

令和元年度

森林吸収源インベントリ情報整備事業
(パリ協定の詳細ルール合意を見据えた
技術的課題の分析・検討)

2019 年方法論報告書の解説

令和 2 年 3 月

林野庁

はじめに

この解説書は、「令和元年森林吸収源インベントリ情報整備事業（パリ協定の詳細ルール合意を見据えた技術的課題の分析・検討）のうち、Intergovernmental Panel on Climate Change（IPCC）が 2019 年 5 月の第 49 回総会で承認した「2006 年 IPCC 国別温室効果ガスインベントリガイドラインの 2019 年改良（以下、2019 年方法論報告書）」の、「農業、森林、及びその他の土地利用（AFOLU）分野に係る箇所について、翻訳及び解説を作成する業務」と、「2006 年方法論報告書からの変更箇所について変更内容の分析を行い、解説を作成する業務」の成果である。

更に、解説書本体に加え、2019 年方法論報告書作成に携わった執筆者（Lead Author）からの視点を取り纏めた章を冒頭に概要版として掲載している。2019 年方法論報告書を読み解くうえで、我が国にとって関わりの深いものや、改訂に至るまでの議論などを示した。

なお、この解説書は National Greenhouse Gas Inventory（GHG インベントリ）の作成に携わる技術者を主な利用者として想定している。これまでに GHG インベントリ作成に携わった経験者に対しては、2006 年方法論報告書からどのような点が変更されたかということが理解できるよう、変更箇所について「Update（更新）」、「New Guidance（新規ガイダンス）」などに分けて明記している。また、2019 年方法論報告書に至るまでの経緯など背景に関する情報も盛り込んでいる。

最後に、この解説書は本業務の受託団体が 2019 年方法論報告書を翻訳しながら解説を加えたものであり、IPCC の公式文書ではない。そのことから、利用に際しては常に原文となる 2019 年方法論報告書を参照されたい。

【 I 】 2019 年方法論報告書に おける論点整理

ここでは、解説書本体に至る前に、2019 年方法論報告書がどのような背景で実施され、改訂版を作成する過程でどのような議論が行われたかについて、改訂に携わった Lead Author から意見聴取を行い、論点整理として一つに取り纏めたものを以下に述べる。

1. 全体概要

1.1 背景

温室効果ガス（GHG）の排出量、吸収量を規定する IPCC ガイドライン・ガイダンス（方法論報告書）は、これまでに 1996 年改訂 IPCC ガイドライン¹、GPG-2000、GPG-LULUCF（2003）、2006 年 IPCC ガイドライン（2006GL）、2013 年湿地ガイドライン、2013 年改訂京都議定書補足的方法論（2013KPSG）が作成されてきた。このうち、GPG-2000、GPG-LULUCF の 2 つは 1996 年改訂 IPCC ガイドラインを発展させたものという位置づけで、2013 年に作成された 2 つのガイドラインは 2006GL の補遺という位置づけである。

今回 IPCC により作成された 2019 年方法論報告書は、2006GL 作成以降 10 年近い時間が経過し、科学的な知見や技術的な部分において進展がみられていること、これまで国際的な気候変動の枠組みが更新される度に、利用する IPCC の方法論報告書も更新してきたことを鑑み、「パリ協定」の下では、新たな方法論報告書が必要になるとの見込みの元、IPCC が独自に作成の提案を行い、作成を進めたものである。

これまでの方法論報告書は、UNFCCC（COP、CMP、SBSTA 等）から IPCC に作成を依頼し、その要請に応じて IPCC が作成を行ってきた状況に対し、今回の 2019 年方法論報告書においては、UNFCCC からの要請が欠落しているという点に特徴がある。

1.2 2019 年方法論報告書の位置づけ・構成

2019 年方法論報告書は、2006 年 IPCC ガイドラインの全面改訂（revise）ではなく、必要な箇所を改良（Refinement）したとの位置づけとなっており、事前に特定された課題への対応状況に合わせて、更新（update：パラメータ等を新たな知見に応じて更新したもの）、精緻化（Elaborate：ガイダンスの説明を分かりやすく書き直したもの）、新ガイダンスの作成（New Guidance：新たなガイダンスを追加したもの）が行われている。

構成は、2006GL の巻・章・節構成を踏襲しており、改良の必要がない部分は「No refinement」と記載し、改良がおこなわれた部分のみ文章を追加している。従って、各方法論を網羅的に把握しようとする場合は、2006GL の記載と合わせて読むことが必要となっている。2006GL や、2013 年湿地ガイドラインと統合した一体的な方法論報告書の作成については、TOR、TOC を作成する段階のスコーピング会合において論点に上がったものの、「将来的に必要ながあればその様な作業を IPCC に要請すべき」といった様な議論となり、2019 年方法論報告書作成完了時点で、統合版作成は行われていない。この統合作業は、実務的には内容を理解が必要であるが、ある程度 TSU 主導で機械的に実施可能と考

¹ 最初のガイドラインが「改訂」と呼ばれるのは、当初 LUCF 分野無しの 1995 年 IPCC ガイドラインが策定された後に、LUCF 分野が追加された改訂版となったため。現在 1995 年 IPCC ガイドラインは入手不可。

えられるものである。

1.3 UNFCCC における 2019 年方法論報告書の使用について

IPCC の方法論報告書は、基本的に国別温室効果ガス排出・吸収目録（GHG インベントリ）の作成に用いられるものであり、UNFCCC の GHG インベントリ作成・報告ルールにおいてその扱いが定められている。

現在条約 4 条、12 条に基づき作成・報告する GHG インベントリは、先進国、途上国別々のルールが設定されているが、先進国のルールは「条約附属書 I 国における改訂 UNFCCC インベントリ報告ガイドライン（24/CP.19）」で定められており、IPCC 方法論報告書については、2006GL が義務適用（shall use）、2013 年湿地ガイドラインが任意適用（encourage to use）として位置付けられており、また報告に用いる共通報告表（Common Reporting Format : CRF）もそれらのガイドライン利用に応じた形で準備されている。この場合、適用ルールとして言及されていない IPCC ガイドラインは、単なる科学的な報告書（science report）として扱われ、その方法論を利用する場合、各国が自国の状況に適合しているか説明する Tier 3 扱い、もしくはパラメータについては国独自（Country Specific : C.S）の係数と同等の扱いとなる。

パリ協定の下では、透明性枠組みに関する運用ルール（18/CMA.1）において、IPCC の方法論報告書は、2006GL が義務適用、2013 年湿地ガイドラインが任意適用、パリ協定締約国会議（CMA）で合意された改訂版や改良ガイダンスも義務適用すると定められている（パラ 20）。従って、2019 年方法論報告書を正式適用する場合には、国際交渉（通常は SBSTA で実施、SBSTA51 の議題では、議題 11(a)に対応するもの）において、2019 年方法論報告書に対応する共通報告表（Common Reporting Table : CRT）を作成の上、パリ協定締約国会合において全会一致で義務利用に合意しないとしない。

2. AFOLU 分野の改良について

第 4 巻 農業、林業及びその他の土地利用（AFOLU）の章ごとに、改訂のポイントを以下に示す。なお我が国から参加した執筆者（LA : Lead Author）は、章別もしくはそれを細分化した単位の検討グループ（Sub Breaking Out Group ; SubBOG）に属し、改訂作業に携わることとなった。つまり、第 4 巻すべての SubBOG に日本人専門家が参画していない。そのことから、以下各章の改訂ポイントについて、日本人専門家が参加した章については詳述し、それ以外は簡単な改訂ポイントの列挙に留まっている。

2.1 2 章（一般的なガイダンス）の変更

2.1.1 主な変更点

- ・ アロメトリー式の利用方法の追加（2.3.1.3 節）
- ・ バイオマスマップを利用した算定方法（2.3.1.3 節）
- ・ リター炭素ストックデフォルト値の更新（Table 2.2）

- ・ 枯死木炭素ストックデフォルト値の新規提供 (Table 2.2)
- ・ 鉱質土壌参照炭素量 (SOC_{ref}) デフォルト値の更新 (Table 2.3)
- ・ バイオ炭の方法論追加 (2.3.3.1 節の Tier 2) : 農地・草地への施用が対象で、森林への施用は完全に Tier 3 扱いとなっており、算定の必要はない
- ・ Appendix 4 での Biochar の今後の見込みについての記載の追加
- ・ 土壌質量均等法の紹介 (Box2.2A) : 同一深度ではなく、同一重量での比較を推奨
- ・ 土壌 Tier 3 算定の事例紹介 (Box2.2D) 及びガイダンスの強化 (2.5.2 節) : 日本の Roth C の事例を紹介
- ・ 年次変動 (IAV : inter-annual variability) への対処と、自然攪乱由来排出を GHG インベントリの推計から除外する Tier 3 法の説明 (2.6 節)
- ・ Tier 1 に用いる炭素ストック係数のデフォルト値が文献データにより更新された。
- ・ Erosion (土壌侵食) に関する記述 (新規) の追加

2.1.2 森林土壌に係る議論の補足

全体的に新しい土地利用変化係数の作業を進めながら、Steady State Method (簡易的モデルを用いた Tier2 のアプローチ) の導入に関する検討、森林土壌における土壌炭素変化に関するファクタリングの検討、バイオ炭の扱いに関する検討を中心に検討が行われた。森林土壌については、影響を与える要素が多すぎて、現段階では個別の係数を提供するまでに至っておらず、どのような発展方向があるかについて BOX に記載することになった。Tier 3 によるモデルの利用については、LA および寄稿者 (CA : Contributing Author) によって BOX が追加され、各レビューの過程においてマイナーな修正があったものの、概ねそのまま採用された。Equivalent mass (土壌質量均等法) および Erosion (土壌侵食) についても執筆者の発意に基づき BOX として追加され、概ねそのまま採用された。

バイオ炭については主に CA が執筆し、主執筆者 (CLA : Chief Lead Author) と一部の LA による議論なされたが、より多くの LA による確認・修正時間がほとんど取れなかった。また、レビューでの指摘が非常に多く、CA に確認を取りながら記述を変えていくスタイルをとったが、第 49 回 IPCC 総会の採択において、提示された Biochar の算定方法は Tier 2 と Tier 3 のみが認められ、本文の外側 Appendix に将来の Tier 1 算定方法の開発に向けて基礎情報※として記載された (※Appendix には各係数が提示されるが、正式な IPCC のデフォルト値ではなく、参考データとの位置づけ ; 算定法の詳細は後述)。その他、有機質土壌 (Organic soil) に関するレビューでの指摘が多かったが、当該部分に関しては 2013 年湿地ガイドラインに記載があり、そちらを参照するように記載された。

2.2 3 章 (一貫した土地表現) の主な変更

2.2.1 主な変更点

- ・ 土地利用と土地被覆の関係の説明文を更新 (3.2 節)
- ・ 異なるデータソースや Tier をどのように組み合わせて算定を実施するか説明文を更新。また、IPCC の土地利用定義と各国土地利用定義の整合方法の考え方について説明文を更新 (3.3、3.4、

3A.6 節)

- ・ 土地区分に利用できるデータセット、ツールの更新（3A.5 節）

2.2.2 変更点についての補足

従前から混乱しがちであった土地利用と土地被覆の取り扱いについて定義の適用方法などを含めた補足的ガイダンスが提供されている。また、土地表現に係る主な情報ソースとして利用されるリモートセンシング情報について、最新の知見を盛り込みながら新たな技術についても Box として事例紹介されている。

また、土地の特定方法については、サンプル法と悉皆的に特定する Wall-to-wall 法が対比的に示され、これに加えてインベントリ回数が 1 回のみか、時系列的に複数回行うかということを考慮したアプローチを 3 段階示している。

改訂作業の中で LA から挙げられた指摘事項として、インベントリ期首から現在に至るまでに同一地点で繰り返し発生する土地利用変化をどのように扱うかということが挙げられた。京都議定書第一約束期間の基準年が 1990 年であることから、我が国における ARD 特定方法においてもこのことが課題となる可能性があり、算定・報告方法の検討が必要となるものの、今回の改訂作業ではこのことに対応した明確な方法論は示されていない。

2.3 4 章（森林）の主な変更

- ・ 土壌セクション、時系列の一貫性、及び各デフォルトパラメータのみ更新。
- ・ 土壌セクションは、主に Tier 2、Tier 3 の算定を適用する場合のガイダンスが充実。
- ・ 時系列の一貫性については、森林の算定においてデータにギャップがある場合の対処方法ガイダンスが充実。
- ・ デフォルトパラメータについては、FAO の標準的な気候帯、地域区分に応じて、デフォルト値を網羅的に追加。
- ・ Tier2 の土壌炭素変化係数の今後についての記載を追加

2.4 5 章（農地）の主な変更

2.4.1 主な変更点

- ・ 農地の木本生バイオマスの算定パラメータの更新、及び土地利用変化時に適用する土壌炭素係数が更新されている（森林減少時にも適用）。
- ・ 土壌については、従来法に代わる Tier 2 簡易モデルによる算定方法が示されている。
- ・ 従来法に加えて簡易的モデルを用いた Tier2 のアプローチ（Steady State Method）の新規追加
- ・ 農地土壌（の鉍質土壌）に埋設されるバイオ炭の土壌炭素ストックへの推計（Tier2, Tier3）のための記述を追加（新規）

2.4.2 変更点についての補足

Steady State Method の採用について：今回の改訂の目玉である本方法（従来法に加えて簡易的モデルを用いた Tier2 のアプローチ）について、当初は森林、草地、農地などに適用する可能性について議論があった。森林については、農地よりも投入される炭素量が複雑かつその値についての知見が不足しており、本方法の採用が最初に見送られた。最終的に最後の執筆者会合において草地への適用を断念したいと草地を担当している執筆者から提案があった。これは草地の炭素投入量など適切な統計情報がない、モデルのパラメータの初期値データベースを整備できないというのが主たる理由である。結局、方法論として提供するには時期尚早であると判断され、本方法は農地にのみ適用されることとなった。

2.5 6 章（草地）の主な変更

- ・ 土地利用変化係数の改定
- ・ 草地土壌（の鈹質土壌）に施用されるバイオ炭の土壌炭素ストックへの推計（Tier2, Tier3）のための記述を追加（新規）

2.6 7 章（湿地）の主な変更点

- ・ これまで方法論の存在していなかった、湛水地について GHG 排出量の推計方法が新規に提示されている。森林が湛水地になった場合、これまではバイオマス及び枯死木の損失のみ計算していたが、これに土壌炭素まで含まれた算定となる。なお、Tier 1 では、元の土地の炭素量に関係なく一定の排出係数を用いて算定を実施し、Tier 2 以上で元の土地の炭素量に応じた算定を実施する。

2.7 8 章（開発地）の主な変更点

- ・ 開発地内のバイオマスの算定方法について、パラメータや高次 Tier の算定方法の情報が更新された。
- ・ 土地転用に伴う土壌については、新たな科学的な知見が得られなかったことから特に更新は行われていない。

2.8 第 12 章（伐採木材製品 ; HWP）

2.8.1 HWP 章の構成

伐採木材製品については、TOR 上は「更新（update）」と位置付けられた章であるが、実質的な全面書き換えを実施した。これは、主に二つの理由に起因する。一つが、HWP は「貿易される木材中の炭素を原産国で計算するか使用国で計算するか」。「HWP に関係する排出・吸収を炭素プールとしての蓄積変化の概念で捉えるか、大気中と HWP 間の炭素のやり取りで捉えるか」、といった整理によって異なる「アプローチ」が提案されているが、このアプローチという概念と、方法論を表す Method、他の温室効果ガスの算定方法と一貫して使われている Tier 別の算定方法の違いが 2006GL では十分に整理して記載されていない、特に Tier 2 の記載が非常に貧弱、という問題意識を一部の執筆者が強く持ってい

たことにある（既存の日本語訳では、アプローチは「法」と訳しているため、この点の使い分けには注意が必要）。二つ目が、2013KPSG のガイダンスにおいて、HWP については、計算方法的な部分までかなり踏み込んだ内容となっていることから、京都議定書特有の報告ルールや、削減量の計算要素を除いたとしても、十分に有用な方法論的なガイダンスが含まれており、この内容を反映するには、あまり 2006GL の構成に捕らわれない方が、勝手が良かったためである。

このため、2006GL と比較すると、説明の流れが異なる面があることから、2006GL と 2019 年方法論報告書の要素がどの様に対応しているかを示す対応表を準備した。当初は、12 章の冒頭に入れていた「有用なので各章で作成して欲しい」とレビューでコメントが付いたことを受け、最終的に第 4 巻の Annex I Mapping Tables という文書で、各章の対応表を含めることとなった。HWP の内容や構成の変更点は、Mapping Tables の 12 章の部分（A1.45～A1.48）を参照して欲しい。

2.8.2 各アプローチの扱いについて

国際的には、複数ある HWP のアプローチのうち、何らかのアプローチを IPCC ガイドラインで推奨して欲しい、異なるアプローチを各国が採用した際に生ずる全球的な二重計上を明確にして欲しい、という要望がある。アプローチの扱いについては、IPCC としては学術的に存在しているアプローチの計算方法を提示しているものであって、アプローチを選択するのは UNFCCC の役割と整理している。そのため、2019 年方法論報告書の TOR では、改良作業においては 2006GL の既存のアプローチを維持することが明記されており、Production（生産法）、Stock-change（蓄積変化法）、Atmospheric-flow（大気フロー法）、Simple-decay（一次減衰）の各アプローチはいずれも除外はされていない。また、TOR を定めるスコーピング会合においては、各アプローチ間の二重計上に関する表が含まれて、その内容も含める様に暗に示唆されていたが、表自体に誤りがあること、また特定のアプローチの利用の誘導に繋がるとして、今回の改良作業においては、その内容は含めていない。なお、HWP のアプローチの組み合わせに基づく全球二重計上の発生については、別途研究論文としてまとめて発表²しているため、そちらを参考いただきたい。

2.8.3 HWP に関する主な改良事項と論点

- Tier 1 は、半製品に対して FOD 型の寿命関数を適用するという考えの明確化

今回、ガイドラインの改良に対して大きく意識されたことは、Tier 1 とは、3 つの半製品（製材、木質パネル、紙・板紙）を起点として FOD 型の寿命関数を乗ずる方法であり、最終製品（家具等）の生産量や、伐採時点の伐採量に対して FOD 型寿命関数を乗ずることは出来ないことが明確に説明された点にある。

この点も踏まえ、2013KPSG の内容から木材製品の製品フローの状況について加筆を行った他、製

² Sato, A., Nojiri, Y. Assessing the contribution of harvested wood products under greenhouse gas estimation: accounting under the Paris Agreement and the potential for double counting among the choice of approaches. Carbon Balance Manage 14, 15 (2019) doi:10.1186/s13021-019-0129-5

品フロー的に半製品区分との二重計上の恐れがある枕木、V-joint 製材、LVL、床材などは、製剤の定義から除くなどの処理が行われることになるほか、杭丸太や電信柱などの利用形態は、寿命関数の形態が大きく異なるために Tier 1、Tier 2 の下での FOD 型の寿命関数を適用できず、その他産業用丸太（other industrial roundwood）については、独自にその炭素ストック変化を見積もる Tier 3 でのみ計算が可能であることが説明されている。（12.4.1.1.節、特に 12.13 ページの中頃）

- 算定式の項の修正

2006GL では、国内消費 HWP の炭素ストック変化（変数 1）、国産材由来 HWP の炭素ストック変化（変数 2）、あらゆる木材の輸入（変数 3）、あらゆる木材の輸出（変数 4）、伐採量（変数 5）の 5 つの変数を用いて算定式の説明を行っていたが、上記の FOD 法は半製品状態から適用するという原則を明確化したため、原木から半製品に至るフローと、半製品以降のフローが判る様に、算定式の項が変更されている。特に、式 12.5、12.6、12.7 あたりにその特徴が明確に出ている。

- Instantaneous Oxidation（伐採搬出即排出）の説明変更

1996 年改訂 IPCC ガイドラインや GPG-LULUCF で、デフォルト法として採用されてきた、伐採時点（伐採後林外に搬出した時点）で木材中の炭素を大気への排出とみなす Instantaneous Oxidation（IO 法）は、2006GL では、HWP の寄与が大きくない（insignificant）である場合に適用されるという形に整理された。今回の改良では、IO 法という説明は消え、「HWP の炭素ストックが長期的に変化していないため排出・吸収は生じていない」と考える『assuming a ‘steady state HWP pool’』という概念で整理し直された。これは、活動量データが無い場合の「insignificant」の判断が原理的に難しいという問題点の解消や、仮に生産量が多い木材製品であっても総ストック量に大きな変化がない場合に、従来の IO 法を適用する様な整理が可能となるといった改良を目的としたものである。詳細な説明は 12.4.1.2 節で提供されている。

- 定義・概念・Tier の明確化

これまでのガイダンスで漠然と使われてきた概念や用語については、改めて整理を行っている。顕著なものとしては、「Approach（算定対象となる HWP の概念的な枠組みのこと）」と「Method（あるアプローチの下で、HWP に関係する排出・吸収を計算する方法）」についての違いを明確にし、意識的に使い分けていること、「Accounting」という言葉は排出削減量に相当するクレジット・デビットの計上を指す言葉として、推計や計算の文脈では使用を避けたこと（結果として本文中では一切明確にされていない）などがある。

これに伴い、2006GL では、各アプローチの説明が Tier 1 method の下で全て説明されていた形式を改め、アプローチの概念についての説明を単独節として設けた（12.3 節）ほか、Tier 2、Tier 3 の方法論の説明を強化した。なお、日本が採用している方法は、Tier 3 の「Combined HWP direct inventory and flux data methods」に該当する。

また、アプローチについては、輸出入材の取り扱いに関するシステムバウンダリーと、方法論として、炭素

ストック変化を見る方式と、大気中とのフラックスを見る方式の 4 分割で整理できる旨の説明を提供している。詳細は、12.2、12.3、12.4.2 節を参考のこと。

アプローチの分類		System boundary	
		原産国基準	消費国基準
Method	プール基準	Production approach	Stock-change approach
	フラックス基準	Simple-decay approach	Atmospheric-flow approach

- パラメータの変更

HWP の製品ごとの炭素含有率や密度等のデータは、直近の知見を踏まえて 2013KPSG のデフォルト値を元に全面的に更新された。詳細は 12.4.2.1 節を参考のこと。

- 過去の炭素インフローの推計方法を 1900 年基準から、最初の年の 5 年平均基準に変更

FOD 法では、既存 HWP ストックの廃棄による排出が発生するため、過去からの HWP のインプット量を推計する。2006GL では FAOSTAT の 1961 年以降のデータと接続する形で 1900 年まで遡って算定する方法が示されていたが、国に分割等で FAOSTAT の歴史的な経年データがそろわない場合がある等、方法論の汎用性に課題が生じていた。そのため、2019 年改良においては、2013KPSG で採用されているデータがそろっている最初の 5 年の平均で初期ストック量を設定する方法に修正がなされた。式 12.4 及び、その周辺の文章で詳細を説明している。

- バイオマスエネルギー利用の計算に関する説明の強化

特にこれまでと算定・報告方法の変更を示唆したものではないが、木材をエネルギー利用した場合にどこでその CO₂ が計算されているのかを、明確に説明して欲しいという要望が政府専門家レビューコメントで多く寄せられたことから、伐採時の残渣のエネルギー利用、伐採木の直接エネルギー利用、製材端材のエネルギー利用、最終製品作成プロセスにおける端材のエネルギー利用、廃棄段階のエネルギー利用に伴う CO₂ 排出が各 HWP アプローチのどこで計算されているかを整理してガイダンスして提示した（12.5.1 節）。

また、非 CO₂ 排出については、基本的に消費国ベースで計算がされることから、その内容と、HWP アプローチの選択によっては、CO₂ 排出と非 CO₂ 排出のバウンダリーに差が出ることを、追加的に説明した（12.5.2 節）。

- Solid Waste Disposal Site (SWDS)内に長期固定される炭素、メタンとして排出される炭素の控除

廃棄物分野の SWDS からのメタン排出算定モデルにおいては、埋立される廃木材中炭素に対して、分解性炭素比率（ガス化比率）、メタン化比率を乗じてメタン排出量を計算しているが、同時に、難

分解性炭素として SWDS 中に貯留される炭素量と、ガス化してメタンとならない炭素による CO₂ 排出も計算することができる。

この状況を受けて、SWDS において難分解性炭素としてガス化しない炭素、及びメタンとして排出される炭素は HWP の CO₂ 排出からは控除しても良い、というガイダンスを追加している。

【Ⅱ】 2019 年方法論報告書の 翻訳及び解説

目次

全体の解説	1
1. 序論	2
2. 背景	3
3. コンセプト	4
4. 構成	6
5. 2006 年 IPCC ガイドラインとの関係	6
第 4 巻農業・林業及びその他の土地利用（AFOLU）分野	7
第 1 章 序論	8
1.1 イントロダクション	8
1.2 GHG 排出・吸収の概	11
1.3 インベントリ作成の概要	19
1.4 2019 年改良版第 4 巻の構造	24
第 2 章 多様な土地利用カテゴリに適用可能な一般的方法	28
2.1 イントロダクション	28
2.2 インベントリの枠組	29
2.3 CO ₂ 排出量と吸収量のための一般的な算定方法	33
2.4 非 CO ₂ の排出量	67
2.5 Tier3 への付加的な一般ガイダンス	70
2.6 経年変動	76
Annex 2A.1	85
Annex 2A.2	85
第 3 章 整合性のとれた土地表現	86
3.1 イントロダクション	87
3.2 土地利用カテゴ	87
3.3 土地利用面積の表現	93
3.5 アプローチに関連する不確実性	103
Annex 3A.1	104
Annex 3A.2	106
Annex 3A.3	122
Annex 3A.4	130
Annex 3A.5	132
Annex 3A.6	135

第4章 森林	139
4.1 イントロダクション	139
4.2 転用のない森林	143
4.3 転用された森林	181
4.4 完全性、時系列、QA/QC、報告と記録	206
 第12章 伐採木材製品（HWP）	215
12.1 イントロダクション	215
12.2 HWP 分野で使われる用語と定義	216
12.3 排出量と吸収量を算定するためのアプローチ	218
12.4 使用中の木材製品の算定方法の選択	219
12.5 エネルギー目的で使用される木質バイオマス	235
12.6 本ガイダンスにおける SWDS 中の木材の取扱いの明確化	237
12.7 不確実性評価	238
12.8 QA/QC	240
12.9 完全性	240
Annex12.A	241
 第4巻農業・林業及びその他の土地利用（AFOLU）分野の変更点の解説	246
1 序論の変更点	247
2 一般的方法の変更点	249
3 整合性のとれた土地表現の変更点	257
4 森林の変更点	262
12 HWP の変更点	266
 用語・略語集	277

**2019 Refinement to the
2006 IPCC Guidelines for National
Greenhouse Gas Inventories**

2019年IPCCガイドライン 改良版 全体の概説



1

全体の解説 目次

1. 序論
2. 背景
3. コンセプト
4. 構成
5. 2006年IPCCガイドラインとの関係

2

1. 2019年改良版の序論

▶ 2006年IPCCガイドライン

2006年に発行された『2006年度温室効果ガス(GHG)インベントリに関するIPCCガイドライン(2006年IPCCガイドライン)』は、GHGの発生源と吸収源による人為的排出・吸収について、国別インベントリを作成する方法を提供している。

▶ 2019年改良版

『2006年IPCCガイドラインに関する2019年の改良版(2019年改良版)』は、国別GHGインベントリの作成と継続的な改善を支援するために、最新の科学的基盤を提供することを目的として、2019年に発行された。

3

1. 2019年改良版の序論(続き)

○ 2019年改良版は:

- 現状ギャップがある場合、もしくは精緻な方法論を必要とする新しい技術や生産プロセスが出現した場合、又は2006年IPCCガイドラインで十分にカバーされていないGHGの排出・吸収源に関して、補足的な方法論を提供。
- 2006年IPCCガイドラインでデフォルト値との有意差が確認された場合、最新の科学的知見に基づいて、排出係数及びその他のパラメータの更新されたデフォルト値を提供。
- 2006年IPCCガイドラインにおける既存ガイダンスの明確化・精緻化として、追加又は代替の最新情報とガイダンスを提供。

- 2019年改良版は、2006年IPCCガイドラインの改訂版ではなく、ギャップ又は時代遅れの科学が特定された点に関して更新、補足、精緻化が行われた。したがって、2006年IPCCガイドライン及び指定がある場合は2013年IPCCGHGインベントリガイドライン補足版:湿地(湿地サプリメント)と併せて使用する必要がある。

4

2. 2019年改良版の背景

- 2014年8月にカナダのオタワで開催された第26回会議で、IPCCの国家GHGインベントリに関するIPCCタスクフォース局(TFB)は、次のように結論付けた。
 - 2006年IPCCガイドラインは、国内のGHGインベントリに関する技術的に頑健な方法論的基礎を提供しているため、根本的な修正は不要。
 - 2006年IPCCガイドラインの科学的妥当性を維持するには、2006年以降十分に成熟した科学的及びその他の技術的進歩を考慮して、特定の改良が必要。
- TFBによるこれらの結論に続き、2014年4月にドイツのベルリンで開催された第40回セッションでのIPCCの承認に従って、国家GHGインベントリに関するタスクフォース(TFI)は、オンラインアンケート調査と2015年と2016年の4つの専門家会議を通して、IPCCインベントリガイドラインの技術評価を開始した。

5

2. 2019年改良版の背景(続き)

- 技術評価により、GHGの発生源と吸収源に関連する新しい科学的及び経験的知識と、2006年以降に発行されたインベントリ管理があり、特にいくつかのカテゴリやガスの排出係数開発のデータに関してIPCCが検討する必要があることが明らかになった。

その結果、TFBは2006年IPCCガイドラインの改良の必要性和有用性を認識し、国連気候変動枠組条約(UNFCCC)のすべての締約国が優れた慣行を活用できるように、最新の科学的知識に基づき、できる限り早期に改良する必要があると結論付けた。

6

2. 2019年改良版の背景(続き)

- IPCCは、2016年4月にケニアのナイロビで開催された第43回セッションで、「方法論報告書の作成を含む、2006年国家GHGガスインベントリに関するIPCCガイドラインの改良」に関するTFI共同議長の提案を承認した。

同セッションで、IPCCは、2016年10月の第44回IPCCセッションで新しい方法論報告書の概要を検討し、2019年5月のIPCCの全体会議で方法論報告書案を検討することを決定した。

この決定に続き、2016年8月に2006年IPCCガイドラインを改良する方法論報告書のスコーピング会議がベラルーシのミンスクで開催された。スコーピング会議の結果は、TFBの第28回会議で承認された。スコーピング会議の後、検討のためにIPCCに提出された。

最終的に、IPCCは2016年10月にタイのバンコクで開催された第44回セッションで、2019年改良版を準備することを決定し、その範囲と概要を採択した。

7

3. 2019年改良版のコンセプト

- 2019年改良版は、次の重要なコンセプトに基づいている。これらは、2006年IPCCガイドラインと一致している。
 - GHGのインベントリと管理の取り決め、データ収集、編集及び報告のためのガイダンスが提供されている。報告とは、インベントリ情報を伝達するために使用される表又はその他の形式で排出量のインベントリ推定を提示すること。このガイダンスは、国際協定の下での国別インベントリの報告及びこれらの協定の下で報告された情報の使用に関連しているが、正式に認められたものではない。
 - 報告の一般的なガイダンスの一部として、第1巻に報告用の表が提供されている。これらは、UNFCCC締約国によって開発及び合意されるべき、UNFCCCの下での特定の報告形式を規定することを意図したものではない。

8

3. 2019年改良版のコンセプト(続き)

- 質量単位で各ガスの排出量(及び必要に応じて吸収量)を推定する方法が提供されている。CO₂換算単位で排出量の推定値を計算するための特定の指標(GWP値など)は推奨していない。いくつかのガイダンス(主要なカテゴリ分析など)では、CO₂換算での排出量推定値の計算が提案されており、その場合、インベントリ作成者は、GHGの排出量をCO₂換算に変換するように設計された指標を使用できる。
- Tierとは、方法論的な複雑さのレベルを表す。通常、3つのTierが提供される。Tier1は基本的な方法であり、Tier2は中間であり、Tier3は複雑さとデータ要件の点で最も要求の厳しい方法である。Tier2と3は、より高次のTierと呼ばれることもあり、一般に、より高次のTierを開発、評価、及び適用するのに十分なデータが利用できる条件下では、より正確であると見なされる。

9

3. 2019年改良版のコンセプト(続き)

- このガイダンスは、各国が完全な国別GHGインベントリを作成するのに役立つ。このガイダンスは、経験や資源に関係なく、どの国でもGHG排出・吸収の信頼できる推定値を作成できるように構成され、2006年IPCCガイドラインに沿った包括的なフレームワークと概念を使用している。国別GHGインベントリは、共通の理解があるいくつかの重要な概念に依存している(第1巻第1章を参照)。これにより、インベントリが国間で比較可能となり、二重計上や漏れがなくなり、時系列的に実際の排出量の変化が反映される。
- 一部の技術資料は付録に示されているが、排出又は吸収が十分に理解されておらず、特定の排出源又は吸収源については信頼できるグローバルに適用可能なデフォルトの方法論を開発するための情報が不十分である。各国は、さらなる方法論開発の基礎として付録を使用することができるが、これらの情報源の推定値を含めなくても、国別インベントリは完全と見なすことができる。

10

4. 2019年改良版の構成

- ▷ 概要
- ▷ 第1巻：一般的なガイダンスと報告
- ▷ 第2巻：エネルギー
- ▷ 第3巻：工業プロセス及び製品の使用(IPPU)
- ▷ 第4巻：農業、林業及びその他土地利用(AFOLU)
- ▷ 第5巻：廃棄物

11

5. 2016年IPCCガイドラインとの関係

タイプ	説明	略号
更新 (Update)	2006年IPCCガイドラインの対応する章/節/項が更新され、2019年改良版に記載。	U
新規ガイダンス (New Guidance)	2006年IPCCガイドラインにガイダンスがなく、2019年改良版に章/節/項が新規追加。	NG
改良なし (No Refinement)	章/節/項には改良が加えられていない。2006年IPCCガイドラインの対応する章/節/項が、そのまま2019年改良版に記載。	NR
改良なし 2006 (No Refinement)	章/節/項には改良が加えられておらず、2006年IPCCガイドラインの対応する章/節/項を参照。	NR 2006
湿地追補 2013 (Wetland Supplement)	2006年IPCCガイドラインに対する2013年追補：湿地の対応する章/節/項を参照。	WS 2013
削除 (Removed)	関連性がなくなったため、ガイダンス/節は削除（このケースはほとんどない）。	R

12

2019年IPCCガイドライン改良版 第4巻農業・林業及びその他土地利用 (AFOLU)分野の翻訳と解説



1

第4巻 農業・林業及びその他土地利用(AFOLU)分野 目次

第1章	序論
第2章	多様な土地利用カテゴリに適用可能な 一般的方法
第3章	一貫性のある土地表現
第4章	森林
(第5～11章	省略)
第12章	伐採木材製品(HWP)

2

第1章 序論

1.1 イントロダクション

1.2 AFOLU分野におけるGHG排出・吸収の概要

1.3 AFOLU分野のためのインベントリ作成の概要

1.4 2019年改良版第4巻の構造

3

1章 序論

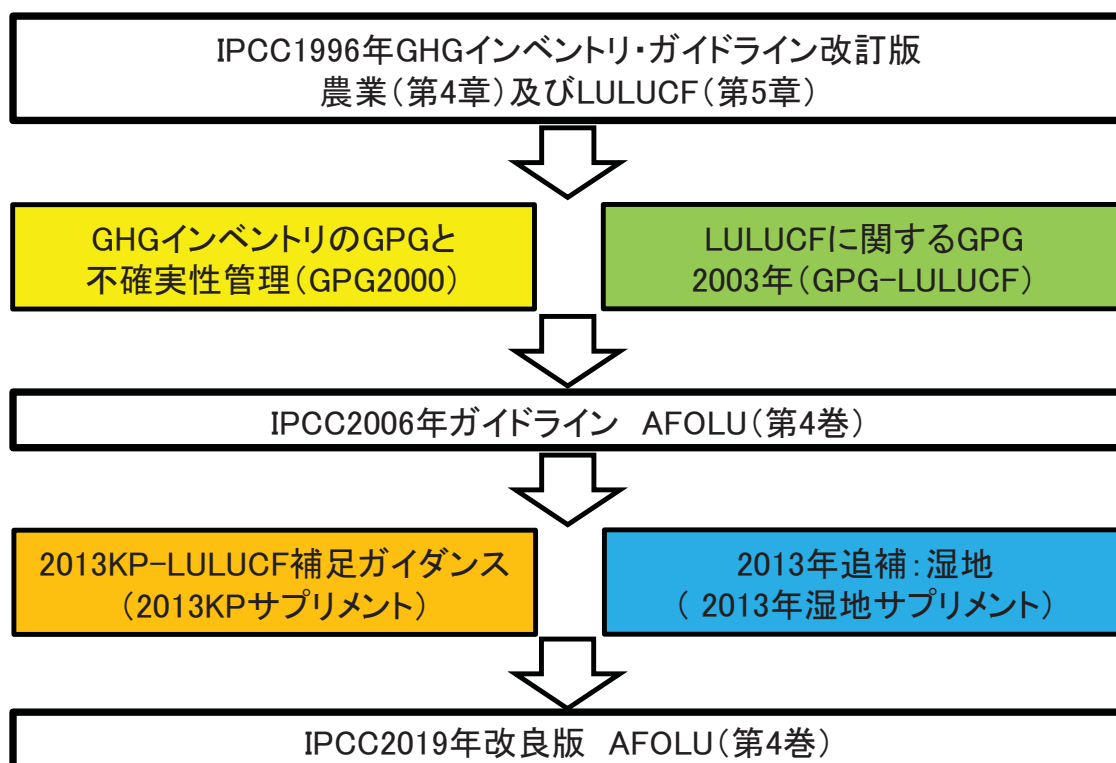
1.1 イントロダクション

U

- 第4巻は、農業・林業及びその他の土地利用（AFOLU）分野における年間温室効果ガス（GHG）インベントリの作成に関するガイダンスを提供。
- この巻は、IPCC1996年GHGインベントリ・ガイドライン改訂版の農業（第4章）及び土地利用・土地利用変化及び林業（LULUCF）（第5章）の個別のガイダンスを統合。
 - この統合は、GHGの排出と吸収の基礎となるプロセス及びさまざまな種類の陸上炭素ストックがあらゆる種類の土地で発生する可能性があり、多くの場合、同じ慣行が農業とLULUCFの両方に影響を及ぼすとの認識に基づいている。
 - このアプローチは、GHGの排出・吸収の推定と報告の一貫性と完全性を改善することを目的としている。
- 改良点としては、AFOLU分野における排出・吸収の推定をよりよく理解するために、排出係数の改善、新しい方法論及び例に関するガイダンスが更新されている。

4

▷ これまでの経緯



5

▷ IPCC2006年ガイドラインの内容

- GPG-LULUCFで使用する6つの土地利用カテゴリ(すなわち、森林、農地、草地、湿地、開発地及びその他の土地)を採用。これらの土地カテゴリは、同じカテゴリのまま転用のない土地と、あるカテゴリから別のカテゴリに転用された土地にさらに細分される。土地利用カテゴリは、国内の全ての管理地を含めることができるように設計されている。
- 管理地からの人為的であると考えられる全ての排出・吸収量の報告(非管理地の排出・吸収量は報告されない)。
- 管理地における全ての排出・吸収の報告に導入された追加の報告要素(表1.2を参照)。
- 全ての土地利用カテゴリにおけるバイオマス、枯死有機物及び土壌炭素のストック変化を計上するための一般的な方法、並びに、全ての土地利用カテゴリに適用できるバイオマス燃焼からのGHG排出の一般的な方法。

6

▷ IPCC2006年ガイドラインの内容(続き)

- 管理土壌とバイオマス燃焼、並びに、家畜個体群特性と農業の施肥管理からの非CO₂排出の組み込み方法。
- ①デフォルト排出係数、②国固有のデータを用いた単純な式、③モデルの使用に至るまでの3つの階層的なTierを採用。
- 伐採木材製品(HWP)に関連する炭素ストックの変化を推定及び報告する代替方法の説明。
- 土地利用カテゴリ、炭素プール、CO₂及び非CO₂のGHG排出に関するキーカテゴリ分析の組み込み。
- 炭素ストックの変化を計算する際の物質収支の原則の遵守。
- 適切な排出及びストック変化係数と活動データを選択するための、土地区分の一貫性の向上。

▷ IPCC2006年ガイドラインの内容(続き)

- デフォルト排出係数とストック変化係数の改善及び2006年IPCCガイドラインの補足ツールである排出係数データベース(EFDB)の開発。関連文書とともに代替排出係数を提供。

排出係数データベース(EFDB)

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>

- 浸水地からのCO₂及びCH₄排出量を推定する方法の組み込み。

▷ IPCC2019年改良版の内容

- 全ての管理地について、バイオマス、枯死有機物、鉱質土壌の炭素ストックの変化に起因するCO₂の排出と吸収。
- 全ての管理地における火災によるCO₂及び非CO₂排出。
- 報告された管理地プロキシ(MLP)の排出と吸収(つまり、管理地における全ての排出と吸収)を、人為活動の結果と考えられるものと自然攪乱の結果と考えられるものに分離することを選択した国が使用するオプションのガイダンス
- 管理された全ての土壌からのN₂O排出。管理された土壌への石灰施用及び尿素施用に伴うCO₂排出。
- 稲作によるCH₄排出
- 有機質土壌の耕起によるCO₂及びN₂Oの排出
- 管理された湿地からのCO₂及びN₂Oの排出、浸水地からのCH₄排出
- 家畜からのCH₄排出(消化管内発酵)
- 家畜排せつ物の管理からのCH₄及びN₂Oの排出
- 伐採木材製品に伴う炭素ストック変化

1.2.1 科学的背景

- 土地利用と管理は、光合成、呼吸、分解、硝化/脱窒、消化管内発酵、燃焼等、GHGのフラックスに影響するさまざまな生態系プロセスに影響を及ぼす(図1.1)。
- これらのプロセスには、生物学的プロセス(微生物、植物、動物の活動)及び物理的プロセス(燃焼、浸出、流出)によって駆動される炭素と窒素の変換が含まれる。

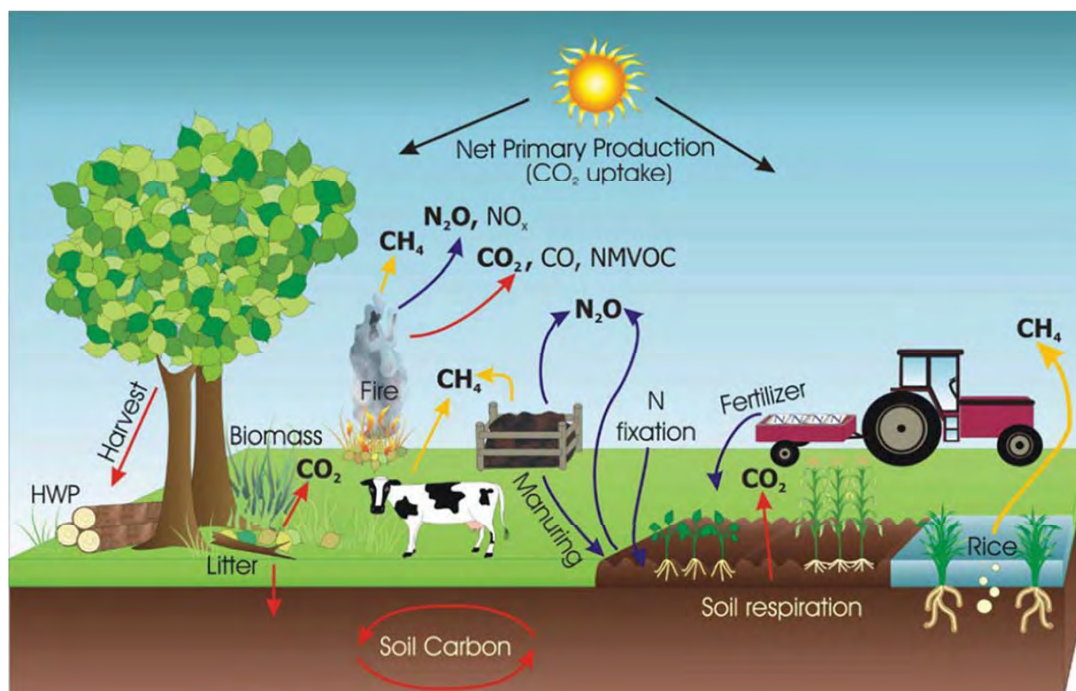
AFOLUにおけるGHG

- 重要なGHGはCO₂、N₂O、CH₄である。
 - 大気と生態系間のCO₂フラックスは、主に植物の光合成による吸収と、有機物の呼吸、分解、燃焼による放出によって制御される。
 - N₂Oは主に生態系から硝化及び脱窒の副産物として放出される。
 - CH₄は土壌及び肥料貯蔵中の嫌気性条件下での生成、消化管内発酵及び有機物燃焼中の不完全燃焼により放出される。
- 関連する他のガスは、(燃焼及び土壌からの)NO_x、NH₃、非CH₄揮発性有機化合物(NMVOC)及びCOである。
 - これらは、大気中のGHGの形成の前駆物質であり、前駆体ガスからのGHGの形成は、間接的な排出と見なされる。間接的な排出は、窒素化合物の浸出又は流出、特に土壌からのNO₃損失にも関連しており、一部はその後脱窒によりN₂Oに変換される。

排出と吸収のプロセス

- AFOLU分野のGHGは、以下の2つの方法で推定できる。
 - 1) 時間経過に伴う炭素ストックの純変化(ほとんどのCO₂フラックスに使用)
 - 炭素ストックの変化を使用してCO₂排出と吸収を推定することは、生態系炭素ストックの変化は主に地表と大気間のCO₂交換に基づいており、浸出などの他の炭素移動プロセスは無視できると想定している。
 - 時間の経過に伴う総炭素ストックの増加は大気からのCO₂の純吸収と同等であり、総炭素ストックの減少はCO₂の純排出と同等である(HWPなど他のプールへの移動が少ない場合)。
 - 2) 大気との直接ガスフラックス量(非CO₂排出及び一部のCO₂排出と吸収)
 - 非CO₂排出は、主に微生物プロセス(つまり、土壌、動物の消化管及び肥料内)と有機物の燃焼の結果。

【図1.1】管理された生態系における主なGHG排出／吸収プロセス



13

バイオマス

- 地上及び地下部を含む植物バイオマスは、大気とのCO₂やり取りの主要な窓口である。一次的には光合成と呼吸を通じて、大気と陸域の生態系の間で大量のCO₂が移動する。
- 光合成によるCO₂の吸収は、総一次生産(GPP)と呼ばれる。GPPの約半分は植物によって呼吸され、大気に戻される。残りは純一次生産(NPP)であり、これは1年間のバイオマスと枯死有機物の総生産量である。

$$\text{純一次生産(NPP)} = \text{総一次生産(GPP)} - \text{独立栄養呼吸(植物呼吸)}$$

- NPPから従属栄養呼吸による損失(落葉落枝、枯死木及び土壌中の有機物の分解)を差し引いたものは、生態系の純炭素ストック変化に等しく、攪乱による損失がない場合、純生態系生産(NEP)と呼ばれる。

$$\text{純生態系生産(NEP)} = \text{NPP} - \text{従属栄養呼吸(有機物分解)}$$

14

1章 序論	1.2 GHG排出・吸収の概要	NR
1.2.1 科学的背景		
排出と吸収のプロセス		
バイオマス		

- NEPから攪乱(例:火災)、収穫、土地利用変化時の整地による追加的な炭素損失を差し引いたものは、しばしば純生物相生産(NBP)と呼ばれます。

$$\text{純生物相生産(NBP)} = \text{NEP} - \text{攪乱} / \text{整地} / \text{収穫による炭素損失}$$

- 土地利用カテゴリの国内GHGインベントリで報告されている炭素ストック変化は、このNBPと等しい。

総一次生産(GPP)			
純一次生産(NPP)		独立栄養呼吸(植物呼吸)	
純生態系生産 (NEP)		従属栄養呼吸 (有機物分解)	
純生物相生産 (NBP)	攪乱/整地/収穫による炭素損失		

15

1章 序論	1.2 GHG排出・吸収の概要	NR
1.2.1 科学的背景		
排出と吸収のプロセス		
枯死有機物		

- 生きている植物材料に含まれるバイオマス生産(NPP)の大部分は、最終的に枯死有機物(DOM)プール(つまり、枯死木とリター:定義については表1.1を参照)に移される。
- 枯死有機物の一部は急速に分解して炭素を大気に戻すが、数か月～数年～数十年間炭素ストックとして保持されるものもある。
- 土地利用と管理は、新鮮なデトリタス(生物の死骸、排出物、分解物などの堆積物)の投入と分解速度に影響を与えることにより、枯死有機物の炭素ストックに影響を与える。
- 枯死有機物の燃焼による損失には、CO₂、N₂O、CH₄、NO_x、NMVOC、及びCOの排出が含まれる。

16

1章 序論	1.2 GHG排出・吸収の概要
1.2.1 科学的背景	
排出と吸収のプロセス	
土壌	

U

- 枯死有機物は断片化及び分解されるため、土壌有機物(SOM)に変換される。
- 土壌有機物には、土壌での滞留時間が大きく異なる多種多様な物質が含まれる。この材料の一部は、微生物によって容易に分解され、炭素を大気に戻す不安定な化合物で構成されている。
- ただし、土壌の有機炭素の一部は、非常にゆっくりと分解されるため、数十年から数世紀以上にわたって土壌に保持される難分解性化合物に変換されるか、有機鉱物複合体に結合する。
- 火災に続いて、いわゆる「ブラックカーボン」が少量生成される。これは、数千年に及ぶ可能性のある回転時間を持つほぼ不活性な炭素画分を構成する。バイオ炭の炭素は、熱分解によって生成され、長い回転時間で土壌に添加される。

17

1章 序論	1.2 GHG排出・吸収の概要
1.2.1 科学的背景	
排出と吸収のプロセス	
土壌	

NR

- 土壌有機炭素ストックは、リター投入率と土壌有機物損失率に影響を与える土地利用と管理活動の影響を受ける。
- 土壌有機炭素ストックのバランスを支配するプロセスは、植物残留物からの炭素の投入と分解からの炭素の排出だが、一部の生態系では粒子状炭素又は溶存炭素としての損失が大きくなる可能性がある。
- インプットは主に、NPP及び/又は枯死有機物の保持に影響を与える決定によって制御される。例えば、収穫されたバイオマスがどれだけ製品として吸収され、どれだけが残留物として残されるか等。
- アウトプットは、耕作強度などの土壌有機物の微生物的及び物理的分解に影響を与える管理上の決定の影響を受ける。以前の土地利用、気候、土壌特性との相互作用に応じて、管理慣行の変化は土壌炭素ストックの増加又は減少を引き起こす可能性がある。

18

1章 序論	1.2 GHG排出・吸収の概要
1.2.1 科学的背景	
排出と吸収のプロセス	
土壌	

U

- 一般に、管理に起因する炭素ストックは、土壌炭素ストックが新しい平衡に近づくまで、数年から数十年にわたって変化する。人為活動の影響に加えて、気候変動及びその他の環境要因は、土壌炭素の動態（及びバイオマスと枯死有機物）に影響する。
- 湿地環境や水稻生産などの浸水条件では、分解された枯死有機物と土壌の有機物のかなりの部分がCH₄として大気に戻される。
- これは、水稻生産専用の土地を持つ国や浸水した土地（例えば、川にダムを建設することによって作られた貯水池）における主要な排出源となる。
- 事実上全ての浸水した土壌はCH₄を放出するが、炭素収支全体の管理と環境管理に応じて、正味の土壌炭素ストックは時間の経過とともに増加、減少、又は一定のままになる可能性がある。
- よく排水された土壌では、CH₄栄養細菌が少量のCH₄を消費（酸化）するが、その影響は、定量化するための研究が限られているため、現在のガイドランスでは取り扱われていない。

19

1章 序論	1.2 GHG排出・吸収の概要
1.2.1 科学的背景	
排出と吸収のプロセス	
土壌	

NR

- 土壌には無機炭素プールも含まれており、土壌が形成された母材の一次鉱物、又は土壌形成中に生じる二次鉱物（土壌生成炭酸塩）のいずれかである。無機土壌の炭素ストックは管理によって影響を受ける可能性があるが、通常は有機炭素プールには及ばない。
- いくつかの土壌管理慣行は、単に炭素ストックを変化するだけでなく、GHGの排出に影響する。
 - 例えば、石灰は土壌の酸性度を下げ、植物の生産性を向上させるために使用されるが、CO₂排出の直接的な原因でもある。具体的には、石灰岩とドロマイトの堆積物から炭酸カルシウムを除去することにより、炭酸イオンがCO₂に転換する土壌に施用することにより、石灰が地球の地殻から大気に炭素を移動する。

20

1章 序論	1.2 GHG排出・吸収の概要	NR
1.2.1 科学的背景		
排出と吸収のプロセス		
土壌		

- 窒素の添加は、特に農地や草地への合成窒素肥料や有機肥料（肥料など）の施用など、NPP及び作物の収穫量を増やすための一般的な慣行である。
- 土壌窒素の可用性のこの増加は、硝化と脱窒の副産物として土壌からの N_2O 放出を増加させる。
- 動物の放牧による窒素の添加（糞と尿）は、 N_2O 放出を刺激する可能性もある。
- 同様に、土地利用の変化は、土壌有機物の分解の増加とそれに続く湿地、森林、草原での耕作の開始などの窒素の無機化に関連する場合、 N_2O 排出量を増加させる。

21

1章 序論	1.2 GHG排出・吸収の概要	U
1.2.1 科学的背景		
排出と吸収のプロセス		
家畜		

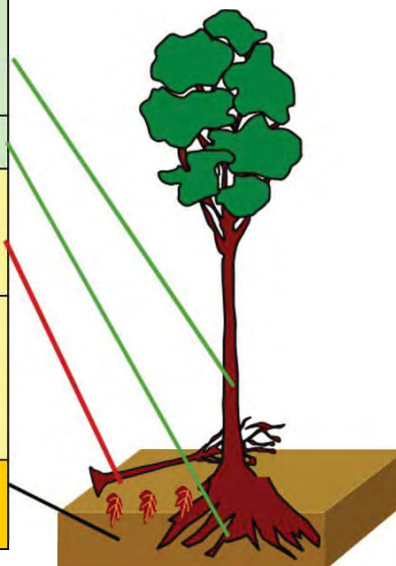
- 動物生産システム、特に反芻動物の生産システムは、GHGの大きな排出源になる可能性がある。
- 例えば、反芻動物の消化器系での消化管内発酵は、 CH_4 の生産と排出につながる。
- 肥料の処分と貯蔵に関する管理上の決定は、 CH_4 と N_2O の排出に影響を与える。 CH_4 と N_2O は、肥料の分解における CH_4 生成と副産物の硝化/脱窒として発生する。
- さらに、 NH_3 と NO_x の揮発損失、及び肥料管理システムと土壌からの浸出と流出における窒素の損失は、間接的なGHGの排出につながる。

22

1.2.2 炭素プールの定義と非CO₂ガス

(表1.1) 各土地利用カテゴリのAFOLU分野における炭素プールの定義

炭素プール		説明
バイオマス	地上部	地上にある木本と草本の両方の生きた植物の全てのバイオマス（幹、切り株、枝、樹皮、種子及び葉を含む）。
	地下部	生きた根の全てのバイオマス。
枯死有機物	枯死木	リターに含まれない、立っている、地面にある、又は土壌中にある全ての生きていない木質バイオマス。
	リター	土壌有機物の上限値（推奨2 mm）を超え、枯死木の最小直径（10 cmなど）未満のさまざまな分解状態での、全ての生きていないバイオマス。
土壌有機物		特定の深さまでの無機質土壌中の有機炭素（深さのデフォルトは30 cm）



23

1.2.2 炭素プールの定義と非CO₂ガス

- AFOLUセクターで最も懸念されるCO₂以外のガスは、CH₄とN₂Oである。
- また、NO_xやNH₃を含む他の窒素ガスの放出も考慮される。これは、その後のN₂O放出の原因となる可能性があるため（間接放出源とも呼ばれる）。

24

1.3.1 土地利用及び管理カテゴリ

6つの土地利用
カテゴリ

森林
農地
草地
湿地
開発地
その他の土地

- 各土地利用カテゴリは、そのカテゴリに残っている土地(例:転用のない森林)と、あるカテゴリから別のカテゴリに転用された土地(例:森林地から農地に転用された土地)に分割される。
- 国は、方法の選択とその要件に応じて、気候又はその他の生態学的地域ごとに、各カテゴリの土地をさらに階層化することを選択できる。
- 特定の土地利用ごとに決定されるGHGの排出と吸収には、バイオマス、枯死有機物、土壌からのCO₂(炭素貯蔵の変化として)、燃焼からの非CO₂排出及び土地利用カテゴリに応じて、その他からの排出が含まれる(例:米や浸水した土地からのCH₄排出)。

1.3.1 土地利用及び管理カテゴリ

- 家畜管理からのCH₄及びN₂O排出量は、乳牛、その他の牛、家禽、羊、豚、その他の家畜(バッファロー、ヤギ、ラマ、アルパカ、ラクダなど)の主要な動物タイプについて推定される。動物廃棄物管理システムには、嫌気性ラグーン、液体システム、毎日の散布、固体貯蔵、ドライロット、牧草地/範囲/パドック、及びその他のシステムが含まれる。
- 管理された土壌からのN₂O排出は、通常、土壌の有機物中の窒素の無機化を促進する窒素肥料の使用又は販売、作物残渣管理、有機物の修正及び土地利用の転用を含む、土壌に供給された窒素の集計データ(国レベル)から推定される。
- 同様に、石灰施用及び管理された土壌への尿素施用からのCO₂排出量は、通常、集計データ(国レベル等)を使用して推定される。
- 伐採木材製品(HWP)は、国レベルのデータに基づいて、炭素ストックの変化を推定できる炭素循環を構成する(第12章でガイダンスを提供)。

1.3.2 AFOLUにおける方法論Tierの定義

- Tierとは、方法論に関連する3層アプローチ。
- 一般に、より高次のTierに移動するとインベントリの不確実性が改善されるが、必要なリソースと複雑さが増加する。
- 必要に応じて、Tierの組み合わせを使用できる。例えばバイオマスにはTier2、土壌炭素にはTier1を使用できる。
- 本ガイドラインでは、主にTier1の方法とデータが提示。
- Tier1の方法は、一般にTier2にも適用される。Tier1で提示されたデフォルト値は、Tier2の一部として、国内データに部分的又は完全に置き換えも可能。
- Tier2の国固有の係数を導き出すための代替方法論の例外は少ない（例えば、消化管内発酵からのCH₄排出を推定するための総エネルギー摂取量の計算）。
- Tier3については詳細説明はないが、適用が優れた実践について概説し、情報ボックスにいくつか例示。

1.3.2 AFOLUにおける方法論Tierの定義

BOX1.1 AFOLU方法論におけるTier構造の枠組み

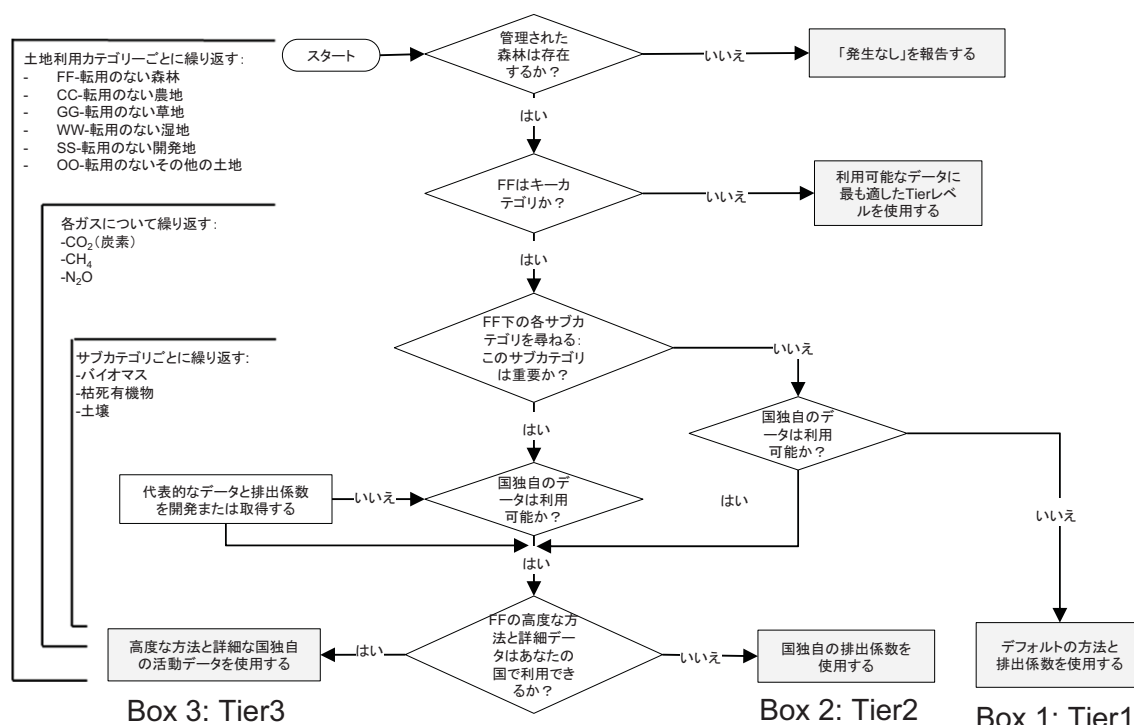
Tier	方法	排出及びストック変化係数	活動データ
1	式	デフォルトのパラメータ値	国固有、又は世界的に入手可能な情報源（例：森林減少率、農業生産統計、世界の土地被覆図、肥料使用、家畜人口データ等） データは通常、空間的に粗い。
2	同上	国又は地域固有のデータ	より高い時間及び空間解像度とより分離されたデータ
3	プロセスベースのモデルやストック測定システム	経時的に繰り返され、国内レベルで分離された高解像度のデータ（例：一定の時間間隔で繰り返される包括的なフィールドサンプリングや、年齢、クラス/生産データ、土壌データ、土地利用及び管理活動データのGISベースのシステム）	

1.3.3 キーカテゴリの特定

- AFOLU分野におけるキーカテゴリ分析のアプローチについて説明。
- キーカテゴリ分析は、利用可能な情報源ある場合に、国が最も信頼できるインベントリを達成するのに役立つ。
- 以下を特定するために、キーカテゴリー分析が必要。
 - どの土地利用及び管理活動が有意か。
 - 有意な土地利用又は家畜(サブ)カテゴリ。
 - どのCO₂排出又は様々な炭素プールからの吸収が有意か。
 - 有意なCO₂以外のガスとそのカテゴリ。そして
 - 報告に必要なTier

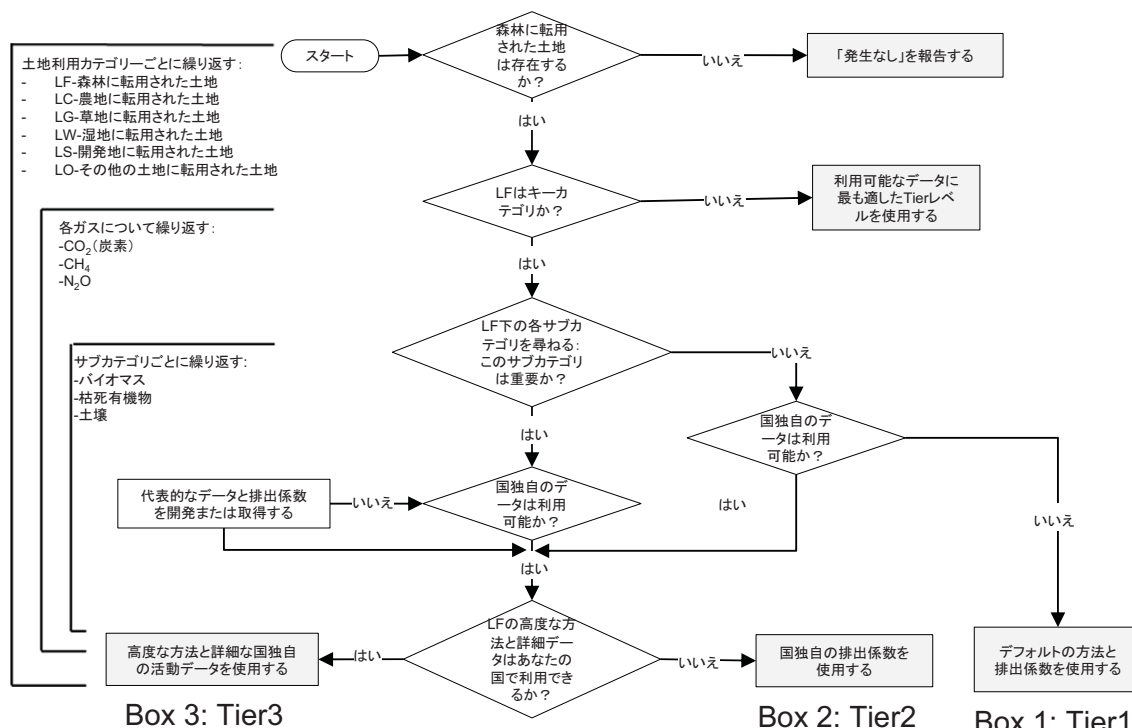
1.3.3 キーカテゴリの特定

【図1.2】転用のない土地における適切なTierレベル識別のためのデシジョンツリー(例: 転用のない森林)



1.3.3 キーカテゴリの特定

【図1.3】他の土地利用カテゴリに転用された土地における適切なTierレベル識別のためのデシジョンツリー（例：森林に転用された土地）



1.3.4 インベントリ作成の準備ステップ

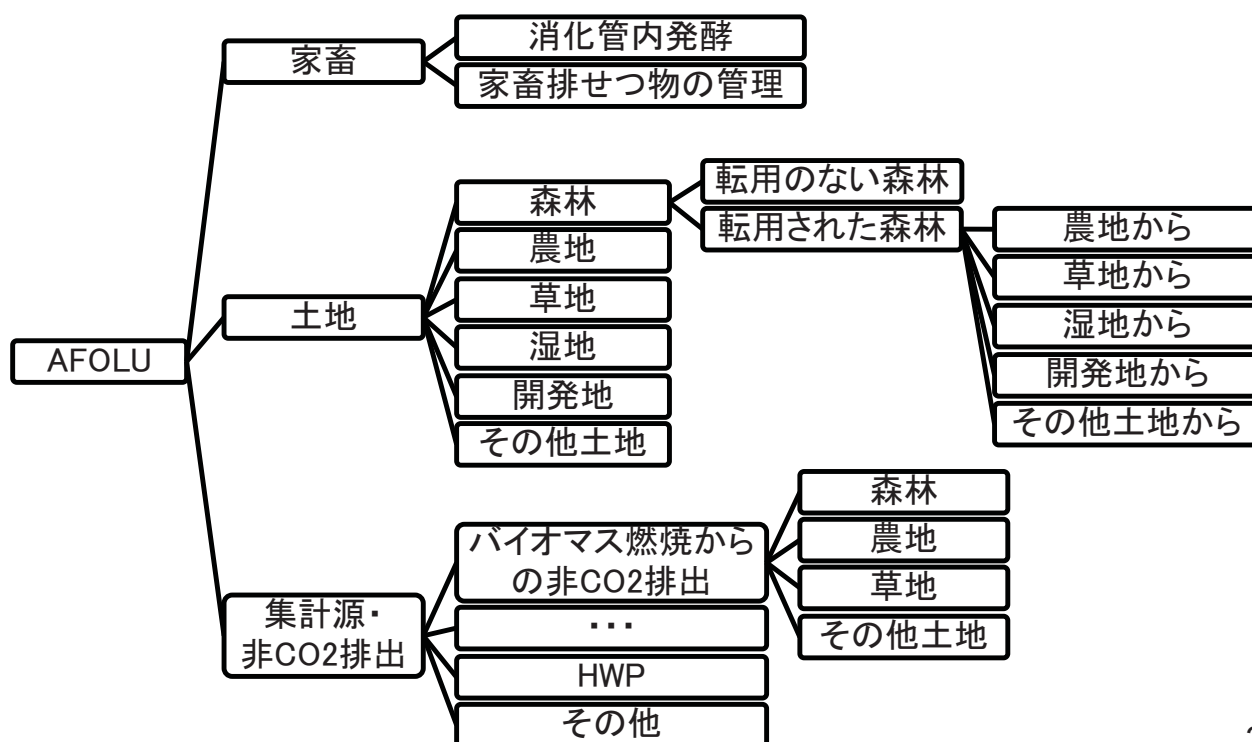
1. 全ての土地を管理対象と管理対象外に分ける(第3章)。
2. 6つの土地利用カテゴリ(森林、農地、草地、湿地、開発地及びその他の土地)に適用可能な国土分類システムを開発し、全国を、適切な気候・土壌タイプ及び/又は生態地域(地層)でさらに細分化する(第3章を参照)。
3. 可能であれば、各土地利用カテゴリ別の土地面積と土地面積の変化に関するデータを収集。管理慣行の組み合わせに基づいて、各土地利用カテゴリに定義された特定の管理システムによって土地面積を分類する(例: 農地の耕作と肥料管理)。この分類は、特定の推定アプローチに必要な排出係数とストック変化係数を割り当てるための基礎情報を提供する(第3章を参照)。
4. 家畜、家畜排せつ物の管理システム、土壌窒素管理、作物収量、バイオチャー炭素(Tier2及び3のみ)、石灰施用及び尿素施用の全国レベルの統計は、ステップ2のように階層化できる。また、バイオチャー炭素補正データは農地と草地に階層化できる。

5. キーカテゴリ分析をサポートするために、適切なTierレベルでCO₂排出・吸収量、及び非CO₂排出量を推定する。予備的なインベントリでは、Tier1又はTier2のアプローチを使用することができる。ただし、方法が既に開発されており、サポートアクティビティと入力データが編集されている場合は、Tier3アプローチを採用することを推奨（方法論に関する一般的なガイダンスは、第2章を参照）。
6. キーカテゴリ分析に基づいて、より高次のTierが推奨される場合、CO₂排出量と吸収量、及び非CO₂排出量を再推定する（キーカテゴリを識別する方法については、第1章及び第4章を参照）。
7. 不確実性を推定し（第1巻・第3章を参照）、第1巻・第6章で提供される方法とこの第2章から第12章で提供される追加ガイダンスを使用して、QA/QC手順（ステップ1で開始）を完了する。
8. インベントリ期間にわたる土地利用と階層毎の各ソースカテゴリのCO₂排出・吸収量と非CO₂排出量及び家畜、肥料、窒素管理からの排出量（土地利用カテゴリごとに個別に分析しない場合）を計

9. 要約情報を報告表に転写し、炭素ストックの変化をCO₂の排出又は吸収に変換し、可能であれば土地利用カテゴリごとに非CO₂排出量を入力する。AFOLU分野の総排出・吸収量を推定するために、国の集約データ（家畜、肥料管理、土壌管理/修正など）に基づく排出量の推定値と組み合わせる（第1巻・第8章、ガイダンスと表の報告を参照）。
10. 各ソースカテゴリの結果に加えて、活動及びその他の入力データ、排出係数、データとメタデータのドキュメント、方法の説明とモデルソフトウェア又はコード、QA/QC手順とレポートなど、インベントリの作成に使用されるすべての情報を文書化して保管する。
11. 現行のインベントリの完全性、不確実性及びQA/QCで発生する問題に基づいて、AFOLU分野の将来のインベントリの優先順位を設定する。新しく完成したインベントリに基づいてキーカテゴリ分析を修正し、将来の優先順位付けを支援する。

1.4 2019年改良版第4巻の構造

【図1.4】AFOLU報告の構造(抜粋)



35

1.4 2019年改良版第4巻の構造

(表1.2) AFOLU分野に関連する土地利用カテゴリ、炭素プール及び非CO₂ガス並びにTier1の利用可能性(森林)

土地利用カテゴリ (章)	サブカテゴリ	炭素プール及び非CO ₂ ガス	Tier1の方法
森林 (第4章)	転用のない森林 (FF)	地上部バイオマス	利用可能
		地下部バイオマス	利用可能
		枯死有機物	0 (平衡状態と仮定)
		土壌炭素	利用可能
		バイオマス燃焼による非CO ₂ 排出	利用可能
	森林に転用された土地 (LF)	地上部バイオマス	利用可能
		地下部バイオマス	利用可能
		枯死有機物	利用可能
		土壌炭素	利用可能
		バイオマス燃焼による非CO ₂ 排出	利用可能

36

(表1.2) AFOLU分野に関連する土地利用カテゴリ、炭素プール及び非CO₂ガス並びにTier1の利用可能性(農地)

土地利用カテゴリ (章)	サブカテゴリ	炭素プール及び非CO ₂ ガス	Tier1の方法
農地 (第5章)	転用のない農地 (CC)	地上部バイオマス	利用可能 (ただし、多年生木質植生のみ)
		枯死有機物	0 (平衡状態と仮定)
		土壌炭素	利用可能
		作物残渣の燃焼による非CO ₂ 排出	利用可能
		稲作によるCH ₄ 排出	利用可能
	農地に転用された土地 (LC)	地上部バイオマス	利用可能
		枯死有機物	利用可能
		土壌炭素	利用可能
		バイオマス(作物残渣)燃焼による非CO ₂ 排出	利用可能

37

(表1.2) AFOLU分野に関連する土地利用カテゴリ、炭素プール及び非CO₂ガス並びにTier1の利用可能性(草地)

土地利用カテゴリ (章)	サブカテゴリ	炭素プール及び非CO ₂ ガス	Tier1の方法
草地 (第6章)	転用のない草地 (GG)	地上部バイオマス	0 (平衡状態と仮定)
		枯死有機物	0 (平衡状態と仮定)
		土壌炭素	利用可能
		バイオマス燃焼による非CO ₂ 排出	利用可能
		稲作によるCH ₄ 排出	利用可能
	草地に転用された土地 (LG)	地上部バイオマス	利用可能
		地下部バイオマス	利用可能
		枯死有機物	利用可能
		バイオマス燃焼による非CO ₂ 排出	利用可能

38

(表1.2) AFOLU分野に関連する土地利用カテゴリ、炭素プール及び非CO₂ガス並びにTier1の利用可能性(湿地)

土地利用カテゴリ (章)	サブカテゴリ	炭素プール及び非CO ₂ ガス	Tier1の方法
湿地 (第7章)	転用のない泥炭地	CO ₂ 排出	利用可能
		非CO ₂ 排出	利用可能
	泥炭採取用に転用された土地	CO ₂ 排出	利用不可
		非CO ₂ 排出	利用可能
	転用のない浸水地	CO ₂ 排出	0 (平衡状態と仮定)
		非CO ₂ 排出	利用可能
	転用された浸水地	CO ₂ 排出	利用可能
		非CO ₂ 排出	利用可能

(表1.2) AFOLU分野に関連する土地利用カテゴリ、炭素プール及び非CO₂ガス並びにTier1の利用可能性(開発地)

土地利用カテゴリ (章)	サブカテゴリ	炭素プール及び非CO ₂ ガス	Tier1の方法
開発地 (第8章)	転用のない開発地 (SS)	地上部バイオマス	0 (平衡状態と仮定)
		枯死有機物	0 (平衡状態と仮定)
		土壌炭素	利用可能 (ただし、有機土壌のみ)
		バイオマス燃焼による非CO ₂ 排出	利用可能
		稲作によるCH ₄ 排出	利用可能
	草地に転用された土地 (LS)	地上部バイオマス	利用可能
		地下部バイオマス	利用可能
		枯死有機物	利用可能
		バイオマス燃焼による非CO ₂ 排出	利用可能

(表1.2) AFOLU分野に関連する土地利用カテゴリ、炭素プール及び非CO₂ガス並びにTier1の利用可能性(その他の土地)

土地利用カテゴリ (章)	サブカテゴリ	炭素プール及び 非CO ₂ ガス	Tier1の方法
その他の土地 (第9章)	転用されたその他の 土地 (LO)	地上部バイオマス	利用可能
		枯死有機物	利用不可
		土壌炭素	利用可能

(表1.2) AFOLU分野に関連する土地利用カテゴリ、炭素プール及び非CO₂ガス並びにTier1の利用可能性(家畜、管理土壌、伐採木材製品)

土地利用カテゴリ (章)	サブカテゴリ	炭素プール及び 非CO ₂ ガス	Tier1の方法
家畜 (第10章)	消化管内発酵	CH ₄ 排出	利用可能
	家畜排せつ物の管理	CH ₄ 排出	利用可能
		N ₂ O排出	利用可能
管理土壌 (第11章)	土壌管理	N ₂ O排出	利用可能
	石灰施用	CO ₂ 排出	利用可能
	窒素施用	CO ₂ 排出	利用可能
伐採木材製品 (第12章)	木材製品	炭素蓄積変化	利用可能

第2章 多様な土地利用カテゴリに適用可能な一般的方法

2.1 イントロダクション

2.2 インベントリの枠組

2.3 CO₂排出量及び吸収量の一般的な算定方法

2.4 非CO₂の排出量

2.5 Tier3への付加的な一般ガイダンス

2.6 経年変動

Annex 2A.1

Annex 2A.2

1

2章 一般的方法

2.1 イントロダクション

NR
2006

- 農業、林業及びその他の土地利用(AFOLU)分野におけるGHGの排出と吸収を算定する方法は、2つの大まかなカテゴリに分類できる。
 - 1) 森林、農地、草地、湿地、開発地及びその他の土地の一般的な方法
 - 2) 単一の土地利用にのみ適用される方法、又は、土地利用を指定せずに、全国レベルのデータの集計に適用される方法。
- 第2章では、主に次の一般的な方法論について説明する。上述のカテゴリ1の下で、生態系の炭素ストック量の変化を算定するとともに、火災からの非CO₂フラックスを算定する。これらの方法は、6つの土地利用カテゴリのいずれにも適用できる。
 - 特定の土地利用カテゴリにおいて方法を適用する一般的枠組
 - 炭素ストック変化量及び非CO₂排出量を算定するためのTier1による式とデフォルト値を含んだ方法の選択
 - 高次のTierを用いるための一般ガイダンス
 - IPCC排出係数データベース(EFDB)の使用
 - 不確実性の算定

2

2.2 インベントリの枠組

- このセクションでは、バイオマス、枯死有機物及び土壌からの炭素ストックの変化（並びに関連するCO₂の排出と吸収）を算定し、火災からの非CO₂GHG排出を算定するための体系的なアプローチの概要を説明。
- 土地利用カテゴリと階層のレベルを表す一般的な式の後に、土地利用カテゴリごとの特定のプールの炭素ストックの変化に関するより詳細な式を含むプロセスの簡単な説明が続く。
- 次に、非CO₂排出量と一般的な式を算定するための原則を示している。ワークシートの計算に直接対応する、プール内のプロセス別及びカテゴリ別の排出量と吸収量を算定するための具体的な式は、セクション2.3及び2.4に記載。

2.2 インベントリの枠組

BOX 2.0A
AFOLUプロジェクト又は活動と
IPCCインベントリガイドラインとの一貫性

IPCCガイドラインは、国家GHGインベントリ(NGHGI)用に設計されている。

ただし、分割地(プロジェクト及び活動)の排出と吸収を算定するためにIPCCガイドラインを用いることは、NGHGIとの一貫性を保つのに役立つ。

(なお、プロジェクト及び活動は、境界に限らず、二重計上、リーケージ、属性等の追加の複雑さをもたらす可能性がある。)

プロジェクト及び活動のデータが優れた慣例に従って収集、分析されている場合には、NGHGIの活動データ、排出係数及び/若しくは、活動の対象となる土地のGHG算定値の補助データ、又は、同じ土地のNGHGIで使用されるモデルの調整及び/若しくは、そのモデルの出力結果の検証のために用いることができる。

2.2.1 炭素ストック変化量算定の概説

＜式2.1＞AFOLU分野における炭素ストック年間変化量
(全ての土地利用カテゴリにおける変化量の合計)

$$\Delta C_{AFOLU} = \Delta C_{FL} + \Delta C_{CL} + \Delta C_{GL} + \Delta C_{WL} + \Delta C_{SL} + \Delta C_{OL}$$

ΔC	= 炭素ストック変化量
AFOLU	= 農業、林業及びその他土地利用
FL	= 森林
CL	= 農地
GL	= 草地
WL	= 湿地
SL	= 開発地
OL	= その他の土地

2.2.1 炭素ストック変化量算定の概説

＜式2.2＞各土地利用カテゴリにおける炭素ストック年間変化量
(カテゴリ内の各階層における変化量の合計)

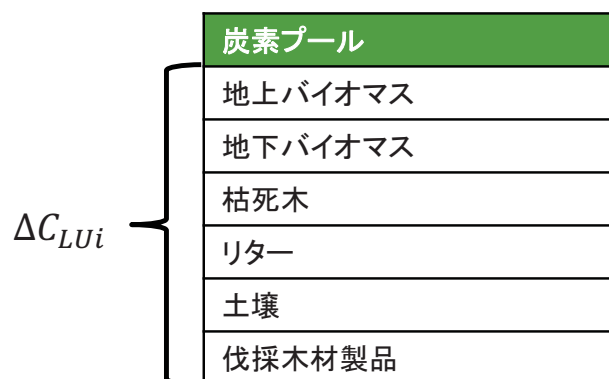
$$\Delta C_{LU} = \sum_i \Delta C_{LUi}$$

ΔC_{LU}	= Equation 2.1.で定義された土地利用(LU)カテゴリの炭素ストック変化量
i	= 土地利用カテゴリ内の特定の階層やサブカテゴリ (種、気候帯、生態系タイプ、管理体制等)、i=1からn

＜式2.3＞土地利用カテゴリ内の各階層の炭素ストック年間変化量
(全ての炭素プールの変化量の合計)

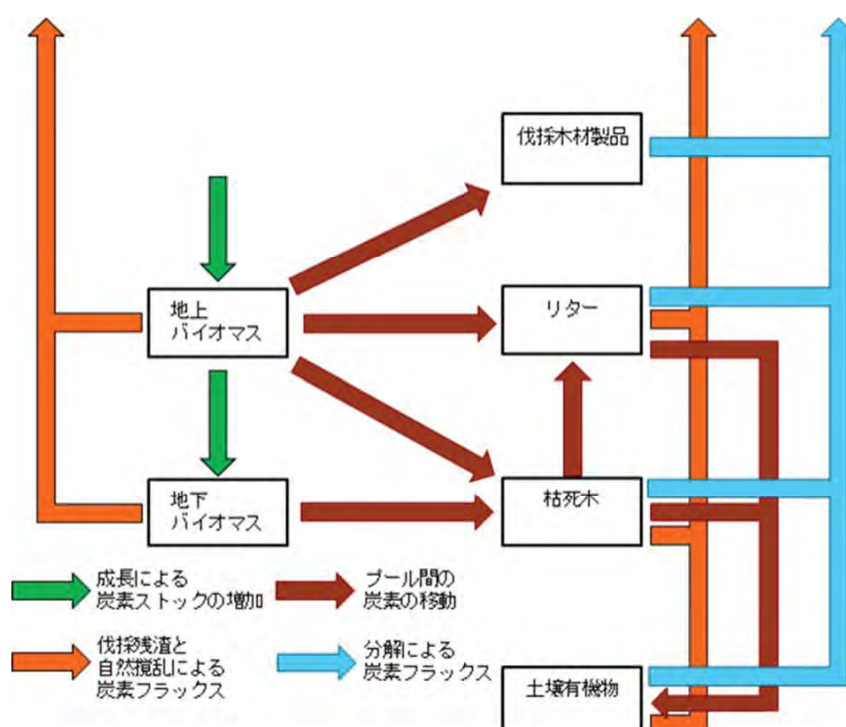
$$\Delta C_{LUI} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{DW} + \Delta C_{LI} + \Delta C_{SO} + \Delta C_{HWP}$$

ΔC_{LUI} = 各土地利用カテゴリの炭素ストック変化量
 AB = 地上バイオマス
 BB = 地下バイオマス
 DW = 枯死木
 LI = リター
 SO = 土壌
 HWP = 伐採木材製品



7

【図2.1】AFLOU生態系の5つの炭素プールの一般的な炭素循環



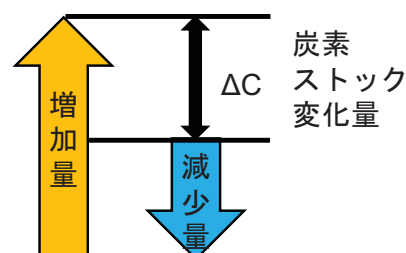
8

2.2.1 炭素ストック変化量算定の概説

<式2.4> ゲイン・ロス法による各プールの炭素ストック年間変化量

$$\Delta C = \Delta C_G - \Delta C_L$$

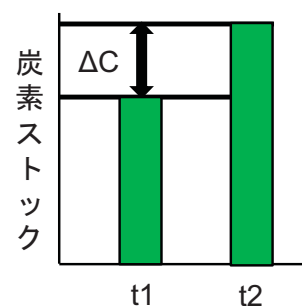
ΔC = プールの炭素ストック年間変化量 (tC/年)
 ΔC_G = 炭素年間増加量 (tC)
 ΔC_L = 炭素年間減少量 (tC)



<式2.5> 蓄積差法による各プールの炭素ストック年間変化量

$$\Delta C = \frac{(C_{t2} - C_{t1})}{(t_2 - t_1)}$$

ΔC = プールの炭素ストック年間変化量 (tC/年)
 C_{t1} = 調査時点t1におけるプールの炭素ストック量 (tC)
 C_{t2} = 調査時点t2におけるプールの炭素ストック量 (tC)



9

2.2.2 非CO₂の排出量算定の概説<式2.6> 大気中への非CO₂の排出量

$$Emission = A \cdot EF$$

Emission = 非CO₂の排出量 (t)
 A = 活動データ
 EF = 排出係数 (t/活動データ)

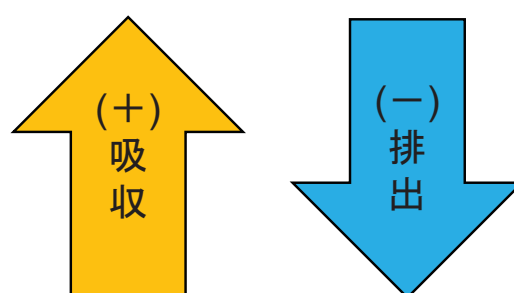


10

2.2.3 炭素ストック変化量からCO₂排出量への換算炭素ストック変化量からCO₂排出量への換算方法

$$\text{CO}_2\text{排出量} = (\text{炭素ストック変化量}) \cdot -44/12$$

- 炭素ストックの増加(+)は、大気からの吸収(又は負の排出)を表す。
- 炭素ストックの減少(-)は、大気への正の排出を表す。



炭素ストック変化

11

2.3 CO₂の排出量と吸収量のための一般的な算定方法

- セクション2.2で概説したように、AFOLU分野内のCO₂の排出と吸収は、一般に、生態系炭素ストック量の変化に基づいて算定される。これらは、地上及び地下のバイオマス、枯死有機物(すなわち、枯死木やリター)及び土壌の有機物で構成されている。
- 総生態系炭素ストック量の純損失は、大気へのCO₂排出量を算定するために使用され、総生態系炭素ストック量の純増加は、大気からのCO₂の吸収を算定するために使用される。必要に応じて、プール間の移行を考慮する。
- 炭素ストックの変化は、直接ストック法又はプロセスモデルによって算定される場合がある。各炭素ストック又はプールは、どの土地利用カテゴリでも発生する可能性があるため、ここでは、任意の土地利用カテゴリに適用される方法の一般的な属性について説明する。
- 特定のケースでは、炭素ストック又はプールの損失は、メタン、一酸化炭素、非メタン揮発性有機炭素等の非CO₂ガスの排出を意味する場合がある(セクション2.4)。
- 見落としや二重計上を避けるために、炭素ストック又はプールの損失によるCO₂及び非CO₂排出が完全にカバーされているかをチェックすることが推奨される。

12

2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)

- バイオマス中の炭素の増加、減少及び純変化を算定する方法。増加については、地上及び地下バイオマスの成長があげられる。減少については、木材の伐採・収穫、燃料材の採集、並びに、火災、昆虫の発生及び異常気象(ハリケーン、洪水)等の自然攪乱による損失に分類される。
- バイオマスの炭素ストック変化を算定するために2つの方法が提供。

□ ゲイン・ロス法

バイオマス中の炭素増加からバイオマス中の炭素減少を差し引く方法(式2.7)。この巻では、バイオマスのストック変化を算定するために、成長及び損失を計算するためのデフォルト値が提供されており、Tier1をサポートしている。高次のTierの方法では、国固有のデータを使用して、増減率を算定する。全てのTierにおいて、国固有の活動データが必要だが、Tier1については、国際的に編纂されたデータベース(FAO統計等)から取得できる。

□ 蓄積差法

特定の土地面積における2時点について、バイオマス中の炭素ストックのインベントリが必要。バイオマスの年間変化量は、そのバイオマスストックの差を、時間 t_1 と時間 t_2 の間の年数で割ったもの(式2.8)。

13

2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)

2.3.1.1 土地利用カテゴリにおける転用のない土地

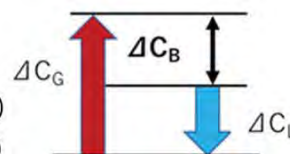
<式2.7> バイオマス中の炭素ストック年間変化量(ゲイン・ロス法)

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$$

ΔC_B = バイオマス中の炭素ストック年間変化量(tC/年)

ΔC_G = バイオマス成長に伴う炭素ストック年間増加量(tC/年)

ΔC_L = バイオマス損失に伴う炭素ストック年間減少量(tC/年)



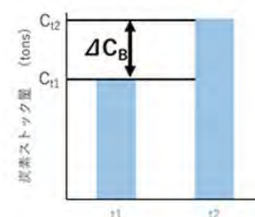
<式2.8(a)> バイオマス中の炭素ストック年間変化量(蓄積差法)

$$\Delta C_B = \frac{(C_{t2} - C_{t1})}{(t_2 - t_1)}$$

ΔC_B = バイオマス中の炭素ストック年間変化量(tC/年)

C_{t2} = 調査時点 t_2 におけるバイオマス中の炭素量(tC)

C_{t1} = 調査時点 t_1 におけるバイオマス中の炭素量(tC)



14

<式2.8(b)> バイオマス中の炭素ストック年間変化量(蓄積差法)(続き)

$$C = \sum_{i,j} \{A_{i,j} \cdot V_{i,j} \cdot BCEF_{Si,j} \cdot (1 + R_{i,j}) \cdot CF_{i,j}\}$$

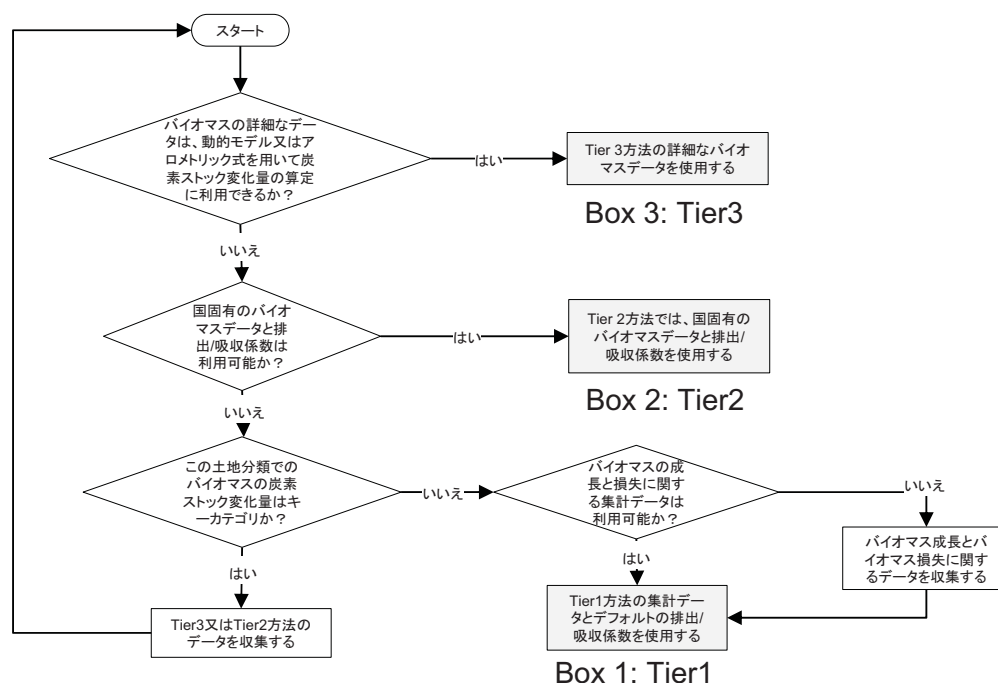
C = バイオマス中の炭素量
 A = 転用のない土地面積(ha)
 V = 利用(可能)成長ストック材積(m³/ha)
 i = 生態ゾーンi(i = 1からn)
 j = 気候域(j = 1からn)
 R = 地上部に対する地下部の比率
 CF = 炭素含有率(tC /t-dm)
 BCEF_S = バイオマス変換拡大係数

$$BCEF_S = BEF_S \cdot D$$

BCEF_S = バイオマス変換拡大係数
 BEF_S = バイオマス拡大係数
 D = 木材比重(t-dm/m³)

15

【図2.2】バイオマス中の炭素ストック変化量を算定するための適切なTier特定のためのデシジョンツリー



16

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法	NR 2006
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)		
2.3.1.1 土地利用カテゴリにおける転用のない土地		
A. バイオマス中の炭素ストック変化量の算定方法		

▶ A.1 バイオマス中の炭素ストックの年間増加量(ΔC_G)の算定
(ゲイン・ロス法)

＜式2.9＞転用のない土地におけるバイオマス成長に伴うバイオマス中の炭素ストックの年間増加量

$$\Delta C_G = \sum_{i,j} (A_{i,j} \cdot G_{TOTALi,j} \cdot CF_{i,j})$$

ΔC_G	= バイオマス成長に伴うバイオマス中の炭素ストック年間増加量 (tC/年)
A	= 転用のない土地面積 (ha)
G_{TOTAL}	= 単位面積当りバイオマス年間平均成長量 (t-dm/ha/年)
i	= 生態ゾーンi (i = 1からn)
j	= 気候域 (j = 1からn)
CF	= 炭素含有率 (tC/t-dm)

17

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法	NR 2006
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)		
2.3.1.1 土地利用カテゴリにおける転用のない土地		
A. バイオマス中の炭素ストック変化量の算定方法		

▶ A.1 バイオマス中の炭素ストックの年間増加量(ΔC_G)の算定
(ゲイン・ロス法)

＜式2.10＞バイオマスの年間平均成長量

$$\text{Tier 1 : } G_{TOTAL} = \sum \{G_W \cdot (1 + R)\}$$

$$\text{Tier 2, 3 : } G_{TOTAL} = \sum \{I_V \cdot BCEF_I \cdot (1 + R)\}$$

G_{TOTAL}	= 単位面積当りバイオマス年間平均成長量 (t-dm/ha/年)
G_W	= バイオマス成長に伴う単位面積当り地上バイオマス年間平均成長量 (t-dm/ha/年)
R	= 地上部に対する地下部の比率
I_V	= 特定する植生タイプの年間平均純変化量 (m ³ /ha/年)
$BCEF_I$	= バイオマス変換拡大係数

18

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法	NR 2006
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)		
2.3.1.1 土地利用カテゴリにおける転用のない土地		
A. バイオマス中の炭素ストック変化量の算定方法		

▷ A.2 損失によるバイオマス中の炭素ストックの年間減少量(ΔC_L)の算定(ゲイン・ロス法)

＜式2.11＞転用のない土地における、バイオマス損失による炭素ストック年間減少量

$$\Delta C_L = L_{\text{wood-removals}} + L_{\text{fuelwood}} + L_{\text{disturbance}}$$

ΔC_L = バイオマス損失による炭素ストック年間減少量(tC/年)
 $L_{\text{wood-removals}}$ = 木材伐採に伴う炭素年間減少量(tC/年)
 L_{fuelwood} = 燃料材の伐採に伴うバイオマス中の炭素年間減少量(tC/年)
 $L_{\text{disturbance}}$ = 攪乱に伴うバイオマス中の炭素年間減少量(tC/年)



19

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法	NR 2006
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)		
2.3.1.1 土地利用カテゴリにおける転用のない土地		
A. バイオマス中の炭素ストック変化量の算定方法		

▷ A.2 損失によるバイオマス中の炭素ストックの年間減少量(ΔC_L)の算定

(ゲイン・ロス法)

＜式2.12＞木材伐採に伴うバイオマス中の炭素年間減少量

$$L_{\text{wood-removals}} = \{H \cdot BCEF_R \cdot (1 + R) \cdot CF\}$$

$L_{\text{wood-removals}}$ = バイオマス伐採に伴う炭素年間減少量(tC/年)
 H = 丸太年間伐採量($\text{m}^3/\text{年}$)
 R = 地上部に対する地下部の比率
 CF = 炭素含有率(tC/t-dm)
 $BCEF_R$ = バイオマス変換拡大係数

20

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法	NR 2006
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)		
2.3.1.1 土地利用カテゴリにおける転用のない土地		
A. バイオマス中の炭素ストック変化量の算定方法		

▷ A.2 損失によるバイオマス中の炭素ストックの年間減少量(ΔC_L)の算定

(ゲイン・ロス法)

<式2.13> 燃料材伐採に伴うバイオマス中の炭素年間減少量

$$L_{fuelwood} = [\{FG_{trees} \cdot BCEF_R \cdot (1 + R)\} + FG_{part} \cdot D] \cdot CF$$

$L_{fuelwood}$	= 燃料材の伐採による炭素年間減少量 (tC/年)
FG_{trees}	= 燃料材年間伐採量 (m ³ /年)
FG_{part}	= 燃料材部分年間伐採量 (m ³ /年)
R	= 地上部に対する地下部の比率
CF	= 炭素含有率 (tC/t-dm)
D	= 木材比重 (t-dm/m ³)
$BCEF_R$	= バイオマス変換拡大係数

21

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法	NR 2006
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)		
2.3.1.1 土地利用カテゴリにおける転用のない土地		
A. バイオマス中の炭素ストック変化量の算定方法		

▷ A.2 損失によるバイオマス中の炭素ストックの年間減少量(ΔC_L)の算定

(ゲイン・ロス法)

<式2.14> 攪乱によるバイオマス中の炭素年間減少量

$$L_{disturbance} = \{A_{disturbance} \cdot B_W \cdot (1 + R) \cdot CF \cdot fd\}$$

$L_{disturbance}$	= 攪乱に伴う炭素年間減少量 (tC/年)
$A_{disturbance}$	= 攪乱の影響を受けた土地の面積 (ha/年)
B_W	= 攪乱の影響を受けた土地の地上バイオマス量 (t-dm/ha)
R	= 地上部に対する地下部の比率
CF	= 炭素含有率 (tC/t-dm)
fd	= 攪乱に伴うバイオマス損失割合

※ fd は、バイオマスプールから失われるバイオマスの割合を定義する。
Tier1の仮定では全ての $L_{disturbance}$ は、攪乱の年に排出される。
高次の方法では、一部が即座に排出され、また一部が枯死有機物プール又はHWPIに追加される。

22

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法	NR 2006
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)		
2.3.1.1 土地利用カテゴリにおける転用のない土地		
A. バイオマス中の炭素ストック変化量の算定方法		

(表2.1)炭素プールに対する攪乱影響の単純マトリックス(Tier2)の例

へ から	地上バイオマス	地下バイオマス	枯死木	リター	土壌有機物	伐採木材製品	大気	合計
地上バイオマス								1
地下バイオマス								1
枯死木								1
リター								1
土壌有機物								1

各列の上部のプールに移行される左側にある各プールの割合を入力する。
 左側のすべてのプールが完全に設定され、各行の値の合計が1である必要がある。
 不可能な移行は黒く塗りつぶされている。

23

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法	NR 2006
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)		
2.3.1.2 新しい土地利用カテゴリに転用された土地		

- このセクションでは、ある土地利用カテゴリから別の土地利用カテゴリへの土地利用の転用に起因する炭素の排出量と吸収量を算定する方法を示している。
- 例えば、非森林から森林への転用、農地と森林から草地への転用及び草地と森林から農地への転用が可能である。
- 新しい土地利用カテゴリへ転用された土地におけるCO₂排出と吸収には、地上及び地下バイオマスの炭素ストック量の年変化が含まれる。
- これらの各プールの炭素ストック量の年間変化は、式2.4($\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L$)を使用して算定できる。ここで、 ΔC_G は炭素の年間増加量、 ΔC_L は炭素の年間減少量である。 ΔC_B は、特定の階層(気候や森林タイプ等)ごとに、土地利用(森林、農地、草地等)及び管理カテゴリ(天然林、植林地等)ごとに個別に算定する。

24

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)	
2.3.1.2 新しい土地利用カテゴリに転用された土地	
バイオマス中の炭素ストック変化の算定方法(ΔC_B)	

NR
2006

i) バイオマス中の炭素ストック年間増加量(ΔC_G)

Tier1

別の土地利用カテゴリに転用された土地におけるバイオマス中の炭素ストックの年間増加量は、転用のない土地における上記式2.9を使用して算定できる。

Tier1では、転用による初期バイオマス中の炭素ストックの変化がないというデフォルトの仮定を採用している。この仮定は、以前の土地利用に関するデータが利用できない場合に適用できる。これは、第3章で説明するアプローチ1又は2を使用して総面積を算定する場合(空間的に明示されていない土地面積データ)。このアプローチでは、セクション4.5(第4章)のデフォルトパラメータを使用する。

転用された土地の面積は、管理慣行に基づいて分類することができる。例えば、集約管理された植林地と草地、又は森林に戻り、20年又はそれ以上の間、転用カテゴリに維持される粗放的に管理された(低投入)植林地、草地又は放棄された農地。なお、転用されたエリアにおける以前の土地利用がわかっている場合は、以下で説明するTier2の方法を使用できる。

25

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)	
2.3.1.2 新しい土地利用カテゴリに転用された土地	
バイオマス中の炭素ストック変化の算定方法(ΔC_B)	

NR
2006

ii) 損失によるバイオマス中の炭素ストック年間減少量(ΔC_L)

Tier1

転用された土地における損失(木材の伐採又は収穫、燃料材の採集及び攪乱)によるバイオマス中の炭素ストックの年間減少量は、式2.11~2.14を使用して算定できる。

炭素ストック量の増加と同様に、Tier1はバイオマスの初期炭素ストック量に変化がないというデフォルトの仮定に従い、第3章のアプローチ1又は2を使用して算定されるエリアにおいて、セクション4.5のデフォルトパラメータを用いて適用できる。

26

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)	
2.3.1.2 新しい土地利用カテゴリに転用された土地	
バイオマス中の炭素ストック変化の算定方法(ΔC_B)	

NR
2006

iii) バイオマス中の炭素ストック変化(ΔC_B)を算定するためのより高次のTier

Tier2及び3

Tier2(及び3)の方法では、国別データとより分解されたアプローチ及び(又は)プロセスモデルを使用して、バイオマス中の炭素ストックの変化をより正確に算定できる。

Tier2では、式2.4が式2.15に置き換えられ、炭素ストックの変化は、バイオマス成長による炭素ストックの増加、実際の転用による変化(転用前後のバイオマスストックの差)及び損失による炭素ストックの減少の合計として計算される。

27

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)	
2.3.1.2 新しい土地利用カテゴリに転用された土地	
バイオマス中の炭素ストック変化の算定方法(ΔC_B)	

NR
2006

<式2.15> 転用された土地におけるバイオマス中の炭素ストック年間変化量(Tier2)

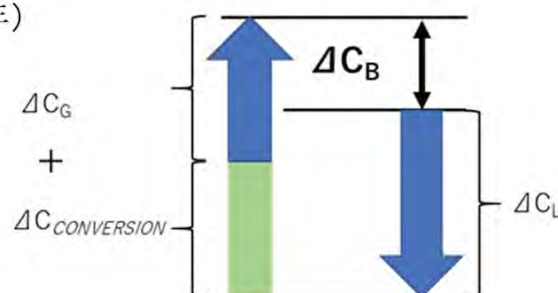
$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{CONVERSION} - \Delta C_L$$

ΔC_B = バイオマス中の炭素ストック年間変化量(tC/年)

ΔC_G = 成長に伴うバイオマス中の炭素ストック年間増加量(tC/年)

$\Delta C_{CONVERSION}$ = 転用された土地利用カテゴリのバイオマス中の炭素ストック初期変化量(tC/年)

ΔC_L = 損失に伴うバイオマス中の炭素ストック年間減少量(tC/年)



28

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)	
2.3.1.2 新しい土地利用カテゴリに転用された土地	
バイオマス中の炭素ストック変化の算定方法(ΔC_B)	

NR
2006

<式2.16> 転用された土地利用カテゴリのバイオマス中の炭素ストック初期変化量

$$\Delta C_{CONVERSION} = \sum_i \{ (B_{AFTERi} - B_{BEFOREi}) \cdot \Delta A_{TO_OTHERSi} \} \cdot CF$$

$\Delta C_{CONVERSION}$	=転用された土地利用カテゴリのバイオマス中の炭素ストック初期変化量(tC/年)
B_{AFTERi}	=転用後の土地タイプiにおけるバイオマスストック(t-dm/ha)
$B_{BEFOREi}$	=転用前の土地タイプiにおけるバイオマスストック(t-dm/ha)
$\Delta A_{TO_OTHERSi}$	=土地利用iからその他の土地利用カテゴリに転用された土地(ha/年)
CF	=炭素含有率(tC/t-dm)
i	=その他の土地利用カテゴリに転用された土地タイプ

29

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)	
2.3.1.3 Tier2のための付加的な一般ガイダンス	

NG

A. バイオマス算定へのアロメトリックモデルの使用

植生を含む土地利用における材積、バイオマス及び炭素ストック量を定量化するための相対モデルの使用に関して新しいガイダンスを提供。

アロメトリックモデルを国固有のデータとともに使用してTier2レベルの炭素ストック量を算定できる。アロメトリックモデルは、測定ベースのインベントリやモデルベースのインベントリ等、より洗練されたTier3アプローチの一部となる場合もある。

アロメトリックモデルは、生物の特定のサイズ変数間の関係を定量化するものであり、個体、植生又は林分の材積、バイオマス又は炭素ストック量を算定するために使用できる。さまざまな種、生息地、地域、環境条件に対応するアロメトリックモデルが開発されている(例えば、GlobAllomeTreeデータベース(<http://www.globalloometree.org/>))。

森林樹種に使用されるアロメトリックモデルは、一般に、正確で代表的なデータを提供するサンプリング設計を使用して、個体群からの破壊サンプリングを通じて個々の木から算定される。ただし、破壊サンプリングは通常、費用がかかり、労働集約的又は生態学的に使用範囲が限定されるので、それぞれの条件下で有効な場合、既存のアロメトリックモデルを使用することが推奨される。

30

A. バイオマス算定へのアロメトリックモデルの使用

BOX 2.0B (アロメトリーの定義)

アロメトリーは、相対する寸法の関係又は2つの大きさの変数の成長率の比例関係を指し、アロメトリー関係により、ある変数を使用して別の変数の対応する値を予測できる。

アロメトリックモデルは、アロメトリック関係を定量的に説明する式である。基本形式は式： $y = f(x)$ で、 y と x は従属変数と独立変数である。多くの場合、 $y = a * x^b + c$ の形式で、 a 、 b 、 c はパラメーターである。

アロメトリックモデルの一般的な形式は、対数変換で線形関係、 $\log(y) = \log(a) + b * \log(x)$ 又は $\ln(y) = \ln(a) + b * \ln(x)$ であり、他の関数も、アロメトリー関係を説明するために用いられている。

モデルには通常、サンプルデータに対するモデルフィッティングで設定された残留誤差項（たとえば、 $y = f(x) + \varepsilon$ ）が提供される。

31

A. バイオマス算定へのアロメトリックモデルの使用

▶ アロメトリックモデルの使用

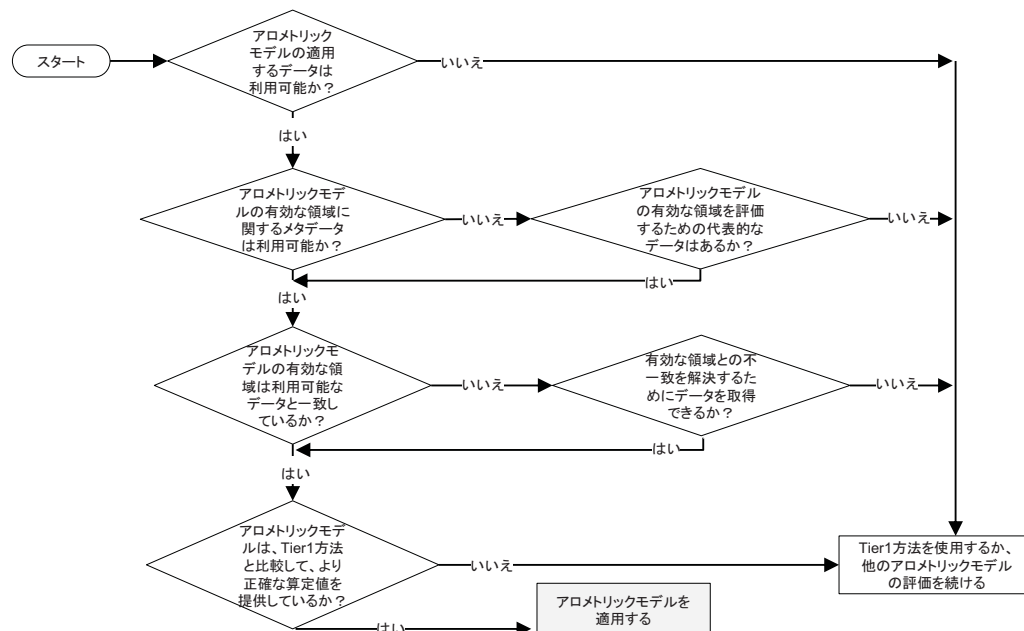
- モデルの選択は、国固有の入手可能性、アロメトリックモデルに関するメタデータ、モデルの有効領域とデータの一致、並びに、算定値をTier1の方法で得られた算定値と比較することによるアロメトリックモデルの適切性の検証を含む、いくつかの基準に基づく(図2.2A)。

(アロメトリー式の例)

パラメータ	アロメトリー式	文献
DBHのみ	$AGB = 0.0829 * DBH^{2.43}$	Kenzo et al. (2009)
木材比重、DBH	$AGB = \rho * \exp(-1.499 + 2.148 \ln(D) + 0.207(\ln(D))^2 - 0.0281(\ln(D))^3)$	Chave et al. (2005)
木材比重、DBH、樹高	$AGB = 0.0673 * (\rho D^2 H)^{0.976}$	Chave et al. (2014)

32

【図2.2A】材積、バイオマス又は炭素ストックを算定するためのアロメトリックモデル特定のためのデシジョンツリー



33

▶ アロメトリックモデルの使用

○ アロメトリーは、個々の成長条件とサイズクラスの影響を受けるため、モデルの有効範囲に限られる。次のような条件は、その適合性、サンプルサイズ、精度評価で評価する必要がある。

- エコリージョン、地理的範囲、環境要因(生態系、気候、土壌等)
- 個々のサイズ範囲とサンプリングされた母集団を考慮したモデルの代表性
- 算定される植物の構成要素(地上、地下、幹、枝、葉等)
- 種の機能的特徴(例: 木材比重及び樹木構造)
- 現在、過去の土地、又は農業の管理慣行

34

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)	
2.3.1.3 Tier2のための付加的な一般ガイダンス	
A. バイオマス算定へのアロメトリックモデルの使用	

NG

▷ 林分レベルモデルとその式

バイオマス、又は炭素ストックの個体、又は種独自のアロメトリックモデルが適切でない場合、樹冠高、胸高断面積合計、群落の年齢を予測変数として含む可能性がある林分レベルのアロメトリックモデルは、バイオマスのパラメータ算定に適用できる。

▷ Tier3の方法

Tier2又はTier3を用いると通常、方法及び/又は排出係数、排出及び吸収の算定に用いられる他のパラメータの精度向上が生じる。

Tier3では、測定ベースの森林インベントリを含むさまざまな方法が可能で、成長しているストックに関するデータを含む詳細な国家森林インベントリが必要である。

35

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)	
2.3.1.3 Tier2のための付加的な一般ガイダンス	
A. バイオマス算定へのアロメトリックモデルの使用	

NG

▷ 不確実性（不確実性の原因）

1. モデルに関連する不確実性
 2. 入力データのサンプリングの変動と測定誤差
(第1巻、第3章、3.1.6節参照)
 3. パラメータの算定に使用されていない樹木へのモデル
利用の不確実性(第1巻、第3章、3.1.6節参照)
- 1.と2.の影響の大きさはモデルで報告する必要がある。
3.はモデルの選択により低減できる

36

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)	
2.3.1.3 Tier2のための付加的な一般ガイダンス	
A. バイオマス算定へのアロメトリックモデルの使用	

NG

▷ 再計算

新しい及び/又はより良いデータ、又は方法論が利用可能になった場合、炭素ストックの再計算が必要になる場合がある。バイオマス排出係数(BEF)がアロメトリーを使用して算定されるパラメータに置き換えられると、時系列での再計算が必要になる。一般化されたモデルを種独自のものに置き換える場合も再計算が必要になる。

変更の影響の反映には、更新されたモデルが必要になる。時系列の一貫性の確保が必要となる(第1巻、第5章及び第4巻、第4章ガイダンスを適用)。

37

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)	
2.3.1.3 Tier2のための付加的な一般ガイダンス	
A. バイオマス算定へのアロメトリックモデルの使用	

NG

▷ 新しい科学技術

- 空中、又は、地上プラットフォームからリモートで検出されたデータは、アロメトリックモデルの構築と妥当性の確認に関連する変数を導出するための有用な情報源となる。

BOX 2.0C 新技術:地上レーザースキャン

地上レーザースキャンは、地上ベースのアクティブリモートセンシング技術であり、3D植生構造の導出、地上のバイオマス予測のための樹高、幹直径、樹冠寸法、樹木材積等の重要な変数の計算及びアロメトリックモデルの開発と検証に使用できる。

多くの樹木は効率的な方法でサンプリングや測定ができ、新たなGHGインベントリの既存のアロメトリックモデルの有用性をテストするために必要な基本データのほとんどを提供できる。

38

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法	NG
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)		
2.3.1.3 Tier2のための付加的な一般ガイダンス		
B. バイオマス算定への地上バイオマス密度マップの使用		

▷ バイオマス密度マップ作成時の考慮すべき点

バイオマス密度マップは、リモートセンシングデータ(Box 2.0D参照)と野外観測の組合わせで構築される。国家規模、大陸規模から全球規模がある。国家GHGインベントリのバイオマス密度マップの特性と有用性は、複数の要因に依存する。

1. マップの作成に使用される森林及び地上の木質バイオマスの定義と、この定義が国家GHGで使用されるものとどのように関連するか。
2. 空間分解能、時間範囲及び地上バイオマスに対する信号の反応(感度)の観点からのリモートセンシングデータソースのタイプ。
3. マップ構築に使用される方法。
4. バイオマス密度マップの作成と検証に必要なフィールドデータから取得したバイオマス算定値の可用性と信頼性。
5. マップの不確実性が特徴づけられる程度と国家GHGインベントリを支持する大面積算定のバイアスと精度を評価するために使用される方法(第4巻、第3章参照)。

39

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法	NG
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)		
2.3.1.3 Tier2のための付加的な一般ガイダンス		
B. バイオマス算定への地上バイオマス密度マップの使用		

BOX 2.0D リモートセンシング技術

光学式、合成開口レーダー(SAR)及び光検出及び測距(LiDAR)センサーは、バイオマス密度マップを作成するためのリモートセンシングデータソースとして利用できる。

光衛星センサーからのデータは、空間分解能に基づいて3つのタイプに分類される。ピクセルサイズが約250 mを超える粗解像度データ(MODIS等)、ピクセルサイズが10~80 mの中解像度データ(Landsat及びSentinel 1及び2等)及びピクセルサイズが小さい精密解像度データ 10 m未満(Rapideye、SPOT及びALOS 2等)。

SAR及びLiDARは、空中及び宇宙搭載機器として利用可能なアクティブセンサーであり、その派生メトリックを使用して、木本植物及び樹木の高さ、体積、又はバイオマスを予測できる。

2019年から、一連の宇宙ミッションにより、LiDAR(例: GEDI、ICESAT-2)及びSAR(例、BIOMASS、NISAR)からの森林バイオマス予測の機能が向上する。

40

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法	NG
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)		
2.3.1.3 Tier2のための付加的な一般ガイダンス		
B. バイオマス算定への地上バイオマス密度マップの使用		

▶ 国家GHGインベントリのためのバイオマス密度マップ使用ガイダンス

- バイオマス密度マップを利用して、地上炭素インベントリの層化を強化したり、サンプリング不足又は、アクセスできない地域のデータ数を増やして炭素排出量の算定の改善や、検証用の独立したデータソースとして使用ができる。
- Tier2及びTier3レベルでは、炭素排出量の算定にバイオマスマップを利用する複数の方法
 - 1) バイオマス密度マップが排出係数を算定するための土台を提供する活動データとの組み合わせ (BOX 2.0E参照)
 - 2) 多時期のバイオマス密度マップから直接バイオマス変化量を算定する。
 - 3) バイオマス密度マップは、リモートセンシングによる時系列の土地変化や、排出量の算定を特定の地域に限定するためのTier3モデルと統合できる。

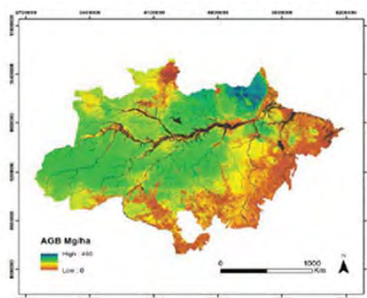
41

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法	NG
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量(地上及び地下バイオマス)		
2.3.1.3 Tier2のための付加的な一般ガイダンス		
B. バイオマス算定への地上バイオマス密度マップの使用		

▶ 国家GHGインベントリへのバイオマス密度マップ使用ガイダンス

BOX 2.0E ブラジルのアマゾンの例

ブラジルは、空中LiDAR、衛星リモートセンシング及び森林インベントリからのデータを組合わせて、森林バイオマスを算定するための方法論を適用している。国家GHGインベントリにバイオマスマップを使用する目的は、地上データの有効性と品質が異なるアマゾン全体をカバーすることである。



ブラジル、アマゾン生物群系のバイオマスマップ (Ometto et al. 2018)

42

2.3.2 枯死有機物炭素ストック変化量

- 枯死有機物(DOM)は、枯死木とリターで構成される(表1.1参照)。枯死有機物プールの炭素動態を算定することにより、炭素の排出と吸収がいつどこで発生したかを報告する際の精度を高めることができる。
- 例えば、火災の年には、バイオマスが燃焼するが、その際、枯死したバイオマス中に含まれる炭素の一部のみが大気中に放出される。バイオマスの大部分は、枯死木、リター及び土壌プールに追加され、それらが分解するにつれて、炭素が数年から数十年にわたって放出される。減衰率は地域によって大きく異なり、温暖で湿潤な環境では高く、寒冷で乾燥した環境では低い。
- 枯死有機物プールの炭素の動態は定性的にはよく理解されているが、国として枯死有機物のストックとその動態に関する全国的な調査により実際のデータを取得するのは困難な場合がある。
- 森林生態系では、林分が更新するような攪乱に伴い、DOMプールが最大になる傾向がある。これは、地上及び地下(根)のバイオマスが残留するためである。攪乱後数年で、分解による炭素損失が、リターフォール、枯死率、バイオマス回転による炭素添加の割合を超えるため、DOMプールは減少する。林分成長の後半では、DOMプールが再び増加する。これらの動態を表現するには、より複雑な算定手順、より高次のTierが必要となる。

43

2.3.2 枯死有機物炭素ストック変化量

2.3.2.1 土地利用カテゴリにおける転用のない土地

<式2.17> 枯死有機物中の炭素ストック年間変化量

$$\Delta C_{DOM} = \Delta C_{DW} + \Delta C_{LT}$$

ΔC_{DOM} = 枯死有機物(枯死木及びリター)中の炭素ストック年間変化量(tC/年)

ΔC_{DW} = 枯死木中の炭素ストック変化量(tC/年)

ΔC_{LT} = リター中の炭素ストック変化量(tC/年)

44

＜式2.18＞ 枯死木又はリター中の炭素ストック年間変化量（ゲイン・ロス法）

$$\Delta C_{DOM} = A \cdot \{(DOM_{in} - DOM_{out}) \cdot CF\}$$

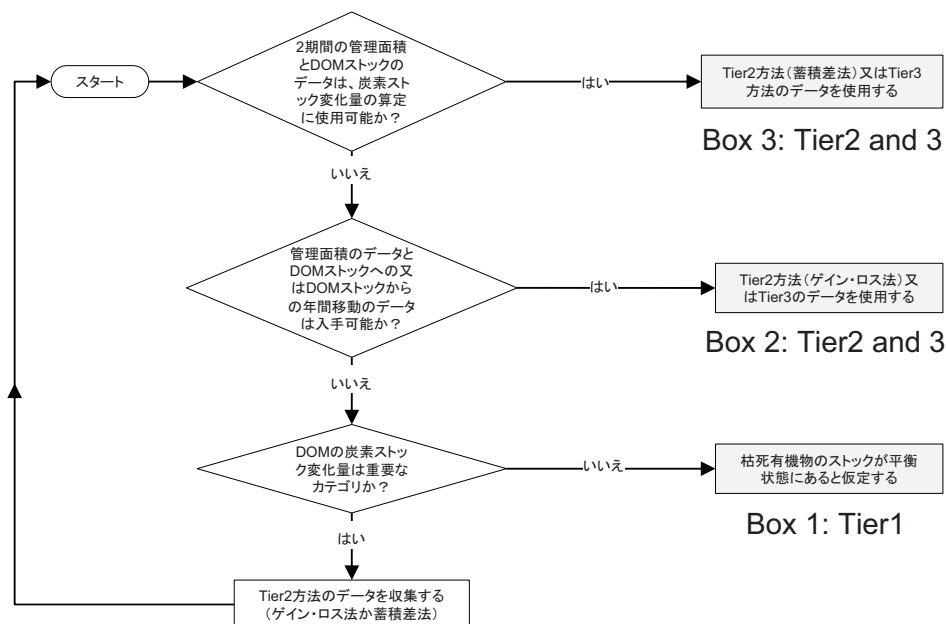
ΔC_{DOM}	= 枯死木又はリター中の炭素ストック年間変化量 (tC/年)
A	= 管理地面積 (ha)
DOM_{in}	= 枯死木又はリタープールへの年間平均移入量 (t-dm/ha/年)
DOM_{out}	= 枯死木又はリタープールからの年間平均移出量 (t-dm/ha/年)
CF	= 炭素含有率 (tC/t-dm)

＜式2.19＞ 枯死木又はリター中の炭素ストック年間変化量（蓄積差法）

$$\Delta C_{DOM} = \left[A \cdot \frac{(DOM_{t2} - DOM_{t1})}{T} \right] \cdot CF$$

ΔC_{DOM}	= 枯死木又はリター中の炭素ストック年間変化量 (tC/年)
A	= 管理地面積 (ha)
DOM_{t1}	= 調査時点t1における枯死木又はリターストック量 (t-dm/ha)
DOM_{t2}	= 調査時点t2における枯死木又はリターストック量 (t-dm/ha)
$T = (t2 - t1)$	= 2回目から1回目までのストック算定時の経過期間 (年)
CF	= 炭素含有率 (tC/t-dm)

【図2.3】枯死有機物炭素ストック変化量算定へのTierを特定するためのデシジョンツリー



47

<式2.20> 枯死有機物へ移行したバイオマス中の年間炭素量

$$DOM_{in} = \{L_{mortality} + L_{slash} + (L_{disturbance} \cdot f_{BLol})\}$$

DOM_{in}	= 枯死有機物へ移入した全バイオマス中の炭素量(tC/年)
$L_{mortality}$	= 枯死による枯死有機物へ移入したバイオマス中の年間炭素量(tC/年)
L_{slash}	= 林地残材として枯死有機物へ移入したバイオマス中の年間炭素量(tC/年)
$L_{disturbance}$	= 攪乱により損失したバイオマス中の年間炭素量(tC/年)
f_{BLol}	= 攪乱による損失から木材が林地に残される割合(枯死有機物への移行率)

48

<式2.21> 枯死によるバイオマス炭素の年間減少量

$$L_{mortality} = \sum(A \cdot G_W \cdot CF \cdot m)$$

$L_{mortality}$	= 枯死により枯死有機物へ移入したバイオマス炭素の年間減少量 (tC/年)
A	= 転用のない土地面積 (ha)
G_W	= バイオマス成長に伴う単位面積当り地上バイオマス変化量 (t-dm/ha/年)
CF	= 炭素含有率 (tC/t-dm)
m	= 地上バイオマス成長量の割合としての枯死率

<式2.22> 林地残材へ移行した年間炭素量

$$L_{slash} = [\{H \cdot BCEF_R \cdot (1 + R)\} - \{H \cdot D\}] \cdot CF$$

L_{slash}	= 林地残材として枯死有機物へ移入したバイオマス炭素年間量 (tC/年)
H	= 丸太年間伐採量 (m ³ /年)
$BCEF_R$	= バイオマス変換拡大係数

49

<式2.23> 土地転用による枯死木及びリター中の炭素ストックの年間変化量

$$\Delta C_{DOM} = \frac{(C_n - C_o) \cdot A_{on}}{T_{on}}$$

ΔC_{DOM}	= 枯死木又はリター中の炭素ストック年間変化量 (tC/年)
C_o	= 転用前の土地利用における枯死木／リターの炭素ストック量 (tC/年)
C_n	= 転用後の土地利用における枯死木／リターの炭素ストック量 (tC/年)
A	= 新しい土地へ 転用された面積 (ha)
T_{on}	= 土地利用カテゴリの移行に伴う期間 (年) (Tier1のデフォルトでは、炭素ストックの増加は20年、炭素減少には1年である。)

50

(表2.2)リター及び枯死木炭素ストック量のTier1デフォルト値

気候 ¹	森林タイプ					
	落葉広葉樹		常緑樹針葉樹		全ての植生タイプ	
	リターの炭素ストック量 (t-C/ha)					
	平均	最小/ 最大	平均	最小/ 最大	平均	最小/ 最大
亜熱帯湿潤林	5.6	4.4-8.1	6.8	4.7-11.6	8.7	1.2-24.0
亜熱帯山地	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
温帯内陸林	23.9	4.6-64.4	66.3	6.0-279.1	47.8	4.6-279.1
温帯山地	3.4	n.a.	3.9	n.a.	3.7	3.4-3.9
温帯ステップ	36.9	7.6-98.8	26.4	7.1-43.0	28.7	3.8-98.8

¹FAO.2012.Forest Resources Assessment Working Paper 179

(表2.2)リター及び枯死木炭素ストック量のTier1デフォルト値(続き)

気候 ¹	森林タイプ					
	落葉広葉樹		常緑樹針葉樹		全ての植生タイプ	
	枯死木炭素ストック量 (tC/ha)					
	平均	最小/ 最大	平均	最小/ 最大	平均	最小/ 最大
亜熱帯湿潤林	4.1	2.5 - 7.5	10.9	3.5 - 32.8	13.2	0.2 - 43.8
亜熱帯山地	n.a.	n.a.	11.8	7.2 - 16.3	11.8	7.2 - 16.3
温帯内陸林	23.6	1.6 - 150.0	22.1	2.1 - 59.5	23.0	1.6 - 150.0
温帯山地	21.2	2.8 - 80.6	48.1	1.7 - 181.8	37.6	1.7 - 181.8
温帯ステップ	26.2	9.7 - 50.0	8.0	n.a.	21.7	8.0 - 50.0

¹FAO.2012.Forest Resources Assessment Working Paper 179

2.3.3 土壌炭素ストック変化量

- 炭素の有機形態と無機形態の両方が土壌に含まれているが、土地利用と管理は通常、有機炭素ストックに大きな影響を与える。したがって、これらのガイドラインで提供される方法は、主に土壌有機炭素に焦点を当てている。
- 全体として、土壌有機炭素に対する土地利用と管理の影響は、鉱質土壌と有機質土壌タイプで著しく異なる。有機質土壌（例、泥炭及び腐植土）は、質量で少なくとも12パーセントの有機炭素を含み（有機土壌分類の特定の基準については、第3章の付録3A.5を参照）、排水が不十分な湿地の条件下で発達する。
- 他のすべての土壌は鉱質土壌タイプに分類され、通常、中程度から十分に排水された条件下で、発生する有機物の量が比較的少なく、湿地を除くほとんどの生態系において優占的に分布する。
- これらの対照的な土壌タイプに対する土地利用と管理の影響について、次の2つのセクションで説明。

53

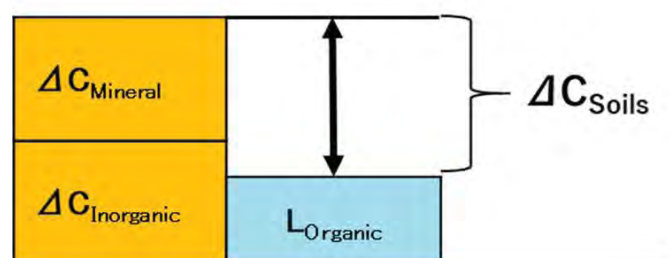
2.3.3 土壌炭素ストック変化量

2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法（転用のない土地／転用された土地）

<式2.24> 土壌炭素ストック年間変化量

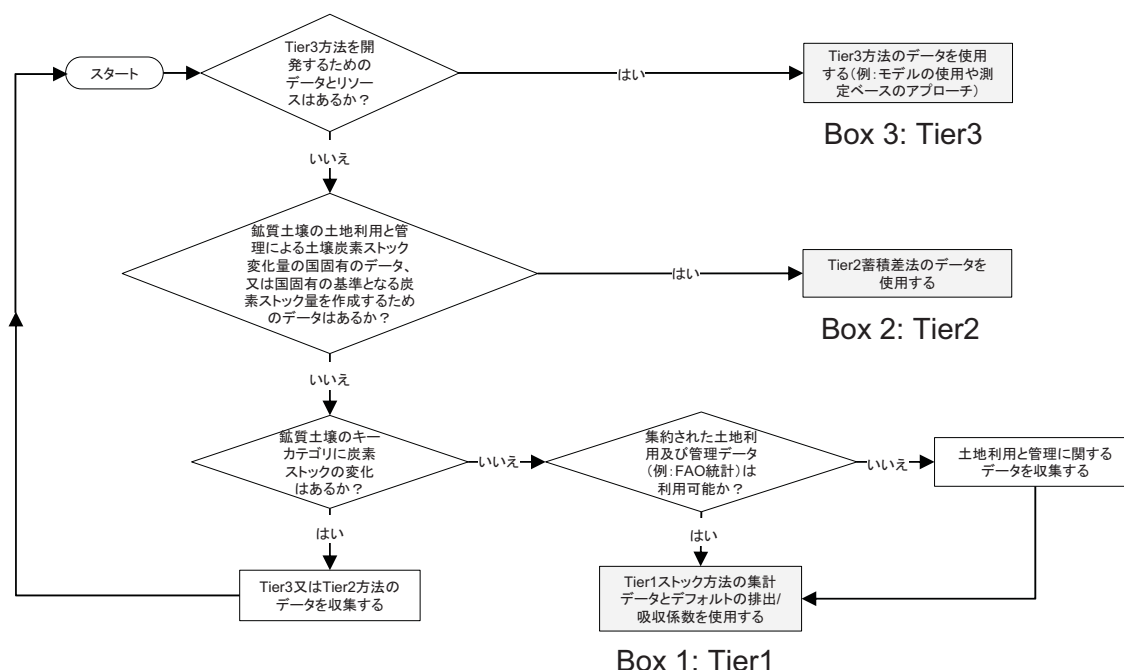
$$\Delta C_{\text{Soils}} = \Delta C_{\text{Mineral}} - L_{\text{Organic}} + \Delta C_{\text{Inorganic}}$$

ΔC_{Soils}	= 土壌炭素ストック年間変化量 (tC/年)
$\Delta C_{\text{Mineral}}$	= 鉱質土壌の有機炭素ストック年間変化量 (tC/年)
L_{Organic}	= 排水された有機質土壌からの炭素年間減少量 (tC/年)
$\Delta C_{\text{Inorganic}}$	= 土壌からの無機炭素ストック年間変化量 (tC/年)



54

【図2.4】鉱質土壌の炭素ストック変化量算定へのTierを特定するためのデシジョンツリー



Tier1 - デフォルト法

▷ 鉱質土壌

<式2.25> 鉱質土壌の有機炭素ストック年間変化量

$$\Delta C_{Mineral} = \frac{(SOC_0 - SOC_{(0-T)})}{D}$$

- $\Delta C_{Mineral}$ = 鉱質土壌の有機炭素ストック年間変化量(tC/年)
 SOC_0 = 最期のインベントリ期間における土壌有機炭素ストック量(tC)
 $SOC_{(0-T)}$ = 初期のインベントリ期間における土壌有機炭素ストック量(tC)
 T = インベントリ期間の経過した年数(年)
 D = 鉱質土壌の有機炭素ストック変化係数の時間依存(年)

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.3 土壌炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地／転用された土地)	
Tier1 - デフォルト法	

NR

▷ 鉱質土壌

＜式2.25＞ 鉱質土壌の有機炭素ストック年間変化量(続き)

$$SOC_{Mineral} = \sum_{c,s,i} (SOC_{REFc,s,i} \cdot F_{LUC,s,i} \cdot F_{MGC,s,i} \cdot F_{Ic,s,i} \cdot A_{c,s,i})$$

c	= 気候帯
s	= 土壌タイプ
i	= 管理システムセット
$SOC_{Mineral}$	= 鉱質土壌の全有機炭素ストック量(tC)
$SOC_{REFc,s,i}$	= 参照条件における土壌有機炭素ストック量(tC)
$F_{LUC,s,i}$	= 土地利用システムのための鉱質土壌の有機炭素ストック変化係数
$F_{MGC,s,i}$	= 管理体制のための鉱質土壌の有機炭素ストック変化係数
$F_{Ic,s,i}$	= 有機土壌改良剤投入のための鉱質土壌の有機炭素ストック変化係数
$A_{c,s,i}$	= 算定されている階層の土地面積(ha)

57

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地／転用された土地)	
Tier1 - デフォルト法	

U

▷ 鉱質土壌

(表2.3) 鉱質土壌のための土壌有機炭素ストック量のデフォルト値

IPCC気候帯*	IPCC土壌クラス		
	高活性粘土	低活性粘土	砂質土壌
冷帯／乾燥	43 ± 8%	33 ± 90%	13 ± 33%
冷帯／湿潤	81 ± 5%	76 ± 51%	51 ± 13%
温帯／乾燥	24 ± 5 %	19 ± 16%	10 ± 5%
温帯／湿潤	64 ± 5%	55 ± 8%	36 ± 23%

*2006 IPCC Guideline p.3.38参照

58

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地／転用された土地)	
Tier1 - デフォルト法	

U

▷ 鉱質土壌

(表2.3) 鉱質土壌のための土壌有機炭素ストック量のデフォルト値

IPCC気候帯*	IPCC土壌クラス	
	ポドゾル	火山灰土壌
冷帯／乾燥	-	20 ±90%
冷帯／湿潤	128 ±14%	136 ±14%
温帯／乾燥	-	84 ±65%
温帯／湿潤	143 ±30%	138 ±12%

*2006 IPCC Guideline p.3.38参照

59

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地／転用された土地)	
Tier1 - デフォルト法	

U

▷ 鉱質土壌

BOX 2.1 (遷移行列を使用した代替式)

式A(活動データ収集に関してアプローチ1)

$$\Delta C_{Mineral} = \frac{[\sum_{c,s,i} (SOC_{REFc,s,i} \cdot FLUC_{s,i} \cdot FMGC_{s,i} \cdot FIC_{s,i} \cdot A_{c,s,i})]_0 - [\sum_{c,s,i} (SOC_{REFc,s,i} \cdot FLUC_{s,i} \cdot FMGC_{s,i} \cdot FIC_{s,i} \cdot A_{c,s,i})]_{(0-T)}}{D}$$

式B(活動データ収集に関してアプローチ2及び3)

$$\Delta C_{Mineral} = \frac{\sum_{c,s,p} \left[\left(SOC_{REFc,s,p} \cdot FLUC_{s,p} \cdot FMGC_{s,p} \cdot FIC_{s,p} \right)_0 - \left(SOC_{REFc,s,p} \cdot FLUC_{s,p} \cdot FMGC_{s,p} \cdot FIC_{s,p} \right)_{(0-T)} \right] \cdot A_{c,s,p}}{D}$$

p = インベントリの計算が実行される領域の個々の単位を表す土地の区画
(用語説明は、式2.25参照)

60

▷ 鉱質土壌

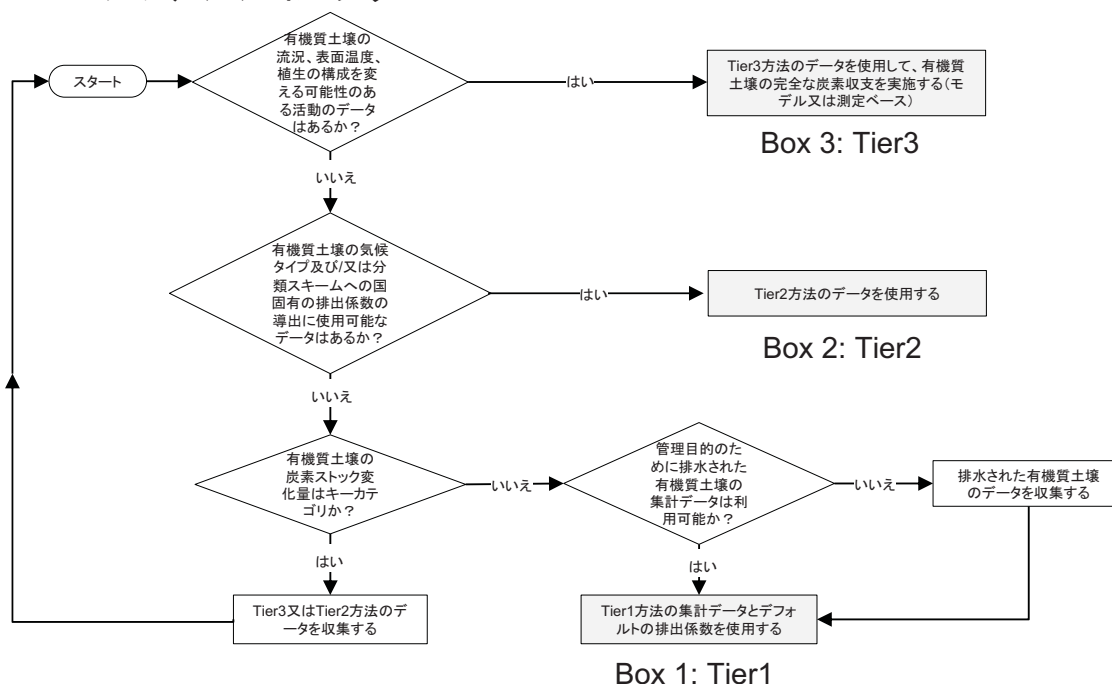
BOX 2.2 アプローチ1とアプローチ2又は3の比較
(移行マトリクスを伴った活動データ)

どちらの方法でも炭素ストック量の異なる算定値が得られる。土地遷移マトリックス 利用のアプローチ2又は3のデータ使用はアプローチ1の集合統計よりも正確である。

データアプローチの算定値への影響は、同じ土地の土地利用に複数の変化がある場合に、大きく異なる。計算には、附属のスプレッドシートが利用できる (Vol4_Ch2_Spreadsheet_Box_2.2_Calculations.xlsx 参照)。

61

【図2.5】有機質土壌の炭素ストック変化量算定へのTierを特定するためのデシジョンツリー



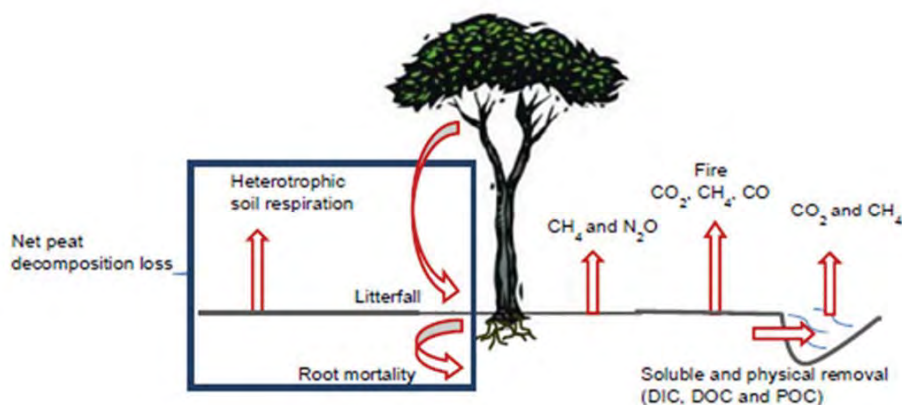
62

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地／転用された土地)	
Tier1 - デフォルト法	

WS
2013

▷ 有機質土壌

- 改良なし。2013 Wetlands Supplement 第2章、2.2節参照(排水された有機質土壌について説明)。



(資料) Wetlands Supplement 第2章 Page 2.7 Figure 2.1より
「排水された有機土壌からのフラックスの概要」

63

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地／転用された土地)	
Tier1 - デフォルト法	

NR
2006

▷ 土壌無機炭素

- 土壌無機炭素ストック量とフラックスに対する土地利用と管理活動の影響は、立地の水文学に関連し、土壌の特定の鉱物学によって決まる。
- 長期的に管理地に適用され、管理地から排出された、溶存二酸化炭素、炭酸塩及び重炭酸塩種及び塩基陽イオン(例えば、Ca及びMg)を追跡する包括的な水理地質化学分析が、純ストック変化量を正確に算定するために必要である。これには、Tier3アプローチが必要となる。

64

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地及び転用された土地)	
Tier2方法	

U

▷ 鉱質土壌

- インベントリに国固有のデータを組み込むことができるTier1方法の拡張で、コンパイラーは国固有の参照炭素ストックを取得するためのデータのみを持っている場合、デフォルトのストック変化係数とともに使用され、鉱物土壌の土壌有機炭素ストック変化量を算定する。
- 国固有のデータを使用して、鉱物性土壌の資源変化を算定するためのTierの式を適用するときに、4つのコンポーネントを改善できる。コンポーネントには、a) 地域又は国固有のストック変化係数の導出、b) 参照条件炭素ストック量、c) 管理システムの仕様及び/又はd) 気候及び土壌カテゴリの分類が含まれる。

65

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地及び転用された土地)	
Tier2方法	

U

▷ 鉱質土壌

- 1) 管理システムの定義
- 2) 気候地域と土壌タイプ
- 3) 参照炭素ストック量
- 4) ストック変化係数

66

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法	NG
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量		
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地及び転用された土地)		
Tier2方法		

▷ 鉱質土壌

BOX 2.2A (質量等価法)

国固有のFLU及びFMGの係数を導出する場合、炭素ストック量に土壌堆積相当量(固定された深さ)を基準とするのではなく、土壌質量換算を基準に表すことにより、土壌炭素ストック量の算定値を改善できる。

土地利用変化に伴う管理慣行の変更に応じて、特定の土壌の深さまでの土壌質量が変化するためである。

等価の土壌質量を歪める土壌の有機質量が変化する影響を減らす、鉱質土壌部分の質量等価のみに基づく方法の提案がある。

67

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法	NG
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量		
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地及び転用された土地)		
Tier2方法		

▷ 鉱質土壌

<式2.25A> 鉱質土壌中のバイオ炭の炭素ストック年間変化量

$$\Delta BC_{Mineral} = \sum_{p=1}^n (BC_{TOTp} \cdot F_{Cp} \cdot F_{permp})$$

$\Delta BC_{Mineral}$	= バイオ炭の投入に伴う土壌炭素ストック変化量(tC/年)
BC_{TOTp}	= 当該年に土壌に投入されたバイオ炭の量(t-dm/年)
F_{Cp}	= タイプpのバイオ炭の炭素含有率(tC/t-dm)
F_{permp}	= タイプpのバイオ炭の100年後の炭素残存率(tC/tC)

- バイオ炭の修正の影響は個別の計算であり、Tier2方法の式2.25の結果と合計されるため、式2.25の鉱質土壌中の全有機炭素ストック量(SOCMineral)の算定値にバイオ炭の炭素量が有機物の投入として含まれないことが必要です。

68

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地及び転用された土地)	
Tier2方法	

NG

BOX 2.2B (バイオ炭生産によるGHG放出源)

バイオ炭生産に伴うGHGの排出と吸収において、活動が発生する発生源に基づき算定と報告が行われる。

バイオ炭生産のための森林の木質バイオマスの伐採と使用に伴う炭素ストック変化量(第4巻)

植物の残留物と堆肥の利用(農地と草地の土壌炭素ストック量に影響を与える)(第4巻)

廃棄物の原料としての利用(第5巻)

化石燃料の使用、加熱プロセス中の非CO₂の放出(第2巻)

69

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地及び転用された土地)	
Tier2方法	

▷ 有機質土壌(Tier2)に関連する事項

- 改良なし。2013 Wetlands Supplement 第2章、2.2節参照。(排水された有機質土壌について説明されている。)

WS
2013

▷ 土壌無機炭素(Tier2)に関連する事項

- Tier1に準ずる

NR
2006

70

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地及び転用された土地)	
Tier3: 進化した評価システム	

U

▷ 鉱質土壌

- モデルベースのアプローチでは、植物の生産及びリターフォールならびに微生物分解から生じる炭素投入を制御するプロセスに対する土地利用及び管理の影響等の定量的な枠組で土壌からの炭素の増減を促進する基礎となるプロセスを捉える、機構的なシミュレーションモデルを使用できる。
- また、バイオマス、枯死したバイオマス、土壌の間の炭素の移動を表す場合があり、CO₂の吸収と大気への排出に対するこれらのプールの炭素ストック量の変化を予測する際、大量な保存を確保するのに有利であり、天候、土壌の特性、その他の変数等の土壌炭素ストックを制御するプロセスに影響を与える環境条件の動的な表現により、土地利用と管理の影響に対処することができる。
- モデル評価に必要とされるのと同様なモニタリングネットワークを使用して、測定ベースのインベントリを作成できる。

71

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地及び転用された土地)	
Tier3: 進化した評価システム	

U

▷ 鉱質土壌

- ただし、完全なインベントリの基礎となる測定ネットワークは、不確実性を最小限に抑え、全ての気候地域と主要な土壌タイプにわたる全ての管理システムと関連する土地利用変化を表すために、かなり大きなサンプリング密度を持つ。
- 純一次生産の変化(及び関連する土壌有機炭素プールへの炭素の流入)と土壌、気候、その他の環境変数との基本的な相互作用のメカニズムと影響を算定し、土壌からのN₂O又はCH₄フラックスの変化に対処して、Tier2で捉えられなかったGHG排出源と吸収源を考慮し、バイオ炭の炭素の無機土壌への適用後の経時的な損失をモデル化することに用いることができる。

72

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地及び転用された土地)	
Tier3: 進化した評価システム	

NG

▷ 鉱質土壌

BOX 2.2C (土壌浸食と堆積の影響の表し方)

土壌浸食及び/又は堆積は、測定された炭素ストック量に著しい影響を与える可能性があるが、実際にはそれらの影響がストック係数に含まれるかどうか判断するかは困難である。

土壌浸食と堆積の影響を含める1つの方法として、土壌浸食と堆積の影響の動態を捉えるために、十分なモデルを使用する必要がある。ただし、この場合モデル予測の評価のために、炭素ストック量に対する浸食と堆積の影響に関するデータも必要となる。

73

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地及び転用された土地)	
Tier3: 進化した評価システム	

U

▷ 鉱質土壌

BOX 2.2D (オーストラリア、フィンランド、日本、米国のモデル使用例)

オーストラリア

FullCAMモデルの使用に基づくTier3インベントリアプローチを実施、0 - 30 cmの土壌層に保持される有機炭素ストックの管理変化を経時的に算定している。インベントリには、森林、農地、草地、農地や草地に転用された森林、草地に転用された森林等が含まれる。

フィンランド

Yasso07土壌炭素モデルをTier3方法として使用し、土地利用変化と同様に、森林及び農地の炭素ストック変化量を報告する。同モデルは、土壌炭素循環に関する仮定に基づき、数学的に定式化された概念としてのモデルである。

74

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地及び転用された土地)	
Tier3: 進化した評価システム	

U

▷ 鉱質土壌

BOX 2.2D オーストラリア、フィンランド、日本、米国のモデル使用例 (続き)

日本

Tier3方法で、Rothamsted Carbonモデル(RothC)に基づいて、農地(耕作地及び管理された草地)の土壌有機炭素ストック変化量を算定する。同モデルは、長期の野外実験を使用して検証された土壌炭素の動的モデルである。

米国

DayCent Ecosystemモデルに基づくTier3方法を使用して、農地と草地の土壌炭素ストック変化量を算定する。同モデルは、Centuryモデル用に開発された3プール構造を使用して土壌有機物の動態をシミュレートするプロセスベースモデルである。

75

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地及び転用された土地)	
Tier3: 進化した評価システム	

NG

▷ 鉱質土壌

BOX 2.2E 質量等価法の検討

プロセスモデルは、モデルのパラメータ化に使用される炭素ストック量データの性質による土壌のかさ密度の変化によって影響を受ける可能性がある。これらのモデルでは、定義された土壌の深さに対する有機炭素の物質収支を経時的にシミュレートする。

モデルが等価質量を基にして炭素ストックに対してパラメータ化されている場合、算定された炭素ストック変化量は、導出された係数に対して、等価質量を基にしたものとなる。

固定された深さの炭素ストックデータを使用してパラメータ化すると、モデル化された炭素ストック量の算定値は固定された深さにのみ適切で、時間の経過に伴う土壌の質量変化に対処できないものとなる

76

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地及び転用された土地)	
Tier3: 進化した評価システム	

WS
2013

▷ 有機質土壌

- 改良なし。2013 Wetlands Supplement 第2章照参照。(排水された有機質土壌について説明されている。)

77

2章 一般的方法	2.3 一般的な算定方法
2.3.1 バイオマス中の炭素ストック変化量	
2.3.3.1 土壌有機炭素量算定方法(転用のない土地及び転用された土地)	
Tier3: 進化した評価システム	

NR
2006

▷ 土壌無機炭素

- 土壌無機炭素プールへの管理の影響に関連するフラックスを算定するために、Tier3アプローチをさらに開発できる。
- 灌漑、森林伐採/植林及び土壌酸性化の管理慣行等の他の土地利用及び管理活動も、土壌無機炭素ストックに影響を与える可能性がある。
- 土地利用と管理による土壌無機炭素の変化を算定するためのモデルはほとんど存在しないため、Tier3アプローチを実施するにはかなりの時間とリソースが必要になる場合がある。
- モデリングアプローチでは、土地利用と管理活動を非人為的影響から区分けする必要がある。。又は、鉍質土壌について前述した土壌有機炭素のモニタリングネットワークと組み合わせて、管理地の基準となる場所を定期的にサンプリングし、元の場所が無機炭素ストック又はCO₂フラックスを決定することにより、測定ベースのアプローチを使用できる。

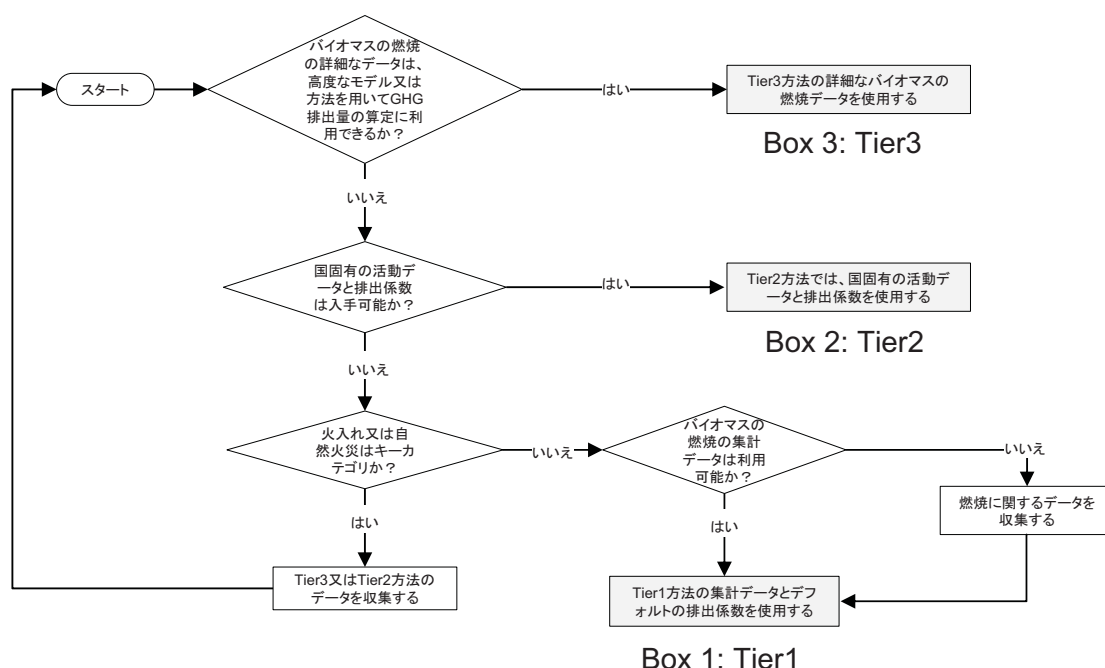
78

2.4 非CO₂の排出量

- バイオマス燃焼、家畜及び肥料管理、又は土壌からの非CO₂ガスの著しい排出がある。
- 土壌からのN₂O排出量は第11章で説明されており、国が全国規模の活動データを使用することを選択した場合に、全国的に(つまり、土地利用タイプに関係なく)適用できる方法に関するガイダンスが示されている。
- 家畜及び糞尿からのCH₄及びN₂O排出量に関するガイダンスは、排出量が土地の特性に依存しないため、第10章でのみ取り上げられている。
- 火災からのGHG排出量(CO₂ガスと非CO₂ガスの両方)を算定する一般的なアプローチを以下に説明する。
- 見落としや二重計上を避けるために、炭素ストックとプールの損失によるCO₂及び非CO₂排出が完全にカバーされているかをチェックすることが推奨される。

方法の記述

【図2.6】火災からの温室効果ガス排出量の算定へのTierを特定するためのデシジョンツリー



<式2.27> 火災からの温室効果ガス排出量の算定

$$L_{fire} = A \cdot M_B \cdot C_f \cdot G_{ef} \cdot 10^{-3}$$

L_{fire} = 火災からの温室効果ガス排出量 (t)

A = 燃焼面積 (ha)

M_B = 燃料の重量 (t/ha)

C_f = 燃焼係数

G_{ef} = 排出係数 (g/kg-dm)

Tier1デフォルト値の利用	参照
M_B	デフォルト値 0 (Tier 1以外は、2.3.2.2 節)
$M_B \cdot C_f$	表 2.4
C_f	表 2.6
G_{ef}	表 2.5

81

(表2.4)さまざまな植生タイプの火災による燃料(枯死有機物及び生体バイオマス)となるバイオマスの燃焼量 (t-dm/ha)

(式2.27で使用され、 $M_B \cdot C_f$ の積を算定する。)

植生タイプ	サブカテゴリ	平均	SE
その他の温帯林	自然火災	19.8	6.3
	伐出後の林地残材の燃焼	77.5	65.0
	伐採と燃焼(伐開の火入れ)	48.4	62.7
その他全ての温帯林		50.4	53.7

82

(表2.5) ANDREAE and MERLET (2001)に基づく、燃焼のさまざまなタイプによる排出係数(g/Kg) (平均±SD)

(式2.27 G_{ef} に用いられる)

カテゴリ	CO ₂	CO	CH ₄	N ₂ O	NO _x
追加の熱帯林	1569 ±131	107 ±37	4.7 ±1.9	0.26 ±0.07	3.0 ±1.4
バイオ燃料の燃焼	1550 ±95	78 ±31	6.1 ±2.2	0.06	1.1 ±0.6

付記: 追加の熱帯林は、全てのその他の森林を含む。

(表2.6) さまざまな植生タイプの火災における燃焼係数

(式2.27 C_f に用いられる)

植生タイプ	サブカテゴリ	平均	SD
その他の温帯林	伐出後の林地残材の燃焼	0.62	0.12
	伐出と燃焼(伐開の火入れ)	0.51	-
その他の全ての温帯林		0.45	0.16

2.5.1 測定ベースのTier3インベントリ

(表2.6A)測定ベースTier3インベントリの透明性報告作成のための文書化例

ステップ1. 収集するサンプルサイズとデザイン、測定を含むサンプリングスキームを開発する	収集するサイズと設計、測定を含むサンプリングスキームの説明 選択したサンプリングスキームを採用する理由
ステップ2. サンプルの場所を選択する	サンプルの場所を選択するプロセスと、除外/交換に対応するプロセスの説明
ステップ3. 初期のサンプルを収集する	サンプルの収集と品質保証/品質管理のプロトコル
ステップ4. 定期的にモニタリングネットワークを再サンプリングする	再サンプリングの戦略の説明と採用された再サンプリング期間の根拠
ステップ5. データを分析し、炭素ストック変化とその他の排出源を特定し、国内の排出量と吸収量の算定値と不確実性の測定を推測する	炭素ストック変化量の算定とそれに関連する不確実性の作成時に採用された再サンプリング期間の処理方法を含むデータ処理と品質保証/品質管理のプロトコル
ステップ6. 報告と文書化	上記の資料はすべて、第三者によるレビュー用のレポートにまとめられている

85

2.5.2 モデルベースのTier3インベントリ

- モデルベースのTier3インベントリは、現場データに基づいて開発される（例：林齢に伴う炭素ストック量の増加を表す林分成長曲線）。
- ハイブリッド（例：枯死有機物の動態に関する研究データから校正されたプロセスモデルと組み合わせた現場データからの林分成長曲線の開発）及び/又は他のタイプのモデル。
- 通常、Tier3の測定ベースの方法では炭素ストックの変化を算定するモデルが必要であるように（セクション2.1.1を参照）、Tier3のモデルベースのインベントリでは、炭素ストックの変化を算定するために使用されるモデルを調整及び検証するための測定が必要である。

86

▷ ステップ1. モデルの選定

- インベントリ作成者は、報告のニーズ、データの利用可能性及び容量に応じて、幅広いモデルタイプから選択する。モデルの選択又は開発の一環として、以下を考慮することが推奨される。
 - 地域又は国の土地利用、生態系及び管理慣行の範囲を適切に表す。
 - 不確実性の定量化を可能にする。
 - 他の利用可能な方法(たとえば、Tier1の方法)と比較して不確実性を減らすか、他の方法で算定値を改善する(例えば、炭素プール又は土地のより完全なカバレッジ)。
 - 利用可能な時間とリソースがある運用コンテキストで実行及び保守できる(例えば、入力データはすぐに利用でき、スタッフは十分な経験と知識を持ち、適切な計算インフラが利用できる)。
 - 関連する土地利用カテゴリごとに排出量と吸収量を報告するために使用できるアウトプットが作成できる。
 - 時系列の一貫した結果が生成できる
 - インベントリで使用される他の既存のモデルと互換性がある。
 - 十分に文書化され、テストされている。

87

▷ ステップ2. モデルの校正

BOX 2.2F データ同化を通じたモデルの校正、評価、改善

カナダの森林セクター向けの炭素収支モデルの開発は1989年に開始され、データの収集、分析、モデルの強化を通じて継続的に改善されている。

NFIの一部として確立された独立したプロットでCBM-CFS3の能力が評価された。結果、生態系の総炭素ストック量の予測(1%以内)で高い一致が示されたが、特定のプール、エコゾーン、異なる樹種のプロットでいくつかの相殺されている誤差が見つかった。

モデルパラメータの校正にはマルコフ連鎖モンテカルロ法が用いられた。校正によりシミュレーションが改善された。(関連事項としてBOX 2.2G参照)

88

▷ ステップ3. モデルの挙動

BOX 2.2G モデルの評価と改善

土壌炭素インベントリのサンプルのサイズは、ほとんどが国レベルの土壌炭素ストック変化量の評価には適切ではない。ほとんどの国ではモデルでの炭素ストック変化量を算定し、繰り返し土壌インベントリを使用して結果を評価している。測定値とモデル算定値の不確実性は、実際の測定値よりも高いことがよくある。このため、モデルの出力結果の評価が困難になる。

フィンランド

Yasso07とROMULvの2つの土壌炭素モデルが使用されている。測定された土壌炭素ストック量をモデル算定値と比較し、モデルの評価結果からは、北緯における下層のリター生産の算定値を改善することが、温室効果ガスインベントリを改善する領域となることが示唆されている。

89

▷ ステップ3. モデルの挙動

BOX 2.2G モデルの評価と改善（続き）

カナダ

CBM-CFS3の能力の評価が行われ、同モデルにより算定された生態系の総炭素ストック量は偏りがなく、地上プロットベースの算定と優位な相関を示した。

その後の分析では、コケが生態系の純一次生産の30%以上に貢献する可能性のある地域の有機炭素ストックの一貫性の予測不足を理由として評価した。コケはIPCCのプールに含まれる炭素ストックではないが、コケの多い森林生態系の炭素ストックとフラックスが大幅に予測不足になることが明らかになっている。

90

▶ ステップ4. 収集及び照合のためのモデルデータの入力

- モデルには、発生源カテゴリに関連するGHGの排出と吸収を算定するために特定の入力データが必要となる。
- これらの入力、気候や土壌のデータから家畜数、森林タイプ、自然攪乱、又は作物の管理慣行にまで及ぶ場合がある。
- このデータの多くはモデル選択プロセス(ステップ1)の一部として収集される可能性があるが、完全な実装の前に追加のデータを収集する必要がある場合がある。
- 例えば、モデルの選択に使用される気候データは特定のポイントのみに関するものだが、実装の場合、モデルは広い領域にわたって空間的にデータを必要とする。これらの場合、新しい空間入力データを開発して、目的の時空間スケールでモデルを実装する必要がある。

▶ ステップ5. モデルの実装

- モデルを実装する際の主な考慮事項は、入力データを準備し、モデルのシミュレーションを実行し、結果を分析するのに十分なコンピュータリソースと人員の時間を確保することである。
- 場合によっては、コンピュータリソースの制限により、国家規模でモデルを実装する際に使用できる空間解像度又は時間解像度の複雑さと範囲が制約される場合がある(つまり、より細かい空間及び時間スケールでのシミュレーションには、より大きなコンピュータリソースが必要になる)。
- モデルの選択及び開発中に、コンピュータニーズの初期分析を検討する必要がある(ステップ1)。プログラミングスクリプトを使用して、モデルの一部を再コーディングし、シミュレーションの空間的及び時間的範囲と解像度を調整することにより、このプロセスの効率を高めることができる場合がある。また、機関の外部にあるコンピュータリソース(クラウドベースのコンピュータ等)にモデルを実装することも可能。

▷ ステップ6. 不確実性の評価

BOX 2.2H モデルの不確実性の定量化

カナダ

不確実性と感度分析は、CBM-CFS3integration統合フレームワークで実施されている。モデルの算定値の不確実性に寄与する広範な要因は全ての国家システムを使用したモンテカルロシミュレーションを使用して変化した。これらの国の算定値により近似95%信頼区間(CI)は定義された。不確実性の最大の原因は、バイオマスの増加を決定する要因とモデル化するために使用されるパラメータに関連

米国

温室効果ガスインベントリについて、農業の土壌炭素及びN₂O排出量の不確実性が分析されている。Tier3の方法は、DayCent Ecosystemモデルを利用して排出量の算定値を生成するために適用される。不確実性は、モンテカルロシミュレーション、モデルの予測誤差の経験的分析及び土地表現測量データに関連する分散の伝播の組み合わせによって定量化される。分析における不確実性の最大の原因は、実証分析で定量化されたモデルの構造とパラメータ化に関連。

93

▷ ステップ7. 独立したデータによるインベントリ算定の検証

- 代替測定値が多くの場合全国規模では存在しないため、Tier3モデルからの国内GHGインベントリ算定値は検証が困難な場合がある。これは、AFOLU分野に固有のものではない。ただし、独立したデータに対してコンポーネントの算定値を検証する機会がある。例えば、モデルから得られた作物の収穫量又は木材収穫の算定値は、作物又は木材の生産統計等の独立したデータと比較できる。そのような比較では、実際に矛盾が方法論の違いによるものである場合、Tier3モデルの問題の指標として考えられる矛盾を解釈しないように、Tier3と比較算定の両方に使用される方法を十分に理解する必要がある。
- インベントリ算定の検証におけるもう1つの有用なステップは、現在の算定を過去数年間のインベントリ算定値と比較することである。活動又は他の入力データの変化と一致しない時系列算定値の変化は、データ処理のエラーを含むさまざまな問題を示している可能性があるため、調べて理解する必要がある。入力データ、モデルパラメータ、又はその他の方法の変更の各変化に起因する算定値の変化を文書化するQA / QC手順を開発することで、インベントリ作成者がインベントリ算定値の検証を支援できる。

94

▷ ステップ8. 報告と文書化

(表2.6B)モデルベースTier3インベントリの透明性報告作成のための
文書化例

ステップ1 モデルの選択又は開発	モデルの説明、適用性を実証するモデルを選択又は設計する理由、モデルをシミュレートするためにパラメータ化された領域外でモデルが使用された場合に考えられる結果の考察
ステップ2 モデルの校正	モデルを校正するために行われたプロセスの説明と手動又は自動の校正を通知するデータソースのドキュメント化
ステップ3 モデルの動作を評価する	モデルが、対象のソース/シンクのカテゴリの炭素ストック、ストック変化量、排出量及び/又は吸収量を算定できることを確認するため、独立した測定を用いたモデルの動作検証の分析結果 独立したデータソースも文書化する必要がある

95

▷ ステップ8. 報告と文書化

(表2.6B)モデルベースTier3インベントリの透明性報告作成のための
文書化例(続き)

ステップ5 モデルを実行する	モデルの適用に使用される手順の概要
ステップ6 不確実性の定量化	モデルの出力結果の不確実性を算定するために取られたアプローチの説明
ステップ7 インベントリ算定の検証	インベントリの検証結果の要約
ステップ8 報告と文書化	QA/QCステップの情報

96

2.6 経年変動

- AFOLU分野では、土地の管理が人間の影響の最良の近似として使用されるため、管理地における排出と吸収の算定値は、人為的影響の優勢が生じることに基づいて、人為的排出と吸収の代替値（プロキシ）として使用される。これにより、算定の一貫性、比較可能性及び透明性が確保される。管理地プロキシ（MLP）と呼ばれるこのアプローチは、現在、AFOLU分野における人為起源の排出と吸収を算定するための唯一の普遍的に適用可能なアプローチとしてIPCCによって認識されている。ただし、管理地における排出量と吸収量は、人為的（直接的及び間接的）効果と自然効果の両方の組み合わせであることも認識されている。
- 管理された土地からの排出と吸収のいくつかは、高い年変動によって特徴付けられる。この経年変動（IAV）とは、時系列内の年ごとの年間排出量と吸収量（E/R）算定値の変動性を指す。
- AFOLU分野では、MLPの適用は、IAVが人為的原因と自然原因の両方によって引き起こされる可能性があることを意味する。GHG排出量の経年変動の主な3つの原因は、AFOLU分野における吸収である。
 - (1) 自然攪乱（山火事、昆虫、暴風、氷嵐等）
 - (2) 光合成と呼吸に影響する気候変動（温度、降水量、干ばつ等）
 - (3) 土地利用（森林伐採等）及び土地利用変化を含む人間活動の変動

97

2.6.1 定義に関する問題

2.6.1.1 直接的、間接的な人為的影響及び自然的影響

【図2.6A】管理地・非管理地に関するGHGの排出・吸収に及ぼす様々な（直接的、間接的）人為、自然要因の影響についての概念図

	管理地	非管理地
直接的に人為に誘導された効果 ・ 土地利用変化 ・ 伐採及びその他の管理	✓	
間接的に人為に誘導された効果 ・ 気候変動により引き起こされる気温、降水量、生育期間長の変化 ・ 大気中のCO₂施肥と窒素及び大気汚染の影響 ・ 自然攪乱体制の変化	✓	✓
自然的効果 ・ 自然的な経年変動 ・ 自然攪乱	✓	✓

98

▷ 自然攪乱の定義

- 自然攪乱とは、重大な排出を引き起こし、国の制御を超え、国により実質的に影響を受けない非人為的事象又は非人為的環境をさす（自然火災、昆虫及び病気の蔓延、異常気象及び/又は地質学的な攪乱等）
- 非人為的事象とは、人為的でない事象（例えば、雷による火災、暴風による被害）をさす
- 非人為的環境とは、これらの攪乱を悪化させる非人為的な条件（例えば、強風、高温、干ばつ等々の特に厳しい条件で発生する火災）
- このガイダンスは、自然攪乱がMLP内の排出量の大きな経年変動を引き起こし、その後の吸収が複数年の期間にわたって発生する生態系における排出と吸収の分離を目的とする
- 森林、木本性草原、排水されない湿地、又は排水されない泥炭地の自然の攪乱に適用可
- 人間行動が、攪乱による重大な放出に関連する条件及び環境に重大な影響を与え及び/又は深く影響する（排水された泥炭地や農地等の）他の土地カテゴリには適用不可

99

（表2.6C）報告された年間の排出・吸収量算定の経年変動について、算出方法により各ドライバーの影響が判別可能かを示す一般ガイダンス

方法			ドライバー			
			直接人為	間接人為	自然気候変動	自然攪乱
蓄積変化法	期間測定		いいえ	いいえ	いいえ	いいえ
	年間測定		はい	はい	はい	はい
ゲイン・ロス法	生体バイオマスプール	排出係数又は収穫予想表に基づくバイオマス成長	はい	いいえ	いいえ	はい
		プロセスモデルに基づく成長	はい	はい	はい	はい
	枯死・土壌有機物プール	排出係数に基づく枯死・土壌有機物動態	はい	いいえ	いいえ	いいえ
		一定気候下での枯死・土壌有機物動態	はい	いいえ	いいえ	はい
		変動気候下での枯死・土壌有機物動態	はい	はい	はい	はい

100

2.6.3 自然攪乱からの排出量・吸収量の報告のための任意のアプローチ

アプローチの要点

1. MLPと一貫性のある管理地からの全体の排出・吸収量の定量化
2. 自然攪乱の定義を適用する国別アプローチの報告
3. 自然攪乱による排出・吸収の確認
 - 攪乱による土地及び面積の確認と土地に適用された方法と基準の記載
 - それらの土地における、自然攪乱のみに伴う排出・吸収量の算定と適用された方法及び基準の記載
4. MLPの分離

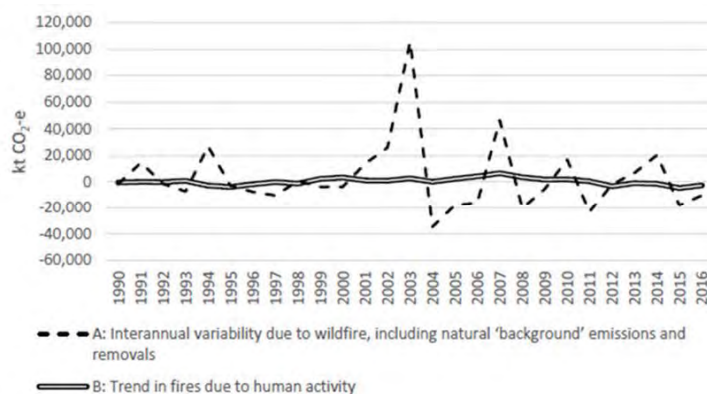
101

2.6.3 自然攪乱からの排出量・吸収量の報告のための任意のアプローチ

BOX 2.2I 自然攪乱による経年変動を算定するオーストラリアの方法

オーストラリアでは、全ての土地は管理地とみなされ、人為的及び自然攪乱からの管理地の全面積と炭素ストック変化量は、MLPと一致して報告されている。

炭素ストックの初期の炭素損失とその後の回復が、攪乱事象の一部としてモデル化されて、攪乱以前のレベルが報告の完全性とバランスの確保に達するまで、炭素ストックは空間的に追跡されます。算定には、気候の変数(FullCAM)と共にDOM/SOM動態を使用したプロセス(ハイブリッド)モデルを使用して作成される。

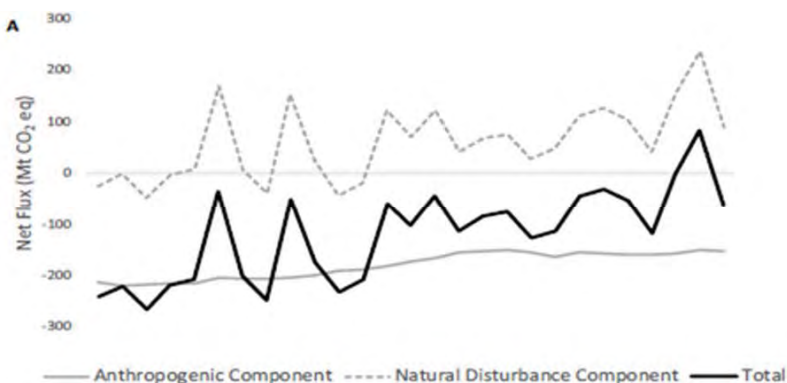


【図2.6B】 オーストラリアの自然火災の排出量を自然攪乱の排出量と吸収量及び人間活動による火災からの排出量と吸収量に分離した例

102

BOX 2.2J (自然攪乱による経年変動を算定するカナダの方法)

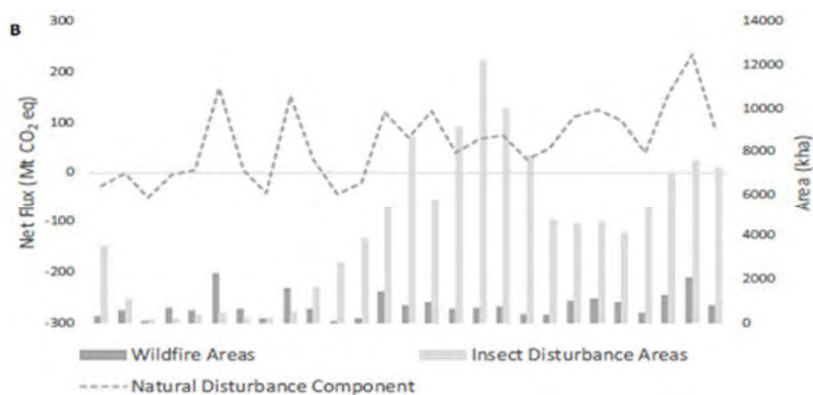
カナダは、2017年の国家GHGインベントリレポートにおいて、転用のない森林における人為的排出と吸収の報告の透明性を高めるため、自然攪乱の影響を受けた管理地における排出及びその後の吸収と森林管理の対象となる残された土地におけるそれとを分割した。2018年には、さらに樹木の枯死率を設定することで自然攪乱を定義した。これにより、フラックスが分離され、人為活動の影響の算定が改善された。また、自然攪乱を含まない排出量と吸収量は、皆伐の割合等の人為活動の速度の変化と相関して、明らかな時間的傾向を示した。



【図2.6C】カナダの転用のない森林の自然攪乱の影響が優勢な土地及び残りの管理された森林で発生する排出量と吸収量の分離例(A) (NIR 2018; Kurz et al. 2018)

103

BOX 2.2J 自然攪乱による経年変動を算定するカナダの方法(続き)



【図2.6C】自然攪乱(主に自然火災)の影響を受ける地域での自然攪乱フラックス(高いIAV、最大250MtCO₂-e/年)(B) (NIR 2018; Kurz et al. 2018)

104