4.(IV) バイオマスの燃焼（Biomass burning）（CH_4, 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

バイオマスを焼却すると、有機物の酸化に伴う CO_2、N_2O が発生するほか、不完全燃焼に由来する CH_4、CO、NMVOC、NOx 等も発生する。

本区分は、農業分野の報告対象である作物残さの野焼き及びサバンナ燃焼（我が国には存在しない。）以外の、土地利用・管理、土地利用変化に伴うバイオマス焼却（火災）を算定・報告対象としており、森林火災、果樹剪定枝の焼却、草地の野焼き、河川敷における火災などによる排出が含まれることになる。焼却に伴い発生する CO_2 の排出について、森林火災は炭素ストック変化の算定内に含まれており、農地の単年生作物や草本については IPCC ガイドラインに従い、火災による損失分のバイオマスは短期間に成長・再生が行われると仮定されていることから、算定の対象外であり、非 CO_2 排出のみを対象としている。

1.2 排出・吸収トレンド及びその要因

森林火災は、我が国では偶発的な野火の発生状況に排出量が左右されることから、2023 年度まではおよそ 5～50 kt-CO_2 eq.の範囲で年度ごとに変動が生じている状況であった。2024 年度は、2025 年 2～3 月に岩手県大船渡市で発生した大規模林野火災の影響で、234.4 kt-CO_2 eq.の排出が生じ大幅な変動が生じた。果樹剪定枝の焼却については、果樹園の面積や収穫量に連動させた計算をしていることから、面積減少傾向を反映した右肩下がりの傾向となっている。草地の野焼きに伴う排出は、算定の不確実性を踏まえて、全年度一律の排出量算定を行っている。なお、CH_4 と N_2O の排出量はおおよそ半々程度である。

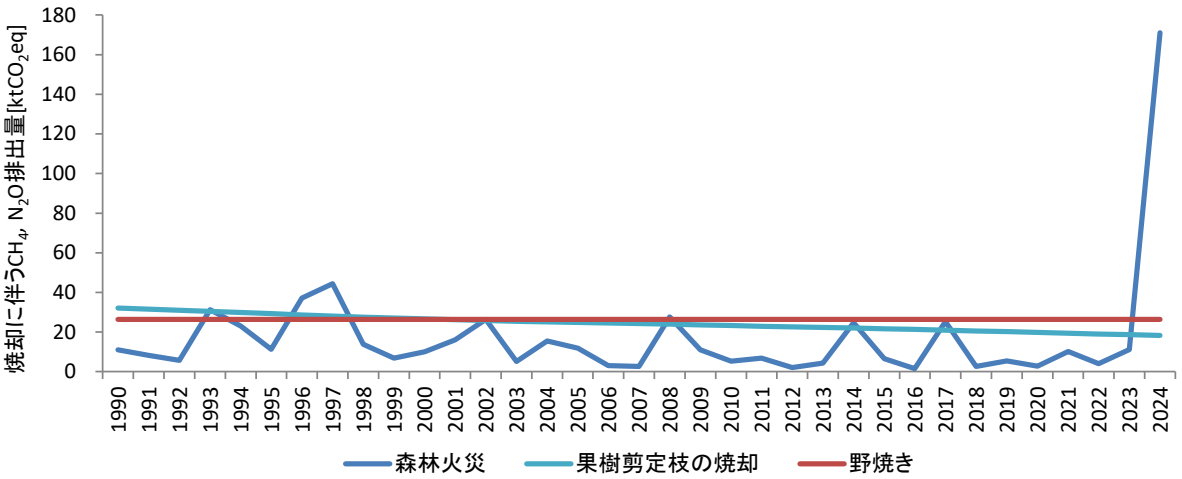

図 1　バイオマス燃焼からの CH_4、N_2O 排出量の推移

２．排出・吸収量算定方法

２.１ 排出・吸収量算定式

現在、温室効果ガス（GHG）インベントリで算定しているバイオマス燃焼は、森林火災、果樹剪定枝の焼却、草地の野焼きに伴う排出であり、その他の排出源については、発生しない「NO」又は未推計「NE」で報告している。

転用のない森林及び他の土地利用から転用された森林における野火に起因するこれら排出量については、森林火災の統計データが両方のカテゴリーで生じた野火を含むため、転用のない森林の野火において一括して報告する。また、我が国においては、森林における計画的な焼却活動及び森林以外の土地利用区分から森林への転用に伴う計画的な焼却活動は、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」及び「消防法」によって厳しく制限されているため実施されない。そのため、計画的な焼却活動からの排出量は生じず「NO」として報告する。

農地における計画的な焼却活動からの CH_4、N_2O 排出については、果樹剪定枝等の木本性バイオマスの焼却に伴う排出を算定する。我が国の農地は集約的な管理を特徴としており、この管理形態の下での農地において野火が起こることはほぼ皆無と考えられるため、農地における野火に伴う CH_4、N_2O 排出については「NO」として報告する。

草地の野焼きに伴う CH_4、N_2O 排出については、我が国で行われている草地管理としての火入れ、野焼き等の実施に伴う排出を算定する。

森林及び農地以外における野火に伴う CH_4、N_2O 排出については、当該野火に関する情報が十分把握されていないため「NE」として報告する。このうち、河川敷における火災については、微小排出源としての「NE」に該当する。

２.１.１ 森林火災

GPG-LULUCF に示された Tier 1 法を用い、火災に伴い損失した炭素ストック量に対して、各 GHG として排出される比率（排出比）の係数を乗じて算定を行った。

○ CH_4

$$bbGHG_f = L_{forestfires} \times ER$$

○ N_2O

$$bbGHG_f = L_{forestfires} \times ER \times NC_{ratio}$$

$bbGHG_f$ ：森林によるバイオマス燃焼に伴う GHG 排出量
$L_{forest\,fires}$ ：森林の火災に伴う炭素ストック損失量［t-C/年］
ER ：排出比（排出係数）
NC_{ratio} ：バイオマス中の窒素炭素比

２.１.２ 果樹剪定枝の焼却

2006 年 IPCC ガイドラインの焼却に関する排出量の算定式（Equation 2.27, p2.42, Vol.4）を適用して計算を行った。

$$L_{fire} = W_B \times C_f \times G_{ef} \times 10^{-6}$$

L_{fire} ：焼却に伴う炭素ストック損失量［kt-GHG］
W_B ：焼却量［t-d.m］
C_f ：燃焼率
G_{ef} ：排出係数［t/kt-d.m.］

2.1.3 草地の野焼き

2006 年 IPCC ガイドラインの焼却に関する排出量の算定式（Equation 2.27, p2.42, Vol.4）を適用して計算を行った。

$$L_{fire} = A \times M_B \times C_f \times G_{ef} \times 10^{-6}$$

L_{fire} ：焼却に伴う炭素ストック損失量［kt-GHG］
A ：燃焼面積［ha］
M_B ：単位面積当たり燃焼量［t-d.m/ha］
C_f ：燃焼率
G_{ef} ：排出係数［t/kt-d.m.］

2.1.4 河川敷における火災

河川敷における火災については、消防統計から得られた火災件数を踏まえて、改訂 UNFCCC インベントリ報告ガイドラインの微小排出源ルールに応じて設定した我が国の LULUCF 分野の排出量算定基準値（9 万 t-CO_2）の状況について、草地の火災による排出算定の Tier 1 法を用いて検討したところ、1 件当たりの河川敷火災が 10 ha を超えるレベルでなければ微小排出基準を超えるレベルの排出とはならず、我が国の状況を踏まえると非現実的であることから、微小排出源「NE」として報告している。

2.2 排出・吸収係数

2.2.1 森林火災

○排出比（*ER*）

GPG-LULUCF のデフォルト値である CH_4：0.012、N_2O：0.007 を用いた。

○バイオマス中の窒素炭素比（NC_{ratio}）

GPG-LULUCF のデフォルト値である 0.01 を用いた。

2.2.2 果樹剪定枝の焼却

燃焼率（*Cf*）については、我が国の農業分野の農作物残さの野焼きで一般的に利用されている値（0.90）を利用した。排出係数（*Gef*）は、2006 年 IPCC ガイドラインに記載されたデフォルト排出係数のうち「Agricultural residue」の値を適用し、CH_4：2.7 t-CH_4/kt-d.m.、N_2O：0.07 t-N_2O/kt-d.m.を用いた。

2.2.3 草地の野焼き

国内の各種研究結果、国内の文献では、燃焼率はおよそ 80～98%程度、野焼き地で多く生育しているススキ優占群落のバイオマス量は 10 t-d.m./ha 程度になる。燃焼条件は気候条件等でも変化する値であり、各年の燃焼実態に合わせた細かな係数設定は難しいことから、上記の結果も踏まえ、有効数字 1 桁で、燃焼率（*Cf*）は 0.9、バイオマス量（単位面積当たり燃焼重）（M_B）は 1×10 t-d.m./ha と設定した。排出係数（*Gef*）は 2006 年 IPCC ガイドラインに記載されたデフォルト排出係数のうち「Savanna and grassland」の値を適用し、CH_4 : 2.3 t-CH_4/kt-d.m.、N_2O : 0.21 t-N_2O/kt-d.m.を用いた。

2.3 活動量

2.3.1 森林火災

Tier 3 の算定方法を用いて、火災による炭素ストック損失量を、国有林と民有林それぞれの火災被害材積に容積密度、バイオマス拡大係数及び乾物重における炭素含有率を乗じて算定した。

$$L_{forestfires} = \Delta C_{fn} + \Delta C_{fp}$$

$L_{forest\,fires}$ ：火災に伴う炭素ストック損失量［t-C/年］
ΔC_{fn} ：国有林の火災による炭素ストック損失量［t-C/年］
ΔC_{fP} ：民有林の火災による炭素ストック損失量［t-C/年］

被害材積の把握方法は、国有林については、「森林・林業統計要覧（林野庁）」に示された火災立木被害材積を用いた。民有林については、齢級別の実損面積及び被害材積（林野庁調べ）に一部推計を加えて、火災被害材積を求めた。すなわち、4 齢級以下の被害材積については、「森林資源の現況（林野庁）」及び「国家森林資源データベース（林野庁）」より推計された 4 齢級以下の単位面積当たり蓄積量に、5 齢級以上の民有林における損傷比率（蓄積量に対する被害材積の割合）を乗じることにより推計した。ここで、損傷比率は齢級にかかわらず一定であると仮定した。炭素ストック損失量に用いた容積密度、バイオマス拡大係数の値は、人工林、天然林の面積比を用いた加重平均により、容積密度は国有林、民有林それぞれの算定結果、バイオマス拡大係数はいずれも 1.61、炭素含有率は全森林の平均値としての 0.50 を用いた。

$$\Delta C_{fn,p} = Vf_{n,p} \times D_{n,p} \times BEF_{n,p} \times CF$$

$\Delta C_{fn,p}$ ：国有林、民有林の火災による炭素ストック損失量［t-C/年］
$Vf_{fn,p}$ ：国有林、民有林の火災被害材積［m^3/年］
$D_{n,p}$ ：国有林、民有林容積密度［t-d.m./m^3］
$BEF_{n,p}$ ：国有林、民有林バイオマス拡大係数
CF ：炭素含有率［t-C/t-d.m.］

表 1　森林火災（野火）による被害材積

			単位	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
国有林における火災被害材積			m^3	3,688	13,154	2,931	18,709	3,348	1,014	4,524	8,184	13,468	735
民有林における火災被害材積			m^3	64,918	37,578	32,224	175,312	139,852	69,180	226,949	268,352	71,710	41,702
	5齢級以上	実損面積	kha	0.29	0.24	0.32	1.06	1.40	0.94	0.89	1.89	0.35	0.31
		被害材積	m^3	47,390	24,191	26,348	139,672	123,107	58,129	177,388	234,098	62,815	31,685
	4齢級以下	実損面積	kha	0.27	0.34	0.19	0.74	0.53	0.51	0.71	0.80	0.15	0.29
		被害材積	m^3	17,528	13,387	5,876	35,640	16,745	11,051	49,561	34,254	8,895	10,017

			単位	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
国有林における火災被害材積			m^3	1,599	4,624	1,694	1,323	5,671	359	35	969	1,901	976
民有林における火災被害材積			m^3	60,640	95,125	163,260	30,498	90,696	73,348	19,391	15,226	170,730	67,417
	5齢級以上	実損面積	kha	0.48	0.53	1.17	0.13	0.99	0.35	0.19	0.15	0.57	0.37
		被害材積	m^3	54,487	76,277	144,716	19,626	86,219	59,235	17,555	11,930	119,900	55,628
	4齢級以下	実損面積	kha	0.16	0.40	0.46	0.22	0.16	0.27	0.07	0.14	0.85	0.28
		被害材積	m^3	6,153	18,848	18,544	10,872	4,477	14,113	1,836	3,296	50,830	11,789

			単位	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
国有林における火災被害材積			m^3	16,091	934	360	279	5,326	2,472	916	75	112	49
民有林における火災被害材積			m^3	15,810	41,537	12,269	26,620	147,989	38,571	8,151	157,051	16,309	34,245
	5齢級以上	実損面積	kha	0.07	0.59	0.10	0.18	0.53	0.22	0.04	0.35	0.09	0.15
		被害材積	m^3	12,780	40,477	11,566	25,204	137,078	36,693	7,370	153,412	15,148	33,276
	4齢級以下	実損面積	kha	0.06	0.07	0.03	0.04	0.18	0.05	0.02	0.04	0.03	0.02
		被害材積	m^3	3,030	1,060	703	1,416	10,911	1,878	781	3,639	1,161	969

			単位	2020	2021	2022	2023	2024
国有林における火災被害材積			m^3	275	498	734	342	1,579
民有林における火災被害材積			m^3	17,235	62,745	24,479	69,476	1,060,902
	5齢級以上	実損面積	kha	0.07	0.30	0.05	0.16	2.02
		被害材積	m^3	15,914	61,583	18,048	64,887	1,059,875
	4齢級以下	実損面積	kha	0.03	0.03	0.08	0.06	0.01
		被害材積	m^3	1,321	1,163	6,430	4,589	1,027

※国有林の被害材積は「森林・林業統計要覧（林野庁）」より。民有林の実損面積、被害材積は林野庁提供値。

2.3.2 果樹剪定枝の焼却

果樹別の栽培面積（「耕地及び作付面積統計（農林水産省）」等により把握）に、単位面積当たり乾物残さ発生量（400 kg/10a、「バイオマス資源のエネルギー的総合利用に関する調査（1982）」）及び果樹園の茎葉処理における残さ焼却率（25%、「平成 20 年度土壌由来温室効果ガス計測・抑制技術実証普及事業によるアンケート結果（2008）」）を乗じて、果樹剪定枝（残さ）の焼却量を算定した。

$$W_B = (\sum_i A_i \times E \times 10) \times R$$

W_B ：果樹剪定枝（残さ）の焼却量［kg-d.m.］
A ：栽培面積［ha］
E ：面積当たり乾物残さ発生量［kg-d.m./10a］
R ：果樹残さ焼却率
i ：果樹種類

表 2　果樹剪定枝焼却量

	単位	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
果樹剪定枝焼却量	kt-d.m.	404	397	390	383	375	368	360	353	346	341

	単位	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
果樹剪定枝焼却量	kt-d.m.	336	330	324	320	316	313	309	305	301	297

	単位	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
果樹剪定枝焼却量	kt-d.m.	292	288	285	281	277	272	268	264	258	254

	単位	2020	2021	2022	2023	2024
果樹剪定枝焼却量	kt-d.m.	249	244	239	235	230

2.3.3 草地の野焼き

野焼き（農業分野の報告対象となっている農作物残さの野焼きに当たらないもの）の状況については網羅的な統計情報がとられておらず、公式データが存在していない。ただし、野焼き面積が1,000 ha を超える大規模なものは、阿蘇（16,200 ha）、東富士演習場（3,300 ha）、北富士演習場（1,900 ha）、渡良瀬遊水地（1,500 ha）、秋吉台（1,500 ha）の 5 か所が挙げられる（括弧内は、届出面積。網羅的な集計ではないが、収集された野焼き面積データにおいては、これらの大規模な野焼きの実施予定面積で、我が国の野焼き面積の 9 割近くを占めた。）。

野焼きについては、天候、風向き、燃焼させる草の湿潤条件などに伴い、行政的に届出されている予定面積と、実際に燃焼する面積の間には差がある。定量的に分析が行われている情報としては、阿蘇を対象とした研究調査や、渡良瀬遊水地を対象とした国土交通省事業の報告がある。これらの結果では予定面積の約 7～8 割くらいが実際に燃焼しているとしている。また、気候条件やその他の理由により、野焼きが実施されていない年もあることから、実際の燃焼面積には年次変動があるが、それを細かく把握していくことは、排出量の規模（LULUCF 分野の 0.04%程度）を踏まえると不要と判断し、大規模野焼き 5 か所の実施予定面積の合計として求められる 24,400 ha を、全年度一律に草地の野焼きによる燃焼面積として設定した。

表 3　草地野焼き面積

	単位	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
野焼き面積	ha	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400

	単位	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
野焼き面積	ha	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400

	単位	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
野焼き面積	ha	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400

	単位	2020	2021	2022	2023	2024
野焼き面積	ha	24,400	24,400	24,400	24,400	24,400

３．算定方法の時系列変更・改善経緯

表 4　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	森林火災以外の排出報告の脚注記号について、土地転用時は「NO」と整理した。	農地における自然火災の発生は「NO」と整理した。	新規に果樹剪定枝の焼却に由来する排出を算定した。
排出係数	－	－	果樹剪定枝の焼却に伴う EF を 2006 年 IPCC ガイドラインデフォルト値から設定した。
活動量	－	－	新規に果樹剪定枝の焼却量に関する活動量を整備した。

	2016 年提出	2018 年提出	2019 年提出
排出・吸収量算定式	河川敷における火災による排出について、微小排出基準を適用した「NE」と整理した。	大規模な野焼き実施面積を基に、新規に草地の野焼きに関する排出の算定を実施した。	－
排出係数	－	草地の野焼きについて我が国の文献の内容も参考に、燃焼率と単位面積当たり燃焼量を設定した。	－
活動量	－	大規模な野焼き実施面積を基に全年度一律で燃焼面積を設定した。	果樹炭素蓄積算定対象の拡大を反映して、果樹剪定枝焼却量の活動量を更新した。

	2021 年提出
排出・吸収量算定式	－
排出係数	－
活動量	果樹炭素蓄積算定対象の修正を反映して、果樹剪定枝焼却量の活動量を更新した。

（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

① 森林火災

現行インベントリと同様。

② 森林からの転用時に伴うバイオマスの焼却

GPG-LULUCF における、バイオマス損失の方法論に従い、森林からその他の土地利用への転用が生じた際に、バイオマスの一定割合が現場に残されて焼却されることに伴う GHG 排出量の計算を以下の式に従って計算していた。

$$\sigma C_i = A_i * (CR_{a,i} - CR_{b,i}) * CF$$

$$CB_{on\text{-}site} = \sigma C_i * \rho_{on\text{-}site} * \rho_{burned\ on} * \rho_{oxid}$$

$$CB_{off\text{-}site} = \sigma C_i * (1 - \rho_{on\text{-}site}) * \rho_{burned\ off} * \rho_{oxid}$$

σC_i　：土地利用 i における土地転用に伴う炭素ストック変化（減少）量［t-C］
A_i　：土地利用 i への森林からの転用面積（単年）［ha/年］
$CR_{a,i}$　：転用タイプ i における転用後の土地のバイオマスストック量［t-d.m./ha］
$CR_{b,i}$　：転用タイプ i における転用前の土地のバイオマスストック量［t-d.m./ha］

$CB_{_on\text{-}site}$：現場で焼却される炭素損失量［t-C］
$CB_{_off\text{-}site}$：現場外で焼却される炭素損失量［t-C］
$\rho_{on\text{-}site}$　：現場に残されるバイオマスの割合
$\rho_{burned\ on}$　：現場で焼却される割合
$\rho_{burned\ off}$　：現場外で焼却される割合
ρ_{oxid}　：酸化割合
CF　：炭素含有率［t-C/t-d.m.］

③ 上記以外

「NE」で報告していた。

2）排出・吸収係数

① 森林火災

現行インベントリと同様。

② 森林からの転用時に伴うバイオマスの焼却

利用していた排出係数は森林火災で用いたものと同様。転用に伴うバイオマスの焼却量の推計に用いた、現場に残されるバイオマスの割合（$\rho_{on\text{-}site}$）及び酸化割合（ρ_{oxid}）は、GPG-LULUCF のデフォルト値を用いてそれぞれ 0.3、0.9 と設定していた。残されたバイオマスが現場で焼却される割合（$\rho_{burned\ on}$）と、現場外で焼却される割合（$\rho_{burned\ off}$）については、全てが現場で焼却されるとみなした。炭素含有率については、他の算定と同様、GPG-LULUCF のデフォルト値の 0.5 を用いていた。

③ 上記以外

「NE」で報告したため適用した排出・吸収係数はない。

3）活動量

① 森林火災

現行インベントリと同様。

② 森林からの転用時に伴うバイオマスの焼却

森林から農地、草地、湿地、開発地、その他の土地へ転用された面積を用いた。詳細は、「4.B.1」～「4.F.1」を参照のこと。

③ 上記以外

「NE」で報告したため適用した活動量はない。

（2）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

① 森林火災

現行インベントリと同様。

② 森林からの転用時に伴うバイオマスの焼却

土地転用時の焼却は、法律により禁止されていることから、該当する排出については「NO」として整理し直した。

③ 上記以外

「NE」で報告した。

2）排出・吸収係数

① 森林火災

現行インベントリと同様。

② 上記以外

「NO」、「NE」で報告したため適用した排出・吸収係数はない。

3）活動量

① 森林火災

現行インベントリと同様。

② 上記以外

「NO」、「NE」で報告したため適用した活動量はない。

（3）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

① 森林火災

現行インベントリと同様。

② 農地火災（野火）

農地において自然火災が生じている場合はほとんどないため、「NO」として整理し直した。

③ 上記以外

「NE」で報告した。

2）排出・吸収係数

① 森林火災

現行インベントリと同様。

② 上記以外

「NO」、「NE」で報告したため適用した排出・吸収係数はない。

3）活動量

① 森林火災

現行インベントリと同様。

② 上記以外

「NO」、「NE」で報告したため適用した活動量はない。

（4）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

① 森林火災

現行インベントリと同様。

② 果樹剪定枝の焼却

新たに、現行と同様の算定方法を適用した。

③ 上記以外

「NO」、「NE」で報告した。

2）排出・吸収係数

① 森林火災

現行インベントリと同様。

② 果樹剪定枝の焼却

現行インベントリと同様。

③ 上記以外

「NO」、「NE」で報告したため適用した排出・吸収係数はない。

3）活動量

① 森林火災

現行インベントリと同様。

② 果樹剪定枝の焼却

現行インベントリと同様。

③ 上記以外

「NO」、「NE」で報告したため適用した活動量はない。

（5）2016 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

① 河川敷における火災以外

現行インベントリと同様。

② 河川敷における火災

河川敷における火災発生件数の情報を基にした推計により、微小排出基準を適用した「NE」と整理した（現行インベントリと同様。）。

2）排出・吸収係数

現行インベントリと同様。

3）活動量

現行インベントリと同様。

（6）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

① 草地の野焼き以外

現行インベントリと同様。

② 草地の野焼き

大規模な野焼き実施面積を基に新たな算定を実施した（現行インベントリと同様。）。

2）排出・吸収係数

① 草地の野焼き以外

現行インベントリと同様。

② 草地の野焼き

我が国の文献の内容も参考に、燃焼率と単位面積当たり燃焼量を設定した（現行インベントリと同様。）。

3）活動量

① 草地の野焼き以外

現行インベントリと同様。

② 草地の野焼き

大規模な野焼き実施面積を基に全年度一律で燃焼面積を設定した（現行インベントリと同様。）。

（7）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

現行インベントリと同様。

2）排出・吸収係数

現行インベントリと同様。

3）活動量

① 果樹剪定枝焼却量以外

現行インベントリと同様。

② 果樹剪定枝焼却量

果樹栽培面積の見直しに伴い、果樹剪定枝の焼却量が修正された。詳細は「4.B.1 転用のない農地」を参考のこと。

（8）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

現行インベントリと同様。

2）排出・吸収係数

現行インベントリと同様。

3）活動量

① 果樹剪定枝焼却量以外

現行インベントリと同様。

② 果樹剪定枝焼却量

2017 年度以降における非主要産県の果樹栽培面積について、推計方法を見直したことから果樹剪定枝の焼却量が修正された。詳細は「4.B.1 転用のない農地」を参照（現行インベントリと同様。）。