

速報

スギ・ヒノキ人工林における間伐直後の開空度に影響を与える要因の解明*1

荒木真岳*2 · 前田勇平*3

荒木真岳・前田勇平：スギ・ヒノキ人工林における間伐直後の開空度に影響を与える要因の解明 九州森林研究 62：74-77, 2009 熊本県南部にある標高や傾斜が異なる立地に成育するスギ・ヒノキ人工林30林分を対象に、間伐直後の開空度に影響を与える要因を検討した。開空度を目的変数とし、樹種、林齢、本数間伐率、地形要素、間伐前の林分構造要素を説明変数に用いて一般化線形モデルを構築した。その結果、間伐直後の開空度に影響を与えた要因は、樹種、林齢、本数間伐率、傾斜、平均枝下高、収量比数であった。これらの要因のうち特に開空度への影響が強かった樹種、林齢、本数間伐率の3つの因子を用いて、間伐後の開空度を推定する簡便なモデルを提示した。

キーワード：人工林、間伐、開空度、林齢、林分構造

I. はじめに

近年、厳しい林業事情を反映して適切な保育が行われずに放置された人工林が増加し、手入れ不足人工林における環境保全機能の劣化が懸念されている。そこで、各地方公共団体では間伐遅れ林分の環境保全機能の回復を図るため、下層植生の発達や針広混交林化を促進させることを目的とした比較的強度な間伐事業が行われるようになってきた。人工林の下層に生育する植物の成長や実生の発生は、林内光環境の変化に応じて起こると考えられる。したがって、間伐によって下層植生の発達や針広混交林化を促進するためには、間伐直後の林内光環境と、その後の林冠閉鎖ともなう林内光環境の変化を明らかにすることが重要である。また、間伐直後の林内光環境を、間伐を実施する前に予測できることは有用であると考えられる。

筆者らは、間伐遅れのスギ・ヒノキ人工林に間伐を行った際の林内光環境の変化を明らかにすることを目的として、調査区を多点に設定して調査を行っている。前報では、12調査区についての調査結果から、本数間伐率や断面積間伐率と間伐直後の開空度との間に正の相関が認められたものの、同じ間伐率でも開空度のバラツキが大きいことを報告した(4)。開空度のバラツキが大きいのは、調査区によって地形や林分構造が異なるためだと考えられた。そこで本報では、調査区数を30点に増やし、間伐強度だけでなく地形や林分構造の違いを考慮に入れて、間伐直後の林内光環境に影響を与える要因について検討した。本報告の目的は、間伐強度として本数間伐率を、林内光環境の指標として開空度ととりあげ、地形や林分構造が異なる人工林に間伐を行った場合、樹種、林齢、本数間伐率、地形要素、間伐前の林分構造要素のうち、間伐直後の開空度に影響を与える要因を明らかにすることである。また、現場で適用可能な間伐直後の開空度を予測する簡便なモデルを提示する。

II. 調査地と方法

熊本県南部(人吉市、五木村、相良村、多良木町、山江村、錦町)にある、スギ人工林15ヶ所、ヒノキ人工林15ヶ所の計30林分を調査地とした。これらの調査地は、間伐が原則過去10年間に上実施されていない民有林であり、熊本県が環境税を投入して実施している「針広混交林化促進事業」によって、平成17-18年度に間伐が行われた林分である。調査地の標高は178-938m、傾斜は8-43度、林齢は12-48年生の範囲であった(表-1)。

各調査地に20×30mの調査区を設置し、調査区内の残存木について全個体の胸高直径(DBH)と地際直径(D_{0.3})を測定した。各調査区につき30本程度のサンプル個体について、樹高(H)と枝下高を測定した。調査は間伐後に行ったため、調査区内にある今回の間伐による伐根にもナンバーを打ちD_{0.3}を測定した。また、伐根の年輪数を数えて林齢とした。調査区を10×10mに区切り、12の格子点において、曇天の日を選んで地上高1.3mで全天写真を撮影した。機材はデジタルカメラ(Nikon Coolpix4500)と魚眼レンズ(Nikon FC-E8)を用いた(2)。

間伐前の林分構造を前報(4)と同様に次のように推定した。調査区ごとに残存木のD_{0.3}とDBHの相対成長式(17)を求め、伐根のD_{0.3}をこの式に代入して間伐木のDBHを推定した。間伐木と樹高未測定木の樹高は、調査区ごとにサンプル個体のHとDBHの拡張相対成長式(17)を求め、DBHをこの式に代入して推定した。間伐前の平均枝下高は間伐後の平均枝下高と同じとした。収量比数は、間伐後の平均樹高を上層木平均樹高として、九州地方の林分密度管理図(11, 12)より求めた。全天写真の解析にはLia32 Ver.0.376を用い、Inoue et al. (8)の方法にしたがって写真を自動的に二値化して開空度を求めた。調査区内の12点で得られた開空度の算術平均値を、その調査区の林内光環境をあらわす指標として用いた。

開空度に影響を与える要因を検討するため、樹種、林齢、本数

*1 Araki, M.G. and Maeda, Y.: Factors affecting canopy openness just after thinning in sugi and hinoki plantation stands.

*2 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Ctr., For. Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862

*3 熊本県林業研究指導所 Kumamoto Pref. For. Res. Ctr., Kumamoto 860-0862

表-1. 一般化線形モデルに用いた因子の平均値と値の範囲

因子	平均	(最小-最大)
<目的変数>		
開空度 (%)	12.1	(6.2-16.0)
<説明変数>		
樹種 ¹⁾	0.5	(0-1)
林齢 (年)	31	(12-48)
本数間伐率 (%)	35	(22-62)
標高 (m)	543	(177-938)
傾斜 (度)	27	(8-43)
立木密度 (本 ha ⁻¹)	2.476	(1.133-3.717)
平均直径 (cm)	16.8	(8.9-26.5)
平均樹高 (m)	16.3	(7.6-23.8)
平均枝下高 (m)	10.4	(3.5-15.0)
平均樹冠長 (m)	5.9	(2.4-10.4)
胸高断面積合計 (m ² ha ⁻¹)	63	(28-96)
収量比較	0.94	(0.67-1.05)

¹⁾ スギを1, ヒノキを0とした。

間伐率, 標高, 傾斜, 立木密度, 平均直径, 平均樹高, 平均枝下高, 平均樹冠長, 胸高断面積合計, 収量比較の12因子を説明変数として用い (表-1), 開空度を目的変数とした一般化線形モデル (GLM) を構築し, 赤池情報量基準 (AIC) が最小となるモデルを選択した。誤差の確率分布は正規分布を仮定した。モデルにおける各因子の貢献度を評価するため, 説明変数は正規化した値を用いた。統計解析には R 2.8.0を用いた。

Ⅲ. 結果

(1) 間伐前の林分構造と間伐強度および間伐後の開空度

間伐前の林分構造は調査区によって異なり, 立木密度が1,133-3,717本, 平均直径が8.9-26.5cm, 平均樹高が7.6-23.8m, 平均枝下高が3.5-15.0m, 平均樹冠長が2.4-10.4m, 胸高断面積合計が28-96m²ha⁻¹, および収量比較が0.67-1.05の範囲であった (表-1)。収量比較は2つの調査区を除けばいずれの調査区でも0.85以上であり, 間伐遅れ林分であったと考えられた。

本数間伐率は平均で35%, 範囲は22-62%であり (表-1), 50%以上の強度な間伐も4つの調査区でみられた (図-1)。図表では示していないが, 断面積間伐率は平均で23%, 範囲は18-54%であった。1つの調査区を除いて断面積間伐率が本数間伐率より小さかったことから, ほとんどの調査区で下層間伐が行われたことがわかった (4)。また, 間伐によって収量比較は0.05-0.20の範囲 (平均0.09) で減少した。

間伐直後の開空度は平均で12.1%, 6.2-16.0%の範囲であった (表-1)。本数間伐率と開空度の関係は (図-1), ヒノキでは有意な相関が認められたが ($r = 0.52, p = 0.049, n = 15$), スギでは有意な相関が認められなかった ($r = 0.37, p = 0.178, n = 15$)。スギとヒノキを区別せずに扱くと, 前報 (4) と同様に本数間伐率と開空度の間に正の相関が認められたもの ($r =$

表-2. (1)式における標準化回帰係数, 標準誤差および有意確率

因子	標準化回帰係数 ¹⁾	標準誤差	有意確率
樹種	-1.360	0.273	<0.0001
林齢	0.722	0.348	0.049
本数間伐率	0.673	0.293	0.031
傾斜	0.530	0.287	0.077
平均枝下高	0.826	0.484	0.102
収量比較	-0.641	0.489	0.203
(定数項)	12.107	0.256	<0.0001

¹⁾ 説明変数を正規化した場合の回帰係数。

表-3. (2)式における回帰係数, 標準誤差および有意確率

因子	回帰係数 ¹⁾	標準誤差	有意確率
樹種	-2.470	0.552	0.0001
林齢	0.104	0.032	0.0030
本数間伐率	7.039	2.886	0.0219
(定数項)	7.643	1.418	<0.0001

¹⁾ 説明変数を正規化していない場合の回帰係数。

0.39, $p = 0.037, n = 30$) 同じ本数間伐率でも開空度のバラツキが大きく, 開空度には本数間伐率以外の要因も影響していると考えられた。

(2) 間伐直後の開空度に影響を与える要因

樹種, 林齢, 本数間伐率, 地形要素2因子, 間伐前の林分構造要素7因子の計12因子を説明変数として用い (表-1), 開空度を目的変数とした一般化線形モデルを構築したところ, 次のモデル式が AIC 最小となった (AIC = 113.50)。

$$\text{開空度} = a \times \text{樹種} + b \times \text{林齢} + c \times \text{本数間伐率} + d \times \text{傾斜} + e \times \text{平均枝下高} + f \times \text{収量比較} + \text{定数項} \quad (1)$$

ここで, a, b, c, d, e, f は標準化回帰係数であり, これらの絶対値が大きい因子ほど (1) 式において開空度に対する貢献度が高いことを示す (表-2)。

開空度に最も強く影響を与えた因子は樹種であり, ヒノキのほうがスギよりも開空度大きいことが示された (表-2)。次いで開空度に有意に強く影響したのは林齢と本数間伐率であり, 林齢が高いほど, また本数間伐率が高いほど, 開空度が大きくなることを示された。林分構造要素では, 有意性は低いものの平均枝下高の貢献度は高く, 平均枝下高が高いほど開空度が大きかった。また, 収量比較が小さいほど開空度大きいことが示唆された。地形要素では, 傾斜が急なほど開空度大きいことが示唆された。

(3) 間伐直後の開空度を予測する簡便モデル

簡便なモデルを得るため, (1) 式において有意であった樹種, 林齢, 本数間伐率の3因子 (表-2) を説明変数として一般化線形モデルを構築したところ, 次の式を得た (AIC = 114.81)。

$$\text{開空度} = g \times \text{樹種} + h \times \text{林齢} + i \times \text{本数間伐率} + \text{定数項} \quad (2)$$

ここで, g, h, i は回帰係数である (表-3)。

(2) 式の AIC の値は (1) 式のそれに比べてそれほど大きくならなかった。また, 開空度の実測値と (1) 式と (2) 式から求めた開空度の予測値との間の相関係数は, それぞれ0.85, 0.80で

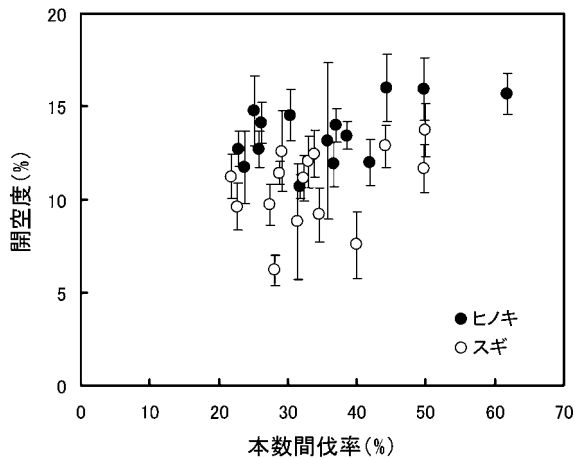


図-1. 本数間伐率と開空度の関係
(縦棒は標準偏差を示す)

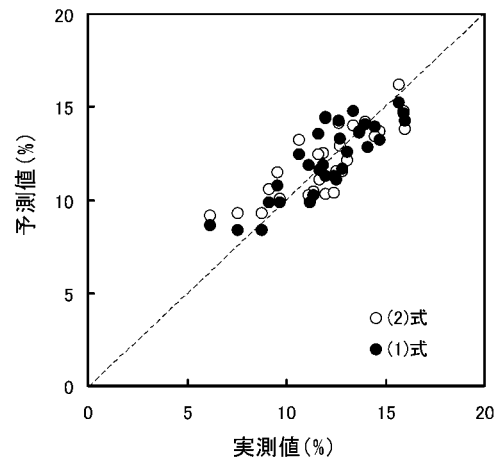


図-2. 開空度の実測値と予測値の関係
(点線は $Y = X$ の直線を示す)

あった(図-2)。したがって、(2)式は樹種、林齢、本数間伐率という簡単な3つの因子で表現されているにもかかわらず、推定精度は(1)式に比べてそれほど落ちなかった。

IV. 考 察

竹内ら(15)は、26年生のスギの同一林分に繰り返し間伐を行い、間伐後の開空度あるいは間伐による開空度の増大量は、本数間伐率と強い正の関係があることを報告している。しかし、標高や傾斜が異なる立地に生育する様々な林分構造を持つ林分に間伐を行った場合、間伐直後の開空度は本数間伐率だけでは説明できなかった(図-1)。地形要素では、傾斜が開空度に影響を与えることが示唆されたが、標高は開空度に影響を与えなかった(表-2)。

間伐直後ではない林分については、林内の相対照度や開空度を樹高(9)、胸高断面積合計(7)、収量比数(15)、立木密度(16)などの林分構造要素から推定している報告がある。本研究で間伐直後の開空度に影響を与えた間伐前の林分構造要素は、平均枝下高と収量比数であった(表-2)。収量比数は林分の混み具合を表す指標であり(1)、間伐前の収量比数が小さい林分では間伐前の開空度が大きかったと考えられるため(15)、収量比数が間伐直後の開空度に影響を与えたのだろう。一方、平均枝下高は平均樹高と正の相関($r = 0.82$)を示したが平均樹冠長とは相関がなかった($r = -0.08$)。すなわち、同じ長さの樹冠を持つ林分でも、平均枝下高が高いほど樹冠が高い位置に存在し、林床から葉群までの距離が遠くなる。また、魚眼レンズは遠くのものほど小さく写るといった特徴を持つ。これらのことから、平均枝下高が高い林分ほど相対的に樹冠が小さく写ることが、平均枝下高が開空度に影響を与えた原因だと考えられる。

本数間伐率以外に間伐直後の開空度に強く影響を与えた要因は、樹種と林齢であった(表-2, 3)。ヒノキのほうがスギよりも開空度が大きかった理由は明らかではないが、葉の形態(13)や樹冠構造の違い(3, 6)、スギよりもヒノキのほうが林分葉量が一般に少ないこと(5)、スギのほうが枯死した葉が樹上に長く

存在していること(10)などが影響していると推察される。

一般に、スギやヒノキは林齢の増加にともなって成長し、林冠が閉鎖して枝の枯れ上がりが起こる(14)。間伐が行われなかった場合は、最多密度に達した後自己間引きが始まる(1)。したがって、ある一定の密度で植栽された間伐遅れ林分では、林齢の増加にともなう林分構造の変化がある程度同調することが予想される。実際、林齢と林分構造要素との間の相関は、収量比数($r = 0.62$)、平均枝下高($r = 0.58$)、樹高($r = 0.56$)、胸高断面積合計($r = 0.51$)で比較的高かった。これらのことから、平均枝下高や収量比数といった開空度に影響を与える林分構造要素を、林齢がある程度表現していたといえる。このため、(2)式の推定精度が(1)式に比べてそれほど落ちなかったと考えられる。

樹種と林齢が既知の林分に対して間伐を行う場合、(2)式で表現される簡便モデルを用いると、本数間伐率を決定すれば間伐直後の開空度をある程度予測することができる。しかし、初期の植栽密度や林木の成長速度が大きく異なる林分では、林齢の増加にともなう林分構造の変化が本研究で用いた林分とは異なる可能性があるため、他地域の林分について(2)式を適用する場合は注意が必要であろう。

V. おわりに

本研究では、林内光環境をあらわす指標として開空度を取り上げ、間伐直後の開空度に影響を与える要因を検討した。今後、間伐による林内光環境の変化が林床植物の成長に与える影響を明らかにするためには、開空度だけではなく散乱光や直達光についても考慮する必要があると考えられる。また、モデルの構造や因子の選択にもさらなる検討が必要である。

謝 辞

本研究にあたり、森林所有者の方々には調査の許可をいただいた。各市町村の森林組合には調査地の選定に便宜を図っていただいた。熊本県林業研究指導所の橋本佳明氏、高田琢也氏、金坂光

祐氏、田中裕次郎氏には、現地調査に多大なご協力をいただいた。
 熊本県立大学の井上昭夫博士には、全天写真の解析においてご指導をいただいた。皆様に深く感謝申し上げます。

引用文献

- (1) 安藤 貴 (1982) 林分の密度管理, 126pp, 農林出版, 東京.
- (2) 荒木真岳ほか (2000) 日林関東支論 51 : 83-84.
- (3) 荒木真岳ほか (2004) 日林関東支論 55 : 129-130.
- (4) 荒木真岳・前田勇平 (2008) 九州森林研究 61 : 83-85.
- (5) Cannell, M. G. R. (1982) World Forest Biomass and Production Data, 134-166, Academic Press, London.
- (6) 千葉幸弘 (1988) 日林論 99 : 383-384.
- (7) Hale, S. E. (2001) For. Ecol. Manage. 151 : 61-66.
- (8) Inoue, A. et al. (2004) Agric. For. Meteorol. 126 : 89-97.
- (9) 小島 正・石塚森吉 (2004) 森林科学 41 : 21-27.
- (10) 宮浦富保 (1988) 日林論 99 : 355-356.
- (11) 日本林業技術協会 (1978) 九州地方スギ林分密度管理図.
- (12) 日本林業技術協会 (1982) 九州地方ヒノキ林分密度管理図.
- (13) 崙元道徳・武田博清 (1994) 京大演報 66 : 16-23.
- (14) 竹内郁雄 (2002) 森林総研研報 1 : 1-114.
- (15) 竹内郁雄ほか (2002) 森林応用研究 11-1 : 13-16.
- (16) 宇都木玄ほか (2007) 日林誌 89 : 174-182.
- (17) 依田恭二 (1971) 森林の生態学, 331pp, 築地書館, 東京.
 (2008年12月6日受付; 2009年1月16日受理)