

環境変動と森林施業に伴う針葉樹人工林のCO₂吸収量の変動評価に関する研究

(1) スギ・ヒノキ林の光合成生産と環境応答に関する研究

独立行政法人森林総合研究所

植物生態研究領域 物質生産研究室 韓 慶民

立地環境研究領域 養分環境研究室 長倉淳子

四国支所 森林生態系変動研究グループ 野口享太郎

九州支所 森林生態系研究グループ 重永英年

平成16～20年度合計予算額 121,266千円（全課題分）
 （うち、平成20年度当初予算額 21,261千円（全課題分））

[要旨]

林冠が閉鎖した27年生スギ人工林において、隣接木を伐倒して林冠を疎開した個体の樹冠の発達と光環境の経年変化を調べた。閉鎖状態では、樹冠長は4m弱、最大樹冠半径は1.5m弱で、隣接個体と枝葉が接触する地上高から約1m下方で葉の枯れ上がりが観察された。樹冠直下の相対光強度は3%以下であった。疎開により樹冠部の相対光強度は20%程度の上昇を示した。樹冠最下部では枝の枯れが停止したため、樹高生長にともない樹冠は拡大し、疎開後3年目の樹冠長は約5m、最大樹冠半径は約1.8mになった。相対光強度が5%程度となるような樹冠内部では、疎開後も枝の枯れが発生した。疎開前に樹冠上部から中部に位置していた一次枝では、疎開により光環境が改善されても伸長量が増加する傾向はみられなかった。一次枝の成長特性を基に、樹高成長と本数密度の変化から枝の位置を計算し、樹冠の発達を表現するモデルを構築した。モデルから計算される樹冠形は実測値と一致し、モデルの有効性を確認した。

10年生ヒノキ人工林において50%の本数割合で間伐処理を行い、樹冠内の深度別の光強度と、針葉の光合成パラメータと窒素濃度を調べ、無間伐区と比較した。間伐3ヶ月後には樹冠下部の針葉で光合成パラメータが間伐区で高い値を示し、4年目秋まで維持した。一方、無間伐区では間伐後2年目の秋から枯れ上がりが見られ、4年目の秋に地上高2.0mまでに進んできた。間伐による光合成能力の増加は間伐2年目以降樹冠の上部にも見られ、その増加量は季節または樹冠内位置によって異なった。光合成能力の増加は光の改善より葉内窒素量の再分配に起因し、光一葉内窒素一光合成の関係を定量化した。また、地上部、細根現存量は、無間伐区より間伐区では小さかった。間伐が地上部、細根生産速度や細根消失速度の経時変動パターンに与える影響が小さかった。細根現存量から単木レベルの1年間の細根生産速度を算出した結果、間伐後数年間は地下部への同化産物分配が僅かに増加する可能性を示している。

[キーワード] スギ人工林、ヒノキ人工林、間伐、光合成、細根動態

1. はじめに

林分の光合成生産は、個葉の光合成・呼吸速度、林分葉量、非同化部の現存量と呼吸速度等によって決定され、それらは、光、養分、水分等の環境条件によって影響を受ける。間伐等の森林管理が光合成生産におよぼす効果を評価するためには、ある管理手法の選択によって生じる生育環境の変化を把握するとともに、光合成生産に関与する特性値の環境因子に対する応答

特性を解明する必要がある。

閉鎖状態にある林分に対して間伐を行った場合、残存木では隣接木による庇陰が解除され樹冠部の光環境が好転する。その後、個体の成長にともない光環境は次第に低下し、林冠は再び閉鎖状態となる。このような過程で生じるシュートの伸長様式と葉群構造、葉の光合成・呼吸特性の変化は、間伐等の森林管理が光合成生産におよぼす影響を評価するためのモデル開発において重要な要因となる。

本プロジェクトでは、人工林における炭素固定能に関して、間伐による森林構造の改変と地球温暖化等の環境変動が炭素固定能に及ぼす効果を分離して評価（ファクタリングアウト）することを目標としている。このため、上述したような、間伐による光合成特性の変化と林冠構造の変化を明らかにし、複数の環境因子が関与する生理的応答機構を定量化する必要がある。

2. 研究目的

葉群の光合成を生化学的に規定する酵素活性や電子伝達速度などの生化学的パラメータは光条件や気温等によって変化する。本サブ課題では、これら生化学的パラメータの特性を明らかにして、光合成を通じた環境要因や葉群構造の影響を解明する。また、針葉樹林動態モデルによるCO₂固定量の再評価を念頭に、光合成プロセスモデルをスギ・ヒノキに適用して環境因子との関係を解明し、人為効果である間伐に対して、間伐後から再開鎖の過程における葉群の発達経過と光合成特性の変化を解明することを目的とする。

スギについては、林冠が閉鎖した人工林で林冠疎開を行った残存木について、樹冠の発達と光環境の経年変化を明らかにするとともに、枝の成長特性に基づき、樹高生長と本数密度の変化から一次枝の先端位置を計算し、樹冠形の発達を表現するモデルを構築することを目的とする。ヒノキについては、間伐区と無間伐区における樹冠内の光強度をモニタリングし、光合成の馴化および葉内窒素量の変化について継続測定することを目的とした。また、人工林の生産性や物質動態を理解するためには、施業が細根動態に与える影響についての情報を集めることが必要であるため、間伐を行ったヒノキ若齢林における細根動態について調査を行った。

3. 研究方法

(1) スギ人工林における林冠疎開後の樹冠発達と光環境の変化

森林総合研究所千代田苗畑（茨城県かすみがうら市）内のスギ人工林において、林冠疎開後の樹冠発達と光環境の経年変化を調査した。本林分は面積が約0.1haで、平坦地にある。1978年に1.8m間隔の正方植えてスギ挿し木苗が植栽され、1988年に本数割合で50%の間伐が行われた。2004年時点では、平均樹高は18.4m、平均胸高直径は21.8cmで、隣接個体間で枝葉が接触して林冠は閉鎖していた。林分内の1個体（以下、残存木と呼ぶ。）を選び、2006年1月に隣接する4個体（以下、隣接木と呼ぶ。）を伐倒して周囲を疎開した。2004年から2008年にかけて、残存木の当年樹高生長量、一次枝の基部ならびに先端の地上高、幹から枝先端までの水平距離、枝先端部の当年伸長量を測定した。測定は、林分に設置された林冠観察用足場を利用して、測高ポールと定規を用いて行った。隣接木については、樹冠部を鉛直方向に1m間隔で区分し、一次枝先端数と葉の乾燥重量を求めた。疎開前の2005年12月、疎開後の2006年から2009年の2月に、14.3m、15.3m、16.1m、17.2m、18.0m（2009年は19.0mを含む）の各地上高での残存木の幹を中

心とした4m四方の平面上で、1m間隔格子点の光強度を測定した。測定は、フォトダイオード（G2711-01、浜松ホトニクス社）を等間隔に取り付けたアルミ製棒を水平方向に設置して曇天時に行った。光強度は樹冠上部の値に対する相対値として表した。

森林総合研究所千代田苗畑内に植栽された樹高が5m以下のスギ幼齢木4個体、森林総合研究所九州支所構内の21年生および32年生のスギ2個体、熊本県下の45年生スギ人工林（湯前町、水上村、山都町）の4個体を対象として、着生状態もしくは伐倒後に上記と同様に一次枝の調査を行った。得られた結果を基に、毎年の樹高生長から一次枝の当年伸長量と先端位置を算出し、樹冠形を表現するモデルを構築した。一斉林については、隣接個体間で枝葉が接触する地上高以下で生じる一次枝伸長量の低下と枯死条件を加えることで、下枝の枯れあがりを含む樹冠形の発達を表現した。

（2）ヒノキ人工林での間伐による光合成パラメータの変化および樹冠動態・成長への影響

森林総合研究所構内（茨城県つくば市）に植栽された10年生ヒノキ人工林を試験地とした。本林分の本数密度は3000本/haで、平均樹高は4.2m、平均胸高直径は6.5cmである。試験地内に間伐区（10m×10m）と無間伐区（8m×10m）を設定し、間伐区においては、2004年5月に本数で50%の間伐処理を実施した。間伐木を用いて、層別刈調査を行い、胸高直径と樹高から枝・幹のバイオマス量を推定するアロメトリー式を求めた。また、葉群動態を推定するために、ある枝の断面積とその先についている葉群の量とのアロメトリー式を求めた。残存木に直径バンドを巻き、定期的に胸高直径を読み、上記のアロメトリー式より葉・枝・幹の成長量を計算した。

各処理区では2個体を選定し、樹冠の鉛直方向3-4深度（地上高約4m、3m、2m、1m）に着生する一次枝に3~5本の光センサー（G2711-01、浜松ホトニクス）を設置し、光強度を記録した。2004年6月から定期的に、光センサーを設置した樹冠位置の針葉を対象として、携帯型光合成蒸散装置（LI-6400, Li-Cor）を用いてチャンバー内のCO₂濃度を変化させてガス交換速度を測定し、細胞間隙CO₂濃度-光合成速度の関係を調べた。両者の関係にFarquharらの生化学光合成モデル¹⁾を適用し、キーパラメータである最大RuBPカルボキシラーゼ速度（ V_{cmax} ）と最大電子伝達速度（ J_{max} ）を求めた。葉内窒素量はNCアナライザーで定量した。

2004年8月に間伐区と無処理区からそれぞれ3本の木を選び、その根元から約70 cmの位置に直径6 cmの透明なアクリル管を地表面に垂直に埋設した（ミニライゾトロン）。翌2005年1月から、これらのミニライゾトロンの表面専用のカメラ（BTC100X、Bartz Technology社）により1ヶ月に一度の頻度で2006年12月まで2年間撮影し、得られた画像上の細根の長さや直径について、画像解析ソフトウェア（WinRHIZO Tron MF、Regent社）により解析を行った。これにより得られた細根長の変化から土壌の深さ0-40 cmにおける直径1 mm以下の細根生産速度および細根消失速度（枯死・脱落速度）を算出した。また、土壌コアサンプリング法により推定した単位土壌体積あたりの細根現存量データと合わせて、林分単位面積あたりの細根生産速度および消失速度を推定した。

4. 結果・考察

(1) スギ人工林における林冠疎開後の樹冠発達と光環境の変化

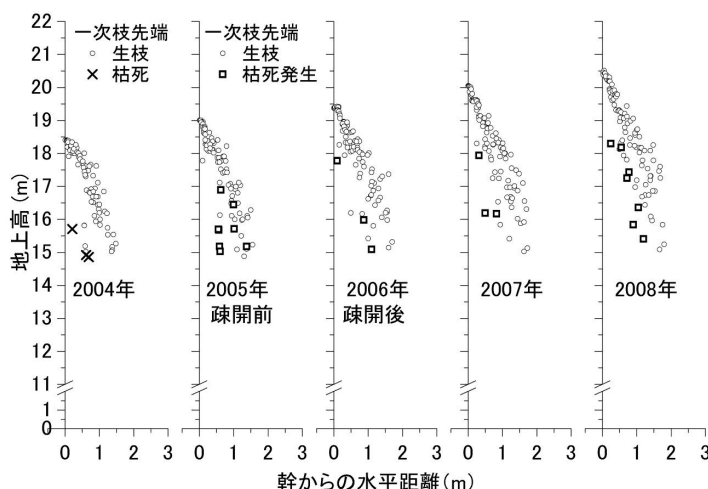


図1 林冠閉鎖時(2004年、2005年)と隣接木を伐倒して周囲を疎開した後(2006年、2007年、2008年)のスギ個体の一次枝先端位置

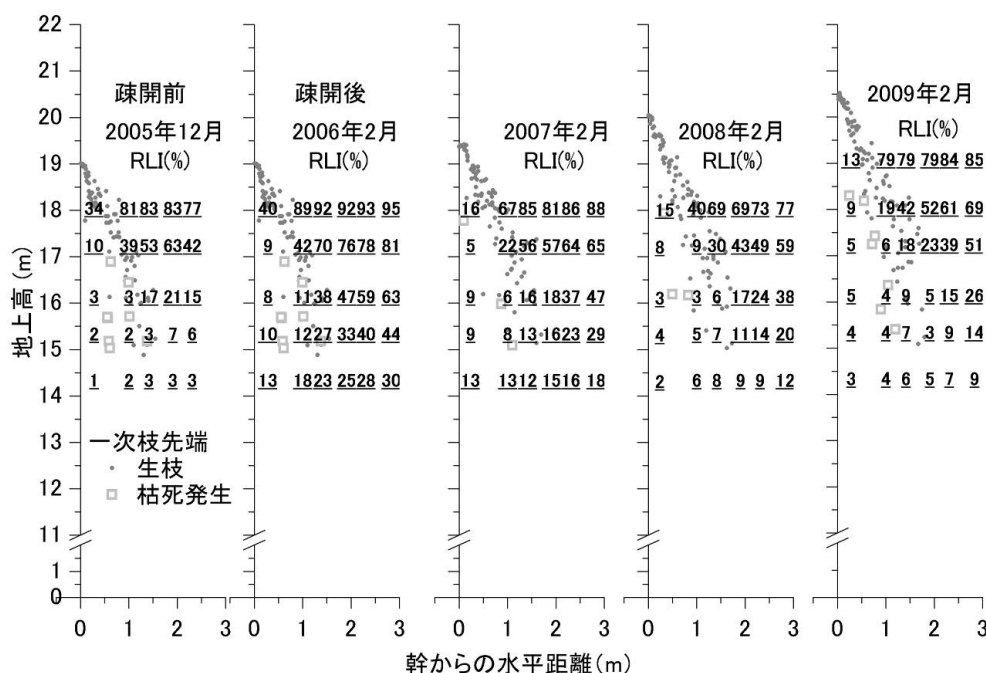


図2 林冠閉鎖時(2005年)と隣接木を伐倒して周囲を疎開した後(2006年、2007年、2008年、2009年)のスギ個体樹冠周辺の相対光強度 (RLI)

この間、幹から一次枝先端までの水平距離が相対的に短く、樹冠内部に先端が位置するような一次枝では枯れが発生した。

残存木の樹冠周辺の相対光強度 (RLI) は、梢端から下方への鉛直距離の増加に対して直線的

2004年の調査時には、約15.5mの地上高において隣接個体間で枝葉が接触し、14.7m付近で葉の枯れ上がりが発生していた。樹高が18.4mの残存木では、生存する一次枝先端の最低地上高は15m付近にあり、樹冠長は4m弱、最大樹冠半径は1.5m弱であった(図1)。2005年には、残存木は65cmの樹高生長を示し、枝葉が接触する地上高は16m付近に上昇した。また、先端が樹冠下部に位置する複数の一次枝で新たな枯れが発生した。隣接木の伐倒調査から算出した林分葉量は18.4t ha⁻¹であり、スギ人工林の平均値である19.6t ha⁻¹に近い値であった。鉛直方向の単位距離あたりの葉量

と一次枝先端数は、枝葉が接触する地上高以下で大きく減少し、接触高以下の葉量が樹冠全体に占める割合は

15%であった。一次枝の当年伸長量は樹冠上部で大きく、梢端から下方への距離の増加に対してほぼ直線的に低下する傾向にあった。隣接木の伐倒以後は、樹冠最下部に位置する一次枝は枯れずに伸長を続けた。このため樹高成長とともに樹冠は拡大し、2008年には、樹冠長は約5m、最大樹冠半径は約1.8mとなった。

この間、幹から一次枝先端までの水平距離が相対的に短く、樹冠内部に先端が位置するような一次枝では枯れが発生した。

に低下し、その低下率は幹からの距離が短いほど大きい傾向にあった（図2）。林冠が閉鎖した状況では、樹冠直下となる地上高14.3mのRLIは3%以下であった。隣接木の伐倒により、残存木の樹冠下部の光環境は大きく改善され、伐倒直後には地上高14.3mのRLIは20%以上となった。樹冠上部～中部のRLIも、閉鎖時に比べて10～20%程度上昇した。年数の経過とともに樹冠直下のRLIは低下し、疎開後3年目の2009年には10%以下となった。疎開後も枯れが発生した樹冠内部に位置する一次枝先端付近のRLIは5%程度であった。梢端から下方への距離と一次枝の当年伸長量との関係において、疎開前に枝葉が接触する地上高以下に位置していた枝を除けば、疎開後に伸長量が増加する傾向はみられなかった。

以上の結果から、枝の枯死はRLIが約5%で発生すること、隣接個体と枝葉が接触して林冠が閉鎖すると、接触した地上高から下方に1m付近の位置で葉が枯れ上がること、枝葉が接触する地上高以上の一次枝の伸長量は、間伐前後の光環境の差異には大きくは影響されないことが考えられた。

スギ個体において、一次枝の基部から先端にかけての仰角を θ 、当年伸長量を ΔL とした場合、幼齢木、壮齢木ともに、 ΔL と $1 - \cos \theta$ とは正の相関があり、概ね原点を通る直線関係にあった。また、当年樹高成長量（ ΔH ）が大きい個体では、回帰直線の傾きが大きかった。この関係を次式で表した。

$$\Delta L = \alpha \Delta H^\beta (1 - \cos \theta) \quad (1)$$

ここで、 α と β はある θ の枝について ΔL と ΔH との関係を決めるパラメータである。調査データから推定された β は0.7となり、樹高生長量が大きい場合には、枝の伸長に対して樹高の伸長が相対的に大きくなることが予想された。 θ は、幹から一次枝先端までの水平距離（ R ）が長い樹冠下部の一次枝で小さく、 R の増加に対して $\sin \theta$ が直線的に低下する傾向にあった。この関係を、 m を R の増加に対する $\sin \theta$ の低下率、 s （ $=0.95$ ）を $\sin \theta$ を0に漸近させるパラメータとして、以下の非直角双曲線式で表した。

$$\sin \theta = 1 - [mR + 1 - \{(mR + 1)^2 - 4smR\}^{1/2}] / (2s) \quad (2)$$

スギの一次枝は、枝長が短いと直線に近く、その増加に対して湾曲度が増し、ある長さ以上では枝長と弦長との比率が一定となる傾向にあった。枝長（ L ）と弦長（ C ）との関係を次式で表した。

$$C/L = 1 - [kC + 1 - r_{\min} - \{(kC + 1 - r_{\min})^2 - 4skC(1 - r_{\min})\}^{1/2}] / 2s \quad (3)$$

ここで、 k は C の増加に対する C/L の低下率、 r_{\min} は C/L の最小値、 s （ $=0.95$ ）は C/L を r_{\min} に漸近させるパラメータである。一次枝の形状を円弧と仮定し、梢端の当年伸長部分から分岐した一次枝が、式(1)、(2)、(3)を同時に満たす場合には、その後の樹高成長から毎年の枝の伸長量と位置を算出することが可能となる。本数密度が ρ の一斉林では、 $2R$ が $100\rho^{-1/2}$ を超える地上高（ H_c ）で隣接個体と枝葉の接触が生じると仮定した。 H_c 以下を陰樹冠と考え、陰樹冠の ΔL は H_c から下方への距離に比例して低下して一定距離（ $=0.5m$ ）以上では0となり、 ΔL が0となった枝は翌年に枯死するものとした。これにより、植栽本数、植栽後の樹高生長、間伐年と間伐本数割合を任意に与えることで、一斉林における個体の一次枝先端位置を計算し、樹冠形の経年変化を表現することができる。孤立木に近い状況にあるスギ個体（32年生、樹高15.3m、樹冠長約8m、最大樹冠半径2.6m）については樹高生長経過から、前述した残存木については、樹高生長経過と本数密度の変化から、それぞれ計算される樹冠形は、実測値とほぼ一致した（図3）。以上

の結果から、スギ樹冠形の発達を予測する本モデルは有効であると考えられた。

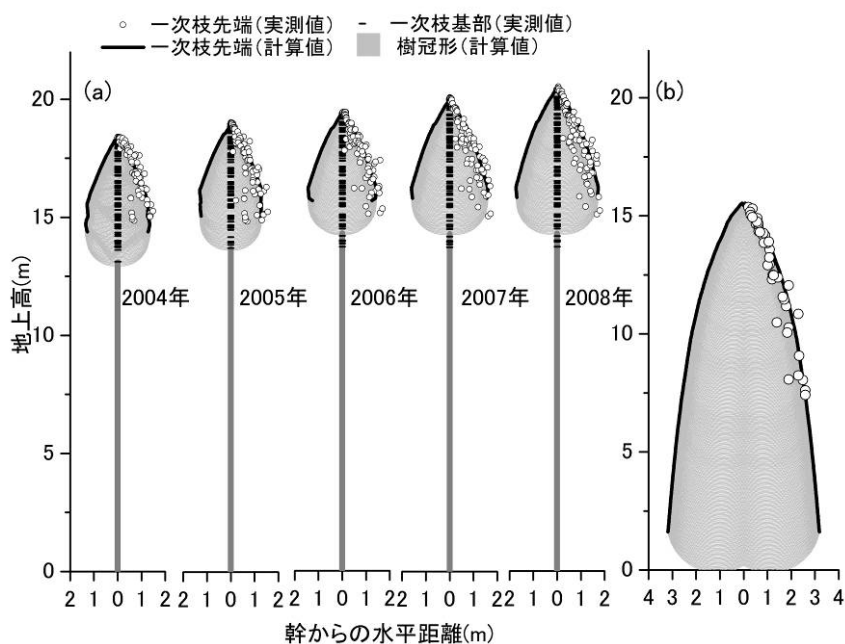


図3 スギ樹冠形のモデル
計算値と実測値との比較
(a) 林冠閉鎖時(2004年、
2005年)と隣接木を伐
倒して周囲を疎開した
後(2006年、2007年、
2008年)のスギ個体
(b) 孤立状態で生育する32
年生個体

(2) ヒノキ人工林での間伐による光合成パラメータの変化および葉群動態・成長量への影響
光合成パラメータの変化: 間伐区では中層および下層の光強度は無間伐区と比べて高い値を示したが、上層では差が認められなかった。間伐3ヶ月後には樹冠下部の針葉で光合成パラメータ (V_{cmax} 、 J_{max}) が間伐区で高い値をとった (図4)。無間伐区では間伐後2年目の秋に下層が枯れたが、間伐区では4年目夏まで高い光合成能力が維持されている葉が下層 (0.8m) に着生していた。間伐による光合成能力の増加は間伐2年目以降も見られ、その増加量は季節または樹冠内位置によって異なった。間伐直後に上層として設定した地上高3.2mに着生していた葉は4年目に樹冠における相対位置は中間層になった。それらの葉の V_{cmax} は、間伐区では無間伐区よりほとんどの測定期間に高い値を示した。成長期後期の10月になると、間伐区における V_{cmax} の増加は樹冠上層でも顕著になった。樹冠内の相対位置から考えると、無間伐区では樹高成長と下層の枯れ上がりに伴い、全体的に上にシフトし、樹冠内における相対位置によって着生した葉の V_{cmax} はより一定値で推移した。一方、間伐区では、下層の葉も高い光合成能力を維持したまま、樹冠を拡大した。

間伐1年目では面積あたりの葉内窒素濃度 (N_a) が処理間で差は見られなかったが、間伐2年目以降、面積あたりの葉内窒素量が樹冠中部に処理間で差は顕著になった。 N_a と V_{cmax} はその葉が晒された相対光強度 (rPPFD) と高い相関をもった ($r^2 = 0.43-0.84$)。間伐による rPPFD— N_a の線形回帰式の勾配への影響は1年目に見られなかったが、2年目以降その差が有意になった。一方、 N_a — V_{cmax} の線形回帰式の勾配については、間伐後1、2年目に異なったが、林冠の再閉鎖とともに、その違いがなくなった。以上の結果から、光合成能力の増加は間伐1年目では主に葉内窒素量の光合成器官内の再分配に起因したが、間伐2年目以降では葉内窒素量の増加に起因したと考えられた。

葉群動態および成長量: 間伐区と無間伐区の測定木の樹高は間伐前に4.2m、5.1mであったが、間伐4年後の冬にそれぞれ7.0m、8.2mまで伸長した。無間伐区では2005年秋から枯れ上がりが見

られ、2007年の秋に地上高2.0mまでに進んできた。葉群が全体的に上のほうへシフトし、葉量の増加が見られなかった。一方、間伐区では、間伐した年から下層のシュート伸長が見られ、枯れ上がりが2007年の秋から始まった。葉群が横への拡大と共に、上方向へも伸びて、2007年冬季に個体あたりの葉量が1.7倍増加した。林分レベルの葉量が2008年夏に間伐区のほうが無間伐区より多くなった。

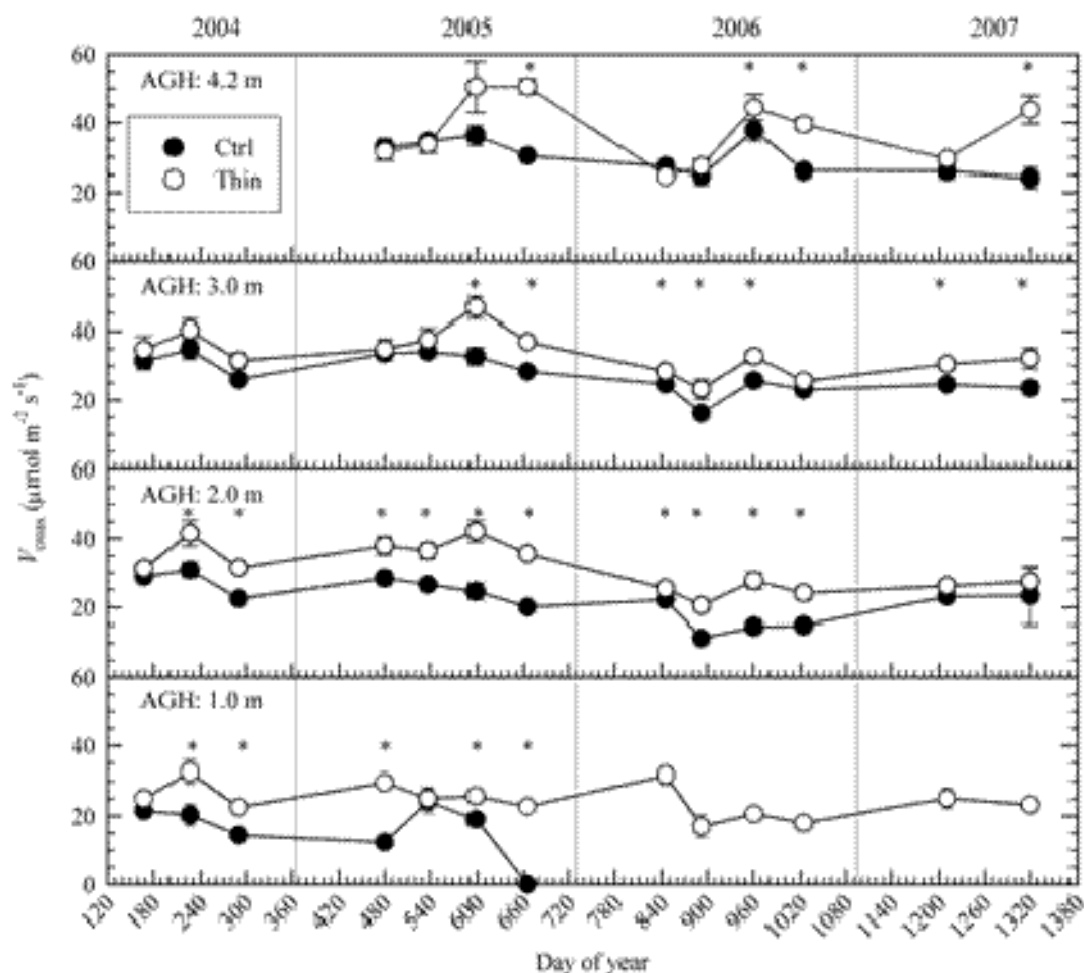


図4 間伐後4年間における樹冠内の光合成能力 V_{cmax} の変化
(1回目の測定は間伐後1ヶ月。AGH:地上高)

直径バンドによる肥大成長期が3月下旬から11月下旬までであった。単木の地上部年生産量が無間伐区と間伐区ではそれぞれ 3940 、 $5210 \text{ g tree}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ であった。地上部の相対成長量が、無間伐区と間伐区と同様、5月と9月とピークをもつ季節変化パターンを示した。林分レベルの地上部の相対成長量が、間伐区のほうが無間伐区より高かった。

ミニライゾトロン法による3年間の調査の結果、間伐の有無に関わらず、細根の生産は3月頃始まり、12月頃まで続くことが明らかになった。この3月～12月の生育期間中の細根生産には、年変

動があるものの、概ね春季（4月頃）と秋季（9月頃）の2回のピークが見られた。このような細根生産の経時変動パターンに対する間伐の効果は明瞭ではなかった。対照区と間伐区の2006年～2007年における1年間の細根生産速度を推定した結果、対照区では約 $170 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 、間伐区では約 $130 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ であった。立木密度を考慮して推定した単木の細根生産速度は対照区で約 $570 \text{ g tree}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 、間伐区で約 $870 \text{ g tree}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ であった（表1）。これらの結果は、間伐により個体数が減少すると林分レベルでは細根生産速度が減少するが、残存木個体の細根生産速度は間伐により増加することを示唆している。また、地上部純生産速度に対する細根生産速度の比率を算出した結果、対照区では約14%、間伐区では約17%であった。この結果は、間伐後数年間は地下部への同化産物分配が僅かに増加する可能性を示している。

表1：対照区と間伐区における1年間の地上部および細根生産速度

	林分の生産速度 ($\text{g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)		単木の生産速度 ($\text{g tree}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)	
	無間伐	間伐	無間伐	間伐
地上部	1180	780	3940	5210
細根	170	130	570	870

5. 本研究により得られた成果

スギについては、林冠疎開前後の樹冠部の光環境と枝の生長特性が明らかとなり、樹高生長と本数密度から樹冠形の発達を表現するモデルが構築された。ヒノキについては人工林で間伐後3年間に於ける針葉の光合成パラメータの変化および葉内窒素量との関係が明らかとなり、間伐により単木レベルの細根生産速度や細根への同化産物分配が増加する可能性を示している。

6. 引用文献

1) Farquhar, G.D., S.von Caemmerer and J.A. Berry. (1980) A biochemical model of photosynthetic CO_2 assimilation in leaves of C_3 species. *Planta*. 149:78-90.

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表（学術誌）

- ① Q.Han, S.Katahata, Y.Kakubari and Y.Mukai : *Tree Physiology*, 24, 609-616 (2004)
“Seasonal Changes in Xanthophyll Cycle and Antioxidants in Sun-exposed and Shaded Parts of Crowns of *Cryptomeria japonica* in Relation to Rhodoxanthin Accumulation during Cold Acclimation.”
- ② J. Nagakura, H. Shigenaga, A. Akama and M. Takahashi : *Tree Physiology*, 24,1203-1208 (2004)
Growth and transpiration of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) seedlings in response to soil water content.
- ③ 韓慶民：日本森林学会誌、87(4):364-372 (2005)
葉の光合成機能と分光反射特性による近接リモートセンシングへの応用」
- ④ Q.Han, M.Araki, and Y.Chiba: *Photosynthetica*, 44 (4): 523-529 (2006)
“Light acclimation in leaf photosynthesis and associated nitrogen reallocation in the photosynthetic apparatus in the year following thinning in a young stand of *Chamaecyparis obtuse*”.

- ⑤ 重永英年、川崎達郎：九州森林研究 60:70-71 (2007)
「閉鎖状態にあるスギ人工林の樹冠構造と枝の生長特性」
- ⑥ Q. Han, T. Kawasaki, T. Nakano, and Y. Chiba: Tree Physiology, 28 (4): 551-558 (2008)
Leaf-age effects on seasonal variability in photosynthetic parameters and its relationships with leaf mass per area and leaf nitrogen concentration within a *Pinus densiflora* crown.

(2) 口頭発表

- ① 韓 慶民、荒木真岳、千葉幸弘：第52回日本生態学会大会 (2005)
「間伐に伴うヒノキ林の光合成変化と環境応答」
- ② 向井 讓、韓慶民、加藤万季、片畑伸一郎、篠原健司、角張嘉孝：第116回日本林学会大会 (2005)
「冬季にスギが受ける光ストレスとロドキサントンの蓄積」
- ③ Q.Han, M.Araki and Y.Chiba：XVII International Botanical Congress, Vienna.Austria, (2005)
“Effects of thinning on photosynthetic acclimation and its relation to leaf nitrogen in young stands of *Chamaecyparis obtusa*”, ABSTRACT, 17: 521.
- ④ 長倉淳子、重永英年、高橋正通：第116回日本森林学会 (2005)
「異なる窒素と水分条件下で育成したヒノキの土壌乾燥に対する蒸散応答」
- ⑤ 長倉淳子、重永英年、三浦覚：第117回日本森林学会 (2006)
「降雨遮断によるスギとヒノキ成木の乾燥実験 1. 可視被害の発生と直径の変化」
- ⑥ 重永英年、長倉淳子、三浦覚：第117回日本森林学会 (2006)
「降雨遮断によるスギとヒノキ成木の乾燥実験 2. 土壌乾燥過程における樹液流速の応答」
- ⑦ 三浦覚、長倉淳子、重永英年：第117回日本森林学会 (2006)
「降雨遮断によるスギとヒノキ成木の乾燥実験 - 3. 蒸散による 2 種の土壌の乾燥過程」
- ⑧ 韓慶民、川崎達郎、千葉幸弘：第117回日本森林学会 (2006)
「間伐に伴う若齢ヒノキ林の光環境変化および光合成順化」
- ⑨ Han, Q., Kawasaki, T., Katahata, S.-I., Nakano T. and Chiba, Y. IUFRO workshop “Canopy Process”, USA. 39p. (2006)
“Effect of leaf age on the seasonal variability of photosynthesis parameters and leaf nitrogen content within a *Pinus densiflora* crown.”
- ⑩ 重永英年、川崎達郎：第62回日本森林学会九州支部会 (2006)
「閉鎖状態にあるスギ人工林の光環境と樹冠構造」
- ⑪ 重永英年、川崎達郎：第118回日本森林学会 (2007)
「スギ樹冠における枝の生長特性」
- ⑫ Kyotaro Noguchi, Qingmin Han, Tatsuro Kawasaki, Shinji Kaneko, Masamichi Takahashi, Yukihiro Chiba. Fourth International Symposium on Dynamics of Physiological Processes in Roots of Woody Plants, UK. 45p. (2007)
“Effects of thinning on fine root production rates in a young stand of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*)”

- ⑬ 韓慶民、川崎達郎、千葉幸弘：第119回日本森林学会（2008）
「若齢ヒノキ林樹冠内における間伐後3年間の個葉光合成能力の変化」
- ⑭ 野口享太郎、韓慶民、川崎達郎、金子真司、高橋正通、千葉幸弘：日本森林学会関西支部会（2008）
「ヒノキ若齢林の細根バイオマスに対する間伐の影響」
- ⑮ 重永英年、川崎達郎：第119回日本森林学会（2008）
「スギ樹冠型のモデル表現」

（3）出願特許

なし

（4）受賞等

なし

（5）一般への公表・報道等

なし

（6）その他成果の普及、政策的な寄与・貢献について

本研究で得られた成果は、スギおよびヒノキ人工林の二酸化炭素吸収に関して、自然変動と人為活動の効果を分離するためのモデル開発に利用される。