

2. 農業活動に伴う温室効果ガスの排出削減に関する研究

AN ESTIMATION OF GLOBAL NON-CO₂ GAS EMISSION REDUCTION POTENTIAL BY AGRICULTURAL ACTIVITY

庄司諭史*・河瀬玲奈*・松岡 譲*

Satoshi SHOJI*, Reina KAWASE* and Yuzuru MATSUOKA*

ABSTRACT; Global emissions of methane and nitrous oxide from agricultural sector account for approximately 85% of agricultural GHG emissions. It is necessary to determine the effectiveness of options reducing methane and nitrous oxide emissions. We estimated methane and nitrous oxide emission reduction potentials in 21 regions of the world in the future, by considering options' reduction rate, the applicabilities to agricultural production systems, and the marginal abatement costs. We calculated the reduction potentials by regions and by GHG emission sources. As a result, global reduction potential in 2030 is estimated to be 350 MtCeq/yr, which is equivalent to 20.2% of the GHG emissions in the BaU case. The regions which have the highest reduction potentials are China and India. The reduction potentials of China and India account for 51.6% of the global reduction potential. Therefore, it is required that China and India play some important roles to reduce global agricultural GHG emissions. In addition, the proportion of the reduction potentials by sources varies with regions. Therefore, it is necessary to determine the most efficient options by regions and to introduce these options.

KEYWORDS; agriculture, mitigation, methane, nitrous oxide

1 はじめに

20 世紀半ばから、機械化や肥料・農薬等の化学製品の使用によって農業生産物の生産性の向上が図られた。農業部門におけるこれらの生産技術の発展により、過去半世紀の間に全世界の農業生産量はカロリーベースで 2.6 倍に増加した (FAO, 2000)。しかし、生産技術の発展は同時に様々な環境問題も引き起こしてきた。それらの中で最も重要な環境問題の一つとして地球温暖化問題を挙げることができる。

現在、農業部門は人為的に排出される温室効果ガスの約 20% に寄与している。そして将来、農業生産量は増加することが予想されており、それに伴い農業部門からの温室効果ガス排出量も増加することが考えられる。従って、地球温暖化問題の緩和のためには農業部門から排出される温室効果ガスを削減することが必要であり、そのための対策を導入することが求められている。中でも、メタン・亜酸化窒素の排出量は農業部門からの温室効果ガス排出量の約 85% を占めており、対策の導入によるメタン・亜酸化窒素の削減効果を把握することは重要である。

そこで本研究では世界を 21 地域に分割し、農業部門におけるメタン・亜酸化窒素の削減対策の導入による効果を分析するために、2030 年におけるメタン・亜酸化窒素それぞれの削減可能量を算出した。削減可能量は地域ごと、排出源ごと算出した。

*京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻、Department of Urban Environmental Engineering, Graduate school of Engineering, Kyoto University

2 研究の内容

2.1 研究の概要

本研究の概略を図1に示す。まず2030年の農業生産量を推計し、その推計値から作付面積及び家畜頭数を算出した。次に、作付面積及び家畜頭数に単位作付面積あたり及び家畜一頭あたりの温室効果ガスの排出係数を乗じることによって、温室効果ガスの排出量を算出した。最後に、温室効果ガス削減対策ごとの削減率を排出量に乘じることによって、対策を導入することにより達成される温室効果ガスの削減可能量を算出した。

2.2 農業生産量の将来推計

本研究では、将来の農業生産量を IFPRI (国際食料政策研究所) が推計した 1997 年と 2020 年の農業生産量 (Rosegrant ら、2001) に基づき線形的に外挿した。

さらに、IFPRI が推計した 2020 年までの作物収率の改善速度を一定とし、将来の作物収率を推計した。そして、作付面積は農業生産量を作物収率で除することによって求めた。また家畜頭数は、畜産物生産量に 1997 年の家畜頭数／生産量比を乗じることによって算出した。

2.3 温室効果ガス排出量

2030 年のメタン・亜酸化窒素の排出量は、2.2 節で求めた作付面積及び家畜頭数に排出係数を乗じて算出した。なお排出係数は IPCC Guideline (1997) の値を用いた。

2.4 削減可能量の算出

(A) 削減可能量の基本式

対策ごとの温室効果ガス削減可能量 $R_{t,r,i,s,g,k}$ を式(1)を用いて算出した。

$$R_{t,r,i,s,g,k} = E_{t,r,i,s,g} \cdot A_{t,r,i,s,g,k} \cdot RR_{t,r,i,s,g,k} \cdot (DRM_{t,r,i,s,k} - DRB_{r,i,s,k}) \quad (1)$$

t : 年

r : 地域

i : 農業生産物種

s : 温室効果ガス発生源 (反芻動物の腸内発酵、家畜糞尿、水田、窒素肥料)

g : 温室効果ガス (メタン、亜酸化窒素)

k : 温室効果ガス削減対策

$E_{t,r,i,s,g}$: t 年の地域 r での農業生産物 i の生産に伴って排出源 s から生じる温室効果ガス g の排出量

$R_{t,r,i,s,g,k}$: t 年の地域 r での農業生産物 i の生産に伴って排出源 s から生じる温室効果ガス g に対する対策 k の導入による排出削減可能量

$A_{t,r,i,s,g,k}$: t 年の地域 r での農業生産物 i の生産に伴って排出源 s から生じる温室効果ガス g のうち、対策 k を適用可能な割合 (以降、適用可能率と呼ぶ)

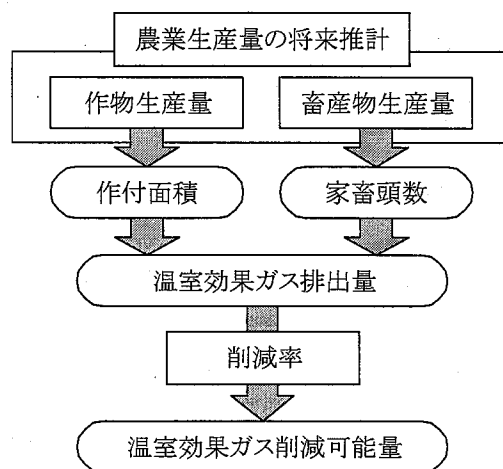


図1 研究の構成

$RR_{t,r,i,s,g,k}$: t 年の地域 r での農業生産物 i の生産に伴って排出源 s から生じる温室効果ガス g に対する対策 k の導入による排出削減率

$DRM_{t,r,i,s,k}$: t 年の地域 r での農業生産物 i の生産に伴って排出源 s から生じる温室効果ガスを削減する対策 k の最大導入率

$DRB_{r,i,s,k}$: 1997年の地域 r での農業生産物 i の生産に伴って排出源 s から生じる温室効果ガスを削減する対策 k の導入率

本研究では、対策の導入率が1997年で一定である場合をBaUケースと定義する。また、本研究で導入を想定する温室効果ガス削減対策は、表1に示す24種である。

表1 温室効果ガス削減対策の一覧

反芻動物の腸内発酵により排出されるメタンの削減対策		
試料のペレット化	ココナッツオイルの飼料への添加	穀物を高比率で給餌
未成熟牧草の給餌	生きた酵母や真菌の添加	イオン透過担体の添加
メタン生成菌ワクチンの接種	酢酸生成菌の添加	キャノーラ油の添加
腸内微生物の成長に直接用いられる炭水化物の給餌		メタン酸化菌の投与
プロピオン酸前駆物質の添加		
家畜糞尿により排出されるメタン・亜酸化窒素の削減対策		
嫌気性消化を用いたメタン回収	家畜糞尿をわらで被覆して貯蔵	液体糞尿の曝気処理
タンパク質の減量	段階給餌	
水田から排出されるメタンの削減対策		
水田の中干し	硫黄の投与	直播栽培
硝酸化成抑制剤の施用	ウレアーゼ阻害剤の施用	
窒素肥料を起源とする亜酸化窒素の削減対策		
徐放性肥料の施用	硝酸化成抑制剤の施用	ウレアーゼ阻害剤の施用

(B) 対策の導入による温室効果ガス削減率

対策の導入による温室効果ガスの削減率は、地域によって変化せず一定であると仮定した。削減率の設定の例として、表2に腸内発酵により排出されるメタンの削減対策の削減率を示す。

(C) 対策の適用可能性

温室効果ガス削減対策は必ずしも全ての農業生産物に適用できるものではなく、適用不可能な農業生産物も存在する。そのため、削減可能量を算出するには、削減対策の農業生産物への適用可能性を考慮する必要がある。対策 k が農業生産物 i

に対して適用可能である場合は適用可能率 $A_{t,r,i,s,g,k}$ を1、適用不可能である場合には適用化能率 $A_{t,r,i,s,g,k}$ を0とした。適用可能性の設定の例として、表3に腸内発酵による排出されるメタンの削減対策の適用可能な家畜種を示す。

しかし、同じ農業生産物であっても、様々な生産方法で生産されており、その生産方法の違いなどによって適用可能性が異なる場合が存在する。例えば、飼料調整によって反芻動物から排出されるメタンの削減対策の場合、放牧されている家畜に対しては適用できないため、適用可能率は「畜産物生産量のうち放牧以外

表2 腸内発酵によるメタン排出量の削減対策と削減率

対策	削減率(%)
飼料のペレット化	20
ココナッツオイルの飼料への添加	43
穀物を高比率で給餌	29.5
未成熟牧草の給餌	20
生きた酵母や真菌の添加	3
イオン透過担体の添加	16
メタン生成菌ワクチンの接種	20
酢酸生成菌の添加	10
キャノーラ油の添加	33
腸内微生物の成長に直接用いられる炭水化物の給餌	15
メタン酸化菌の投与	8
プロピオン酸前駆物質の添加	10

の方法で生産された畜産物生産量が占める割合」となる。「家畜糞尿のわらによる被覆」と「曝気処理」の2つの対策は液状の家畜糞尿に対してのみ用いられるので、これらの対策の適用可能率は「液状の家畜糞尿のメタン・亜酸化窒素排出への寄与率」となる。

「嫌気性消化を用いたメタン回収」は嫌気性消化処理される糞尿に対してのみ適用可能であるので、適用可能率は「嫌気性消化処理される糞尿のメタン・亜酸化窒素排出への寄与率」となる。「ウレアーゼ阻害剤の施用」は窒素肥料として尿素肥料を施肥する場合に限られるので、この対策の適用可能率は「窒素肥料のうち尿素肥料が占める割合」となる。

3 結果と考察

3.1 地域別の削減可能性

2030年における温室効果ガスの削減可能性と排出量の推計結果を表4に示す。2030年において最も温室効果ガス排出量の多い地域はインドで、排出量は312MtCeq/年である。また全世界の温室効果ガス排出量は1,734MtCeq/年である。

限界削減費用の上限を100\$/tCとした場合、2030年における全世界の温室効果ガス削減可能性は350MtCeq/年であり、これは削減率に換算して20.2%に相当する。最も削減可能性が多い地域は中国とインドで、限界削減費用の上限が100\$/tCeqの時には、両国の削減可能性の合計は全世界の削減可能性の51.6%を占めており、これらの2カ国の削減可能性が占める割合は大きい。そのため農業部門からの温室効果ガス削減のためには、インドと中国において対策を導入していくことが重要かつ有効である。

3.2 排出源別の削減可能性

限界削減費用100\$/tCeq以下での2030年における各地域の温室効果ガス削減可能性の排出源別の内訳を図2に示す。排出源別に見ると、アジア地域では他地域に比べ水田から排出されるメタンの削減可能性が最も多いことが分かる。これはアジア地域では米の生産が他地域に比べて多いためであると考えられる。北・中南米、ヨーロッパ、オセアニアでは腸内発酵によって排出されるメタンの削減可能性が各地域の50%以上を占めている。また中東とアフリカでは家畜糞尿から排出される亜酸化窒素の削減可能性の占める割合が大

表3 腸内発酵により排出されるメタンの削減対策の適用可能な家畜

対策	家畜
飼料のペレット化	肉牛、乳牛
ココナッツオイルの飼料への添加	反芻動物
穀物を高比率で給餌	肉牛、乳牛
未成熟牧草の給餌	肉牛、乳牛
生きた酵母や真菌の添加	肉牛、乳牛
イオン透過担体の添加	反芻動物
メタン生成菌ワクチンの接種	反芻動物
酢酸生成菌の添加	反芻動物
キャノーラ油の添加	肉牛
腸内微生物の成長に直接用いられる炭水化物の給餌	乳牛
メタン酸化菌の投与	反芻動物
プロピオン酸前駆物質の添加	反芻動物

表4 温室効果ガス削減可能性と排出量

限界削減費用(\$/MtC)	削減可能性(MtCeq/年)			排出量 (MtCeq/年)
	50	75	100	
日本	2.73	2.85	2.98	9.10
中国	49.07	56.68	63.25	266.17
インド	61.40	65.66	65.66	311.49
インドネシア	8.86	9.07	9.85	33.11
韓国	1.26	1.36	1.55	5.33
タイ	5.08	5.23	5.70	20.55
その他東南アジア	14.26	15.22	16.29	60.68
その他南アジア	19.00	20.22	20.22	98.06
中東	3.87	4.52	4.52	23.74
オーストラリア	7.24	8.63	8.63	46.79
ニュージーランド	2.63	2.94	2.94	16.89
カナダ	3.19	3.25	4.01	24.44
アメリカ合衆国	13.41	14.03	17.21	96.42
西ヨーロッパ	10.63	12.98	14.39	89.14
東ヨーロッパ	3.19	4.17	4.71	22.42
ロシア	4.10	4.17	5.01	26.36
アルゼンチン	6.42	7.72	7.72	39.94
ブラジル	21.04	24.19	24.19	121.96
その他ラテンアメリカ	19.19	21.75	21.75	117.19
アフリカ	28.58	38.30	38.30	243.24
その他世界	8.20	10.94	10.94	60.76
全世界	293.34	333.88	349.84	1733.79

きい。このように排出源別の削減可能量の内訳は地域によって異なり、地域ごとにそれぞれ最も有効な対策を同定し、その対策を導入することが必要であると考えられる。

次に、限界削減費用と削減可能量の関係を図3に示す。図3によると、水田から排出されるメタンと家畜糞尿から排出される亜酸化窒素の削減可能量は、限界削減費用がゼロの場合もか

なり大きい。つまり、これらの温室効果ガスの削減対策が現在導入されていないのは経済的要因によるものではなく、その他の社会的要因によるものであると考えられる。一方、腸内発酵から排出されるメタンの削減可能量は、限界削減費用が25\$/tCeq以下では小さいが、100\$/tCeq以下では200MtCeq/年にも達し、大きな削減可能量がある。そのため、削減可能量をさらに増加させ、腸内発酵により排出されるメタンを削減対策のコストダウンを図ることが重要であると考えられる。

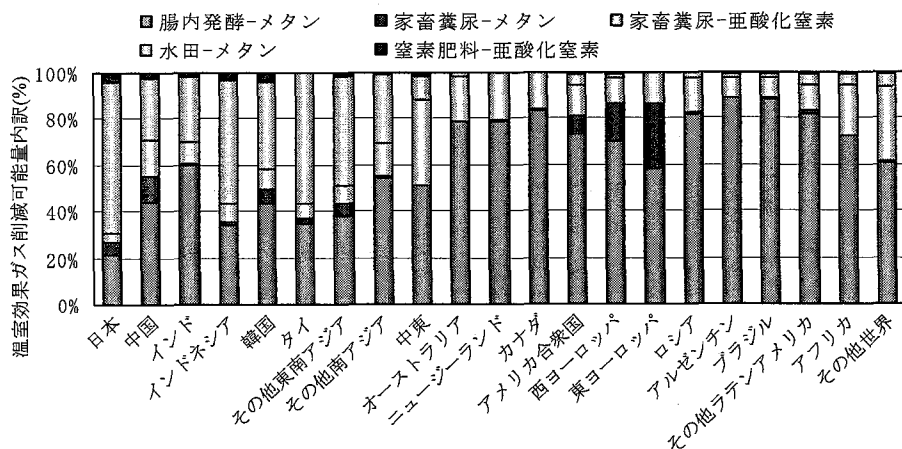


図2 限界削減費用 100\$/tCeq 以下での温室効果ガス削減可能量の排出源別内訳

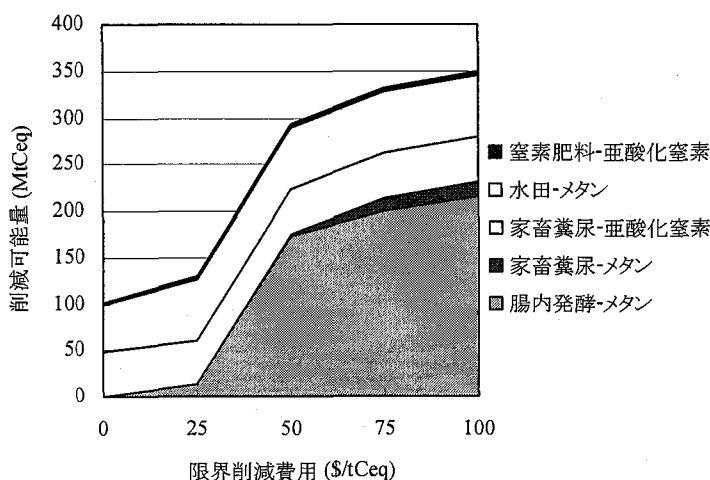


図3 限界削減費用による削減可能量の変化

3.3 IPCCの推計との比較

全世界における削減可能量の推計結果と IPCC (2001)の推計との比較を表5に示す。表5で削減可能量は限界削減費用が100\$/tCeq 以下である削減可能量を示している。本研究で推計した2020年の推計結果はIPCCの推計よりも小さい。その理由として、本研究では削減対策の導入によって一頭当りの畜産物生産量の増加や作物収率の増加することに伴う利潤の増大が考慮されておらず、その影響が費用に反映されていないことが挙げられる。しかし、2010年では本研究の推計値はIPCCの推計値と一致した。これは、本研究の推計では技術的進歩の過程を含んでおらず技術的な導入率を100%に設定しており、技術的進歩を考慮しているIPCCの推計よりも導入率が大きいためであると考えられる。

表5 全世界における削減可能量の推計結果の比較

推計年	削減可能量 (MtCeq/年)	
	IPCC	本研究
2010	150-300	258.7
2020	350-750	306.6
2030	—	349.8

4 結論

本研究では、世界を21地域に分割し、2030年の農業部門におけるメタン・亜酸化窒素の削減可能量を算出した。その結果、2030年における全世界の農業部門から排出されるメタン・亜酸化窒素の削減可能量は

限界削減費用 100\$/tCeq 以下では 350MtCeq/年であり、2030 年の BaU ケースでの温室効果ガス排出量の 20.2%に相当することが分かった。2030 年における温室効果ガス削減可能量の最も多い地域は中国とインドで、両国の削減可能量の合計は全世界の削減可能量の 51.6%を占めている。そのため農業部門からの温室効果ガス削減のためには、中国とインドにおいて削減可能量を導入することが重要かつ有効である。排出源別の削減可能量の内訳は地域によって異なり、地域ごとにそれぞれ最も有効な対策を同定し、その対策を導入することが必要である。

文献)

FAO (2000): The State of Food and Agriculture 2000, FAO.

IPCC (1997): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC.

IPCC (2001): Climate Change 2001 - Mitigation, Cambridge University Press.

Rosegrant, M. W., M. S. Paisner, S. Meijer, and J. Witcover (2001): Global Food Projections to 2020, International Food Policy Research Institute.