

改訂版

平成 20・21 年度水田土壌由来温室効果ガス計測・抑制技術実証普及事業

## 【地球温暖化対策】

# 水田メタン発生抑制のための 新たな水管理技術マニュアル

環境にやさしい水田水管理



平成 24 年 8 月

(独) 農業環境技術研究所

## 目次

I	はじめに	3
II	我が国の農業分野から排出される温室効果ガス	4
III	中干しの延長による水田メタン発生抑制	5
IV	留意事項	
	1. 中干しの延長と収量の関係	9
	2. カドミウム吸収抑制対策に基づく水管理との関係	10
	(参考) 実証事業に参加した各地域における中干し延長効果の事例	11
	1. 福島県	
	2. 新潟県	
	3. 山形県 (山形市)	
	4. 山形県 (鶴岡市)	
	5. 愛知県	
	6. 岐阜県	
	7. 徳島県	
	8. 熊本県	
	9. 鹿児島県	

# I はじめに

近年、大気中の二酸化炭素など温室効果ガスの濃度が上昇することによる地球温暖化が世界規模で問題となっています。気候変動に関する国際機関が最近公表した地球温暖化に関する報告書は、気候システムに温暖化が起こっていることを断定し、私たち人類が排出した温室効果ガスの増加がその原因であることをほぼ断定するといった内容のものでした。また、この報告書では、地球温暖化は加速的に進行しており、農業生産にも深刻な影響を及ぼすことなども予測されています。

こうした中、我が国においては、京都議定書で定められた温室効果ガス排出量の6%削減の約束を達成するため、温室効果ガス排出削減対策や森林吸収源対策等を推進しているところです。

農業分野における温室効果ガスの排出量は、基準年（1990年）と比較すると減少していますが、農業分野は地球温暖化による気候変動から受ける影響が大きい分野であることを踏まえれば、他の分野に率先して温暖化対策に取り組んでいくことが必要です。このため、農業分野における温室効果ガスの排出量のうち一定の割合を占める水田由来のメタンについても、排出量の削減に向けた積極的な取組が不可欠であると考えています。

（独）農業環境技術研究所では、平成20年度及び21年度に農林水産省の水田土壌由来温室効果ガス計測・抑制技術実証普及事業を実施し、この事業において、水田からのメタン発生を抑制する水管理手法を確立することを目的として、中干しの延長によるメタン発生抑制効果を検証しました。その結果を基にして、今般、水田からのメタン発生を抑制するための水管理のポイント及び留意すべき事項を都道府県の農業試験場、普及指導センター、及び地球温暖化問題に関心の高い農業者向けのマニュアルとして取りまとめました。本マニュアルは、その内容を一部改訂したものです。

なお、本マニュアルにおいて推奨している中干しの延長は、メタンの発生抑制効果はあるものの、多少の収量減の可能性があることや、米のカドミウム吸収抑制対策に相反する関係にあることから、地域の実情を踏まえて、本マニュアルをご活用いただきますようお願いいたします。

## Ⅱ 我が国の農業分野から排出される温室効果ガス

最近公表された気候変動に関する国際機関による地球温暖化に関する報告書では、温室効果ガスである二酸化炭素濃度が産業革命による工業化前に比べて約 1.4 倍に増大していること、過去 100 年に世界の平均気温が 0.74℃上昇したことなどが公表されています。このため、世界規模で温室効果ガス排出削減対策を推進することが必要となっています。

我が国の平成 21 年度における温室効果ガスの総排出量は、二酸化炭素換算で、12 億 900 万 CO<sub>2</sub> トンとなっており、年々、増加傾向となっています。

農林水産業・食品製造業によって排出される温室効果ガスには、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) のほか、メタン (CH<sub>4</sub>) や一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O) がありますが、これらを二酸化炭素に換算して合計すると年間 5100 万トンであり、我が国の温室効果ガスの総排出量の約 4.1% (運輸、廃棄物に伴う排出量は除く) となります。メタンは単位質量 (例えば 1 kg) あたり、二酸化炭素の約 25 倍の温室効果を持つガスで、二酸化炭素に次いで地球温暖化に影響を与えています。水田から発生するメタンは年間 557 万トンであり、農林水産業・食品製造業における温暖化ガス排出量の 10.8%、我が国の総排出量の 0.5% を占めます。

京都議定書の定める 6%削減目標を達成し、日本が他国のモデルとなるよう、総力を挙げて国民全体で温室効果ガスの排出削減に取り組むことが必要となっており、水田からのメタン発生の抑制にも積極的な取組が求められています。

加えて、我が国の農林水産業への影響については、水稻の高温障害、果実の着色不良、病害虫の多発等が確認されており、この要因については、直接的には短期的気象変動による高温影響によるものですが、背景には長期的な気候変動 (地球温暖化) が影響している可能性が高いと考えられます。

また、気候変動に伴い、豪雨の頻発、洪水リスクの増加、海面上昇や利用可能な水資源の減少、干ばつの増加が指摘されており、これらによる災害の発生等が懸念されます。

さらに、これまで実施してきた研究結果から、このまま地球温暖化が進行する場合には、我が国の農林水産業に深刻な影響を及ぼすことが懸念されます。農業分野において、地球温暖化による気候変動から受ける影響が大きいことを踏まえれば、他の分野に率先して温暖化対策に取り組んでいくことが必要です。

### Ⅲ 中干しの延長による水田メタン発生抑制

稲わら、麦わら等の有機物を施用した水田では、中干し期間を慣行からさらに1週間程度延長させることで、効果的にメタンの発生量を低減することができます。

地球温暖化防止の観点から、各地域の気象条件、土壌、品種等の諸条件を考慮に入れながら、今後は、

- ① 稲わらの秋すき込みの励行
  - ② 稲わらのすき込みから堆肥施用への転換
- 等の水田メタン発生抑制対策に加えて、

「中干し期間の延長」に取り組みましょう。

なお、メタンの発生を抑える目安として、最低限、土壌に小ひびが入り、田面を踏んだときにかかたが少し沈む程度にまで乾燥させることが必要です。

水稻の生育において水は必要不可欠です。水田におけるかんがい水の主な機能は、

- ① 生育に必要な水分の供給
- ② かんがい水に含まれる養分の供給
- ③ 保温・冷却による水稻の保護
- ④ 土壌中の養分の可給化
- ⑤ 雑草の発生の抑制
- ⑥ 肥料・薬剤散布の均一化

などです。また、かんがい水は地水温や窒素の発現、水分供給量、土壌還元などに影響します。

このため、かんがい水の調節である水管理は、適正な生育量を確保する、冷害や高温などの異常気象の影響を最小限に抑える、生育の調節により光合成能力・根の活力を維持して登熟を高めるなど、収量・食味・品質の向上を図るうえで非常に重要な技術です。このように、水管理は多面的な効果を合わせ持っているため、生育状態や気象条件等を十分把握し、最適な水管理を行うことが重要です。

【注】 水稲栽培における一般的な水管理については、各都道府県の栽培指針等を参照してください。

以上のように、水稲の栽培にはかんがい水の適切な管理が不可欠ですが、水稲の分けつ期に、水田が湛水状態のまま、気温の高い日が続いた場合などには、土壤の還元が進み、根の生育に有害なガスが発生する「わき」という現象が見られます。この「わき」には温室効果ガスであるメタンが高濃度で含まれています。

これは、水田に水を湛えることで、土壤が還元状態になり、嫌気性のメタン生成菌の活動が活発になることによって、稲わらなどの有機物を基質として、メタンが生成されることが原因です。生成されたメタンは、水稲が自身の根に酸素を輸送する器官を通じて大気中に放出されます。

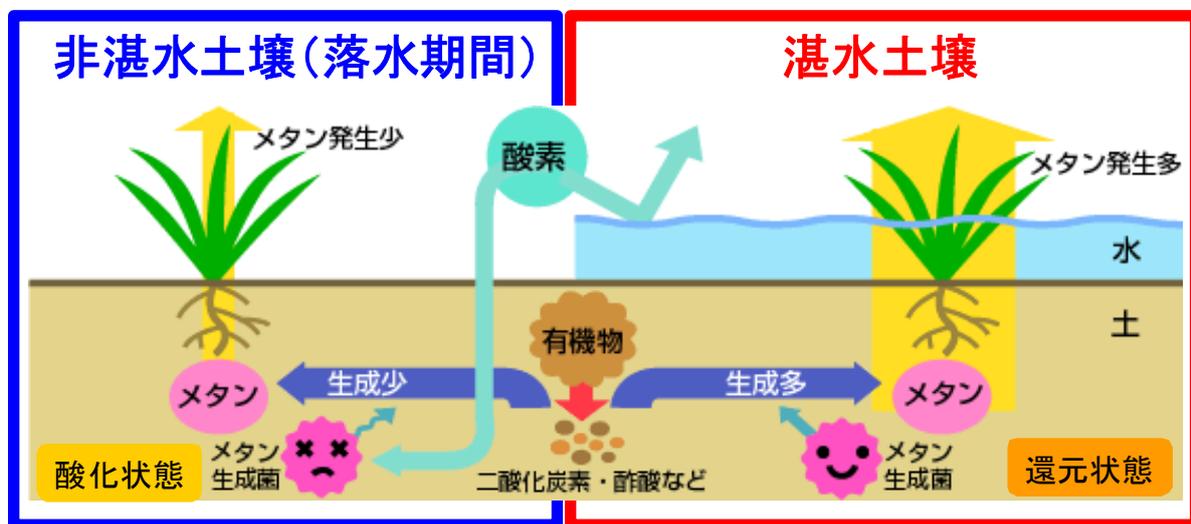


図1 メタンが水田で発生するしくみ (出典：つくばリサーチギャラリー)

メタン生成菌が活性化するには、還元状態と有機物が必要となります。したがって、適切な水管理によって、土壤を還元状態から酸化状態に近づければ、メタンの発生は抑制されます。

水稻の栽培指針等においては、稲の有効分げつ決定期から幼穂形成期にかけて、茎数が有効茎数の8~9割に到達した時点で、作溝・中干しを行うことが推奨されています。この中干しは、通常、1週間ないし10日程度行われることが慣行になっていますが、地域によって差があります。8県の試験結果から、慣行の日数に対して中干しを一週間延長するとメタンの発生量が約30%削減されることが示されました。また、このメタン削減効果は、前作等に由来する稲わら等のすき込みによる有機物の施用がある場合に顕著であることが示されました。

● 土壌の酸化状態の目安

水田土壌では湛水開始後、土壌中の酸化物質が徐々に還元され、酸化還元電位(Eh)が-150 mV以下となるとメタン生成が開始されます(高井、1978)。

従って、メタンの発生を抑えるには、酸化還元電位をこれより高い値で維持する必要があります。目視による目安としては、最低限、土壌に小ひびが入り、田面を踏んだときかかたが少し沈む程度まで乾燥させることが必要です。

● 水稻品種による中干し延長への適性の違い

目標茎数の8割程度を確保したら中干しを行うというのが標準的ですが、水稻品種によって、また、土壌の排水性の違いによって、中干しの前倒しに適する場合、後倒しに適する場合等の違いがあります。また、中干し延長の収量への影響についても、品種によっては穂数の不足を粒数や粒の大きさに収量減を補える場合もあるなど、品種、地域によって影響の大きさ及び対応策が異なります。

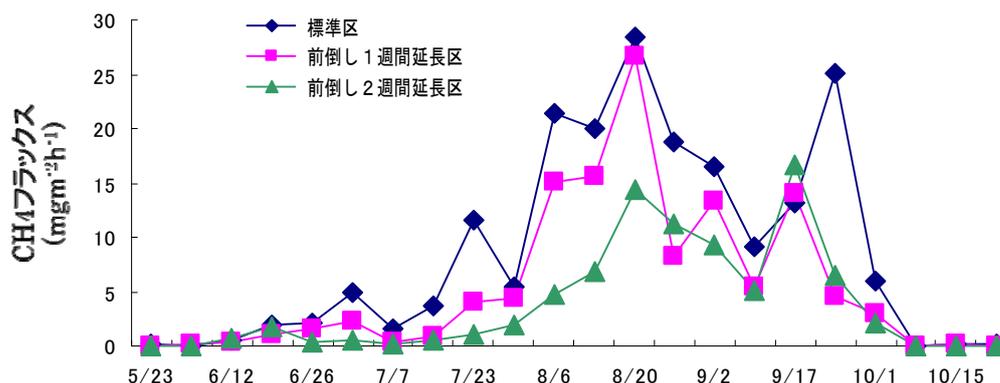


図2 水稻栽培期間中のメタン発生の推移。水田の中干し期間延長によるメタン発生削減実証試験(平成20年、福島県農業総合センター・郡山市)。慣行の中干し(2週間)を行った標準区に比べ、中干しの開始を1週間または2週間前倒しして延長した処理区(前進1週間区、および前進2週間区)でのメタン発生が効果的に削減されました。

【参考：中干し延長によるメタン発生削減効果の実証試験】

平成20年度、21年度の2ヶ年に、全国8県9箇所の農業試験研究機関（山形（鶴岡市）、山形（山形市）、福島、新潟、愛知、岐阜、徳島、熊本、鹿児島）において中干しの延長によるメタン発生削減効果を定量する試験を実施した結果、慣行に比較して中干しを一週間程度延長すると、栽培期間全体のメタンの発生量が約30%削減されました<sup>【注】</sup>。

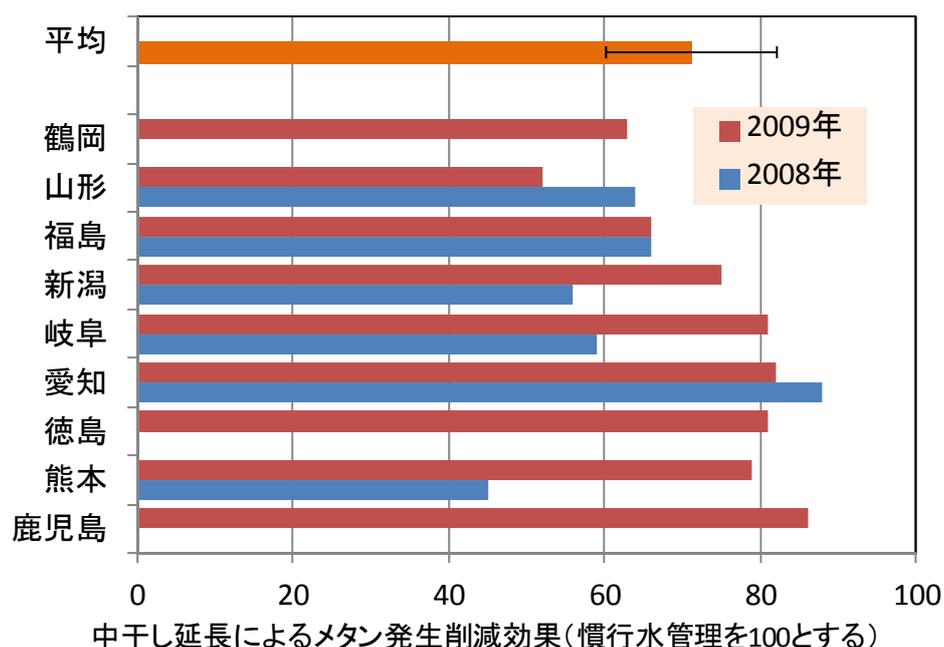


図3 中干しの延長によるメタン削減効果

慣行の水管理におけるメタン発生量を100とした場合の、中干し延長区におけるメタン発生量を示します。慣行の中干し期間は5～17日間と地域により異なりました。これに対し、中干し延長区では3～11日間の延長を行いました。これらの試験では、もうひとつの温室効果ガスである一酸化二窒素（亜酸化窒素： $N_2O$ ）も定量しましたが、その発生量は二酸化炭素換算の地球温暖化効果でメタンの4%以下であり、中干し延長による有意な発生量増加は認められませんでした。

参考文献：Itoh, M., Sudo, S., Mori, S., Saito, H., Yoshida, T., Shiratori, Y., Suga, S., Yoshikawa, N., Suzue, Y., Mizukami, M., Mochida, T., and Yagi, K.: Mitigation of methane emissions from paddy fields by prolonging mid-season drainage. *Agric. Ecosys. Environ.*, 141, 359– 372 (2011)

【注】この結果は、地域によって幅のある試験結果を平均化することで得られたものです。図3に示されるように、中干しの延長によるメタンの削減効果は、地域、土壌、品種ごとに異なりますので、都道府県の農業試験場や農業改良普及センターによく相談してください。

## IV 留意事項

### 1. 中干しの延長と収量・品質の関係

8 県の試験結果によれば、中干しを慣行の日数に対して一週間程度延長することで、平均 3% 程度の減収が見られました。中干しの過度な延長には収量減が伴いますので注意してください。一方、多くの地点において中干しの延長によって慣行より登熟歩合が向上し、タンパク含量の低下が認められるなど、収穫したコメの品質の向上されたことが示されています（図 4）。

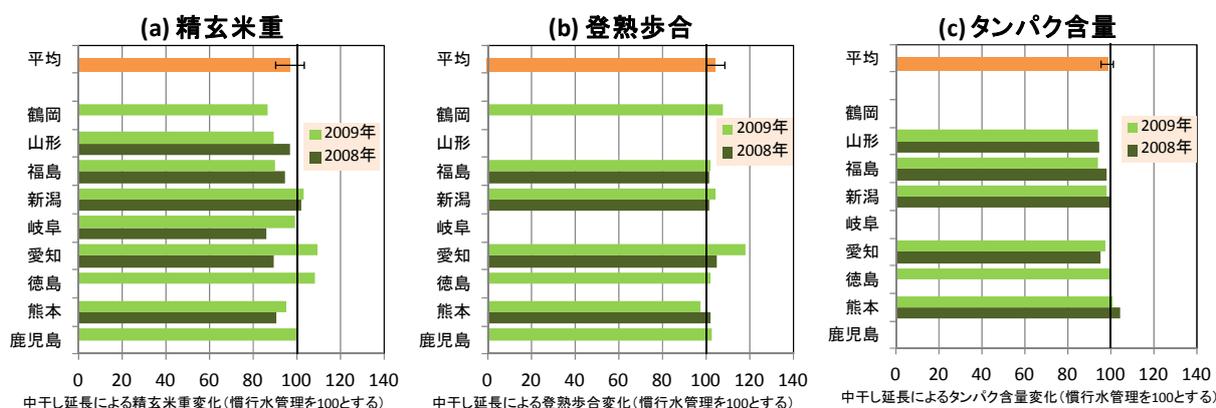


図 4 8 県 9 カ所における水田メタン削減試験における中干し延長による収量・品質の変化

● 農業環境技術研究所（八木、1990 年）の試験では、堆肥施用区でのメタン発生は稲わら施用区よりも大幅に小さいことが報告されています（図 5）。

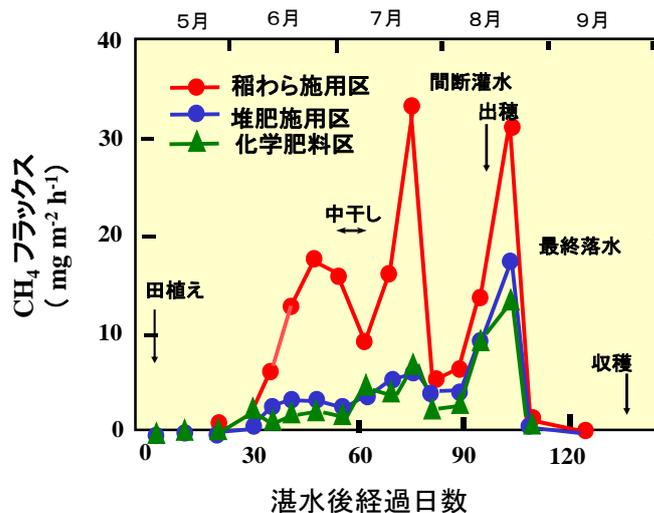


図 5 有機物管理による水田からのメタン発生抑制 (Yagi et al. 1990)

## 2. カドミウム吸収抑制対策に基づく水管理との関係

我が国の農地は、酸性土壌が多く降水量が比較的多いため、土壌中のカドミウムが溶出しやすい傾向にあります。また、過去の鉱山開発等により、農地土壌中のカドミウム濃度が高い地域があります。

一方、土壌に含まれるカドミウムは、土壌が酸化状態になると水に溶け出し、農作物に吸収されやすくなります。このため、水稻がカドミウムを吸収・蓄積する時期に土壌の酸化状態が強まると、水稻による土壌からのカドミウム吸収量が増加し、コメ中のカドミウムの濃度が上昇します。

このため、以下のいずれかの条件に該当する市町村では、土壌の酸化状態を強める中干しの延長は行わず、水田メタンの発生抑制対策としては、「稲わらのすき込みから堆肥施用への転換」等を可能な範囲で検討しましょう。

- ・ コメのカドミウム濃度低減対策（湛水管理、土壌浄化等）を実施、または実施を検討中
- ・ カドミウム含有米（カドミウム濃度 0.4~1.0 mg/kg）の買い上げ実績あり
- ・ （コメ中のカドミウム濃度データがある場合）カドミウム濃度 0.2 mg/kg 以上のコメの生産実績あり

## (参考) 実証事業に参画した各地域における中干し延長効果の事例

このマニュアルでは、水田からのメタン発生を抑制するため、中干し期間を延長する水管理手法を紹介していますが、地域ごとの気候や土壌、水稻品種等の条件によって、中干し期間を前に延長するのか、あるいは後ろに延長するのか、どの程度の期間延長するのか等様々な組み合わせが考えられます。地域の気象条件や土壌、品種の性質をよく知ってから対策を行うことにより、より効果的に水田メタンの発生を抑制することができますので、都道府県の農業試験場や普及指導センターによく相談してください。

ここでは、実証試験に参画した各地域における中干し延長効果の事例を示しました。

### 1. 福島県

平成 20 年に、福島県農業総合センターで行った、水田中干し延長によるメタン削減実証試験結果によると、慣行（2 週間中干し）でメタンの発生量を 100 としたとき、1 週間前進延長をしたときは 66、2 週間前進延長をしたときは 42 であり、34～58%のメタン削減効果が認められました。平成 20、21 年度の 2 カ年の試験結果から判断すると、通常の中干しよりも期間を延長することで、さらにメタンの発生を抑制することが可能となります。また、このとき収量は 5.5～16.2%の減収となりました。品種は、こしひかり。

### 2. 新潟県

平成 20 年に、新潟県農業総合研究所で行った、水田中干し延長によるメタン削減実証試験結果によると、慣行（17 日間中干し）でメタンの発生量を 100 としたとき、1 週間後延長をしたときは 59 であり、41%のメタン削減効果が認められました。平成 20、21 年度の 2 カ年の試験結果から判断すると、通常の中干しよりも期間を延長することで、さらにメタンの発生を抑制することが可能となります。また、このとき収量は 2.1%の増収となりました。品種は、こしひかり。

### 3. 山形県（山形市）

平成 20 年に、山形県農業総合研究センター（山形市）で行った、水田中干し延長によるメタン削減実証試験結果によると、慣行（1 週間中干し）でメタンの発生量を 100 としたとき、1 週間前進延長をしたときは 64、1 週間後延長をしたときは 84 であり、16～36%のメタン削減効果が認められました。平成 20、21 年度の 2 カ年の

試験結果から判断すると、通常の中干しよりも期間を延長することで、さらにメタンの発生を抑制することが可能となります。また、このとき収量は2.8%減収～3.7%増収となりました。品種は、はえぬき。

#### 4. 山形県（鶴岡市）

平成21年に、山形県農業総合研究センター（鶴岡市）で行った、水田中干し延長によるメタン削減実証試験結果によると、慣行（1週間中干し）でメタンの発生量を100としたとき、1週間前進延長をしたときは63であり、37%のメタン削減効果が認められました。平成20、21年度の2カ年の試験結果から判断すると、通常の中干しよりも期間を延長することで、さらにメタンの発生を抑制することが可能となります。また、このとき収量は13%減収となりました。品種は、はえぬき。

#### 5. 愛知県

平成20年に、愛知県農業総合試験場で行った、水田中干し延長によるメタン削減実証試験結果によると、慣行（6日間中干し）でのメタン発生量78.6（単位：gCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>）に対し、3日前進延長をしたときは71.7、7日前進延長をしたときは64.7であり、9～18%のメタン削減効果が認められました。21年度の試験では、中干し期間を3ないし7日前進延長をした場合で11、18%程度のメタン発生量が削減されました。平成20、21年度の2カ年の試験結果から判断すると、通常の中干しよりも期間を延長することで、さらにメタンの発生を抑制することが可能となります。

また、このとき収量は1.4%減収、および9.8%の増収となりました。品種はこしひかり。

#### 6. 岐阜県

平成20年に、岐阜県農業技術センターで行った、水田中干し延長によるメタン削減実証試験結果によると、慣行（7日間中干し）でのメタン発生量3.6（単位：gCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>）に対し、6日間前進延長をしたときは2.1、6日間の前進延長に加えて7日間の後延長（合計14日間の延長）をした結果、1.0であり、41～72%程度のメタン発生量が削減されました。平成20、21年度の2カ年の試験結果から判断すると、通常の中干しよりも期間を延長することで、さらにメタンの発生を抑制することが可能となります。

また、このとき収量は14%、および19%の増収となりました。品種ははつしも。

#### 7. 徳島県

平成21年に、徳島研農林水産総合技術支援センターで行った、水田中干し延長に

よるメタン削減実証試験結果によると、有機物を多くすき込んだ場合において、慣行（7日間中干し）でメタンの発生量を 100 としたとき、3日間の前進延長と4日間の後延長（合計7日間）をしたときは 84、収穫前の落水時期を7日間早めたときは 84、3日間の前進延長と4日間の後延長をし、さらに落水時期を7日早めたときは 68 であり、16～34%のメタン削減効果が認められました。平成 20、21 年度の2カ年の試験結果から判断すると、通常の中干しよりも期間を延長することで、さらにメタンの発生を抑制することが可能となります。

また、このとき収量は5～12%の増収となりました。品種はこしひかり。

## 8. 熊本県

平成 20 年に、熊本県農業研究センターで行った、水田中干し延長によるメタン削減実証試験結果によると、慣行（7日間中干し）でのメタン発生量 3.1（単位：gCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>）に対し、3日間前進延長をしたときは 1.4、常時湛水では 6.5 であり、55%のメタン削減効果が認められました。平成 20、21 年度の2カ年の試験結果から判断すると、通常の中干しよりも期間を延長することで、さらにメタンの発生を抑制することが可能となります。

また、このとき収量は 4.5%減収となりました。品種はもりのくまさん。

## 9. 鹿児島県

平成 21 年に鹿児島県農業開発総合センターで行った、水田中干し延長によるメタン削減実証試験結果によると、慣行（5日間中干し）でメタン発生量 18.1（単位：gCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>）に対し、間断灌水を加えたときは 15.5 であり、水管理の改良で 14%のメタン削減効果が認められました。平成 20、21 年度の2カ年の試験結果から判断すると、通常の中干しに加え、間断灌水期間を設けることで、さらにメタンの発生を抑制することが可能となります。21 年度の結果によると、通常の中干し期間と比較して、14%程度のメタン発生量が削減されました。

また、このとき収量は 0.6%増収となりました。品種はヒノヒカリ。

【地球温暖化対策】  
水田メタン発生抑制のための  
新たな水管理技術マニュアル  
環境にやさしい水田水管理

・発行日

平成24年8月（改訂2版）

・執筆担当者

独立行政法人農業環境技術研究所  
須藤重人、伊藤雅之\*、八木一行  
\*現 京都大学東南アジア研究所

・補助事業担当窓口

農林水産省 生産局 農業環境対策課