

# 水田への疎水材暗渠の整備による温室効果ガス排出抑制の効果

道総研中央農業試験場 ○塚本康貴  
農研機構農村工学研究所 北川 巖

## I. はじめに

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)では、温室効果ガス濃度は増加しており、気候変動を抑制するには温室効果ガス排出量の大幅かつ持続的な削減が必要<sup>1)</sup>と述べられている。世界的には農業部門の温室効果ガス排出量が増加している報告<sup>2)</sup>もあり、農業部門においてはこれまでに以上の地球温暖化緩和に向けた取り組みを行う必要がある。

稲作が主要な農業である日本において、農業分野での地球温暖化緩和策となる農地管理には、日本の農林水産業における温室効果ガス排出の15%を占める水田からのメタンの排出<sup>3)</sup>を抑制する技術が求められている。水田は長期間圃場を湛水状態にするため、特に排水不良な圃場では土壌が還元的な環境になりやすくメタン排出が助長される。そのため圃場の排水性を良好にすることがメタン排出を抑制する有効な手段の一つとなる。これまでに主には水稻の栽培管理として、中干し延長によるメタン排出抑制対策<sup>4)</sup>が提案されている。

他方、日本では水田の乾田化や汎用化のための排水対策として、暗渠排水の整備が広く行われている。特に近年では疎水材を有する暗渠整備が普及し、暗渠の排水機能や耐久性が向上している。さらに水田への暗渠整備による排水改良は、従来の知見から水田のメタン排出抑制に効果的であることが推察できる。農業農村整備事業による暗渠排水を含めた水田の区画整備率が、全国の水田面積2,474,000haの63.2%を占める<sup>5)</sup>ことから、水田への暗渠整備がメタン排出抑制に与える効果は大きい。しかしながら、暗渠整備によるメタンの排出抑制の具体的な効果についての知見<sup>6)</sup>は少ない。

そこで、本報では疎水材暗渠が整備された水田圃場内において、暗渠埋設位置からの距離とメタン排出量や土壌の還元程度との関係、ならびに暗渠整備の有無によるメタン排出量との関係について調査を行うことで、水田への暗渠整備がメタン排出に及ぼす影響を明らかにする。

## II. 試験方法

### 1. 調査圃場

2009年にカラマツ木材チップを疎水材とする暗渠排水を整備した、北海道月形町の水田圃場(0.29ha)において、2010年～2012年にメタンフラックスの発生を調査した。調査圃場の模式図を図-1に示す。

暗渠の間隔は10mで、平均埋設深は0.7m、地表面から0.25mの深さより疎水材が投入されている。疎水材として投入した木材チップの量は60t/haである。

圃場の土壌型はグライ台地土であり、土性は国際法でLiC～HCと粘土分が多く、作土下

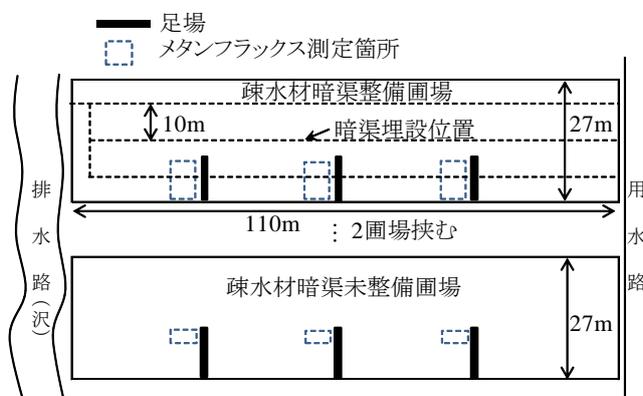


図-1 調査圃場の模式図および測定箇所

の飽和透水係数が低い圃場である(表-1)。

調査圃場における栽培品種は「ななつぼし」である。水稻栽培期間中における水管理として、湛水期間は5月中旬から8月中旬で、中干しは実施されていない。

表-1 疎水材暗渠施工圃場の土壌理化学性

深さ (cm)	土性 (国際法)	乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	飽和透水係数 (cm/s)	pH (H <sub>2</sub> O)
0~18	LiC	1.00	$3.0 \times 10^{-4}$	5.59
18~28	LiC	1.20	$2.0 \times 10^{-6}$	5.68
28~50	HC	1.31	$7.5 \times 10^{-7}$	5.65
50~80	HC	1.04	$1.8 \times 10^{-5}$	5.45

## 2. 調査内容

### (1) メタンフラックスの測定

メタンフラックスの測定について、疎水材暗渠の整備圃場では暗渠直上、および1m, 2m, 4m離れた地点において各地点3反復とし、クロードチャンバー法を用いた(図-2)。チャンバー内のガスをバイアル瓶に採取し、島津社製のガスクロマトグラフにて濃度を測定することでメタンフラックスを算出した。測定頻度については非積雪期間(6~10月)に概ね月1回の間隔で行った。2011年からは隣接する疎水材暗渠未整備圃場においてもメタンフラックスを測定した。

水稻栽培期間については透明アクリル製のチャンバー(縦600mm, 横300mm, 高さ600mm)を用い、非栽培期間については塩化ビニル製の円筒チャンバー(外径216mm, 高さ230mm)を用いた(写真-1)。

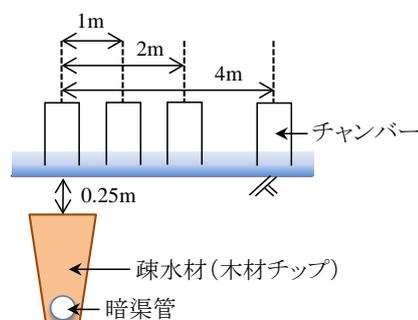


図-2 疎水材暗渠整備圃場におけるメタンフラックス採取位置



水稻栽培期間

水稻非栽培期間

写真-1 チャンバーを用いたガス採取状況

### (2) 土壌断面調査および現場透水試験

2011年秋に暗渠直上近傍、および暗渠から4m離れた地点において、土壌断面調査を実施した。グライ化の程度を0.2%α, α'ジピリジル液の呈色により判定<sup>7)</sup>することで土壌の還元状態を把握するとともに、各地点の作土(0~15cm深)および耕盤(15~30cm)の土壌を採取し、2価鉄含量を測定した。2014年秋には疎水材暗渠未整備圃場を加えて同様の調査を実施した。

さらに暗渠直上、および1m, 2m, 4m離れた地点においてシリンダーインテークレート法<sup>8)</sup>による現場透水試験を実施した。

### Ⅲ. 調査結果

#### 1. 疎水材暗渠整備圃場におけるメタンフラックスの推移

暗渠埋設位置からの距離におけるメタンフラックスの推移を図-3に示す。暗渠整備による水田からのメタンフラックスは、夏季にかけて高まり、湛水期間が終了する秋に低下する傾向を示した。また暗渠から1m以内の地点では、暗渠から2m以上離れた渠間の地点や暗渠未整備圃場に比べ概ね低く推移した。この傾向は年次によらず同様であった。

これらのことから、暗渠埋設位置周辺では特に湛水期間中のメタン発生が抑制されていると考える。

なお、亜酸化窒素フラックスについてはほぼゼロに近い値で推移し、暗渠整備による影響は見られなかった(図-4)。

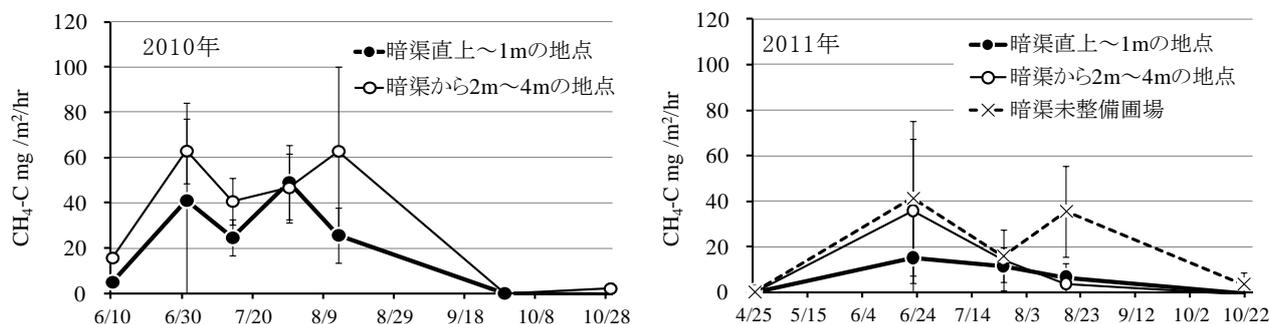


図-3 水田圃場におけるメタンフラックスの推移  
(図中のエラーバーは標準偏差を示す)

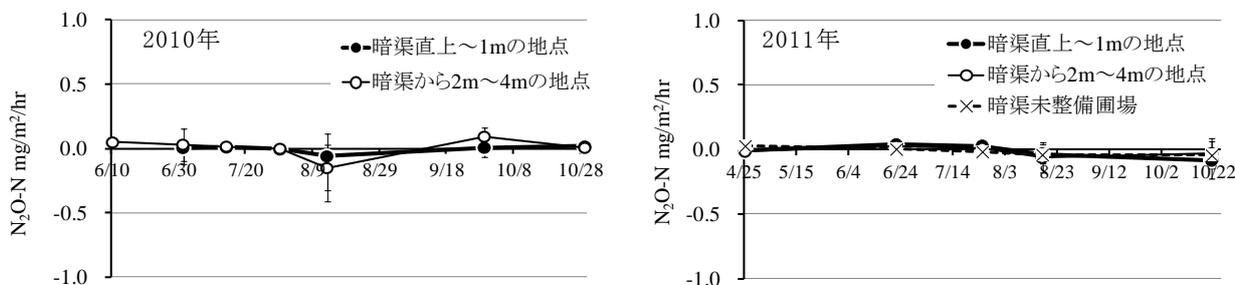


図-4 水田圃場における亜酸化窒素フラックスの推移  
(図中のエラーバーは標準偏差を示す)

#### 2. 疎水材暗渠の整備が土壌の酸化還元状態に与える影響

暗渠埋設位置からの距離により、メタンフラックスを測定したところ、メタン発生量に明らかな差異の傾向が見られた。メタンの発生は土壌が嫌氣的な状態で促進されることから、土壌の状態や透排水性も暗渠埋設位置からの距離により異なることが想定できる。そのため、暗渠直上近傍と暗渠から4m離れた地点において、土壌断面調査を実施して土壌断面の状態と土壌還元程度の違いについて調査を実施した。調査結果を表-2に示す。

表-2 土壌断面調査結果（2011年）

【暗渠直上近傍】

深さ (cm)	土壌 硬度 <sup>1)</sup> (mm)	土壌構造	孔 隙	グライ 反応 <sup>2)</sup>
0～16	6	角塊状 発達弱度	細孔富む 亀裂含む	+
16～35	21	角塊状 発達中度	亀裂含む	+
35～	21	角塊状 発達強度	亀裂富む	-

【暗渠から4m離れた位置】

深さ (cm)	土壌 硬度 <sup>1)</sup> (mm)	土壌構造	孔 隙	グライ 反応 <sup>2)</sup>
0～16	1	無構造 (泥濘状)	なし	++
16～32	21	角塊状 発達中度	亀裂含む	+++
32～	17	角塊状 発達中度	亀裂富む	+

1) 山中式硬度計による。

2) ジピリジル液による呈色反応。

-: 呈色なし, +: 程度弱い, ++: 即時鮮明, +++: 即時非常に鮮明

調査を実施した時期は降雨が多く、圃場も全体的に湿潤な状態であった。暗渠直上近傍は作土が湿潤状態であるが土壌構造が確認でき、作土や作土下の耕盤のジピリジル液による呈色反応も弱い。一方、暗渠から4m離れた地点では作土が泥濘状で孔隙が確認できず、山中式土壌硬度計で測定した土壌硬度も非常に低い値である。ジピリジル液による呈色程度は作土や耕盤で強い反応を示した。

また、施工後5年経過した2014年に、疎水材暗渠未整備圃場も加えた同様の調査を実施した（表-3）。2014年は秋が好天で経過したため、作土に亀裂が生じており乾燥状態であったことから、いずれの圃場においても作土の泥濘化は見られなかった。しかし暗渠直上近傍と暗渠から4m離れた地点の作土下の様相は、2011年と同様であった。暗渠未整備圃場では、下層土の土性など土壌条件が暗渠整備圃場と異なっており、ジピリジル液による呈色反応は見られなかったが、作土や耕盤の状態は暗渠から4m離れた地点よりも、土壌構造が未発達で還元程度が強かった。

表-3 土壌断面調査結果（2014年）

【暗渠直上近傍】

深さ (cm)	土壌 硬度 <sup>1)</sup> (mm)	土壌構造	孔 隙	グライ 反応 <sup>2)</sup>
0～18	11	角塊状 発達中度	細孔富む 亀裂富む	-
18～44	23	角塊状 発達中度	亀裂含む	-
44～	19	角塊状 発達強度	亀裂富む	+

【暗渠から4m離れた地点】

深さ (cm)	土壌 硬度 <sup>1)</sup> (mm)	土壌構造	孔 隙	グライ 反応 <sup>2)</sup>
0～17	7	角塊状 発達中度	細孔富む 亀裂富む	-
17～40	18	角塊状 発達中度	亀裂含む	+++
40～	20	角塊状 発達強度	亀裂含む	+++

【疎水材暗渠未整備圃場】

深さ (cm)	土壌 硬度 <sup>1)</sup> (mm)	土壌構造	孔 隙	グライ 反応 <sup>2)</sup>
0～12	12	角塊状 発達中度	細孔富む 亀裂富む	++
12～34	20	無構造	亀裂含む	+++
34～	23	無構造	亀裂含む	-

1) 山中式硬度計による。

2) ジピリジル液による呈色反応。

-: 呈色なし, +: 程度弱い, ++: 即時鮮明, +++: 即時非常に鮮明

土壌中の2価鉄含量について、暗渠直上近傍では作土に比べ耕盤の値が若干高い程度である一方、暗渠から4m位置での耕盤では作土の値に比べ明らかに高かった。その傾向は施工後5年経過後の2014年においても同様であった(表-4)。

表-4 暗渠からの距離が土壌中の2価鉄含量に与える影響

暗渠埋設位置からの距離	土壌採取位置	2価鉄含量(mg/kg)	
		2011年	2014年
暗渠直上近傍	作土(0-15cm)	39.4	31.4
	耕盤(15-30cm)	78.3	24.4
暗渠から4m	作土(0-15cm)	44.8	43.9
	耕盤(15-30cm)	1,633	429
疎水材暗渠未施工圃場	作土(0-15cm)	—	79.7
	耕盤(15-30cm)	—	234

### 3. 疎水材暗渠整備が圃場の透水性に与える影響

図-5に暗渠直上、および暗渠から1m、2m、4m離れた地点においてシリンダーインタークレート法による現場透水試験をおこなった結果を示す。暗渠埋設位置に近づくにつれてIb(ベーシックインタークレート)の値が高まり、疎水材暗渠の整備により暗渠埋設位置周辺の透水性が高まる結果が得られた。

これらのことから、疎水材暗渠の整備により特に暗渠埋設位置近傍の透水性が高まることで、作土や耕盤の土壌還元が弱まり、メタン排出が抑制されたと考える。

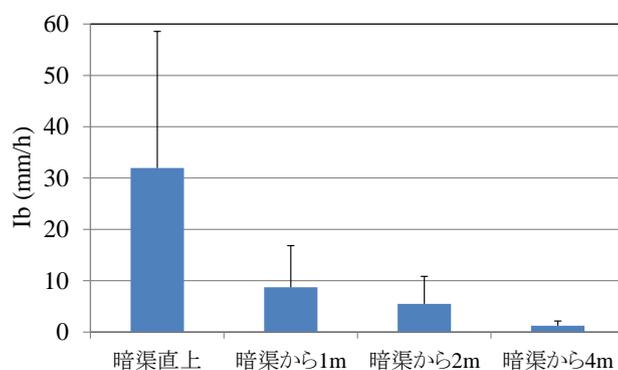


図-5 暗渠からの距離が現場透水性に与える影響  
(2011年, エラーバーは標準偏差を示す)

### 4. 疎水材暗渠整備の有無による圃場全体でのメタン発生量

図-3の結果を基に、今回調査を実施した圃場全体からのメタン発生量の算出を試みた。暗渠整備圃場における算出方法として、暗渠直上、1m、2m位置については、実測値を用いた範囲を測定位置を中心とした1m区間とした。残りの面積についてはほぼ渠間部である4mの値を用いた。

その結果、暗渠整備圃場のメタン発生量は、暗渠未整備圃場と比較すると2011年に51%、2012年に31%と明らかに減少しており、疎水材暗渠の整備は水田からのメタン発生を大幅に削減できることが明らかになった。

#### IV. おわりに

暗渠が整備された水田では未整備圃場に比べ、地下水位およびグライ層出現位置が低く、透水性が高く土壌が酸化的な状態となっており、メタン発生量が少ないとの知見がある<sup>6)</sup>。今回の試験結果も同様の結果が得られたが、メタンフラックスや土壌の酸化還元状態、透水性などについて暗渠埋設位置からの距離との関係を解析することで、暗渠排水による面的なメタン排出抑制効果の発現機構を明らかにすることができた。

以上のことから水田の汎用化を進める暗渠の整備は、地球温暖化の緩和策として有効であり、農業農村整備事業における農業生産力強化と地球環境保全を両立する貢献策である。

現在、北海道では暗渠疎水材にモミガラや木材チップなど有機質資材も多く使用されている。水田への暗渠疎水材に有機質資材を用いることは、高い炭素貯留効果の可能性が考えられ、暗渠整備によるメタン排出抑制とともに地球温暖化緩和策になり得る。今後は、疎水材として使用した有機質資材の経年変化を捉えつつ、地球温暖化緩和策の視点からの暗渠整備手法について検討する必要があると考える。

#### 【引用文献】

- 1) 気象庁:IPCC 第5次評価報告書 第1作業部会報告書 政策決定者向け要約 気象庁訳,  
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/index.html>(2013)
- 2) FAO:Agriculture,Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks 1990-2011 Analysis,  
<http://www.fao.or.jp/detail/article/1205.html>(2014)
- 3) 農林水産省:農林水産分野における温室効果ガスの排出削減状況,  
<http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/kikaku/goudou/16/>(2013)
- 4) Itoh, M., Sudo, S., Mori, S., Saito, H., Yoshida, t., Shiratori, Y., Suga, S., Yoshikawa, N., Suzue, Y., Mizukami, H., Mochida, T., and Yagi, K.: Mitigation of methane emissions from paddy fields by prolonging midseason drainage. *Agric. Ecosys. Environ.*, 141, pp.359~372(2011)
- 5) 農林水産省:農業生産基盤の整備状況について,  
[http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/nousin/bukai/h25\\_4/pdf/siryoushou5.pdf](http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/nousin/bukai/h25_4/pdf/siryoushou5.pdf)(2014)
- 6) Shiratori, Y., Watanabe, H., Furukawa, Y., Tsuruta, H., and Inubushi, K.: Effectiveness of a subsurface drainage system in poorly-drained paddy fields on reduction of methane emission. *Soil Sci. Plant nutr.*, 53, pp.387~400(2007)
- 7) 日本ペドロジー学会編:土壌調査ハンドブック 改訂版, 博友社, pp.95~96(1997)
- 8) 土壌環境分析法編集委員会編:土壌環境分析法, 博友社, pp.76~79(1997)