

令和 4 年度  
森林吸収源インベントリ情報整備事業  
土壌等調査(指導取りまとめ業務)  
実施報告書

令和 5 年 3 月

林 野 庁

令和4年度森林吸収源インベントリ情報整備事業  
土壌等調査（指導取りまとめ業務）  
実施報告書

目次

	ページ
1. 目的・趣旨	1
2. 事業の実施体制	2
3. 調査・分析方法	
3.1. 調査地点	3
3.2. 現地調査および試料採取	3
3.3. 試料調整および分析	4
3.4. 炭素蓄積量の計算	5
3.5. 参考文献	7
4. 調査の品質確保	
4.1. はじめに	8
4.2. QA/QC 基準の設定	8
4.3. 基準の適用方法	10
4.4. 結果および考察	10
4.5. 参考文献	12
5. 調査結果	
5.1. 調査実施地点	13
5.2. 枯死木、堆積有機物、土壌の炭素蓄積量	13
6. 検証調査	
6.1. はじめに	16
6.2. 目的と方法	16
6.3. 結果	17
6.4. 参考文献	20
7. ベンチマーク調査	
7.1. ベンチマーク調査の目的	21
7.2. 調査地	21
7.3. 調査方法	22
7.4. 試料調整および分析方法	24
7.5. 現地調査の概要	24
7.6. 今後のスケジュール	28

8. 調査結果の吸収・排出量算定報告への反映方法の検討	
8.1. 算定関連の動向と CENTURY-jfos モデルの改定について	29
8.2. 新モデル導入の検討	31
8.3. 参考文献	32
9. 検討会での指摘事項	33

別表 1 調査実施地点の情報と土壌などの炭素蓄積量

資料 1 全体説明会・現地講習会の記録

資料 2 令和 4 年度検討会の議事概要および発表資料

## 1. 目的・趣旨

我が国は、気候変動枠組条約・パリ協定により、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取得（ベンチマークサイトの設定）がガイドラインにおいて推奨されており、そのため現在の調査よりも1地点あたりの採取点数が多い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は1地点あたりの点数が100点とベンチマークサイトとして利用可能である。そこで、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、これらの試験地を再調査するベンチマーク調査を行う。

また、CENTURY-jfosモデルの改定と新モデル導入について検討を行う。

## 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5年2月15日には、令和4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）。

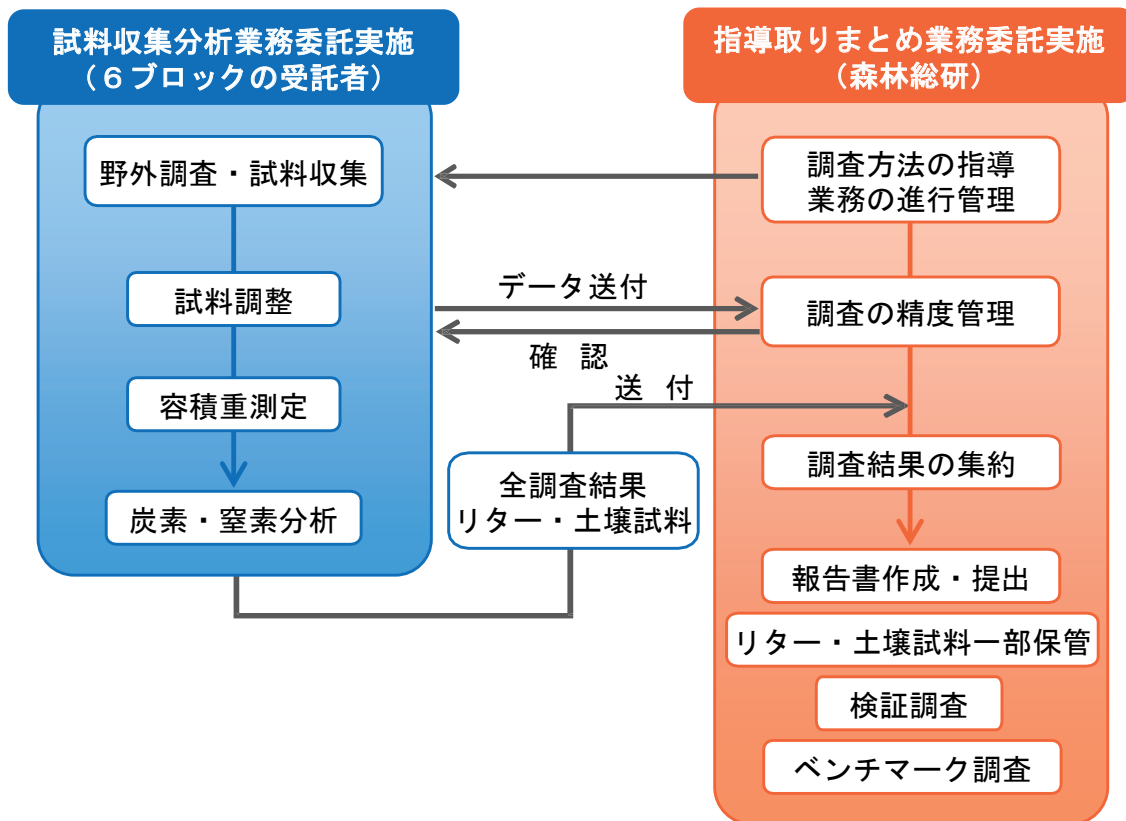


図 2-1 試料収集分析業務受託者との関係

表 2-1 検討会委員一覧

氏 名	所 属
太田 誠一	京都大学名誉教授
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24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。本年度のカテゴリ A の調査プロットは277地点、カテゴリ B の調査プロットは275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 m<sup>2</sup>（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、4地点の試料を混合して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、



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

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<sup>1)</sup>（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 <sup>3</sup> )			
	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。

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

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

ここで、

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

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<sub>Si</sub>：i番目の根株の体積（cm<sup>3</sup>）

V<sub>Dj</sub>：j番目の立枯木の体積（cm<sup>3</sup>）

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500 g/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。

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

ここで、

採取面積(m<sup>2</sup>) = 0.25(m<sup>2</sup>) × cos(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4地点混合試料の分析値である。

#### 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<sup>2</sup>)

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

ここで、

定積細土重(Mg/m<sup>3</sup>) : 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<sup>3)</sup>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<sup>4)</sup>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無いことを確認した。

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 WRB<sup>1)</sup>では有機炭素濃度 20 % 以上と定義され、米国土壌分類<sup>5)</sup>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、WRB<sup>1)</sup>では有機炭素濃度 20 % 未満と定義され、米国土壌分類<sup>5)</sup>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<sup>5)</sup>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、一定体積の土壤乾燥重をその体積で除したものである。農地土壤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壤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、本事業の土壤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、石礫や根を含む土壤を例に説明する（図 4-1）。400 cm<sup>3</sup>の採土円筒で採取した土壤に、石礫と根が含まれており、それらの体積がそれぞれ 30 cm<sup>3</sup>、10 cm<sup>3</sup>、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/cm<sup>3</sup>、0.500 g/cm<sup>3</sup>、0.651 g/cm<sup>3</sup> になる。このように石礫を含む土壤では、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 同一土壤における細土容積重、定積細土重、容積重の違いの例

土壤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壤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壤は粒径の細かな粘土質土壤に比べて土壤密度は大きくなる。土壤は圧力を受けると、土壤に含まれる粒子間のスペースが減少し、その結果として土壤密度は高まる。このことから、強度の圧密を受けた砂壤土の土壤密度（この場合は容積重）1.9 Mg/m<sup>3</sup> という米国の農地土壤の例<sup>2)</sup>は土壤密度の最大と考えてよいであろう。わが国の森林土壤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/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> 以上の場合には異常値とすることにした。

さらに土壤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 <sup>3</sup> 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、異常値を摘出

### 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、15～30 cm 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除外すべき試料が 3 試料検出された。格子点 I D 単位では調査地点数 225 地点の全て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 170 地点であったものが QA/QC 基準の適用後は 167 地点となった。3 地点、2 地点、1 地点の格子点数がそれぞれ 34→36、13→14、8→8 と変化した。（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 < 200 g/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

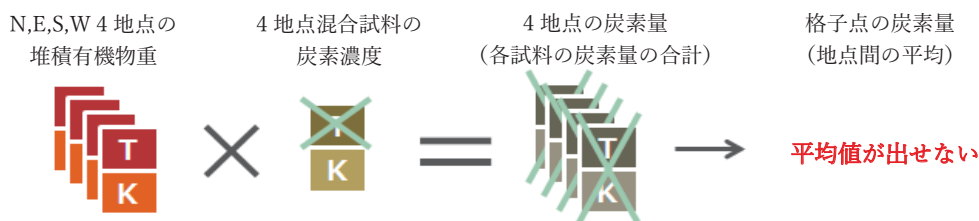


図 4-2 堆積有機物炭素蓄積量の計算での除外例

例 深さ 15~30 cm の炭素濃度 > 250 g/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

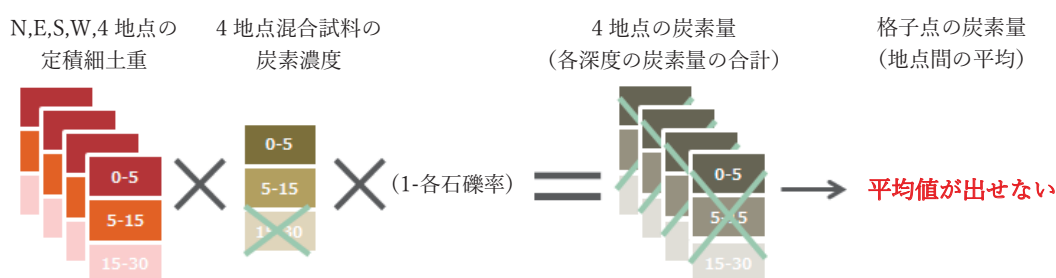


図 4-3 土壤炭素蓄積量の計算での除外例

土壤については、断面チェック班による点検では除外対象はなかった。試料調整チェック班による点検では 34 試料が異常値と判定された。QA/QC 基準の適用により、定積細土重の異常値、外れ値はなく、炭素濃度の異常値が 52 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 225 地点のうち 215 地点であった (表 4-4)。土壤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 168→147、35→44、14→13、8→11 と変化した (表 4-5)。炭素蓄積量は QA/QC 基準適用前 8.49 kg/m<sup>2</sup> に比べて適用後は 8.46 kg/m<sup>2</sup> とわずかに少なかった。標準偏差は 3.41 kg/m<sup>2</sup> から 3.35 kg/m<sup>2</sup> とやや小さくなり、標準誤差は 0.227 kg/m<sup>2</sup> から 0.228 kg/m<sup>2</sup> とほぼ同様であった。

土壤において、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、堆積有機物と土壤の境界の判定が適正になされず、土壤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 <sup>2</sup> )		
		平均	標準偏差	標準誤差
QA/QC 適用前	225	0.34	0.21	0.014
QA/QC 適用後	225	0.34	0.21	0.014

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	170	34	13	8
QA/QC 適用後	167	36	14	8

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 <sup>2</sup> )		
		平均	標準偏差	標準誤差
QA/QC 適用前	225	8.49	3.41	0.227
QA/QC 適用後	215	8.46	3.35	0.228

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	168	35	14	8
QA/QC 適用後	147	44	13	11

#### 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) Key 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4年度に予定した調査格子点は552地点であったが、実際に調査ができたのは456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82.6%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 73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 20地点)で、このほか、往路にヒグマと遭遇したため到達不可、調査対象範囲内の移動及び枯死木のデータ取得は不可能な状態であったため、調査不実施(事由4 3地点)があった。

カテゴリ別の達成率はカテゴリAで81.9%、カテゴリBで83.3%と調査項目の多いカテゴリAで達成率が低い傾向が見られた(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19年度、第二期において平成24年度、第三期においては平成29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中部地方の92.3%、低かったのは近畿地方の73.2%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	277	227	81.9
B	275	229	83.3
計	552	456	82.6

### 5.2. 枯死木、堆積有機物、土壌の炭素蓄積量

令和4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0.84 kg/m<sup>2</sup>、堆積有機物で0.34 kg/m<sup>2</sup>、土壌で8.46 kg/m<sup>2</sup>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215地点のデータを用いて計算した3プールの合計は9.62 kg/m<sup>2</sup>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		計
		A	B	
北海道	1	4	4	8
	2	5	5	10
	3	0	0	0
	4	1	1	2
東北	1	3	10	13
	2	2	3	5
	3	0	0	0
	4	0	0	0
関東	1	5	2	7
	2	1	2	3
	3	0	0	0
	4	0	0	0
中部近畿	1	11	6	17
	2	2	0	2
	3	0	0	0
	4	0	0	0
中国四国	1	9	6	15
	2	0	0	0
	3	0	0	0
	4	0	0	0
九州	1	7	6	13
	2	0	0	0
	3	0	0	0
	4	0	1	1
計	1	39	34	73
	2	10	10	20
	3	0	0	0
	4	1	2	3

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	10	8	80.0
	H.19	451	381	84.5
	H.21	1	1	100.0
	H.22	2	1	50.0
	不実施	61	43	70.5
	設定なし	27	22	81.5
計	552	456	82.6	
第二期	H.24	545	452	82.9
	H.26	1	1	100.0
	H.27	1	0	0.0
	不実施	0	0	
	設定なし	5	3	60.0
計	552	456	82.6	
第三期	H.29	542	449	89.8
	H.30	2	2	100.0
	不実施	0	0	
	設定なし	8	5	62.5
計	552	456	82.6	

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	133	113	85.0
東北	85	67	78.8
関東	75	65	86.7
中部	52	48	92.3
近畿	56	41	73.2
中国	50	42	84.0
四国	27	20	74.1
九州	74	60	81.1
計	552	456	82.6

表 5-5 炭素蓄積量の比較

プール	格子点数	平均 (kg/m <sup>2</sup> )	標準偏差 (kg/m <sup>2</sup> )	標準誤差 (kg/m <sup>2</sup> )
枯死木	456	0.84	1.03	0.05
堆積有機物	225	0.34	0.21	0.01
土壌	215	8.46	3.34	0.23
3 プール合計	215	9.62	3.75	0.26

## 6. 検証調査

### 6.1. はじめに

森林土壌インベントリ事業では、森林土壌炭素の3プールのうちの1つ、枯死木の炭素蓄積量は調査地点内の倒木、根株、立枯木の3種類の測定結果を積算して計算を行っている。それぞれの調査は表6-1に示した方法でサイズを測定し、外観から分解度を5段階で判定する。枯死木測定の精度は測定者の知識と経験に左右される傾向があり、人為的な測定誤差が出やすいことが想定される。そこで、枯死木測定の不確実性の評価が必要である。

表 6-1 枯死木の調査方法とサイズの測定方法

枯死木の種類	調査方法	サイズの測定方法
倒木	ラインインターセクト法	ライン上の直径
根株	ベルトトランセクト法	直径、地際直径、斜面上部高、斜面下部高
立枯木	ベルトトランセクト法	胸高直径、高さ

### 6.2. 目的と方法

枯死木調査の人為的不確実性を評価するため、本年度、受託者が実施した地点から、各ブロック1地点ずつ選び、計6地点で枯死木調査の検証調査を行った（表6-2）。森林総合研究所研究員、受託者とも調査は森林土壌インベントリ方法書<sup>1)</sup> III-2-5) 枯死木調査に従い枯死木調査を行った。

表 6-2 検証調査を行った地点

調査格子点	ブロック	受託者	森林総合研究所
R4 北海道	北海道	セ・プラン・構研エンジニアリング共同事業体	北海道支所
R4 岩手県	東北	(株) 宮城環境保全研究所	東北支所
R4 茨城県	関東	(株) GT フォレストサービス	本所
R4 滋賀県	中部・近畿	(株) GT フォレストサービス	関西支所
R4 徳島県	中国・四国	(株) 一成	四国支所
R4 鹿児島県	九州	(株) 九州自然環境研究所	九州支所

### 6.3. 結果

写真 6-1 と 6-2 は中国四国ブロックのクロスチェックを行った調査地点である。受託者は 2022 年 6 月 8 日（写真 6-1）、森林総研は 11 月 9 日（写真 6-2）に調査を行ったが、調査地点の中心からそれぞれ 4 方向への林相写真の中には同じ倒木（写真 6-1 および写真 6-2 の北方向の黄色の枠内）が確認できた。その他の調査地についても、中心杭・円周杭の有無と林相写真を比較した結果、調査ラインは的確に設置することができていた。

受託者と森林総合研究所研究員が測定を行った枯死木データを炭素量として集計を行った（表 6-3）。受託者による枯死木炭素量の平均値は  $0.912 \text{ kg/m}^2$ （2016 年度  $0.902 \text{ kg/m}^2$ 、2017 年度  $0.634 \text{ kg/m}^2$ 、2018 年度  $1.526 \text{ kg/m}^2$ 、2019 年度  $1.236 \text{ kg/m}^2$ 、2020 年度  $0.766 \text{ kg/m}^2$ 、2021 年度  $0.976 \text{ kg/m}^2$ ）、森林総研は  $1.089 \text{ kg/m}^2$ （2016 年度  $0.832 \text{ kg/m}^2$ 、2017 年度  $0.697 \text{ kg/m}^2$ 、2018 年度  $1.373 \text{ kg/m}^2$ 、2019 年度  $0.624 \text{ kg/m}^2$ 、2020 年度  $0.821 \text{ kg/m}^2$ 、2021 年度  $1.339 \text{ kg/m}^2$ ）となった。枯死木全体では森林総研と受託者による炭素蓄積量の測定値は 1:1 の直線に載っていたが、倒木、根株、立枯木の種類別に見ると、根株で受託者と森林総研の炭素蓄積量に違いが目立つ地点があり、この違いが枯死木全体の炭素蓄積量の差に影響していた（図 6-1）。

根株の本数に違いが出た地点は、受託者の炭素蓄積量（本数）が  $1.41 \text{ kg/m}^2$ （5 本）、森林総研が  $1.53 \text{ kg/m}^2$ （10 本）であり、森林総研の根株調査本数が受託者の本数を上回った。両者の根株の本数が異なった原因は、W 方位と S 方位の杭がなく仮杭を設置したことから調査ラインがずれた可能性が挙げられる。また、地際直径の測り方の違いが炭素量に影響していた。受託者よりも森林総研の根株の地際直径が小さい傾向にあり、地際直径から計算される地下部材積が小さくなるため個々の根株の炭素蓄積量は森林総研が小さくなる傾向が見られたが、根株の本数は森林総研の方が多かったため、根株炭素蓄積量の合計は差が小さかった。

枯死木調査のクロスチェックも 7 年目に入り、42 地点の検証データを蓄積できた。この検証データを用い、森林総研および受託者測定の枯死木炭素量の関係を回帰分析により決定係数 ( $r^2$ ) で評価を行った（図 6-1）。根株については、受託者と森林総研の立枯木炭素量が大きく異なる調査地があり、決定係数 ( $r^2$ ) は 0.4 と倒木や立枯木より低い決定係数となり、枯死木全体の決定係数に影響し 0.473 と低くなった。また、検証調査のばらつきが許容可能な範囲であるかを評価するために、各調査地における森林総研が測定した枯死木炭素量に対する受託者測定の枯死木炭素量の 95 % 推定区間を算出した。95 % 推定区間は図 6-2 の各図の赤破線に挟まれた区間となり、検証データは、上記の 1 地点を除くとおおむね区間内に収まっており、受託者による調査結果は許容可能なレベルであった。

7 年間の検証調査から、ラインのずれによる対象か否かの判定の違い、見通しの悪い林内での根株や株立ち木の見落とし、地際直径測定位置のずれ、分解度判定の違いが、炭素量の差を生じさせる原因であることが示唆された。

今後は、現地講習会において正確なライン設定、林床植生下の根株の丁寧な確認、地際位置の正確な判定を重点的に指導することにより、根株の見落としを減らし、枯死木の炭素蓄積量推定の精度向上を目指す。



写真 6-1 受託者による調査プロット中心から各方位の撮影の様子



写真 6-2 森林総研研究員による調査プロット中心から各方位の撮影の様子  
 写真 6-1 および写真 6-2 の東、南、北方向の写真における黄色の枠内は同じ倒木である。

表 6-3 検証調査地点の枯死木の炭素蓄積量

調査格子点	炭素蓄積量 (kg/m <sup>2</sup> )							
	受託者				森林総合研究所			
	倒木	根株	立枯木	合計	倒木	根株	立枯木	合計
R4 北海道	0.35	1.41	0.00	1.76	0.45	1.53	0.00	1.98
R4 岩手県	0.60	0.76	0.17	1.53	0.32	0.72	0.41	1.45
R4 茨城県	0.10	0.45	0.01	0.56	0.21	0.40	0.07	0.69
R4 滋賀県	0.31	0.00	0.04	0.36	0.45	0.01	0.03	0.48
R4 徳島県	0.09	0.25	0.00	0.34	0.11	0.35	0.00	0.46
R4 鹿児島県	0.21	0.71	0.00	0.92	0.35	1.12	0.00	1.47
平均	0.28	0.60	0.04	0.91	0.32	0.69	0.09	1.09

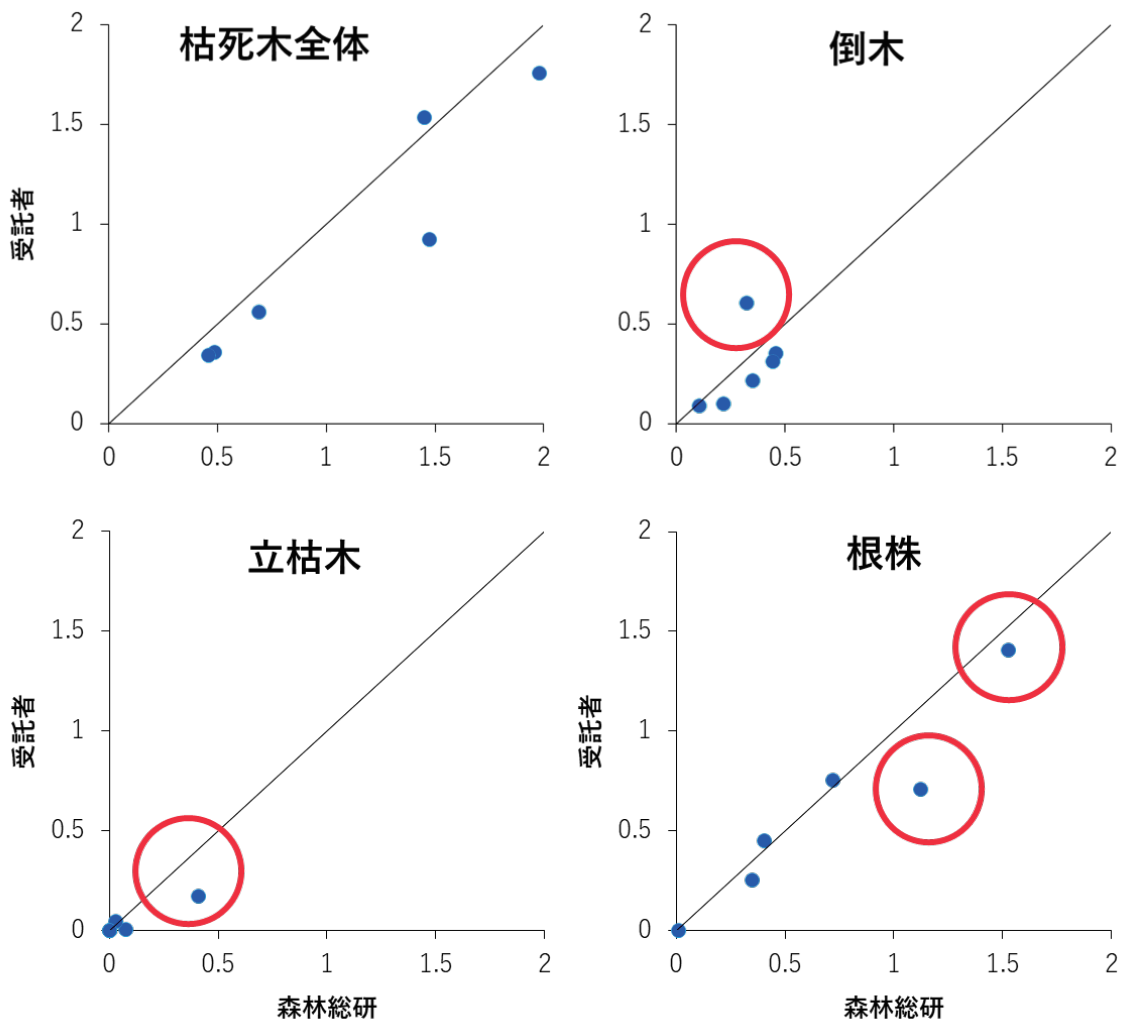


図 6-1 本年度の枯死木調査検証調査地点の炭素蓄積量(kg/m<sup>2</sup>)  
赤丸で囲んだ点は委託者と森林総研で違いが大きいデータ

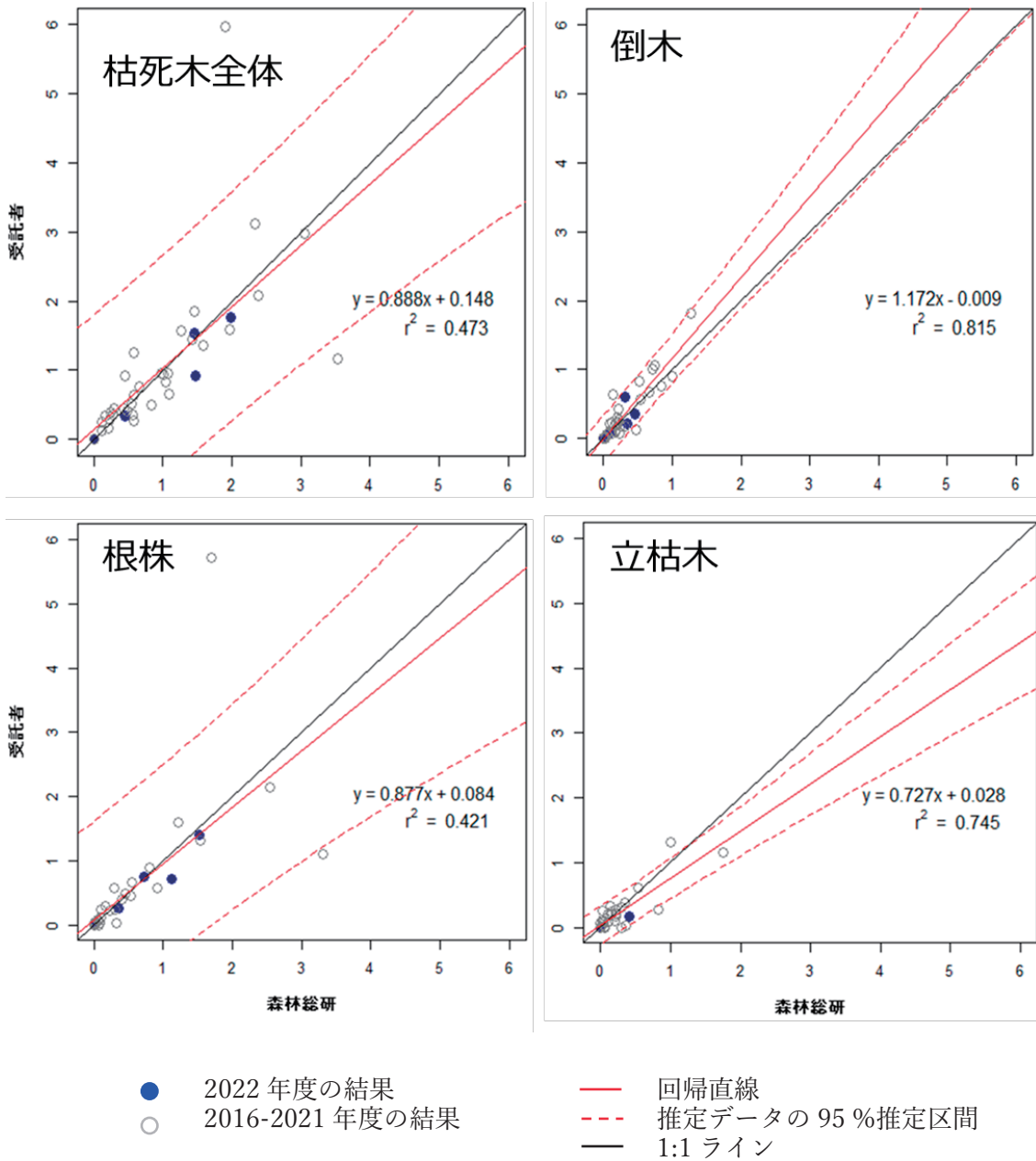


図 6-2 第三期と第四期の枯死木調査検証調査地点の炭素蓄積量(kg/m<sup>2</sup>)

#### 6.4. 参考文献

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.