

水田におけるメタンフラックスと水稻体を通した メタン放出機構に関する研究

学位論文内容の要旨

本論文は、図 39、表 7、118 ページからなる和文で、別に 10 編の参考論文が添えられている。

大気中のメタン濃度は産業革命以降徐々に増加しており、特に 1950 年以降は急激に増加してきた。大気中のメタン濃度の増加は地球温暖化を引き起こし、地球環境の悪化に結びつく。メタンは種々の自然および人為的放出源から発生しており、メタンの発生の機構を解明し、炭酸ガスと同様に発生量を削減することが地球環境保全上、大きな課題となっている。

この研究はメタンの主要な人為的発生源である水田について、メタンフラックスの季節変化や日変化と気象要素の関係を解析すると共に、水稻体を通したメタン輸送機構を解明したものである。

第 1 章は「序論」であり、大気中のメタン濃度の増加と水田のかかわり、既往の研究、研究目的などである。

第 2 章は「水田のメタンフラックスおよび土壌水中メタン濃度の季節変化」である。4 年間の水稻生育期間について、稲ワラ区、化成肥料区に分けて、メタンフラックスおよび土壌水中メタン濃度の季節変化・年変動を調べた。その結果、水稻生育後半（出穂期以降）には、メタンフラックスおよび土壌水中メタン濃度とも両区の差は小さくなった。また、水稻生育末期には、両区とも土壌水中メタン濃度は高濃度であったが、メタンフラックスは減少傾向にあった。これは水稻体を通したメタン輸送コンダクタンス（以下、コンダクタンス）の低下が原因と推察された。また、水稻生育期間中の水田からの総メタン放出量は、稲ワラ区で $31.8 \sim 74.9 \text{ gm}^{-2}$ 、化成肥料区で $4.4 \sim 8.5 \text{ gm}^{-2}$ であり、年による変動が大きかった。さらに、水稻体のコンダクタンスは温度と密接な関係があることが判明した。

第 3 章は「水田のメタンフラックスの日変化とその要因」である。メタンフ

ラックスは15時頃極大、7～8時頃極小を示す日変化をし、これは地温（深さ1cm）の日変化の位相と一致する傾向が見られた。また、土壌水中のメタン濃度、水稻体のコンダクタンス、ネットメタン生成速度などの日変化と気象要素の関係を調べた。その結果、土壌水中のメタン濃度は地温の日変化の位相と逆の傾向が見られた。水稻体のコンダクタンスは地温の日変化と位相が一致し高い相関が見られたが、気温とは位相がずれており相関も低かった。ネットメタン生成速度は、地温（深さ5cm）と高い相関がみられ、さらに日射量の影響も示唆された。これらのことから地温が水稻体のコンダクタンスやネットメタン生成速度に影響を及ぼし、メタンフラックスの日変化に関与していることが判明した。

第4章は「水稻体を通したメタン輸送に及ぼす温度の影響」である。水田のメタンフラックスの季節変化や日変化の測定結果から、温度が水稻体を通したメタン輸送過程に影響を及ぼすと考えられた。そこで水稻の根圏から大気へのメタン輸送速度に及ぼす温度の影響を調べるため、水耕栽培の水稻を用いた実験を行った。その結果、水耕液温度の変化とコンダクタンスの変化は一致した。しかし、地上部の稲体周囲の気温を変化させる実験では、コンダクタンスの変化は比較的小さかった。また、水耕液温度を変化させてコンダクタンスと溶液中のメタン拡散係数を調べた結果、コンダクタンスの温度依存性には拡散の温度依存性以外の要素が関係していることが判明した。水耕液に浸潤した水稻根の量を変化させた実験から、水稻体を通したメタン輸送過程には水稻根の水耕液に接する面積が関係することが判明した。また、明条件と暗条件でコンダクタンスを調べた結果、コンダクタンスに変化がないことからメタン輸送過程は蒸散流とは関係がないことが判明した。さらに、水稻の生育段階によってもコンダクタンスは変化した。温度との関係は生育段階によらずほぼ一定であった。これらの結果から、水稻地下部の温度が水稻体を通したメタン輸送過程に大きく影響することが示された。

第5章は「水田土壌中の気相が水稻体を通したメタン輸送に及ぼす影響」である。水稻の地下部（根および茎の一部）をメタンガスにさらし、そのガスの圧力を変化させ、水稻地上部からのメタン放出速度を通気式チャンバー法により測定した。その結果、水稻地下部を暴露したメタンガスの圧力の増加により、水稻地上部からのメタン放出速度は著しく増大した。しかし、茎の基部付近をアルギン酸塩で被覆し、茎が直接メタンガスに接触しないようにすると、メタンガスの圧力を増大させてもメタン放出速度は増加しなかった。また、水田における観測から、気相が土壌の表層付近（例えば、深さ1cm）に存在している

ことが推察され、水田において水稻茎の基部付近の一部は気相に接していると考えられた。一方、従来提唱された稲茎表面の薄い空気層を通したマスフローによるメタン輸送を確かめる実験を行った。稲茎表面の薄い空気層を遮断しても、メタン放出速度に変化はなかったことから、茎表面のマスフローによるメタン輸送は確認されなかった。これらの結果から、土壌中の気相が水稻の茎の基部付近から、田面水の圧力によって水稻の通気組織に侵入し、大気中へ放出される機構が判明した。

第6章は「水田のメタンフラックスのモデル化」である。1993年～1996年の水稻生育期間における試験水田のメタンフラックス、および土壌水中メタン濃度の季節変化データから、コンダクタンスの推定式を回帰分析により作成した。その結果、稲ワラ区、化成肥料区とも、地温と移植後日数をパラメータとして用いた重回帰式によりコンダクタンスを精度よく推定できた。この推定されたコンダクタンスと実測土壌水中メタン濃度とからメタンフラックスの季節変化をよく再現できた。このことから、拡散モデルはメタンフラックスの季節変化のモデル化の基本モデルとして、有効なものと考えられた。

以上のように、本論文は水田におけるメタンフラックスの日変化、季節変化を測定し、これらの変化と気象要素の関係を明らかにした。また、水稻体を通したメタン輸送のメカニズムを研究し、解明した。さらに、これらの研究に基づいて、水田のメタンフラックスのモデルを作成し、実測値と良く再現することを見いだした研究である。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 堀 口 郁 夫

副 査 教 授 波多野 隆 介

副 査 教 授 松 田 豊

学 位 論 文 題 名

水田におけるメタンフラックスとと水稻体を通した メタン放出機構に関する研究

本論文は、図 39、表 7、118 ページからなる和文で、別に 10 編の参考論文が添えられている。

大気中のメタン濃度は産業革命以降徐々に増加しており、特に 1950 年以降は急激に増加してきた。大気中のメタン濃度の増加は地球温暖化を引き起こし、地球環境の悪化に結びつく。メタンは種々の自然および人為的放出源から発生しており、このメタンの発生の機構を解明し、炭酸ガスと同様に発生量を削減することが地球環境保全上、大きな課題となっている。

この研究はメタンの主要な人為的発生源である水田について、メタンフラックスの季節変化・日変化と気象要素の関係を解析すると共に、水稻体を通したメタン輸送機構を解明したものである。

第 1 章は「序論」であり、既往の研究、研究目的などである。

第 2 章は「水田のメタンフラックスおよび土壌水中メタン濃度の季節変化」である。4 年間の水稻生育期間について、稲ワラ区、化成肥料区に分けて、メタンフラックスおよび土壌水中メタン濃度の季節変化・年変動を調べた。その結果、水稻生育後半（出穂期以降）には、メタンフラックスおよび土壌水中メタン濃度とも両区の差は小さくなった。また、水稻生育末期には、両区とも土壌水中メタン濃度は高濃度であったが、メタンフラックスは減少傾向にあった。さらに、水稻生育期間中の水田からの総メタン放出量は、稲ワラ区で $31.8 \sim 74.9 \text{ gm}^{-2}$ 、化成肥料区で $4.4 \sim 8.5 \text{ gm}^{-2}$ であった。

第 3 章は「水田のメタンフラックスの日変化とその要因」である。メタンフラックスの日変化は、15 時頃極大、7～8 時頃極小を示した。これは地温の日変化の位相と一致する傾向が見られた。また、土壌水中のメタン濃度、水稻体のコンダクタンス、

ネットメタン生成速度などの日変化と気象要素の関係を調べた。その結果、土壌水中のメタン濃度は地温の日変化の位相と逆の傾向が見られた。水稻体のコンダクタンスは地温の日変化と位相が一致し高い相関が見られたが、気温とは位相がずれており相関も低かった。ネットメタン生成速度は、地温（深さ 5cm）と高い相関がみられた。これらのことから地温が水稻体のコンダクタンスやネットメタン生成速度に影響を及ぼし、メタンフラックスの日変化に関与していることが判明した。

第4章は「水稻体を通したメタン輸送に及ぼす温度の影響」である。水耕栽培の水稻を用いて、メタン輸送速度に及ぼす温度の影響を調べる実験を行った。その結果、水耕液温度の変化とコンダクタンスの変化は一致した。しかし、地上部の稲体周囲の気温を変化させる実験では、コンダクタンスの変化は比較的小さかった。また、水耕液に浸潤した水稻根の量を変化させた実験から、水稻体を通したメタン輸送過程には水稻根の水耕液に接する面積が関係することが判明した。さらに、明条件と暗条件でコンダクタンスを調べた結果、コンダクタンスに変化がないことからメタン輸送過程は蒸散流とは関係がないことが判明した。これらの結果から、水稻地下部の温度が水稻体を通したメタン輸送過程に大きく影響することが判明した。

第5章は「水田土壌中の気相が水稻体を通したメタン輸送に及ぼす影響」である。水稻の地下部（根と茎の一部）をメタンガスにさらし、圧力を変化させ水稻地上部からのメタン放出速度を測定した。その結果、水稻地下部のメタンガスの圧力が増加すると、水稻地上部からのメタン放出速度は著しく増大した。しかし、茎の基部付近をアルギン酸塩で被覆し、茎が直接メタンガスに接触しないようにすると、圧力を増大させてもメタン放出速度は増加しなかった。また、水田における観測から、水稻茎の基部付近の一部は水田のメタン気相に接していると考えられた。これらの結果から、土壌中の気相が水稻の茎の基部付近から、田面水の圧力によって水稻の通気組織に侵入し、大気中へ放出される機構が判明した。

第6章は「水田のメタンフラックスのモデル化」である。試験水田のメタンフラックス、および土壌水中メタン濃度の季節変化データから、コンダクタンスの推定式を作成した。その結果、稲ワラ区、化成肥料区とも、地温と移植後日数をパラメータとして用いた重回帰式によりコンダクタンスを精度よく推定できた。この推定されたコンダクタンスと実測土壌水中メタン濃度から、メタンフラックスの季節変化をよく再現できた。

以上のように、本論文は水田におけるメタンフラックスと気象要素の関係および水稻体を通したメタン輸送のメカニズムを明かにし、水田のメタンフラックスのモデルを作成した研究である。この成果は学術的に高く評価される。よって審査員一同は、細野達夫が博士（農学）の学位をうけるに十分な資格を有するものと認めた。