



農業分野における 排出量の算定方法について

農業分科会



今年度検討を行った課題

- 今年度検討を行った課題は下表のとおり。
- 2024年提出インベントリで算定方法の改訂を行う課題（●,▲）の詳細は次ページ以降のとおり。

2023年度における農業分野の課題検討内容

カテゴリー		課題	検討結果
3.A. 消化管内発酵	3.A.1 牛	消化管内発酵からのメタン排出抑制効果の反映	○
	3.A.1 牛	メタン排出係数の改訂	○
3.B. 家畜排せつ物の 管理	3.B. 全体	家畜排せつ物処理区分別の適切な排出係数の反映	▲
3.C. 稲作	3.C. 全体	DNDC-Riceモデルを適用した算定方法の改善	○
3.D. 農用地の土壌	3.D.a.2 直接排出 (3.D.b 間接排出)	土壌への有機物施用由来のN ₂ O排出量推計の精緻化	▲
3.F. 農作物残渣の野 焼き	3.F. 全体	2006年IPCCガイドラインの2019年改良版の反映※1	●
	3.F.1 穀物	稲わらの排出係数の精緻化※2	●

※1：2006年IPCCガイドラインの2019年改良版
※2：今年度に新規に追加した課題

●：改訂
▲：部分改訂
○：継続検討（予定）

2024年提出インベントリで算定方法の改訂を行う課題

1. 家畜排せつ物処理区分別の適切な排出係数の反映（3.B 全体）
2. 土壌への有機物施用由来の N_2O 排出量推計の精緻化（3.D.a.2 直接排出 有機質肥料（3.D.b 間接排出））
3. 2006年IPCCガイドラインの2019年改良版の反映（3.F 全体）
4. 稲わらの排出係数の精緻化（3.F.1 穀物）

1. 家畜排せつ物処理区分別の適切な排出係数の反映 (3.B 全体) (1/6)

【検討課題】

- ◆ 過年度の検討において2019年度に実施された「家畜排せつ物処理状況等調査」（農水省）（以下2019年度調査）の家畜排せつ物処理区分割合が算定に反映されたが、2019年度から新たに設定された排せつ物処理区分や分割された処理区分の排出係数で暫定的に決定したもの（下表下線部）が残っていることから、その設定について検討を行った。
- ◆ また、昨年度強制発酵の排出係数を改定したところ、豚と鶏の強制発酵の排出係数が堆積発酵の排出係数より大きい値となった。強制発酵の排出係数が堆積発酵の排出係数を上回ることは通常考えられないので、適正化を検討した。

新規または分割された区分の排出係数の設定状況

		乳用牛	肉用牛	豚	採卵鶏 ・ブロイラー
新規	炭化処理	<u>火力乾燥のEFを適用</u>			
	産業廃棄物処理	貯留のEFを適用（搬出するまで留め置かれるため）			
	貯留（1ヶ月以内、1ヶ月以超）（ふん）	貯留（ふん尿混合）のEFを適用			堆積発酵のEFを適用（国内の数値）
分割	強制発酵（開放型、密閉型）	昨年度検討済み（設定詳細は割愛） <u>※堆積発酵を上回る部分は要再検討</u>			
	浄化（放流）	従来の浄化のEFを適用（国内の数値、ただし農業利用は今後精緻化のため調査必要）			-
	浄化（農業利用）				
	貯留（1ヶ月以内）	<u>従来の貯留のEF（期間の規定なし）を適用</u>	IPCCGLを適用	IPCCGLを適用	-
	貯留（1ヶ月以超）		IPCCGLを適用（3～12か月の平均値）	IPCCGLを適用（3～12か月の平均値）	-

1. 家畜排せつ物処理区分別の適切な排出係数の反映 (3.B 全体) (2/6)

(炭化処理)

【対応方針】

- ◆ 排出係数に繋がる直接的なデータが掲載されている論文 (Canatoy (2022)) から排出係数を算出した。
- ◆ 論文には炭化で発生した排ガスが回収・燃焼され熱利用 (リサイクル) されるケースと回収が行われないケースが掲載されている。回収・燃焼の有無により N_2O 排出係数は変わらないが、 CH_4 排出係数は大きく変わる。排ガスは回収・燃焼されることが一般的と考えられるが、回収・燃焼されない小規模な炉も存在している可能性がある。現時点の情報では回収・燃焼が一般的と決めきれないことから、今回は回収・燃焼の有無により数値が変わる CH_4 排出係数は現状のまま変更せず、 N_2O 排出係数のみ変更することとした。
- ◆ また、家畜排せつ物を乾燥して含水率を低くしてから炭化されることが一般的であり、乾燥過程からのGHG排出もあると考えられるが、火力乾燥の排出係数 (全家畜種に共通のIPCCガイドラインのデフォルト値、 N_2O で2.0%) は過大であるとの専門家判断から、乾燥過程のGHG排出量は含まず炭化炉からの排出のみを対象とすることとした。炭化に伴う乾燥過程の排出の扱いは引き続き検討することも考えられる。

炭化の排出係数案

	現行	改定後 (案)
EF_{CH_4} (g CH_4 /g有機物)	0%	— ※排ガスが回収・焼却されるケースは0%
EF_{N_2O} (g N_2O -N/gN)	2.0%	0.02%

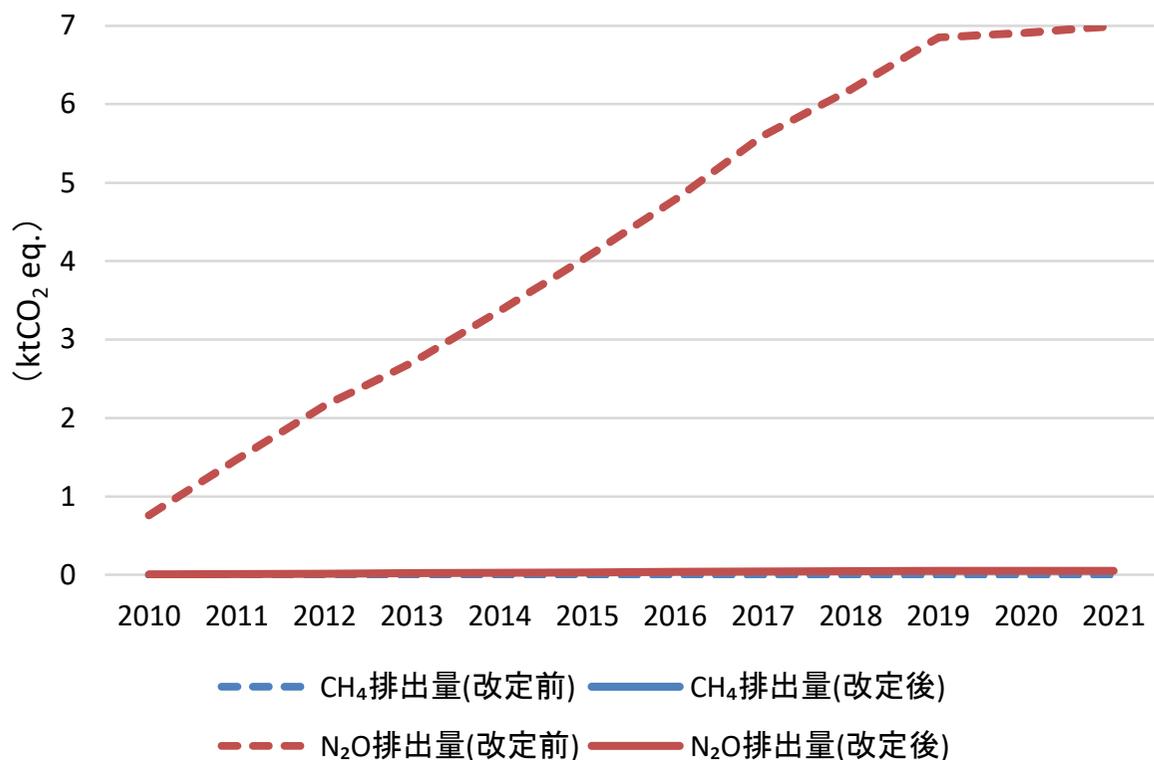
(出典) 現行：火力乾燥の排出係数 (メタンは原理的に発生せず、 N_2O は2006年IPCCガイドラインの2019年改良版)

改定後：Ronley C. Canatoy, et al., "Biochar as soil amendment: Syngas recycling system is essential to create positive carbon credit" (2022) (※単位変換して算出)

1. 家畜排せつ物処理区分別の適切な排出係数の反映 (3.B 全体) (3/6)

【算定結果】

- ◆ CH₄排出係数を0%、N₂O排出係数を0.02%とした場合の炭化に由来するCH₄及びN₂O排出量を示す。
- CH₄排出量は現行、改定後とも排出係数が0%であるため、排出量は0千tCO₂で変化なし。
- N₂O排出量は、2013年度は現行が2.7千tCO₂、改定後が21tCO₂で2.7千tCO₂減少、2021年度は現行が7千tCO₂、改定後が55tCO₂で7千tCO₂減少となった。



1. 家畜排せつ物処理区分別の適切な排出係数の反映 (3.B 全体) (4/6)

(強制発酵)

【対応方針】

- ◆ 豚・鶏の強制発酵の排出係数のうち、豚、採卵鶏、ブロイラーの開放型、ブロイラーの密閉型が堆積発酵より大きい（下記赤字部分）。これらについて国内の研究で参考になるものがないか今後継続的に調査を行い、適切なものがあれば改定を検討することとした。（※堆積発酵の数字で代用し超えないようにすることも要検討）
- ◆ なお、鶏の開放型・メタンは豚の数値をそのまま据え置いて使用しているが、IPCCGLに基づくと鶏独自の設定が可能なため、まずはその変更だけ行うこととした（ただし、変更後も大小関係は変わらない）。
- ◆ その他でもIPCCGLのデフォルト値を使用している部分について、施設の設計・定義が国内の施設と異なっているものも存在するため、国内外の研究論文で適切なものがないか継続的に調査・検討することとした。

堆積発酵及び強制発酵の排出係数一覧 ※赤字が堆積発酵を上回る排出係数

家畜種	形状	CH ₄		N ₂ O	
		堆積発酵	強制発酵	堆積発酵	強制発酵
豚	ふん、ふん尿混合	0.16%※1	開放型：0.302%※2 密閉型：0.08%※3	2.5%※1	開放型：0.5%※2 密閉型：0.16%※3
	尿	0.16%※1	開放型：0%※4 密閉型：0.151%※5	2.5%※1	開放型：1.0%※4 密閉型：0.6%※5
鶏	ふん	採卵鶏：0.13%※6 ブロイラー：0.02%※6	開放型：0.302%※7 密閉型：0.08%※7	採卵鶏：0.54%※6 ブロイラー：0.08%※6	開放型：0.5%※2 密閉型：0.16%※7

(出典)

※1：Osada, T., Fukumoto, Y., Tamura, T., Shiraihi, M. and Ishibashi, M., "Greenhouse gas generation from livestock waste composting", (2005)

※2：IPCCGLのIntensive Windrow

※3：我が国の気候条件等を踏まえた家畜排せつ物管理に伴う温室効果ガス排出量算定方法の検討（2008）

※4：IPCCGLのAerobic Treatment (Natural aeration system)

※5：IPCCGLのIn-Vessel

※6：農林水産省「平成25年度農林水産分野における地球環境対策推進手法開発事業のうち農林水産業由来温室効果ガス排出量精緻化検討・調査事業 報告書」

※7：豚と同じ

1. 家畜排せつ物処理区分別の適切な排出係数の反映 (3.B 全体) (5/6)

- ◆ 鶏の開放型・メタンは豚の数値をそのまま据え置いて使用しているが、IPCCGLに基づいて算出している同数値は鶏独自の設定が可能のため、その変更だけ今回行うこととした。

IPCC算定式：CH₄排出係数[g-CH₄/g-有機物]=Bo [m³CH₄/kg有機物] × 0.67 [kgCH₄/m³CH₄] × MCF [%]

Bo：最大メタン発生ポテンシャル、MCF：メタン発生係数

- ◆ Boについて、採卵鶏0.39m³CH₄/kg有機物、ブロイラー0.36m³CH₄/kg有機物を使用し（豚は0.45m³CH₄/kg有機物）、MCFについては地域別気温で加重平均した数値を使用することとした。
- ◆ 算出したEFは右下表の通り。採卵鶏、ブロイラーとも改定前（豚の数値）よりやや低下することとなるが、堆積発酵のEF（採卵鶏：0.13%、ブロイラー：0.02%）はまだ上回る結果となった。

MCFの設定

	採卵鶏			ブロイラー		
	平均気温 (°C)	飼養羽数 (1000羽) (2021年度)	MCF (%)	平均気温 (°C)	飼養羽数 (1000羽) (2021年度)	MCF (%)
北海道	8.2	6,466	0.5%	8.2	5,180	0.5%
東北	10.9	24,317	1.0%	10.8	32,668	1.0%
北陸	13.3	9,822	1.0%	13.3	1,239	1.0%
関東	15.6	50,251	1.0%	16.4	6,031	1.0%
東海	16.0	27,272	1.0%	15.5	3,700	1.0%
近畿	15.5	8,158	1.0%	16.5	3,027	1.0%
中国	13.9	22,283	1.0%	15.0	8,632	1.0%
四国	16.6	8,797	1.0%	16.1	8,042	1.0%
九州沖縄	17.3	25,295	1.0%	16.5	70,711	1.0%
全国		182,661	1.0%		139,230	1.0%

※各地域のうち飼養羽数が多い上位3市町村の平均気温を使用。市町村の飼養羽数データは2006年度値（農林水産省「農林水産関係市町村別データ」）。なお、ブロイラーの北海道と北陸は飼養羽数データがないため、採卵鶏と同じとした。

分割（2019年度）前後の排出係数設定

【2019年度以降】

処理区分	形態	採卵鶏		ブロイラー	
		改定前	改定後	改定前	改定後
強制発酵（開放型）	ふん	0.302%	0.261%	0.302%	0.241%
強制発酵（密閉型）	ふん	0.080%	0.080%	0.080%	0.080%

【2018年度以前】

処理区分	形態	採卵鶏		ブロイラー	
		改定前	改定後	改定前	改定後
強制発酵	ふん	0.204%	0.181%	0.273%	0.220%

※開放型と密閉型の割合で加重平均

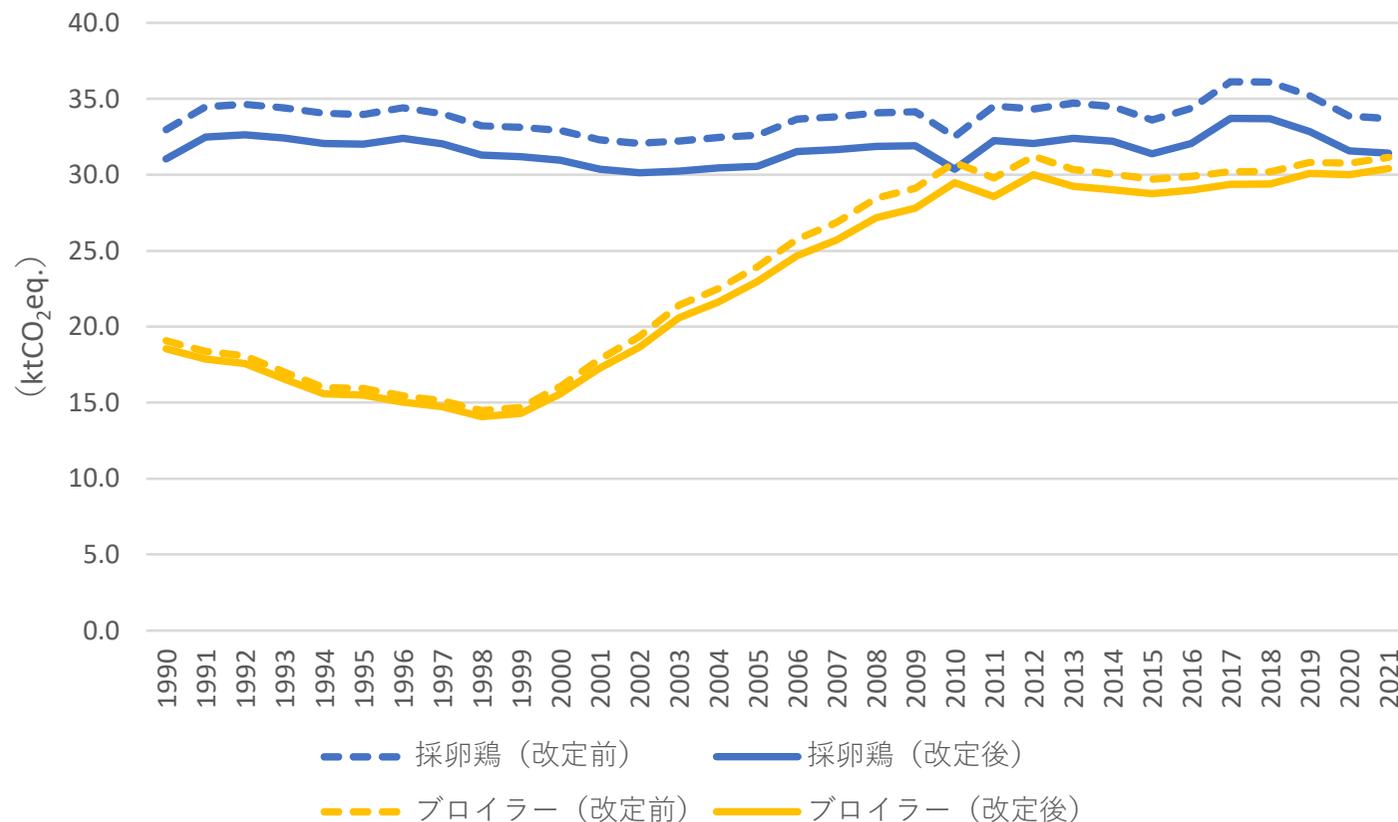
※色塗は変更がある項目

1. 家畜排せつ物処理区分別の適切な排出係数の反映 (3.B 全体) (6/6)

【算定結果】

- ◆ CH₄排出量は2013年度は採卵鶏が現行3.5万tCO₂、改定後3.2万tCO₂で0.2万tCO₂減少、ブロイラーが現行3.0万tCO₂、改定後2.9万tCO₂で0.1万tCO₂減少、2021年度は採卵鶏が現行3.4万tCO₂、改定後3.1万tCO₂で0.2万tCO₂減少、ブロイラーが現行3.1万tCO₂、改定後3.0万tCO₂で0.1万tCO₂減少となった。

改定前後のメタン排出量

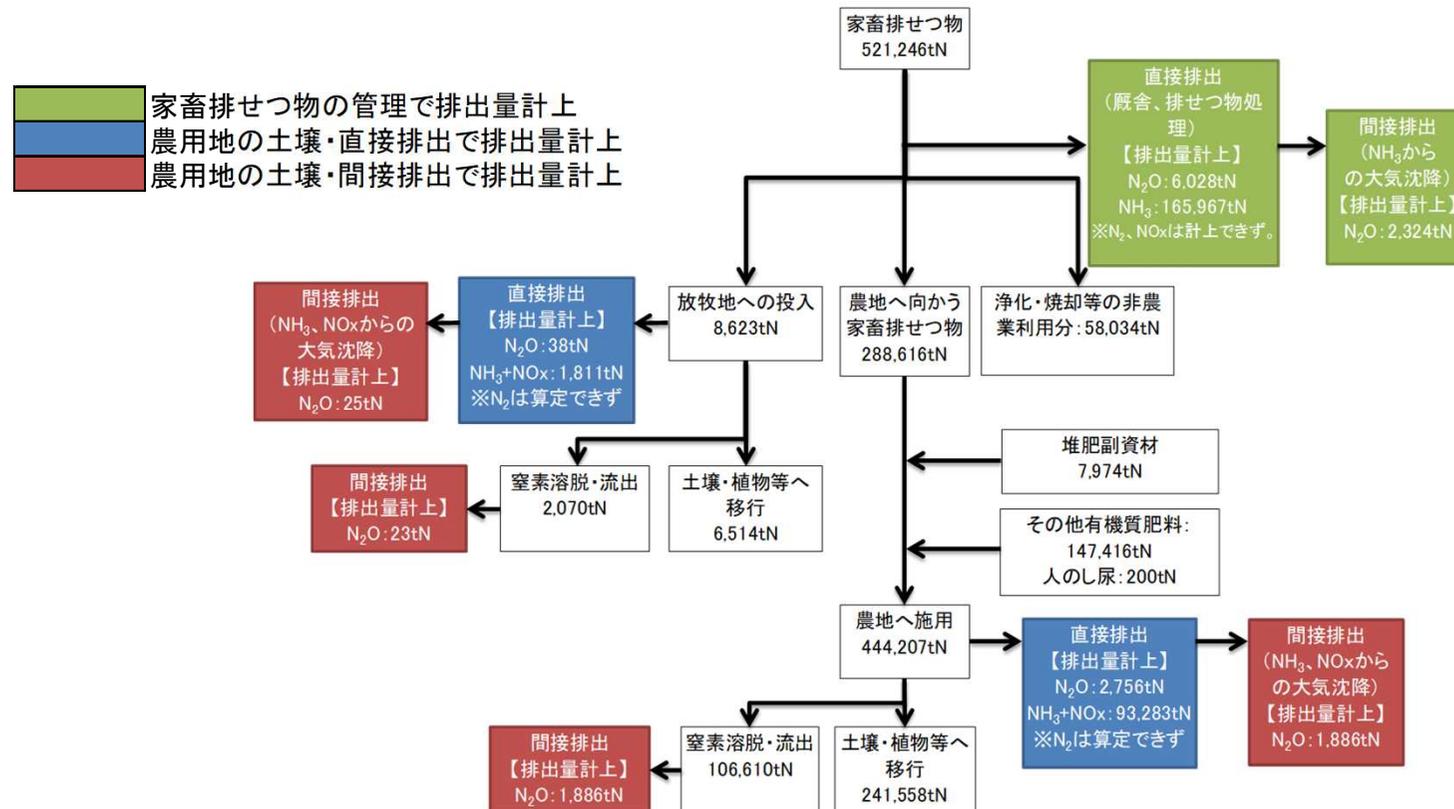


2. 土壌への有機物施用由来のN₂O排出量推計の精緻化 (3.D.a.2 直接排出 有機質肥料 (3.D.b 間接排出)) (1/3)

【検討課題】

- ◆ 農地に投入される有機質肥料については、2014年度の農業分科会において家畜排せつ物を起点にした窒素フローの精緻化を行った（下図）。しかし、家畜排せつ物量等から算出した有機質肥料の総施用量（「農地へ施用」部分に該当）は、先行研究や単位面積当たり有機質肥料施用量に作付面積を乗じて算出した有機質肥料施用量とは大きな差が生じている状況である。従って、有機質肥料の施用からのN₂O排出量のさらなる算定精緻化に向け、インベントリにおける窒素フローの精度の検証及び精緻化を行った。
- ◆ また、有機質肥料は化学肥料と同じ排出係数を使用しているため、有機質肥料独自の排出係数が設定できないか、検討を行った。

有機物由来窒素のフロー（2021年度）



2. 土壌への有機物施用由来のN₂O排出量推計の精緻化 (3.D.a.2 直接排出 有機質肥料 (3.D.b 間接排出)) (2/3)

【対応方針（排出係数）】

- ◆ 農研機構の研究*で算出された有機質肥料のN₂O排出係数を以下のように適用することとした。なお、水稲と茶は研究対象でないため、その他の作物について新たな排出係数の適用を検討した。
- 化学肥料を併用しない場合（without synthetic N fertilizers）の排出係数を使用。
- 2つの土壌タイプ（Andosol、Non-Andosol）別の排出係数の加重平均値を使用。
- 家畜排せつ物別にN₂O排出係数を設定。牛は堆肥とスラリーの加重平均値を用いる。豚、鶏はそれぞれ堆肥の排出係数を使用。その他家畜は、IPCCガイドラインのデフォルト値を使用。
- 下水汚泥肥料、その他有機質肥料（し尿、堆肥副資材、その他）の排出係数には、家畜ふん尿以外の有機質肥料（Non-manure organic fertilizers）の排出係数を使用。

【土壌への有機物施用由来のN₂O排出係数の現行・更新比較】

現行		更新	
有機質肥料	EF [%]	有機質肥料	EF [%]
家畜ふん尿	0.62 (わが国独自の 排出係数*(化学 肥料と共通))	牛の堆肥・スラリー加重平均	0.39
		豚の堆肥	0.70
		鶏の堆肥	0.83
		その他家畜（羊、山羊、馬、水牛、うさぎ、ミンク）	0.60 (IPCC GLデフォルト値)
下水汚泥肥料		下水汚泥肥料	
その他有機質肥料（し尿、堆肥副資材、その他）		その他有機質肥料（し尿、堆肥副資材、その他）	1.16

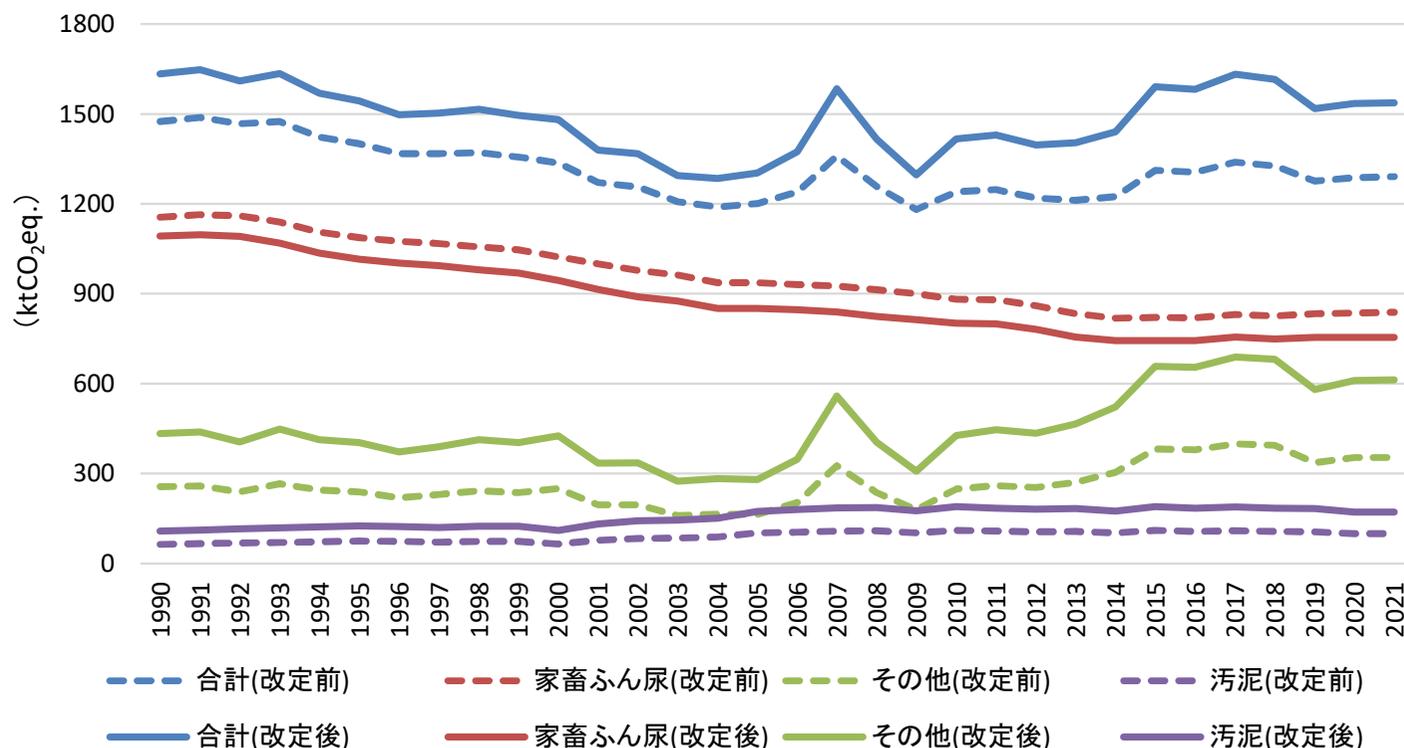
*Akiyama et al., *Science of the Total Environment*, **864** (2023) 161088

2. 土壌への有機物施用由来のN₂O排出量推計の精緻化 (3.D.a.2 直接排出 有機質肥料 (3.D.b 間接排出)) (3/3)

【算定結果】

- ◆ 変更後の農用地の土壌への有機物施用由来のN₂O排出量を示す。
- ◆ 2013年度の排出量は現行が121.2万tCO₂、改定後が140.4万tCO₂で19.3万tCO₂増加となった。
- ◆ 2021年度は現行が129.1万tCO₂、改定後が153.8万tCO₂で24.7万tCO₂増加となった。
- ◆ 最大の増加要因はその他有機質肥料（し尿、堆肥副資材、その他）、下水汚泥肥料のN₂O排出係数の増加である。

【土壌への有機物施用由来のN₂O排出量】



3. 2006年IPCCガイドラインの2019年改良版の反映 (3.F 全体) (1/4)

【検討課題】

- ◆ 2006年IPCCガイドラインの2019年改良版において、農作物残渣の野焼き (3.F) の活動量の算定方法が改定されたため、その反映について検討した。

【対応方針】

- ◆ 排出源の作物区分について、2019年改良版の新たな区分を反映した。なお新たな作物区分を考慮すべき箇所は活動量の算定パラメーターのみであり、排出係数 G_{ef} は全作物区分に共通のIPCCガイドラインのデフォルト値を用いた。
- ◆ 活動量の算定パラメーターに2006年IPCCガイドラインのデフォルト値を用いている排出源 (稲以外の穀物類) について、2019年改良版の算定式の適用方法を検討し、反映を行った。
- ◆ なお、「3.D.a.4 作物残渣のすき込み」の算定において、3.F 農作物残渣の野焼きと共通の燃焼係数 C_f を使用しているため、整合させる形で2019年改良版の新たな燃焼係数を反映した。

3. 2006年IPCCガイドラインの2019年改良版の反映 (3.F 全体) (2/4)

■ 農作物残渣の野焼きの算定式における変更点

- ◆ 2006年IPCCガイドラインでは算定式中の $M_B * C_f$ のデフォルト値が示されており、その値を用いて算定を行っていたが、2019年改良版では C_f のデフォルト値が更新され、 M_B は $AGR_{(T)} * Frac_{Burnt(T)}$ として算出する方法に変更された。

$$E = A * M_B * C_f * G_{ef} * 10^{-3}$$

$$M_B = AGR_{(T)} * Frac_{Burnt(T)}$$

E : 温室効果ガス排出量 [t]

A : 焼却面積 [ha]

M_B : 単位面積当たり作物残渣量 [t/ha]

C_f : 作物の燃焼係数

G_{ef} : 排出係数 [g/kg d.m. burnt]

$AGR_{(T)}$: 作物種Tの地上残渣量 [kg d.m./ha]

$Frac_{Burnt(T)}$: 作物種Tの年間収穫面積に占める焼失面積の割合

- 日本の算定式 ($E = A * Rate_B * M_B * C_f * G_{ef} * 10^{-3}$) は焼却割合 $Rate_B$ を既に含んでいるため、算定式は変更しない。 M_B は「3.D.a.4 作物残渣のすき込み」の算定で用いられる地上部残渣量 $AGR_{(T)}$ [kg d.m./ha] と共通の値を用い、 C_f はIPCCガイドラインのデフォルト値を用いることとした。

- ◆ 上記式の各パラメータについて、従来の作物区分 (Wheat residues, Maize residues, Rice residues, Sugarcane) に加えて新たに Other Crops が設定された。

【現行・更新 $M_B * C_f$ 算出方法の比較】 ※ 適当な数値がないため Maize で代用

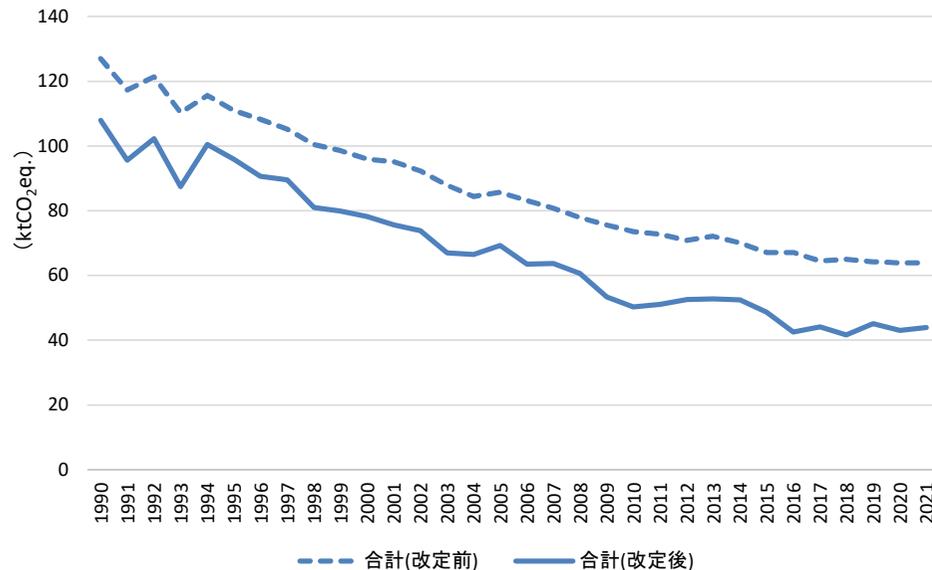
農作物区分		現行 (2006GL)		更新 (2019RM)		
3.F	対象作物	IPCC GL上の区分	$M_B * C_f$	IPCC GL上の区分	M_B	C_f
3.F.1 (穀物)	小麦、大麦、とうもろこし、その他	Wheat residues, Maize residues	4.0, 10.0	Wheat residues, Maize residues	「3.D.a.4 作物残渣のすき込み」で用いられている地上部残渣量 $AGR_{(T)}$ [kg d.m./ha] と共通の値を用いる。	0.90, 0.80
3.F.2 (豆類)	大豆、その他	Maize residues※	10.0	Other Crops		0.85
3.F.3 (根菜類)	ばれいしょ、てんさい、その他	Maize residues※	10.0	Other Crops		0.85
3.F.4 さとうきび	さとうきび	Sugarcane	6.5	Sugarcane		0.80
3.F.5 その他	野菜、なたね、い、葉たばこ	Maize residues※	10.0	Other Crops		0.85

3. 2006年IPCCガイドラインの2019年改良版の反映 (3.F 全体) (3/4)

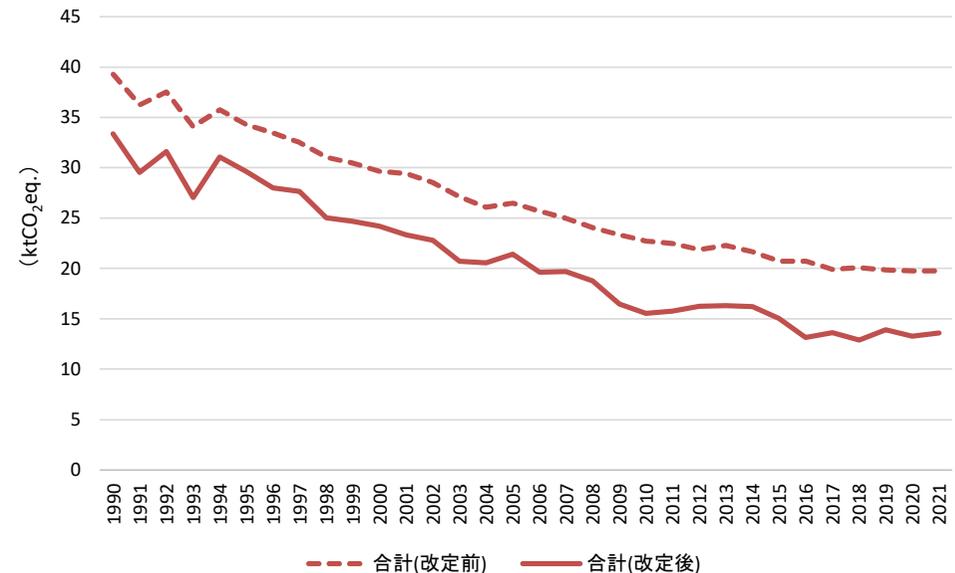
【算定結果 (3.F 全体)】

- ◆ 変更後の農作物残渣の野焼き由来のCH₄及びN₂O排出量を示す。
- 2013年度のCH₄排出量は現行が7.2万tCO₂、改定後が5.3万tCO₂で1.9万tCO₂減少となった。2021年度のCH₄排出量は現行が6.4万tCO₂、改定後が4.4万tCO₂で2.0万tCO₂減少となった。
- 2013年度のN₂O排出量は現行が2.2万tCO₂、改定後が1.6万tCO₂で0.6万tCO₂減少となった。2021年度のN₂O排出量は現行が2.0万tCO₂、改定後が1.4万tCO₂で0.6万tCO₂減少となった。
- ◆ 排出量の最大の減少要因は、その他(野菜類等)の活動量(単位面積当たり燃焼バイオマス量)の減少である。

【農作物残渣の野焼き由来のCH₄排出



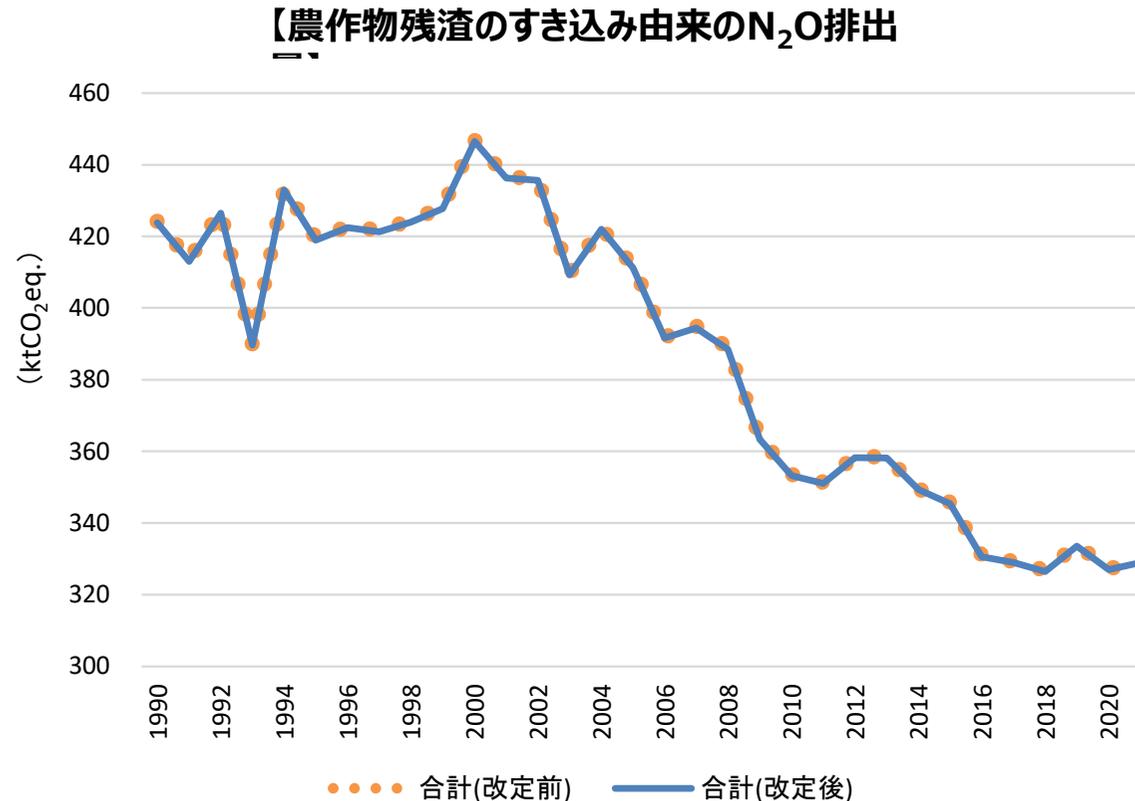
【農作物残渣の野焼き由来のN₂O排出



3. 2006年IPCCガイドラインの2019年改良版の反映 (3.F 全体) (4/4)

【算定結果 (3.D.a.4 作物残渣のすき込み)】

- ◆ 変更後の農作物残渣のすき込み由来のN₂O排出量を示す。
- 2013年度のN₂O排出量は現行が35.85万tCO₂、改定後が35.81万tCO₂で350tCO₂減少となった。2021年度のN₂O排出量は現行が32.93万tCO₂、改定後が32.89万tCO₂で340tCO₂減少となった。
- ◆ 排出量の減少要因は、燃焼係数の増加によるすき込み窒素量（残渣量）の減少である。



4. 稲わらの排出係数の精緻化 (3.F.1 穀物) (1/2)

【検討課題】

- ◆ 農作物残渣の野焼きのうち最もCH₄、N₂O排出量が多い稲わらの野焼きの排出係数について、国内の数値に改定が必要か検討した。

【対応方針】

- ◆ 国内の研究データの平均値を新たな排出係数とした。

【排出係数の国内データ】

含水率 [%]	CH ₄ [gCH ₄ /kg d.m.]	N ₂ O [gN ₂ O/kg d.m.]	Reference
10.6	2.1 ※1	0.13 ※2	Miura and Kanno (1997)
14.2	4.1 ※1	0.10 ※2	Miura and Kanno (1997)
10.6	0.75	0.033	K. Hayashi et al. (2014)
20.0	2.47	0.057	K. Hayashi et al. (2014)
-	2.36	0.08	上記4つの排出係数の平均値
- ※3	2.7	0.07	2006 IPCC Guidelines (Andreae and Merlet (2001)) ※現在のインベントリ使用値

※1 論文中の「乾燥稲わら1kgあたりCH₄ガスとして排出される炭素量[gC/kg d.m.]」に16/12を乗じて算出。

※2 論文中の「乾燥稲わら1kgあたりN₂Oガスとして排出される窒素量[gN₂O-N/kg d.m.]」に44/28を乗じて算出。

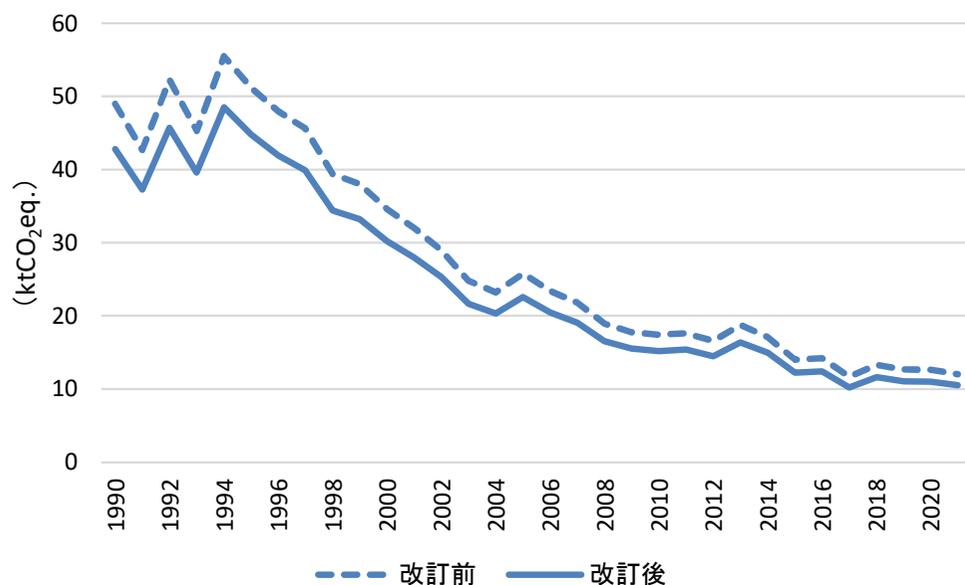
※3 IPCCガイドライン2019年改良版では稲の乾物率のデフォルト値が0.89とされているので、含水率は11%と考えることができる。

4. 稲わらの排出係数の精緻化 (3.F.1 穀物) (2/2)

【算定結果】

- ◆ CH₄排出係数を2.36gCH₄/kg d.m.、N₂O排出係数を0.08gN₂O/kg d.m.とした場合の稲の野焼きに由来するCH₄及びN₂O排出量を示す。
- 2013年度のCH₄排出量は現行が1.9万tCO₂、改定後が1.6万tCO₂で0.2万tCO₂減少となった。2021年度のCH₄排出量は現行が1.2万tCO₂、改定後が1.0万tCO₂で0.2万tCO₂減少となった。
- 2013年度のN₂O排出量は現行が0.6万tCO₂、改定後が0.7万tCO₂で0.1万tCO₂増加となった。2021年度のN₂O排出量は現行が0.4万tCO₂、改定後が0.4万tCO₂で0.05万tCO₂増加となった。

【農作物残渣の野焼き（稲）由来のCH₄排出



【農作物残渣の野焼き（稲）由来のN₂O排出

