

1. 目的・趣旨

我が国は、気候変動枠組条約・京都議定書により、森林吸収量の算定・報告が義務付けられており、国際的に定められたガイドライン等に基づき、地上バイオマス、地下バイオマス、枯死木、リター（林床に堆積している落葉、落枝、腐植層等。以下「堆積有機物」という）、土壌有機物及び伐採木材製品の6つのプールそれぞれの炭素蓄積変化量（吸収・排出量）を算定する必要がある。

我が国では、枯死木、堆積有機物及び土壌有機物（以下「3プール」という）の炭素蓄積変化量については、プロセスモデル（CENTURY-jfos）を利用して算定しているが（「日本国温室効果ガスインベントリ報告書」第6章参照）、上記ガイドラインにおいて、モデルによる算定についてはモデルの改良に向けた取組及び算定結果の検証が必要とされ、特に現地調査が検証方法として推奨されていることから、平成18年度から当該調査を行っている。CENTURY-jfosの改良に反映させるため、当該調査では同じ地点を繰り返し調査し、3プールの炭素蓄積量を把握することを目的に調査の設計をしている。平成18年度から22年度については、この5年間で全国の調査地を一巡するように3プールの調査を行っている。平成23年度以降については、枯死木の調査は全国の調査地を5年で一巡、堆積有機物及び土壌有機物については10年で一巡するように調査期を設定している。なお便宜上、平成18～22年度を第一期、平成23～27年度を第二期、平成28～令和2年度を第三期、令和3～7年度を第四期とする。

本業務は、別途実施された森林吸収源インベントリ情報整備事業 土壌等調査（試料収集分析業務）（全国を6ブロックに分割して実施している。以下「試料収集分析業務」という）の受託者（以下「受託者」という）に対する調査方法の指導や、調査結果の精度管理を行うとともに、全国の調査結果を取りまとめ、条約事務局への報告に耐えうる検証を行い、必要に応じてモデルの改良を行うことを主な目的とする。

モデルの時間応答を検証するためには同一地点の経時変化のデータが必要であり、現在の調査とは別の固定試験地を設定する必要がある。平成15年度から4か年で行われた林野庁の森林吸収源計測・活用体制整備強化事業で設定された試験地をベンチマークサイトとして使用し、植栽後20年間の土壌の炭素蓄積量変化を把握することを目的として、ベンチマーク調査を行う。

事業の成果の活用やモデルの精度向上のため、過年度事業で得られたデータセットの公開に備えてのデータ公開プラットフォームの検討、日本において土壌炭素蓄積の地理空間分布の決定への寄与が大きいと考えられる土壌母材への火山灰混入の実態把握についての検討を行う。

2. 事業の実施体制

本事業では、受託者に対する調査方法の指導、現地調査ならびに試料の分析の進行管理・精度管理を行い、全国の調査結果の取りまとめと吸収・排出量の算定報告への反映方法の検討を行う。これらの事業は国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所（以下、森林総研）立地環境研究領域が中心となり、森林総研各支所の立地部門研究者と共に行われた（図2-1）。

具体的には、調査マニュアルの改訂は、立地環境研究領域が中心となり各支所の協力を得て行った。受託者に対する指導は、全体説明会は立地環境研究領域で行い、各ブロックにおける現地講習会は各支所と立地環境研究領域が分担協力して行った。試料収集分析業務の現地調査結果並びに試料調整と炭素分析の精度管理は、立地環境研究領域と各支所が分担して行った。現地調査の枯死木炭素蓄積量検証調査は立地環境研究領域と各支所が分担して行った。調査結果の集約は立地環境研究領域で行った。調査結果の吸収・排出量算定報告への反映方法の検討は立地環境研究領域が担当した。

また、令和4年2月16日には、令和3年度の結果について検討するため、3名の有識者を招いて検討会を開催した（表2-1参照）。

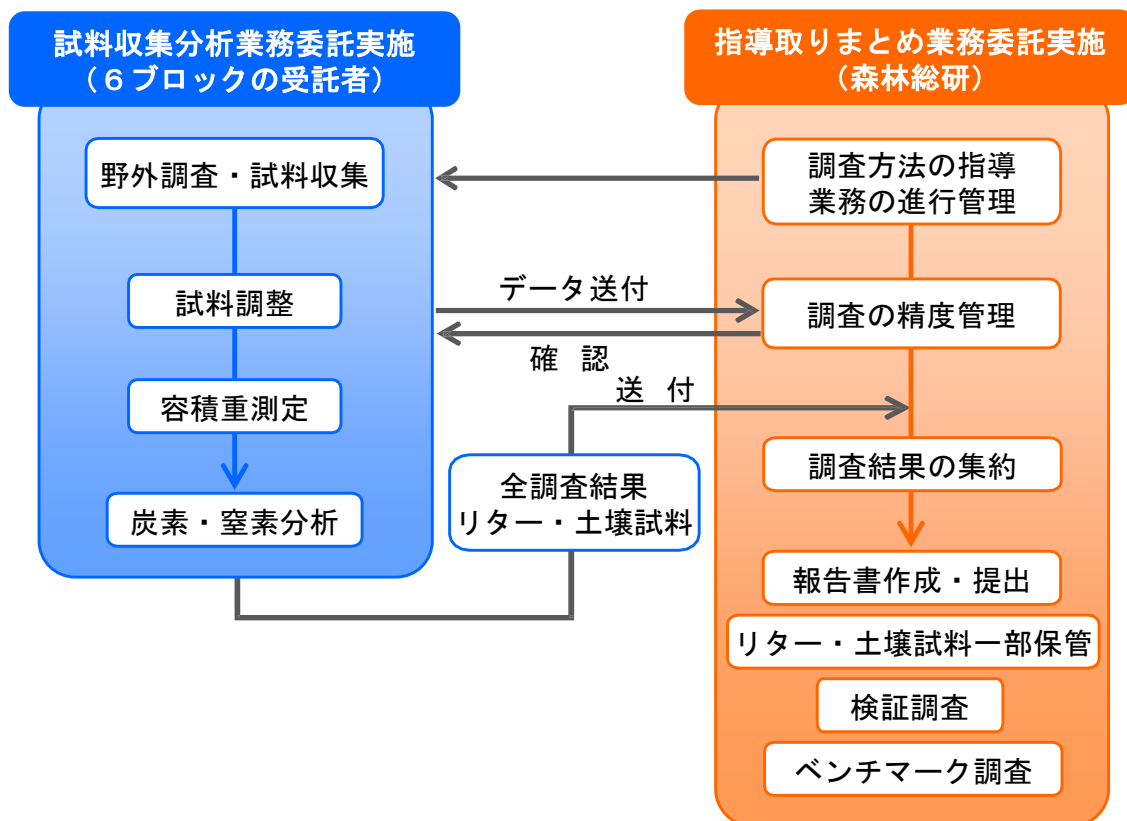


図 2-1 試料収集分析業務受託者との関係

表 2-1 検討会委員一覧

氏 名	所 属
太田 誠一	国際緑化推進センター 理事長
丹下 健	東京大学大学院農学生命科学研究科 教授
前島 勇治	農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境研究部門 土壌環境管理研究領域 土壌資源・管理グループ グループ長

(敬称略・五十音順)

3. 調査・分析方法

3.1. 調査地点

調査は、林野庁が実施している森林生態系多様性基礎調査（平成21年度までは森林資源モニタリング調査）の特定調査プロット（格子点IDの末尾が「0」と「5」の調査プロット）を対象とした。ただし、第三期森林土壌インベントリ調査で調査不適地と判断した地点は調査対象から除外した。除外により減少する地点数を補うため、第二期以降不実施であっても、令和1、2年度の森林生態系多様性基礎調査で調査を実施した地点の一部を調査対象とし、第四期5箇年の調査地点数は第三期と同様2,492地点とした。本年度の調査地点は、第二期森林土壌インベントリ調査における平成23年度の調査地点を中心に選定した。

3.2. 現地調査および試料採取

現地調査および試料採取については森林総研が確立した方法（「森林土壌インベントリ方法書 第四期版（1）野外調査法」、以下マニュアル）により行った。概要は以下のとおりである。

- ① 各調査プロットを、カテゴリ A とカテゴリ B に区分した。区分は第二期森林土壌インベントリ調査と同様に、格子点IDの末尾が「0」の調査プロットをカテゴリ A、「5」の調査プロットをカテゴリ B とした。カテゴリ A の調査プロットでは、概況調査、枯死木調査、堆積有機物量調査、土壌炭素蓄積量調査を行った。カテゴリ B の調査プロットでは概況調査と枯死木調査のみを行った。カテゴリ A の調査プロットは260地点、カテゴリ B の調査プロットは280地点であった。
- ② 概況調査では、森林生態系多様性基礎調査プロットの中心杭および円周杭の確認、植生（林種）調査、地形概況調査を行った。また、試験地の概況を把握するため、中心杭から北、東、南、西の4方向について林相写真の撮影を行った。
- ③ 枯死木調査のうち倒木については、IPCC のGPG-LULUCF に記載されているラインインターセクト法で測定した。森林生態系多様性基礎調査プロットの大円内で、南北方向と東西

方向の直径ラインと交差する直径5 cm以上のすべての倒木（ライン上の高さが1.5 m以下）について交差部分の直径を測定し、樹種と腐朽の程度（分解度）を判定した。測定した直径から分解度別の倒木の材積を計算し、これに分解度に応じた材密度及び炭素含有率を乗じて炭素蓄積量を算出した。

- ④ 枯死木調査のうち立枯木と根株については、帯状の全数調査法（ベルト法）で測定した。ラインの両側各1 mの範囲内に存在する立枯木、根株について直径と高さを測定し、樹種と分解度を判定した。直径と高さから地上に露出した部分の材積を計算（立枯木は森林総研の「幹材積計算プログラム.xls」を使用、根株は円錐台と仮定）し、直径から地下部の材積を推定して地上部と地下部の材積の合計を計算し、これに分解度に応じた材密度及び炭素含有率を乗じて炭素蓄積量を算出した。
- ⑤ 堆積有機物量調査については、森林生態系多様性基礎調査プロットの大円周囲の4地点において調査を行った。4地点はマニュアルに指定された位置から選定した。林床に堆積している有機物を落枝（試料T）およびそれ以外（試料K）に区分し、L、F、Hの各層の厚さを計測し、0.25 m²（50 cm×50 cm）の面積から試料を採取した。
- ⑥ 土壌炭素蓄積量調査については、上記堆積有機物量調査を実施した4地点において行った。深さ40 cm程度の土壌断面を作成し、根や石礫率等の断面記載と写真撮影を行い、深さ0～5 cm、5～15 cm、15～30 cmの3層（以後深度という）に区分した。目視により各深度の石礫率を判定し、各深度から決められた体積の化学分析用の土壌試料と定積細土重測定用の定体積試料を採取した。化学分析用試料は現地で4地点のサンプルを混合し、その一部を持ち帰った。

3.3. 試料調整および分析

炭素量分析用の土壌試料および堆積有機物試料の調整、定積細土重の測定、炭素量の測定については森林総研が確立した方法（「森林土壌インベントリ方法書 第四期版（2）試料分析」）により、受託者が行った。概要は次の通りである。

3.3.1. 定積細土重の測定

定積細土重測定用の定体積試料について、全乾燥重量から礫・根重量を差し引いて細土重量を求める方法で、一定容積当たりの細土の重量（定積細土重）を測定した。

3.3.2. 炭素量分析用試料の調整

土壌試料については、室温で一定重量になるまで乾燥させた後、土塊をつぶしながら円孔篩（孔径 2 mm）でふるい、礫や根などの植物遺体を取り除いた。篩を通過した土壌を良く混合し、分析試料用チャック付きポリ袋と試料保存用チャック付きポリ袋に取り分けた。

堆積有機物試料については、恒温乾燥機で 70°C、48 時間乾燥させた後、試料粉碎機で粉碎し、2 mm 未満の試料に調整した。試料をよく混合し、分析試料用チャック付きポリ袋と試料保存用チャック付きポリ袋に取り分けた。

3.3.3. 含水比の測定

土壌試料については、試料（2～3 g）を105℃、24時間の条件下で乾燥した際の重量減少から含水比を計算した。堆積有機物試料については、試料（1 g）を70℃、24時間の条件下で乾燥した際の重量減少から含水比を計算した。

3.3.4. 炭素量の分析

炭素濃度の分析は乾式燃焼法による分析装置を用いた。分析は二連で行い、以下に示す分析値の精度管理基準により、基準から外れる場合は基準を満たすまで、再分析を実施した。また、分析の信頼性を確認するために、分析値が既知の標準試料を50試料につき1点程度の割合で測定した。

3.3.5. 分析の精度管理基準

3.3.5.1. 繰り返し精度の保証

ア) 絶乾土あたりの炭素濃度

- a. 2つの値の平均が10 g/kg未満の場合、それら2つの値の差が1.13 g/kg以下であること。
- b. 2つの値の平均が10 g/kg以上50 g/kg未満の場合、変動係数（標本標準偏差÷平均×100）が8%以下であること
- c. 2つの値の平均が50 g/kg以上600 g/kg以下の場合、変動係数が4%以下であること。

イ) 絶乾土あたりの窒素濃度

- a. 2つの値の平均が5 g/kg未満の場合、それら2つの値の差が1.41 g/kg以下であること。
- b. 2つの値の平均が5 g/kg以上10 g/kg未満の場合、変動係数（標本標準偏差÷平均×100）が20%以下であること。
- c. 2つの値の平均が10 g/kg以上30 g/kg以下の場合、変動係数が10%以下であること。

3.3.5.2. 絶対精度の保証

試料収集分析業務受託者の分析結果と指導取りまとめ業務受託者が確定させた分析値とを2連の測定とみなして、上記3.3.5.1の繰り返し精度の保証に示される基準に従って精度確認を行った。

3.4. 炭素蓄積量の計算

3.4.1. 枯死木プールの炭素蓄積量

ラインインターセクト法で測定した倒木プールの炭素蓄積量は、枯死木の分解度別に以下の式に従って計算し、その結果を合計した。

$$\text{枯死木炭素蓄積量(kg/m}^2\text{)} = \Sigma \text{ 分解度別枯死木炭素蓄積量(kg/m}^2\text{)}$$

$$\text{分解度別枯死木炭素蓄積量(kg/m}^2\text{)} = \text{材積(m}^3\text{/ha)} \times \text{材密度(g/cm}^3\text{)} \times \text{炭素濃度(g/kg)} \times 10^{-4}$$

ここで、

$$\text{材積}(\text{m}^3/\text{ha}) = \frac{\pi^2 \times \Sigma (\text{枯死木直径}(\text{mm}) \times 10^{-1})^2}{8 \times (\text{南北ライン長}(\text{m}) + \text{東西ライン長}(\text{m}))}$$

材密度：樹種（判別不明を含む）と分解度によって異なる定数¹⁾（表3-1）

である。

表3-1 枯死木の分解度別材密度

分解度	材密度(g/cm ³)			
	針葉樹	広葉樹	判別不明	タケ類
0	0.347	0.495	0.421	0.224
1	0.347	0.495	0.421	0.209
2	0.278	0.399	0.3385	0.155
3	0.206	0.303	0.2545	—
4	0.148	0.207	0.1775	—
5	0.112	0.112	0.112	—

タケ類の分解度は0、1、2の代わりにa、b、cの3段階で記載

ベルトトランセクト法で測定した立枯木と根株プールの炭素蓄積量は、枯死木の分解度別に以下の式に従って計算し、その結果を合計した。

$$\text{枯死木炭素蓄積量}(\text{kg}/\text{m}^2) = \Sigma \text{分解度別枯死木炭素蓄積量}(\text{kg}/\text{m}^2)$$

$$\text{分解度別枯死木炭素蓄積量}(\text{kg}/\text{m}^2) = \text{材積}(\text{cm}^3/\text{m}^2) \times \text{材密度}(\text{g}/\text{cm}^3) \times \text{炭素濃度}(\text{g}/\text{kg}) \times 10^{-6}$$

ここで、

$$\text{材積}(\text{cm}^3/\text{m}^2) = \frac{(V_{S1} + \dots + V_{Si} + \dots + V_{Sm}) + (V_{D1} + \dots + V_{Dj} + \dots + V_{Dn})}{2(\text{m}) \times (\text{南北ライン長}(\text{m}) + \text{東西ライン長}(\text{m}))}$$

m：当該格子点で測定された根株の合計本数

n：当該格子点で測定された立枯木の合計本数

V_{Si}：i番目の根株の体積（cm³）

V_{Dj}：j番目の立枯木の体積（cm³）

材密度：樹種（判別不明を含む）と分解度によって異なる定数（表3-1）

である。

どちらの方法においても、樹種や分解度に関わらず枯死木の炭素濃度は500g/kgとした。

3.4.2. 堆積有機物プールの炭素蓄積量

堆積有機物プールの炭素蓄積量は、採取した4地点それぞれについて枝（試料T）とそれ以外（試料K）に分けて以下の式に従って計算し、その合計値について4地点の平均値をとった。

$$\text{堆積有機物炭素蓄積量}(\text{kg}/\text{m}^2) = \text{試料乾重}(\text{g}) \div \text{採取面積}(\text{m}^2) \times \text{炭素濃度}(\text{g}/\text{kg}) \times 10^{-6}$$

ここで、

採取面積(m^2) = $0.25(\text{m}^2) \times \cos(\text{傾斜角})$

試料乾重(g)：各地点の各試料別乾燥重量

炭素濃度(g/kg)：各試料別の分析値（4 地点とも同じ）

である。

3.4.3. 土壌プールの炭素蓄積量

土壌プールの炭素蓄積量は以下の式に従って深度毎に計算し、その合計値について4 地点の平均値をとった。

土壌炭素蓄積量(kg/m^2)

$$= \text{土壌体積}(\text{m}^3/\text{m}^2) \times \text{定積細土重}(\text{Mg}/\text{m}^3) \times \text{炭素濃度}(\text{g}/\text{kg}) \times (1 - \text{石礫率}(\%)) \div 100 \\ \times 10^{-1}$$

ここで、

定積細土重(Mg/m^3)：定容積中の細土重量

石礫率(%)：断面記載の石礫率(%)

である。

3.5. 参考文献

- 1) 鶴川 信ら（2012）日本の森林における枯死木、堆積有機物、土壌の炭素蓄積量：森林土壌インベントリの第1報（英文）．森林総合研究所研究報告 11(4): 207-221.

4. 調査の品質確保

4.1. はじめに

調査・分析の品質を保つため、森林吸収源インベントリ情報整備事業土壌等調査の指導とりまとめ業務の一環として、野外調査方法を詳細に記述した方法書³⁾を作成するとともに、調査方法に関する講習会を開催し、調査が的確に行われるように指導した。また試料調整および化学分析についても方法書⁴⁾を作成するとともに、精度基準を設けて分析精度の向上を図った。さらに野外や室内で得られたデータの入力を援助するソフト（データ入力テンプレート）を準備した。入力された値については元の野帳と比較し入力に誤りがないことを確認した。

以上のデータの品質を保つ様々な努力を行っても、測定結果の記載ミスなどの人為エラーを避けることは難しい。そこで、土壌学におけるこれまでの知見や、堆積有機物や土壌の炭素濃度に関する国際的な基準、さらには統計学的手法に基づき、データの品質管理基準を設定した。

4.2. QA/QC 基準の設定^{*1}

堆積有機物は土壌学では泥炭土とともに有機質土壌物質に位置づけられる。有機質土壌物質は、国際的な土壌分類である WRB¹⁾では有機炭素濃度 20%以上と定義され、米国土壌分類⁵⁾では水没期間が年間 30 日未満の場合は炭素濃度 20%以上と定義されている。そこで本事業でも堆積有機物は炭素濃度 20% (200 g/kg) 以上とし、20% (200 g/kg) 未満の場合には異常値とすることにした。

本事業の土壌は土壌学でいう鉱質土壌物質に相当する。鉱質土壌物質は、WRB¹⁾では有機炭素濃度 20%未満と定義され、米国土壌分類⁵⁾では水没期間が年間 30 日未満の場合は有機炭素濃度 20%未満と定義されている。ただし火山灰土壌は有機物集積能力が高い特殊な土壌であり、無機質土壌物質であっても炭素濃度が 20%を越える場合があることから、米国土壌分類⁵⁾では火山灰土壌に対してはこの基準を適用しないとしている。実際、わが国においても黒色土では炭素濃度 20%以上の土壌が報告されている。ただし 25%を超えることはほとんどない。そこで土壌については炭素濃度 25% (250 g/kg) 未満とし、25% (250 g/kg) 以上の場合には異常値とすることにした。

本事業の目的の 1 つである森林の土壌中の炭素蓄積量を把握するために必要な土壌乾燥密度は、一定体積あたりの細土乾燥重から算出するものであり、森林土壌の調査で従来用いられてきた細土容積重の定義とは異なる。細土容積重は、一定体積に含まれる細土乾燥重を石礫の体積と根などの粗大有機物の体積を除いた空間の体積で除したものである。それに対して、本事業の土壌乾燥密度は、一定体積に含まれる細土乾燥重をその体積で除したものである。その際に分母となる体積には石礫の体積と根などの粗大有機物の体積も含まれるため、本事業の土壌乾燥密度は、従来の細土容積重に比べて小さな値になる。なお農地土壌で容積重 (bulk density)

^{*1} QA とは Quality Assurance (品質保証)、QC とは Quality Control (品質管理) のことである。

という場合は、一定体積の土壌乾燥重をその体積で除したものである。農地土壌では一般に石礫や粗大有機物をあまり含まないことから、採土円筒で採取した土壌を石礫や粗大有機物を除かずにそのまま乾燥して重量を測定し、その円筒の容積で除したものを容積重という。以上より、本事業の土壌乾燥密度は細土容積重や容積重とも異なることから、「定積細土重」と呼ぶことにする。

細土容積重、定積細土重、容積重の関係を、石礫や根を含む土壌を例に説明する（図 4-1）。400 cm³の採土円筒で採取した土壌に、石礫と根が含まれており、それらの体積がそれぞれ 30 cm³、10 cm³、重量がそれぞれ 60 g、0.2 g の場合、細土容積重、定積細土重、容積重は、それぞれ 0.556 g/cm³、0.500 g/cm³、0.651 g/cm³ になる。このように石礫を含む土壌では、定積細土重<細土容積重<容積重の関係になる。



$$\text{細土容積重} = 200 / (400 - 30 - 10) = 0.556 \text{ g cm}^{-3}$$

$$\text{定積細土重} = 200 / 400 = 0.500 \text{ g cm}^{-3}$$

$$\text{容積重} = (200 + 60 + 0.2) / 400 = 0.651 \text{ g cm}^{-3}$$

図 4-1 同一土壌における細土容積重、定積細土重、容積重の違いの例

土壌中に含まれる粒子の比重が等しければ、粒径が大きいほど土壌密度は大きくなる関係にある。そのため粒径が大きい砂質土壌は粒径の細かな粘土質土壌に比べて土壌密度は大きくなる。土壌は圧力を受けると、土壌に含まれる粒子間のスペースが減少し、その結果として土壌密度は高まる。このことから、強度の圧密を受けた砂壤土の土壌密度（この場合は容積重）1.9 Mg/m³ という米国の農地土壌の例²⁾は土壌密度の最大と考えてよいであろう。わが国の森林土壌が圧密を受けることは一般的にはなく、細土容積重が 1.5 Mg/m³ を超えることは稀である。先に述べたように定積細土重は、細土容積重や容積重よりも小さい関係にあることから、その値が 2.0 Mg/m³ を超えることはありえないと考えられる。そこで定積細土重が 2.0 Mg/m³ 以上の場合には異常値とすることにした。

さらに土壌の定積細土重に対しては統計的手法によっても異常値を摘出した。方法としては Smirnov-Grubbs の外れ値の検定（上側 0.5%）を行った。その際に 1 格子点内のすべての試料（NESW の 4 地点のそれぞれで、0～5、5～15、15～30 cm 深の 3 層による最大 12 点）を 1 グループとし、定積細土重について解析した。

QA/QC 基準を表 4-1 に示した。基準を満たさないデータは異常値として炭素蓄積量の計算から除外した。

表 4-1 QA/QC の基準

試料の種類	対象項目	QA/QC の基準
堆積有機物	炭素濃度	200 g/kg 未満の場合は異常値として除外
土壌	炭素濃度	250 g/kg 以上の場合は異常値として除外
	定積細土重	2.0 Mg/m ³ 以上の場合は異常値として除外
		1 格子点内のすべての試料を 1 グループとし、Smirnov-Grubbs の外れ値の検定（上側 0.5%）を行い、異常値を抽出

4.3. 基準の適用方法

4.3.1. 堆積有機物試料の炭素濃度

堆積有機物試料は、東西南北 4 地点の混合試料であるため、QA/QC 基準によって試料 T、試料 K のいずれかの炭素濃度が異常値となった場合は、当該格子点は堆積有機物の集計から除外した。図 4-2 のように、試料 T の炭素濃度が QA/QC 基準を満たさなかった場合、その格子点は集計から除外される。

4.3.2. 土壌（鉍質土壌）の炭素濃度および定積細土重

第三期より化学分析用土壌試料についても東西南北 4 地点の試料を混合し、混合試料として炭素濃度を測定している。定積細土重においては第二期までと同様に QA/QC によって異常値がある場合は NESW の当該地点のデータは集計から除外した。従って、土壌の炭素濃度は堆積有機物と同様に、0～5、5～10、15～30cm のいずれかの層の炭素濃度が QA/QC 基準を満たさなかった場合、その格子点は集計から除外される（図 4-3）。

4.4. 結果および考察

堆積有機物については QA/QC 基準の適用による炭素濃度の異常値は検出されなかった。森林総研の試料調整チェック班による仮提出データの点検において、1 地点で除外すべき試料が検出され、この地点のデータは除外した。試料調整時に 4 方位の採取箇所のうち 2 箇所の試料で異常が報告された地点が 2 地点あり、2 地点とも当該試料を除いた 2 箇所の試料を用いた。土壌炭素蓄積量調査を実施した 217 地点のうち 216 地点のデータが炭素蓄積量計算に使用可能であった。（表 4-2）。各格子点 4 箇所の堆積有機物調査地点のうち何地点のデータを炭素蓄積量計算に使用したかを見ると、試料調整チェックと QA/QC 基準の適用により、堆積有機物炭素蓄積量計算に 4 地点全てのデータを用いる格子点数は、適用前には 172 地点であったものが QA/QC 基準の適用後は 171 地点となった。3 地点、2 地点、1 地点のデータを使用した格子点数は変化しなかった（表 4-3）。堆積有機物炭素蓄積量の平均値、標準偏差、標準誤差は QA/QC 基準適用により影響を受けなかった（表 4-2）。

例 試料 T の炭素濃度 < 200g/kg の場合

→ 4 地点すべてで炭素量が算出できないため、その格子点は集計対象外になる

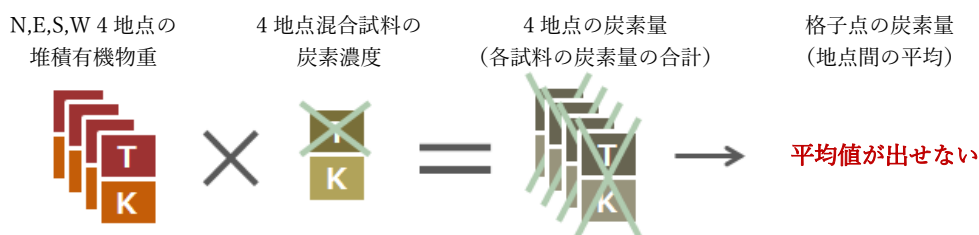


図 4-2 堆積有機物炭素蓄積量の計算での除外例

例 深さ 15-30cm の炭素濃度 > 250g/kg の場合

→ 4 地点すべてで炭素量が算出できないため、その格子点は集計対象外になる

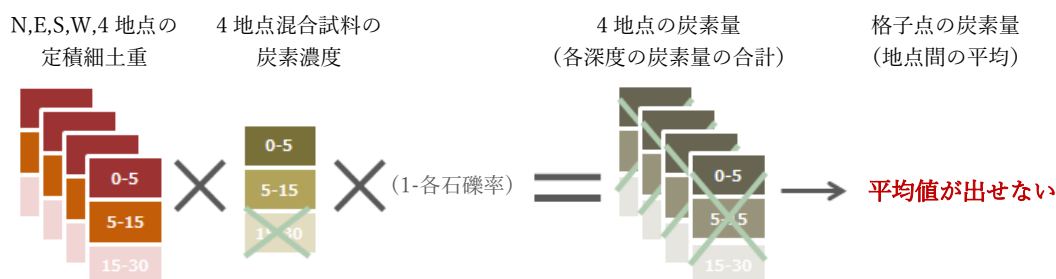


図 4-3 土壌炭素蓄積量の計算での除外例

土壌については、試料調整チェック班による点検で 1 深度が計算過程に疑問があるとして除外された地点があった。この地点では、当該深度を含む土壌炭素蓄積量調査箇所は集計から除外し、残りの 3 箇所の平均値を用いた。また、上述の堆積有機物試料調整時に異常が報告された 2 地点について野外調査データを再検討した結果、2 地点とも集計から除外することが妥当と判断した。QA/QC 基準の適用により、定積細土重の外れ値はなく、化学分析用土壌試料では炭素濃度の異常値が 14 試料検出された。それらを除外した結果、炭素蓄積量計算に使用可能な格子点数は全 217 地点のうち 208 地点であった（表 4-4）。試料調整チェックと QA/QC 基準の適用により、土壌炭素蓄積量計算に用いられる格子点内の地点数は 4 地点、3 地点、2 地点、1 地点の格子点数がそれぞれ 169→156、31→35、15→15、2→2 と変化した（表 4-5）。炭素蓄積量は QA/QC 基準適用前 8.57 kg/m² に比べて適用後は 8.54kg/m² とわずかに少なかった。標準偏差は 3.54 kg/m² から 3.53 kg/m² とわずかに小さくなり、標準誤差は 0.240 kg/m² から 0.245 kg/m² とわずかに大きくなった。

土壌において、炭素濃度が高いために QA/QC 基準適用によって除外された試料の多くは同時に定積細土重が低い傾向にあった。これは、試料採取の際、堆積有機物と土壌の境界の判定が適正になされず、土壌試料に堆積有機物が混入した可能性を示唆している。このことから、野外における試料採取についても一層の指導が必要である。

表 4-2 堆積有機物に対する QA/QC 基準適用前後の格子点数と炭素蓄積量

	格子点数	炭素蓄積量(kg/m ²)		
		平均	標準偏差	標準誤差
QA/QC 適用前	217	0.34	0.17	0.012
QA/QC 適用後	216	0.34	0.17	0.012

表 4-3 堆積有機物炭素蓄積量計算に用いる各格子点の地点数別の格子点数

	4 地点	3 地点	2 地点	1 地点
QA/QC 適用前	172	30	14	1
QA/QC 適用後	171	30	14	1

表 4-4 土壌に対する QA/QC 基準適用前後の格子点数と炭素蓄積量

	格子点数	炭素蓄積量(kg/m ²)		
		平均	標準偏差	標準誤差
QA/QC 適用前	217	8.57	3.54	0.240
QA/QC 適用後	208	8.54	3.53	0.245

表 4-5 土壌炭素蓄積量計算に用いる各格子点の地点数別の格子点数

	4 地点	3 地点	2 地点	1 地点
QA/QC 適用前	169	31	15	2
QA/QC 適用後	156	35	15	2

4.5. 参考文献

- 1) IUSS Working Group WRB (2015) World reference base for soil resources 2014, Update 2015. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- 2) Lal, R. (2006) Encyclopedia of Soil Science. 2nd edition. Taylor and Francis, Florida.
- 3) 森林土壌インベントリ作業部会 (2021) 森林土壌インベントリ方法書 第四期版 (1) 野外調査法. 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所.
- 4) 森林土壌インベントリ作業部会 (2021) 森林土壌インベントリ方法書 第四期版 (2) 試料分析. 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所.
- 5) Soil Survey Staff (2014) Keys to Soil Taxonomy, Twelfth Edition. Natural Resources Conservation Service, United States department of agriculture.

5. 調査結果

5.1. 調査実施地点

令和3年度に予定した調査格子点は540地点であったが、実際に調査ができたのは455地点であった（表5-1）。予定数に対する調査実施数の割合（達成率）は84.3%だった。調査ができなかった理由として最も多かったのは、森林所有者の所在不明・所有者による不承諾等により調査実施の承認が得られない（事由1 70地点）というものだった（表5-2）。次いで多かったのが、林道崩壊・道路通行止め・到達時間確保の困難等により調査地へ到達することができない（事由2 10地点）で、このほか、太陽光発電所建設により非森林となっていた（事由3 1地点）、ヒグマの出没、遭遇のため調査中止（事由4 3地点）、急傾斜等で危険なため調査不可能（事由4 1地点）があった。

カテゴリ別の達成率はカテゴリAで84.6%、カテゴリBで83.9%であった（表5-1）。本年度の調査予定地点のほとんどは第一期において平成18年度、第二期において平成23年度、第三期においては平成28年度に調査が行われた地点だった（表5-3）。

地域ごとの達成率は、最も達成率が高かったのは東北地方の91.9%、低かったのは九州地方の74.6%であった（表5-4）。

表5-1 カテゴリごとの実施結果

カテゴリ	予定数	実施数	達成率 (%)
A	260	220	84.6
B	280	235	83.9
計	540	455	84.3

5.2. 枯死木、堆積有機物、土壌の炭素蓄積量

令和2年度の枯死木、堆積有機物、土壌の炭素蓄積量の平均値を表5-5に示す。どの項目もデータの品質管理におけるQA/QC基準を通過したデータに基づき計算した。

枯死木の炭素蓄積量は、ラインインターセクト法で得られた倒木データに、ベルトトランセクト法で得られた根株・立枯木の測定データを加えて計算する方法である。この方法は第二期調査で導入して検証し、第三期調査から標準の方法として採用した方法である。各プールの全データを用いた炭素量の平均値は、枯死木で0.89kg/m²、堆積有機物で0.34kg/m²、土壌で8.54kg/m²であった。枯死木、堆積有機物、土壌全てのデータが揃っている207地点のデータを用いて計算した3プールの合計は9.86kg/m²であった。

表 5-2 不実施事由の内訳

ブロック	事由	カテゴリ	カテゴリ	計
		A	B	
北海道	1	2	3	5
	2	2	2	4
	3	0	0	0
	4	2	1	3
東北	1	2	1	3
	2	2	1	3
	3	0	0	0
	4	0	0	0
関東	1	7	7	14
	2	2	0	2
	3	0	1	1
	4	0	0	0
中部近畿	1	5	10	15
	2	1	0	1
	3	0	0	0
	4	0	1	1
中国四国	1	9	8	17
	2	0	0	0
	3	0	0	0
	4	0	0	0
九州	1	6	10	16
	2	0	0	0
	3	0	0	0
	4	0	0	0
計	1	31	39	70
	2	7	3	10
	3	0	1	1
	4	2	2	4

不実施事由：

1. 所有者の同意が得られない、所有者が不明等、法的な調査許可が得られなかった
2. 林道崩壊・通行止め・積雪等、到達時間確保の困難により調査地へ到達できなかった
3. 調査予定地点が果樹園、宅地等の非森林で、調査には不適な現場だった
4. その他

表 5-3 今年度実施地点における第一期から第三期調査の実施年度ごとの実施結果

以前の調査実施年度		予定数	実施数	達成率 (%)
第一期	H.18	399	331	83.0
	H.19	79	69	87.3
	不実施	44	38	86.4
	設定なし	18	17	94.4
計		540	455	84.3
第二期	H.23	491	426	86.8
	不実施	45	27	60.0
	設定なし	4	2	50.0
計		540	455	84.3
第三期	H.28	342	313	91.5
	H.29	6	3	50.0
	H.30	29	26	89.7
	R.1	40	37	92.5
	R.2	44	41	93.2
	不実施	71	30	42.3
	設定なし	8	5	62.5
計		540	455	84.3

表 5-4 地域ごとの実施結果（調査完了箇所数）

地域	予定数	実施数	達成率 (%)
北海道	109	97	89.0
東北	74	68	91.9
関東	79	62	78.5
中部	50	42	84.0
近畿	64	55	85.9
中国	60	51	85.0
四国	41	33	80.5
九州	63	47	74.6
計	540	455	84.3

表 5-5 炭素蓄積量の比較

プール	格子点数	平均 (kg/m ²)	標準偏差 (kg/m ²)	標準誤差 (kg/m ²)
枯死木	455	0.89	1.05	0.05
堆積有機物	216	0.34	0.17	0.01
土壌	208	8.54	3.53	0.24
3 プール合計	207	9.86	3.67	0.26