

# 山岳地域の高山帯および低山帯生態系の 二酸化炭素交換の特性の違い

田邊憲伸

# はじめに

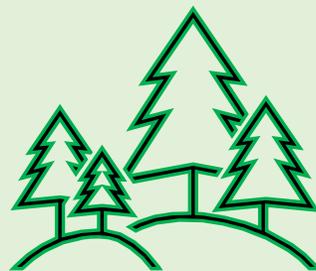
## 森林 | 主要なCO<sub>2</sub>吸収源

地球温暖化（+大気中CO<sub>2</sub>濃度増加）が進行すると・・・

光合成速度が増加or減少



呼吸量が増加



CO<sub>2</sub>吸収能力が低下

森林衰退のリスク

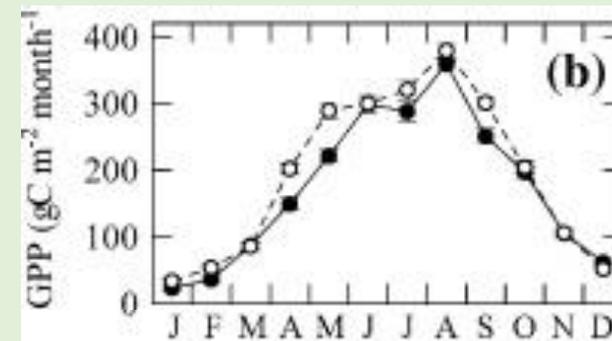
日本では森林をはじめとする自然生態系の多くは山岳域に分布  
山岳域の生態系のCO<sub>2</sub>収支を理解することは生態系の維持機構を  
明らかにすることや陸域のCO<sub>2</sub>交換の広域評価をする上で重要

# はじめに

## ■低山帯

### 渦相関法を用いた連続測定

各生態系のCO<sub>2</sub>交換の季節変化が明らかにされてきた  
e.g. スギ林 (Saitoh et al., 2010) ; アカマツ林 (Mizoguchi et al., 2012)



(Saitoh et al., 2010)

## ■高山帯

### 個葉を対象とした短期的な観測がほとんど

夏季の地形による光合成速度の違いや葉齢による光合成速度の違いが明らかにされた (e.g. Ishida et al., 2001; Nagano et al., 2013)

夏季にハイマツ上にて渦相関法測定を実施し、  
飽差が高い程、気温が低い程総一次生産量が低下 (田邊 2021年)

# はじめに

**課題** | 高山帯の通年でのCO<sub>2</sub>交換の特性は明らかになっていない  
山岳地域の異なる生態系間のCO<sub>2</sub>交換の違いを明らかにする必要

## 目的

- ハイマツ林で**通年**で渦相関法を適用し、CO<sub>2</sub>交換の季節変化・経年変化を明らかにする。
- 低山帯生態系との比較により、山岳域の**生態系ごとのCO<sub>2</sub>交換の特性の違い**を明らかにする。

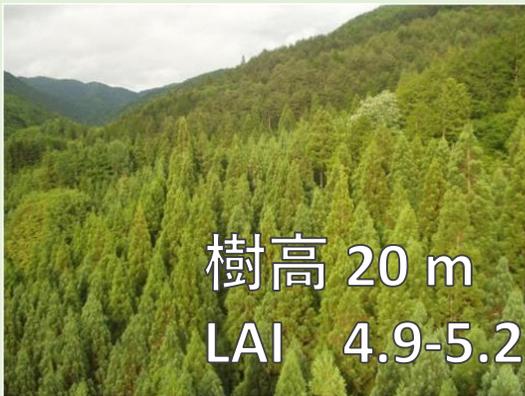
# 方法 | 観測

## 落葉広葉樹林 (標高1420m)



解析期間：1998-2007年

## スギ林 (標高800m)



解析期間：2006-2010年



Google earth より

## ハイマツ林 (標高2640m)



解析期間：2019-2022年

## アカマツ林 (標高1030m)



解析期間：2012-2015年

共通の観測項目 | 正味CO<sub>2</sub>交換量, 微気象データ

# 方法 | 生態系呼吸量と総一次生産量の推定

$$\text{CO}_2 \text{ 交換量} = \text{呼吸量} - \text{総一次生産量}$$

分離方法 (Lloyd & Taylor, 1994)

夜間のCO<sub>2</sub>交換量と気温データから呼吸量のパラメータを推定

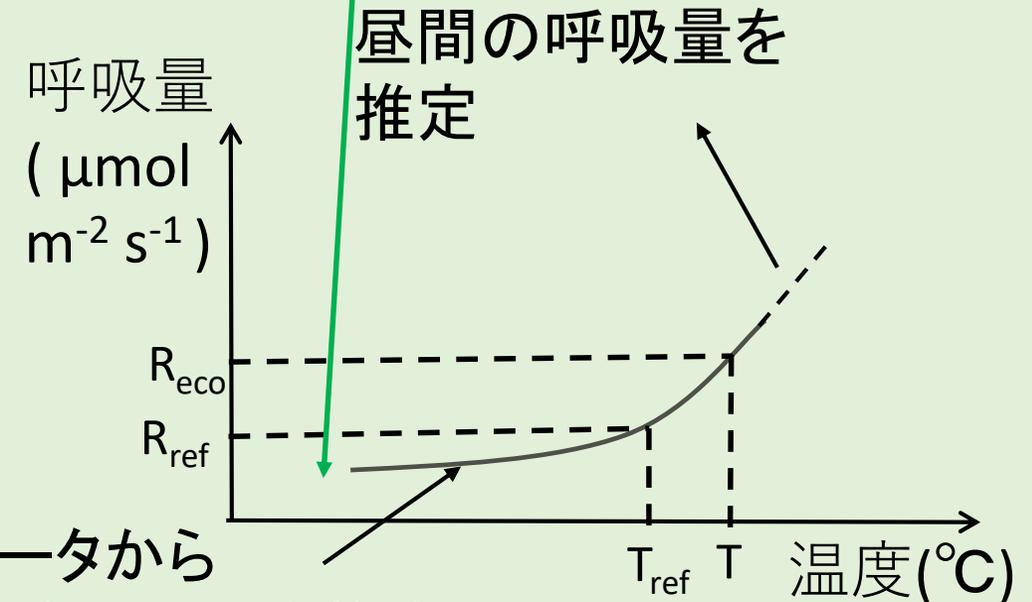
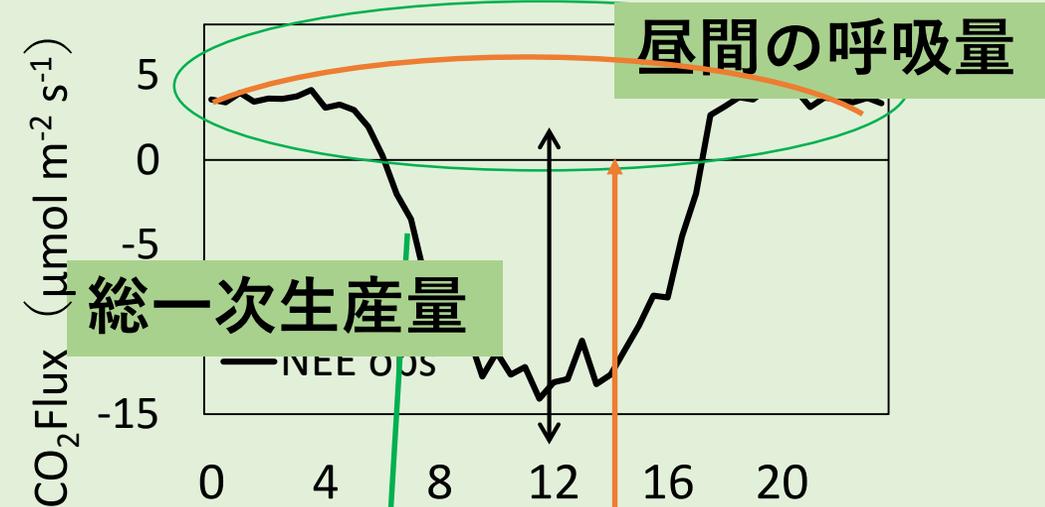
呼吸量モデル

$$R_{eco} = R_{ref} e^{E_0 \left( \frac{1}{T_{ref} - T_0} - \frac{1}{T - T_0} \right)}$$

基準呼吸量

呼吸量のパラメータを昼間のデータに外挿して生態系呼吸量を推定

総一次生産量はCO<sub>2</sub>交換量と生態系呼吸量の差で推定



夜間のデータから呼吸量のパラメータを推定

昼間の呼吸量を推定

# 方法 | 光合成パラメータの推定

強光時 Big Leafモデル (Kosugi et al., 2005)

$$P = V_{cmax} \frac{p(C_c) \text{ 葉内の } CO_2 \text{ 濃度}}{p(C_c) + K_c \left(1 + \frac{p(O)}{K_o}\right)}$$

光合成速度

(Farquhar et al., 1980)



CO<sub>2</sub>交換量や気象データを入力値としてパラメータを逆推定

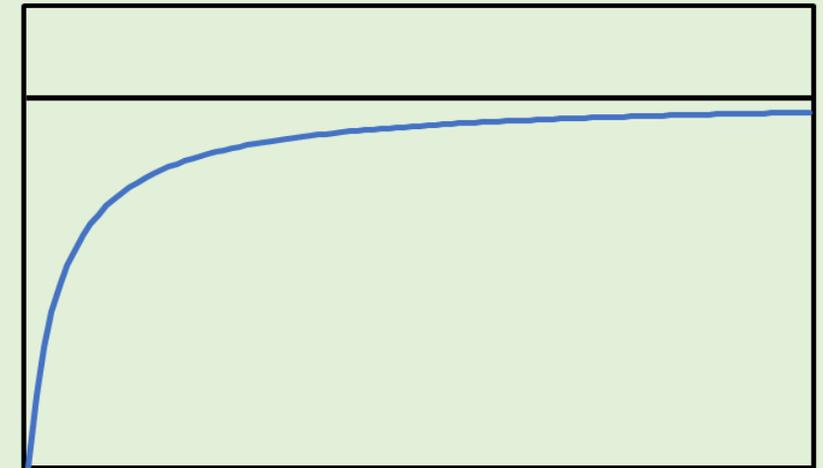
光飽和時の光合成速度

$$GPP = \frac{-\varphi Q - P_{max} + \sqrt{(\varphi Q + P_{max})^2 - 4\varphi Q \theta P_{max}}}{2\theta}$$

Q | 日射量

V<sub>cmax</sub>, P<sub>max</sub>

光合成速度 (P)



葉内CO<sub>2</sub>濃度 (p(C<sub>c</sub>)), 日射量 (Q)

# 結果 | ハイマツ林の季節変動

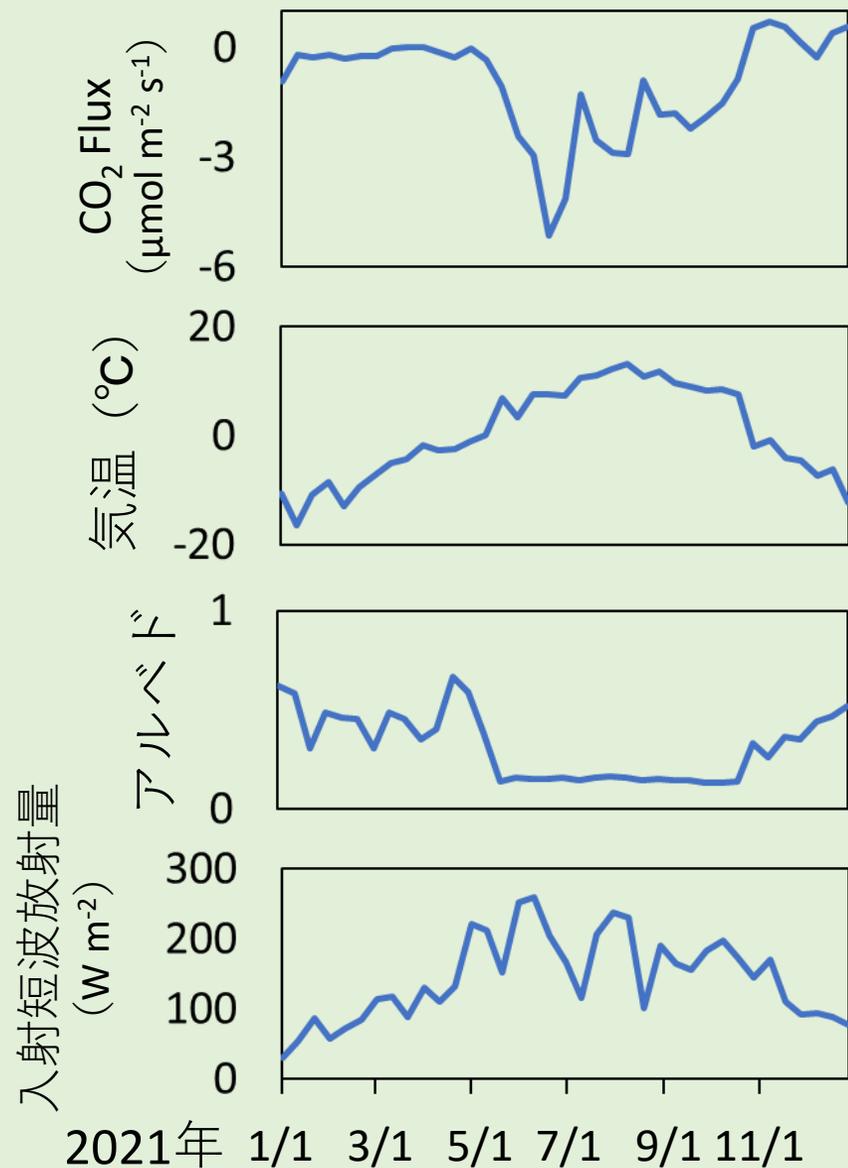
雪解け | 5月初旬

積雪 | 10月下旬

CO<sub>2</sub>吸収 | 5月初旬-10月下旬

夏に正味吸収量最大

日平均正味吸収量 |  $4.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$



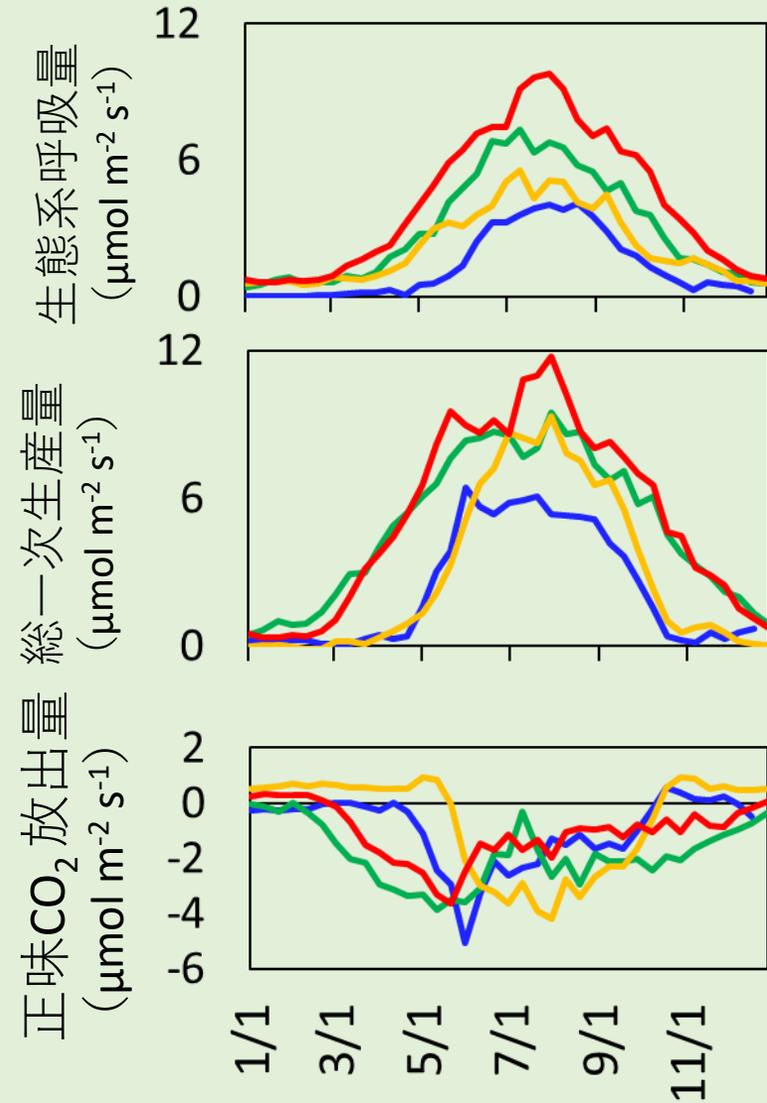
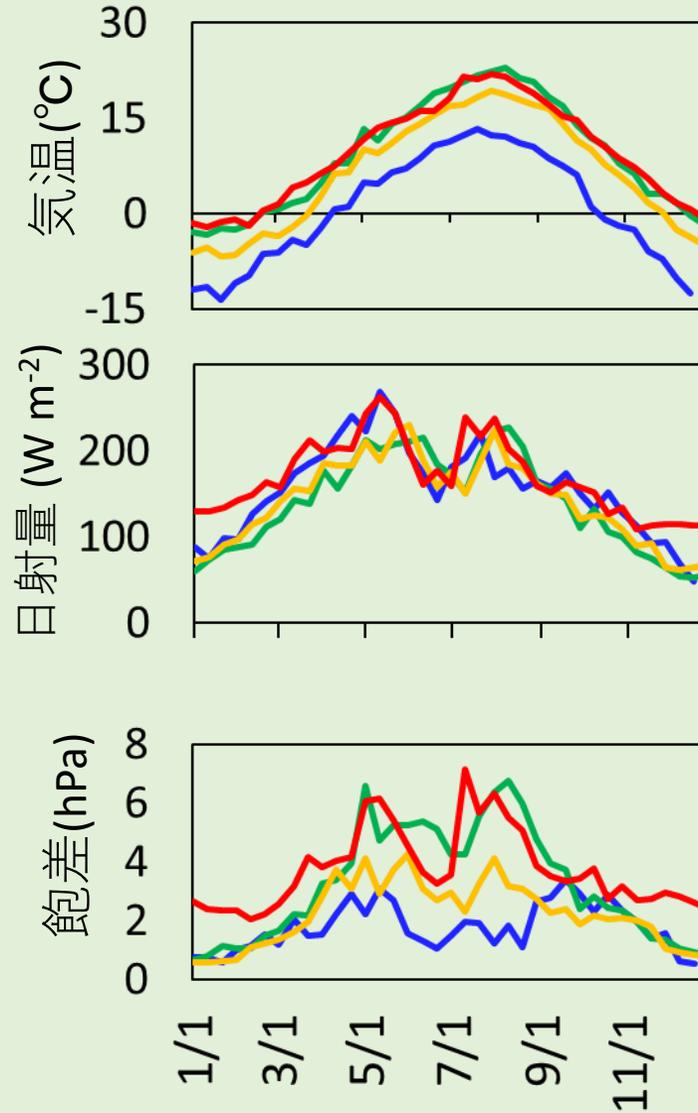
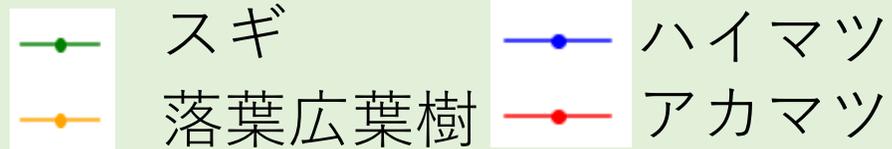
# 結果 | 各サイトの比較

## 気温，飽差

アカマツニスギ > 落葉広葉樹林  
> ハイマツ

## 日射量

サイト間での違いは小さい



# 結果 | 各サイトの比較

## 夏の総一次生産量や生態系呼吸量

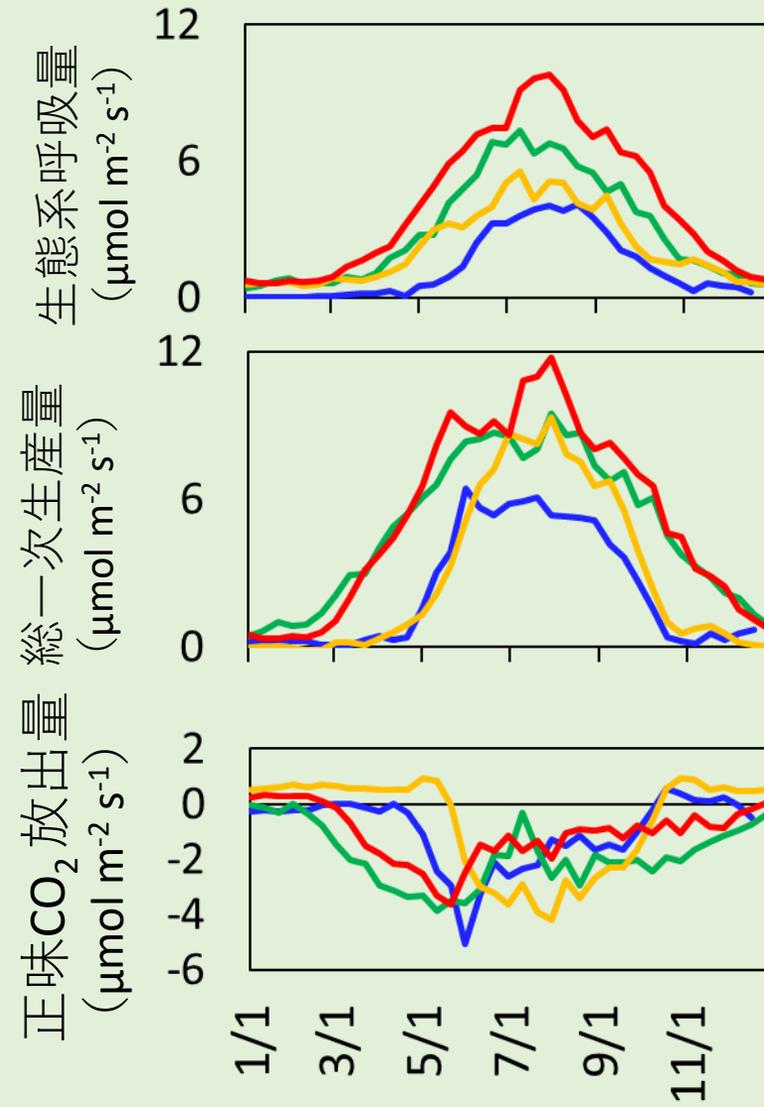
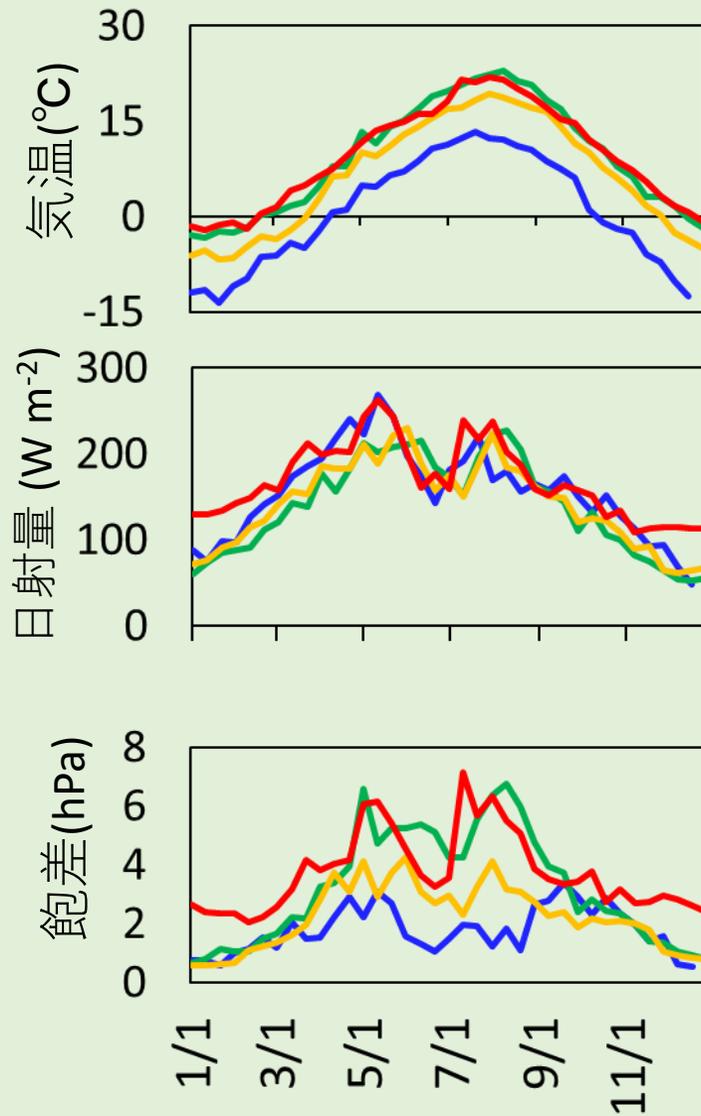
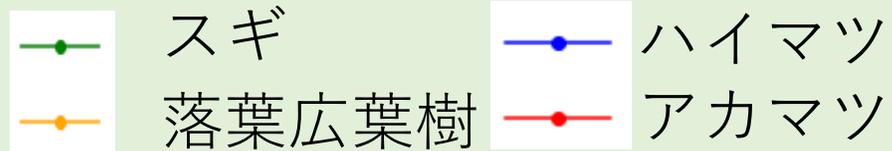
アカマツ林 > スギ林 >  
落葉広葉樹林 > ハイマツ林

## 成長期の期間

スギ林 ≒ アカマツ林 >  
落葉広葉樹林 ≒ ハイマツ林

## 年積算正味CO<sub>2</sub>吸収量 (mol m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>)

スギ林 (58.7)  
アカマツ林 (32.5)  
ハイマツ林 (29.9)  
落葉広葉樹林 (22.1)



# 結果 | 総一次生産量

気温が高くなると  
最大カルボキシル化速度も高くなる

## 葉1枚当たりの最大カルボキシル化速度

樹種間の違いは小さい

クスノキ林

(標高60m, 15°Cでの葉1枚当たりの  
最大カルボキシル化速度:  $7.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )  
(Kosugi et al., 2005)

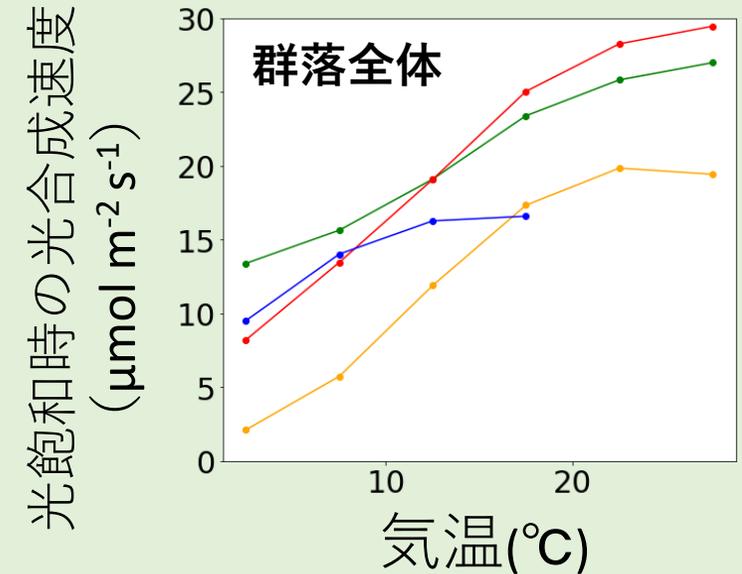
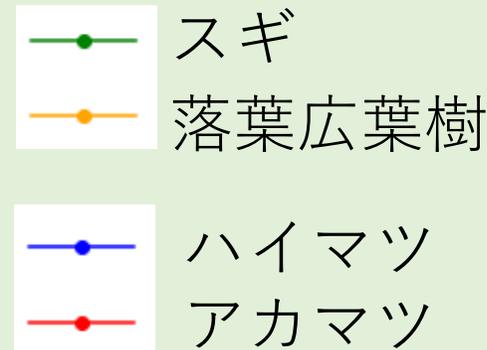
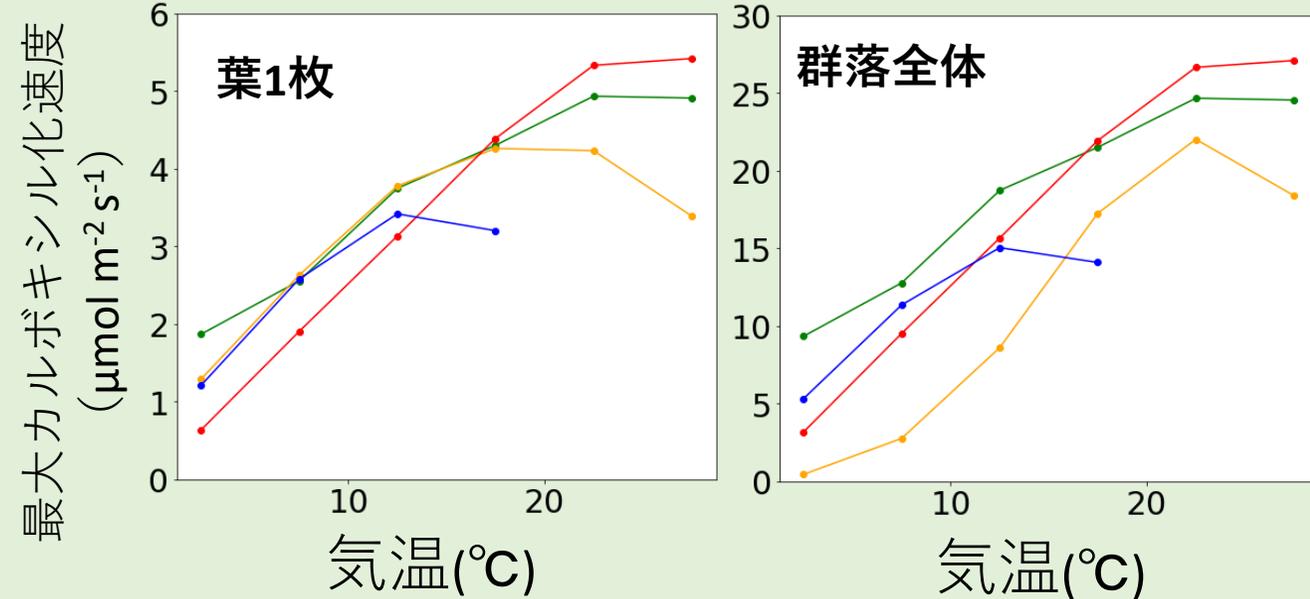
山岳域の最大カルボキシル化速度が  
低い可能性

## 群落全体の最大カルボキシル化速度

低温では落葉広葉樹林が最も低い

## 光合成速度

落葉広葉樹林が最も低い



# 結果 | 生態系呼吸

## 生態系呼吸量 | 気温と共に増加

ハイマツ林と落葉広葉樹林の温度依存が小さい

ハイマツ林は植物量が少ないため

## 基準呼吸量 (15°C) | 葉面積指数の増加と共に増加

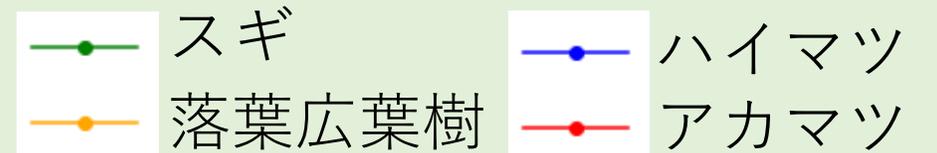
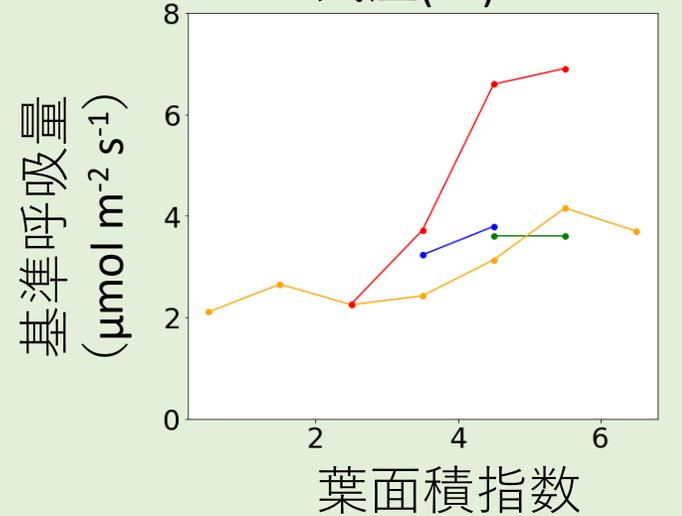
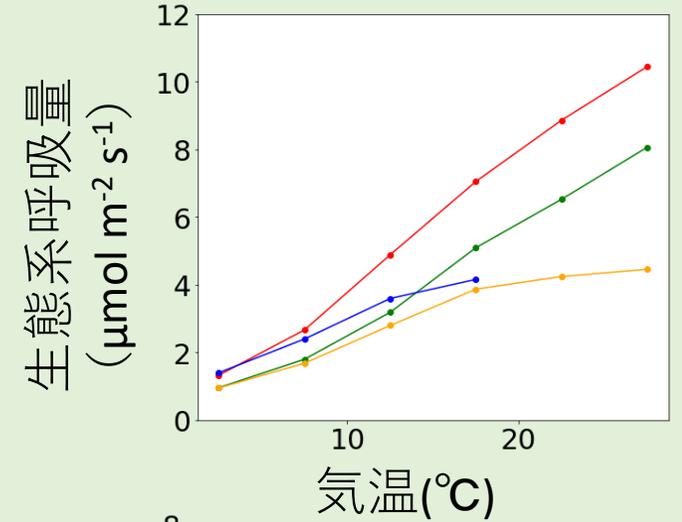
0°C以上の平均値

アカマツ林 ( $4.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), スギ林 ( $3.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

落葉広葉樹林 ( $2.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), ハイマツ林 ( $2.6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

## 先行研究の基準呼吸量 (Reichstein et al., 2005)

落葉広葉樹林 ( $4.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , フランス, 温帯, 標高300m, LAI | 5.6)



# 結果 | サイト間の気温とCO<sub>2</sub>フラックスの関係

## 総一次生産量

標高がより低いスギ林がアカマツ林よりも低い

アカマツ林の方がより気温が高い

生態系間での違いは気温で説明される

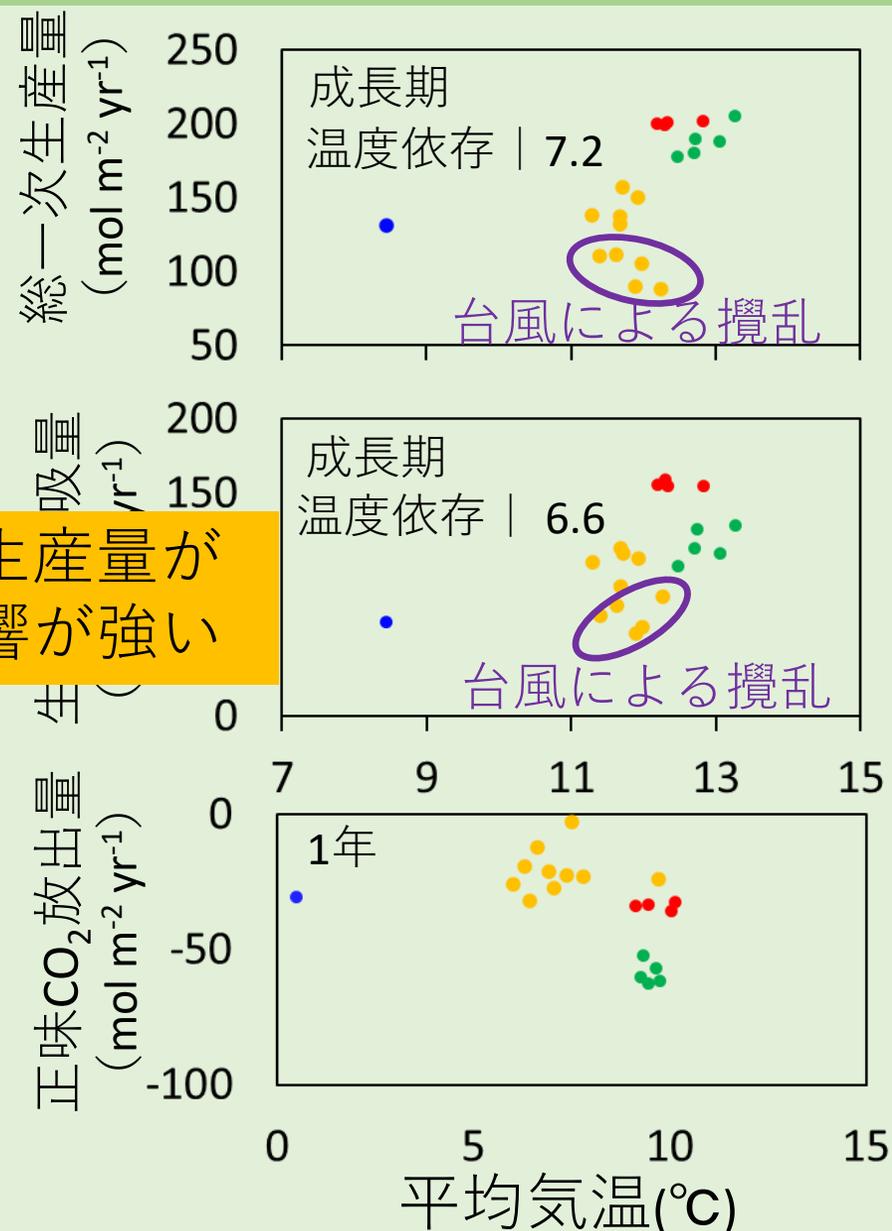
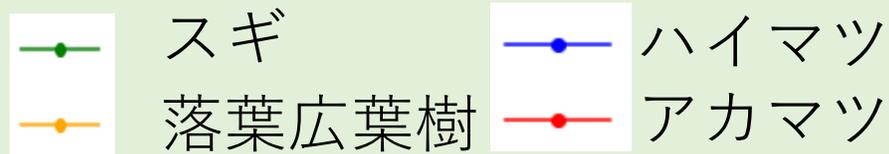
## 正味CO<sub>2</sub>放出量

全体的に低標高地で吸収量が生態系呼吸量よりも総一次生産量が  
**ハイマツ林** | 低気温だが、最成長期の気温低下による影響が強い  
葉面積指数が他サイトと変わらない

## 先行研究

標高が低い程年積算CO<sub>2</sub>吸収量大きい (アメリカ西海岸)

→ 冬季の光合成の有無 (Goulden et al., 2012)



# まとめと結論

## まとめ

葉面積当たりの最大カルボキシル化速度と気温の関係は生態系間によらず同様

総一次生産量や生態系呼吸量は生態系間で比較しても気温と共に増加

葉面積指数が高いと群落の最大カルボキシル化速度が高く、最終的に総一次生産量が高くなった

## 結論

日本中部の山岳域生態系では植物量や気象の違いによってCO<sub>2</sub>交換の空間的変化が形成されている

日本中部の山岳域生態系のCO<sub>2</sub>交換は主に気温によって支配される

気温が同様であれば生態系間の生理特性の違いは小さい