

## 茨城県のスギ人工林における異なる樹冠部位の光合成活性の評価

Seasonal and vertical changes in canopy photosynthetic activities in a canopy of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* (L.f.) D. Don) in Ibaraki prefecture, Japan

北岡 哲\*1・井上裕太\*1・荒木眞岳\*1・飛田博順\*1・齊藤 哲\*1

Satoshi KITAOKA\*1, Yuta INOUE\*1, Masatake G. ARAKI\*1, Hiroyuki TOBITA\*1 and Satoshi SAITO\*1

\* 1 森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba, Ibaraki 305-8687

**要旨**：近年の気候変動にともなう温暖化や降水パターンの変化等により、スギの乾燥害が報告されており、将来的にスギの成長低下や生育不適地の増加が懸念される。気候変動がスギ人工林に与える影響を将来予測するためには、光合成活性の評価が重要である。光合成活性( $V_{cmax}$ :最大カルボキシル化速度や  $J_{max}$ : 最大電子伝達速度)は、樹冠内で様ではなく、樹冠部位の違いや季節性を考慮にいれた評価が必要である。そこで本研究では、茨城県かすみがうら市の森林総合研究所千代田苗畑のスギ人工林から、定期的に陽樹冠と陰樹冠の切り枝を採取して、光合成活性を測定した。陽樹冠の  $V_{cmax}$  は測定開始の4月から陰樹冠にくらべて高く、8月には陰樹冠の3倍程度の値になった。 $J_{max}$  は4月には樹冠部位による差はみられなかったが、陽樹冠の  $J_{max}$  はほぼ一定の値を維持したのに対して、陰樹冠では5月以降明瞭な低下がみられ、8月には陽樹冠の半分程度の値となった。気孔制限  $L_s$  は0.3-0.6の間にあり、樹冠部位の違いの影響は見られなかった。

**キーワード**：最大カルボキシル化速度( $V_{cmax}$ )、最大電子伝達速度( $J_{max}$ )、気孔制限( $L_s$ )

## I はじめに

わが国において、スギは古くから利用されている主要造林樹種(7)である。近年、九州地方などで乾燥害によるスギ人工林の成長阻害が報告されており、その原因のひとつとして気候変動の影響が指摘されている(5)。気候変動が将来スギ人工林にどのような影響を与えるのかを明らかにするためには、生理反応に基づいたプロセスベースモデルによる成長への影響予測が急務である。プロセスベースモデルにおいて光合成活性のパラメータとして広く用いられるのが、Farquhar *et al.*(3)の個葉光合成モデルにおける最大カルボキシル化速度( $V_{cmax}$ )と最大電子伝達速度( $J_{max}$ )である。精度のよい光合成生産量の予測には、これらパラメータの樹冠部位や測定月による違いについて考慮する必要がある(6)。そこで、本研究は、スギ成木の樹冠部位における光合成活性の違いとその季節変化の評価を目的に調査を行った。

## II 方法

**1. 調査地** 茨城県かすみがうら市の森林総合研究所千代田苗畑にある、林齢約39年生のスギ人工林を調査林分とした。平均胸高直径は21.7cm、平均樹高は20.8mであり、立木密度が2650本/haとやや高いため、樹冠長は4m程度であった。

**2. 調査方法** 2017年4~8月の毎月1回、調査林分に設置された足場を利用して、陽樹冠(高さ約19~20m)から6個体、陰樹冠(高さ約17~18m)から4個体の試料を採集した。当年葉は4月に開葉するが、4、5月はサイズが小さく測定できなかった。このため陽樹冠の試料として、4、5月は1年葉、6月は1年葉と当年葉、7月以降は当年葉を対象とした。陰樹冠は、期間を通じて1年葉を対象とした。採取した切り枝を速やかに実験室に持ち帰り、室温25°Cで二酸化炭素-光合成関係(A-Ci曲線)を測定した。A-Ci曲線の測定はLong and Bernacchi(4)の注意点と手順に従った。測定条件は、光強度を陽樹冠: 1500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、陰樹冠: 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 、大気飽差 vpd を1.2 kPa未満に、葉温を25±1°Cとした。測定の終わった葉は、イメージスキャナで投影面積を読み取り、シュート投影面積あたりの光合成速度を算出した。

**3. データ解析** R言語の plantecophys パッケージ(1)を用いて、A-Ci曲線から  $V_{cmax}$  と  $J_{max}$  を計算した。これらから  $C_i = 400$  ppmの光合成速度を計算し、気孔制限  $L_s$ (2, 4)を計算した。樹冠部位と測定月が  $V_{cmax}$ ,  $J_{max}$  および  $L_s$  に及ぼす効果を評価するため、一般化線形混合モデルを用い、固定要因を樹冠部位と測定月、変動要因を測定個体として解析を行った。

### III 結果と考察

統計解析の結果、 $V_{cmax}$ 、 $J_{max}$  のどちらも、樹冠部位と測定月、これらの交互作用を考慮にいれた統計モデルが有意であった( $V_{cmax}$ 、 $J_{max}$  とともに  $P < 0.05$ )。  $L_s$  は測定月のみ有意であった( $L_s : P < 0.05$ )

陽樹冠の  $V_{cmax}$ (図 1-a)と  $J_{max}$ (図 1-b)は 6 月までは類似した季節変化を示した。4、5月はほぼ一定の値を保った後、6月には低下し、一年葉の  $V_{cmax}$ 、 $J_{max}$  は当年葉の値よりも低くなった。主たる光合成の場が 1 年葉から当年葉に入れ替わっていると推察される。7-8 月にかけて陽樹冠の  $V_{cmax}$  は 4 月の値よりも高くなったが、 $J_{max}$  は 4 月と同程度の値であった。

陰樹冠の  $V_{cmax}$  と  $J_{max}$  の季節変化は期間を通じて同じようなパターンであった。4 月から 5 月にかけて低下がみられ、その後ほぼ一定の値を維持し、7 月から 8 月にさらに低下するという季節変化であった。 $V_{cmax}$  は 8 月に同月陽樹冠の約 1/3 程度の値になった。 $J_{max}$  の 4 月の値は陽樹冠と差はないが、8 月には陽樹冠の 1/2 程の値になった。なお、本研究で得られた  $V_{cmax}$  と  $J_{max}$  の値は飛田ら(6)が同じ千代田苗畑内にある 19 年生のスギ林で報告した値とほぼ同等であった。

気孔制限  $L_s$ (図 1-c)は樹冠部位による違いはなく、6 月を除いて陰樹冠、陽樹冠ともに 0.3-0.4 であった。6 月は陰樹冠と陽樹冠当年葉の  $L_s$  の中央値は約 0.5 と高かった。また陽樹冠当年葉の  $L_s$  は 8 月に向かって低下した。6 月の高い  $L_s$  は乾燥の影響が、陽樹冠当年葉の  $L_s$  の低下は葉構造の成熟の影響が理由として考えられる。これらの関係解析は今後の課題として取り組みたい。

**謝辞：** 森林総合研究所実験林の川崎達郎氏と荒井和徳氏には試料採集の際に、同所樹木生理研究室の皆様には光合成活性測定の際に、お力添えいただいた。また同所物質生産研究室の壁谷大介氏と田中憲蔵氏、樹木分子生物研究室の宮澤真一氏からは、とりまとめの際に有意義なコメントをいただいた。本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」の支援を受けた。以上記して感謝申し上げます。

#### 引用文献

- (1) DUURSMA, R. A. (2015) Plantecophys-an R package for analysing and modelling leaf gas exchange data. *PloS one* **10** : e0143346
- (2) FARQUHAR, G. D. and SHARKEY, T. D. (1982) Stomatal conductance and photosynthesis. *Annu. Rev. Plant Physiol.* **33** : 317-345

(3) FARQUHAR, G. D. *et al.* (1980) Biochemical model of photosynthetic  $CO_2$  assimilation in leaves of C 3 species. *Planta* **149** : 78-90

(4) LONG, S. P., BERNACCHI, C. J. (2003) Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? *Procedures and sources of error. J. Exp. Bot.* **54**: 2393-2401

(5) 松本陽介ほか (2006) 温暖化に対するスギ人工林の脆弱性マップ. *地球環境* **11**: 43-48

(6) 飛田博順ほか (2014) スギ樹冠葉の光合成パラメータの樹冠内・季節変動. *関東森林研究* **65**: 103-106

(7) 遠山富太郎(1976)杉のきた道 -日本人の暮らしを支えて-. 中公新書, 東京, 215pp

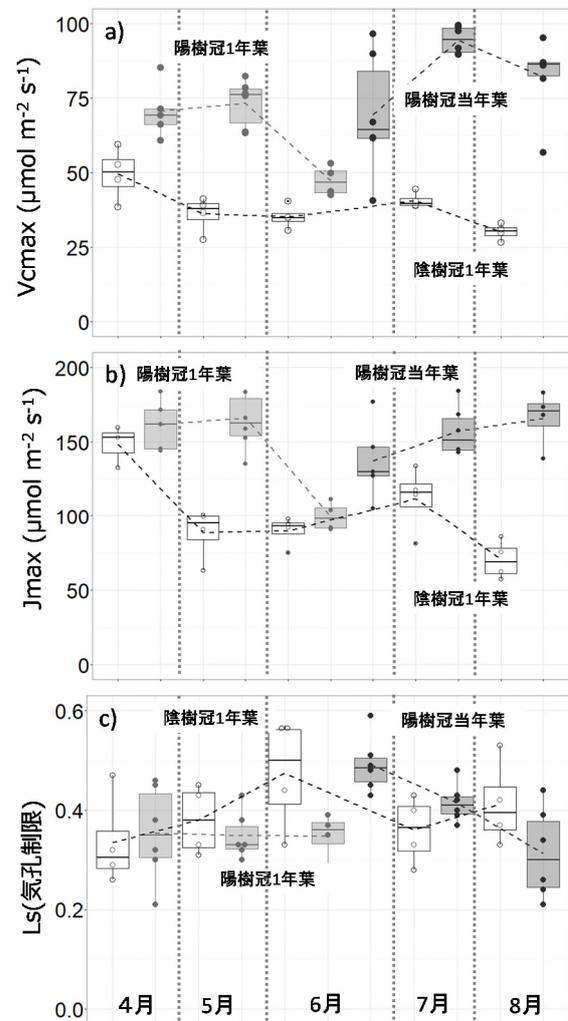


図-1 スギの光合成活性と気孔制限( $L_s$ )の季節変化, a)最大カルボキシル化速度( $V_{cmax}$ ), b)最大電子伝達速度( $J_{max}$ ), c)気孔制限( $L_s$ )