

課題番号：1CN-2207

研究課題名： 林地へのバイオ炭施用によるCO<sub>2</sub>放出の削減と生態系サービスの強化に関する研究

研究代表者名：吉竹晋平（早稲田大学）

体系的番号： JPMEERF20221C07

重点課題： （主）【重点課題②】ビジョン・理念の実現に向けた研究・技術開発

（副）【重点課題⑦】気候変動の緩和策に係る研究・技術開発

研究実施期間： 令和4年度～令和6年度

### 【研究体制】

#### サブテーマ1

吉竹晋平（早稲田大学）

友常満利（玉川大学）

#### サブテーマ2

大塚俊之（岐阜大学）

近藤美由紀（国立環境研究所）

（篠原 隆一郎（国立環境研究所））

#### サブテーマ3

藤嶽暢英（神戸大学）

飯村康夫（滋賀県立大学）

（篠原 隆一郎（国立環境研究所））

# 1. 研究背景、研究開発目的及び研究目標

## 【研究背景】

### バイオ炭を用いた炭素隔離に注目が集まっている

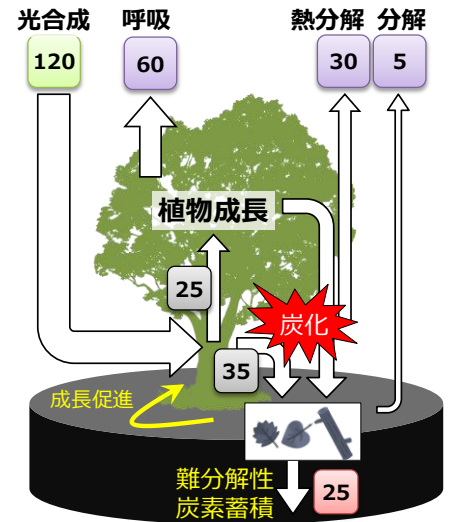
カーボンニュートラル社会の実現に向けて、低コストの炭素隔離技術としてバイオ炭に注目が集まっている。分解が遅いバイオ炭自身による直接的な炭素隔離や、植物成長の促進などを介した間接的な炭素隔離が期待できる。

### 林地へのバイオ炭施用による効果・影響は不明である

重要な炭素吸収源である林地での施用例は農地に比べて少なく、森林生態系に対する効果・影響は未知であった。我々は2015年に落葉樹二次林にバイオ炭を施用して生態系応答を調べているが、長期的影響や森林タイプによる違いなどは未解明である。

### バイオ炭の利用によって里山管理と炭素隔離の両者を強化

林地へのバイオ炭施用では、作業性の点から二次林や雑木林（里山）などが候補地となる。里山で発生・放置されている有機物残渣（倒木や剪定枝など）をバイオ炭にして現場に戻すことで、里山管理と炭素隔離の両者を強化できる可能性がある。



## 【研究開発目的】

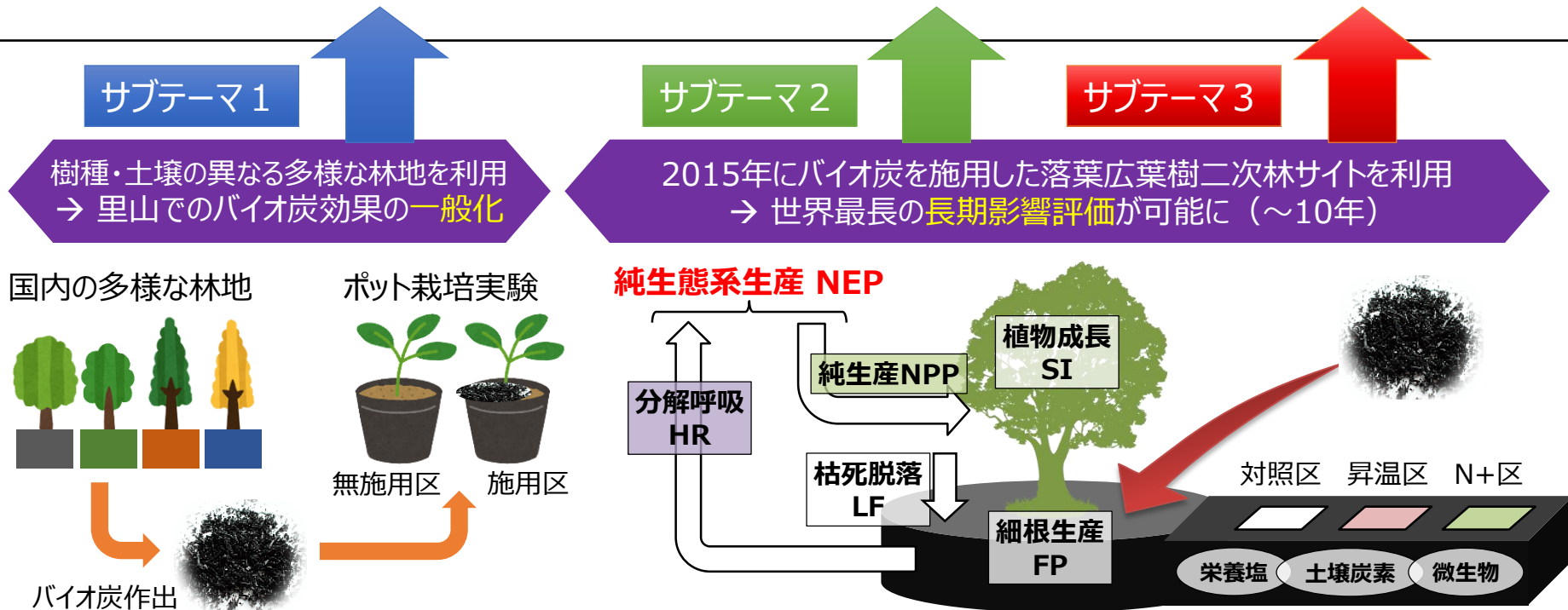
- 有機物残渣をバイオ炭にして戻すことによるCO<sub>2</sub>削減効果
- 森林タイプごとの生態系応答の違い
- バイオ炭施用後の生態系サービスの長期的な変化

を定量的に評価する

# 1. 研究背景、研究開発目的及び研究目標

## 【研究目標（全体目標）】

- 林地の有機物残渣を原料としたバイオ炭を作出し、自然分解と比較した際のCO<sub>2</sub>放出の削減効果を算出する
- バイオ炭を施用したときの生態系の短期的応答について、バイオ炭の種類や土壌の違いが与える影響を評価する
- 実際の林地へのバイオ炭の施用が、生態系の各構成要素および生態系サービス（炭素隔離機能やレジリエンス機能）に及ぼす中長期的影響を定量的に評価する



## 2. 研究目標の進捗状況

### (1) 進捗状況に対する自己評価 (サブテーマ1)

#### サブテーマ1

剪定枝等からのバイオ炭の作出とポット栽培を用いた短期的な生態系応答の解明

#### 【研究目標】

- 林地の有機物残渣を原料としたバイオ炭を施用した場合のCO<sub>2</sub>放出削減効果を評価する
- 得られたバイオ炭と現地土壌を用いたポット栽培実験により、それぞれのバイオ炭が生態系の各要素に与える短期的な影響を定量的に評価する

#### 【令和4年度研究計画】

- 採集した剪定枝等からバイオ炭を作出する
- 得られたバイオ炭の物理化学性分析
- バイオ炭の野外での分解速度測定のためのリターバッグ実験の開始

#### 【令和5年度研究計画】

- 複数の森林タイプを模したポット栽培実験の開始
- リターバッグ実験の継続

#### 【令和6年度研究計画】

- ポット栽培実験、リターバッグ実験の継続
- 剪定枝等をバイオ炭にした場合のCO<sub>2</sub>削減効果の定量評価

【自己評価】 計画以上の進展がある

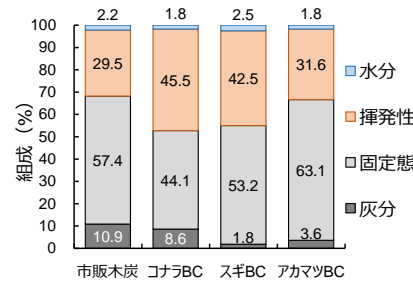
## 2. 研究目標の進捗状況

### (2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し (サブテーマ1)

#### 【具体的な理由・根拠】

##### A. 予定通り実施した内容

- 粗大木質有機物 (CWD) からバイオ炭を作出して性状を評価
- バイオ炭分解速度解明のためのリターバッグ実験の開始
- 複数森林タイプを模したポット栽培実験の開始

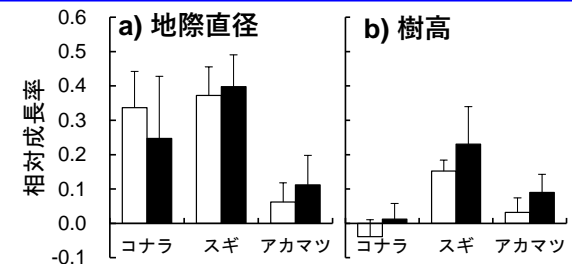


##### B. 予定に無いが追加実施できた内容

- 林地におけるCWD現存量を定量 (アカマツ林 > スギ林 > コナラ林)
- 自作したバイオ炭に加えて、市販の木炭粉末に対してもリターバッグ実験を開始
- ポット栽培実験に先立ち、予備ポット栽培実験による検討

##### C. 上記A・Bにより得られた成果

- 林地の潜在的なバイオ炭供給能力の定量的評価
- さまざまなバイオ炭の現地での分解速度に関する知見 (今後)
- ポット栽培および経時的なモニタリング・測定が順調に推移



#### 【目標達成の見通し】

- すでに林地の未利用有機物を用いたバイオ炭作出の可能性について一定の評価が可能
- リターバッグ実験およびポット栽培実験は順調に推移している
- 現時点で計画していた内容以上に進展があることから、当初目標を達成できる可能性が高い

## 2. 研究目標の進捗状況

### (1) 進捗状況に対する自己評価 (サブテーマ2)

サブテーマ2 バイオ炭施用に伴う中長期的な生態系の応答性と炭素隔離機能の定量的評価

#### 【研究目標】

- 林床にバイオ炭を施用した森林生態系の炭素隔離機能への影響を定量的に評価する
- 林床にバイオ炭を施用した森林生態系の栄養塩動態への影響と、森林の炭素隔離機能の変化との関連を明らかにする

#### 【令和4年度研究計画】

- ・ 林床にバイオ炭を施用した場合の樹木細根生産への初期の影響の評価
- ・ 初期の3年間での森林の炭素隔離機能の変化を定量的に評価
- ・ 栄養塩動態の解明のために、野外での窒素循環に関する研究を開始

#### 【令和5年度研究計画】

- ・ 窒素無機化速度や植物の窒素吸収量の測定から窒素循環への影響を定量的に評価
- ・ 炭素隔離機能への中長期的な影響評価のために、森林生産量と従属栄養生物呼吸量のモニタリングを継続

#### 【令和6年度研究計画】

- ・ バイオ炭散布後8年目までの炭素隔離機能への影響を明らかにする
- ・ 栄養塩動態の変化と、炭素隔離機能への影響の関係を明らかにする

【自己評価】 計画通り進展している



## 2. 研究目標の進捗状況

### (2) 自己評価に対する具体的な理由・根拠と目標達成の見通し (サブテーマ2)

#### 【具体的な理由・根拠】

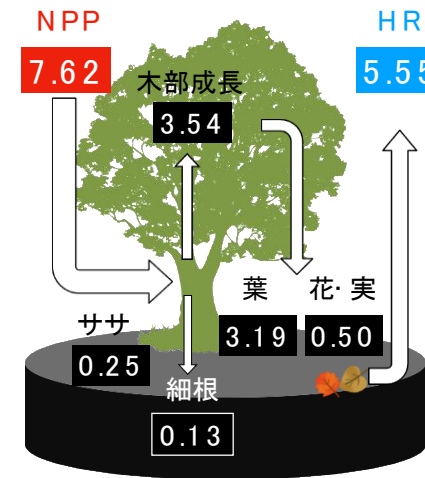
##### 実施した内容

- 細根の回転率と、バイオマスに与える影響の解明
- 森林の炭素隔離機能への、短期的な影響を定量的に評価
- 土壌中の無機態窒素プールと窒素無機化速度に関する野外での測定を開始



#### 得られた主要な成果

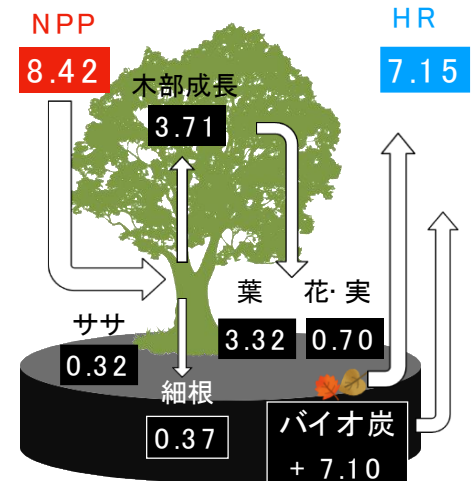
a. 無施用区 ( 対照区 )



$$NEP = NPP - HR = 2.07$$

3 年間の炭素隔離機能  
 $2.07 \times 3 = 6.2 \text{ ton C ha}^{-1}$

b. 施用区 (10 ton ha<sup>-1</sup>)



$$NEP = NPP - HR = 1.27$$

3 年間の炭素隔離機能  
 $1.27 \times 3 + 7.10 = 10.9 \text{ ton C ha}^{-1}$

- 細根バイオマスは変化しないが、回転率が高くなり、施用区で細根生産量は増加
- 施用区では、植物生産と、従属栄養生物の分解呼吸の両方が促進された
- 土壌中の無機態窒素プールと窒素無機化速度は施用区で低下する傾向

#### 【目標達成の見通し】

- 2015年にバイオ炭を散布した実験区において、初期の3年間の炭素隔離機能の変化について明らかにし、その後も炭素循環の調査を継続中
- サブテーマ3と連携して土壌中の栄養塩動態に関する研究を開始しており、当初目標を達成できる可能性が高い

## 2. 研究目標の進捗状況

### (1) 進捗状況に対する自己評価 (サブテーマ3)

**サブテーマ3** バイオ炭施用に伴う中長期的な土壌圏の応答性とレジリエンス機能の定量的評価

**【研究目標】** バイオ炭施用を行った森林研究サイトを用いて、

- 施用に伴う中長期的な土壌圏の応答性（炭素賦存量、水分などの物理性、栄養塩などの化学性における変化）を定量的に解析
- バイオ炭施用による急激な環境変動ストレスに対する土壌のレジリエンス機能（物理的・化学的緩衝作用）の増強効果を定量的に評価して作用機構の解明を試みる

#### **【令和4年度研究計画】**

- 土壌の炭素賦存量の定量、微生物群集の評価、物理的・化学的緩衝能の測定
- 林外内雨と土壌浸透水のフラックスの実測、およびpH、各種イオン濃度、有機炭素量の定量
- 鉍質土壌層の物理化学性の評価
- 温暖化区と窒素添加区の設置と土壌の物理的・化学的緩衝能を評価

#### **【令和5～6年度研究計画】**

- 令和4年度研究計画項目の継続と土壌レジリエンス機能の定量的評価に対する科学的根拠の立脚

**【自己評価】** 計画通り進展している



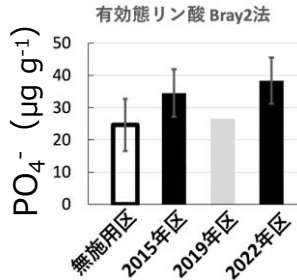
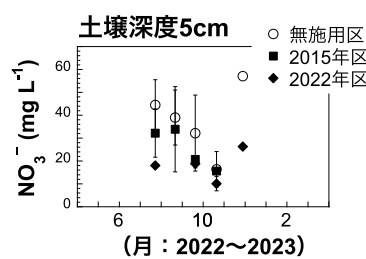
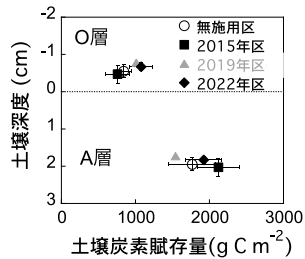
## 2. 研究目標の進捗状況

### (1) 進捗状況に対する自己評価 (サブテーマ3)

#### 【具体的な理由・根拠】

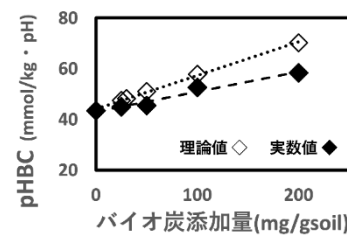
#### A. 予定通り実施した内容

- a) 土壌炭素賦存量の定量
- b) 物理的緩衝作用 (水分・温度) の測定
- c) 土壌浸透水の各種成分分析
- d) 鉍質土壌の一般理化学性評価



#### B. 予定変更が生じた内容とその対応

- a) 化学的緩衝作用の測定 → 手法改良 済
- b) 水フラックスの実測  
→ ソフトウェアのアップデート 済
- c) 温暖化区と窒素添加区の設定

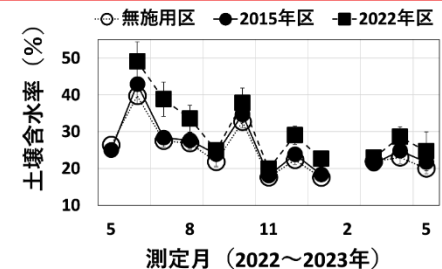


→ シート高の再設定 済



#### C. 上記A・Bにより得られた成果

- a) バイオ炭施用による林地での保水効果と保肥効果
- b) バイオ炭施用による林内水環境への応答性 (今後)
- c) レジリエンス機能評価と増強の根拠立脚 (今後)



#### 【目標達成の見通し】

- 問題が発覚して予定変更が生じた項目は、手法改良や条件検討等によって**すべて解決済み**
- その他の項目については**計画通り進捗している**ために、当初目標を達成できる可能性が高い

## 3. 研究成果のアウトカム（環境政策等への貢献）

### 【行政等が活用することが見込まれる成果】

1. 林地に放置されている倒木や剪定枝を用いてバイオ炭を作出することが可能である
2. 林地へのバイオ炭施用は、短期的には森林の生産量と分解呼吸量の両者を増加させる
3. 林地へのバイオ炭施用によって森林土壌の保水性が高まる

### 【行政等が既に活用した成果】

我々が実際の林地で実施しているバイオ炭施用実験の概略や成果に関して、以下のヒアリングや戦略プロポーザルで活用された。

1. 「バイオ炭を含むネガティブエミッション技術に関するヒアリング」  
（科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS））
2. 「CRDS戦略プロポーザル：バイオマス・ネガティブエミッション技術の実用化加速基盤研究」  
（科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS））
3. 「林地へのバイオ炭施用における技術的課題に関するヒアリング」  
（環境省）
4. 「令和4年度 CO2吸収源拡大のためのバイオ炭施用拡大に向けた検討会」  
（環境省、農林水産省、林野庁）

## 4. 研究成果の発表状況

### 【口頭発表】（2件）

- ① 吉竹晋平、関西土壌肥料協議会第101回シンポジウム、神戸（2022）森林生態系へのバイオ炭の施用～野外散布実験と生態系・土壌圏の応答に関する長期モニタリング～
- ② 藤嶽暢英、関西土壌肥料協議会第101回シンポジウム、神戸（2022）バイオ炭でパリ協定に貢献できるか？

### 【「国民との科学・技術対話」の実施】（8件）

- ① 友常満利、玉川学園高等部特別講義、東京（2022）生態系の構造と機能
- ② 友常満利、玉川大学オープンキャンパス、東京（2022）炭を使って地球温暖化を防止?!
- ③ 友常満利、東京農業大学第三高等学校附属中学校特別講義、埼玉（2022）農業と環境
- ④ 吉竹晋平、日本木炭新用途協議会講演会、東京（2022）林地への木質バイオ炭の施用実験と生態系応答・炭素循環の長期モニタリング
- ⑤ 藤嶽暢英、関西土壌肥料協議会第101回シンポジウムの企画・実行、神戸（2022）バイオ炭施用とj-クレジット
- ⑥ 吉竹晋平、東京農業大学第三高等学校附属中学校特別講義、埼玉（2023）家と微生物
- ⑦ 友常満利、第42回横浜開港祭、横浜（2023）Tamagawa Mokurin Project：バイオチャーによる生態系への炭素隔離技術の創出
- ⑧ 友常満利、玉川学園中学部特別講義、東京(2023)、里山管理とバイオチャーの利活用

### 【マスコミ等への公表・報道等】（6件）

- ① 友常満利、全人871号（2022年5月、4-9頁「分野を超えた学びを実現するために」）
- ② 友常満利、全人特別号（2022年7月1日、10頁、「SDGsの取り組み」）
- ③ 友常満利、読売新聞（2022年7月10日、11頁、「「マイナスカーボン」へ実践」）
- ④ 友常満利、教育学術新聞（2022年10月12日、6頁「キャンパス万華鏡:炭を使った里山への炭素隔離の実証実験を通して環境保全に貢献できる人材を育成」）
- ⑤ 友常満利、全人 868号（2022年11月、11頁、「マイナスカーボンを“炭”でめざす」）
- ⑥ 友常満利、全人 特別号（2023年7月、10-11頁「マイナスカーボンを“炭”で目指す」）

## 4. 研究成果の発表状況

### 【学会ポスター発表】（9件）

- ① 友常満利、依田真由、進藤恵太、関川清広、第70回日本生態学会大会、仙台（2023）里山生態系における有機物残渣の炭化（バイオチャー）による炭素隔離の試み
- ② Tomotsune M., Sugisaki Y., Katsushima K., Tarumi T., Yoshitake S., Sekikawa S., The 10th EAFES International Congress, Jeju, Korea (2023), An attempt at carbon sequestration through biochar amendment on a satoyama landscape in Japan
- ③ 岡田駿、月森勇氣、恵日格也、友常満利、小泉博、吉竹晋平、第70回日本生態学会大会、仙台（2023）バイオチャー散布が暖温帯コナラ林における7年間の土壌炭素フラックスに及ぼす影響
- ④ 【予定】岡田駿、月森勇氣、恵日格也、友常満利、小泉博、飯村康夫、大塚俊之、近藤美由紀、藤嶽暢英、吉竹晋平、日本土壌肥料学会2023年度愛媛大会、松山（2023）、森林へのバイオ炭施用が7年間の従属栄養生物呼吸に及ぼす影響
- ⑤ 【予定】近藤美由紀、久司雅登、篠原隆一郎、中島知里、飯村康夫、藤嶽暢英、吉竹晋平、大塚俊之、日本土壌肥料学会2023年度愛媛大会、松山（2023）、バイオ炭施用した暖温帯コナラ林における林内雨による窒素沈着と土壌への浸透
- ⑥ 【予定】仙波成都、飯村康夫、吉竹晋平、藤嶽暢英、日本土壌肥料学会2023年度愛媛大会、松山（2023）、森林土壌におけるバイオ炭の添加がpH緩衝能に及ぼす影響
- ⑦ 【予定】藤崎綾音、飯村康夫、大塚俊之、近藤美由紀、吉竹晋平、藤嶽暢英、日本土壌肥料学会2023年度愛媛大会、松山（2023）、森林へのバイオ炭施用にともなう土壌水分の中長期的な応答性
- ⑧ 【予定】飯村康夫、前田大和、大塚俊之、近藤美由紀、藤嶽暢英、吉竹晋平、日本土壌肥料学会2023年度愛媛大会、松山（2023）、森林でのバイオ炭散布が表層土壌の栄養塩動態に及ぼす中長期的影響
- ⑨ 【予定】吉竹晋平、佐宗若奈、安木奈津美、飯村康夫、大塚俊之、近藤美由紀、友常満利、藤嶽暢英、橋本麗優、小泉博、日本土壌肥料学会2023年度愛媛大会、松山（2023）、森林へのバイオ炭施用が土壌微生物群集に及ぼす短期的影響

# 5. 研究の効率性

(サブテーマ1) 既存の大学施設利活用により、  
バイオ炭原料調達・バイオ炭作出・ポット栽培実験が実現

- 複数の森林タイプ
- 安全・効率的な作業場所
- ポット栽培用地の提供



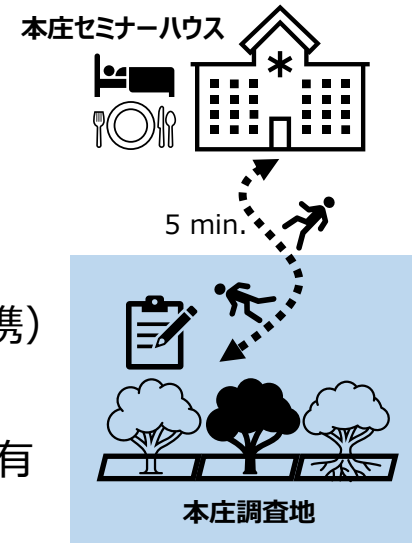
(サブテーマ1~3) 本庄セミナーハウス (早稲田大) の利用により、  
月1回の合同野外調査が実現

他大学他機関も利用可能

- 原則毎月1回、1~2泊
- 教職員・学生が、最大17人参加
- 食事の提供あり、時間効率が良い
- ミーティングスペースで活発な議論 (無料、時間制限が少ない)

メリット

- 高頻度で情報交換・データ共有
- 安全性・効率性の向上
- 学生参加により教育効果UP (卒修論と連携)
- 道具類の貸借、使用方法の共有・高度化
- 現場で、サブテーマ間での課題・問題点の共有



(サブテーマ1~3) 不定期開催でのオンラインミーティング

- 生データ、解析データ、解析手法のすり合わせ・共有
- 特にサブテーマ間での課題・問題点の共有

サブテーマ間の連携強化で問題点への迅速な対応、効率化が進んだ