

第6章 農業分野

6.1. 農業分野の概要

農業分野における温室効果ガス排出量は、4A、4B、4C、4D、4Fの5つの分野において算定を行なう。「4A：消化管内発酵」では牛、水牛、めん羊、山羊、馬、豚の消化管内のメタン発酵により生成されたCH₄の体内からの排出について報告を行う。「4B：家畜排せつ物の管理」では牛、水牛、めん羊、山羊、馬、豚、家禽類が排せつする排せつ物の処理に伴うCH₄及びN₂Oの発生について報告を行う。「4C：稲作」では稲を栽培するために耕作された水田(常時湛水田、間欠灌漑水田)からのCH₄の排出について報告を行う。「4D：農用地の土壌」では農用地の土壌からのN₂Oの直接排出及び間接排出について報告を行う。「4E：サバンナの野焼き」については、我が国には発生源が存在しないためNOとして報告する。「4F：農業廃棄物の野焼き」では農業活動に伴い穀物、豆類、根菜類、さとうきびを焼却した際のCH₄及びN₂Oの排出について報告を行う(CH₄・N₂O以外にもCOが発生する)。

1996年改訂IPCCガイドラインによると、農業分野では3年平均の排出量を報告することとされている。日本のインベントリにおいては、当該年前後の年のデータを用いて、3年平均の排出量を報告した。

2007年度における当該分野からの温室効果ガス排出量 26,546Gg-CO₂であり、我が国の温室効果ガス総排出量の1.9%を占めている。また、1990年度の排出量と比較すると16.0%の減少となっている。

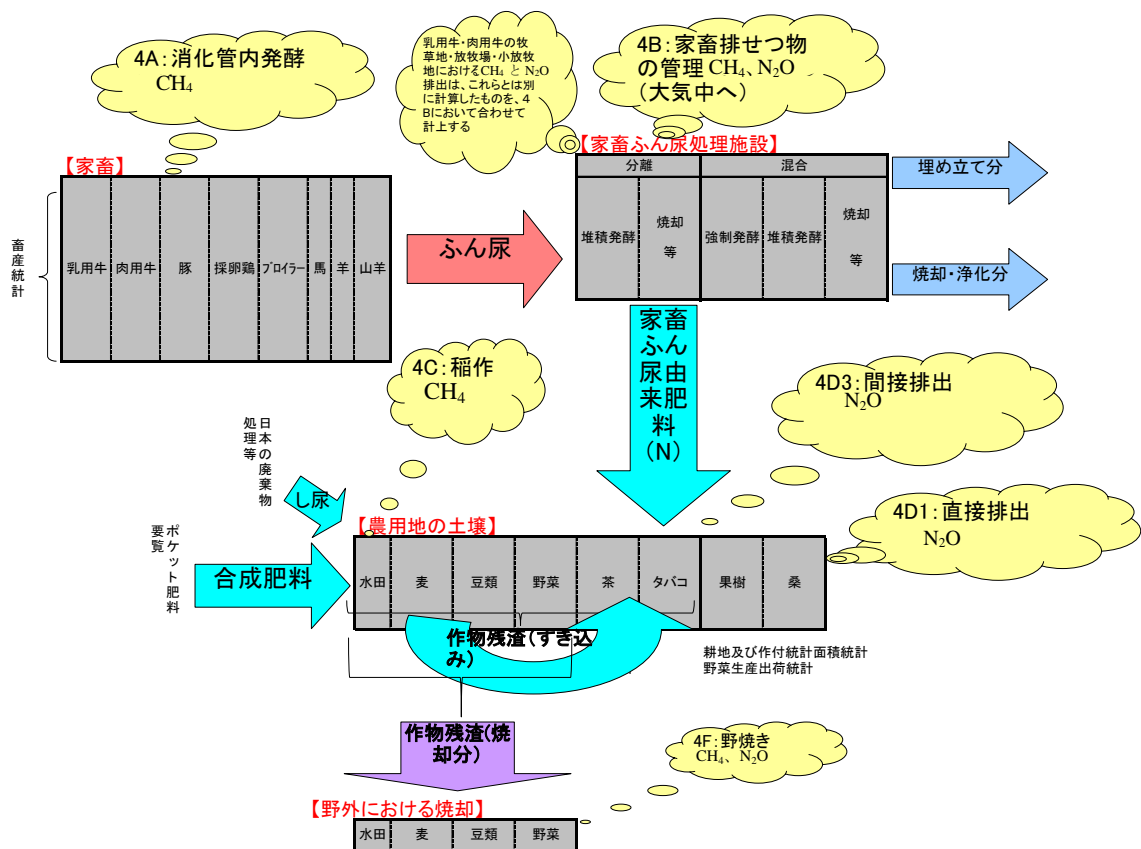


図 6-1 農業分野における分野間の関係について

6.2. 消化管内発酵 (4.A.)

牛、水牛、めん羊、山羊などの反すう動物は複胃を持っており、第一胃でセルロース等を分解するために嫌氣的発酵を行い、その際にCH₄が発生する。馬、豚は反すう動物ではなく単胃であるが、消化管内発酵によりCH₄を微量に発生させ、大気中に放出している。消化管内発酵(4.A.)ではこれらのCH₄排出に関する算定、報告を行なう。

2007年度におけるこのカテゴリーからの温室効果ガス排出量は7,121Gg-CO₂であり、我が国の温室効果ガス総排出量の0.5%を占めている。また、1990年度の排出量と比較すると7.2%の減少となっている。

6.2.1. 牛 (4.A.1.)

a) 排出源カテゴリーの説明

ここでは牛の消化管内発酵によるCH₄排出に関する算定、報告を行なう。

b) 方法論

■ 算定方法

「GPG (2000)」のデシジョンツリー (Page 4.24, Fig.4.2) に従うと、乳用牛及び肉用牛についてはTier 2法を用いて算定を行うこととされている。Tier 2法では、家畜の総エネルギー摂取量にメタン変換係数を乗じて排出係数を算定することとされているが、日本では畜産関係の研究において乾物摂取量を用いた算定を行っており、研究結果を利用することによってより排出実態に即した算定結果が得られると考えられる。このため、牛の消化管内発酵に伴うCH₄排出量については、Tier 2法と類似した日本独自の手法を用い、牛(乳用牛、肉用牛)の飼養頭数に、乾物摂取量に基づき設定した排出係数を乗じてCH₄排出量を求めた。

牛は、5~6ヶ月目には普通の餌を食べるようになるため、月齢5ヶ月以上の牛を消化管内発酵によるCH₄排出の算定対象とする。我が国の排出実態を反映するために、牛の算定区分を表 6-1に示すように定義し、牛の種類、年齢ごとに排出量の算定を行った。

表 6-1 牛の消化管内発酵に伴うCH₄排出の算定区分

家畜種		排出量算定の前提条件等
乳用牛	搾乳牛	—
	乾乳牛	—
	育成牛(2歳未満、月齢5、6ヶ月除く)	飼養頭数の6/24に相当する牛は月齢6ヶ月以下と仮定し、算定の対象外としている。よって、2歳未満の飼養頭数の18/24が対象となる。
	育成牛(月齢5、6ヶ月)	2歳未満の飼養頭数の2/24に相当する、5、6ヶ月の育成牛が対象となる。
肉用牛	繁殖雌牛(1歳以上)	—
	繁殖雌牛(1歳未満、月齢5、6ヶ月除く)	飼養頭数の6/12に相当する牛は月齢6ヶ月以下と仮定し、算定の対象外としている。よって、1歳未満の飼養頭数の6/12が対象となる。
	繁殖雌牛(月齢5、6ヶ月)	1歳未満の飼養頭数の2/12に相当する、5、6ヶ月の牛が対象となる。
	和牛(1歳以上)	—
	和牛(1歳未満、月齢5、6ヶ月除く)	飼養頭数の6/12に相当する牛は月齢6ヶ月以下と仮定し、算定の対象外としている。よって、1歳未満の飼養頭数の6/12が対象となる。
	和牛(月齢5、6ヶ月)	1歳未満の飼養頭数の2/12に相当する、5、6ヶ月の牛が対象となる。
	乳用種(月齢5、6ヶ月除く)	飼養頭数の6/24に相当する牛は月齢6ヶ月以下と仮定し、算定の対象外としている。よって、2歳未満の飼養頭数の18/24が対象となる。
乳用種(月齢5、6ヶ月)	2歳未満の飼養頭数の2/24に相当する、5、6ヶ月の牛が対象となる。	

■ 排出係数

牛の消化管内発酵に伴うCH₄の排出係数については、日本における反すう家畜を対象とした呼吸試験の結果（乾物摂取量に対するCH₄排出量の測定データ）に基づいて設定した。測定結果によると、反すう家畜の消化管内発酵に伴うCH₄排出量は、乾物摂取量を説明変数とする次式により算定できることが明らかにされている（柴田ら(1993)（参考文献30））。

$$Y = -17.766 + 42.793 X - 0.849X^2$$

Y：メタン排出量 [l/日/頭]
X：乾物摂取量 [kg/日/頭]

この算定式に、中央畜産会「日本飼養標準」等から推定した平均乾物摂取量を当てはめ、排出係数を設定した。乾物摂取量は牛の種類ごとに設定した算定式に、乳脂肪補正乳量並びに体重及び体重の増体日量を代入することで算定した。乳脂肪補正乳量については、乳量は農林水産省「牛乳乳製品統計」及び「畜産統計」を、乳脂肪率は農林水産省「畜産物生産費統計」を使用し、毎年度データを更新した。体重・体重の増体日量は、「日本飼養標準」の各巻末にある牛の種類ごとの各月齢における体重の一覧表を用いた。

$$\begin{aligned} & \text{家畜の消化管内発酵CH}_4\text{排出係数 (kgCH}_4\text{/頭)} \\ & = (1 \text{ 頭あたり 1 日のメタン排出量}) / (\text{CH}_4 \text{ 1mol体積}) \times (\text{CH}_4 \text{ 分子量}) \times (\text{年間日数}) \\ & = Y / 22.4 \text{ (l/mol)} \times 0.016 \text{ (kg/mol)} \times 365 \text{ or } 366 \text{ (日)} \end{aligned}$$

■ 活動量

当該排出区分の活動量については、農林水産省「畜産統計」に示された、毎年2月1日時点の各家畜種の飼養頭数を用いた計算により算出した。

表 6-2 牛の消化管内発酵に伴う活動量

項目		単位	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	
乳用牛	搾乳牛	1000 頭	1,082	1,035	971	900	871	862	862	
	乾乳牛	1000 頭	332	299	249	231	221	213	213	
	育成牛（2歳未満、月齢5,6ヶ月除く）	1000 頭	491	445	379	379	375	344	344	
	育成牛（月齢5、6ヶ月）	1000 頭	55	49	42	42	42	38	38	
肉用牛	繁殖雌牛	1歳以上	1000 頭	679	646	612	593	607	634	634
		1歳未満、月齢5、6ヶ月除く	1000 頭	17	13	12	14	14	17	17
		月齢5、6ヶ月	1000 頭	6	4	4	5	5	6	6
	肥育牛	和牛・雄（1歳以上）	1000 頭	368	412	385	374	392	407	407
		和牛・雄（1歳未満、月齢5、6ヶ月除く）	1000 頭	125	133	114	119	118	123	123
		和牛・雄（月齢5、6ヶ月）	1000 頭	42	44	38	40	39	41	41
		和牛・雌（1歳以上）	1000 頭	197	265	246	291	291	309	309
		和牛・雌（1歳未満、月齢5、6ヶ月除く）	1000 頭	102	105	93	89	94	96	96
		和牛・雌（月齢5、6ヶ月）	1000 頭	34	35	31	30	31	32	32
		乳用種（月齢5、6ヶ月除く）	1000 頭	805	808	845	789	798	800	800
		乳用種（月齢5、6ヶ月）	1000 頭	89	90	94	88	89	89	89

※ 2008年度は2007年度値を代用

c) 不確実性と時系列の一貫性

■ 不確実性

上記の表 6-2 の分類（乳用牛は4分類、肉用牛は11分類）で不確実性の評価を行った。排出係数の不確実性は算定式の95%信頼区間から算出した。牛の頭数（活動量）は「畜産統計」

における全頭調査の結果であり統計誤差が示されていないことから、別添7のデシジョンツリーに従い不確実性を5%と決定する。その結果、排出量の不確実性は乳用牛で15%、肉用牛で19%と評価された。なお、不確実性の評価手法の概要については別添7に記載している。

■ 時系列の一貫性

排出係数は上記した方法を使用して、1990年度から一貫した方法で算定している。活動量は農林水産省「畜産統計」を使用し、1989年度から一貫した方法を使用して、算出している。

d) QA/QCと検証

GPG(2000)に従った方法で、Tier 1 QC 活動を実施している。Tier 1 QC には、排出量の算定に用いている活動量、排出係数等パラメータのチェック、及び出典文献の保存が含まれる。

QA/QC 活動の詳細については、別添6.1に詳述している。

e) 再計算

「日本飼養標準 乳牛(2006年度版)」の発刊により、泌乳牛及び乾乳牛の乾物摂取量算定式が更新されたため、2006年度の排出量が変更された。

農業分野では3年平均を使用しているため、2007年度の活動量の修正・更新により、2006年度の排出量に変更された。

f) 今後の改善計画および課題

- ・GPG(2000)では、各国独自に算定した家畜の総エネルギー摂取量に CH_4 変換係数を乗じて排出係数を算出することとされているが、我が国では乾物摂取量をもとに排出係数を算定しているため、差異について検討する必要がある。
- ・栄養管理技術の改善やルーメン内発酵の制御(飼料への脂肪酸カルシウムやポリフェノールの添加等)によるメタン発酵抑制技術が今後普及していくことが予想されているが、それを排出量に反映できるような算定方法は開発されていない(飼料の成分構成、脂肪酸カルシウムの不飽和度・量などによりメタン抑制量は変化するが、それを一般化することはできていない)ため、発生制御対策を反映できるような算定方法について今後開発していく必要がある。

6.2.2. 水牛、めん羊、山羊、馬、豚(4.A.2., 4.A.3., 4.A.4., 4.A.6., 4.A.8.)

a) 排出源カテゴリーの説明

ここでは水牛、めん羊、山羊、馬、豚の消化管内発酵による CH_4 排出に関する算定、報告を行なう。

b) 方法論

■ 算定方法

水牛、めん羊、山羊、馬、豚の消化管内発酵に伴う CH_4 排出については、GPG(2000)に示されたデシジョンツリーに従い、Tier 1法により CH_4 排出量の算定を行った。

■ 排出係数

めん羊、山羊の CH_4 排出係数については、牛と同様に乾物摂取量から推定される CH_4 排出量から設定した値を用いた。豚の CH_4 排出係数については、日本国内の研究成果に基づく値

を設定した。馬、水牛のCH₄排出係数については、1996年改訂IPCCガイドラインに示されたデフォルト値を用いた。

表 6-3 水牛、めん羊、山羊、豚、馬の消化管内発酵に伴うCH₄排出係数

家畜種	乾物摂取量[kg]	CH ₄ 排出係数[kg/年/頭] ^a
めん羊、山羊	0.8	4.1
豚 ^b	—	1.1
馬 ^c	—	18.0
水牛 ^c	—	55.0

a : (メタン排出量 [l/日/頭]) / (1molの体積) × (CH₄分子量) × (年間日数) で算定

b : 斉藤守「肥育豚及び妊娠豚におけるメタンの排せつ量」日畜会報、(1988) (参考文献 29)

c : 1996年改訂 IPCC ガイドライン (参考文献 3)

■ 活動量

めん羊および山羊の活動量は(社)中央畜産会「家畜改良関係資料」に示されたそれぞれの飼養頭数を用いた。豚の活動量については、農林水産省「畜産統計」に示された、毎年2月1日時点の各家畜種の飼養頭数を用いた。馬の活動量は農林水産省「馬関係資料」、水牛の活動量は沖縄県「沖縄県畜産統計」に示されたそれぞれの飼養頭数を用いた。

表 6-4 水牛、めん羊、山羊、豚、馬の頭数

家畜種	単位	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
めん羊	1000頭	21	14	12	9	10	10	10
山羊	1000頭	26	19	22	16	15	15	15
豚	1000頭	11,335	9,900	9,788	9,620	9,759	9,745	9,745
馬	1000頭	116	118	105	87	84	84	84
水牛	1000頭	0.21	0.12	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08

※ 2008年度は2007年度値を代用

c) 不確実性と時系列の一貫性

■ 不確実性

各家畜分類で不確実性の評価を行った。排出係数の不確実性の値はGPG(2000)に示された50%を採用した。活動量については、豚は「畜産統計」に掲載の統計誤差0.83%を採用し、豚以外の家畜の活動量の不確実性は、標本標準偏差が把握できず、専門家判断が不可能であり、指定統計以外であることから、不確実性評価のディシジョンツリーに従い100%とした。その結果、排出量の不確実性は豚が50%、水牛、めん羊、山羊、馬が112%と評価された。なお、不確実性の評価手法の概要については別添7に記載している。

■ 時系列の一貫性

排出係数は1990年から2007年まで一定値を使用している。活動量については、めん羊および山羊は「家畜改良関係資料」、豚は「畜産統計」、馬は「馬関係資料」、水牛は「沖縄県畜産統計」をそれぞれ1989年度値から一貫して使用している。

d) QA/QCと検証

「6.2.1. 牛」と同様。

e) 再計算

めん羊、山羊、馬の活動量に関して、従来はFAO統計の値を用いていたが、望ましいとされる国内の出典である農林水産省から提供されたデータを使用するよう変更したため、全年度の排出量が更新された。

また、農業分野では3年平均を使用しているため、豚について、2007年度の活動量の修正・更新により、2006年度の排出量が変更された。

f) 今後の改善計画および課題

- ・1996年改定IPCCガイドライン及びGPG(2000)のデフォルトの排出係数を使用している家畜については、我が国独自の排出係数を設定できるよう、検討を進めていく必要がある。

6.2.3. 家禽類 (4.A.9.)

家禽類の消化管内発酵により CH_4 が排出されると考えられるが、我が国の文献に排出係数のデータは存在せず、1996年改訂IPCCガイドライン及びGPG(2000)にも排出係数のデフォルト値が定められていないため、「NE」として報告した。

なお、採卵鶏、ブロイラー以外の家禽類については統計上把握されておらず、ほとんど飼養されていないと考えられる。

6.2.4. ラクダ・ラマ、ロバ・ラバ (4.A.5., 4.A.7.)

我が国では、農業用に飼養されているものは存在しないと考えられるため、「NO」として報告した。

6.2.5. その他 (4.A.10.)

日本において農業として営んでいる家畜は、牛、水牛、めん羊、山羊、馬、豚、家禽以外には存在しないため、「NO」として報告した。

6.3. 家畜排せつ物の管理 (4.B.)

家畜の排せつ物からは、排せつ物中に含まれる有機物がメタン発酵によって CH_4 に変換される、または排せつ物中に消化管内発酵由来の CH_4 が溶けていてそれが通気や攪拌により大気中へ放散されることにより CH_4 が発生する。また、家畜の排せつ物の管理過程において、主に微生物の作用による硝化・脱窒過程で N_2O が発生する。

2007年度におけるこのカテゴリーからの温室効果ガス排出量は CH_4 が2,394Gg- CO_2 、 N_2O が4,861Gg- CO_2 であり、我が国の温室効果ガス総排出量のそれぞれ0.2%、0.4%を占めている。また、1990年度の排出量と比較するとそれぞれ22.9%、14.1%の減少となっている。

6.3.1. 牛、豚、家禽類 (4.B.1., 4.B.8., 4.B.9.)

a) 排出源カテゴリーの説明

ここでは、牛、豚、家禽類の家畜排せつ物の管理による CH_4 、 N_2O 排出に関する算定、報告を行なう。

なお、牛については「厩舎内」と「放牧」に分けて算定を行い、放牧のCH₄に関してはこのカテゴリーで報告し、N₂Oに関しては「4.D.2.牧草地・放牧場・小放牧地の排せつ物」で報告する。

b) 方法論

i) 厩舎内の牛、豚、家禽類

■ 算定方法

牛（乳用牛、肉用牛）、豚、家禽類（採卵鶏、ブロイラー）の厩舎内の排せつ物の管理に伴うCH₄排出については、家畜種ごとの排せつ物中に含まれる有機物量に、排せつ物管理区分ごとの排出係数を乗じて、CH₄排出量の算定を行った。

$$E = \sum (EF_n \times A_n)$$

E : 牛、豚、家禽の排せつ物管理に伴うCH₄排出量 (gCH₄)

EF_n : 排せつ物管理区分 n の排出係数 (gCH₄/g有機物)

A_n : 排せつ物管理区分 n の排せつ物中に含まれる有機物量 (g有機物)

牛（乳用牛、肉用牛）、豚、家禽類（採卵鶏、ブロイラー）の排せつ物の管理に伴うN₂O排出については、家畜種ごとの排せつ物中に含まれる窒素量に、排せつ物管理区分ごとの排出係数を乗じて、N₂O排出量の算定を行った。

$$E = \sum (EF_n \times A_n) \times 44 / 28$$

E : 牛、豚、家禽の排せつ物管理に伴うN₂O排出量 (gN₂O)

EF_n : 排せつ物管理区分 n の排出係数 (gN₂O-N/gN)

A_n : 排せつ物管理区分 n の排せつ物中に含まれる窒素量 (gN)

■ 排出係数

乳用牛、肉用牛、豚、採卵鶏、ブロイラーの家畜排せつ物の管理に伴うCH₄及びN₂Oの排出係数については、我が国における研究成果を踏まえ、図 6-2のデシジョンツリーに従い妥当性を検討し、家畜種別処理方法別に設定した。

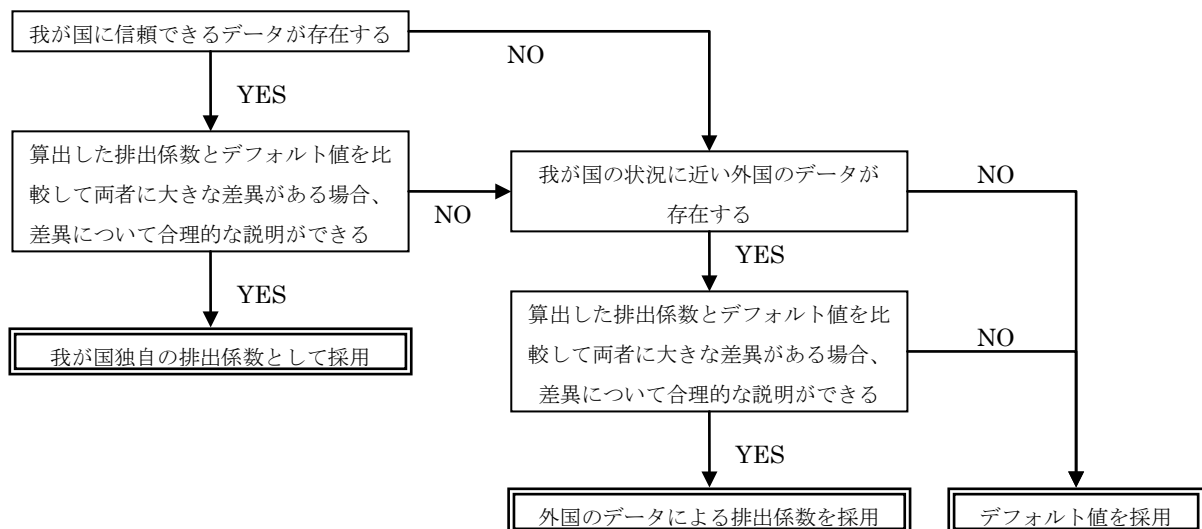


図 6-2 排出係数決定のためのデシジョンツリー

表 6-5 牛、豚、採卵鶏、ブロイラーの排せつ物管理に伴うCH₄排出係数

処理区分	乳用牛		肉用牛		豚		採卵鶏 ブロイラー	
	排出率	設定	排出率	設定	排出率	設定	排出率	設定
12. 貯留	3.90 %	D ¹	3.00 %	D ¹	8.7 %	D ¹	—	—
13. 天日乾燥	0.20 %	J ³	0.20 %	J ³	0.20 %	J ³	0.20 %	J ³
14. Other	14a. 火力乾燥	0 %	Z ⁴	0 %	Z ⁴	0 %	Z ⁴	Z ⁴
	14b. 強制発酵・ふん	0.044 %	D ¹	0.034 %	D ¹	0.097 %	D ¹	J ⁵
	14c. 堆積発酵	3.80 %	J ⁵	0.13 %	J ⁵	0.16 %	J ⁵	J ⁵
	14d. 焼却	0.4 %	O ⁴⁶	0.4 %	O ⁴⁶	0.4 %	O ⁴⁶	O ⁴⁶
	14e. 強制発酵・尿及びふん尿混合	0.044 %	D ¹	0.034 %	D ¹	0.097 %	D ¹	—
	14f. 浄化	0.0087%	D ¹	0.0067%	D ¹	0.019%	D ¹	—

表 6-6 牛、豚、採卵鶏、ブロイラーの排せつ物管理に伴うN₂O排出係数

処理区分	乳用牛		肉用牛		豚		採卵鶏 ブロイラー	
	排出率	設定	排出率	設定	排出率	設定	排出率	設定
12. 貯留・尿	0.10 %						D ¹	
13. 天日乾燥	2.0 %						D ¹	
14. Other	14a. 火力乾燥						D ¹	
	14b. 強制発酵・ふん						J ⁷	
	2.40 %	J ⁵	1.60 %	J ⁵	2.50 %	J ⁵	2.0 %	D ¹
	14d. 焼却						O ⁴	
	14e. 強制発酵・尿及びふん尿混合						D ¹	
	14f. 浄化						J ⁸	

D: IPCC ガイドラインのデフォルト値を利用

J: 我が国の観測データより設定

O: 他国のデータより設定

Z: 原理的に排出は起こらないとの仮定により設定

*採卵鶏・ブロイラーについては、ふんに近いふん尿混合状態であるため、ふんとして扱う。

表 6-5、表 6-6 の出典

1: GPG (2000) (参考文献 4)

2: 1996 年改訂 IPCC ガイドライン (参考文献 3)

3: 石橋ら、「畜産業における温室効果ガス排出削減技術の開発 (第 2 報)」(2003) (参考文献 34)

4: 畜産技術協会「畜産における温室効果ガスの発生制御 総集編」(2002) (参考文献 22)

5: Osada et.al, Greenhouse gas generation from livestock waste composting (2005) (参考文献 38)

6: IPCC(1995): IPCC 1995 Report (参考文献 2)

7: Osada et. al, Determination of nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from a swine waste composting process (2000) (参考文献 36)

8: Osada, Nitrous Oxide Emission from Purification of Liquid Portion of Swine Wastewater (2003) (参考文献 37)

■ 活動量

乳用牛、肉用牛、豚、採卵鶏、ブロイラーの家畜排せつ物の管理に伴うCH₄、N₂O排出の活動量については、年間に各家畜種から排せつされる有機物量及び窒素量の推計値をそれぞれ用いた。

各家畜種から排せつされる年間有機物量は、家畜種ごとの飼養頭数に一頭当たりの排せつ物排せつ量、有機物含有率を乗じることによって総量を算定し、年間窒素量は、家畜種ごとの飼養頭数に一頭当たりの排せつ物中窒素量を乗じることによって総量を算定した。その総

量に、排せつ物分離処理割合及び各排せつ物管理区分割合を乗じ、各排せつ物管理区分に有機物量及び窒素量を割り振った。なお、各家畜種の家畜頭数は「4.A.消化管内発酵」と同じ出典のものを使用している。

CH_4 の活動量：各家畜種から排せつされる有機物量[千t]

=家畜の飼養頭数 [千頭]×排せつ物量 [kg/頭/日]×年間日数[日]×排せつ物中の有機物含有率 [%]×排せつ物分離処理の割合 [%] ×各管理区分割合 [%]×1000

(出典)

家畜の飼養頭数：農林水産省「畜産統計」(参考文献 15)

排せつ物量：「家畜の排泄物量推定プログラム」(築城ら)(参考文献 44)

排せつ物中の有機物含有率：(社)畜産技術協会「畜産における温室効果ガスの発生制御 総集編」(参考文献 22)

排せつ物分離処理の割合：同上

各管理区分割合：(社)畜産技術協会「畜産における温室効果ガスの発生制御 第四集」(参考文献 23)

N_2O の活動量：各家畜種から排せつされる窒素量[千t-N]

=家畜の飼養頭数 [千頭]×排せつ物中窒素量[kg-N/頭/日]×年間日数[日]×排せつ物分離処理の割合 [%] ×各管理区分割合 [%]×1000

(出典)

排せつ物中窒素量：「家畜の排泄物量推定プログラム」(築城ら)(参考文献 44)

その他については CH_4 と同じ

○ 牛の飼養頭数

放牧中の牛との重複を避けるため、牛の飼養頭数は乳用牛・肉用牛の「全飼養頭数」から放牧分の活動量「放牧頭数×放牧日数(190日)/1年の日数(365日または366日)」を差し引いて設定した。

表 6-7 家畜種ごとの排せつ物排せつ量

家畜種		排せつ物量 [kg/頭/日]		窒素量 [gN/頭/日]	
		ふん	尿	ふん	尿
乳用牛	搾乳牛	45.5	13.4	152.8	152.7
	乾・未経産	29.7	6.1	38.5	57.8
	育成牛	17.9	6.7	85.3	73.3
肉用牛	2歳未満	17.8	6.5	67.8	62.0
	2歳以上	20.0	6.7	62.7	83.3
	乳用種	18.0	7.2	64.7	76.4
豚	肥育豚	2.1	3.8	8.3	25.9
	繁殖豚	3.3	7.0	11.0	40.0
採卵鶏	雛	0.059	-	1.54	-
	成鶏	0.136	-	3.28	-
ブロイラー		0.130	-	2.62	-

(出典)「家畜の排泄物量推定プログラム」(築城ら)(参考文献 44)

表 6-8 家畜種ごとの排せつ物中の有機物含有率と窒素含有率（湿ベース）

家畜種	有機物含有率		窒素含有率	
	ふん	尿	ふん	尿
乳用牛	16%	0.5%	0.4%	0.8%
肉用牛	18%	0.5%	0.4%	0.8%
豚	20%	0.5%	1.0%	0.5%
採卵鶏	15%	—	2.0%	—
ブロイラー	15%	—	2.0%	—

(出典) 畜産技術協会「畜産における温室効果ガスの発生制御 総集編」(2002) (参考文献 22)

表 6-9 家畜種ごとの排せつ物分離・混合処理の割合

家畜種	ふん尿分離	ふん尿混合
乳用牛	60%	40%
肉用牛	7%	93%
豚	70%	30%
採卵鶏	100%	—
ブロイラー	100%	—

(出典) 畜産技術協会「畜産における温室効果ガスの発生制御 総集編」(2002) (参考文献 22)

表 6-10 家畜種ごとの排せつ物管理区分割合

ふん尿分離状況		処理方法	乳用牛	肉用牛	豚	採卵鶏	ブロイラー
ふん尿 分離処理	ふん	天日乾燥	2.8%	1.5%	7.0%	30.0%	15.0%
		火力乾燥	0.0%	0.0%	0.7%	3.0%	0.0%
		強制発酵	9.0%	11.0%	62.0%	42.0%	5.1%
		堆積発酵等	88.0%	87.0%	29.6%	23.0%	66.9%
		焼却	0.2%	0.5%	0.7%	2.0%	13.0%
	尿	強制発酵	1.5%	9.0%	10.0%	—	—
		浄化	2.5%	2.0%	45.0%	—	—
		貯留	96.0%	89.0%	45.0%	—	—
	ふん尿 混合処理	天日乾燥	4.7%	3.4%	6.0%	—	—
		火力乾燥	0.0%	0.0%	0.0%	—	—
強制発酵		20.0%	22.0%	29.0%	—	—	
堆積発酵		14.0%	74.0%	20.0%	—	—	
浄化		0.3%	0.0%	22.0%	—	—	
貯留		61.0%	0.6%	23.0%	—	—	

(出典) 畜産技術協会「畜産における温室効果ガスの発生制御 第四集」(1999) (参考文献 23)

■ 完全性について

採卵鶏、ブロイラー以外の家禽類については統計上把握されておらず、ほとんど飼養されていないと考えられる。このため、採卵鶏、ブロイラーのみを対象とした。

■ 気候区分について

GPG (2000) によると、Tier 1 法において気候区分ごとの飼養頭数を用いて排出量を算定することとされている。

1996 年改訂 IPCC ガイドラインに示された気候区分に従うと、日本は温帯と冷帯に分類されることとなる。日本の各県の平均気温は 15℃程度であり、1996 年改訂 IPCC ガイドラインに示された閾値とほぼ一致するため、気候区分を温帯、冷帯に分類せず全都道府県を温帯と仮定し排出量の算定を行った。

ii) 放牧中の牛

家畜が放牧中に排せつする排せつ物（放牧されている家畜によって放牧地及び水飲み場に直接排せつされたふん尿）により、排せつ物中の有機物がメタン発酵によりCH₄に変換されCH₄が発生する。同じく排せつ物中の窒素分はアンモニウムイオンとして発生し、好気条件下でそのアンモニウムイオンが硝酸態窒素に酸化される過程でN₂Oが発生する。

我が国では、牛以外の家畜の放牧実態については統計等の情報で把握できないため、本カテゴリーでは牛の放牧を対象に排出量の計上を行なう。なお、CRFにおいては、CH₄は「4.B. 家畜排せつ物の管理」で、N₂Oは「4.D.2. 放牧地、放牧場、小放牧地の排せつ物」で計上を行うこととする。

■ 算定方法

放牧における、牧草地・放牧場・小放牧地の排せつ物からのCH₄、N₂O排出については、牛の放牧を対象に、GPG（2000）のデシジョンツリー（Page 4.55, Fig.4.7）に従い、我が国独自の排出係数に総放牧頭数を乗じて排出量の算定を行った。

■ 排出係数

一日当たり牛一頭が排せつする排せつ物からのCH₄、N₂O発生量(g)のデータを排出係数として用いる。データは放牧期間中に放牧牛から排せつされる排せつ物中の炭素量のモデル出力値に、放牧牛の排せつ物中に含まれる炭素当たりのCH₄、N₂O発生量の実測値を乗じることにより設定している。

放牧牛から排せつされる排せつ物中の炭素量は、放牧牛成長モデルによって、放牧地における草の生産量や質、気象条件、放牧牛の日齢等に基づき算出されている。

表 6-11 家畜生産の排出係数

GHGs	排出係数	単位
CH ₄	3.67	[g CH ₄ /頭/日]
N ₂ O	0.32	[g N ₂ O-N/頭/日]

（出典）畜産技術協会「畜産における温室効果ガスの発生制御 第六集」（2001）（参考文献 24）

■ 活動量

活動量は、放牧頭数に、放牧期間を乗じることによって設定した。放牧頭数は「平成 16 年度畜産統計」による公共牧場、民間牧場双方を含めた全放牧頭数により把握する。2002 年度以前は統計が存在しないため、1990～2002 年度の放牧頭数は、2003 年度と 2004 年度の放牧頭数割合（＝「畜産統計の放牧頭数」／「総飼養頭数」）の平均値を算出し、その割合を、全ての年で一定であると想定して、各年度の総放牧頭数に乘じることによって算出することとする。

放牧期間については、「牛の放牧場の全国実態調査（2000 年）報告書」に示された調査結果の季節放牧（平均放牧日数 172.8 日、牧場数 623）と周年放牧（放牧日数を 365 日と仮定、牧場数 61）の値を用い、放牧日数を牧場数で加重平均を行ない 190 日と設定した。

表 6-12 放牧頭数の推移

項目	単位	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
乳用牛放牧頭数	頭	302,219	281,603	252,088	245,100	236,500	311,900	311,900
肉用牛放牧頭数	頭	99,734	103,162	99,759	116,300	98,500	134,500	134,500

※ 2008 年度は 2007 年度値を代用

iii) 共通報告様式 (CRF) での報告方法について

共通報告様式 (CRF) では、当該区分のCH₄排出を家畜種ごとに報告することとされているが、N₂O排出については処理方法ごと (11. 嫌気性ラグーン (Anaerobic Lagoons)、12. 汚水処理 (Liquid Systems)、13. 固形貯留及び乾燥 (Solid Storage and Dry Lot)、14. その他) に報告することとされている。

牛、豚、家禽類については、我が国独自の家畜種ごとの排せつ物管理区分、及び排せつ物管理区分の実施割合を設定している。表 6-13 にその詳細を示した。

現在の CRF における報告カテゴリーは、「嫌気貯留」、「スラリー」、「固体貯蔵、乾燥」、「その他」に分かれている。しかし、我が国では、特にふんについては堆肥化が広く行われていることから、「その他」という区分に「堆積発酵」、「強制発酵」という堆肥化に関する区分を設けて報告を行っている。加えて、ふんの容積減少や取扱性向上を目的として「火力乾燥」や「焼却」も行われるため、これらについても「その他」に区分を設け報告している。また、尿は汚濁物質濃度の高い汚水であり、それを浄化する処理が行われていることから、CRF の「その他」に「浄化」という区分を設けている。

なお、我が国で堆肥化処理が多く行われている理由としては、①我が国の畜産農家の場合、発生する排せつ物の還元に必要な面積を所有していない場合が多く、経営体外での利用向けに排せつ物を仕向ける必要性が多いため、たい肥化による運搬性、取扱い性の改善が不可欠であること、②我が国は降雨量が多く施肥の流失が生じやすく、水質保全、悪臭防止、衛生管理といった観点からの要請も強いため、様々な作物生産への施肥において、スラリーや液状物に比べ、たい肥に対する需要ははるかに大きいことなどがあげられる。

「11. 嫌気性ラグーン」については、家畜ふん尿を貯留して散布するだけの農地を有する畜産家がほとんど存在せず、農地への散布を行う場合でも、事前に攪拌を行ってから散布しており「嫌氣的 (anaerobic)」な処理方法は存在しないといえるため、「NO」として報告した。

表 6-13 我が国と CRF の排せつ物管理区分の対応関係及び排せつ物管理区分の概要

我が国の区分		CRF で用いている区分	排せつ物管理区分の概要	
排せつ物 分離状況	排せつ物 管理区分			
ふん尿 分離処理	ふん	天日乾燥	13. 固形貯留及び乾燥	天日により乾燥し、ふんの取扱性（貯蔵施用、臭気等）を改善する。
		火力乾燥	14. その他 (a. 火力乾燥)	火力により乾燥し、ふんの取扱性を改善する。
		強制発酵	14. その他 (b. 強制発酵)	堆肥化方法の一つ。開閉式または密閉式の強制通気攪拌発酵槽で数日～数週間発酵させる。
		堆積発酵	14. その他 (c. 堆積発酵)	堆肥化方法の一つ。堆肥盤、堆肥舎等に高さ 1.5-2m 程度で堆積し、時々切り返しながらか数ヶ月かけて発酵させる。
		焼却	14. その他 (d. 焼却)	ふんの容積減少や廃棄、及びエネルギー利用（鶏ふんボイラー）のため行う。
	尿	強制発酵	14. その他 (e. 強制発酵（液状）)	貯留槽において曝気処理する。
		浄化	14. その他 (f. 浄化)	活性汚泥など、好気性微生物によって、汚濁成分を分離する。
	貯留	11. 汚水処理	貯留槽に貯留する。	
ふん尿 混合処理	天日乾燥	13. 固形貯留及び乾燥	天日により乾燥し、ふんの取扱性を改善する。	
	火力乾燥	14. その他 (a. 火力乾燥)	ふん尿分離処理の記述に同じ。	
	強制発酵	14. その他 (e. 強制発酵（液状）)	固形状の場合、開閉式または密閉式の強制通気攪拌発酵槽で数日～数週間発酵させる。液状の場合、貯留槽において曝気処理する。	
	堆積発酵	14. その他 (c. 堆積発酵)	ふん尿分離処理の記述に同じ。	
	浄化	14. その他 (f. 浄化)	ふん尿分離処理の記述に同じ。	
	貯留	12. 汚水処理	貯留槽（スラリーストア等）に貯留する。	

iv) 家畜ふん尿から農地に使用される窒素量

現在、「4.D.2. 間接排出」における家畜排せつ物由来の有機物肥料の施肥量は、家畜排せつ物中の総窒素量から、大気中に気体として揮発する量、完全に窒素分が消失する「焼却」・「浄化」処理を行う量、及び廃棄物として埋立処分される量を除いた量を使用している。なお、水牛、めん羊、山羊、馬については、排せつ物の量が極少量で加えて我が国でどのように管理されているか詳細が不明であるため、対象から除く。

■ 算定方法

家畜排せつ物由来の有機物肥料の施肥量は、厩舎分の家畜排せつ物に含まれる全窒素量から、「直接最終処分」される排せつ物に含まれる窒素量、 N_2O として大気中に揮発した窒素量、 NH_3 や NO_x として大気中に揮発した窒素量、及び「焼却」・「浄化」処理された窒素量を除いた窒素量とする。

$$N_D = N_{all} - N_{N_2O} - N_{NH_3+NO_x} - N_{inc+waa} - N_{waste}$$

N_D : 農用地に施用された家畜排せつ物由来肥料中の窒素量 (kg N)

N_{all} : 家畜から排せつされた窒素総量（厩舎分）(kg N)

N_{N_2O} : 家畜排せつ物から N_2O として大気中に揮発した窒素量（厩舎分）(kg N)

$N_{NH_3+NO_x}$: 家畜排せつ物から NH_3 や NO_x として揮発した窒素量（厩舎分）(kg NH_3 -N+ NO_x -N)

$N_{inc+waa}$: 「焼却」及び「浄化」処理された窒素量（厩舎分）(kg N)

N_{waste} : 「直接最終処分」される家畜排せつ物に含まれる窒素量 (kg N)

○ 排せつ物からN₂Oとして大気に揮発した量

排せつ物からN₂Oとして大気に揮発した窒素量については、家畜排せつ物処理におけるN₂O排出量の算定結果より把握した。

○ 家畜排せつ物からNH₃やNO_xとして揮発した量

家畜排せつ物からNH₃やNO_xとして揮発した窒素量は、各家畜の窒素排せつ量に、各家畜の排せつ物からNH₃やNO_xとして揮発する割合を乗じて算出する。家畜排せつ物から揮発するNH₃やNO_xの割合については、NO_xの揮発割合が不明なためNH₃の揮発割合と合わせて、(社)畜産技術協会「畜産における温室効果ガスの発生制御 総集編」に掲載の「家畜ふん尿からのNH₃推定揮散率」を使用することとする。

表 6-14 家畜糞尿からのアンモニア推定揮発率

家畜種	値
乳用牛、肉用牛	10%
豚	20%
採卵鶏、ブロイラー	30%

(出典) 畜産技術協会「畜産における温室効果ガスの発生制御 総集編」(2002) (参考文献 22)

○ 焼却・浄化処理された窒素量

家畜排せつ物処理において「焼却」・「浄化」処理に振り分けられた窒素量から把握した。

○ 直接最終処分された家畜排せつ物中の窒素量

廃棄物として埋め立てられ最終処分される家畜排せつ物は、何らかの処理がされた後に埋め立てられる分(以後、「処理後最終処分」と、特に何の処理も施されずにそのまま直接的に埋め立てられる分(以後、「直接最終処分」)に分かれる。

直接最終処分される排せつ物は埋立前にふんと尿の混合状態で留め置かれる状態になるため、各家畜について、「ふん尿混合」の「貯留」処理される排せつ物の一部が「直接最終処分」されることとする(採卵鶏、ブロイラーについては、「ふん」の「堆積発酵」と同様の状態とする)。なお、「処理後最終処分」される家畜排せつ物量については極少量であり、かつどの処理区分で処理されているか不明であるため、「直接最終処分」に加えることとする。

直接最終処分された家畜排せつ物中の窒素量は、「廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環的利用実態調査報告書」に示される直接最終処分量と処理後最終処分量の合計値を、牛、豚の「ふん尿混合-貯留」処理されるふん尿量、及び採卵鶏・ブロイラーの「ふん-堆積発酵」処理されるふん量で按分し、牛、豚についてはふん量と尿量でさらに按分する。これに各家畜毎のふん、尿毎の貯留されたふん尿中の窒素量を貯留された排せつ物量で除することにより算定した窒素含有率を乗じて算定した。

直接最終処分された家畜排せつ物中の窒素量

＝直接最終処分量と処理後最終処分量の合計値×貯留されたふん尿中の平均窒素含有率
 ＝直接最終処分量と処理後最終処分量の合計値×貯留されたふん尿中の窒素量／貯留された排せつ物量

表 6-15 家畜ふん尿から農地に利用される窒素量（単年値）

項目	単位	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
ふん尿中の窒素総量 (N_{all})	tN	780,948	739,397	701,343	676,486	685,699	679,326	677,435
大気中に N_2O として排出される窒素量（浄化・焼却以外）	tN	9,164	8,675	8,188	7,892	8,009	7,934	7,912
大気中に NH_3 、 NO_x として排出される窒素量 ($N_{NH_3+No_x}$)	tN	144,091	136,475	129,345	124,958	127,527	126,442	126,092
浄化・焼却によって消失する窒素量 ($N_{inc+waa}$)	tN	69,044	60,300	57,926	56,680	57,520	57,241	57,085
埋立され消失する窒素量 (N_{waste})	tN	16,625	14,529	13,588	15,367	15,600	15,751	15,752
農用地に肥料として還元される窒素量 (N_D)	tN	542,025	519,419	492,296	471,588	477,043	471,958	470,594

c) 不確実性と時系列の一貫性

■ 不確実性

家畜ごとに不確実性の評価を行った。牛は「厩舎」と「放牧」に分けて評価を行い、最終的に2つの不確実性を合成した。

「放牧」の牛以外の排出係数の不確実性は、不確実性評価のデシジョンツリーに従い、GPG (2000) 及び専門家判断により評価を行った。「放牧」の牛の排出係数の不確実性は不確実性評価のデシジョンツリー、及び専門家判断により評価を行った。

活動量の不確実性は、豚は「畜産統計」掲載の統計誤差 0.83%を採用し、採卵鶏、ブロイラーは「畜産統計」掲載の採卵鶏の統計誤差 1.99%を採用した。牛（総飼養頭数）は「6.2.1 消化管内発酵 牛」と同様に5%を採用した。放牧牛頭数も「畜産統計」内の数値であるが、統計誤差が掲載されておらず、また、上記の総飼養頭数の精度が適用出来るか判断が難しいことから、不確実性評価のデシジョンツリーに従い50%を用いた。

その結果、排出量の不確実性は乳用牛の CH_4 、 N_2O でそれぞれ78%、91%、肉用牛の CH_4 、 N_2O でそれぞれ73%、125%、豚の CH_4 、 N_2O でそれぞれ106%、92%、家禽類（採卵鶏・ブロイラー）の CH_4 、 N_2O でそれぞれ53%、79%と評価された。なお、不確実性の評価手法の概要については別添7に記載している。

■ 時系列の一貫性

排出係数は上記した方法を使用して、1989年度値から一貫した方法で算定している。活動量は「畜産統計」をもとに、1989年度値から一貫した方法を使用して、算定している。

d) QA/QCと検証

GPG (2000)に従った方法で、Tier 1 QC 活動を実施している。Tier 1 QC には、排出量の算定に用いている活動量、排出係数等パラメータのチェック、及び出典文献の保存が含まれる。また、我が国独自の排出係数のうちデフォルト値と差異が大きなものについては、差異の原因についての分析も行っている。

QA/QC 活動の詳細については、別添 6.1 に詳述している。

e) 再計算

家畜種ごとの排せつ物量原単位について、より実態を反映した数値へ変更したため、1989年度から2006年度までの活動量に変更され、それに伴い1990年度から2006年度までの排出

量も変更した。

農業分野では3年平均を使用しているため、各家畜について、2007年度の活動量の修正・更新により、2006年度の排出量に変更された。

今回の報告より、牛の牧草地・放牧場・小放牧地の排せつ物からのN₂O排出量は4.D.2.で計上することになったことから、全年度で排出量に変更された。

f) 今後の改善計画および課題

排出実態に関する研究が関係機関により継続して実施されているため、新たな成果が得られた場合には、排出係数及び各種パラメータの見直しを検討する。

6.3.2. 水牛、めん羊、山羊、馬 (4.B.2., 4.B.3., 4.B.4., 4.B.6.)

a) 排出源カテゴリーの説明

ここでは、水牛、めん羊、山羊、馬の家畜排せつ物の管理によるCH₄、N₂O排出に関する算定、報告を行なう。

b) 方法論

1) CH₄

■ 算定方法

水牛、めん羊、山羊、馬のふん尿管理に伴うCH₄排出については、GPG (2000) のデシジョンツリー (Page 4.33, Fig.4.3) に従いTier 1法を用いてCH₄排出量の算定を行った。

$$\frac{\text{家畜の排せつに伴うCH}_4\text{排出量 (kgCH}_4\text{)}}{\text{家畜の排出係数 [kgCH}_4\text{/年/頭]} \times \text{家畜の飼養頭数}}$$

■ 排出係数

めん羊、山羊、馬のふん尿管理に伴うCH₄排出係数については、1996年改訂IPCCガイドラインに示された先進国の温帯のデフォルト値を採用した。水牛については「Asia」温帯のデフォルト値を採用した。

表 6-16 水牛、めん羊、山羊、馬のCH₄排出係数

家畜種	排出係数 [kg CH ₄ /頭/年]	出典
めん羊	0.28	1996年改訂 IPCC ガイドライン Vol.2 p4.6 Table4-4
山羊	0.18	
馬	2.08	
水牛	2.0	1996年改訂 IPCC ガイドライン Vol.3 p4.13 Table4-6

■ 活動量

「4.A.消化管内発酵」と同様に、めん羊および山羊の活動量は(社)中央畜産会「家畜改良関係資料」、馬の活動量は農林水産省「馬関係資料」、水牛の活動量は沖縄県「沖縄県畜産統計」に示された飼養頭数を用いた。(表 6-4)

2) N₂O

■ 算定方法

水牛、めん羊、山羊、馬のふん尿管理に伴うN₂O排出については、GPG (2000) のデシジョンツリー (Page 4.41, Fig.4.4) に従い、Tier 1 法を用いてN₂O排出量の算定を行った。

家畜の排せつに伴うN₂O排出量 (kgN₂O)

=各家畜の排せつ物管理区分毎の排出係数[kgN₂O-N/kgN]×家畜の排せつ物中の窒素量[kgN/頭]×排せつ物管理区分割合×家畜の飼養頭数[頭]

■ 排出係数

水牛、めん羊、山羊、馬のふん尿管理に伴うN₂O排出係数については、1996年改訂IPCCガイドラインに示された「Asia & Far East (アジア及び極東)」のデフォルト値を採用した。

表 6-17 水牛、めん羊、山羊、馬の排出係数[kgN₂O-N/ kgN]

排せつ物管理区分		排出係数 [kgN ₂ O-N/ kgN]	
11.	Anaerobic Lagoons	嫌気性ラグーン	0.1%
12.	Liquid Systems	汚水処理	0.1%
13.	Solid Storage and Dry Lot	固形貯留及び乾燥	2.0%
14. Other	a. Thermal Drying	その他 (火力乾燥)	0.0%
	b. Composting	その他 (強制発酵)	0.0%
	c. Piling	その他 (堆積発酵)	0.0%
	d. Incineration	その他 (焼却)	0.0%
	e. Liquid Composting	その他 (強制発酵[液状])	0.0%
	f. Purification	その他 (浄化)	0.0%
	g. Daily Spread	その他 (逐次散布)	0.0%
	h. Pasture Range and Paddock	その他 (放牧地/牧野/牧区)	2.0%
	i. Used Fuel	その他 (燃料利用)	0.0%
	j. Other system	その他 (その他処理)	0.5%

(出典) 1996年改訂 IPCC ガイドライン Vol.3、page 4.121、Table B-1

■ 活動量

各家畜の飼養頭数に家畜1頭あたりの排せつ物中窒素量を乗じて総窒素量を算出し、その総窒素量に排せつ物管理区分ごとの割合を掛け合わせ、排出処理区分ごとの窒素量を算出する。排せつ物中窒素量、排せつ物管理区分割合は1996年改訂IPCCガイドラインのデフォルト値を使用した。各家畜の飼養頭数はCH₄排出量の算定に用いたものと同じ値を用いた。

表6-18 水牛、めん羊、山羊、馬の排せつ物中窒素量[kgN/頭/年]

家畜種	排出係数[kg N/頭/年]
水牛	40
めん羊	12
山羊*	40
馬*	40

(出典) 1996年改訂 IPCC ガイドライン Vol.3、page 4.99、Table 4-20、
: 「Other animals」 の値を使用。

表 6-19 水牛、めん羊、山羊、馬の排せつ物管理処理区分割合

排せつ物管理区分		処理区分割合				
		水牛	めん羊	山羊	馬	
11.	Anaerobic Lagoons	嫌気性ラグーン	0%	0%	0%	0%
12.	Liquid Systems	汚水処理	0%	0%	0%	0%
13.	Solid Storage and Dry Lot	固形貯留及び乾燥	14%	0%	0%	0%
14. Other	a. Thermal Drying	その他（火力乾燥）	0%	0%	0%	0%
	b. Compsting	その他（強制発酵）	0%	0%	0%	0%
	c. Piling	その他（堆積発酵）	0%	0%	0%	0%
	d. Incineration	その他（焼却）	0%	0%	0%	0%
	e. Liquid Compsting	その他（強制発酵[液状]）	0%	0%	0%	0%
	f. Purification	その他（浄化）	0%	0%	0%	0%
	g. Daily Spread	その他（逐次散布）	16%	0%	0%	0%
	h. Pasture Range and Paddock	その他（放牧地/牧野/牧区）	29%	83%	95%	95%
	i. Used Fuel	その他（燃料利用）	40%	0%	0%	0%
	j. Other system	その他（その他処理）	0%	17%	5%	5%

c) 不確実性と時系列の一貫性

■ 不確実性

家畜ごとに不確実性の評価を行った。排出係数の不確実性は、不確実性評価のデシジョンツリーに従い、GPGに示された当該排出源もしくは類似排出源の不確実性の値を使用し、各家畜についてCH₄、N₂Oとも100%とした。活動量の不確実性は、各家畜とも不確実性のデシジョンツリーに従い100%とした。その結果、各家畜の不確実性は、CH₄、N₂Oとも141%と評価された。なお、不確実性の評価手法の概要については別添7に記載している。

■ 時系列の一貫性

排出係数は1989年から2007年まで一定値を使用している。活動量については、めん羊および山羊は「家畜改良関係資料」、馬は「馬関係資料」、水牛は「沖縄県畜産統計」を用い、それぞれ1989年度値から一貫した方法を使用して、算定している。

d) QA/QCと検証

GPG(2000)に従った方法で、Tier 1 QC活動を実施している。Tier 1 QCには、排出量の算定に用いている活動量、排出係数等パラメータのチェック、及び出典文献の保存が含まれる。

QA/QC活動の詳細については、別添6.1に詳述している。

e) 再計算

めん羊、山羊、馬の飼養頭数に関しては、従来はFAO統計の値を用いていたが、望ましいとされる国内の出典である農林水産省から提供されたデータを使用するよう変更したため、全年度の排出量が更新された。

f) 今後の改善計画および課題

我が国独自の排出係数を実測等により設定するかどうか検討する必要がある。

6.3.3. ラクダ・ラマ、ロバ・ラマ (4.B.5., 4.B.7.)

我が国では、農業用に飼養されているものは存在しないと考えられるため、「NO」として報告した。

6.3.4. その他 (4.B.10.)

日本において農業として営んでいる家畜は、牛、水牛、めん羊、山羊、馬、豚、家禽以外には存在しないため、「NO」として報告した。

6.4. 稲作 (4.C.)

CH₄は嫌気性条件で微生物の働きによって生成されるため、水田はCH₄生成に好適な条件が整っていると言える。ここでは、間欠灌漑水田と常時湛水田が算定の対象となる。日本では主に、間欠灌漑水田で稲作が営まれている。

2007年度におけるこのカテゴリーからの温室効果ガス排出量は5,654Gg-CO₂であり、我が国の温室効果ガス総排出量の0.4%を占めている。また、1990年度の排出量と比較すると19.3%の減少となっている。

6.4.1. 間欠灌漑水田 (中干し) (4.C.1.-)

a) 排出源カテゴリーの説明

ここでは、間欠灌漑水田からのCH₄排出の算定、報告を行う。

■ 日本の水田における水管理について

日本の一般的な水田農家の間断灌漑 (中干し) は、IPCC ガイドラインの間断灌漑水田 (複数落水) とは性質が異なる。概要を下図に示す。

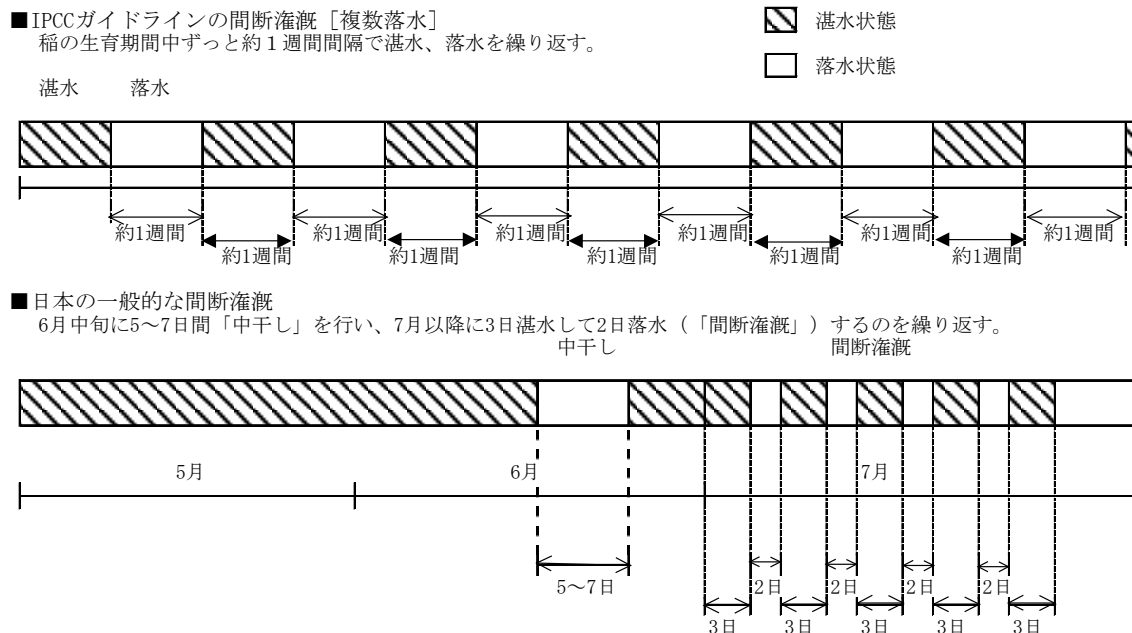


図 6-3 1996年改訂 IPCC ガイドラインの間欠灌漑 (複数落水) と日本の一般的な間欠灌漑 (中干し)

b) 方法論

■ 算定方法

間欠灌漑水田（中干し）からのCH₄排出は、我が国には有機物施用別の土壌種別排出係数の実測値が存在するため、有機物施用全般について考慮した排出量算定を行う。

間欠灌漑水田面積に、「有機物管理方法ごとの単位面積当たり土壌種別CH₄発生量」、「各土壌種の面積割合」、「有機物管理方法の割合」を乗じることによって、有機物管理方法ごとの土壌種別CH₄発生量を算出することとする。

$$\begin{aligned} & \text{間欠灌漑水田（中干し）からのCH}_4\text{排出量 (kg CH}_4\text{)} \\ & = \sum (\text{土壌種別}m\text{有機物管理方法}n\text{ごとの排出係数 [kgCH}_4\text{/m}^2\text{]} \times \text{水田面積 [m}^2\text{]} \times \text{間欠灌} \\ & \quad \text{漑水田の割合} \times \text{各土壌種別}m\text{の面積割合} \times \text{有機物管理方法}n\text{の割合}) \end{aligned}$$

■ 排出係数

当該排出区分については、下表に示す区分ごとに排出係数を設定した。

わら施用、無施用については、5つの土壌種別に測定された実測値に基づき設定した。各種堆肥施用については、各土壌種別の実測値はないが、CH₄排出量について「各種堆肥施用／無施用比：1.2～1.3」というデータが存在するため、各種堆肥施用の土壌種別排出係数を無施用の排出係数の1.25倍と設定した。

表 6-20 間欠灌漑水田（中干し）のCH₄排出係数

土壌種	わら施用 [gCH ₄ /m ² /年]	各種堆肥施用 [gCH ₄ /m ² /年]	無施用 [gCH ₄ /m ² /年]
黒ボク土	8.50	7.59	6.07
黄色土	21.4	14.6	11.7
低地土	19.1	15.3	12.2
グライ土	17.8	13.8	11.0
泥炭土	26.8	20.5	16.4

(出典) 鶴田治雄「日本の水田からのメタンと畑地からの亜酸化窒素の発生量」(参考文献 31)

■ 活動量

水稻の作付面積の98%が間欠灌漑水田（中干し）、2%が常時湛水田と仮定した¹。

間欠灌漑水田（中干し）からのCH₄排出の活動量は、農林水産省「耕地及び作付面積統計」に示された水稻作付面積に、土壌種面積割合を乗じ、さらに有機物施用管理割合を乗じて設定した。

表 6-21 日本の各土壌種の面積割合

土壌種	日本における面積割合
黒ボク土 黒ボク土、多湿黒ボク土、黒ボクグライ土	11.9%
黄色土 褐色森林土、灰色大地土、グライ大地土、黄色土、暗赤色土	9.4%
低地土 褐色低地土、灰色低地土	41.5%
グライ土 グライ土、強グライ土	30.8%
泥炭土 黒泥土、泥炭土	6.4%
合計	100.0%

(出典) 農林水産省「地力基本調査」

表 6-22 日本の有機物管理の割合

有機物管理法	有機物管理の割合
わら施用	60%
各種堆肥施用	20%
有機物無施肥	20%

(出典) 農林水産省調べ

表 6-23 水稻作付面積

項目	単位	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
水稻作付面積	kha	2,055	2,106	1,763	1,702	1,684	1,669	1,624

(出典) 農林水産省「耕地及び作付面積統計」

c) 不確実性と時系列の一貫性

■ 不確実性

間欠灌漑水田〔中干し〕からのCH₄の排出は、有機物管理方法ごと（わら施用、各種堆肥施用、無施用）に不確実性評価方法が異なるため、これら3つの区分ごとに不確実性を評価した。

排出係数の不確実性は、不確実性評価のデシジョンツリーに従い、GPG（2000）に示された値、もしくは専門家判断により値を使用し算出した。活動量の不確実性は「耕地及び作付面積統計」の水稻作付面積の標準誤差0.34%を使用した。

その結果、排出量の不確実性は、わら施用区で32%、各種堆肥施用区で32%、無施用区で46%と評価された。なお、不確実性の評価手法の概要については別添7に記載している。

■ 時系列の一貫性

排出量は時系列的に一貫した算定方法、データソースを用いて推計されている。

d) QA/QCと検証

GPG（2000）に従った方法で、Tier 1 QC 活動を実施している。Tier 1 QC には、排出量の算定に用いている活動量、排出係数等パラメータのチェック、及び出典文献の保存が含まれる。

QA/QC 活動の詳細については、別添 6.1 に詳述している。

e) 再計算

農業分野では3年平均値を算定・報告において使用しているため、各土壌種、各有機物管理区分について、2007年度の活動量の修正・更新により、2006年度の排出量が変更された。

f) 今後の改善計画および課題

現在、農林水産省により、水田への有機物資材の施用実態も含め、農地を対象とした包括的な調査が行われている。今後調査結果が判明次第、有機物管理方法の割合等のパラメータや算定方法について、調査結果を用いた改訂についての検討を行う。

また、DNDC モデルを用いた推計方法の開発が進められており、将来的には Tier.3 の適用について検討を行う予定である。

¹ 1996年改訂 IPCC ガイドライン vol.2 Workbook, p4.18 Table 4.9

6.4.2. 常時湛水田 (4.C.1.-)

a) 排出源カテゴリーの説明

ここでは、常時湛水田からのCH₄排出の算定を行う。

b) 方法論

■ 算定方法

常時湛水田からのCH₄排出については、GPG (2000) のデシジョンツリー (Page 4.79, Fig.4.9) に従い、我が国独自の排出係数を用いて、CH₄排出量の算定を行った。

■ 排出係数

我が国の文献²に、間欠湛水区のCH₄排出量は常時湛水区に比べて 42-45%低下すると示されている。このため、低下分を 0.435 (42%と 45%の中間値) と仮定し「間欠湛水田 [中干し]」で報告している排出係数を 0.565 (1-0.435) で割ることにより常時湛水田のCH₄排出係数設定することとする。

表 6-24 常時湛水田のCH₄排出係数

水田の種類	排出係数 [gCH ₄ /m ² /年]
常時湛水田	28.29
間欠湛水田 (中干し)	15.98*

* : 「4.C.1 間欠湛水田 (中干し)」の見かけの排出係数

■ 活動量

水稻の作付面積の2%が常時湛水田、98%が間欠湛水田 (中干し) と仮定した²。

常時湛水田からのCH₄排出の活動量は、農林水産省「耕地及び作付面積統計」に示された水稻作付面積に2%を乗じて設定した。

c) 不確実性と時系列の一貫性

■ 不確実性

排出係数の不確実性は、各パラメータの不確実性を専門家判断で決定し算出した。活動量の不確実性は「耕地及び作付面積統計」の水稻作付面積の標準誤差 0.34%を使用した。その結果、排出量の不確実性は 116%と評価された。なお、不確実性の評価手法の概要については別添7に記載している。

■ 時系列の一貫性

「6.4.1. 間欠湛水田」と同様。

d) QA/QCと検証

「6.4.1. 間欠湛水田」と同様。

e) 再計算

「6.4.1. 間欠湛水田」と同様。

²八木一行「温室効果ガスの排出削減型モデルの構築」

f) 今後の改善計画および課題

我が国の「間欠灌水区／常時湛水区」の CH_4 排出量比は、1地点での測定データから算出されているため、さらなるデータの収集が必要であると考えられる。

6.4.3. 天水田、深水田（4.C.2., 4.C.3.）

天水田、深水田については、IRRI（International Rice Research Institute）の「World Rice STATISTICS 1993-94」に示されている通り、日本には存在しないため、「NO」として報告した。

6.4.4. その他の水田（4.C.4.）

当該排出区分については、IRRI（International Rice Research Institute）の「World Rice STATISTICS 1993-94」に示されている通り、陸稲の作付田が考えられるが、陸稲の作付田は湛水しないため畑土壌と同様に酸化的であり嫌気状態になることはない。 CH_4 生成菌は絶対嫌気性菌であり、土壌が嫌気性に保たれなければ CH_4 の生成はあり得ない。従って、「NA」として報告した。

6.5. 農用地の土壌（4.D.）

ここでは、農用地からの N_2O の直接排出（合成肥料や有機質肥料の施肥、窒素固定作物による窒素固定、作物残渣のすき込み、有機質土壌の耕起）及び間接排出（大気沈降、窒素溶脱）を対象に算定、報告を行う。

■ 直接排出（ N_2O ）

農用地の土壌からは、合成肥料や有機質肥料の施肥、窒素固定作物による窒素固定、作物残渣のすき込みにより土壌中にアンモニウムイオンが発生し、好気条件下でそのアンモニウムイオンが硝酸態窒素に酸化される過程で N_2O が発生する。また、硝酸態窒素が脱窒する過程で N_2O が発生する。

また、窒素を含む有機質土壌を耕起することにより N_2O が発生する。

■ 間接排出（ N_2O ）

農用地土壌へ施用された合成肥料と家畜排せつ物由来の有機質資材から揮発したアンモニアなどの窒素化合物が乱流拡散、分子拡散、静電力効果、化学反応、植物呼吸、降雨洗浄などの作用によって大気から土壌に沈着して微生物活動を受けて N_2O が発生する。

農用地土壌へ施用された合成肥料と家畜排せつ物の有機質資材中の窒素で硝酸として溶脱・流出したものから、微生物の作用により N_2O が発生する。

2007年度におけるこのカテゴリーからの温室効果ガス排出量は6,337Gg- CO_2 であり、我が国の温室効果ガス総排出量の0.5%を占めている。また、1990年度の排出量と比較すると20.1%の減少となっている。

6.5.1. 直接排出 (4.D.1.)

6.5.1.1. 合成肥料 (4.D.1.-)

a) 排出源カテゴリーの説明

ここでは、農用地の土壌への合成肥料の施肥に伴うN₂O排出の算定を行う。

b) 方法論

■ 算定方法

農用地の土壌への合成肥料の施肥に伴うN₂O排出については、GPG (2000) のデシジョンツリー (Page 4.55, Fig.4.7) に従い、我が国独自の排出係数が存在するため、それを使用してN₂O排出量の算定を行った。

$$\begin{aligned} & \text{農用地の土壌への合成肥料の施肥に伴うN}_2\text{O排出量 (kgN}_2\text{O)} \\ & = \text{排出係数 [kgN}_2\text{O-N/kgN]} \times \text{農用地土壌に施用された合成肥料に含まれる窒素量 [kgN]} \\ & \quad \times 44/28 \end{aligned}$$

■ 排出係数

農用地の土壌への合成肥料の施肥に伴うN₂Oの排出係数については、我が国における実測データに基づき、我が国独自の排出係数を設定した。

日本の各地で測定されたデータを解析し、合成肥料及び有機質肥料の投入窒素量とN₂O排出量の関係を調査したところ、合成肥料と有機質肥料で排出係数に有意差はなかったため、合成肥料と有機質肥料で同じ排出係数を使用することにした。

また、作物の種類による排出係数の違いを比較したところ、茶が有意に高いことと水稲が有意に低いことが判明したが、他の作物については有意差はなかったため、水稲、茶、その他の作物の3種類について排出係数を設定した。なお、我が国の土壌には火山灰由来の土壌が広く分布しており、この土壌からのN₂O排出量が少ないことが、我が国の排出係数が1996年改訂IPCCガイドラインに示される排出係数のデフォルト値に比べ低い理由であると考えられる。

表 6-25 農用地の土壌への合成肥料の施肥に伴うN₂O排出係数

作物種	排出係数 (kgN ₂ O-N/kgN)
水稲	0.31 %
茶	2.9 %
その他の作物	0.62 %

(出典) Akiyama et. al, Direct N₂O emissions and estimate of N₂O emission factors from Japanese agricultural soils. (2006) (参考文献 39)

Akiyama et. al, Direct N₂O emissions and estimate of N₂O emission factors from agricultural soils in Japan (2006) (参考文献 40)

■ 活動量

排出係数の設定状況に合わせ、作物別の合成肥料使用量を農用地土壌への合成肥料の施肥に伴うN₂O排出の活動量として利用する。合成肥料使用量は全使用量を統計情報より把握できるが、作物別の年間施肥量を把握できるデータがないことから、統計情報から把握できる各作物種の耕地面積に、我が国の各作物種の単位面積当たり合成肥料施用量の調査結果乗じ

て作物別の窒素施肥量に相当する値を求め、作物別の施肥相当量に応じて全化学肥料需要量を各作物別に配分する。

農用地の土壌への合成肥料の施肥に伴うN₂O排出の活動量

作物別の農用地に投入された窒素質肥料の量 [t]

$$= \text{化学肥料需要量[t]} \times (\text{各作物種別耕地面積[ha]} \times \text{各作物種の単位面積当たり合成肥料施用量 [kgN/10a]}) / \Sigma (\text{各作物種別耕地面積[ha]} \times \text{各作物種の単位面積当たり合成肥料施用量 [kgN/10a]})$$

作物別の肥料施用量については、2000年に行われた営農調査（「平成12年度温室効果ガス排出削減定量化法調査報告書」（参考文献28））により各作物別の施肥量が合成肥料、有機質肥料別に把握されている。専門家判断によると、水稻、茶を除く作物においては経年的な施肥量の変化が余りないと考えられることから、これらの作物については2000年調査（参考文献28）による単位面積当たり合成施肥量のデータを全ての年に対して一律に適用した。

茶については、施肥量の規制等により経年的に施肥量が変化しており、野中（2005）（参考文献45）は1993、1998、2002年における茶畑に対する窒素施肥量（合成肥料、有機質肥料の合計値）の推移をまとめている。これらの施肥量について2000年調査（参考文献28）における茶の合成肥料と有機質肥料の比を用いて、合成施肥量、有機質肥料別の施肥量を推計し、算定に用いた。また、1993年から2002年までは内挿、1993年以前は1993年値を据え置き、2002年以降は2002年値を据え置きし、時系列データを作成した（表6-29参照）。

水稻については、「農業経営統計調査（農林水産省）」により把握できる各年の施肥量データを用いた。

表 6-26 化学肥料需要量

項目	単位	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
化学肥料需要量	tN	611,955	527,517	487,406	471,190	448,581	448,581	448,581

※ 2007年度、2008年度は2006年度値を代用

表 6-27 作物種別単位面積当たり合成肥料施用量（水稻以外）

作物種	施用量[kg N/10a]
野菜	21.27
果樹	14.70
馬鈴薯	12.70
豆類	3.10
飼料肥作物	10.00
かんしょ	6.20
麦	10.00
雑穀（そばを含む）	4.12
桑	16.20
工芸作物	22.90
たばこ	15.40

表 6-28 単位面積当たり合成肥料施用量（水稻、茶）

項目	単位	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
合成肥料施用量（水稻）	kg-N/10a	9.65	8.71	7.34	6.62	6.46	6.27	6.27
合成肥料施用量（茶）	kg-N/10a	57.23	54.88	48.06	44.76	44.76	44.76	44.76

※ 水稻に関して、2008年度は2007年度値を代用

表 6-29 作物種別耕地面積

項目	単位	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
野菜*	ha	620,100	564,400	524,900	476,300	471,200	468,000	468,000
水稲	ha	2,055,000	2,106,000	1,763,000	1,702,000	1,684,000	1,669,000	1,624,000
果樹*	ha	346,300	314,900	286,200	265,400	261,800	258,400	258,400
茶	ha	58,500	53,700	50,400	48,700	48,500	48,200	48,000
馬鈴薯*	ha	115,800	104,400	94,600	86,900	86,600	87,400	87,400
豆類*	ha	256,600	155,500	191,800	193,900	194,500	191,300	191,300
飼肥料作物	ha	1,096,000	1,013,000	1,026,000	1,030,000	1,018,000	1,012,000	1,012,000
かんしょ	ha	60,600	49,400	43,400	40,800	40,800	40,700	40,700
麦	ha	366,400	210,200	236,600	268,300	272,100	264,000	265,400
雑穀(そばを含む) *	ha	29,600	23,400	38,400	45,900	46,100	47,400	47,400
桑	ha	59,500	26,300	5,880	2,998	2,665	2,363	2,011
工芸作物	ha	142,900	124,500	116,300	110,300	109,300	108,130	108,330
たばこ	ha	30,000	26,400	24,000	19,100	18,500	17,670	17,670

※ 2008年度は2007年度値を代用

データ	出典
化学肥料需要量	農林水産省監修「ポケット肥料要覧」
作物種別の単位面積当り窒素施用量(水稲)	農林水産省「農業経営統計調査」より算出
作物種別の単位面積当り窒素施用量(茶)	合計施肥量は野中(2005)「茶園における窒素環境負荷とその低減のための施肥技術」(参考文献45)
作物種別の単位面積当り窒素施用量(水稲・茶以外)	(財)農業技術協会「平成12年度温室効果ガス排出量削減定量法調査報告書」
野菜、水稲、果樹、茶、豆類、飼肥料作物、麦、そば(雑穀)、桑(～2001)、工芸作物の作付面積	農林水産省「耕地及び作付面積統計」 注:ただし、「野菜」についてはばれいしょを、「工芸作物」については茶およびたばこの面積を差し引いた値である。
ばれいしょの作付面積	農林水産省「野菜生産出荷統計」
たばこの作付面積	日本たばこ産業株式会社資料による
桑(2002～)	農林水産省生産局調べ

c) 不確実性と時系列の一貫性

■ 不確実性

合成肥料の施用に伴うN₂O排出量は、各作物種ごとに算定を行っていることから、作物種ごとに不確実性の評価を行い、それらを最終的に合成し総排出量の不確実性を算出した。排出係数の不確実性は各パラメータの不確実性(専門家判断、標本標準偏差による)を合成して算出した。不確実性は水稲で220.0%、茶で211.7%、その他の作物で181.7%であった。活動量の不確実性は「耕地及び作付面積統計」に示された標準誤差値を採用し、水稲は0.34%、その他の作物は0.27%(畑地の耕地面積の値)とした。その結果、農用地の土壌への合成肥料の施肥に伴うN₂O総排出量の不確実性は139%と評価された。なお、不確実性の評価手法の概要については別添7に記載している。

■ 時系列の一貫性

排出量は時系列的に一貫した算定方法、データソースを用いて推計されている。

d) QA/QCと検証

GPG(2000)に従った方法で、Tier 1 QC活動を実施している。Tier 1 QCには、排出量の算定に用いている活動量、排出係数等パラメータのチェック、及び出典文献の保存が含まれる。QA/QC活動の詳細については、別添6.1に詳述している。

e) 再計算

茶の単位面積当たり施肥量に関して、これまで全年度について同じ値を使用していたが、今回、実態を反映し経年的に施肥量が変化している新しいデータを使用することに変更した。このカテゴリではトップダウンで各作物への合成肥料施用量を割り当てているため、茶の単位面積当たり施肥量の修正に伴い、全年度の各作物の排出量が更新された。

また、農業分野では3年平均を使用しているため、2006年度排出量の再計算結果については、各作物の2007年度の活動量の修正・更新による影響が生じている。

f) 今後の改善計画および課題

現在、合成肥料・有機質肥料について同一の排出係数を使用していることから、別々に設定できるよう検討が必要。

6.5.1.2. 有機質肥料（畜産廃棄物の施用）（4.D.1.-）

a) 排出源カテゴリの説明

ここでは、農用地土壌への堆きゅう肥及び有機質肥料の施肥に伴う N_2O 排出の算定を行う。

b) 方法論

■ 算定方法

農用地土壌への堆きゅう肥及び有機質肥料の施肥に伴う N_2O 排出については、GPG（2000）のデシジョンツリー（Page 4.55, Fig.4.7）に従い、我が国独自の排出係数が存在するため、それを使用して N_2O 排出量の算定を行った。

農用地の土壌への有機質肥料の施肥に伴う N_2O 排出量 (kg N_2O)

= 作物種別の排出係数[kg N_2O -N/kg-N] × 農用地土壌に施用された有機質肥料に含まれる窒素量[kg N] × 44/28

■ 排出係数

合成肥料と同様の我が国独自の排出係数を用いた。

■ 活動量

農用地の土壌への有機質肥料の施肥に伴う N_2O 排出の活動量については、作物種ごとの栽培面積に、作物種ごとの単位面積当たり窒素施用量を乗じることにより設定した（茶以外）。茶に関しては、合成肥料同様、施肥量の規制等により経年的に施肥量が変化しており、野中（2005）（参考資料 45）は1993、1998、2002年における茶畑に対する窒素施用量（合成肥料、有機質肥料の合計値）の推移をまとめている。これらの施肥量について2000年調査（参考文献 28）における茶の合成肥料と有機質肥料の比を用いて、合成施用量、有機質肥料別の施肥量を推計し、算定に用いた。また、1993年から2002年までは内挿、1993年以前は1993年値を据え置き、2002年以降は2002年値を据え置きし、時系列データを作成した（表 6-31 参照）。なお、作物種別の耕地面積は合成肥料の算定に用いたものと同様である。

作物種別の窒素投入量[kg N]

= 作物種別の作付面積 (ha) × 作物種別の単位面積当たり有機質肥料として施用された窒素量 (kg N/10a) × 10

表 6-30 作物種別単位面積当たり有機質肥料として施用された窒素量（茶以外）

作物種	施用量[kg N/10a]
野菜	23.62
水稲	3.2
果樹	10.90
馬鈴薯	7.94
豆類	6.24
飼料肥作物	10.00
かんしょ	8.85
麦	5.70
雑穀（そばを含む）	1.81
桑	0.00
工芸作物	3.96
たばこ	11.41

表 6-31 単位面積当たり有機質肥料施用量（茶）

項目	単位	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
有機質肥料施用量（茶）	kg-N/10a	20.77	19.92	17.44	16.24	16.24	16.24	16.24

データ	出典
作物種別の単位面積当たり有機質肥料施用量（茶以外）	(財)農業技術協会「平成12年度温室効果ガス排出量削減定量化法調査報告書」
作物種別の単位面積当たり窒素施用量（茶）	合計施肥量は野中（2005）「茶園における窒素環境負荷とその低減のための施肥技術」（参考文献45）

c) 不確実性と時系列の一貫性

■ 不確実性

有機質肥料の施用に伴う N_2O 排出量の不確実性は、「6.5.1.1. 直接排出（合成肥料）4D1」と同様の方法で評価を行った。その結果、不確実性は152%と評価された。なお、不確実性の評価手法の概要については別添7に記載している。

■ 時系列の一貫性

排出量は時系列的に一貫した算定方法、データソースを用いて推計されている。

d) QA/QCと検証

GPG(2000)に従った方法で、Tier 1 QC 活動を実施している。Tier 1 QC には、排出量の算定に用いている活動量、排出係数等パラメータのチェック、及び出典文献の保存が含まれる。

QA/QC 活動の詳細については、別添6.1に詳述している。

e) 再計算

合成肥料の施肥同様、茶の単位当たり施肥量の修正、及び2007年データの活動量の変更が行われた。その結果、全年度の排出量が再計算された。

農業分野では3年平均を使用しているため、各作物の2006年度の活動量の修正・更新により、2005年度の排出量が変更された。

f) 今後の改善計画および課題

「6.5.1.1. 合成肥料」と同様。

6.5.1.3. 窒素固定作物 (4.D.1.-)

a) 排出源カテゴリーの説明

ここでは、窒素固定作物が固定する窒素に伴う N_2O 排出の算定を行う。

b) 方法論

■ 算定方法

我が国の実測データを基に推定した窒素固定作物の固定する窒素量に、我が国独自の排出係数を乗じて排出量を算定する。

$$E = EF * F_{BN} * 44/28$$

- E : 窒素固定作物による窒素固定に伴う N_2O 排出量 (kg N_2O)
 EF : 排出係数 (kg N_2O -N/kgN)
 F_{BN} : 窒素固定作物による窒素固定量 (kgN)

■ 排出係数

我が国の実測結果から設定している合成肥料の施肥に伴う N_2O 排出係数は、施肥由来の窒素と窒素固定作物の窒素固定量の両方を含めた排出量を基に設定されていることから、この合成肥料の施肥に伴う N_2O 排出係数を窒素固定作物からの N_2O 排出の排出係数とする。合成肥料の施肥に伴う排出係数は「水稻」、「茶」、「その他の作物」の3種類が設定されているが(表 6-25 参照)、対象となる作物を鑑み、「その他の作物」の排出係数(0.0062[kg N_2O -N/kgN])を用いることとした。

■ 活動量

1996年改訂ガイドラインでは、1年間に耕作される窒素固定作物による年間窒素固定量は窒素固定作物の地上部バイオマス中の窒素量で合理的に代替できるとされていることから、尾和(1996)の我が国の作物における収穫物中及び収穫物残渣中の窒素含有率データを使用し、以下の方法で窒素固定作物により固定された窒素量を把握した。対象となる作物は、大きく「豆類(乾燥子実)、野菜」と「飼料作物」に分類される。

○ 豆類(乾燥子実)、野菜

窒素固定作物として、豆類(乾燥子実)の大豆、小豆、いんげん、らっかせい、及び野菜のさやいんげん、さやえんどう、そらまめ、えだまめ、を計上対象とする。

窒素固定作物により固定される窒素量(F_{BN})は、GPG(2000)のTire.1b:式4.26を変形し、各窒素固定作物種の収穫量(Crop_{BFi})に、我が国独自の研究データより設定した、収穫物中及び収穫物残渣中に含まれる収穫量比窒素量の値を乗じて設定する。

$$F_{BN} = \sum_i [Crop_{BFi} \cdot (Frac_{NCRBFi} + Frac_{NRESBFi})]$$

- F_{BN} : 窒素固定作物により固定された窒素量 (kgN)
 Crop_{BFi} : 窒素固定作物 i の現物収穫量 (t)
 Frac_{NCRBFi} : 窒素固定作物 i の収穫物中に含まれる収穫量比窒素量 (kgN/t)
 Frac_{NRESBFi} : 窒素固定作物 i の収穫物残渣中に含まれる収穫量比窒素量 (kgN/t)

○ 飼料作物

我が国では、イネ科とマメ科の牧草が混播されており、統計情報としては、イネ科牧草単

独と、イネ科・マメ科混播牧草の収穫量及び作付面積のみが把握できる。従って、マメ科牧草単独の収穫量及び作付面積は直接把握できないことから、我が国の調査事例³等を基にした専門家判断により混播牧草地におけるマメ科牧草の割合を10%と便宜的に設定し、マメ科牧草の収穫量を推計した。

我が国の研究データでは、イネ科・マメ科混播牧草の刈り株および根の養分含量のデータが存在しており、2006年 IPCC ガイドラインにおける窒素固定作物の算定では、地上部バイオマス残渣及び地下バイオマスによるすき込み量を対象していることも踏まえ、マメ科牧草による窒素固定量の計算では地上部収穫物バイオマス中窒素量の代わりに刈り株および根の収穫物残渣中の窒素量を直接用いることとし、GPG (2000) の式 4.27 を変形した以下の式で推計を行なった。

$$F_{BN} = \sum_i [Crop_{BF} \cdot Frac_{NCBGF}]$$

- F_{BN} : マメ科飼料作物により固定された窒素量 (kgN)
- $Crop_{BF}$: マメ科飼料作物の現物収穫量 (t)
- $Frac_{NCBGF}$: マメ科飼料作物の地下部に含まれる収穫量比窒素量 (kgN/t)

表 6-32 窒素固定作物の算定に用いたパラメータ

作物種	収穫量1トン当たりの窒素固定量 (kgN/t)	乾物率
大豆	69.17	1.000
小豆	40.68	1.000
いんげん	50.13	1.000
らっかせい	63.00	1.000
さやいんげん	1.98* ²	0.302* ¹
さやえんどう	2.65* ²	0.302* ¹
そらまめ	9.57* ¹	0.302* ¹
えだまめ	9.57	0.302
マメ科牧草	2.74	0.200

*1 えだまめの値を代用

*2 えだまめの値を、それぞれの作物とえだまめの収穫物中窒素含有率比で換算して設定

c) 不確実性と時系列の一貫性

■ 不確実性

窒素固定作物が固定する窒素に伴うN₂O排出量は、各作物種ごとに算定を行っていることから、作物種ごとに不確実性の評価を行い、それらを最終的に合成し総排出量の不確実性を算出した。排出係数の不確実性は、専門家判断とGPG (2000) に示されたデフォルト値などによる各パラメータの不確実性の合成により算出した。活動量に関しては「耕地及び作付面積統計」に示された畑地の標準誤差である0.27%を使用した。その結果、窒素固定作物が固定する窒素に伴うN₂O総排出量の不確実性は99%と評価された。

■ 時系列の一貫性

排出量は時系列的に一貫した算定方法、データソースを用いて推計されている。

³北海道立農業試験場による研究「北海道の採草地における牧草生産の現状と課題 I. 収量及び栄養価の現状」成績概要書 <http://www.agri.pref.hokkaido.jp/center/kenkyuseika/gaiyosho/h12gaiyo/20003161.htm>

d) QA/QCと検証

GPG (2000)に従った方法で、Tier 1 QC 活動を実施している。Tier 1 QC には、排出量の算定に用いている活動量、排出係数等パラメータのチェック、及び出典文献の保存が含まれる。

QA/QC 活動の詳細については、別添 6.1 に詳述している。

e) 再計算

このカテゴリーはインベントリ審査において専門家レビューチームより推奨の指摘を受けていたため、今回より算定を行っている。

f) 今後の改善計画および課題

混播牧草中のマメ科牧草の割合については今後更に精緻化が必要である。また、2006 年 IPCC ガイドラインの算定に準拠した算定に移行する際に必要となる地下部のすき込み情報については現在十分なデータが存在しないため、すき込みに関する算定方法の改善と合わせて将来的な検討課題として整理する。

6.5.1.4. 作物残渣 (4.D.1.-)

a) 排出源カテゴリーの説明

ここでは、作物残渣の農用地の土壌へのすき込みに伴う N_2O 排出の算定を行う。

b) 方法論

■ 算定方法

作物残渣の農用地の土壌への施用に伴う N_2O 排出については、1996 年改訂 IPCC ガイドラインに示される排出係数のデフォルト値に、作物残渣のすき込みによる窒素投入量を乗じて算定した。

$\begin{aligned} & \text{農用地の土壌への作物残渣のすき込みに伴う} N_2O \text{ 排出量 (kg} N_2O \text{)} \\ & = \text{デフォルトの排出係数 [kg } N_2O\text{-N/kg N]} \times \text{作物残渣のすき込みによる窒素投入量 [kg N]} \\ & \quad \times 44/28 \end{aligned}$

■ 排出係数

1996 年改訂 IPCC ガイドライン及び GPG(2000) に示されているデフォルト値の排出係数、0.0125[kg N_2O -N/kgN]を用いることとする。

■ 活動量

【ライ麦、オート麦（子実用）、茶、牧草、青刈りとうもろこし、ソルゴー以外】

我が国独自の作物別の養分収支データ（尾和, 1996）から設定した「作物生産量に対する残渣中に含まれる窒素含有率」（単位：kgN/t）に、年間作物収穫量を乗じ、それに野焼きされる割合（1996 年改訂 IPCC ガイドラインのデフォルト値：0.1）を除いた割合を乗じて、土壌にすき込まれた作物残渣に含まれる窒素量を推計した。

作物生産量に対する残渣中に含まれる窒素含有率のデータがない作物については、種類に近い作物の数値を用いた。また全ての年度について同一の数値を使用した。飼肥料用作物については飼料用の面積は除いている。野焼きが行われないと考えられ、「農業廃棄物の野焼き（4.F.）」でも算定対象となっていない作物については、この「野焼きされる割合を除いた割合」を乗じないこととした。

$$\text{土壌にすき込まれた窒素量 (kgN) (ライ麦、オート麦、茶、牧草、青刈りとうもろこし、ソルゴー以外)}$$

$$= \sum_{\text{作物別}} \{ \text{年間作物収穫量[t]} \times \text{作物生産量に対する残渣中に含まれる窒素含有率[kgN/t]} \times (1 - \text{野焼きされる割合}) \}$$

データ	出典
作物生産量に対する残渣中に含まれる窒素含有率	(尾和、我が国の農作物の栄養収支 (1996) (参考文献 33))
野焼きされる割合	1996年改訂 IPCC ガイドライン
野菜の収穫量	農林水産省「野菜生産出荷統計」
野菜を除く作物の収穫量	農林水産省「作物統計」

【茶、牧草、青刈りとうもろこし、ソルゴー】

茶についてはすき込み量自体の算定見直しが予定されていること（後述「f）今後の改善計画および課題」参照）、牧草、青刈りとうもろこし、ソルゴーに関しては現時点では統計情報のみからすき込みに利用された収穫量が把握できないことから、我が国独自の「単位面積当たりの収穫物以外の地上部の窒素含有量」（単位：kgN/10a）に、作物別耕地面積を乗じ、土壌にすき込まれた作物残渣に含まれる窒素量を推計した。なお、青刈りとうもろこしはその値に、野焼きされる割合（1996年改訂 IPCC ガイドラインのデフォルト値：0.1）を除いた割合を乗じた。

$$\text{土壌にすき込まれた窒素量 (kgN) (茶、牧草、青刈りとうもろこし、ソルゴー)}$$

$$= \sum_{\text{作物別}} \{ \text{単位面積当たり収穫物以外の地上部の窒素含有率[kgN/10a]} \times \text{作物別耕地面積[ha]} \times (1 - \text{野焼きされる割合}) \}$$

データ	出典
作物の乾物率、作物生産量に対する残渣中に含まれる窒素含有率	(尾和、我が国の農作物の栄養収支 (1996) (参考文献 33))
野焼きされる割合	1996年改訂 IPCC ガイドライン
作物別耕地面積	農林水産省「耕地および作付面積統計」

【ライ麦、オート麦（子実用）】

1996年改訂 IPCC ガイドライン及び GPG(2000) に示されたデフォルト手法に従い、各作物種ごとの年間生産量に、各作物種ごとの作物生産量に対する残渣の比率、残渣の平均乾物率、野焼きされる割合を除いた割合、残渣の窒素含有率のそれぞれのデフォルト値を乗じることによって作物残渣のすき込みによる窒素投入量を設定することとする。

$$\text{土壌にすき込まれた窒素量 (kgN) (ライ麦、オート麦)}$$

$$= \text{年間作物生産量[t]} \times \text{作物生産量に対する残渣の比率} \times \text{残渣の平均乾物率[t-dm/t]} \times (1 - \text{野焼きされる割合}) \times \text{窒素含有率[t-N/t-dm]} \times 10^{-3}$$

ライ麦・オート麦の収穫量は作付面積に単位面積当たり収穫量を乗じて算出する。作付面積は子実用、青刈り用及びその他に分かれる。対象となる作付面積は子実用のみであるが、統計にはライ麦の子実用が掲載されていない（平成4年産から調査中止）ため、便宜上統計に存在する「総作付面積」から「青刈り面積」を除いた面積を子実用の作付面積とする。

表 6-33 ライ麦、オート麦の作付面積（子実用）

項目	単位	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
ライ麦	ha	50	119	110	120	140	130	150
オート麦	ha	4,000	2,517	1,600	800	700	700	600

（出典）農林水産省「耕地及び作付面積統計」より算出

表 6-34 ライ麦、オート麦の単位面積当たり収穫量

作物	単位面積当たり収穫量	備考
ライ麦	424 [kg/10a]	我が国におけるライ麦の試験結果による専門家判断によるデータ
オート麦	223 [kg/10a]	1994年度までしかデータが存在せず、1994年以前はほとんどの年度で主要県のデータのためのため、1994年の数値を一律に適用する。

表 6-35 作物生産量に対する残渣の比率、残渣の平均乾物率、窒素含有率

作物	残渣の比率	残渣の平均乾物率	窒素含有率	野焼きされる割合
ライ麦	2.84	0.90	0.0048	0.10
オート麦	2.23	0.92	0.0070	0.10
（出典）	専門家判断	GPG(2000) p4.58 Table4.16		1996GL Vol.3 p4.83

c) 不確実性と時系列の一貫性

■ 不確実性

ライ麦・オート麦以外の作物とライ麦・オート麦で算定方法が異なることから、別々に不確実性を算定した。それらの不確実性を最終的に合成し、総排出量の不確実性を算出した。

ライ麦・オート麦以外の作物の排出係数の不確実性は、専門家判断と GPG (2000) に示されたデフォルト値などによる各パラメータの不確実性の合成により、作物ごとに算出した。ライ麦・オート麦の排出係数の不確実性についても、専門家判断と GPG (2000) に示されたデフォルト値などによる各パラメータの不確実性の合成により算出し、ライ麦は 388%、オート麦は 392%となった。

活動量の不確実性は、「耕地及び作付面積統計」に示された標準誤差を用い、水稻は 0.34%、その他の作物は 0.27%となった。

最終的に各作物の不確実性を合成した総排出量の不確実性は 211%と評価された。

なお、不確実性の評価手法の概要については別添 7 に記載している。

■ 時系列の一貫性

排出量は時系列的に一貫した算定方法、データソースを用いて推計されている。

d) QA/QCと検証

GPG (2000)に従った方法で、Tier 1 QC 活動を実施している。Tier 1 QC には、排出量の算定に用いている活動量、排出係数等パラメータのチェック、及び出典文献の保存が含まれる。

QA/QC 活動の詳細については、別添 6.1 に詳述している。

e) 再計算

多くの作物において、これまでは「面積×単位面積当たりの収穫物残渣中窒素量」の方法により残渣として土壌にすき込まれる窒素量の計算を行っていたが、単位面積当たりの収量変化や収穫量の変化が排出量の算定に反映されないほか、算定に用いていた実測結果の固定収量が全国平均収量若干高い傾向があった。従って、データ把握が可能な作物については「収穫量×収量あたりの収穫物残渣中窒素量」にすき込まれる窒素量の算定方法を変更した。

この結果全年度の排出量が再計算された。なお、農業分野では3年平均を使用しているため、2006年度の排出量については、各作物の2007年度の活動量の修正・更新による影響もある。

f) 今後の改善計画および課題

- ・ 排出係数について我が国独自の排出係数が使用できるよう、検討が必要である。
- ・ 茶に関して、作物残さ中に窒素量としている数値が正確でない可能性があるため、算定方法の改善について検討が必要である。

6.5.1.5. 有機質土壌の耕起 (4.D.1.-)

a) 排出源カテゴリーの説明

我が国では、北海道に有機質土壌が存在しており、「黒泥土」と「泥炭土」の2種類を有機質土壌として取り扱っている。我が国では有機質土壌における農地造成は1970年代までにはほぼ終了しており（永田 2007）、一般的に客土が行われた土地が耕作に利用されている。

b) 方法論

■ 算定方法

1996年改訂IPCCガイドライン及びGPG(2000)に従い、耕起された有機質土壌の水田面積および普通畑面積にそれぞれの排出係数を乗じて有機質土壌の耕起によるN₂O排出量を算定する。

$$\text{有機質土壌の耕起に伴うN}_2\text{O排出量 (kgN}_2\text{O)} \\ = \text{有機質土壌の耕起の排出係数 [kg N}_2\text{O-N/ha]} \times \text{耕起された有機質土壌の面積 [ha]} \times 44/28$$

■ 排出係数

有機質土壌の水田耕作においては、畑作に比べN₂O排出量が低くなることが知られている。我が国では北海道の有機質土壌耕作地で行われたN₂O排出の観測事例（永田、2006）が存在するが、窒素施用分の排出も含めた観測結果であることから、Akiyama et al (2006) による我が国独自の施肥の排出係数を用いて施肥分の排出を控除した我が国独自の排出係数 0.30 [kgN₂O-N/ha/年]を設定した。

有機質土壌における畑作に関しても若干の観測事例（永田、2006、Nagata 2007）が存在するが、GPG(2000)に示された温帯におけるデフォルト値 8[kgN₂O-N/ha/年](GPG(2000) p4.60 Table4.17)と大きな違いはないことから、GPG(2000)のデフォルト値を利用する。

■ 活動量

耕起された有機質土壌の面積は、我が国の水田及び普通畑における有機質土壌（泥炭土及び黒泥土）の割合を「耕地及び作付面積統計」から把握した水田及び普通畑の耕地面積に乘じることにより設定する。

表 6-36 有機質土壌の割合

	有機質土壌割合	出典
水田	6.4%	財団法人農林統計協会「ポケット肥料要覧」：農水省地力保全基礎調査(1959-1978)の平均値を利用
普通畑	1.9%	

表 6-37 有機質土壌面積

項目	単位	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
有機質土壌面積（水田）	ha	182,144	175,680	169,024	163,584	162,752	161,920	161,024
有機質土壌面積（畑地）	ha	24,225	23,275	22,572	22,287	22,287	22,268	22,249

c) 不確実性と時系列の一貫性

■ 不確実性

有機質土壌の耕起に伴う N_2O の排出は、水田からの排出と畑地からの排出からなっているため、これら2つの区分ごとに不確実性の評価を行い、最終的に両者を合成して総排出量の不確実性を算出した。

排出係数の不確実性については、GPG（2000）の設定値及び文献値または出典のデータから算出した各パラメータの不確実性を合成し算出した。その結果、水田は248%、畑地は900%となった。

活動量の不確実性は「耕地及び作付面積統計」の標準誤差率を使用し、水田は0.14%、畑地は0.27%と設定した。最終的に総排出量の不確実性は712%と評価された。なお、不確実性の評価手法の概要については別添7に記載している。

■ 時系列の一貫性

排出量は時系列的に一貫した算定方法、データソースを用いて推計されている。

d) QA/QCと検証

GPG（2000）に従った方法で、Tier 1 QC 活動を実施している。Tier 1 QC には、排出量の算定に用いている活動量、排出係数等パラメータのチェック、及び出典文献の保存が含まれる。

QA/QC 活動の詳細については、別添 6.1 に詳述している。

e) 再計算

有機質土壌の耕起（水田）に関しては従来よりデフォルトの排出係数が我が国の状況に比べ過大である可能性が指摘されており、今回、日本国内で観測された事例を基にした排出係数の設定ができたことから、デフォルト値から国独自の排出係数に変更を行った。その結果全年度における排出量が更新された。

なお、農業分野では3年平均を使用していることから、2006年度の排出量の再計算においては、2007年度の活動量の修正・更新の結果も影響している。

f) 今後の改善計画および課題

- ・今回の報告より、我が国独自の水田の排出係数を使用しているが、作物残さのすき込みにおける N_2O 排出との二重計上を避けるために必要な、わらなどの作物残さのすき込み分や収穫後に地面に残っている刈り株分の影響の排除が行われていないなど課題が残っている。デフォルト値を使用している普通畑の排出係数も含めて、より国内の実態に合った排出係数を設定できるよう、さらに精査を進めていく必要がある。
- ・我が国の有機質土壌のうち農用地として使用される面積について、排水と客土など土地改

良事業により改良が進められ、有機質を含む作土層がほとんど存在しない可能性があり、推計が過大となっている可能性がある。従って、有機質土壌の耕起の実態調査を行うなど（特に有機質土壌が多く存在する北海道において）、実際に耕起されている有機質土壌面積（割合）の把握を行い、それを基に適切な活動量を設定していく必要がある。

6.5.1.6. 直接排出 (CH₄) (4.D.1.-)

CH₄生成菌は絶対嫌気性菌であり、土壌が嫌氣的に保たれなければCH₄は生成されない。畑の土壌は通常酸化的であり、好氣的であるため、畑の土壌ではCH₄が生成されない。このため、土壌からのCH₄の直接排出は「NA」として報告した。

6.5.2. 牧草地・放牧場・小放牧地の排せつ物 (4.D.2.)

牛の牧草地・放牧場・小放牧地の排せつ物からのCH₄、N₂O排出量の算定方法は6.3.1.「家畜排せつ物の管理 牛、豚、家禽類 (4.B.1., 4.B.8., 4.B.9.)」でまとめて記述している (6.3.1参照)。なお、N₂O排出量は4.D.2.で計上している。

6.5.3. 間接排出 (4.D.3.)

6.5.3.1. 大気沈降 (4.D.3.-)

a) 排出源カテゴリーの説明

ここでは合成肥料及び家畜ふん尿からNH₃やNO_xとして揮散した窒素化合物による大気沈降に伴い発生したN₂Oの排出量の算定、報告を行う。

b) 方法論

■ 算定方法

大気沈降に伴うN₂O排出については、GPG (2000) のデシジョンツリー (Page 4.69, Fig.4.8) に従い、デフォルト値を用いて、N₂O排出量の算定を行った。

大気沈降に伴うN₂O排出の算定式
 大気沈降によるN₂O排出量 [kg N₂O]
 =デフォルト値の排出係数 [kg N₂O-N/kg NH₃-N+NO_x-N]
 ×合成肥料及び家畜ふん尿からNH₃やNO_xとして揮散した窒素量 [kg NH₃-N+NO_x-N]×44/28

■ 排出係数

当該排出区分の排出係数については、1996年改訂IPCCガイドラインに示されたデフォルト値を用いた。

表 6-38 大気沈降に伴うN₂O排出の排出係数

	排出係数 [kgN ₂ O-N/kg NH ₃ -N & NO _x -N deposited]
大気沈降に伴うN ₂ O排出	0.01

(出典) 1996年改訂IPCCガイドライン Vol.2 Table4-18 (GPG(2000) Page 4.73 Table4.18)

■ 活動量

農用地土壌に施用された合成肥料や家畜排せつ物から揮散したNH₃やNO_xに含まれる窒素

の量 (kg)。農用地に施用される家畜排せつ物由来の窒素量については、「家畜排せつ物の管理 (4.B.)」で算出される、我が国の家畜の排せつ物中に含まれる窒素量のうち農地に還元される窒素量を使用し、窒素循環の整合性を取ることにする。また人間のし尿から農用地に還元利用を行っている分についても加えることとする。

$$A = N_{FERT} * Frac_{GASF} + N_{ANI}$$

$$= N_{FERT} * Frac_{GASF} + N_B * Frac_{GASM1} + (N_D + N_{FU}) * Frac_{GASM2}$$

- A : 合成肥料、家畜排せつ物及びし尿からNH₃やNO_xとして揮発した窒素量 (kg NH₃-N+NO_x-N)
- N_{FERT} : 合成窒素肥料需要量 (kg N)
- Frac_{GASF} : 合成肥料からNH₃やNO_xとして揮発する割合 (kg NH₃-N + NO_x-N/kgN)
- N_{ANI} : 家畜排せつ物及びし尿からNH₃やNO_xとして揮発した窒素量 (kg NH₃-N+NO_x-N)
- N_B : 家畜から排せつされた窒素量 (kg N)
- Frac_{GASM1} : 家畜排せつ物の処理の際に家畜排せつ物からNH₃やNO_xとして揮発する割合 (kg NH₃-N + NO_x-N/kgN)
- N_D : 農用地に施用された家畜排せつ物由来肥料中の窒素量 (kg N)
- N_{FU} : 農用地に施用されたし尿由来肥料中の窒素量 (kg N)
- Frac_{GASM2} : 農用地に施用された家畜排せつ物及びし尿中の窒素のうちNH₃やNO_xとして揮発する割合 (kg NH₃-N + NO_x-N/kgN)

○ 合成肥料

合成肥料の施肥に関連する大気沈降に伴うN₂O排出の活動量については、農林水産省「ポケット肥料要覧」に示された「窒素質肥料需要量」に、1996年改訂IPCCガイドラインに示された「Frac_{GASF}：合成肥料からNH₃やNO_xとして揮発する割合」のデフォルト値を乗じて算定した。

表 6-39 Frac_{GASF}：合成肥料からNH₃やNO_xとして揮発する割合

値	単位
0.1	[kg NH ₃ -N + NO _x -N/kg of synthetic fertilizer nitrogen applied]

(出典) 1996年改訂 IPCC ガイドライン Vol.2 Table4-17

○ 家畜排せつ物及びし尿

農用地に施用された家畜排せつ物の大気沈降に伴うN₂O排出の活動量については、「家畜排せつ物の管理 (4B)」において算定した値を用い（「家畜排せつ物の管理 (4B)」においてN₂Oとして大気中に飛散した量、同じく「家畜排せつ物の管理 (4B)」において「焼却」・「浄化」処理され農用地に肥料として撒かれない量を除いた量を除いている）、1996年改訂IPCCガイドラインに示された「Frac_{GASM}：家畜排せつ物中の窒素からNH₃やNO_xとして揮発する割合」のデフォルト値を乗じて算定した（表 6-15）。

し尿由来の活動量は、「日本の廃棄物処理」等からし尿由来の窒素量を算出し、それにFrac_{GASM}を乗じて把握した。

また、「家畜から排せつされて処理される間に家畜排せつ物からNH₃やNO_xとして揮発した窒素量」は、厩舎内及び放牧における排せつ物に含まれる窒素量に、表 6-14の数値を乗じて算出する。

表 6-40 $Frac_{GASM}$: 家畜排せつ物中の窒素から NH_3 や NO_x として揮発する割合

値	単位
0.2	[kg NH_3 -N + NO_x -N/kg of nitrogen excreted by livestock]

(出典) 1996年改訂 IPCC ガイドライン Vol.2 Table4-17

表 6-41 農用地へ還元される窒素量

項目	単位	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008
家畜排せつ物から農用地へ還元される窒素量	tN	542,025	519,419	492,296	471,588	477,043	471,958	470,594
し尿から農用地へ還元される窒素量	tN	10,394	4,747	2,116	874	729	731	729

c) 不確実性と時系列の一貫性

■ 不確実性

大気沈降に伴う N_2O の排出は、施用された合成肥料による排出と家畜排せつ物（し尿を含む）による排出からなっているため、これらの2つの区分について不確実性の評価を行い、最終的にそれらを合成し、総排出量の不確実性を算出した。

排出係数の不確実性は、GPG (2000) のデフォルト値や専門家判断による各パラメータの不確実性を合成し、合成肥料の施用は107%、家畜排せつ物の施用は71%とした。活動量の不確実性は、合成肥料の施用は「6.5.1.1.直接排出（合成肥料）」と同様の数字を設定し、家畜排せつ物の施用は「6.3.1.牛、豚、家禽類（家畜排せつ物分野）」などから計算で算出した。最終的に合成された総排出量の不確実性は75%と評価された。なお、不確実性の評価手法の概要については別添7に記載している。

■ 時系列の一貫性

排出量は時系列的に一貫した算定方法、データソースを用いて推計されている。

d) QA/QCと検証

GPG (2000)に従った方法で、Tier 1 QC 活動を実施している。Tier 1 QC には、排出量の算定に用いている活動量、排出係数等パラメータのチェック、及び出典文献の保存が含まれる。

QA/QC 活動の詳細については、別添 6.1 に詳述している。

e) 再計算

家畜種ごとの排せつ物量原単位（牛、豚、鶏）の変更、及びめん羊、山羊、馬の飼養頭数の変更により、このカテゴリーの1990年から2006年までの排出量に変更された。

f) 今後の改善計画および課題

排出係数や合成肥料施用窒素分の揮発率などについて、我が国独自の数値が設定出来るよう、検討が必要である。

6.5.3.2. 窒素溶脱・流出 (4.D.3.-)

a) 排出源カテゴリーの説明

ここでは、農用地の土壌からの窒素溶脱・流出に伴う N_2O 排出の算定を行う。

b) 方法論

■ 算定方法

窒素溶脱・流出に伴うN₂O排出については、GPG（2000）のデシジョンツリー（Page 4.69, Fig.4.8）に従い、我が国独自の排出係数に、溶脱・流出した窒素量を乗じてN₂O排出量の算定を行なった。

$$\text{窒素溶脱・流出に伴うN}_2\text{O排出量 (kgN}_2\text{O)} \\ = \text{窒素の溶脱及び流出に伴う排出係数 [kg N}_2\text{O-N/kg-N]} \times \text{溶脱・流出した窒素量 [kgN]} \times 44/28$$

■ 排出係数

研究により、我が国独自の排出係数が得られていることから、その排出係数を使用して排出量を算定することとする。窒素溶脱・流出によるN₂O排出係数は各年に同一の値を適用する。

表 6-42 窒素溶脱・流出に伴うN₂O排出の排出係数

	排出係数 [kgN ₂ O-N/kg N]
窒素溶脱・流出に伴うN ₂ O排出	0.0124

(出典) Sawamoto et. al, Evaluation of emission factors for indirect N₂O emission due to nitrogen leaching in agro-ecosystems. (参考文献 35)

■ 活動量

大気沈降で算定した合成肥料及び農用地に施用される家畜ふん尿中の窒素量に、1996年改訂 IPCC ガイドラインに示された「施用した窒素のうち溶脱・流出する割合」を乗じて算定した。

表 6-43 Frac_{LEACH}：施用した窒素のうち溶脱・流出する割合

値	単位
0.3	[kg N/kg nitrogen of fertilizer or manure]

(出典) 1996年改訂 IPCC ガイドライン Vol.2 Table4-17

c) 不確実性と時系列の一貫性

■ 不確実性

窒素溶脱に伴うN₂Oの排出は、施用された合成肥料による排出と家畜排せつ物（し尿を含む）による排出からなっているため、これらの2つの区分について不確実性の評価を行い、最終的にそれらを合成し、総排出量の不確実性を算出した。

排出係数の不確実性は、GPG（2000）のデフォルト値や専門家判断による各パラメータの不確実性を合成し、合成肥料の施用、家畜排せつ物の施用とも113%とした。活動量の不確実性は、「6.5.3.1.大気沈降」と同様に設定した。最終的に合成された総排出量の不確実性は97%と評価された。なお、不確実性の評価手法の概要については別添7に記載している。

■ 時系列の一貫性

排出量は時系列的に一貫した算定方法、データソースを用いて推計されている。

d) QA/QCと検証

GPG（2000）に従った方法で、Tier 1 QC 活動を実施している。Tier 1 QC には、排出量の算定

に用いている活動量、排出係数等パラメータのチェック、及び出典文献の保存が含まれる。
QA/QC 活動の詳細については、別添 6.1 に詳述している。

e) 再計算

家畜種ごとの排せつ物量原単位（牛、豚、鶏）の変更、及びめん羊、山羊、馬の飼養頭数の変更により、このカテゴリーの 1990 年から 2006 年までの排出量に変更された。

f) 今後の改善計画および課題

「6.5.3.1.大気沈降」と同様。

6.5.3.3. 間接排出（CH₄）（4.D.3.-）

土壌からのCH₄の直接排出はないため、畑地土壌からのCH₄の間接排出もない。このため、直接排出と同様、「NA」として報告した。

また、大気沈降、窒素溶脱・流出以外の排出源については、農耕地土壌からのCH₄の排出源として、土壌からの直接排出、家畜生産、間接排出以外に対象となる排出源が考えられないため、「NO」として報告した。

6.5.4. その他（4.D.4）

農用地土壌からのCH₄、N₂Oの排出源として、我が国では土壌からの直接排出、間接排出以外に対象となる排出源が考えられないため、今までと同様に「NO」として報告する。

6.6. サバンナを計画的に焼くこと（4.E.）

当該排出区分では、IPCC ガイドラインにおいて「亜熱帯における草地の管理のために…」と記されているが、我が国では該当する活動が存在しないため、「NO」として報告した。

6.7. 野外で農作物の残留物を焼くこと（4.F.）

野外における作物残渣の不完全な燃焼により、CH₄、N₂Oが大気中に放出される。ここでは、これらのCH₄、N₂O排出に関する算定、報告を行なう。

2007 年度におけるこのカテゴリーからの温室効果ガス排出量はCH₄が 103Gg-CO₂、N₂Oが 76Gg-CO₂であり、我が国の温室効果ガス総排出量のそれぞれ 0.01%、0.01%を占めている。また、1990 年度の排出量と比較するとそれぞれ 20.7%、26.6%の減少となっている。

6.7.1. 稲、小麦、大麦、ライ麦、オート麦（4.F.1.）

a) 排出源カテゴリーの説明

ここでは、水稻、小麦、大麦、ライ麦、オート麦の野焼きによって発生するCH₄、N₂Oの排出の算定を行う。

b) 方法論

■ 算定方法

水稻、小麦、大麦、ライ麦、オート麦の野焼きによって発生するCH₄、N₂Oの排出については、1996年改訂IPCCガイドライン及びGPG(2000)に示されたデフォルト手法を用い、野焼きに伴い放出される炭素量、窒素量にそれぞれCH₄排出率、N₂O排出率を乗じて算定した。

小麦、大麦、ライ麦、オート麦は子実用、青刈り用の2種類が栽培されているが、青刈り用のうち地上部全てを牛の餌として利用する飼料用は除いて排出量を計算する。

$$\begin{aligned} & \text{農作物の野焼きに伴うCH}_4\text{排出量}[\text{kgCH}_4] \\ & = \text{CH}_4\text{排出率}[\text{kg CH}_4\text{-C / kg C}] \times \text{全炭素放出量}[\text{kg C}] \times 16 / 12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{農作物の野焼きに伴うN}_2\text{O排出量}[\text{kgN}_2\text{O}] \\ & = \text{N}_2\text{O排出率}[\text{kg N}_2\text{O-N / kg N}] \times \text{全窒素放出量}[\text{kg N}] \times 44 / 28 \end{aligned}$$

■ 排出係数

1996年改訂IPCCガイドライン及びGPG(2000)に示されたデフォルト値を用いた。

表 6-44 水稻、小麦、大麦、ライ麦、オート麦の野焼きに伴うCH₄、N₂O排出の排出係数

	値	単位
CH ₄	0.005	[kg CH ₄ -C/kg C]
N ₂ O	0.007	[kg N ₂ O-N/kg N]

(出典) 1996年改訂IPCCガイドライン Vol.2 Table4-16

■ 活動量

1996年改訂IPCCガイドライン及びGPG(2000)に示されたデフォルト手法に従い、以下の式に従って活動量を計算した。

$$\begin{aligned} & \text{農作物の野焼きに伴う全炭素放出量、全窒素放出量}[\text{kg C, kg N}] \\ & = (\text{年間作物収穫量}[\text{t}]) \times (\text{作物収穫量に対する残渣の比率}) \times (\text{残渣の平均乾物率}[\text{t-dm/t}]) \\ & \times (\text{野焼きされる割合}) \times (\text{酸化率}) \times (\text{残渣の炭素含有率または窒素含有率}[\text{t C/t-dm, t N/t-dm}]) \times 10^3 \end{aligned}$$

○ 年間作物収穫量

【水稻、小麦（子実用）、大麦（子実用）】

水稻、小麦・大麦（子実用）の収穫量は「作物統計」に記載された値を用いた。

【小麦・大麦（青刈り用）】

青刈り用（飼料用除く）小麦・大麦の収穫量は直接把握できないため、「耕地及び作付面積統計」に示された青刈りその他麦の作付面積に、ライ麦・オート麦の青刈り用（飼料用除く）で設定した単位面積当りの収穫量を乗じ全体の収穫量を算出し、それを小麦・大麦の子実用の収穫量で按分した。

【ライ麦・オート麦】

ライ麦、オート麦の収穫量は直接把握できないため、「耕地及び作付面積統計」を基に示されたライ麦、オート麦の作付面積に、単位面積あたり収穫量を乗じて計算した。

表 6-45 ライ麦・オート麦の単位面積あたり収穫量[kg/10a]

作物種	単位面積あたり収穫量	出典
ライ麦	424	専門家判断 (我が国のライ麦の試験結果を基に設定)
オート麦	223	農林水産省「作物統計」
ライ麦・オート麦 (青刈り用)	1,100	専門家判断 (文検等を基に設定)

○ 作物収穫量に対する残渣の比率、残渣の平均乾物率、炭素含有率、野焼きされる割合、酸化率

各作物におけるパラメータは表 6-46の通りに設定した。

表 6-46 作物収穫量に対する残渣の比率、残渣の平均乾物率、炭素含有率、野焼きされる割合、酸化率

作物	残渣の比率 ^{a)}	残渣の平均乾物率 ^{a)}	炭素含有率 ^{a)}	窒素含有率	野焼きされる割合 ^{b)}	酸化率 ^{b)}
稲	1.4	0.85	0.4144	0.0068 ^{h)}	0.10	0.90
小麦 (子実用)	1.3	0.85	0.4853	0.0045 ^{h)}	0.10	0.90
大麦 (子実用)	1.2	0.85	0.4567	0.016 ^{g,h)}	0.10	0.90
小麦・大麦 (青刈り用)	---	0.17 ^{c)}	0.48 ^{d)}	0.016 ^{g)}	0.10	0.90
ライ麦	2.84 ^{e)}	0.90 ^{c)}	0.4710 ^{d)}	0.0048	0.10	0.90
オート麦	2.23 ^{e)}	0.92 ^{c)}	0.4710 ^{d)}	0.007	0.10	0.90
ライ麦 (青刈り用)	---	0.17 ^{c)}	0.4710 ^{d)}	0.0116	0.10	0.90
オート麦 (青刈り用)	---	0.17 ^{c)}	0.4710 ^{d)}	0.0169 ^{h)}	0.10	0.90

a) GPG(2000) p4.58 Table4.16

b) 1996 改訂 IPCC ガイドライン vol3 p4.83

c) 日本標準飼料成分表 (農業技術研究機構) に掲載の青刈り麦類の乾物率を基に設定

d) GPG(2000)の小麦 (子実用)、大麦 (子実用) の値を収穫量で按分して設定

e) 我が国のライ麦・オート麦の試験結果を基に設定

f) GPG(2000), 「Wheat」, 「Barley」 の平均を利用

g) 経年的に数値が変化する

h) 尾和、我が国の農作物の栄養収支 (1996) (参考文献 33)

○ 窒素含有率

水稻、小麦、大麦、オート麦 (青刈り用) の窒素含有率は我が国の研究結果を用いて、それぞれに独自の数値を設定した。小麦・大麦の青刈り用の窒素含有率は小麦、大麦の窒素含有率を収穫量で加重平均して求めた。ライ麦、オート麦の子実用の窒素含有率は GPG(2000) のデフォルト値を用いた。ライ麦 (青刈り用) の窒素含有率は、我が国独自のオート麦 (青刈り用) の数値に、ライ麦(子実用)/オート麦(子実用)を乗じて求めた。その他麦 (子実用) の窒素含有率は 1996 年改訂 IPCC ガイドラインの数値を用いた。

c) 不確実性と時系列の一貫性

■ 不確実性

稲、小麦 (子実用)、大麦 (子実用)、大麦・小麦 (青刈り用)、ライ麦、オート麦、ライ麦 (青刈り用)、オート麦 (青刈り用) について別々に不確実性評価を行った。排出係数の不確実性は専門家判断や GPG (2000) のデフォルト値による各パラメータの不確実性を合成し、算出した。活動量の不確実性は作物ごとに、それぞれ使用している統計 (「作物統計」、「耕地及び作付面積統計」) の標準誤差、もしくは平成 14 年度の算定方法検討会での設定値を用いた。各作物の排出量の不確実性評価結果は別添 7 表 11 に記載されている。

なお、不確実性の評価手法の概要については別添7に記載している。

■ 時系列の一貫性

排出量は時系列的に一貫した算定方法、データソースを用いて推計されている。

d) QA/QCと検証

GPG (2000)に従った方法で、Tier 1 QC 活動を実施している。Tier 1 QC には、排出量の算定に用いている活動量、排出係数等パラメータのチェック、及び出典文献の保存が含まれる。

QA/QC 活動の詳細については、別添 6.1 に詳述している。

e) 再計算

農業分野では3年平均を使用しているため、各作物の2007年度の活動量の修正・更新により、2006年度の排出量に変更された。

f) 今後の改善計画および課題

排出係数等、1996年改訂 IPCC ガイドライン及び GPG (2000) のデフォルト値を使用している各種パラメータについて、我が国独自の数値が設定出来るよう、検討が必要である。

6.7.2. その他の作物 (4.F.1., 4.F.2., 4.F.3., 4.F.4.)

a) 排出源カテゴリーの説明

ここでは、とうもろこし、えんどう豆、大豆、小豆、いんげん、らっかせい、ばれいしょ、その他根菜類 (てんさい)、さとうきびの焼却に伴う CH_4 、 N_2O 排出の算定を行う。

b) 方法論

■ 算定方法

とうもろこし、えんどう豆、大豆、小豆、いんげん、らっかせい、ばれいしょ、その他根菜類 (てんさい)、さとうきびの焼却に伴う CH_4 、 N_2O 排出については、GPG (2000) のデシジョンツリー (Page 4.52, Fig.4.6) に従い、デフォルト手法によって算出した全炭素放出量に、デフォルト値の CH_4 排出率、 N_2O 排出率を乗じて排出量の算定を行なった。

■ 排出係数

水稻、小麦、大麦の野焼きと同様の排出係数(表 6-44)を用いる。

■ 活動量

農林水産省「作物統計」及び農林水産省「野菜等生産出荷統計」に示された各種作物の生産量に、算定式に示したパラメータを乗じて活動量を算定した。

表 6-47 作物生産量に対する残渣の比率、乾物率、炭素率、窒素率

作物	残渣の比率	乾物率	炭素率	窒素率 ^b
とうもろこし	1.0	0.86	0.4709	0.0164
えんどう豆	1.5	0.87	0.45 ^d	0.0159
大豆	2.1	0.89	0.45 ^d	0.0065
小豆	2.1	0.89	0.45 ^d	0.0084
いんげん	2.1	0.89	0.45 ^d	0.00745
らっかせい	1.0	0.86	0.45 ^d	0.00745
ばれいしょ	0.4	0.6 ^c	0.4226	0.0242
てんさい	0.2	0.2	0.4072	0.0192
さとうきび	1.62	0.83 ^c	0.4235	0.0423

(出典) GPG(2000) p4.58 Table 4.16

a: デフォルト値がないため、双子葉植物・単子葉植物の値を引用。村山登他編、文永堂出版「作物栄養・肥料学」p.26(Bowen:Trace Elements in Biochemistry,1966)

b: 尾和、我が国の農作物の栄養収支 (1996) (参考文献 33)

c: 1996年改訂 IPCC ガイドライン Vol.2 Table 4-15

d: デフォルト値は示されていないが、1996年改訂 IPCC ガイドライン Vol.2 p4.30 に示された値 (0.01-0.02) の中間値を採用した。

表 6-48 野焼きされる割合、酸化率のデフォルト値

	値	単位
野焼きされる割合	0.10	—
酸化率	0.90	—

(出典) 1996年改訂 IPCC ガイドライン Vol.3 p4.83

c) 不確実性と時系列の一貫性

■ 不確実性

とうもろこし、えんどう豆、大豆、小豆、いんげん、らっかせい、ばれいしょ、てんさいについて別々に不確実性評価を行った。排出係数の不確実性は専門家判断や GPG (2000) のデフォルト値による各パラメータの不確実性を合成し、算出した。活動量の不確実性は作物ごとに平成 14 年度の算定方法検討会での設定値を用いた。各作物の排出量の不確実性評価結果は別添 7 表 11 に記載されている。なお、不確実性の評価手法の概要については別添 7 に記載している。

■ 時系列の一貫性

排出量は時系列的に一貫した算定方法、データソースを用いて推計されている。

d) QA/QCと検証

「6.7.1. 稲、小麦、大麦、ライ麦、オート麦」と同様。

e) 再計算

農業分野では 3 年平均を使用しているため、各作物の 2007 年度の活動量の修正・更新により、2006 年度の排出量が変更された。

f) 今後の改善計画および課題

「6.7.1. 稲、小麦、大麦、ライ麦、オート麦」と同様。

6.7.3. 豆類（白いんげん）（4.F.2.-）

“dry bean”は、いんげん豆の仲間、成熟させてさやから外した豆のことを指すが、日本ではいんげん豆は成熟させる前に食べるため、量的にも非常に少ない。いんげん豆は、豆類（4.F.2.）[その他]で計上しているため「IE」として報告した。

6.7.4. その他（4.F.5.）

日本では、穀物、豆類、根菜類、さとうきび以外の農業廃棄物の焼却が行われている可能性がある。しかし、活動実態が明らかになっておらず排出係数の設定もできないことから、「NE」として報告した。

参考文献

1. FAO HP データ (<http://apps.fao.org/>)
2. IPCC(1995): IPCC 1995 Report :Agricultural Options for Mitigation of Greenhouse Gas Emissions, 747-771
3. IPCC 「1996年改訂 IPCC ガイドライン」(1997年)
4. IPCC 「温室効果ガスインベントリにおけるグッドプラクティスガイダンス及び不確実性管理報告書」(2000年)
5. IRRI (International Rice Research Institute) “World Rice STATISTICS 1993-94”
6. 環境庁「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果 第1部」(平成12年9月)
7. 環境省「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果 第3部」(平成14年8月)
8. 環境省「温室効果ガス排出量算定に関する検討結果」(平成18年2月)
9. 環境省廃棄物・リサイクル対策部「廃棄物の広域移動対策検討調査及び廃棄物等循環利用量実態調査報告書(廃棄物等循環利用量実態調査編)」
10. 環境省廃棄物・リサイクル対策部「日本の廃棄物処理」
11. 気象庁「日本気候表」
12. 農林水産省「公共牧場実態調査」
13. 農林水産省「耕地及び作付面積統計」
14. 農林水産省「作物統計」
15. 農林水産省「畜産統計」
16. 農林水産省「地力基本調査」
17. 農林水産省「ポケット肥料要覧」
18. 農林水産省「野菜生産出荷統計」
19. 農林水産省「牛乳乳製品統計」
20. 農林水産省「畜産物生産費統計」
21. 農林水産省「環境保全型農業調査畜産部門調査結果の概要」
22. 畜産技術協会「畜産における温室効果ガスの発生制御 総集編」(平成14年3月)
23. 畜産技術協会「畜産における温室効果ガスの発生制御 第四集」(平成11年3月)
24. 畜産技術協会「畜産における温室効果ガスの発生制御 第六集」(平成13年3月)
25. 中央畜産会「日本飼養標準」
26. 動物衛生研究所「牛の放牧場の全国実態調査」
27. 沖縄県「沖縄県畜産統計」
28. 農業技術研究会「平成12年度温室効果ガス排出量削減定量化法調査報告書」
29. 斎藤守「肥育豚及び妊娠豚におけるメタンの排せつ量」日本畜産学会会報 59: pp773-778 (1988年)
30. 柴田正貴、寺田文典、栗原光規、西田武弘、岩崎和雄「反芻家畜におけるメタン発生量の推定」日本畜産学会報 第64巻 第8号(1993年8月)
31. 鶴田治雄「日本の水田からのメタンと畑地からの亜酸化窒素の発生量」：農業環境技術研究所「資源・生態管理科研究集録13号別冊」
32. 村山登他編「作物栄養・肥料学」文永堂出版
33. 尾和尚人「我が国の農作物の栄養収支」(「平成8年度関東東海農業環境調和型農業生産における土壌管理技術に関する第6回研究会「養分の効率的利用技術の新たな動向」) 1996年
34. 石橋誠、橋口純也、古閑護博「畜産における温室効果ガス排出削減技術の開発(第2報)」畜産環境保全に関する試験研究 平成15年度畜産研究所試験成績書、熊本県農

- 業研究センター畜産研究所 (2003 年)
35. Takuji Sawamoto, Yasuhiro Nakajima, Masahiro Kasuya, Haruo Tsuruta and Kazuyuki Yagi
“Evaluation of emission factors for indirect N₂O emission due to nitrogen leaching in agro-ecosystems” GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS VOL.32
 36. Takeshi Osada, Kazutaka Kuroda, Michihiro Yonaga (2000):Determination of nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from a swine waste composting process, J Mater Cycles Waste Manage (2000) 2,51-56
 37. Takashi Osada (2003) :Nitrous Oxide Emission from Purification of Liquid Portion of Swine Wastewater, Greenhouse Gas Control Technologies, J.Gale and Y.Kaya (Eds.)
 38. Takashi Osada, Yasuyuki Fukumoto, Tadashi Tamura, Makoto Shiraihi, Makoto Ishibashi : Greenhouse gas generation from livestock waste composting,Non-CO₂ Greenhouse Gases (NCGG-4),Proceedings of the Fourth International Symposium NCGG-4,105-111 (2005)
 39. Akiyama, H., Yagi, K., and Yan, X. (2006): Direct N₂O emissions and estimate of N₂O emission factors from Japanese agricultural soils. In program and Abstracts of the International Workshop on Monsoon Asia Agricultural Greenhouse Gas Emissions, March 7-9, 2006, Tsukuba, Japan, pp. 27.
 40. Akiyama, H., Yagi, K., and Yan, X. (2006): Direct N₂O emissions and estimate of N₂O emission factors from agricultural soils in Japan: summary of available data. original paper under preparation.
 41. (社) 中央畜産会「家畜関係資料」
 42. 農林水産省生産局畜産部畜産振興課「馬関係資料」
 43. 永田修、鮫島良次「石狩川泥炭地の土地利用と温室効果ガス—湿地、水田、転換畑の比較—」(2006)
 44. 築城幹典、原田靖生「家畜の排泄物量推定プログラム」、システム農学 (J、JASS)、13(1): 17-23, (1997)
 45. 野中邦彦「茶園における窒素環境負荷とその低減のための施肥技術」、野菜茶業研究所報告 100 号、(2005)

