

4.(I) 施肥に伴う N₂O 排出 (Nitrous oxide (N₂O) emissions from nitrogen (N) inputs to managed soils) (N₂O)

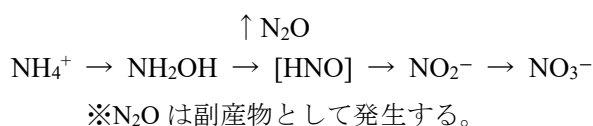
1. 排出・吸収源の概要

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

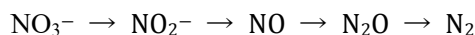
窒素を含む化学肥料、有機質肥料を土壤に施肥すると、直接排出あるいは間接排出いずれかのプロセスを経て N₂O が発生する。直接排出では土壤中にアンモニウムイオン (NH₄⁺) が発生し、好気条件下でそのアンモニウムイオンが微生物により硝酸態窒素に酸化される過程で N₂O が発生する。また、微生物により硝酸態窒素が脱窒する過程でも N₂O が発生する。間接排出では土壤に投入された窒素が窒素化合物を経た後に N₂O として排出される。間接排出には、「大気沈降」と「窒素溶脱・流出」という 2 種類のプロセスが存在する。「大気沈降」は揮発したアンモニア (NH₃) などの窒素化合物が、乱流拡散、分子拡散、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壤に沈着し、微生物活動を受けて土壤中で変化し N₂O 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 N₂O 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壤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 N₂O 間接排出源となっている。

本排出源の主要な活動は農業利用であり、農地、草地への施肥については「3.D. 農用地の土壤」で算定・報告が行われ、LULUCF 分野では農地、草地以外の、森林、湿地、開発地、その他の施肥に伴う排出を網羅している。施肥量が土地利用ごとに分離できない場合は、報告・算定ルール上、農業分野でまとめて報告することも認められており、我が国では森林における化学肥料の施肥に伴う排出のみを LULUCF 分野で別途算定・報告を行っている。

(硝化)



(脱窒)



1.2 排出・吸収トレンド及びその要因

森林への施肥は、我が国全体の化学施肥量の一定割合が森林へ施用されとする仮定の下で算定していることから、N₂O 直接排出量のトレンドは、「3.D.a.1 無機質窒素肥料」からの排出に連動する結果となる（詳細は「3.D.a.1 無機質窒素肥料」参照。）。

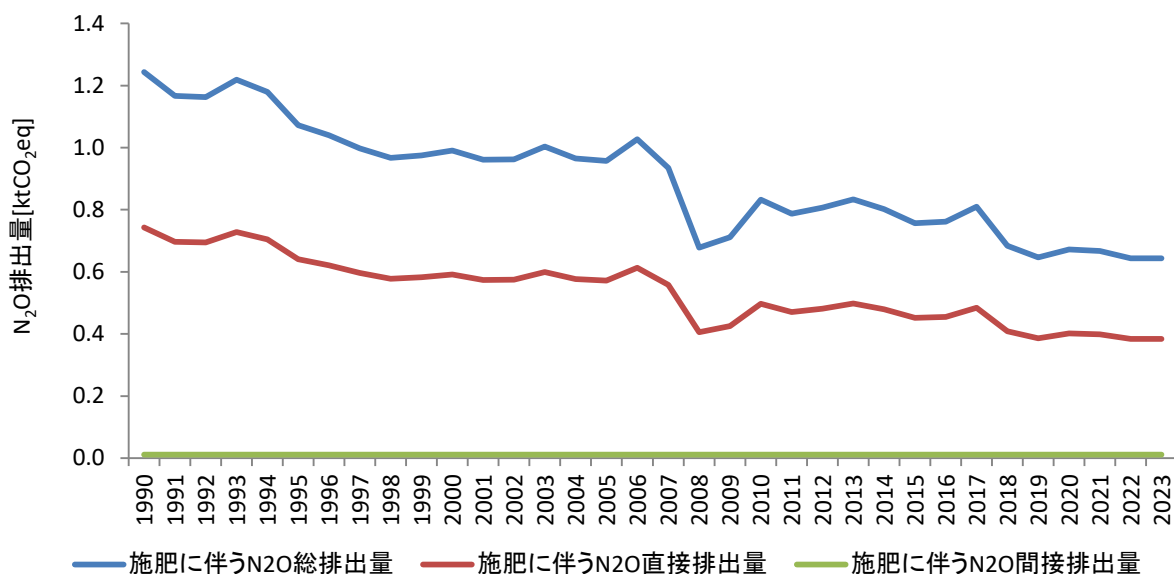


図 1 森林への化学肥料の施肥に伴う N₂O 排出量の推移

2. 排出・吸収量算定方法

2.1 排出・吸収量算定式

2.1.1 N₂O 直接排出

施肥からの N₂O 直接排出量は、農業分野で適用している方法に準じて、2006 年 IPCC ガイドラインの Tier 2 法に従い、化学肥料施用量に N₂O 排出係数を乗じて求めた。

$$E = \sum (F_{SN} \times EF_1) \times 44/28$$

E : 土壌への無機質肥料（化学肥料）の施肥に伴う N₂O 直接排出量 [kg-N₂O]

F_{SN} : 森林土壌に投入された化学肥料施用量 [kg-N]

EF_1 : 排出係数 [kg-N₂O-N/kg-N]

2.1.2 N₂O 間接排出

(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、前述のとおり、対象となる土地利用は森林のみである。

$$N_2O - N_{ATD} = (F_{SN} \times Frac_{GASF}) \times EF_4$$

$N_2O - N_{ATD}$: 大気沈降による N₂O 間接排出量 [kg-N₂O-N]

F_{SN} : 森林土壌へ施用される化学肥料に含まれる窒素量 [kg-N]

$Frac_{GASF}$: 化学肥料から NH₃ や NO_x として揮発する割合 [kg-NH₃-N + NO_x-N/kg-N]

EF_4 : 大気沈降の N₂O 間接排出係数 [kg-N₂O-N/ kg-NH₃-N + NO_x-N]

(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。大気沈降同様対象となる土地利用は森林のみである。

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

$N_2O - N_{leach}$: 窒素溶脱・流出に伴う N₂O 間接排出量 [kg-N₂O-N]

F_{SN} : 森林土壌へ施用される化学肥料に含まれる窒素量 [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 直接排出

排出係数 EF_1 は、施用された窒素量当たりの N_2O 直接排出量であり、農業分野で適用している我が国独自の 3 種類の係数のうち、「その他の作物」に適用している 0.0062 [kg- N_2O -N/kg-N] を用いた。

2.2.2 間接排出

(1) 大気沈降

$Frac_{GASF}$ は化学肥料から NH_3 や NO_x として揮発する割合であるが、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+ NO_x -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。排出係数 EF_4 は、大気沈降の窒素量当たりの N_2O 間接排出量であり、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+ NO_x -N volatilised] (Disaggregated wet climate) を用いた。

(2) 窒素溶脱・流出

$Frac_{LEACH-(H)}$ は窒素のうち溶脱・流出する割合であるが、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-N additions] を用いた。排出係数 EF_5 は溶脱・流出した窒素量当たりの N_2O 間接排出量であり、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

農地、草地以外への施肥の状況については、林野庁調査による 2006～2008 年度に森林で行われた施肥実績の調査結果を基に、実績値が存在しない年次の森林土壌に施用される化学肥料施用量は、「ポケット肥料要覧（農林統計協会）」に示された窒素質肥料需要量に、2006～2008 年度の全窒素質肥料需要量に対する森林土壌への施肥量の割合（2006～2008 年度の平均で 0.047%）を乗じて算出した。調査の結果、森林に施用される肥料は化学肥料が大部分であることから、肥料の種類は全て化学肥料とみなし、また、肥料以外の窒素投入量（作物残さ、放牧由来の家畜の排泄）は 0 とした。

表 1 森林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	611,955	574,203	572,023	599,569	580,270	527,517	511,689	491,015	475,976	479,505
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	487,406	472,968	473,430	493,806	474,811	471,190	453,774	479,034	360,056	350,135
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	409,590	387,201	396,783	409,918	394,629	372,339	374,879	398,487	336,633	317,904
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	187	158	149

		2020	2021	2022	2023
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	330,775	328,181	316,630	316,630
森林への施肥量の割合*	%	0.047%	0.047%	0.047%	0.047%
森林への化学肥料施肥量(推計値)	t-N	156	154	149	149

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

3. 算定方法の時系列変更・改善経緯

表 2 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

	2014 年提出	2015 年提出	2022 年提出
排出・吸収量 算定式	IE 報告を廃止し、アンケート結果を踏まえた森林への施肥による N ₂ O 直接排出の分離報告を新規に実施。	2006 年 IPCC ガイドラインの方法論を適用して新規に N ₂ O 間接排出の算定を実施した。	—
排出係数	—	N ₂ O 間接排出係数に 2006 年 IPCC ガイドラインのデフォルト係数を用いた。	N ₂ O 間接排出について、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	現行算定方法と同様に、2006～2008 年度の施肥実績から我が国全体の窒素質肥料の施肥量に対する森林への施肥の割合を表す係数を設定し、全時系列の活動量を新規に計算。	—	—

	2024 年提出	2025 年提出
排出・吸収量 算定式	パリ協定 MPG の報告区分に従い、N ₂ O の直接排出のみならず、間接排出も本区分の報告対象とした。	—
排出係数	—	—
活動量	—	窒素質肥料需要量の統計データの更新に伴い、化学肥料施用量を修正した。

(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

○直接排出

森林土壌や湿地・開発地への施肥はほとんど実施されていないと考えられるが、農業分野で算定されている窒素肥料の需要量に施用量が含まれていると想定し、「IE」として報告した。

○間接排出

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) 排出・吸収係数

直接排出は「IE」で報告しており、間接排出は報告対象外だったため、適用した排出・吸収係数はない。

3) 活動量

直接排出は「IE」で報告しており、間接排出は報告対象外だったため、適用した活動量はない。

(2) 2014 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

○直接排出

UNFCCC 審査において、透明性向上のために森林での施肥を分離して報告することを推奨されたことを受け、林野庁が実施した窒素施肥、石灰散布の実績に関するアンケート結果を踏まえて森林における施肥による N₂O 直接排出を分離して算定・報告することとした。方法論は現行インベントリと同様。

○間接排出

初期割当量報告と同様。

2) 排出・吸収係数

○直接排出

現行インベントリと同様。

○間接排出

3) 初期割当量報告と同様。活動量

現行の算定方法と同様。なお、我が国全体の化学肥料の施用量は、耕地面積の減少と省施肥の実施に伴い 1990 年頃から右肩下がりの減少傾向にある。森林への施肥は林道事業や治山事業量に相応して増減すると考えられるが、これらの事業も 1990 年頃は現在よりも多く実施されていたことから、過去の施用量が多くなる時系列の傾向は、実状からはそれほど乖離していないものと考えられる。

(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

○直接排出

2014 年提出インベントリと同様（現行インベントリと同様。）。

○間接排出

2006 年 IPCC ガイドラインの方法論に従い、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

○直接排出

2014 年提出インベントリと同様（現行インベントリと同様。）。

○間接排出

化学肥料から NH_3 や NO_x 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 [$\text{kg-NH}_3\text{-N}+\text{NO}_x\text{-N/kg-N applied}$] を用いた。

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 [$\text{kg-N}_2\text{O-N/kg-NH}_3\text{-N}+\text{NO}_x\text{-N volatilised}$] を用いた。

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 [$\text{kg-N/kg nitrogen of fertilizer}$] を用いた。

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 [$\text{kg-N}_2\text{O-N}/(\text{kg-N leaching/runoff})$] を用いた。

3) 活動量

直接排出の算定に利用している活動量を間接排出の算定にも用いた。方法論は 2014 年提出インベントリと同様。

(4) 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

○直接排出

2014 年提出インベントリと同様（現行インベントリと同様。）。

○間接排出

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

2015 年提出インベントリと同様。

(5) 2024 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

パリ協定下の GHG インベントリ報告ルールに従い、施肥に伴う N₂O 直接排出（従来の報告区分 4(I)、N₂O 間接排出（従来の報告区分 4(IV)）をまとめて、報告区分 4(I)で報告することとなった。方法論自体は 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

○直接排出

2014 年提出インベントリと同様（現行インベントリと同様。）。

○間接排出

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

2015 年提出インベントリと同様。

(6) 2025 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

2024 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

○直接排出

2014 年提出インベントリと同様（現行インベントリと同様。）。

○間接排出

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

2017 年度以降の窒素質肥料需要量の統計データが更新されたことに伴い、森林土壌に施用される化学肥料施用量を修正した（現行インベントリと同様。）。