は乾燥・窒素施肥に伴う N_2O 放出増加を引き起こしていた。ミズゴケ湿原では、ササの侵入に伴い湿原表面の泥炭の物理性が変化しガス拡散が抑制されていた。また、湿原極表層の泥炭分解がガスフラックスに影響を及ぼす可能性も示唆された。
4. 東シベリアのアラス沼地周辺湿潤草地からの CH_4 放出は湛水状況の違いにより大きく変動していた。沼地面積の季節変動を考慮して見積もられた本アラスからの総 CH_4 放出量は同面積の森林による吸収量の 374 倍と極めて大きく、本地域はアラスの存在により CH_4 の放出源であるとみられた。湛水消滅後の湿潤草地で N_2O 放出が一時的に見られたが CH_4 放出に比べ極めて小さかった。森林攪乱の CH_4 、 N_2O 収支への影響はアラスに比べて小さく、森林攪乱後に新たなアラスの形成が起こった場合にこの地域からの CH_4 放出量はさらに増加する。
5. インドネシア熱帯泥炭地では、大きな N_2O 放出は雨期に見られ、土壌水分変化が N_2O 放出の季節変化の制御要因であった。高土壌水分時には土壌 $\text{NO}_3\text{-N}$ も農地の N_2O 放出の規定要因であった。
6. 北海道・インドネシアともに、森林火災や異種植生侵入による自然泥炭湿地の攪乱のみでは CH_4 、 N_2O 収支は大きく変化せず、人為的な土地利用変化が最大の変化要因であった。本研究では CH_4 放出は北方、 N_2O 放出は熱帯で大きく、両者にはトレードオフの関係が認められた。熱帯では北方に比べ水位の低下幅が極めて大きく還元が進みにくく、また CH_4 生成の基質となる有機物の質も嫌氣的分解を受けにくい可能性があり、 CH_4 放出増加の可能性は低いと考えられた。一方、熱帯の多量 N_2O 放出は多毛作に伴う多量施肥が一因と考えられるが、それ以外にも様々な要因が関与しているとみられ、今後その原因解明が求められる。

本研究は、さまざまな攪乱を受けた北方、熱帯の湿地・泥炭地の CH_4 、 N_2O の放出に、人為的土地利用変化が大きな影響を与えていることを示したものであり、今後の土地利用のあり方に資するとともに、学術的にも国際学会でポスター賞を受賞するなど高い評価を受けている。よって、審査員一同は、高階史章が博士(農学)の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。