

## 水稲品種の違いが水田からのメタン放出量に及ぼす影響

### 多収品種作付けによるメタン放出削減の可能性

高階史章<sup>1</sup>, 菅田季伸<sup>1</sup>, 松田英樹<sup>1</sup>, 佐藤孝<sup>1</sup>, 金田吉弘<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 秋田県立大学生物資源科学部生物環境科学科

水稲の生産調整に伴い、秋田県で今後栽培面積の増加が見込まれる飼料米及び新規需要米用の水稲を対象とし、水稲品種の違いが水田からのメタン放出量に及ぼす影響を検討した。調査は、2009年に秋田県大潟村の農家水田圃場（重粘質細粒グライ土）で行った。一般品種の「あきたこまち」、飼料米用品種の「べこあおば」、新規需要米用として多収品種である「秋田63号」の3品種の水稲を栽培し、メタン放出量を測定するとともに、水稲の収量及び収量構成要素を調査した。秋田63号の精玄米重（726 g m<sup>-2</sup>）は、他の2品種（593～627 g m<sup>-2</sup>）に比べ有意に大きかった。栽培期間を通じ、メタンフラックスの推移は全ての品種で同様であった。栽培期間中の積算メタン放出量（面積あたり）は、品種間に有意差は無かった（28.1～31.0 g-C m<sup>-2</sup>）。収量あたりの積算メタン放出量は、3品種の中で秋田63号がもっとも小さかったことから、同品種は水稲の生産性向上とメタン放出抑制を両立できる品種である可能性が示された。

**キーワード：**メタン、品種間差、収量あたりメタン放出量、クローズドチャンバー法、飼料用米、新規需要米

近年、地球の平均気温は上昇を続けており、特に過去50年間の気温上昇は主に温室効果ガスの放出などの人間活動に由来すると考えられている。今後、大気中の温室効果ガス濃度が上昇し続けると、地球の平均気温が100年で0.3～4.8℃上昇すると予測されている（IPCC 2014）。主要な温室効果ガスの一つであるメタンは、二酸化炭素の約34倍強い温室効果をもつ。2015年における日本のメタン放出の約44%を水田が占めており（温室効果ガスインベントリオフィス編 2015）、その削減は重要である。

水田からのメタン放出の制御要因は数多く挙げられているが、水稲の品種によりメタン放出量が異なることが報告されている（例えば Watanabe et al. 1995）。現在の日本では、コメの需要減少に伴う水稲の生産調整が進められている。秋田県においては、水田フル活用ビジョン（秋田県 2019）により、非主食用米（飼料米、米粉・加工用等の新規需要米）の作付けが今後増加すると考えられる。これらの非主

食用米の生産には多収品種が用いられることが多い。多収品種は一般品種に比べ、水稲のバイオマスが大きいことから、植物体由来のメタン放出が大きくなる可能性がある。

そこで本研究では、秋田県で今後栽培面積の増加が見込まれる飼料米及び新規需要米用の水稲を対象とし、水稲品種の違いが水田からのメタン放出量に及ぼす影響を検討した。

### 材料と方法

#### 試験概要

調査は、2009年に秋田県大潟村の農家水田圃場で行った。土壌タイプは、強粘質細粒グライ土である。調査圃場の土壌理化学性を表1に示した。調査圃場は12年間無代かき水稲移植栽培をおこなったのち、前年よりその一部を代かきし、試験区としている。本年で代かき栽培2年目である。

表1 供試圃場の土壌化学性

深さ (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	可給態 リン酸* (mg-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg <sup>-1</sup> )	全炭素 (g kg <sup>-1</sup> )	全窒素 (g kg <sup>-1</sup> )	陽イオン交換 容量 (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	交換性塩基 (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )				塩基飽和度 (%)
						K	Na	Ca	Mg	
0~10	5.33	58.8	26.6	2.5	39.1	1.3	2.3	24.7	10.5	99.2
10~20	7.00	84.8	23.0	2.4	39.9	4.2	2.0	26.3	12.0	111.5
20~30	7.05	82.1	23.3	2.2	39.1	3.9	2.0	28.0	12.3	118.1

\*トルオーグ法

一般品種の「あきたこまち」、飼料米用品種の「べこあおば」、新規需要米用として多収品種である「秋田 63 号」の 3 品種の水稲を栽培し、メタン放出量を測定するとともに、水稲の収量及び収量構成要素を調査した。

あきたこまちは、秋田県奨励品種の良食味品種である。べこあおばは、飼料用米として用いられており、耐倒伏性に優れている大粒の多収品種である。秋田 63 号も同様に、大粒の多収品種であり、あきたこまちに比べて収量が 30% 多い品種である。

処理区 (5 m×4 m) は各品種 2 処理区ずつ設置した。メタンフラックス測定地点は、1 処理区に 2 反復で設け、測定値を平均した。ガス測定時の攪乱を防ぐため、水稲移植後にガス測定地点までの足場を設置した。

### 栽培概要

圃場管理及び栽培概要を表 2 に示した。本田への施肥は窒素肥料のみで 3.9 g-N m<sup>-2</sup>であった。移植は 5 月 20 日におこない、植栽密度は 21.5 株 m<sup>-2</sup>であっ

た。前年に栽培された水稲 (あきたこまち) の稲わらは、コンバイン収穫による秋散布の後、春にすき込んでいる。

### 収量調査

各品種の登熟の進行に合わせて、あきたこまち及びべこあおばは 9 月 29 日に、秋田 63 号は、10 月 6 日に収量調査をおこなった。収量調査用の株は、1 処理区につき 16 株を 2 反復で地際から刈り取った。登熟歩合測定用の株は、事前の生育調査で得られた平均穂数に近い株を選抜し、1 処理区につき 2 株を抜き取った。収量及び収量構成要素は、常法により求めた。精玄米重及び千粒重は篩い目 1.9 mm 以上の玄米を対象とし、水分 15% 換算で表示した。

### メタン放出量測定

メタンフラックスの測定は、クローズドチャンバ一法によりおこなった。水稲栽培期間中 (5 月 27 日～9 月 24 日) に週 1 回程度の頻度で測定した。中干し期間中 (7 月上旬～中旬) は、測定頻度を週 2 回

表2 圃場管理及び栽培概要

項目	日付	備考
基肥		育苗箱全量施肥 N: 3.0 g m <sup>-2</sup> (シグモイド型被覆尿素60日タイプ, 商品名: 苗箱まかせ)
耕起	4月中旬	ロータリー(2回)
湛水	5月上旬	
代かき	5/15	
水稲移植	5/20	栽植密度: 21.5 株 m <sup>-2</sup> (実測)
中干し	7/9~7/20	以降は間断灌漑
追肥	7/25	N: 0.9 g m <sup>-2</sup> (尿素)
最終落水	8月中旬	灌水後、自然落水
収穫	9/29	あきたこまち、べこあおば
	10/6	秋田63号

程度に増やし、最終落水後は測定頻度を 10 日に 1 回程度に減らした。フラックス測定に用いたチャンパー及び測定については Takakai et al. (2017) に詳しく記述されている。

メタンフラックスの測定には、アクリル製透明チャンパー（縦・横・高さ；30×60×50 cm）を用いた。水稻体経由で放出されるメタンを測定するため、チャンパー内に水稻 4 株を含めて測定した。水稻の生長に合わせ、チャンパーを 2 段重ねにして対応した。チャンパーを密閉して 0 分後、10 分後、20 分後にチャンパー内のガスサンプルを真空バイアル瓶（10 mL 容）に採取した。サンプル中のメタン濃度は、FID 付ガスクロマトグラフ（GC-14B、島津製作所）を用いて測定した。メタン濃度の経時変化を直線回帰し、メタンフラックスを算出した。各測定日のメタンフラックスを直線補間し、水稻栽培期間中の積算メタン放出量を求めた。

## 統計処理

統計処理にはエクセル統計 (SRI) を用いた。Tukey 法による多重比較をおこない、品種間の有意差の有無を検定した。本試験では、有意水準を 10% とした。

## 結果

### 気象条件

アメダス（秋田県大潟村、北緯 40 度 00.0 分、東経 139 度 57.0 分）から得た水稻栽培期間中の気温及び降水量の推移を図 1 に示した。平均気温は平年並みであり、6 月から 9 月の月平均気温はそれぞれ、19.0、21.8、22.9、18.7 °C であった。7 月に降水が多

く、月降水量（333 mm）は平均降水量（152 mm）の倍以上であった。

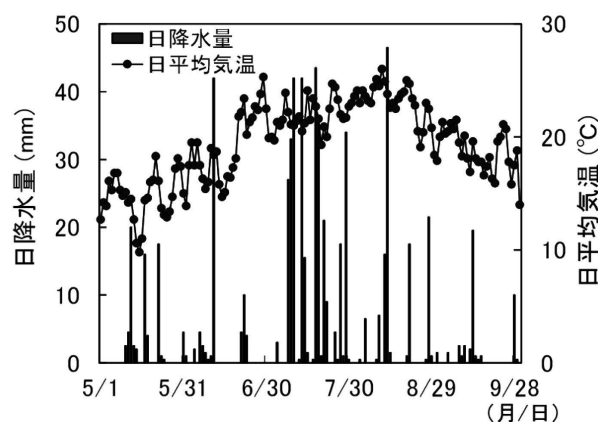


図1 試験期間中(5~9月)の気温及び降水量の推移 (大潟・アメダスデータ)

### 収量及び収量構成要素

品種別の収量および収量構成要素を表 3 に示した。秋田 63 号の精玄米重は、他の 2 品種に比べ有意に大きかった。べこあおばの穂数及び総粒数は、有意ではないものの他の 2 品種に比べ小さい傾向であった。べこあおば及び秋田 63 号の登熟歩合は、有意ではないもののあきたこまちに比べて低い傾向にあった。千粒重は品種間で有意差がみられ、べこあおば > 秋田 63 号 > あきたこまちの順で大きかった。

### メタン放出量

品種別のメタンフラックスの推移を図 2 に示した。栽培期間を通じ、メタンフラックスに明確な品種間差は見られなかった。全区のメタンフラックスは、6 月中旬以降に増加し、中干し期間中（7 月 17 日）に

表3 収量及び収量構成要素

試験区	穂数 (本 m <sup>-2</sup> )	1穂粒数 (個 穂 <sup>-1</sup> )	総粒数 (× 10 <sup>3</sup> 個 m <sup>-2</sup> )	登熟歩合 (%)	千粒重 <sup>※</sup> (g)	精玄米重 <sup>※</sup> (g m <sup>-2</sup> )
あきたこまち	398	77.8	31.0	84.8	21.9 a	593 a
べこあおば	359	79.2	28.4	75.1	30.7 c	627 a
秋田63号	390	88.7	34.6	74.7	28.7 b	726 b

異なる英文字は試験区間に有意差があることを示す (Tukey,  $P < 0.10$ ).

<sup>※</sup>15%水分換算.

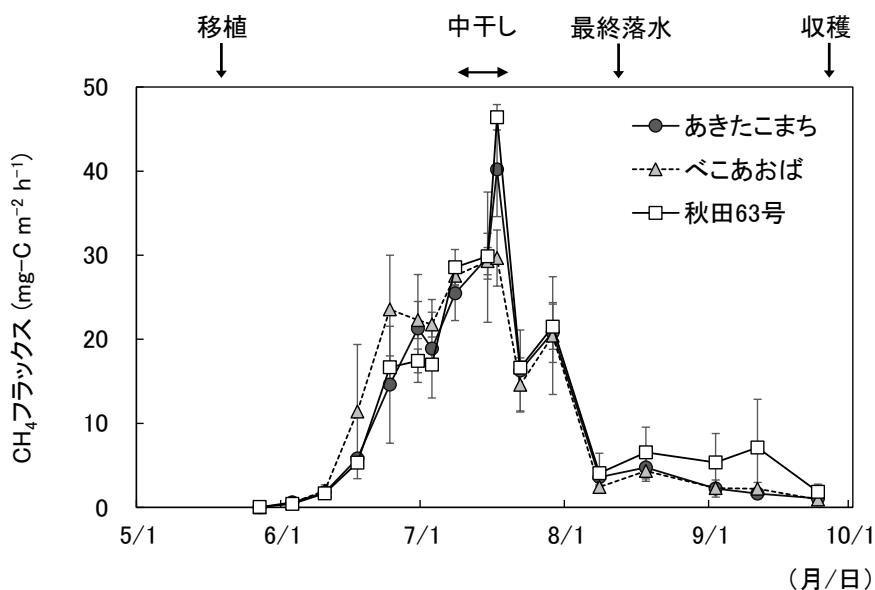


図2 CH<sub>4</sub>フラックスの経時変化  
エラーバーは標準誤差を示す ( $n = 2$ ).

最大値 ( $29.7 \sim 46.6 \text{ mg-C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) を記録した。メタンフラックスは3区ともに8月中旬の最終落水後は大幅に低下したものの、9月下旬まで放出が低いながらも継続していた。

品種別の積算メタン放出量を表4に示した。面積あたりの積算メタン放出量は、有意ではないものの秋田63号>べこあおば>あきたこまちの順で大きかった。一方で、面積あたりの積算メタン放出量を収量(精玄米重)で除して求めた収量あたりの積算メタン放出量は、3品種の中で秋田63号がもっとも小さかった。

表4 積算CH<sub>4</sub>放出量

試験区	積算CH <sub>4</sub> 放出量 (面積あたり) ( $\text{g-C m}^{-2}$ )	積算CH <sub>4</sub> 放出量 (収量あたり)* ( $\text{g-C kg}^{-1}$ )
あきたこまち	$28.1 \pm 4.3$	$0.048 \pm 0.009$
べこあおば	$29.7 \pm 1.8$	$0.047 \pm 0.004$
秋田63号	$32.0 \pm 4.6$	$0.044 \pm 0.007$

平均  $\pm$  標準誤差 ( $n = 2$ ). 積算期間: 5/27-9/24 (120日間). 面積・収量あたり共に試験区間に有意差無し (Tukey,  $P > 0.10$ ).

\*積算メタン放出量(面積あたり) / 精玄米重

## 考察

一般的に、水田におけるメタン生成の制御因子は温度、酸化還元電位、基質であるとされている。加えて、Wang et al. (1997) は水稻の乾物重(バイオマス)もメタン放出量に影響していると報告している。本試験で用いたべこあおば及び秋田63号は多収品種であり、一般品種であるあきたこまちに比べて乾物重が大きくなる。その結果、根浸出物や脱落根による根圏土壌への炭素供給が多くなり、これを基質とするメタン生成及び放出が大きくなると考えられる。本試験では、収穫時の水稻地上部乾物重はあきたこまち ( $1317 \text{ g m}^{-2}$ ) に比べ、べこあおば及び秋田63号 ( $1679$  及び  $1685 \text{ g m}^{-2}$ ) で大きかった(データ省略)。一方で、3品種の積算メタン放出量に有意差は見られず、収量あたりのメタン放出量は秋田63号が最も小さかった(表4)。この理由は不明ではあるが、べこあおば及び秋田63号の根の酸化力(根活性)があきたこまちより高く、メタン生成・放出を抑制していた可能性が考えられる。本研究室の過去の試験では、べこあおばの根活性があきたこまちに比べて高い事が報告されており、秋田63号の根活性についても今後より詳細に検証していく必要がある。

また、本試験地である大潟村の水稻栽培に特徴的な水管理が、本試験の結果に影響している可能性も

考えられる。水稻の枯死根を基質とするメタン放出は生育後半に増加することが報告されており (Watanabe et al. 1999), バイマスの違いに起因するメタン放出量の品種間差はこの時期に大きくなると考えられる。しかし, 粘土質土壌で排水の悪い大瀧村では, 試験圃場のように 8 月上旬の出穂期以降に灌水を控える管理が多い。その結果, 生育後半のメタン放出が抑制され (図 2), 品種間差が明確にならなかった可能性が考えられる。今後は, 生育後半に間断灌漑・湛水をおこない還元的状況が維持される水田において, メタン放出の品種間差を検討することも必要であると考えられる。また, 試験前年の秋に散布された稲わら由来のメタン放出 (Watanabe et al. 1999) が大きく, メタン放出の品種間差が相対的に小さく, マスクされていた可能性も考えられる。

ここまでは多収品種栽培がメタン放出に及ぼす影響について, 水稻栽培当年を対象として論じてきたが, その影響は翌年に持ち越される可能性もある。現在的水稻栽培では, 大部分の水田でコンバイン収穫時に稲わらが圃場に散布される。散布後, 翌年の水稻栽培時まで分解されなかった稲わらは, 栽培期間中のメタン生成の重要な基質となる。特に秋田のような寒冷地では, 圃場に散布された稲わらの分解が翌春までに十分に進まず, メタン放出に及ぼす影響が大きいとされる (Takakai et al. 2017, 塩野ら 2014)。一般的に水稻の収量が増加すれば, 稲わらの量も増加するため, 多収品種を栽培すると翌年のメタン放出が一般品種に比べ大きくなる可能性が高いと考えられ, その対策が重要となる。メタン放出量増加への対策として, 中干しの延長などの水管理による抑制 (Itoh et al. 2011) や, 稲わらの秋すき込みや石灰窒素施用による稲わら分解の促進 (三浦 2003, 塩野ら 2016) があげられる。今後は, 多収品種の栽培とこれらのメタン放出抑制策の組み合わせを検証していく必要がある。

## まとめ

今後秋田県内において, 飼料用米や新規需要米として作付けが増えると考えられる多収品種 (べこあおば及び秋田 63 号) を栽培した時の面積あたりのメ

タン放出量は一般品種であるあきたこまちと同程度であり, 特に秋田 63 号の収量あたりのメタン放出量はあきたこまちに比べて小さく, 水稻の生産性向上とメタン放出抑制を両立できる品種である可能性がある。

## 謝辞

本研究の遂行にあたり, 大瀧村農家の今野茂樹氏には, 試験圃場の提供及び栽培管理に加え, 水稻栽培の作業工程や生育状況についての細やかなアドバイスをいただきました。秋田県立大学生物資源科学部生物環境科学科土壌環境学研究室の皆さんには, 圃場調査等にご協力いただきました。ここに記し, 深く感謝申し上げます。

## 文献

- 秋田県 (2019). 「2019 年度秋田県水田フル活用ビジョン」.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Itoh, M., Sudo, S., Mori, S., Saito, H., Yoshida, T., Shiratori, Y., Suga, S., Yoshikawa, N., Suzue, Y., Mizukami, H., Mochida, T., & Yagi, K. (2011). Mitigation of methane emissions from paddy fields by prolonging midseason drainage. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141, 359-372.
- 三浦吉則 (2003). 「水田からのメタン発生の実態と抑制のための稲わら管理に関する研究」『福島県農業試験場特別研究報告』7, 1-38.
- 温室効果ガスインベントリオフィス編 (2015). 「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」.
- 塩野宏之・齋藤 寛・今野陽一・熊谷勝巳・永田 修 (2016). 「積雪寒冷地低地土稲わらすき込み水田における耕起法の違いが翌年のメタン, 一酸

化二窒素発生量に及ぼす影響』『日本土壌肥科学雑誌』 87 (2), 101-109.

塩野宏之・齋藤 寛・中川文彦・西村誠一・熊谷勝巳 (2014). 「積雪寒冷地の稲わら春すき込み水田における田畑輪換がメタン・一酸化二窒素発生に及ぼす影響』『日本土壌肥科学雑誌』85(5), 420-430.

Takakai, F., Ichikawa, J., Ogawa, M., Ogaya, S., Yasuda, K., Kobayashi, Y., Sato, T., Kaneta, Y., & Nagahama, K. (2017). Suppression of CH<sub>4</sub> emission by rice straw removal and application of bio-ethanol production residue in a paddy field in Akita, Japan. *Agriculture*, 7, 21. doi:10.3390/agriculture7030021.

Wang, B., Neue, H.U., & Samonte, H.P. (1997). Effect of cultivar difference ('IR72', 'IR65598' and 'Dular') on methane emission. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 62, 31-40.

Watanabe, A., Kajiwara, M., Tashiro, T., & Kimura, M. (1995). Influence of rice cultivar on methane emission from paddy fields. *Plant and Soil*, 176, 51-56.

Watanabe, A., Takeda, T., & Kimura, M. (1999). Evaluation of carbon origins of CH<sub>4</sub> emitted from rice paddies. *Journal of Geophysical Research*, 104(D19), 23623-23630.

〔 令和2年6月30日受付 〕  
〔 令和2年7月16日受理 〕

## Effects of Different Rice Varieties on Methane Emissions from Rice Paddies Exploring the Possibility for Reducing Methane Emissions by Cultivating High-yield Rice Varieties

Fumiaki Takakai<sup>1</sup>, Hidenobu Sugata<sup>1</sup>, Hideki Matusda<sup>1</sup>, Takashi Sato<sup>1</sup>, Yoshihiro Kaneta<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Department of Biological Environment, Faculty of Bioresource Sciences, Akita Prefectural University*

The effects of different rice varieties on methane emissions from rice paddies were evaluated for forage rice and new demand rice varieties, which are expected to be cultivated in Akita prefecture due to the adjustment of rice production. This study was conducted in 2009 at a farmer's rice paddy (heavy clay, fine-textured gley lowland soil) in Ogata Village, Akita Prefecture. Three varieties of rice were cultivated: Akitakomachi, which is a general variety of staple rice, Bekoaoba, which is a variety for forage rice, and Akita 63, which is a high-yield rice variety for new demand rice. We investigated the rice yield, yield components, and methane emissions. Akita 63 had a significantly higher yield (brown rice; 726 g m<sup>-2</sup>) than the other two varieties (593 to 627 g m<sup>-2</sup>). Seasonal changes in methane flux were similar for all varieties throughout the cultivation period. There was no significant difference in the total methane emissions (per area) during the cultivation period among the rice varieties (28.1 to 31.0 g-C m<sup>-2</sup>). Akita 63 had the smallest total amount of methane emissions per yield among the three cultivars, suggesting that this cultivar may be capable of improving rice productivity and suppressing methane emissions.

**Keywords:** Closed chamber method, forage rice, methane, methane emission per yield, new demand rice, varietal difference