3.D.a.6 農用地の土壌（有機質土壌の耕起）
（Agriculture Soils（Plowing of Organic Soils））（N_2O）

１．排出・吸収源の概要

１.１ 排出・吸収源の対象及び温室効果ガス排出メカニズム

本排出源では、有機質土壌の耕起により農地から直接排出される N_2O について扱う。有機質土壌においては、耕起等の営農活動により土壌中の有機物が酸化や微生物の働きにより分解される。その際に炭素は CO_2 などの形で失われるが、窒素は微生物により無機化されアンモニウムイオン（NH_4^+）として土壌中に残存することになる。好気条件下でそのアンモニウムイオンが微生物により硝酸態窒素に酸化される過程で N_2O が発生する。また、微生物により硝酸態窒素が脱窒する過程で N_2O が発生する。

我が国では、主に「黒泥土」と「泥炭土」の 2 種類の土壌が有機質土壌とされており、これらの土壌は北海道を中心に存在している。我が国における有機質土壌の農地造成は 1970 年代までにほぼ終了しており、現在では一般的に客土が行われた土地が耕作に利用されている。

本排出源では、水田、畑地、牧草地における有機質土壌の耕起を対象とする。

（硝化）

$$NH_4^+ \rightarrow NH_2OH \rightarrow \underset{\uparrow N_2O}{[HNO]} \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$$

※N_2O は副産物として発生する。

（脱窒）

$$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$$

１.２ 排出・吸収トレンド及びその要因

有機質土壌の耕起により排出される N_2O 排出量は、2001 年度以降は一時的な増減を繰り返しつつ、全体としては減少傾向となっている。これは、総耕地面積の減少により有機質土壌の耕地面積も減少していることが要因である。

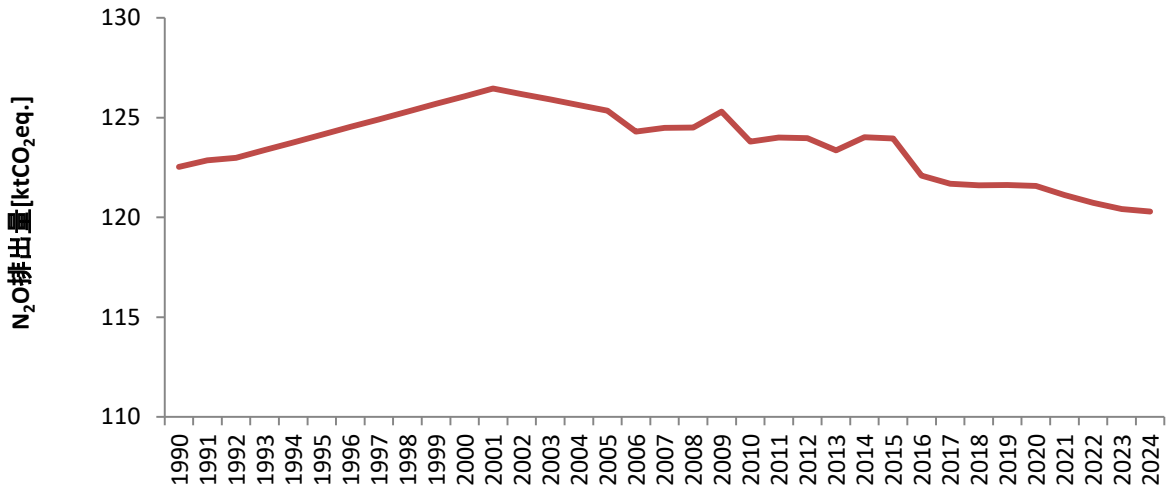


図 1　有機質土壌の耕起からの N_2O 排出量の推移

2．排出・吸収量算定方法

2.1 排出・吸収量算定式

有機質土壌の耕起からの N_2O 排出量は、有機質土壌の耕地面積に N_2O 排出係数である単位面積当たりの耕起による N_2O 排出量を乗じて算出している。

$$E = \sum_i EF_i \times A_i \times 44/28$$

E：有機質土壌の耕起からの N_2O 排出量［kg-N_2O/年］
i：耕地の種別（水田、畑地、牧草地）
EF_i：耕地の種別 i の有機質土壌の耕起における N_2O 排出係数［kg-N_2O-N/ha/年］
A_i：耕地の種別 i の有機質土壌の耕地面積［ha］

2.2 排出係数

有機質土壌の水田耕作においては、畑作に比べ N_2O 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 N_2O 排出の観測事例（永田（2006）[1]）が存在するが、永田(2006)は窒素肥料の施用に伴う N_2O 排出も含めた観測結果であることから、Akiyama et al.（2006）[2]による我が国の化学肥料の施肥による N_2O 排出係数を用いて永田（2006）から施肥分の N_2O 排出を控除し、排出係数を設定している（表 1 参照、排出係数は 0.30［kg-N_2O-N/ha/年］）。

1 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―」（北海道農業研究センター　新しい研究成果）（2006）

2 Akiyama, H., Yagi, K., and Yan, X.: “Estimations of emission factors for fertilizer-induced direct N2O emissions from agricultural soils in Japan: Summary of available data”, Soil Science and Plant Nutrition, 52, 774-787 (2006)

表 1　有機質土壌の耕起に伴う N_2O 排出係数の設定（水田）

圃場の種類	サンプルNo	排出係数実測値 (kgN2O−N/ha) (A)	施肥分の排出量の算出			排出係数 (施肥分控除) (kgN2O−N/ha) (A)−(D)	観測地点別平均排出係数 (kgN2O−N/ha)
			施肥量平均値 (kg/10a) (B)	施肥における排出係数 (kgN2O−N/kgN) (C)	施肥分の排出量 (kgN2O−N/ha) (D)＝(B×C)		
連作田	A02-03	0.50	9.2	0.31%	0.29	0.21	0.78
	A03-04	1.09	7.6	0.31%	0.24	0.85	
	A04-05	1.51	7.6	0.31%	0.24	1.27	
	B03-04	0.51	7.6	0.31%	0.24	0.27	0.40
	B04-05	0.76	7.6	0.31%	0.24	0.52	
	C04-05	0.33	3.6	0.31%	0.11	0.22	-0.03
復元田	C03	-0.11	5.6	0.31%	0.17	-0.28	
	D04	0.15	3.6	0.31%	0.11	0.04	0.04
						平均値	0.30

（出典）排出係数実測値、施肥量平均値：永田（2006）、施肥における排出係数：Akiyama et al.（2006）

また、有機質土壌における畑作に関しても同様に観測事例（永田（2006）、Nagata（2009）[3]）が存在し、施肥分の N_2O 排出を控除して排出係数を算出することが可能であるが（排出係数は 7.42［kg-N_2O-N/ha/年］）、既に森林等吸収源（LULUCF）分野で 2006 年 IPCC ガイドラインの 2019 年改良版で示された IPCC 湿地ガイドライン（2013 年）のデフォルトの N_2O 排出係数（13［kg-N_2O-N/ha/年］、Cropland, drained の Boreal and temperate の数値）が採用されていることから、そちらと合わせてデフォルトの N_2O 排出係数を使用する。草地についても、同じデフォルトの N_2O 排出係数である 8.2［kg-N_2O-N/ha/年］（Grassland, deep drained の nutrient-rich, Temperate の数値）を使用する。

2.3 活動量

活動量である耕起される有機質土壌の面積（A）は、水田、畑地、牧草地別に、「耕地及び作付面積統計（農林水産省）」における都道府県別の全耕地面積に、高田ら（2009）[4]の有機質土壌面積割合（表 2）を乗じて算出する。ただし、牧草地については毎年全ての面積が耕起されるわけではないため、更新割合（表 3）を乗じて耕起面積を算出する。

$$A_i = \sum_j \left(C_{i,j} \times Ro_{i,j} \times Rc_{i,j} \right)$$

A：有機質土壌の耕地面積［ha］
i：耕地の種別（水田、畑地、牧草地）
j：都道府県
C_i：耕地の種別 i・都道府県 j の全耕地面積［ha］
Ro_i：耕地の種別 i・都道府県 j の有機質土壌割合［%］
Rc_i：耕地の種別 i・都道府県 j の更新割合［%］（牧草地のみ使用）

有機質土壌面積は、「耕地及び作付面積統計」から把握できる各地目の面積に対して、有機質土

3 Nagata O, Sugito T, Kobayashi S, and Sameshima R, “Nitrous oxide emissions following the application of wheat residues and fertilizer under conventional-, reduced-, and zero-tillige systems in central Hokkaido Japan”, Journal of Agricultural Meteorolgy, 65(2), 151-159. (2009)

4 高田裕介、中井信、小原洋「1992 年の農耕地分布に基づくデジタル農耕地土壌図の作成」、日本土壌肥料学会誌雑誌、第 80 巻第 5 号 502-505（2009）

壌割合を乗じて算定している。耕作放棄地以外の有機質土壌割合は 1992 年、2001 年、2010 年の都道府県別土壌群面積[5]（農環研、高田 2009、神田ほか（2017）[6]）における、包括的土壌分類第 1 次試案の「泥炭土」[7]に該当する土壌面積割合を用いて把握しており、それ以外の年における有機質土壌面積は、1992 年、2001 年、2010 年の各時点の有機質土壌面積を起点に、拡張・かい廃面積の一定割合を有機質土壌とみなして加減することで計算している。農耕地から転用する場合においては、基本的に各調査年の間（1992 年以降：1992～2001 年、2001 年以降：2001～2010 年）に生じた地目ごとの全変化面積に対する有機質土壌変化面積の割合を用いているが、1992 年以前の転用においては、1992 年調査時点の各地目の有機質土壌率を適用している。耕作放棄地については、2009 年の GIS データ解析による有機質土壌面積割合を、同年の耕作放棄地面積に乗じた値を固定値とし、それ以降、以前の有機質土壌面積は転用地に含まれる有機質土壌面積を加減して求めている。なお、樹園地については耕起実態がないことから、排出算定の算定対象には含めていない。耕作放棄地の取扱いも同様である。

5 1992 年、2001 年の地目別土壌群面積情報は、作成に利用している土壌分類や地目図に 2010 年の情報と異なる部分があり、生データのままでは 2010 年の情報と時系列の比較ができないことから、2010 年の情報と比較可能となるように農業環境インベントリーセンターで調整・更新したデータの提供を受けて、計算を行っている。

6 包括的土壌分類第 1 次試案に基づく縮尺 1/5 万全国デジタル農耕地土壌図の作成、神田ほか、日本土壌肥料学雑誌 88(1);29-34（2017）

7 有機炭素含量が 12%以上の泥炭物質からなる層が、土壌表面から 50 cm 以内に積算して 25 cm 以上あるという有機質土の定義を満たす土壌。

表 2　我が国の有機質土壌割合（$Ro_{i,j}$）

地目	水田			普通畑		
項目	有機質土壌割合(%)		面積(ha)	有機質土壌割合(%)		面積(ha)
年	1992	2001	2019	1992	2001	2019
北海道	18.71%	19.98%	44,544	2.96%	3.51%	13,176
青森県	18.09%	18.66%	15,277	3.63%	0.72%	221
岩手県	1.66%	2.22%	1,931	0.26%	0.10%	22
宮城県	26.13%	26.74%	28,271	2.67%	2.34%	380
秋田県	4.30%	4.52%	5,749	3.52%	1.60%	141
山形県	4.72%	4.51%	4,179	0.31%	0.31%	33
福島県	6.24%	5.66%	6,822	1.07%	0.97%	244
茨城県	0.20%	0.24%	231	0.00%	0.00%	0
栃木県	0.03%	0.04%	43	0.00%	0.00%	0
群馬県	0.73%	0.89%	239	0.04%	0.03%	16
埼玉県	7.34%	7.25%	3,124	0.66%	1.37%	405
千葉県	5.59%	4.77%	4,264	0.62%	0.64%	317
東京都	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0
神奈川県	3.53%	3.23%	137	0.45%	0.42%	51
新潟県	0.49%	0.55%	762	0.25%	0.41%	51
富山県	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0
石川県	0.00%	0.00%	0	0.03%	0.00%	2
福井県	0.25%	0.26%	98	0.00%	0.00%	0
山梨県	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	1
長野県	0.20%	0.18%	106	0.13%	0.17%	54
岐阜県	4.69%	4.27%	1,798	2.05%	1.98%	126
静岡県	1.41%	2.19%	460	0.30%	0.35%	49
愛知県	0.12%	0.13%	69	0.00%	0.00%	0
三重県	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0
滋賀県	0.00%	0.00%	1	2.90%	2.35%	74
京都府	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0
大阪府	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0
兵庫県	0.06%	0.05%	40	0.00%	0.00%	0
奈良県	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0
和歌山県	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0
鳥取県	0.48%	0.54%	140	0.12%	0.12%	10
島根県	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0
岡山県	0.20%	0.26%	144	0.01%	0.01%	1
広島県	0.07%	0.07%	28	0.03%	0.00%	0
山口県	0.33%	0.48%	196	0.03%	0.04%	1
徳島県	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0
香川県	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0
愛媛県	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0
高知県	0.92%	1.40%	312	0.00%	0.00%	0
福岡県	0.60%	0.64%	457	0.00%	0.04%	4
佐賀県	1.65%	1.69%	773	0.60%	0.56%	23
長崎県	0.05%	0.06%	13	0.00%	0.01%	3
熊本県	0.58%	0.61%	456	0.00%	0.00%	0
大分県	0.02%	0.00%	1	0.00%	0.00%	0
宮崎県	0.66%	0.75%	288	0.13%	0.14%	30
鹿児島県	3.70%	4.00%	1,704	0.01%	0.01%	6
沖縄県	0.00%	0.00%	0	0.00%	0.00%	0

（出典）有機質土壌割合（農環研、高田）と「耕地及び作付面積統計（農林水産省）」から算定

牧草地の更新割合は、牧草地の管理実態を調査した「草地飼料畑の管理実態調査事業（北海道大学大学院　波多野隆介、平成 28 年度日本中央競馬会畜産振興事業）」を使用する。同調査では牧場へアンケート調査を行い、北海道・都府県別に牧草地の更新割合をまとめている。更新割合は、各牧場の更新面積の総和を各牧場の永年草地面積の総和で割って算出されている。また、更新割合は表層攪拌法と作溝法の合計である。なお、2005 年度以前については単年度の更新割合が調査されていないことから、2006～2010 年度の平均値（北海道：3.0%、都府県：1.3%）を使用する。2011 年度以降の数値を平均値として使用しないのは、福島第一原発の事故の影響で一時的に

更新割合が上昇していると考えられるからである。また、2016 年度以降についてもまだ調査値がないことから、同様に 2006～2010 年度の平均値を使用することとする。

表 3　牧草地の更新割合（Rc_i）

	2005 年度以前	2006 年度	2007 年度	2008 年度	2009 年度	2010 年度	2011 年度	2012 年度	2013 年度	2014 年度	2015 年度	2016 年度以降
北海道	3.0%	2.5%	2.8%	3.0%	3.7%	2.9%	3.5%	3.6%	3.3%	3.9%	4.1%	3.0%
都府県	1.3%	1.0%	1.2%	1.0%	1.4%	2.1%	3.8%	15.7 %	9.6%	5.2%	3.5%	1.3%

（出典）「草地飼料畑の管理実態調査事業（北海道大学大学院　波多野隆介、平成 28 年度日本中央競馬会畜産振興事業）」

対象となる耕地面積と上記方法により算出された有機質土壌面積は表 4 に示す。

表 4　全耕地面積（C）及び有機質土壌面積（A）［ha］

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
全耕地面積	2,846,485	2,825,147	2,802,399	2,781,411	2,764,280	2,745,260	2,724,257	2,701,367	2,679,288	2,659,547
有機質土壌面積	131,603	130,924	130,183	130,045	129,907	129,769	129,630	129,492	129,354	129,215

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
全耕地面積	2,641,168	2,623,486	2,606,812	2,592,125	2,575,641	2,555,732	2,542,898	2,529,867	2,515,850	2,505,567
有機質土壌面積	129,077	128,939	128,531	128,123	127,715	127,307	126,900	126,492	126,084	125,676

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
全耕地面積	2,496,107	2,473,610	2,469,203	2,465,191	2,457,696	2,446,407	2,431,037	2,417,911	2,405,108	2,393,279
有機質土壌面積	125,268	124,753	124,895	125,091	125,210	125,176	125,060	125,125	125,154	125,187

	2020	2021	2022	2023	2024
全耕地面積	2,379,885	2,365,763	2,352,085	2,335,341	2,319,184
有機質土壌面積	125,175	125,114	125,029	124,973	124,957

（畑地）

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
全耕地面積	1,274,910	1,265,920	1,253,440	1,242,820	1,234,380	1,224,980	1,218,900	1,213,500	1,205,590	1,196,750
有機質土壌面積	16,400	16,467	16,501	16,563	16,625	16,687	16,750	16,812	16,874	16,936

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
全耕地面積	1,188,090	1,179,310	1,172,120	1,168,220	1,169,240	1,172,910	1,172,740	1,172,110	1,171,380	1,169,370
有機質土壌面積	16,998	17,060	17,026	16,992	16,957	16,923	16,889	16,854	16,820	16,786

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
全耕地面積	1,169,470	1,165,350	1,163,820	1,160,940	1,156,420	1,151,370	1,148,720	1,142,100	1,138,250	1,134,170
有機質土壌面積	16,752	16,645	16,598	16,577	16,540	16,483	16,457	16,388	16,376	16,379

	2020	2021	2022	2023	2024
全耕地面積	1,129,990	1,126,190	1,123,380	1,119,610	1,117,880
有機質土壌面積	16,373	16,299	16,239	16,189	16,170

（牧草地）

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
全耕地面積	646,650	649,389	657,096	660,813	661,356	660,667	658,100	654,046	650,078	647,661
有機質土壌面積	38,578	38,734	38,823	39,048	39,273	39,499	39,724	39,950	40,175	40,401

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
全耕地面積	644,728	641,326	640,019	636,935	634,554	630,624	627,420	623,923	621,265	618,874
有機質土壌面積	40,626	40,852	40,734	40,616	40,498	40,381	40,263	40,145	40,027	39,909

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
全耕地面積	616,737	615,130	613,390	611,083	607,723	606,517	603,430	601,144	598,777	596,853
有機質土壌面積	39,792	39,748	39,739	39,683	39,604	39,553	39,526	39,480	39,442	39,410

	2020	2021	2022	2023	2024
全耕地面積	595,231	593,517	591,363	589,067	585,925
有機質土壌面積	39,387	39,328	39,279	39,220	39,190

（出典）有機質土壌割合（農環研、高田）と「耕地及び作付面積統計（農林水産省）」から算定

３．算定方法の時系列変更・改善経緯

表 5　初期割当量報告書（2006 年提出）以降の算定方法等の改訂経緯概要

	2009 年提出	2010 年提出	2015 年提出
排出・吸収量算定式	－	－	牧草地について、専門家判断により更新割合を 3%と設定した上で算定対象に追加。
排出係数	水田の N_2O 排出係数を我が国独自の数値に変更。	－	畑地の N_2O 排出係数について、2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト値に変更。
活動量	－	有機質土壌面積割合を変更。	新たに算定対象に加えた牧草地について、有機質土壌の耕作面積に更新割合を乗じる算定方法を設定。

	2018 年提出	2019 年提出	2021 年提出
排出・吸収量算定式	－	－	－
排出係数	－	－	－
活動量	牧草地の有機質土壌面積の算定に使用する更新割合を専門家判断による 3%から「草地飼料畑の管理実態調査事業」の調査結果に変更。	土地利用、土地利用変化及び林業（LULUCF）分野における有機質土壌面積の算定方法の変更に伴い、農業分野も共通で変更。	LULUCF 分野における有機質土壌面積の算定方法の変更に伴い、農業分野も共通して変更。

	2023 年提出
排出・吸収量算定式	－
排出係数	畑地と草地の N_2O 排出係数を 2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト値から 2013 年湿地ガイドラインのデフォルト値に変更。
活動量	－

（１）初期割当量報告書における算定方法

1）排出・吸収量算定式

N_2O 排出量の算定式は現状と同じ。牧草地については耕起の実態が不明なことから、対象は水田と畑地のみとしていた。

2）排出係数

水田、畑地とも Good Practice Guidance（2000）[8]に示された温帯における N_2O 排出係数のデフォルト値 8［kg-N_2O-N/ha/年］を使用していた。

3）活動量

活動量の算定式は現状と同じ。ただし、有機質土壌面積割合は、「ポケット肥料要覧（農林統計

[8] GPG (2000) p.4.60 Table4.17

協会)」に示された水田 6.4%、畑地 1.9%を使用していた。有機質土壌面積は表 5 のとおり。

表 6　有機質土壌面積（A）［ha］

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
水田の有機質土壌面積	182,144	180,800	179,328	178,048	176,896	175,680	174,336	172,864	171,456	170,176
畑地の有機質土壌面積	24,225	24,054	23,826	23,617	23,446	23,275	23,161	23,066	22,914	22,743

	2000	2001	2002	2003	2004	2005
水田の有機質土壌面積	169,024	167,936	166,848	165,888	164,800	163,584
畑地の有機質土壌面積	22,572	22,401	22,268	22,192	22,211	22,287

出典：ポケット肥料要覧（農林統計協会）

（1）2009 年提出インベントリにおける算定方法

1）排出・吸収量算定式

初期割当量報告書における算定式と同様。

2）排出係数

水田の N_2O 排出係数について、我が国の実態を反映した値となるよう、永田（2006）から設定した 0.30［kg-N_2O-N/ha/年］に変更した。

3）活動量

初期割当量報告書における活動量と同様。

（2）2010 年提出インベントリにおける算定方法

1）排出・吸収量算定式

初期割当量報告書における算定式と同様。

2）排出係数

2009 年提出インベントリにおける排出係数と同様。

3）活動量

有機質土壌面積割合について、1979 年度の調査結果を使用している「ポケット肥料要覧」の数値から、最新の調査結果である高田ら（2009）の数値（表 2）に変更した。

（3）2015 年提出インベントリにおける算定方法

1）排出・吸収量算定式

耕起の実態が把握されていないことから算定を行っていなかった牧草地について、専門家判断により更新割合を 3%と設定した上で算定を行うこととした。なお、同様に算定が行われていなかった果樹園については、耕起が行われていないと判断されたことから、引き続き算定を行わないこととした（現行の方法と同様。）。

2）排出係数

畑地の N_2O 排出係数について、2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト値に変更した（数値自

体に変更はなし。現行の排出係数と同様。）。

3）活動量

新たに算定対象に加えた牧草地について、有機質土壌の耕作面積に更新割合を乗じる算定方法を設定した（現行の活動量と同様。）。

（4）2018 年提出インベントリにおける算定方法

1）排出・吸収量算定式

2015 年提出インベントリにおける算定式と同様（現行の算定式と同様。）。

2）排出係数

2015 年提出インベントリにおける排出係数と同様（現行の排出係数と同様。）。

3）活動量

牧草地の有機質土壌面積の算定に使用する更新割合について、専門家判断による 3%から「草地飼料畑の管理実態調査事業」（表 3）の調査結果に変更した（現行の活動量と同様。）。

（5）2019 年提出インベントリにおける算定方法

1）排出・吸収量算定式

2015 年提出インベントリにおける算定式と同様（現行の方法と同様。）。

2）排出係数

2015 年提出インベントリにおける排出係数と同様（現行の排出係数と同様。）。

3）活動量

土地利用、土地利用変化及び林業（LULUCF）分野において、有機質土壌面積の算定方法の変更を行い、それに伴い鉱質土壌面積も変更されたことから、有機質土壌及び鉱質土壌面積を共通で使用している農業分野においても変更後の面積を使用することとした。

（6）2021 年提出インベントリにおける算定方法

1）排出・吸収量算定式

2015 年提出インベントリにおける算定式と同様（現行の方法と同様。）。

2）排出係数

2015 年提出インベントリにおける排出係数と同様（現行の排出係数と同様。）。

3）活動量

LULUCF 分野において、有機質土壌面積の算定方法の変更を行い、それに伴い鉱質土壌面積も変更されたことから、有機質土壌及び鉱質土壌面積を共通で使用している農業分野においても変更後の面積を使用することとした（現行の活動量と同様。）。

（7）2023 年提出インベントリにおける算定方法

1）排出・吸収量算定式

2015 年提出インベントリにおける算定式と同様（現行の方法と同様。）。

2）排出係数

畑地と草地の N_2O 排出係数を 2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト値から 2013 年湿地ガイドラインのデフォルト値に変更（現行の排出係数と同様。）。なお、変更前の N_2O 排出係数は、2006 年 IPCC ガイドラインの温帯のデフォルト値である 8［kg-N_2O-N/ha/年］である。

3）活動量

2021 年提出インベントリにおける活動量と同様（現行の活動量と同様。）。