

環境研究総合推進費令和3年度事後評価(ヒアリング評価)

課題番号 : 2RF-1803

体系的番号 : JPMEERF20182R03

重点課題 : 【重点課題⑥】気候変動の緩和策に係る研究・技術開発
【重点課題⑦】気候変動への適応策に係る研究・技術開発

研究実施期間: 平成30年度～令和2年度 (3年間)

予算総額 : 1458万円

研究領域 : 気候変動領域

区分 : 革新型研究開発(若手枠)

超高解像度気候予測値を用いた森林生態系の炭素収支の将来予測と森林管理の効果の評価

研究代表機関名 : 長野県環境保全研究所

研究代表者名 : 栗林 正俊

研究分担機関名 : 信州大学

研究分担者名 : 牧田 直樹

背景(緩和策・適応策)

<パリ協定>

- 世界の平均気温上昇を**2度未満**に抑える目標

<地球温暖化対策計画>

- **2030年度の森林のCO₂吸収量を約3800万トン確保**する中期目標
- **2050年カーボンニュートラル**

<長野県>

- **2021年6月に長野県ゼロカーボン戦略を策定**



COP21 会場(パリ、2015年12月)

<気候変動適応計画>

- **適切な森林整備**による林業被害・山地災害の防止

<気候変動影響評価報告書>

- 人工林への影響は**重大性が高く**、対策の**緊急性も高い**

<気候変動適応法>

- 長野県は2019年4月に**信州気候変動適応センター**を設置

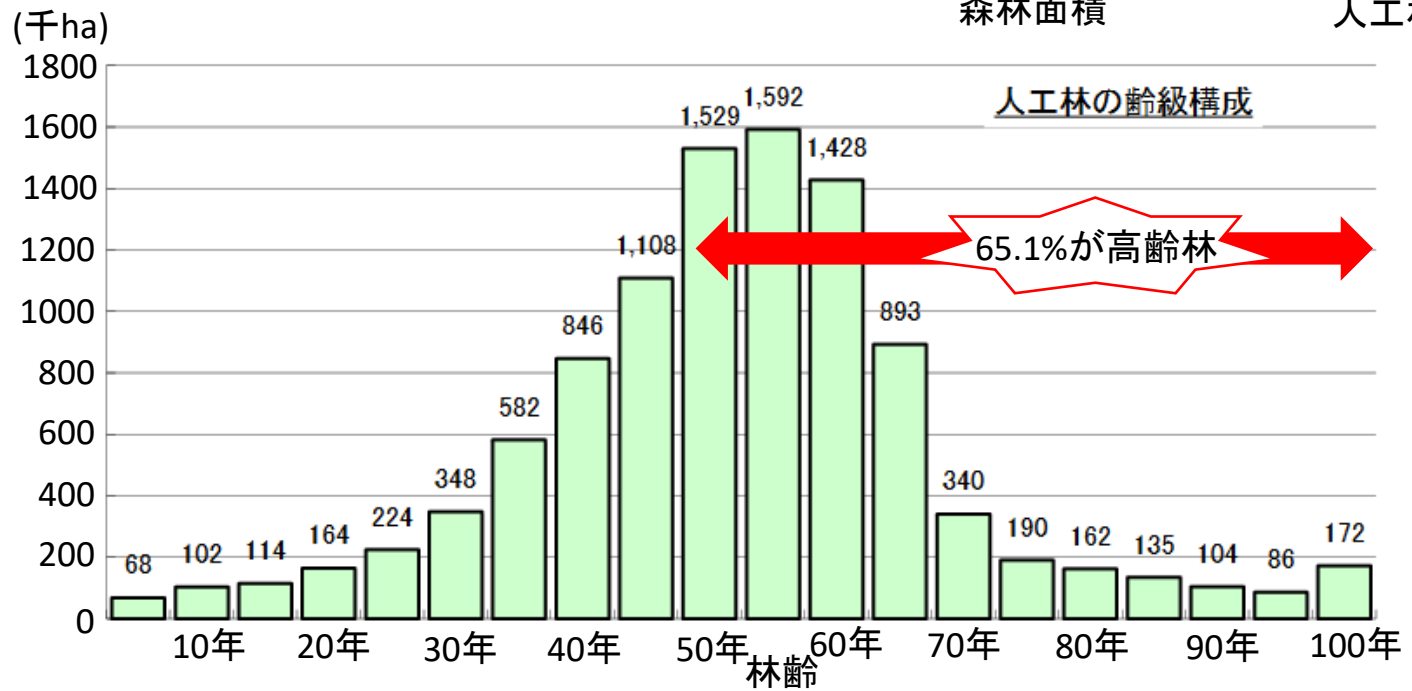
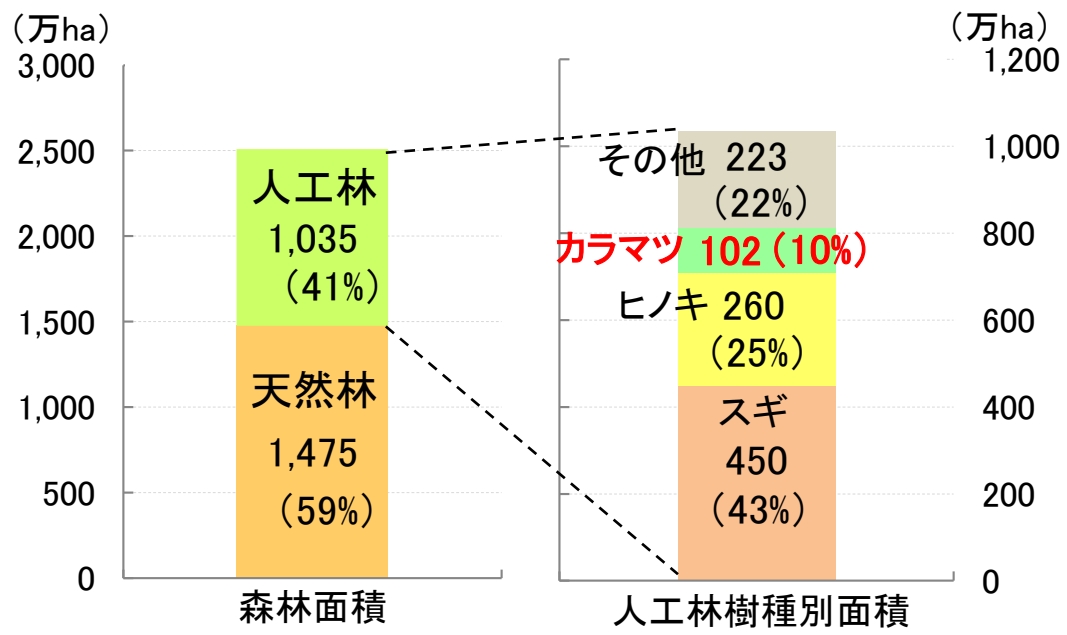


長野県の松枯れ被害

背景(日本の森林)

- ・国土の66%は森林
(Global Forest Resources Assessment 2020)
- ・森林の41%は人工林
- ・人工林の65%が高齢林

➡ CO₂吸収能力の低下

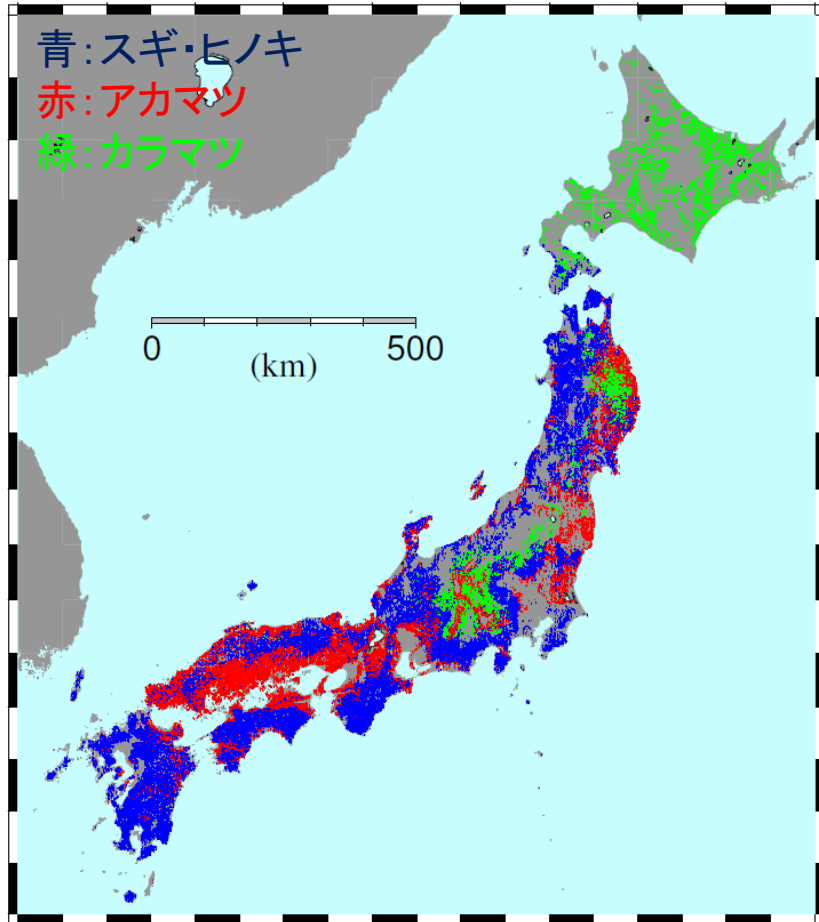


H29年の林野庁資料より

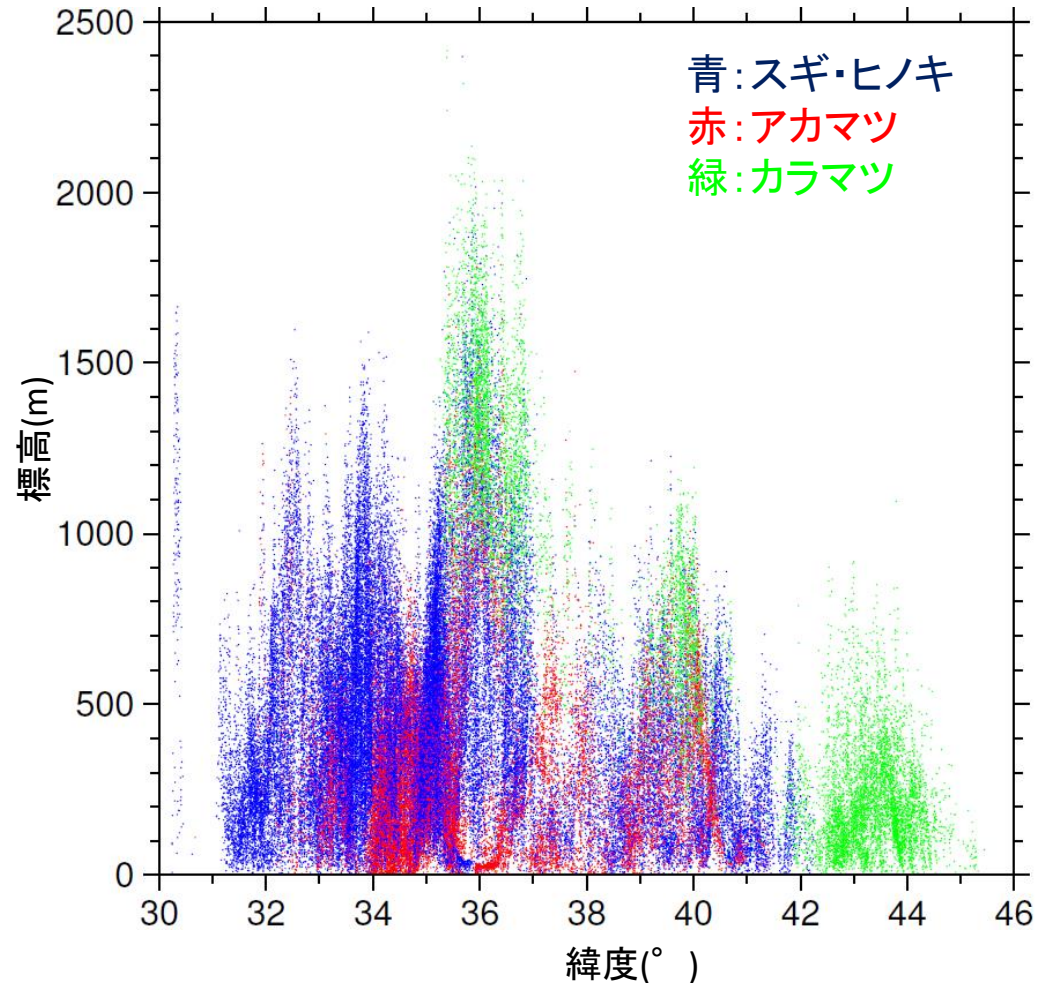
背景(カラマツ人工林)

- ・冷涼で乾燥した気候を好む
- ・日本で唯一の**落葉針葉樹林**

- ➡ 温暖化に脆弱な可能性
- ➡ 人工衛星から判別が可能



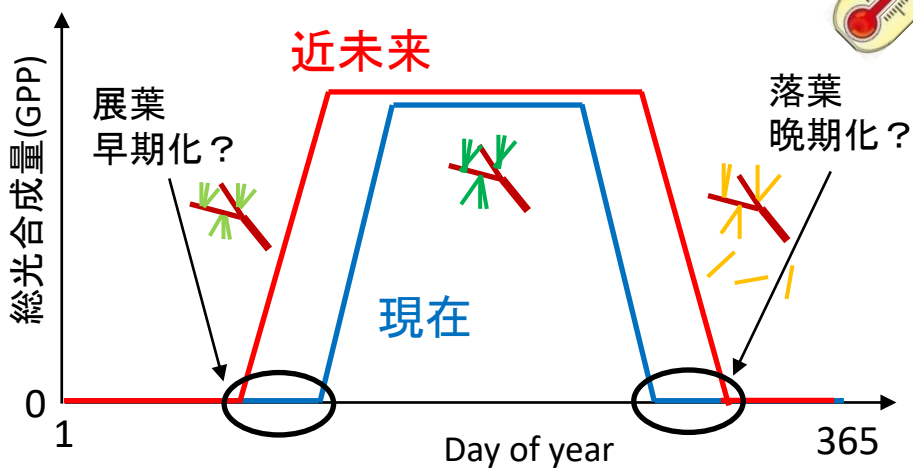
環境省植生図より



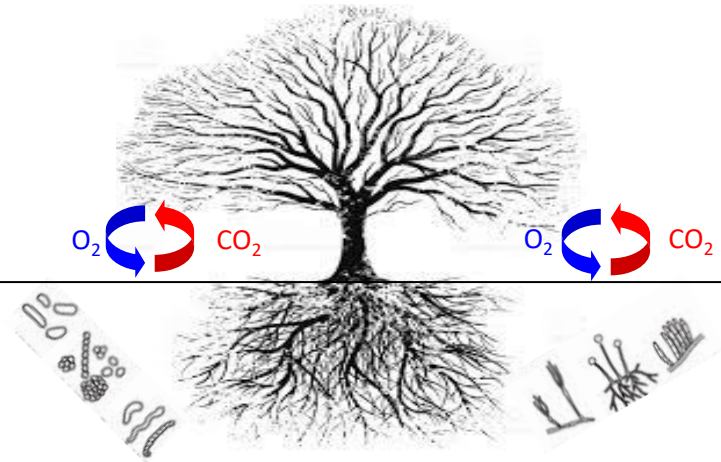
標高:SRTM2、植生:環境省植生図より

研究開発目的

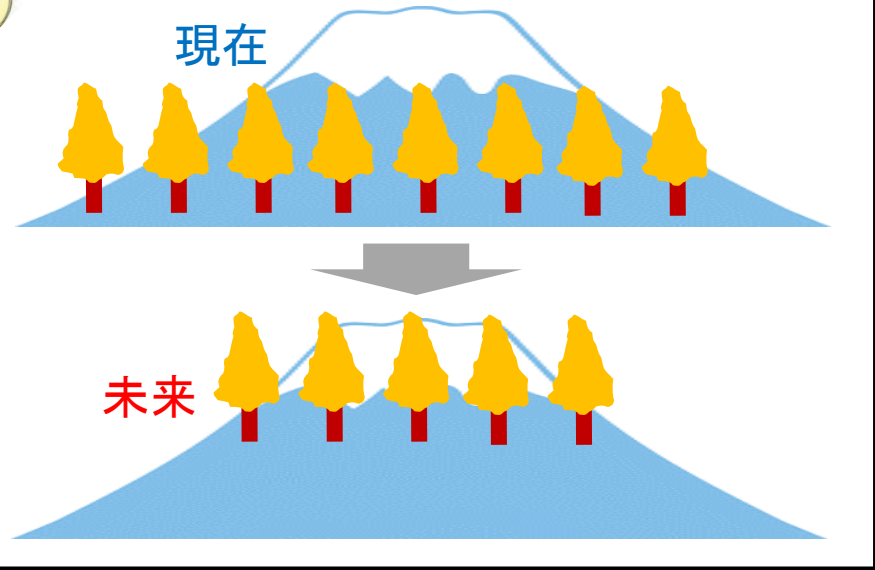
短期的には、展葉・落葉のタイミングが変化してよりCO₂吸収？



呼吸量が増加してよりCO₂放出？



長期的には、生育適地が高標高地域に遷移？

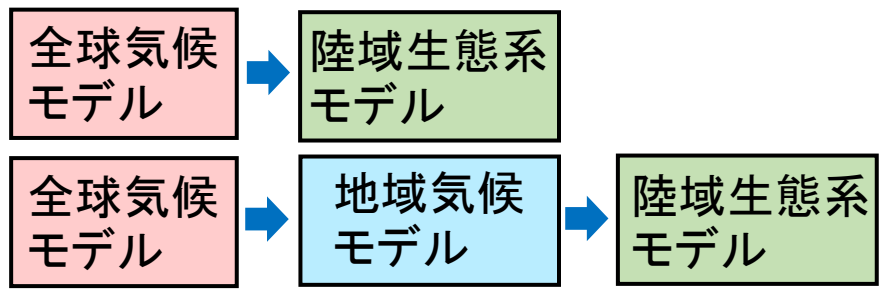


<目的>

2050年頃を対象にカラマツ林の炭素収支(光合成-呼吸)の気候変動応答を予測し、間伐・植林等の森林管理の効果も評価する。

科学的意義(複雑地形上の炭素収支計算)

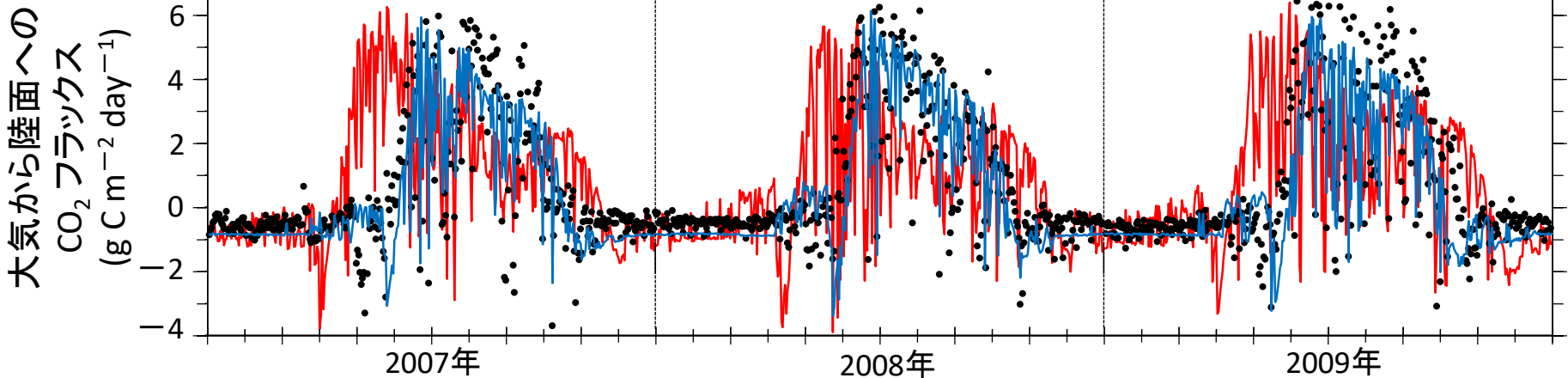
森林生態系の炭素収支を将来予測するためには、気温・日射量などの気候予測値が数十年分必要



全球気候モデルは、山を低く評価するので、温暖になる。
 → 森林の光合成や呼吸を過大評価
 森林生態系の炭素収支を正確に表現できない。

Asia flux高山サイト(標高1420m)における生態系純生産量(炭素収支)

- 観測値
- 全球気候モデル(250km格子) & 陸域生態系モデル
- 地域気候モデル(3.3km格子) & 陸域生態系モデル



研究目標と概要

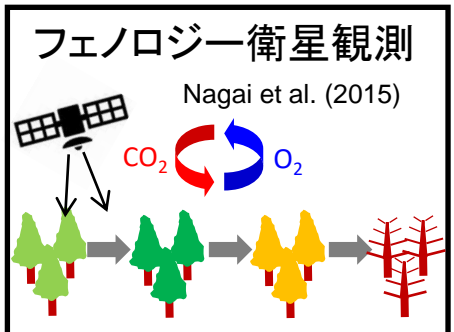
長野県における2050ゼロカーボンを支援し、国の地球温暖化対策計画の中期目標に挙げられた森林のCO₂吸収量確保に貢献するために、カラマツ林の炭素収支を高精度に予測して、効果的な森林管理の方法を提示

<サブテーマ1 (長野県)>

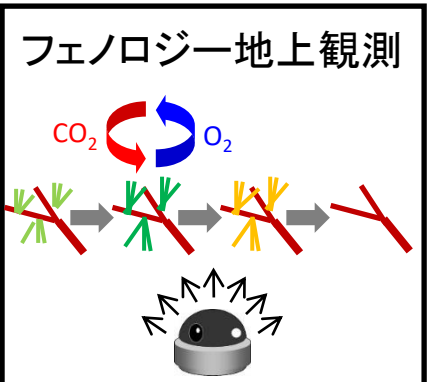
カラマツ林の葉面積指数の連続観測による衛星のフェノロジー観測の検証

フェノロジー衛星観測

Nagai et al. (2015)



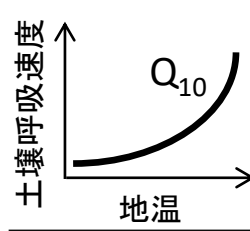
フェノロジー地上観測

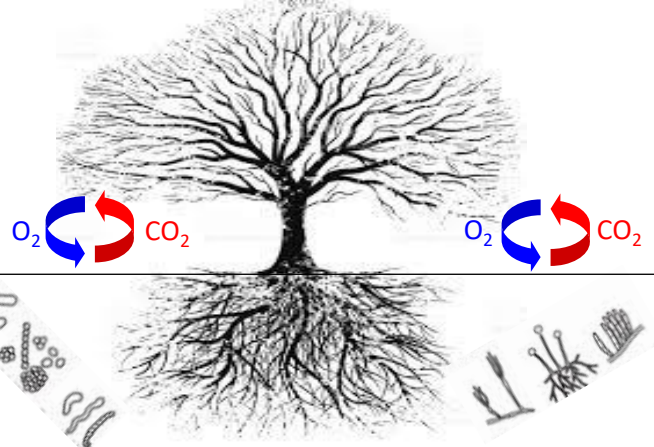


葉群フェノロジーと積算気温の関係

<サブテーマ2 (信州大学)>

土壌呼吸における根呼吸・微生物呼吸・菌糸呼吸の寄与と環境応答性の解析





温度感受性 (Q₁₀) を評価

<サブテーマ3 (長野県)>

超高解像度気候予測値と陸域生態系モデルによる炭素収支の評価

地域気候モデルによる1km格子の気候データ

入力

陸域生態系モデル (VISIT)

Ito (2010); Ito and Inatomi (2012)

出力

現在と将来のカラマツ林の炭素収支

比較

出力

間伐・皆伐して植林(カラマツやスギ)した場合の将来の炭素収支

研究開発内容(サブテーマ1)

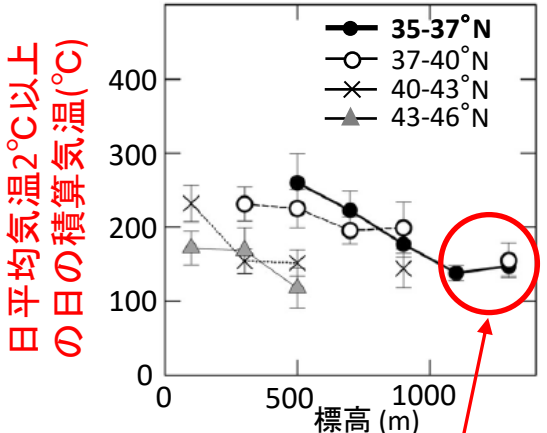
カラマツ林の葉面積指数の連続観測による衛星のフェノロジー観測の検証

| 2018年度 | 2019年度 | 2020年度 |
|---------------------------------|---|--------|
| 長野県環境保全研究所(飯綱庁舎)における気象・フェノロジー観測 | | |
| | 長野県の4演習林でカメラによるフェノロジー観測 | |
| | フェノロジーと積算気温の関係式を評価し、衛星観測(Nagai et al., 2015)の結果と比較・検証 | |

衛星観測に基づく
先行研究
(Nagai et al., 2015)

高標高域にあるカラマツ
ほど低い気温で展葉・落
葉する傾向

<展葉開始日と積算気温の関係>

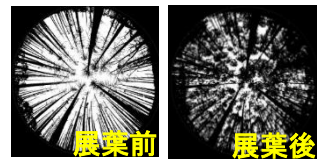
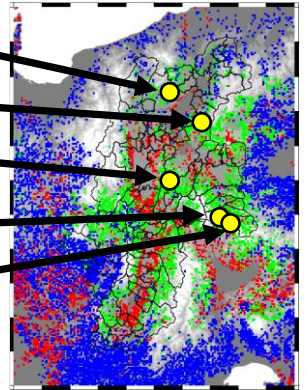


標高1000m以上の地域は気象観測点が少なく、
地上観測の結果と比較して検証が必要！

地上観測

青:スギ・ヒノキ
赤:アカマツ 緑:カラマツ

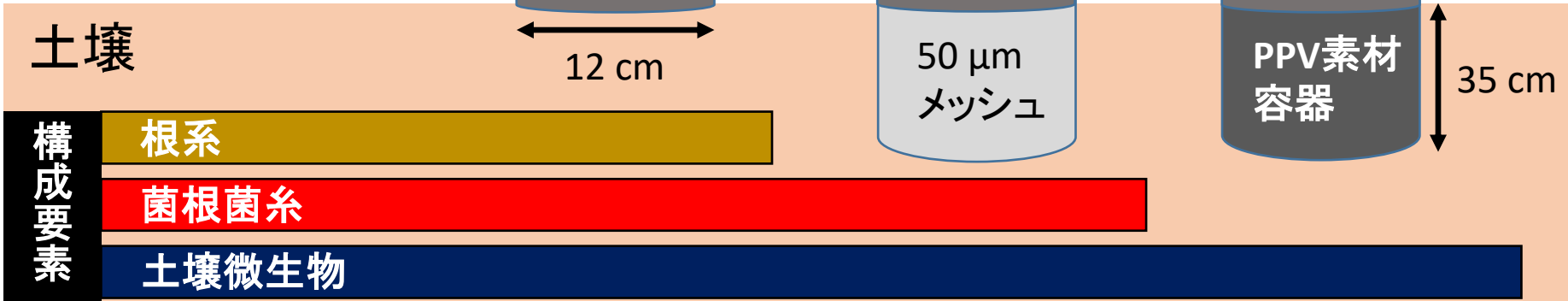
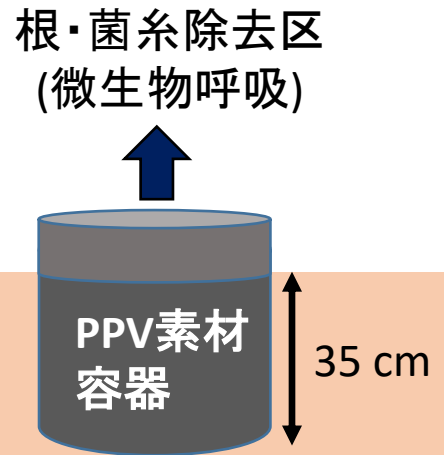
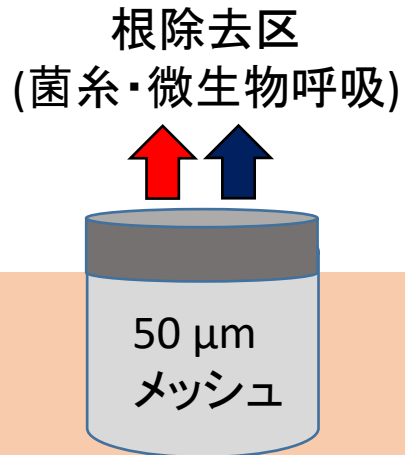
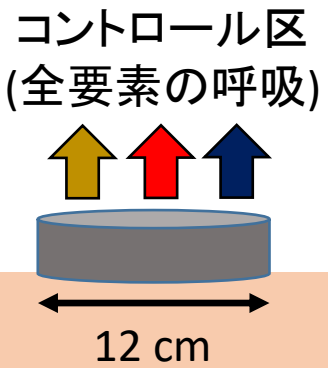
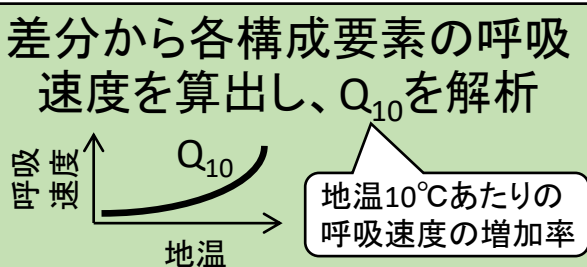
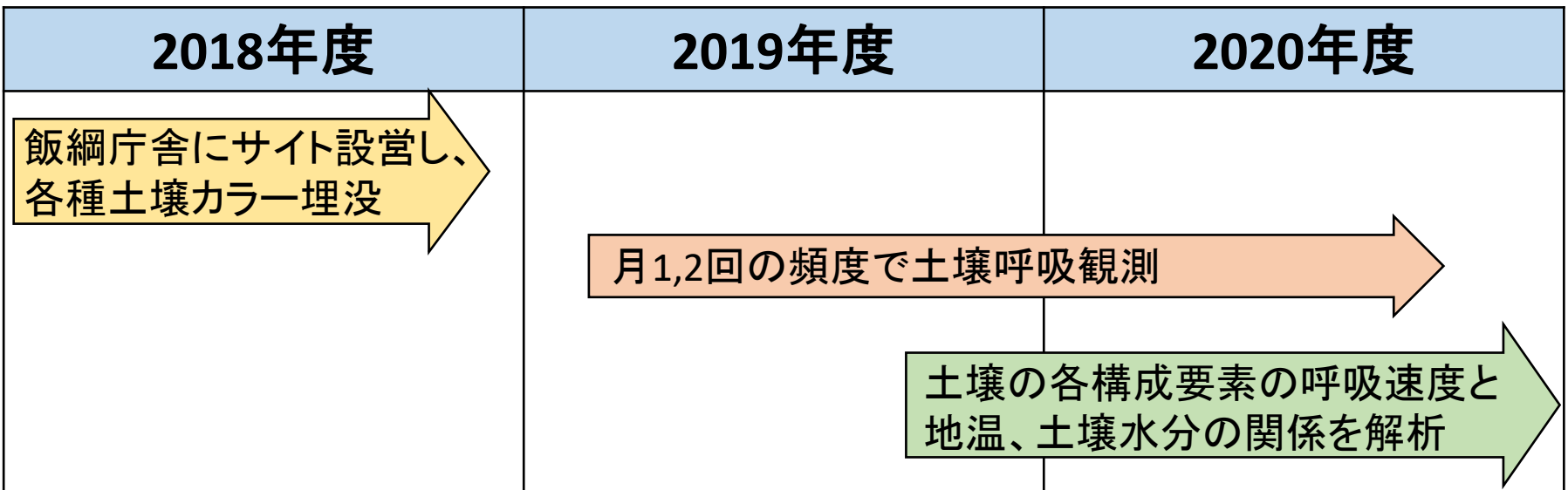
- 飯綱 (1030 m)
- 菅平 (1348 m)
- 塩尻 (888 m)
- 野辺山 (1418 m)
- 川上 (1559 m)



葉量の変化から展
葉・落葉を捉える。

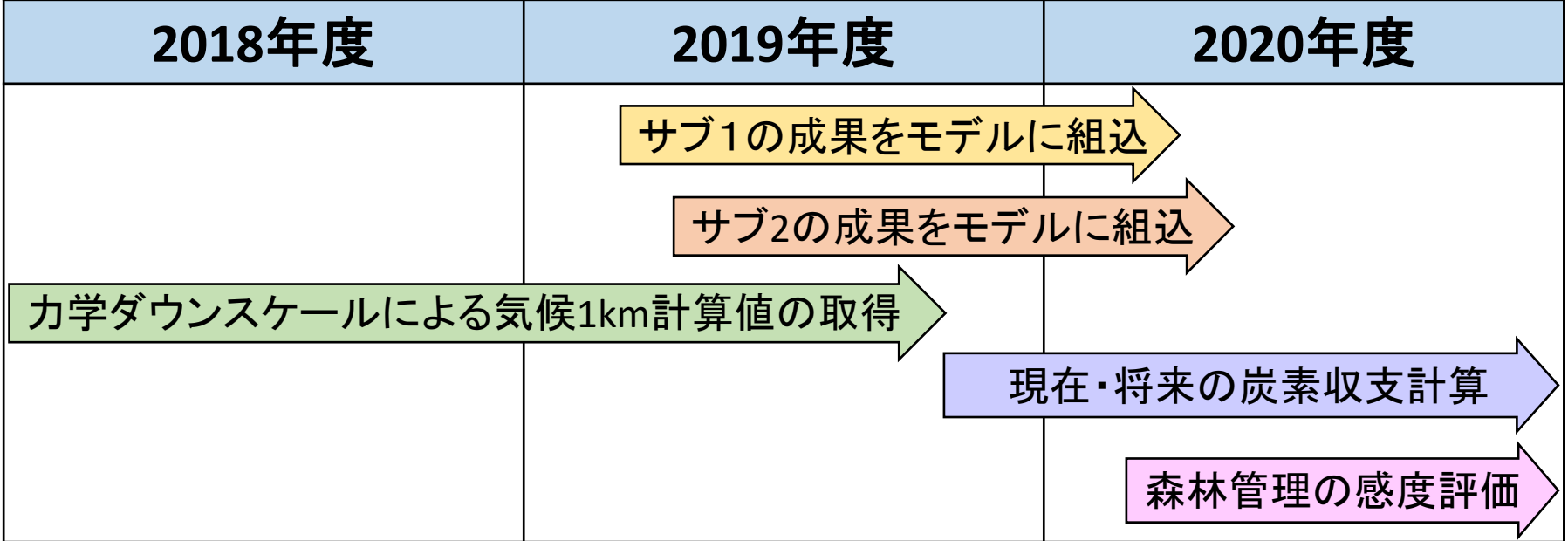
研究開発内容(サブテーマ2)

土壌呼吸における根呼吸・微生物呼吸・菌糸呼吸の寄与と環境応答性の解析



研究開発内容(サブテーマ3)

超高解像度気候予測値と陸域生態系モデルによる炭素収支の評価



力学DS(d4PDF/NHRCM)による気候データ

20km格子 5km格子
1km格子

(文部科学省 SOUSEI、SI-CAT)

長野周辺域
1km計算

過去 : 15メンバー
21世紀中頃 : 15メンバー
(産業革命前+2°C)

陸域生態系モデル(VISIT)の構造 Ito (2010)

大気中のCO₂

光合成 ↓ 呼吸 ↑

葉

C分配 ↓

幹・枝

根

リターフォール ↓

リター

腐植

腐植土

分解 ↑


入力

研究開発内容(VISITの計算設定)

| 計算 | 気候 | 大気CO ₂ 濃度 | 間伐・植林 |
|------------------------------|----|----------------------|-------|
| 過去計算 (CTL) | 過去 | 過去 | なし |
| 将来計算 (FUT) | 将来 | 将来 | なし |
| 感度計算 (SEN _{Fclim}) | 将来 | 過去 | なし |
| 感度計算 (SEN _{FCO2}) | 過去 | 将来 | なし |
| 感度計算 (SEN _{PL}) | 将来 | 将来 | あり |

※) 過去: 2010年頃 (CO₂濃度は389ppm)、将来: 2050年頃 (CO₂濃度はRCP8.5で541ppm)

将来変化 = FUT - CTL



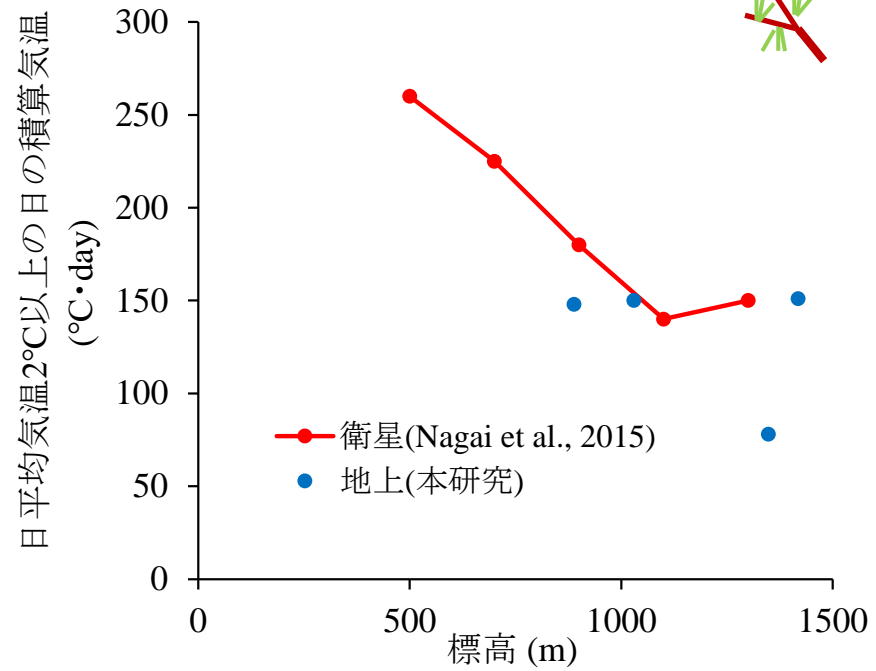
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{CO}_2\text{施肥効果} = \frac{(\text{FUT} - \text{SEN}_{\text{Fclim}}) + (\text{SEN}_{\text{FCO2}} - \text{CTL})}{2} \\ \text{気候変動効果} = \frac{(\text{FUT} - \text{SEN}_{\text{FCO2}}) + (\text{SEN}_{\text{Fclim}} - \text{CTL})}{2} \end{array} \right.$$

植林効果 = SEN_{PL} - FUT

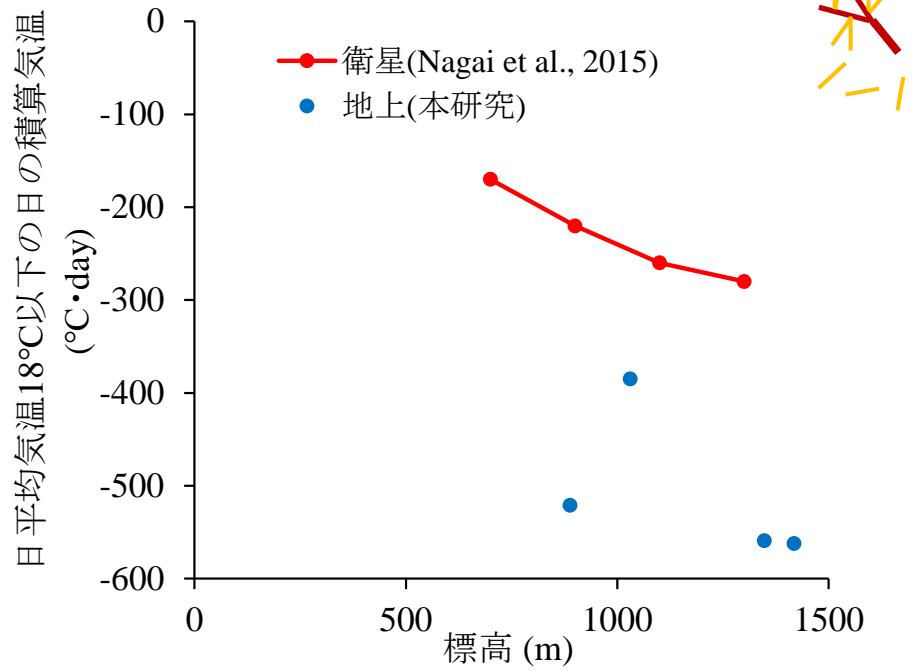
※) 間伐率50%の間伐、または皆伐を2020~4045年の間に1回実施。
植林する樹種はカラマツとスギの2通りで評価。

研究成果(サブテーマ1)

展葉開始日の積算気温と標高の関係



落葉完了日の積算気温と標高の関係



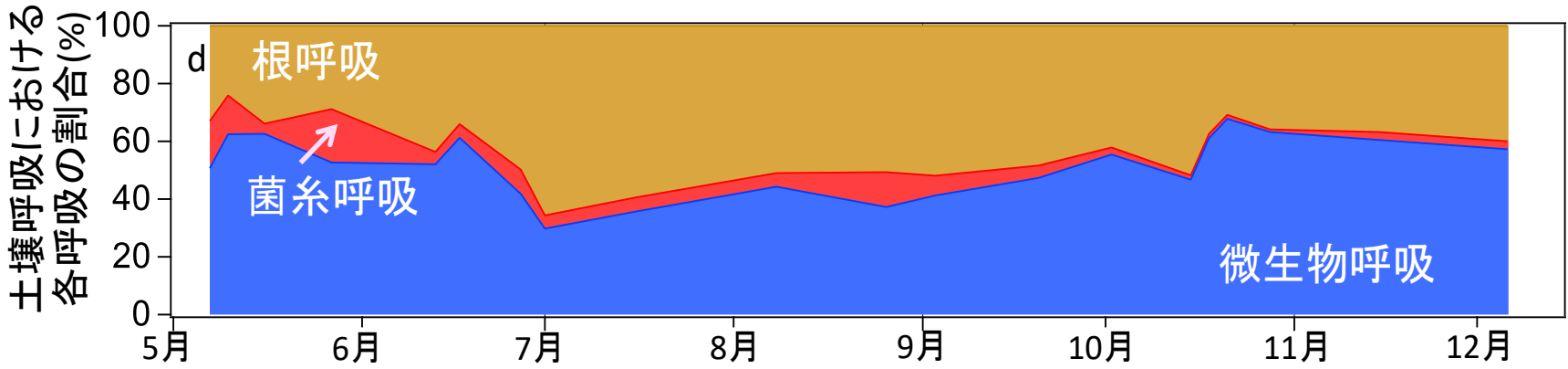
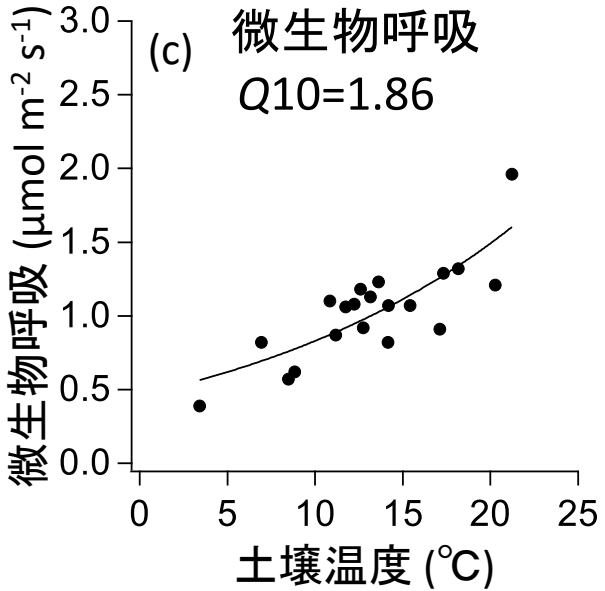
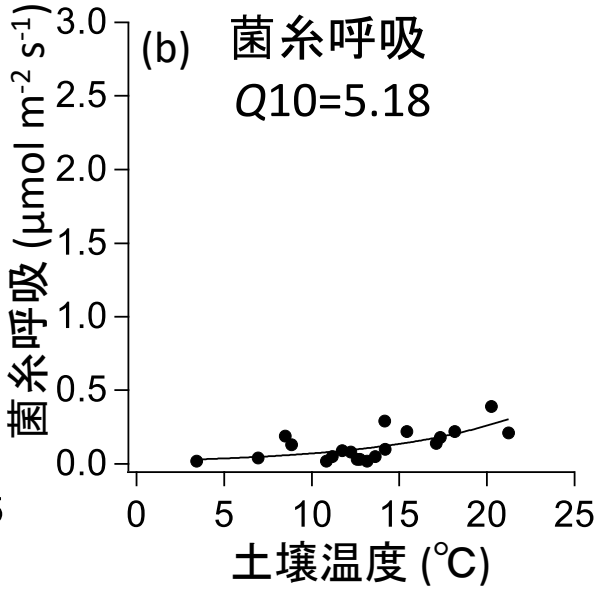
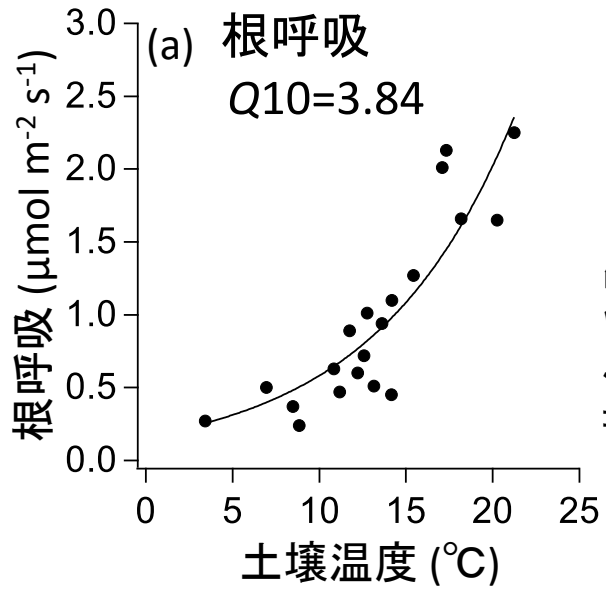
展葉開始日の積算気温と標高の関係は、地点間のバラツキはあるものの衛星観測と地上観測で整合的

落葉完了日の積算気温と標高の関係は、地上観測に基づく結果の方が衛星観測に比べてかなり低い

$$GRVI = \frac{\text{Green} - \text{Red}}{\text{Green} + \text{Red}}$$

衛星観測ではGRVIの変化から展葉・落葉を捉えているので、落葉季は黄葉の影響でGRVIが早く低下し、実際よりも落葉完了日を早く検出。

研究成果(サブテーマ2)

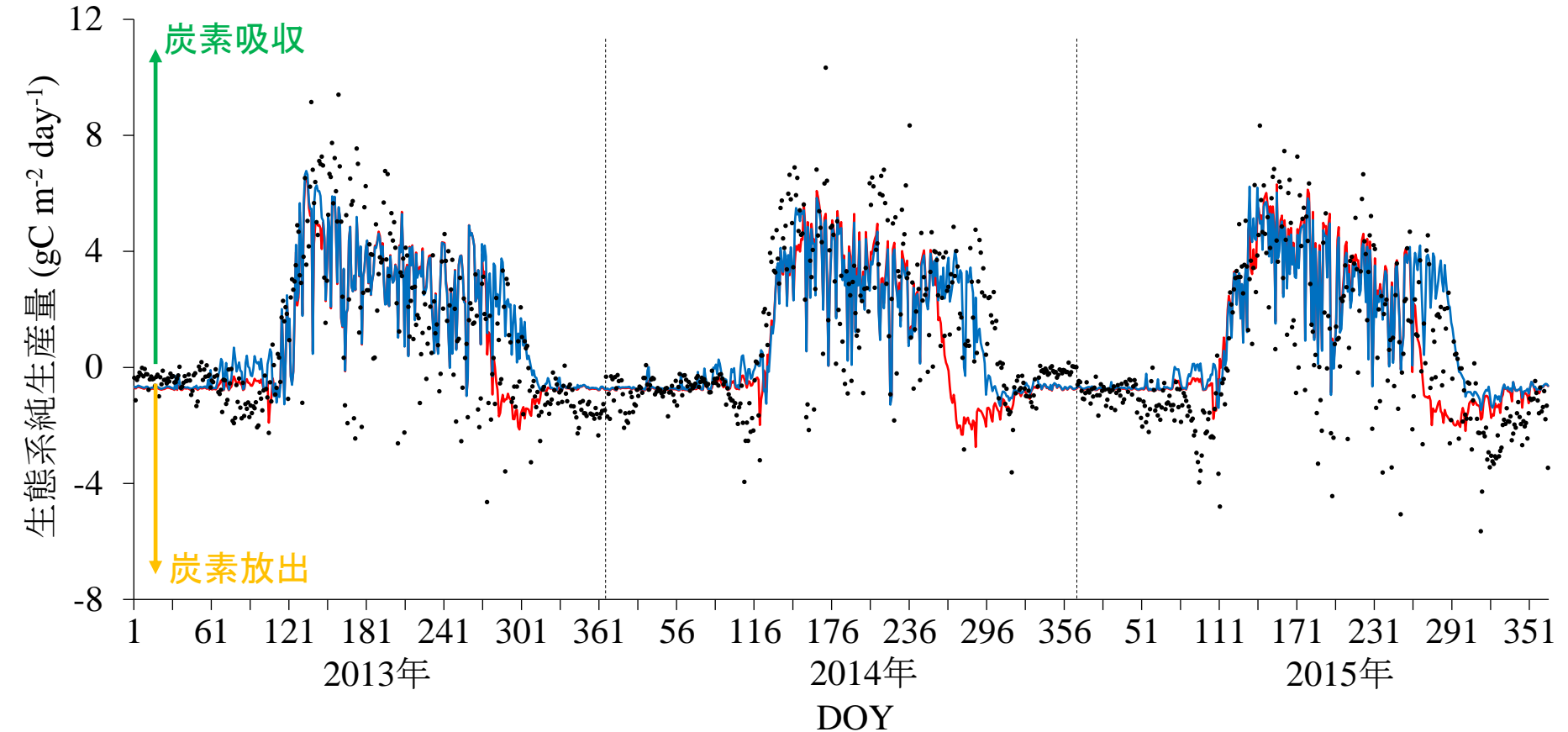


土壌呼吸に占める割合： 微生物呼吸 ≒ 根呼吸 >> 菌糸呼吸
 呼吸の温度感受性(Q₁₀)： 菌糸呼吸 > 根呼吸 > 微生物呼吸
 土壌呼吸全体のQ₁₀は2.71で、他のカラマツ林のQ₁₀よりやや高め、スギ林のQ₁₀より高い。

研究成果(サブテーマ3)

富士北麓フラックス観測サイト(標高1100m)のカラマツ林の生態系純生産量

- 観測(国環研取得)
- モデル(衛星観測のフェノロジー式利用)
- モデル(地上観測のフェノロジー式利用)

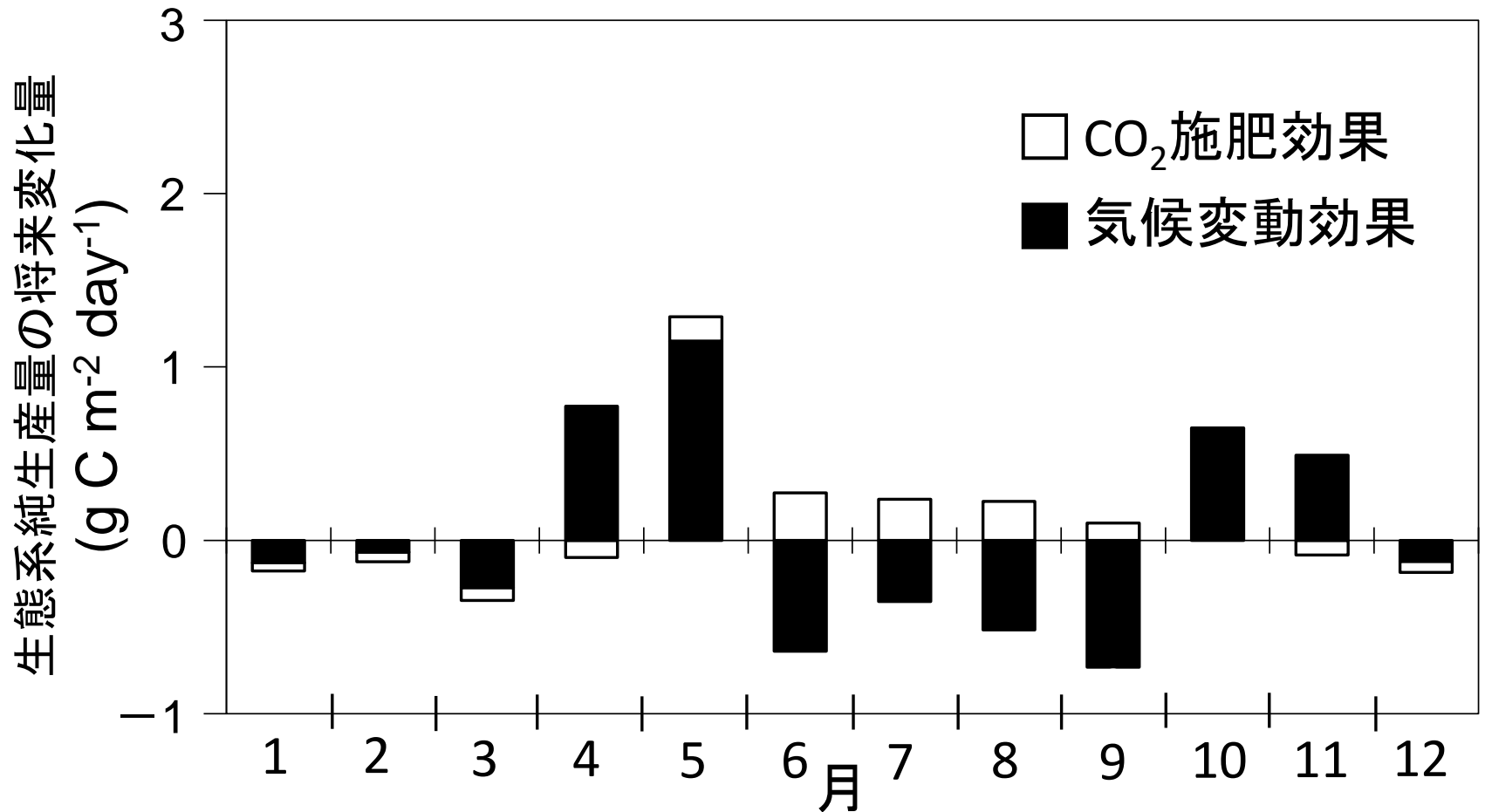


衛星観測に基づくフェノロジー式よりも地上観測に基づくフェノロジー式を陸域生態系モデルに組み込む方が、落葉季の生態系純生産量を高精度に計算

➡ 衛星観測に基づくフェノロジー式を補正することで、落葉季の炭素収支のモデル計算精度が向上

研究成果(サブテーマ3)

生態系純生産量(炭素収支)の月毎の将来変化 (2050年－2010年)

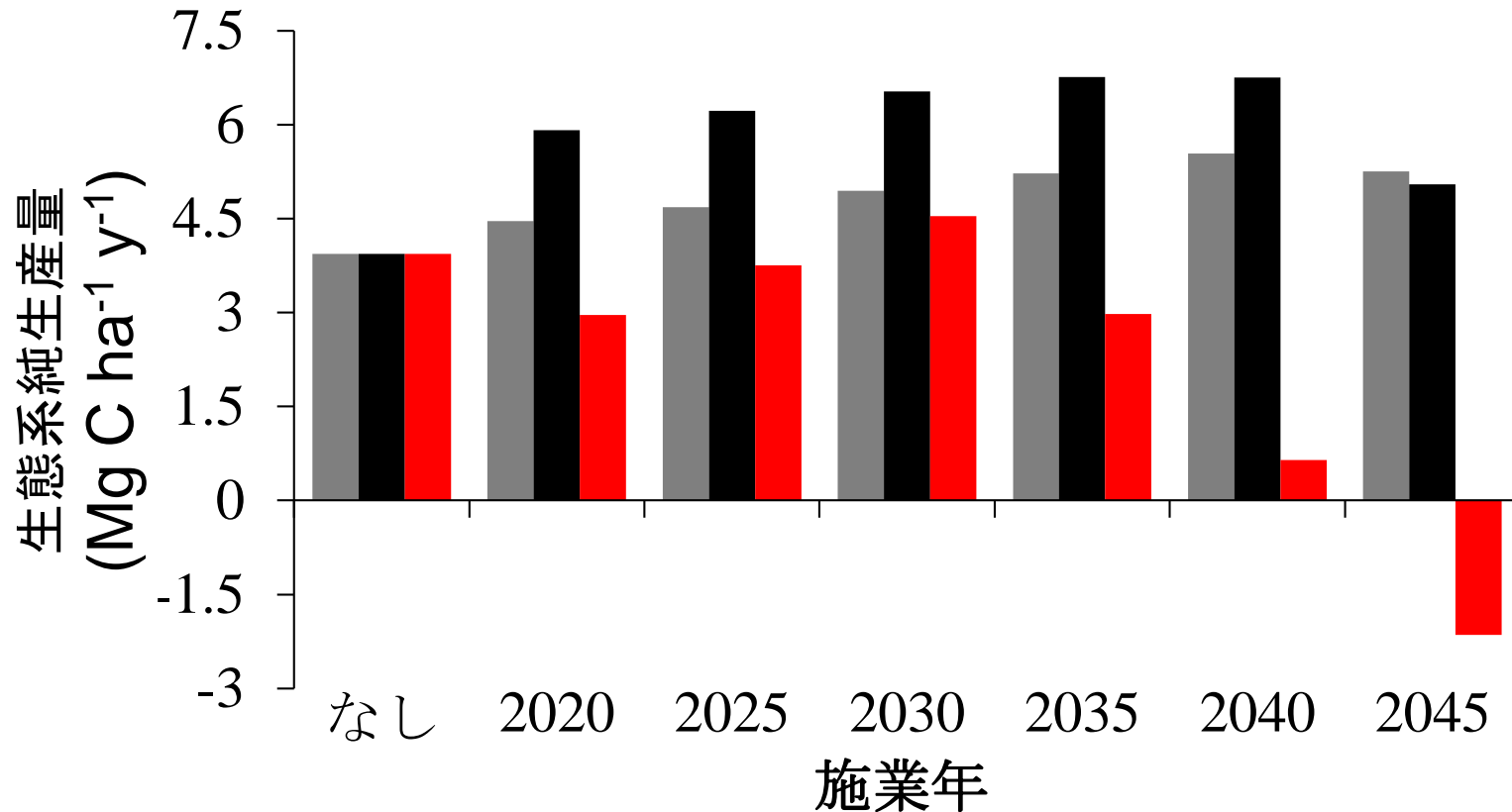


- 2050年は林齢が100年生近くに達するにも関わらず炭素収支は年間6.5%増加。4.6%が CO_2 施肥効果で、1.9%が気候変動効果による。
- CO_2 施肥効果は5～9月の着葉期に炭素収支を増加させる。
- 気候変動効果は展葉季と落葉季に炭素収支を増加させるが夏季は減少させる。

研究成果(サブテーマ3)

2050年の生態系純生産量(炭素収支)

■ 間伐率50%の間伐&カラマツ植林 ■ 皆伐&カラマツ植林 ■ 皆伐&スギ植林



- 2050年の炭素収支は、2040年までに皆伐・植林(カラマツ)の施業をすることで何もしない場合に比べて1.5~1.7倍に増加。
- スギを植林すると、何もしない場合と同程度か減少。

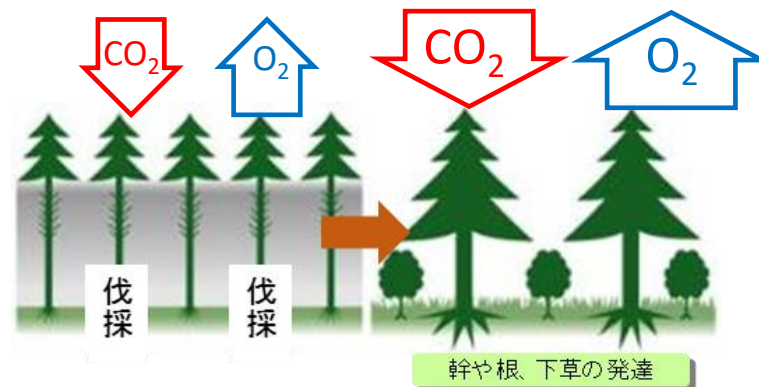
研究成果(環境政策等への貢献の見込み)

<長野県>

- 県の林務部と連携した林業と気候変動対策の両方に**有益な主伐・再造林の推進**
- 2021年6月の**長野県ゼロカーボン戦略策定**

<国>

- 成果を全国環境研究所交流シンポジウムなどで公開して、長野県の取組が**他の自治体にも敷衍される可能性**
- 2050年カーボンニュートラルや地球温暖化対策計画の中期目標に挙げられた森林のCO₂吸収量の確保をサポート



成果の発表状況

●査読付き論文 : 1件

- 1) Naoki Makita, Roma Fujimoto, Azusa Tamura (2021) The contribution of roots, mycorrhizal hyphae, and soil free-living microbes to soil respiration and its temperature sensitivity in a larch forest. *Forests*, 12(10), 1410, <https://doi.org/10.3390/f12101410>.

●その他誌上発表(査読なし): 4件

- 1) 尾関雅章, 栗林正俊: 長野県環境保全研究所研究報告, 17, 67-71 (2021年) UAVを用いたカラマツ人工林の葉フェノロジーの観測.
- 2) 栗林正俊, 尾関雅章: 長野県環境科学技術者協議会報, 130, 6-9 (2021年) 信州カラマツの炭素収支の気候変動応答に関するモデル解析.
- 3) 栗林正俊, 浜田崇: 長野県環境保全研究所研究報告, 16, 59-64 (2020年) 飯綱高原のカラマツ人工林における2018~2019年の気象観測.
- 4) 尾関雅章, 栗林正俊: 長野県環境保全研究所研究報告, 15, 45-49 (2019年) 長野市飯綱高原におけるカラマツ高齢人工林の樹木成長.

●学会発表 : 20件 (国際1件、国内19件)

●国民との科学・技術対話 : 11件

●受賞等 : 2件

- 1) 若手優秀発表賞、日本山の科学会、2019年10月26日、栗林正俊
「中部山岳域における積雪期間の観測とモデリングの課題」
- 2) 中部森林学会学生発表奨励賞、中部森林学会、2020年12月6日、田村 梓
「カラマツ林のシュートと細根のフェノロジー観測:シュートと細根の色の変化はいつ起きるのか？」