樹冠・立木密度・樹林高からみたヒノキ人工林の森林構造及び林内環境に関する研究

A Study on Forest Structure and the Floor Environment in Artificial Forests of *Chamaecyparis obtusa* Analyzing from the Crown, Tree Stand Density and Tree Height

朝廣和夫* 小川 剛* 重松敏則* 瀬戸島政博 / ** 牧田史子**
Kazuo ASAHIRO Tsuyoshi OGAWA Toshinori SHIGEMATSU Masahiro SETOJIMA
Fumiko MAKITA

摘要：カラー空中写真や超分解衛星画像を利用した植生環境情報の収集と的確な環境評価システムの開発を目的に、写真画像から判読できる樹冠幅及び樹林高から下層植生の発達状況を予測することを試みた。ヒノキ人工林を対象に森林構造と下層植生との関係を現地調査に基づき分析し、さらにコンピューターにより抽出した空中写真上の樹冠幅や樹林高を反映するグレー値の標準偏差について関係性を検討した。その結果、空中写真から判読できる樹林高とグレー値の標準偏差により林床植生の発達程度がほぼ予測できることがわかった。

1. はじめに

国土環境の現況把握や植物資源の持続的な保全・利用計画を策定するための基礎資料として、前報でカラー空中写真の解析と現地調査に基づき現存植生環境動態図ならびに現存植生環境評価図を作成し発表した¹⁾。これは植生環境の実態を地域的にあるいは全国的に把握する為の、衛星画像や空中写真の画像解析に基づく情報収集を視野に入れたものである。現存植生環境動態図は、従来の現存植生図には表示されていない樹林高、樹冠幅、樹冠被覆度などの情報をランク区分で図示することにより、林地の現存量や植生動態、ならびに環境保全上の潜在力や景観の特質を読み取れるようにすることを意図したものである。一方、現存植生環境評価図は経験則による評価基準を作成し、林地の有する植生の安定度、大気浄化・気温調節機能、景観・アメニティ機能等を図示したものである。しかし、これらの図は試験的に作成した為に区分値の設定や評価基準の的確性が十分ではなかった。

写真画像から林相を把握するための情報としては、判読可能な林種、樹林高、樹冠幅、樹冠被覆度、立木密度がある。森林環境を把握するにはこれらに加え、写真画像からは判読困難な下層植

生の発達程度や下枝の枯れ上がり等の情報も必要である。本研究の目的は現地調査に基づくヒノキ人工林の森林構造と下層植生との関係を現地調査により把握すると共に、空中写真画像から樹林高や樹冠幅等の特徴を解析することにより、林床植生の発達程度を予測する手法を導き出そうとするものである。

2. 調査林分と解析方法

調査地は福岡市の南約7 kmにある片縄山の北斜面に立地する、標高約100~200mのヒノキ植林地、ならびに油山の山頂付近に立地する標高約550mのヒノキ植林地を対象とした。期間は1996~1997年にかけて23箇所の樹林高、立木密度、樹冠の閉鎖度等の異なる単相林の小班を選定し、その中で典型的な森林構造の場所で、ほぼ樹林高を一辺の長さとするコドラートを設定し調査を行った。このコドラートの大きさは、高木層が下層植生に及ぼす影響を樹林高の範囲とする植物生態調査法に準拠している。ヒノキ人工林においては一部の被圧木を除き林冠構成木はほぼ均一であり、これらを5本選んで計測すれば森林構造を代表できると考え、その平均値をデータとして扱うこととした。ヒノキはそ

表-1 調査林分の概要

林分番号	平均樹高 (m)	平均胸高 直径(cm)	平均樹冠幅 (m)	林内相対 照度(%)	平均立木 間隔(m)	樹冠被覆度 (%)	草本層 全被度(%)	草本層平均 植生高(m)	低木層 全被度(%)	低木層平均 植生高(m)	林地所有 (林齢)
[1]	24.2	42.7	6.6	-	5.0	75	5.0	0.3	70.0	2.0	国有林(66)
[2]	23.8	28.3	3.5	-	2.5	40	1.0	0.1	30.0	3.3	国有林(73)
[3]	23.2	34.4	5.2	3.5	3.0	80	95.0	0.8	8.0	4.0	民有林
[4]	22.7	43.0	6.4	-	3.7	85	90.0	0.3	80.0	3.0	国有林(66)
[5]	18.0	27.7	4.5	1.5	2.8	85	40.0	0.1	8.0	3.0	民有林
[6]	17.6	23.6	2.9	7.6	1.9	65	0.1	0.1	40.0	2.0	国有林(69)
[7]	17.1	21.0	2.9	2.5	1.9	88	5.0	0.1	40.0	2.0	国有林(47)
[8]	16.4	22.6	4.4	3.1	2.6	65	80.0	0.4	30.0	1.8	民有林
[9]	16.3	22.3	4.1	1.0	2.7	87	80.0	0.3	1.0	2.0	民有林
[10]	16.3	23.9	4.2	1.0	2.6	85	80.0	0.2	10.0	1.5	民有林
[11]	16.0	15.6	2.7	2.8	1.5	85	40.0	0.2	10.0	1.5	民有林
[12]	15.9	25.5	3.0	-	3.1	30	0.2	0.1	55.0	3.8	国有林(69)
[13]	15.5	19.1	3.1	0.8	2.5	85	80.0	0.4	10.0	3.0	民有林
[14]	15.0	14.0	2.1	1.3	1.8	85	0.1	0.1	0.0	0.0	民有林
[15]	14.6	25.2	3.1	2.1	1.9	70	10.0	0.3	30.0	1.0	国有林(69)
[16]	13.5	15.9	3.6	0.5	2.7	90	5.0	0.2	0.0	0.0	民有林
[17]	13.2	15.3	2.3	0.5	1.4	93	0.0	0.1	0.0	0.0	民有林
[18]	12.1	18.5	2.9	0.7	2.0	85	10.0	0.1	5.0	0.6	民有林
[19]	11.7	13.1	2.6	0.5	1.7	87	0.0	0.2	0.0	0.0	民有林
[20]	10.8	17.5	2.9	1.2	2.2	90	15.0	0.2	15.0	0.5	国有林
[21]	10.7	12.4	2.4	0.0	1.7	85	5.0	0.1	0.0	0.0	民有林
[22]	9.1	15.3	2.1	2.4	1.6	95	3.0	0.1	20.0	1.0	国有林
[23]	8.4	12.1	1.8	6.8	1.4	90	3.0	0.2	10.0	2.0	国有林

*九州芸術工科大学芸術工学部環境設計学科 **国際航業株式会社

れぞれ胸高直径、樹林高、枝下高、樹冠幅を計測した。高さの計測には15mの検測桿を使用し、また樹冠幅は縦横二回計測した。立木距離の計測はメジャーで行い、樹冠被覆度の判定は地上からの目視により鬱閉度を百分率で大まかに区分した。林内の光条件は地表面から3mの高さで照度を測るものとし、1997年10月の快晴の日を選んでLI-COR Radiation Sensors(MODEL:LI-189)を用いて行った。さらに林床植生に関しては、低木層、草本層についてそれぞれ全被度と平均植生高を調査するとともに、優占種5種の記録を層別に行った。なお、林分相観と林床の発達程度との関係を把握するために、便宜的に低木層と草本層の全被度を加算したものを下層植生全被度とした。また資料により林齢のわかる林分は林地所有と共に示した。森林構造と下層植生の関係には、間伐や除伐の影響が深く関係している。現地での観察では全ての林分でかなり以前の間伐の痕跡が見られたが、いつ頃間伐が行われたかといった管理についての資料は得られなかった(表-1)。

空中写真から樹冠被覆度を計測する手法として樹冠粗密度を判読する方法がある。しかし、この手法は判読者による誤差が大きい。そこで、本論では空中写真上の樹冠の影をコンピューターにより判読する手法を試みた。画像はカラー空中写真をスキャナーにより300dpiで取り込み、コンピューター・ソフト、Adobe Photoshop4.0J上で、50×50ピクセル(一辺13.69m)で抜き出した。これをグレースケールに変換し標準偏差を計算した値を因子として用いた²⁾。これを画像の特徴として抽出した理由は、樹冠の形態を限定する影の分布は樹林高、立木間隔、樹冠幅による複合的な森林構造と関係を持ち、林内に透過する光量と相関があるのではないかと推察した。しかし、空中写真の特徴として、撮影時期、撮影時間、また北斜面か南斜面かで写真の明るさが違い、樹冠の影の分布や形態も違う。特に北斜面や夕方に撮影された写真は影の面積が広がるため樹冠の微妙な形態が判読できず、時には影で全く見えなくなってしまう。今回利用した写真は日長がほぼ同じ5月13日と8月5日のいずれも午前中に撮影した明瞭なもので、写真の違いによる標準偏差の誤差は少ないと判断し、写真の補正は行わなかった。

本論では、以上の調査結果に基づき、まず空中写真画像から判読可能な樹冠被覆度、樹林高、立木密度と下層植生の発達程度との関係について現地調査に基づき分析する。その結果をもとに森林構造の違いを大きくグループ分けすると共に、それぞれと空中写真画像上で判読できる樹林高やグレイ値の標準偏差との対応を明らかにする。

3. 結果と考察

(1) 森林構造の変化と下層植生の発達

森林の成長過程及び管理による森林構造の動向を模式図化したものが図-1である。縦軸の立木密度、横軸の樹冠被覆度はどちらも間伐により強い影響を受ける因子であるが、これと樹木の成長ならびに下層植生の発達との関係を示している。樹冠被覆度は近年における間伐の有無に左右され、間伐した林分は林冠にギャップができるが数年たてば枝の成長により林冠が鬱閉する。立木密度は、林分の発達度や健全度を表し、間伐が進めば樹林高や幹の成長とともに立派な壮齢林へと生育する。下層植生の発達は林内への光透過率に依存し、間伐によるギャップの発生率と樹木の成長量が重要な要因として働く。

(2) 樹林高及び立木密度と光条件との関係

図-2はヒノキ林別に平均立木間隔を3区分し、これと低木層上の林内相対照度、ならびに平均樹高との関係を示したものである。点線より左側もしくは上側は谷沿いの調査林分で平均樹高が高くなるにつれて、また平均立木間隔が広がるにつれて林内相対

照度が高くなる傾向が認められる。点線の下側は尾根沿いの林分で斜面方位によっては日光が林内に射し込みやすいため、平均樹高が低く、また平均立木間隔が狭くても林内相対照度の高いものが見られる。谷沿いの林分の林内相対照度は、平均立木間隔2m未満のものは約2%以下であったが、2m以上のものは林冠の被覆度に差があるため約1~6%の範囲とばらつきがあった。

(3) 森林構造と下層植生の関係

平均立木間隔別に樹冠被覆度と下層植生全被度の関係を示したものが図-3である。樹冠被覆度は値が高いほど林内に透過する光量は少ない。図では樹冠被覆度が低いほど、また平均立木間隔が広いほど下層植生の発達程度が高いことが示され、樹冠被覆度約85%以上では下層植生の被度が極端に少なかった。長年にわたり間伐の跡が見られなかったこれらのヒノキ人工林で樹冠被覆度が広く分散したのは、特に尾根沿いで風倒木による林冠の疎開が

図-1 森林の成長過程及び管理による森林構造

図-2 平均立木間隔別の林内相対照度と平均樹高の関係
立木間隔 x: < 2m △: 2m ≤, < 3m ○: 3m ≤

図-3 平均立木間隔別の下層植生全被度と樹冠被覆度の関係
立木間隔 x: < 2m △: 2m ≤, < 3m ○: 3m ≤

見られたことによる。

次に、平均樹高と下層植生全被度との関係を平均立木間隔別に示したのが図-4である。下層植生は平均樹高15m以上の林分において平均立木間隔の広がりとともに急速な発達が見られ、15m以下では平均立木間隔2m未満が多く下層植生の発達も悪い。清野(1988)による報告³⁾では、40年生以上の林齢で下層植生の被度が大きくなり、これには林冠葉量の減少による林内照度の増大があることを指摘している。また、藤森は樹林高が高くなるほど個々の樹木の樹高に差がでること、斜光の射し込みの条件が高まることから林内の陽光の透過率が改善されると指摘している。さらに、樹林高と林齢が高くなるほど風による隣接木との枝の擦りあいによって個々の樹木の枝先がコンパクトにまとまることから、林内への陽光の透過率が改善されるとも指摘している⁴⁾。しかし、斜光の射し込み条件は緯度で違い、斉藤の新潟における研究では樹林高と林床植生の発達度と相関が見られていないことから⁵⁾、本調査地において、ヒノキ人工林における下層植生の発達は樹冠被覆度や樹林高、立木密度に影響を受け、特に樹林高の成長と共に発達する傾向が確認されたといえる。

(4)下層植生と空中写真画像の比較

森林構造と画像の特徴を概観するために表-2、図-5で考察を行う。表-2では森林構造の違いを大きくグループ分けするため、平均立木間隔については便宜的に2m、3mを、平均樹高については下層植生の発達程度の差が大きかった15mを、また下層植生全被度については平均樹高に大きく制約される30%と十分な発達が見られる60%を区分値として7区分した。図-5では、グループ内の調査林分から代表的なものを選定し、比較する上で谷沿いの林分を選定したが、B【12】については、適当な林分がなかったため尾根沿いの林分を用いた。図には平均立木間隔・平均樹高・下層植生全被度別にグレー値の標準偏差を示し、断面図と空中写真画像、さらにグレー値の画像ヒストグラムを示した。表-2、図-5の因子の中で特徴的なのは、A【3】、B【12】のように、立木間隔が広いほど標準偏差が大きく写真の影の分布が広い。一方、断面図に示すように、F【11】、G【21】のような鬱閉林では樹冠が重なり合うため、写真画像上の影の部分が少なく、写真では単一色で樹冠の形態は判読できない。

次に、森林構造及び標準偏差と下層植生の発達程度との関係を考察する。図-6は下層植生全被度別に標準偏差と平均樹高の関係を示したもので、表-3は図-6平均樹高を2m、標準偏差を5ずつ区分し下層植生全被度の値を林分番号と共に示したものである。これまでの森林構造と下層植生の考察から明らかになったように、平均樹高15m以下、下層植生全被度30%以下のグループが図-6の点線枠で示した箇所にとまって分布している。しかし、その他の林分については混在しており、図-6では関係が

図-4 平均立木間隔別の下層植生全被度と平均樹高の関係
立木間隔 ×: < 2 m Δ: 2 m ≤, < 3 m ○: 3 m ≤

分からないため表-3により大まかな森林構造と下層植生の発達度合いの区分を試みた。まず、先に考察した平均樹高15m以下で下層植生の発達が悪い区分は一点鎖線で区切られた表中Ⅰに示す林分であり、標準偏差は25未満で下層植生全被度もほとんどが30%未満である。次に、ほぼ確実に下層植生が発達しつつあるのが平均樹高15m以上の表中ⅡとⅢである。但し標準偏差値15~25の表中Ⅱの下層植生は表中Ⅰから発達しだした林分で、まだ発達過程にある区域と位置づけることができる。標準偏差値25以上の表中Ⅲは、林分により発達程度の差があるものの下層植生が十分発達できる区域といえる。また、標準偏差15以下で平均樹高15m以上の表中Ⅳは、他の林分と比較して樹冠を限る影の部分が少ないことから樹冠の鬱閉度が高い林分である。しかし、樹林高の値から林内への陽光の透過率が改善され、やや下層植生が発達しつつあると推察される。なお、表中Ⅴは平均樹高15m以下で標準偏差25以上の林分であるが、本調査地では該当

表-2 森林構造に基づく林分のグループ分け

	平均立木間隔 (m)	平均樹高 (m)	下層植生全被度 (%)
A	3 ≤	15 ≤	十分発達 (約100)
B	3 ≤	15 ≤	やや発達 (約60)
C	2 ≤, < 3	15 ≤	十分発達 (約100)
D	2 ≤, < 3	15 ≤	やや発達 (約60)
E	2 ≤, < 3	< 15	ほとんど裸地 (約20)
F	< 2	15 ≤	やや発達 (約60)
G	< 2	< 15	ほとんど裸地 (約20)

林分 番号	ヒストグラム、X軸:グレー値(0(黒)~255(白)、Y軸:ピクセル数 写真画像、グレースケール、50 × 50pixl 断面図		
	断面図	写真画像	ヒストグラム
A【3】	平均立木間隔: 3m 平均樹高: 23.2m 下層植生全被度: 100% 標準偏差: 25.6		
B【12】	平均立木間隔: 3.1m 平均樹高: 15.9m 下層植生全被度: 55% 標準偏差: 32.71		
C【8】	平均立木間隔: 2.6m 平均樹高: 16.4m 下層植生全被度: 110% 標準偏差: 26.19		
D【9】	平均立木間隔: 2.7m 平均樹高: 16.3m 下層植生全被度: 81% 標準偏差: 16.93		
E【16】	平均立木間隔: 2.7m 平均樹高: 13.5m 下層植生全被度: 5% 標準偏差: 12.71		
F【11】	平均立木間隔: 1.5m 平均樹高: 16m 下層植生全被度: 50% 標準偏差: 9.69		
G【21】	平均立木間隔: 1.7m 平均樹高: 10.7m 下層植生全被度: 5% 標準偏差: 14.48		

図-5 森林構造と空中写真・画像ヒストグラム

図－6 下層植生全被度の標準偏差と平均樹高の関係
下層植生全被度 ×：<30% △：30%≤、<60% ○：60%≤

する林分がなかった。閉鎖林が間伐されるとこの区域に入り、下層植生の発達が見込まれる。これらの結果から、林内に透過する光量と相関があるのではないかと推察されたグレー値の標準偏差は、15と25の値を境に下層植生の発達程度が大まかに区分でき、樹林高別に見ることによりさらにその関係性が明らかとなった。

4. まとめ

以上の結果を整理すると、本調査地の結果では、ヒノキ人工林における下層植生の発達は樹冠被覆度や樹林高、立木密度に影響を受け、特に平均樹高15m以上の林分では林内への光透過率の改善や、林冠の疎開により林床植生の発達が進むことがわかった。また、林内への光透過率と関係が強いと思われる写真画像のグレー値の標準偏差は15と25で下層植生の発達程度を大きく分けることができ、樹林高と組み合わせることにより大まかな下層植生の発達程度を予測することができることが明らかとなった。これは

表－3 標準偏差と平均樹高による下層植生全被度

		グレー値の標準偏差							
		<10	10<, ≤15	15<, ≤20	20<, ≤25	25<, ≤30	30<, ≤35	35<, ≤40	
平均樹高 (m)	23<		[2]31.0			[3]103.0	[1]75		III
	21<, ≤23					[4]170.0			
	19<, ≤21	IV							
	17<, ≤19			[5]48.0					II
				[7]41.0					
	15<, ≤17			[9]81.0					
				[10]90.0					
			[11]50.0	[14]0.1					
				[13]90.0					
							[8]110.0	[12]55.2	
	13<, ≤15		[16]5.0			[15]40.0			
	11<, ≤13					[17]0.01			
		I					[14]0.01		
	9<, ≤11		[21]5.0			[20]30.0			
	<9					[22]23.0			
						[19]0.01			V
						[23]13.0			

I：樹林高15m以下、標準偏差25以下 → 下層植生の発達が悪い区域

II：樹林高15m以上、標準偏差15～25 →

下層植生がほぼ確実に発達しつつある区域

III：樹林高15m以上、標準偏差25以上 → 下層植生が十分発達できる区域

IV：樹林高15m以上、標準偏差15未満 → 下層植生がやや発達しつつある区域。

V：樹林高15m以下、標準偏差25以上 → 下層植生の発達が見込まれる区域

グレー値の標準偏差を林内の光条件に対応する因子として使用し得るといえる。本研究の課題は、さらに細かい森林構造や林内照度とグレー値の標準偏差の関係を検証し、その誤差の範囲と妥当性を明らかにする必要がある。

今後これを応用し環境評価システムに取り入れていくためには、コンピューターによる自動判読・図化システムの開発が望まれる。グレー値の標準偏差などの色差の解析技術はすでに既存のもので対応可能と思われるが、樹林高を判読するステレオマッチング技術においては未だ誤差が多く、立木間隔の判読に至っては緒に付いたばかりである。多様な植生環境に対応して、それぞれの画像の特徴を的確に抽出することが今後の課題である。

参考文献

- 重松敏則・朝廣和夫・瀬戸島政博・牧田史子(1997)：現存植生環境動態図の作成とその活用に関する基礎的研究：日本造園学会誌 60(5), 527-530
- Adele Droblas Greenberg and Seth Greenberg (1995)：Adobe Photoshop 3.0J SUPERBIBLE：翔泳社, 572pp.
- 清野嘉之(1988)：ヒノキ人工林の下層植物群落の被度・種数の動態に影響を及ぼす要因の解析：日本林学会誌 70(10), 455-460
- 環境林整備検討委員会編、藤森隆郎他(1993)：環境林の整備と保全：日本造林協会, 54pp.
- 齊藤昌宏(1989)：スギ人工林における林内日射量と林床植生量の関係：日本林学会誌 71(7), 276-280

Summary : To identify the current situation of our rural land in the context of the limited natural resources and environmental capacity of the earth, it is necessary to develop a more practical vegetation mapping method based on image processing of aerial photographs than actual vegetation map. However, for the woodlands, it is impossible to identify floor vegetation coverage or growth from aerial photographs, except canopy tree figure such as crown size, tree stand density and tree height. Therefore, this study aims to analyze the relation between canopy tree conditions and floor vegetation coverage based on both image processing of aerial photographs and forest survey, as a case study in artificial forests of *Chamaecyparis obtusa*. In results, it became apparent that there were no sufficient floor vegetation under canopy trees less than at 2m tree stand interval and at 15m tree height. On the other hand, 2500 pixel square (about 1 87m²) gray image were utilized from digital aerial photograph data, in order to count and calculate standard deviation from each gray image. In comparing it with the floor vegetation cover rate and tree height, the relationship between them were recognized. In conclusion, It was considered that standards deviation of gray image were possible to utilize as a factor of floor vegetation with forest stand structure.