4.(IV) 土壌からの N_2O 間接排出
（Indirect nitrous oxide (N_2O) emissions from managed 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・吸収メカニズム

管理地土壌に投入された窒素分が窒素化合物を経た後に N_2O として排出される間接排出には、「大気沈降」と「窒素溶脱・流出」がある。「大気沈降」は揮発したアンモニア（NH_3）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、微生物活動を受けて土壌中で変化し N_2O が発生するプロセスであり、「窒素溶脱・流出」は硝酸態窒素の形態で地下水に溶脱したり、排水溝や川に流出した後、微生物の作用により N_2O が発生したりするプロセスである。

2006 年 IPCC ガイドライン（AFOLU、第 11 章）で特定されている土壌への窒素供給源のうち、化学肥料、有機質肥料、放牧家畜の排せつ物の 3 つが大気沈降と窒素溶脱・流出の両方の N_2O 間接排出源となっており、作物残さ、土壌の無機化については、窒素溶脱・流出の N_2O 間接排出源となっている。農業分野で報告している農耕地（農地、草地）以外の排出が本区分での算定、報告対象となっている。

1.2 排出・吸収トレンド及びその要因

本区分の排出は、99%以上が窒素溶脱・流出による排出であり、窒素供給源の大半を占める土地利用変化に伴う土壌の無機化窒素量に関し、1990 年度以降、特に、開発地への土地転用面積の減少に伴う無機化窒素量が減少していることが、排出傾向に影響している

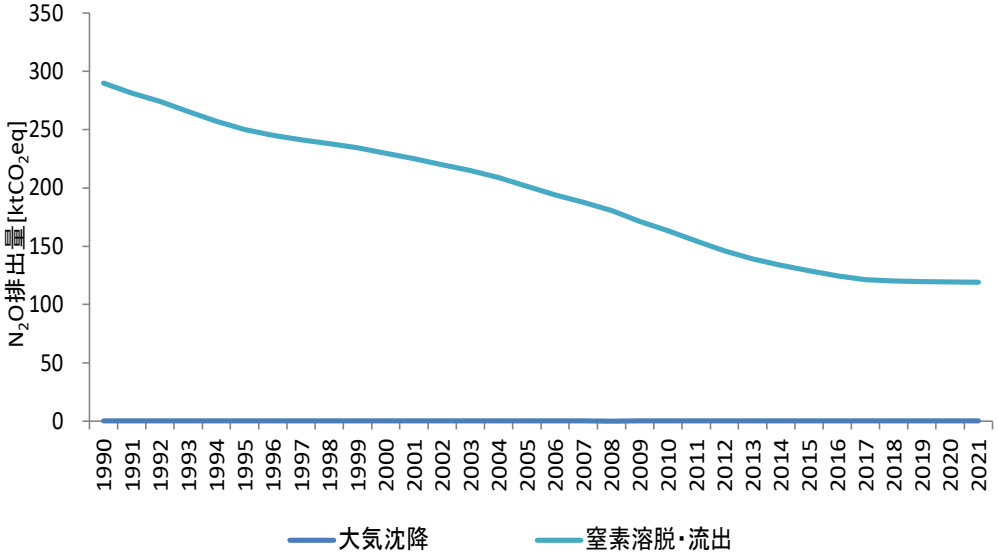

図 1　管理地土壌からの N_2O 間接排出量の推移

2．排出・吸収量算定方法

2.1 排出・吸収量算定式

2.1.1 大気沈降

2006 年 IPCC ガイドライン Tier 1 の算定方法を用いて算定した。なお、後述するとおり、対象となる土地利用は森林のみとしている。

$$N_2O - N_{ATD} = [(F_{SN} \times Frac_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) \times Frac_{GASM})] \times EF_4$$

$N_2O\text{-}N_{ATD}$ ：大気沈降による N_2O 間接排出量［kg-N_2O-N］
F_{SN} ：土壌へ施用される化学肥料に含まれる窒素量［kg-N］
F_{ON} ：土壌へ施用される有機質肥料に含まれる窒素量［kg-N］
F_{PRP} ：牧草地、放牧場、小放牧地における放牧家畜由来の排せつ物中窒素量［kg-N］
$Frac_{GASF}$ ：化学肥料から NH_3 や NOx として揮発する割合［kg-NH_3-N + NOx-N/kg-N applied］
$Frac_{GASM}$ ：有機質肥料、排せつ物から NH_3 や NOx として揮発する割合［kg-NH_3-N+NOx-N/kg-N］
EF_4 ：大気沈降による N_2O 間接排出係数［kg-N_2O-N/kg-NH_3-N+NOx-N］

2.1.2 窒素溶脱・流出

2006 年 IPCC ガイドラインに記述されている Tier 1 の算定方法を用いて算定した。

$$N_2O - N_{leach} = (F_{SN} + F_{SOM}) \times Frac_{LEACH-(H)} \times EF_5$$

$N_2O\text{-}N_{each}\text{-}N$ ：窒素溶脱・流出に伴う N_2O 間接排出量［kg-N_2O-N］
F_{SN} ：土壌へ施用される化学肥料に含まれる窒素量［kg-N］
F_{SOM} ：土壌の有機物無機化による年間窒素放出量［kg-N］
$Frac_{LEACH-(H)}$ ：施用される窒素のうち溶脱・流出する割合［kg-N/kg-N］
EF_5 ：溶脱・流出に伴う N_2O 間接排出係数［kg-N_2O-N/(kg-N leaching/runoff)］

2.2 排出・吸収係数

2.2.1 大気沈降

○有機質肥料、排せつ物から NH_3 や NO_x として揮発する割合（$Frac_{GASM}$）

後述のとおり、森林土壌への有機質肥料の施肥量や森林における家畜放牧は 0 としているため、適用している$Frac_{GASM}$はない。

○化学肥料から NH_3 や NOx として揮発する割合（$Frac_{GASF}$）

2006 年 IPCC ガイドラインの 2019 年改良版のデフォルト値である 0.11［kg-NH_3-N+NOx-N/kg-N applied］を用いた。2006 年 IPCC ガイドラインの 2019 年改良版では、肥料別の disaggregated と化学肥料全体に対する aggregated の割合がデフォルト値として与えられているが、LULUCF の算定対象としている森林施肥では詳細な区分ができないことから aggregated の値を用いた。

○大気沈降による N_2O 間接排出係数（EF_4）

2006 年 IPCC ガイドラインの 2019 年改良版のデフォルト値である 0.014［kg-N_2O-N/kg-NH_3-N+NOx-N volatilised］（Disaggregated wet climate）を用いた。

2.2.2 窒素溶脱・流出

○窒素のうち溶脱・流出する割合（$Frac_{LEACH-(H)}$）

2006 年 IPCC ガイドラインの 2019 年改良版のデフォルト値である 0.24［kg-N/kg nitrogen of fertilizer］を用いた。

○溶脱・流出の N_2O 間接排出係数（EF_5）

2006 年 IPCC ガイドラインの 2019 年改良版のデフォルト値である 0.011［kg-N_2O-N /（kg-N leaching/runoff)］を用いた。

2.3 活動量

2.3.1 大気沈降

農地、草地以外への施肥、放牧由来の家畜の排泄の状況については、森林土壌への化学肥料の施用量のみを算定しており、それ以外は 0 としている。本排出源の活動量としては、森林土壌への施肥に伴う N_2O 直接排出に用いたものと同じ値を利用した。活動量把握方法の詳細は、「4.(I) 施肥に伴う N_2O 直接排出」の記述を参照。

表 1　森林土壌への化学肥料施用量［t-N］

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
森林への化学肥料施肥量(調査値)	t-N										
全窒素質肥料施用量	t-N	611,667	573,933	571,754	599,287	579,997	527,269	511,448	490,784	475,752	479,280
森林への施肥量の割合*	%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%
森林への化学肥料施肥量(推計値)	t-N	288	270	269	282	273	248	241	231	224	225

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
森林への化学肥料施肥量(調査値)	t-N							238	216	157	
全窒素質肥料施用量	t-N	487,177	472,746	473,207	493,574	474,588	470,968	453,536	478,818	359,899	349,970
森林への施肥量の割合*	%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%	0.052%	0.045%	0.044%	0.047%
森林への化学肥料施肥量(推計値)	t-N	229	222	223	232	223	222	238	216	157	165

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
森林への化学肥料施肥量(調査値)	t-N										
全窒素質肥料施用量	t-N	409,397	387,019	396,596	409,725	394,443	372,164	374,703	374,703	374,703	374,703
森林への施肥量の割合*	%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%
森林への化学肥料施肥量(推計値)	t-N	193	182	187	193	186	175	176	176	176	176

		2020	2021
森林への化学肥料施肥量(調査値)	t-N		
全窒素質肥料施用量	t-N	374,703	374,703
森林への施肥量の割合*	%	0.047%	0.047%
森林への化学肥料施肥量(推計値)	t-N	176	176

* 2006-2008年度は実算定値。それ以外の年は2006-2008年の平均値。

2.3.2 窒素溶脱・流出

大気沈降の算定にも用いた森林土壌への化学肥料施用量と、「4.(III) 土地利用変化・管理に伴う無機化された窒素からの N_2O 直接排出」の算定で用いた土地の管理や土地利用変化に伴い無機化された窒素量を活動量として用いた。それ以外に農地、草地以外の土地利用で管理地土壌に投入される窒素量は 0 とみなした。

表 2　土壌の無機化に伴う窒素溶脱・流出量推計値［t-N］

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
森林	t-N	4,574	4,590	4,602	4,612	4,618	4,622	4,626	4,628	4,631	4,633
転用された農地	t-N	2,542	2,339	2,166	1,951	1,839	1,568	1,234	985	914	904
草地	t-N	127	128	130	131	131	131	131	130	129	129
転用された開発地	t-N	42,129	40,751	39,629	38,118	36,836	35,891	35,354	35,055	34,600	34,077
転用されたその他の土地	t-N	6,868	6,768	6,688	6,667	6,470	6,294	6,145	5,975	5,853	5,722
合計	t-N	56,240	54,577	53,216	51,480	49,894	48,506	47,490	46,773	46,126	45,464

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
森林	t-N	4,634	4,636	4,637	4,646	4,655	4,664	4,663	4,664	4,662	4,661
転用された農地	t-N	872	833	790	717	579	513	502	473	447	397
草地	t-N	128	127	127	127	127	126	104	116	122	151
転用された開発地	t-N	33,371	32,655	31,930	31,200	30,345	29,242	28,094	27,106	25,981	24,532
転用されたその他の土地	t-N	5,534	5,355	5,151	4,975	4,795	4,532	4,253	4,024	3,790	3,470
合計	t-N	44,539	43,606	42,635	41,665	40,500	39,076	37,617	36,382	35,002	33,211

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
森林	t-N	4,665	4,665	4,664	4,705	4,751	4,793	4,866	4,912	4,981	5,045
転用された農地	t-N	367	346	398	460	474	475	485	561	659	722
草地	t-N	125	160	249	193	183	178	120	120	120	119
転用された開発地	t-N	23,220	21,731	20,087	18,924	18,003	17,188	16,449	15,819	15,570	15,399
転用されたその他の土地	t-N	3,280	3,061	2,893	2,682	2,512	2,356	2,236	2,080	1,998	1,897
合計	t-N	31,656	29,963	28,291	26,964	25,923	24,990	24,157	23,493	23,327	23,182

		2020	2021
森林	t-N	5,064	5,107
転用された農地	t-N	787	873
草地	t-N	119	119
転用された開発地	t-N	15,339	15,292
転用されたその他の土地	t-N	1,814	1,703
合計	t-N	23,124	23,094

3．算定方法の時系列変更・改善経緯

表 3　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

	2015 年提出	2018 年提出	2019 年提出
排出・吸収量算定式	2006 年 IPCC ガイドラインの方法論を適用して新規に算定を実施した。	－	－
排出係数	2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト係数を用いた。	－	－
活動量	新規に活動量を整備した。	草地更新面積推計方法の修正を反映した。	鉱質土壌・有機質土壌面積の面積推計方法の修正を反映した。

	2021 年提出	2022 年提出	**2023 年亭主**
排出・吸収量算定式	－	－	転用された開発地を窒素溶脱・流出の算定対象に追加した。
排出係数	－	2019 年改良 IPCC ガイドラインのデフォルト値に更新した。	－
活動量	農地、草地について、2010 年度の土壌群データを反映した鉱質土壌・有機質土壌面積推計方法の修正を反映した。	－	転用された開発地と転用されたその他の土地の土壌炭素損失量の方法論変更に伴う再計算を反映した。

（1）初期割当量報告書における算定方法

GPG-LULUCF 及び当時の UNFCCC インベントリ報告ガイドライン上、算定・報告が求められていない区分であったため、算定は実施していなかった。

（2）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

新たに算定方法を設定し、排出量を算定した（現行インベントリと同様。）。

2）排出・吸収係数

〇化学肥料から NH_3 や NOx として揮発する割合

2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト値である 0.1［kg-NH_3-N+NOx-N/kg-N applied］を用いた（現行インベントリと同様。）。

〇大気沈降による N_2O 間接排出係数

2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト値である 0.01［kg-N_2O-N/kg-NH_3-N+NOx-N volatilised］を用いた（現行インベントリと同様。）。

〇窒素のうち溶脱・流出する割合

2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト値である 0.3［kg-N/kg nitrogen of fertilizer］を用いた（現行インベントリと同様。）。

〇溶脱・流出の N_2O 間接排出係数

2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト値である 0.0075［kg-N_2O-N/(kg-N leaching/runoff)］を用いた（現行インベントリと同様。）。

3）活動量

現行の算定方法と同様に求めた。ただし、推計に用いる牧草地の草地更新率は一律 3%として設定していた。

（3）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と同様（現行インベントリと同様。）。

2）排出・吸収係数

2015 年提出インベントリと同様。

3）活動量

牧草地について、草地更新率を一律 3%の設定から、2006～2015 年度の調査結果を踏まえた値に変更した。詳細は「4.C.1.a 転用のない草地（牧草地）」を参照。

（4）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と同様（現行インベントリと同様。）。

2）排出・吸収係数

2015 年提出インベントリと同様。

3）活動量

有機質土壌面積の推計方法が見直され、鉱質土壌面積値が変更されたことにより、土地利用変化・管理に伴う無機化された窒素の溶脱・流出に係る N_2O 間接排出の活動量が「4.(III) 土地利用変化・管理に伴う無機化された窒素からの N_2O 直接排出」と同様に変更された。

（5）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と同様（現行インベントリと同様。）。

2）排出・吸収係数

2015 年提出インベントリと同様。

3）活動量

農地、草地における最新のデータ（2010 年度値）に基づいた有機質土壌面積の修正に伴い、鉱質土壌面積値が変更されたことにより、土地利用変化・管理変化に伴う無機化された窒素の溶脱・流出に係る N_2O 間接排出の活動量が「4.(III) 土地利用変化・管理に伴う無機化された窒素からの N_2O 直接排出」と同様に変更された（現行インベントリと同様。）。

（6）2022 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と同様。

2）排出・吸収係数

2006 年 IPCC ガイドラインの 2019 年改良版のデフォルト値を用いた（現行インベントリと同様。）。

3）活動量

2021 年提出インベントリと同様。

（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

転用された開発地の土壌炭素蓄積変化が新規に算定されたことを受けて「4.(III) 土地利用変

化・管理に伴う無機化された窒素からの N_2O 直接排出」と同様に、窒素の溶脱・流出に係る算定対象に追加した（現行インベントリと同様。）。

2）排出・吸収係数

2022 年提出インベントリと同様（現行インベントリと同様。）。

3）活動量

転用された開発地と転用されたその他の土地の土壌炭素損失量の方法論変更に伴う再計算を反映した（現行インベントリと同様。）。