



IV-3-3 ドローンを活用した森林調査

(1) ドローンによる資源計測

近年、スマート林業、ICT 林業として UAV (unmanned aerial vehicle、無人飛行機) の活用、とくにドローン (drone : 以下 : ドローン) を活用した森林資源計測が行われています。ドローンに搭載したカメラやレイザ測器により、森林を空撮してそのデータから森林資源量を計測します (図 4-61)。

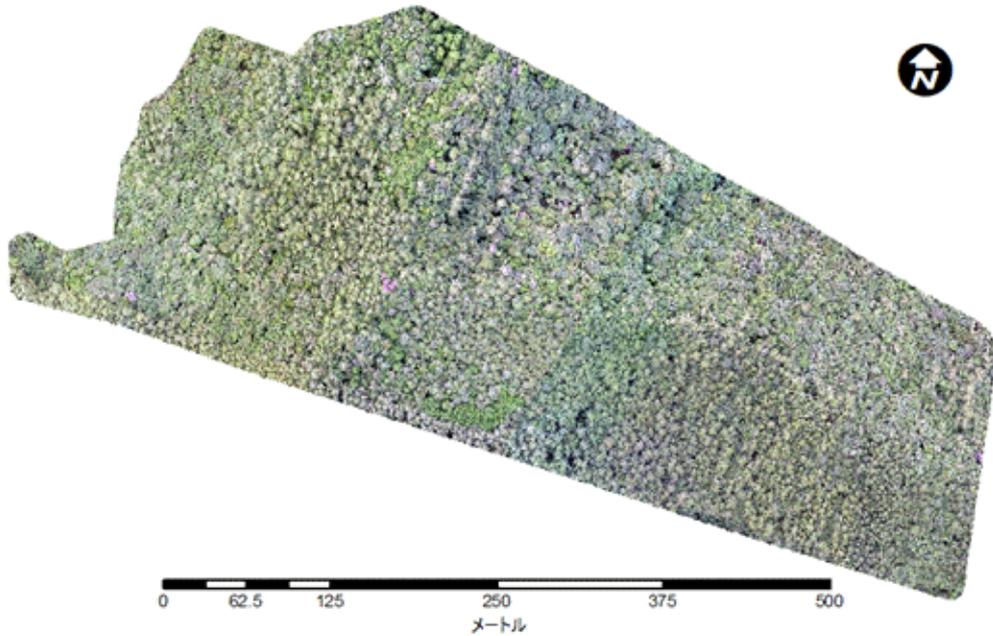


図 4-61 ドローン空撮によるオルソ画像 (提供 : 伊那市「伊那市林業成長産業化地域創出モデル事業」より)

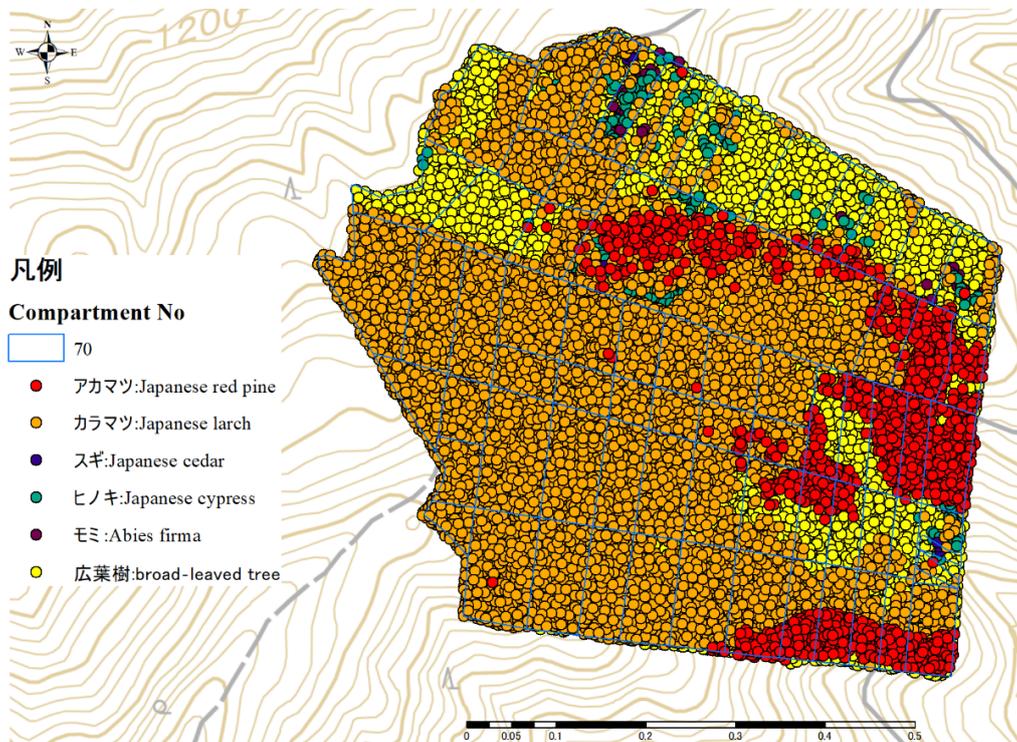


図 4-62 ドローン計測林相図 (提供 : 伊那市「伊那市林業成長産業化地域創出モデル事業」より)



樹種を自動判別するなどの研究が進み、樹種の特定ができるようになりました。また、立木の位置の特定による立木本数の計測や林相図を作成することができます（図 4-62、図 4-63）。

樹種や立木本数を正確に把握するには有効な調査方法です。今後、ドローンによる森林資源計測は、その汎用性が高まると考えられます。

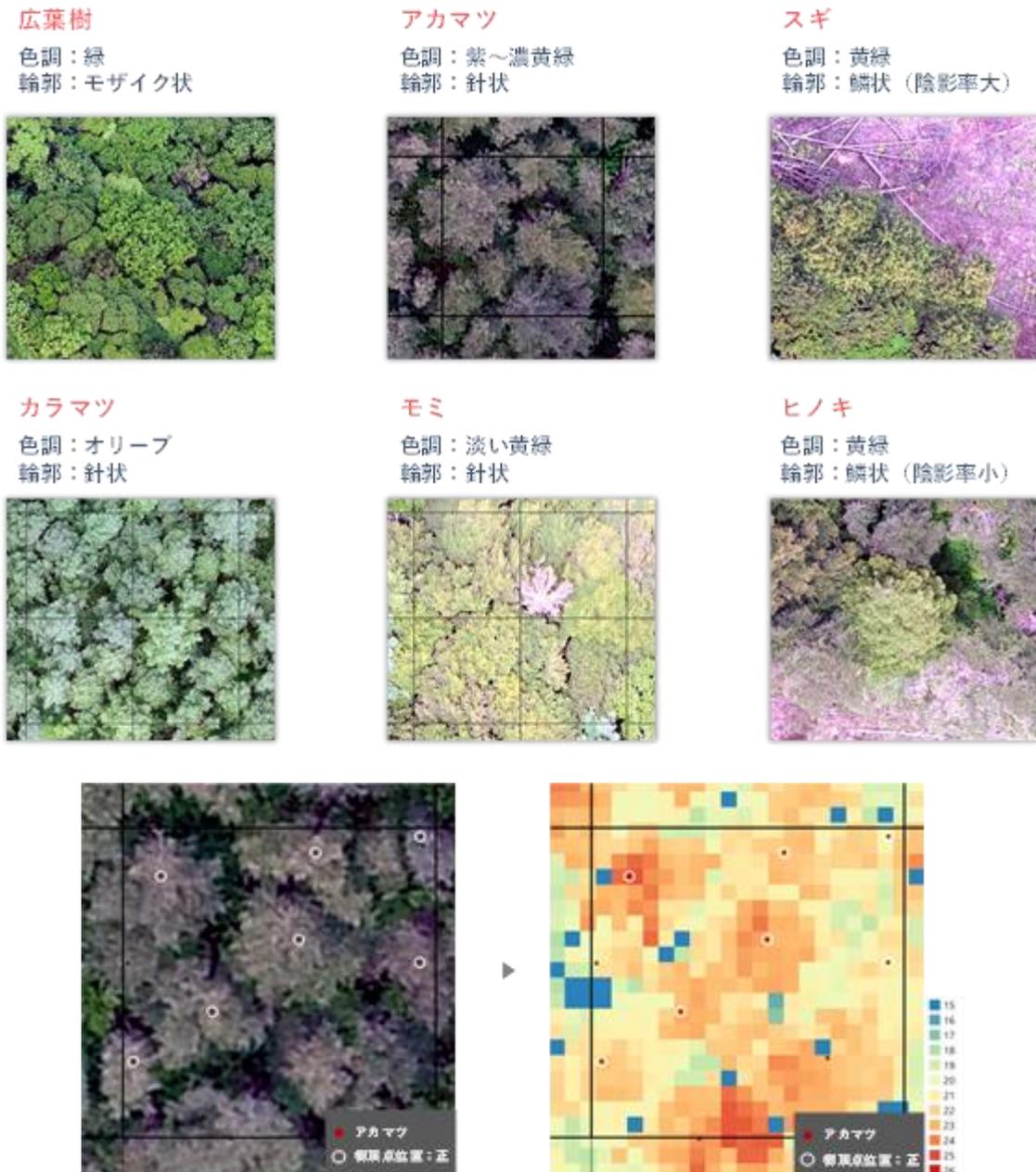


図 4-63 ドローン空撮画像の樹種（上～中段）と樹頂点による立木位置の特定（下段）
ドローン機種は DJI phantom4RTK



【ドローン森林調査の課題】

林野庁では「国有林における収穫調査等の効率化手法実践体制構築委託事業 UAV 立木調査マニュアル（2019）」や「リモートセンシング技術を活用した収穫調査の効率化手法検討委託事業報告書（2020）」を公表しています。

ドローンの活用は、森林調査の効率化、森林資源情報の精度向上が期待されています。今後、ますます森林・林業の現場にドローンが活用されるものと考えられます。

ドローン取得データ（空撮画像やレーザ計測）による森林解析は、樹種、立木本数、樹高などが精度よく得られます。

一方、胸高直径（DBH）はドローン取得データからは直接取得することはできません。DBHが取得できないということは、材積も取得できないことになります。ドローンによる森林調査において、DBHを推計する作業がどうしても必要となりますが、確定した方法はまだありません。

人工林として全国的に最も多いスギ林については、ドローンを含めたリモートセンシング事例も多く、立木1本1本の樹冠の面積からDBHを推計する式などが示されています（下式）。

$$DBH = a \times Ca^b \times h$$

ここで、DBH：胸高直径（cm）、Ca：樹冠投影面積（m²）、h：樹高（m）、a、b：係数

しかし、カラマツやアカマツなどは、樹冠や樹形の形状も規則性がなく、偏倚している個体が多いので、樹冠面積からDBHを単純に推計することは難しいとされています。

樹冠投影面積からDBHを推計できないとなると、樹高とDBHの関係から推計することとなりますが、こちらも確定した推計式はありません。

森林の材積をある程度正確に推計するには、ドローンで取得した立木の位置と樹高データを基に、現地補正調査として、樹高の確認とDBHの計測を実施することが必要となります。樹高階級（1m単位など）ごとにDBHを計測して、その森林に適合する「樹高－胸高直径曲線式」を作成する必要があります（右図）。

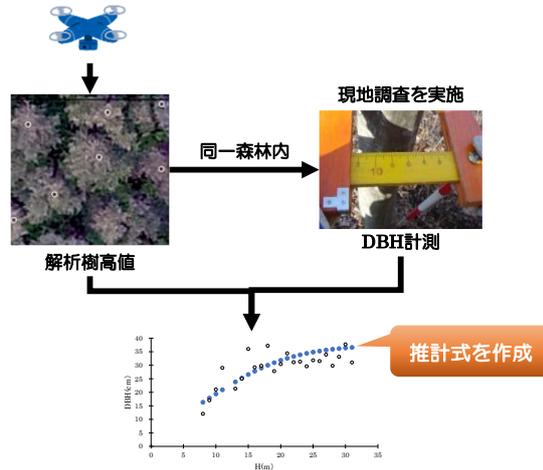


図.ドローン情報と現地補正調査によるDBHの推計

一般的に「樹高－胸高直径曲線式」はべき乗式などが想定されますが、樹種、立地によっては適合しないことがあります。より正確にDBHを推計するには、成長形態を表現する関数や、検討した結果から形状比なども確認して適正であるか検証することも必要となります（左図）。

ドローンによる森林調査にもまだ課題が存在します。県内のカラマツやアカマツなどの事例が増え、それらからより精度の高いDBH推計式が導かれることを希望しています。

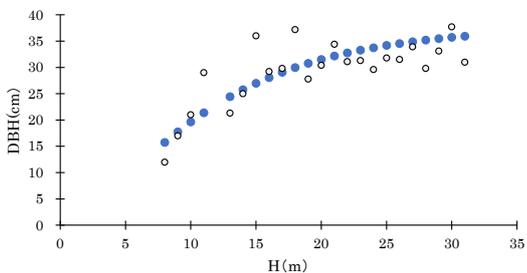


図.樹高からのDBH推計

Richards 関数：DBH = M × (1 - exp(-L×H))^k



(2) 松くい虫等被害林のリモートセンシング調査

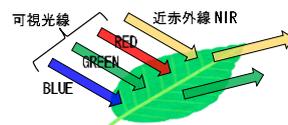
① リモートセンシングによる松枯れ判定

リモートセンシング技術に NDVI(正規化植生指標：Normalized Difference Vegetation Index)があります。植生指標とは、植物による光の反射の特徴を生かし衛星データを使って簡易な計算式で植生の状況を把握することを目的として考案された指標で、植物の量や活力を表しています。



【NDVI：正規化植生指標】

植物の葉に含まれるクロロフィルは、可視域の赤の波長帯(0.64~0.67μm)を強く吸収します。また、葉の細胞構造は熱から自身を保護するため、近赤外線の波長帯を強く反射するという特性があります(右図)。

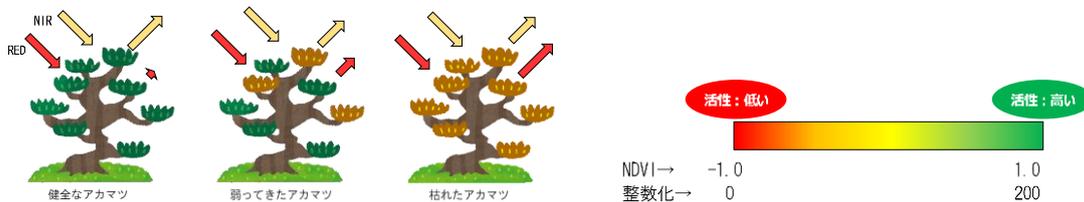


この2つの波長帯のデータを用いて算出される植生の活性や量を示す指標を「NDVI(正規化植生指標；Normalized Difference Vegetation Index)」と呼びます。

NDVIは、近赤外域の観測値と可視赤色域の観測値から次式により求められます(理論上は-1~1の範囲)。

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

NDVIは植物の葉が多い(活性が高い)ほど、高い値を示します。つまり、葉が無い、葉があっても枯れている場合は低い値を示すことになります(下図)。



なお、植生指標データとして使用する場合は、下式によって整数化するため、数値は0~200までの値をとります。

$$\text{植生指標データ} = (NDVI + 1.0) \times 100$$

NDVI解析は、松枯れの被害状況を確認するための広域調査に有効です。さらに、ドローンにも近赤外線センサーカメラを装着して、NDVIを取得できるようになりました(本文参照)。

今後は、松くい虫被害等の病虫害被害地、雨氷や強風による倒伏被害地などの被害状況確認や被害率等の判定に有効です。

イラスト一部使用©いらすとや





第IV章 森林の把握 ~解説~

長野県では県内すべての地域を 500m 単位によって区画し、衛星画像から NDVI を解析した松枯れ危険度マップの作成を始めました。2020 年 12 月現在、塩尻～小谷までの地域の整備が終わっています（図 4-64）。

全体図（松くい虫被害レベルマップ）

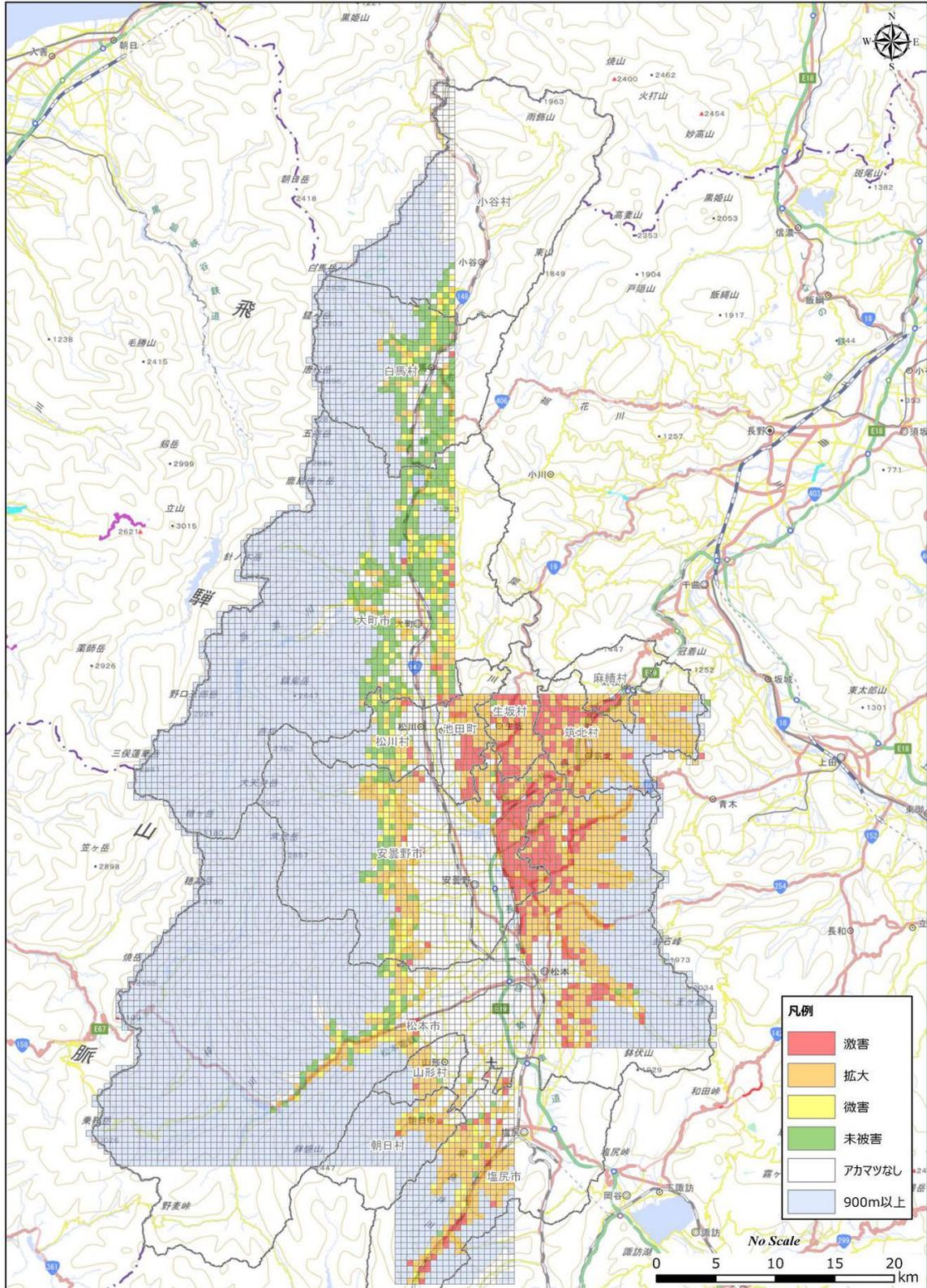


図 4-64 作成した「松くい虫被害レベルマップ」(全体図)



② ドローンの活用

松くい虫等の被害林の調査は、立ち枯れ木が多い森林内で実施しなければならない場合があります。これは非常に危険を伴う作業となります。また、森林内に入ると、上を見上げて枯れているかを判断するため、下層植生や中低木が密生している森林では、正確に判断することも難しくなります（図 4-65）。

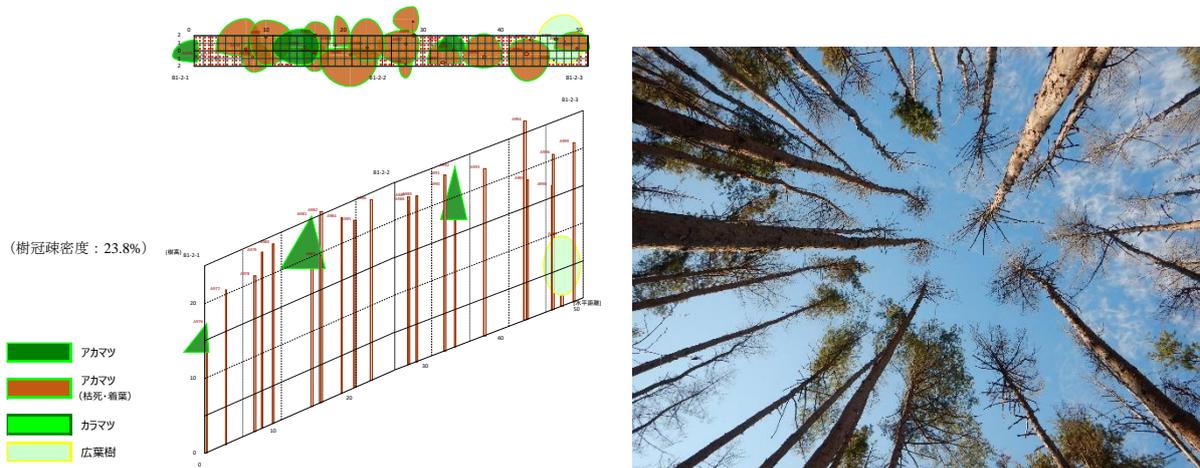


図 4-65 立ち枯れ枯死木が発生しているアカマツ林分の帯線調査結果と枯死木

このような病虫害の被害が発生している森林において、ドローンを活用した被害調査が可能です。ドローンで空撮することで、松くい虫等の衰退や枯死立木状況を俯瞰的に確認でき、枯死の被害割合をおおよそ把握することができます（図 4-66）。

さらに、ドローンに特殊な近赤外線カメラを装着して記録すると（図 4-67）、前述の NDVI 解析ができます（図 4-68、図 4-69）。

今後の森林の巡視と合わせ、確実にその被害を確認したい場合には、ドローンの活用が有効です（参照：第三章 39 ページ）。



図 4-66 ドローン取得画像による枯損木の特定

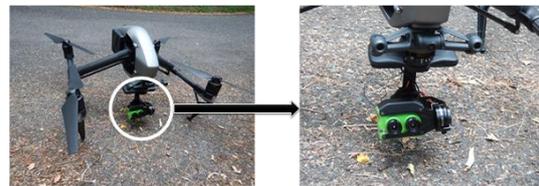


図 4-67 ドローンに装着した近赤外線カメラ

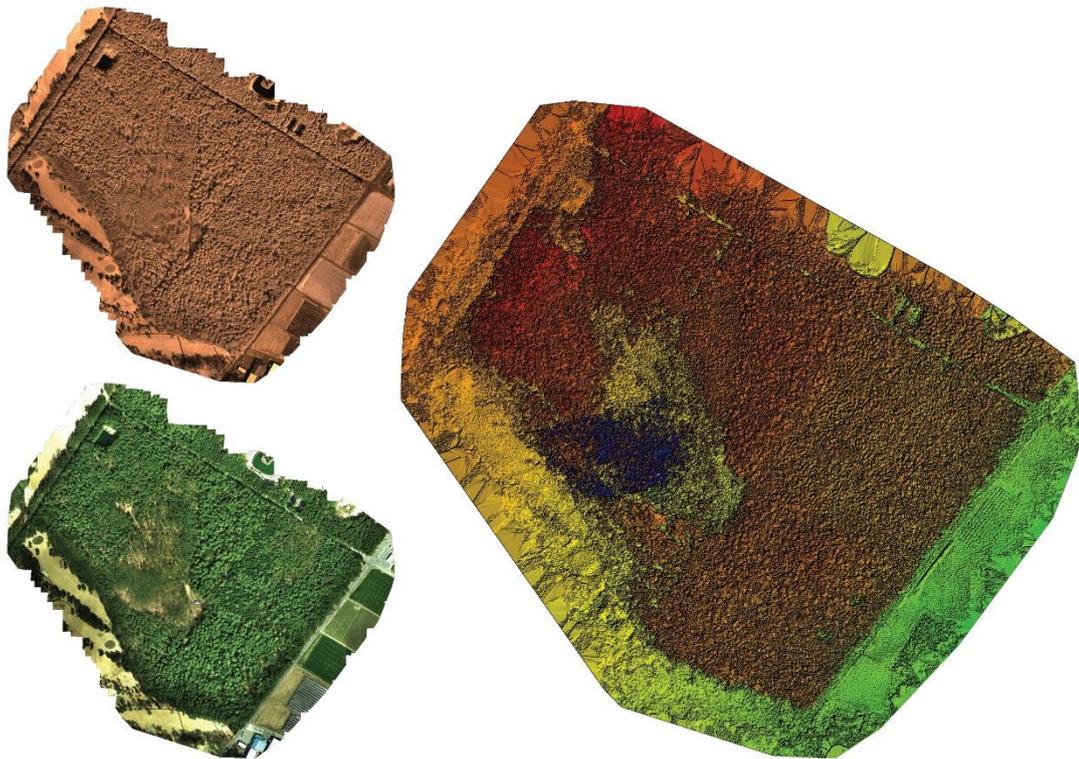


図 4-68 高密度化前のオルソモザイク（左）と
対応するデジタルサーフェスモデル（DSM：右）。

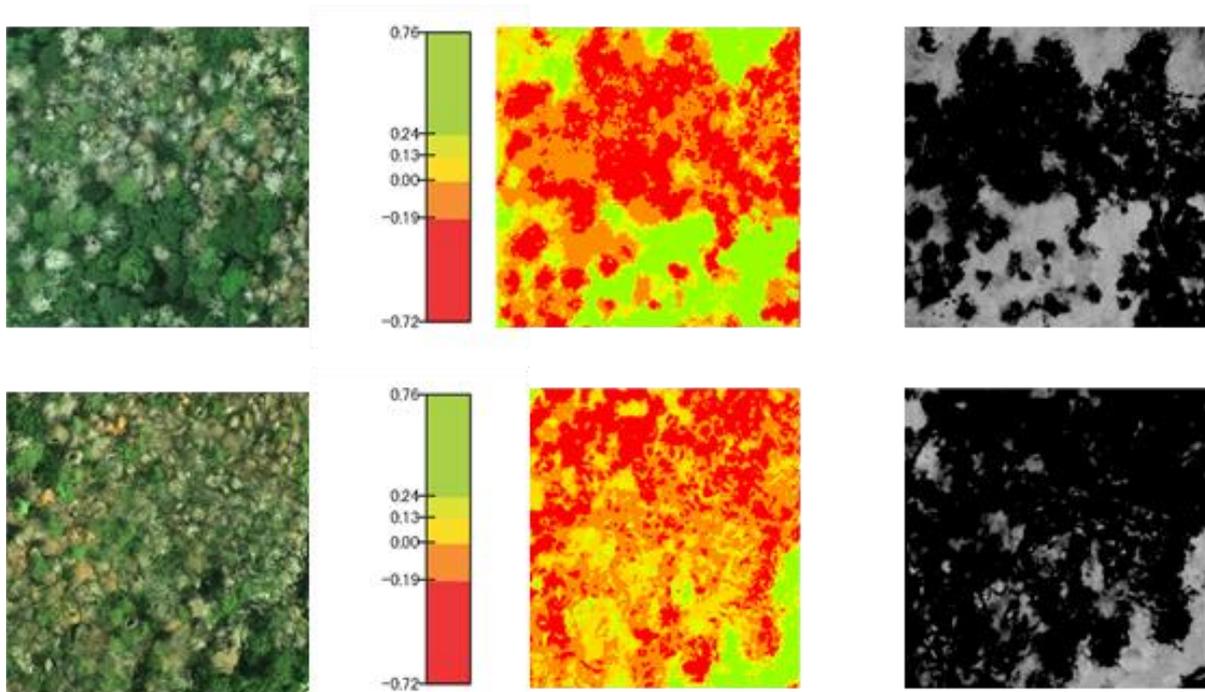


図 4-69 ドローン装着近赤外線カメラによる NDVI

図の NDVI 値は整数化していない

松くい虫等枯損木の状況を把握するため、Inspire 対応 3 軸制御ジンバル付き Double 4K センサ (Sentera 社) を装着して、可視光画像ベースの 2D・3D 画像および NDVI マップ、Narrow Band RGB (Red/Green/Blue) を同時に取得し、このデータを用いて、解析ソフト Generated with Pix4Dmapper version 4.4.12 により NDVI (Normalized Difference Vegetation Index: 正規化植生指標) を作成 (岩手大学農学部斎藤仁志准教授解析)。



IV-4 森林の把握

IV-4-1 森林の混み具合を把握する

現況密度の把握は、森林の混み具合を知ることです。木は樹冠を広げて樹高成長を行い、幹を太らせて肥大成長を行うので、木の成長には空間が必要となります。森林では、この成長するための空間の奪い合いが絶えず行われており、森林内に生育する大きな木は、これらの競争を勝ち残ってきた個体なのです。

森林の混み具合は一般に林分密度と呼ばれています。また、林分密度は立木密度とも呼ばれます。林木の成長は林分密度に大きく影響され、材の材質管理や風害、雪害などに強い森林を維持するために、林分の状況を判断し、施業を行う上で重要な概念です。

森林の混み具合を表す指標は、さまざま提案されています。林分密度の指標には、次の指標があります。

- ① 立木本数に係る指標
- ② 面積に係る指標
- ③ 材積に係る指標
- ④ 占有生育空間に係る指標

ここでは、一般に用いられている胸高断面積合計 ($G:m^2/ha$)、収量比数 (Ry)、相対幹距比 (Sr) を主な指標とした林分密度の判定を行います。また、林分の管理指標として形状比 (H/D) を用いることができます。

(1) 胸高断面積合計 ($G : m^2/ha$)

胸高断面積合計 (G) は面積に係る指標で、地上から高さ 1.2m (北海道では 1.3m) の位置 (DBH) の断面積を合計した値を用いています。一定面積における胸高断面積の値はほぼ決まった数値になることが知られており、1ha 当たり 80~100 m^2 程度とされています。このときの成立本数の値を「限界成立本数」といいます。このような状況の森林は木々の幹は細く、枝は高く枯れ上がって、衰弱した個体が多く見られる状態になります。1ha 当たりの胸高断面積合計が、80~100 m^2 程度ということは、森林では最大でその面積の 0.8~1.0% が樹木の占有面積であることとなります。

長野県内のカラマツ 734 林分のプロット調査データから主構成樹種 (カラマツ 4cm 以上) の胸高断面積合計 (G) を調べました。胸高断面積合計 (G) は 30~40 m^2 の範囲の森林が多く出現しました。この結果から、一般的な人工カラマツ林では 30~40 m^2 の範囲が平均的な値であると考えられます (図 4-70)。



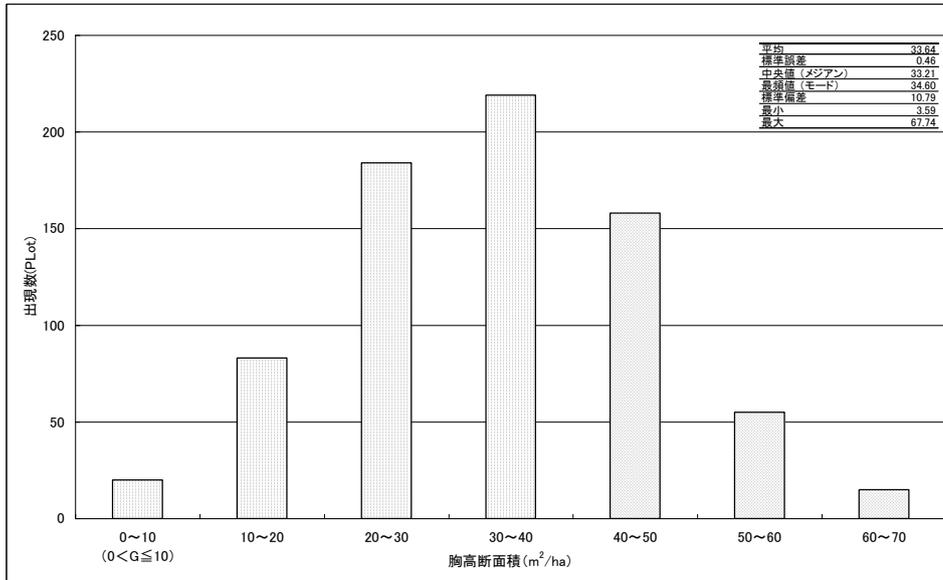


図 4-70 胸高断面積合計

*人工カラマツ林分 734 データ、DBH=4.0cm 以上、DBH 高さ=1.2m

(2) 収量比数 (Ry)

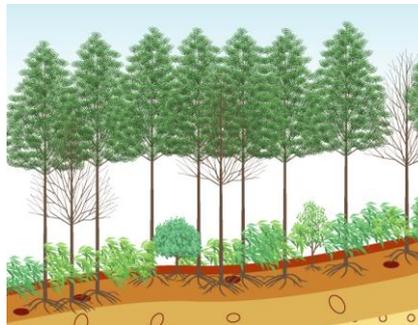
収量比数 (Ry : Relative yield index) は材積に係る指標です。

植栽樹種などは、立木ごとの競争によって自然に枯死して成立本数が減少します。成立本数が違って、生育段階において上限の密度が存在します。このときの値を「最多密度」と呼んでいます。

収量比数 (Ry) は、平均樹高が同じ林分において最多密度の幹材積を1とした場合に、現実林分の幹材積の比で表した指標です (図 4-71)。値が小さいほど密度が低いことを表します。

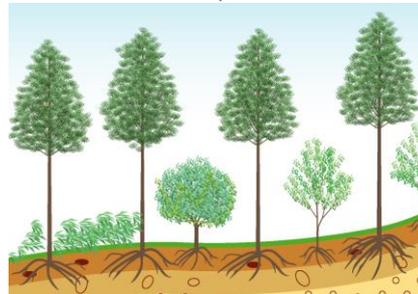
この収量比数は、林分の成長に関する密度効果の法則を応用し、生育段階に応じた密度と材積などの関係を表す「密度管理図」として利用されています (図 4-72)。

密度管理図は、等平均樹高曲線、自然枯死線、最多密度線、等平均直径曲線、そして収量比数曲線が示されています。



最多密度に達した林分

立ち枯れなどが発生しています。植栽された樹種は、生長競争によって自然に枯れて本数が減少します。このときの幹材積を1とします。



密度の低い林分

上記と同樹種で、平均樹高が同じである条件下の密度の低い林分があります。このときの幹材積をVとします。

密度の低い林分の幹材積 ÷ 最多密度に達した林分の幹材積 = V/1
このV/1が収量比数 (Ry) となります。
密度の低い林分材積が最多密度に達した林分の7割だと、Ry=0.7÷1=0.7となります。

図 4-71 収量のイメージ



なお、密度効果の法則は、同種同齢の植物個体群で生育条件が一樣であることが必要であり、人工林（一斉林）における密度管理指標として利用されているものです。

密度管理図を用いて現状の収量比数を求める場合は、調査した林分の全成立本数(本/ha)と枯死木や被圧木を除いた平均樹高から求めます。

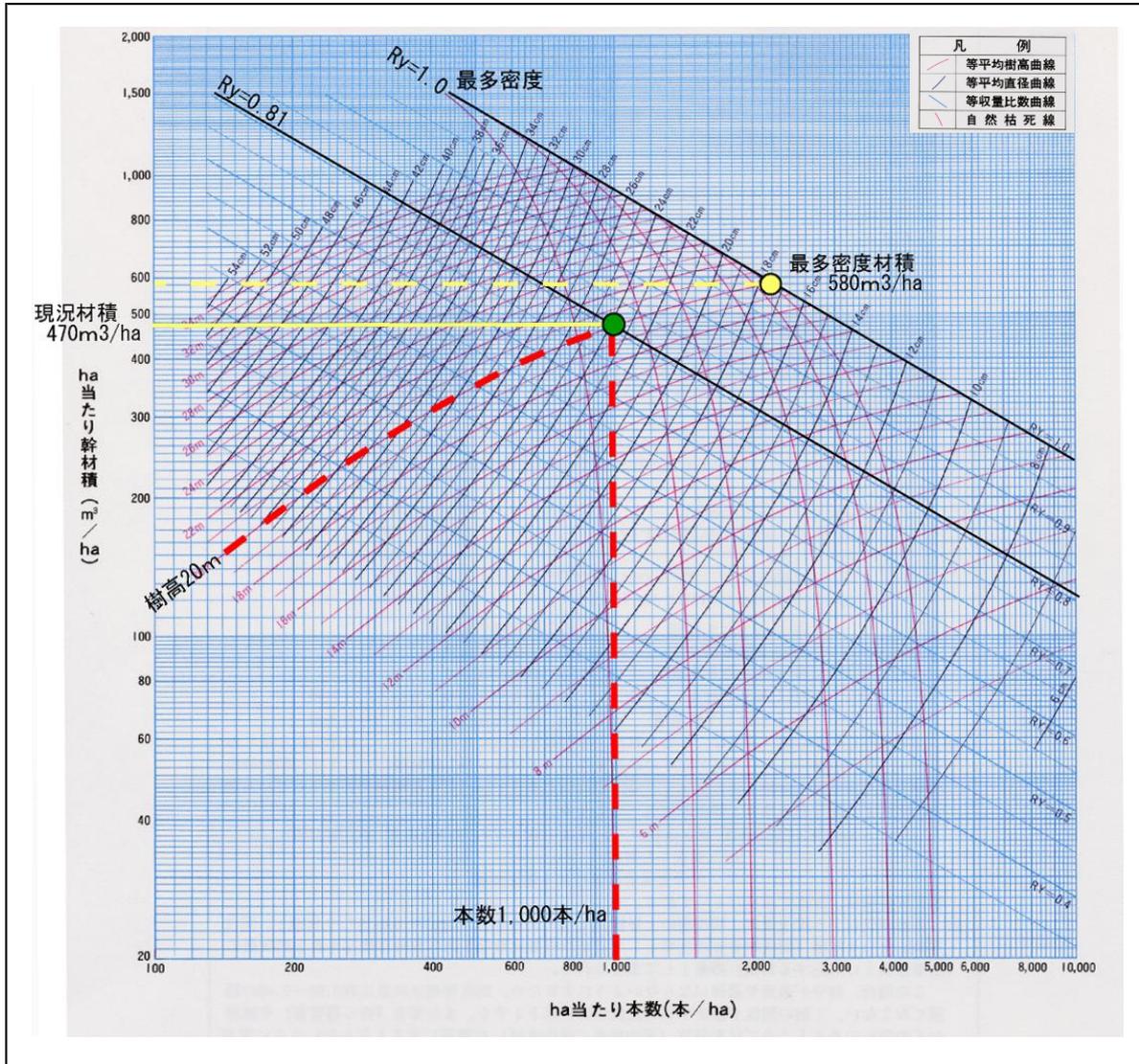


図 4-72 密度管理図からの Ry の読み取り

「関東・中部地方ヒノキ林分密度管理図,昭和 57 年調整, (社) 日本森林技術協会発行」をもとに作成

例として、図 4-72 の「関東・中部地方ヒノキ林分密度管理図」を用いて、成立本数 1,000 本/ha、平均樹高 20m のヒノキ林の収量比数 (Ry) を求めます。

- ① 横軸に示されている 1,000 本/ha の線と 20m の等樹高曲線との交点をプロットします。
- ② プロットした点が右下から左上に伸びる等収量比数線のどの位置にあるかを読み取ります。
- ③ これがこの林分の収量比数 (Ry) となり、Ry=0.81 と読み取ることができます。





- ④ プロットした点を縦軸上で読み取ると ha 当たりの幹材積となります。この林分は 470m³と読み取れます。
- ⑤ 20mの等樹高曲線と最多密度線との交点では、ha 当たりの幹材積は 580 m³と読み取れます。
- ⑥ ④の 470m³を⑤の 580 m³で割ると 0.81 となります。

したがって、この林分の収量比数 (Ry) は 0.81 であると確認できます。

表 4-16 計算式による収量比数

H	: 平均樹高 (m)	= 20.0
N	: 立木本数 (本/ha)	= 1,000
V	: 幹材積 (m ³ /ha)	= 471.3
HF	: 林分形状高	= 10.2
G	: 断面積 (m ² /ha)	= 46.3
DG	: 断面積平均直径 (cm)	= 24.3
VRF	: 最多密度材積 (m ³ /ha)	= 582.3
NRF	: 最多密度本数 (本/ha)	= 2,197
Ry	: 収量比数	= 0.81

密度管理図上で収量比数を読み取ることができますが、もっと正確に求めたい場合は、密度管理図ごとに示されている計算式から求めます (表 4-16)。

図 4-72 と同じ条件で計算すると、ha 当たりの幹材積は 471.3m³、最多密度における ha 当たりの幹材積は 582.3m³ となり、収量比数は次の値となります。

$$Ry = 471.3 \text{ m}^3 \div 582.3 \text{ m}^3 = 0.8093 \approx 0.81$$

密度管理図を用いる場合の注意点は次のとおりです。

- ① 密度管理図は、スギ、ヒノキ、カラマツ、アカマツ、広葉樹 (ナラ類、クヌギ) など樹種別や地域別に作られています。収量比数を用いる場合は、森林が該当する地域のものを使用する必要があります。
- ② ha 当たりの本数は全成立本数を用います。
- ③ 樹高 (上層樹高) は、枯死木と被圧木を除いた平均樹高を用います。
- ④ 密度管理図から求められる材積や平均直径は、実際の調査結果と大きな差異が生じる可能性があります。また、収量比数も 1.0 を超える場合があります。

さて、適正な林分密度の収量比数値はどの範囲なのでしょう。「どのような森林にしたいか、どのような森林であってほしいか」によってその値は変わりますが、一般には収量比数 0.9~0.8 の間で管理する方法を密仕立て、0.8~0.7 の間で管理する方法を中庸仕立て、0.7 より低く管理する方法を疎仕立てと区分しています (安藤,1982)。

表 4-17 は、長野県のカラマツ林分生産目標型による収量比数の目安を示したものです。樹種、地域さらには目標林型によって密度の管理は異なりますが、収量比数 0.7 前後が適正密度として示されている場合が多くなっています。



市町村森林経営管理事業の場合、表 4-17 に照らし合わせば、公益的機能強化型が相応します。Ry を指標とする管理では、**Ry=0.55 を目標**に密度管理をすることが必要です。

表 4-17 長野県カラマツの生産目標区分と Ry の目安

生産目標			地位	Ry
生産型	タイプ	胸高直径		
大径材生産型	一般タイプ	DBH=38 cm以上	I	0.70
			II	0.60 ~ 70
	優良材生産篤林家タイプ	DBH=38 cm以上	I	0.65
			II	0.65
中径材生産型	一般タイプ	DBH=20 cm以上	IV	0.65
			IV	0.65
	優良材生産篤林家タイプ	DBH=20 cm以上	IV	0.65
			IV	0.55
公益機能強化型	樹種更改タイプ	DBH=20 cm以上	V	0.65
			V	0.55

* 「カラマツ人工林・長伐期施業の手引き,平成 3 年, 長野県」



参考 【どの密度管理図を使う?】

現在、市販されている密度管理図は樹種別、地域別に 22 種類あります。長野県内で用いられる密度管理図は、スギは「北関東・東山地方」、ヒノキは「関東・中部地方」、カラマツは「本州地方」、アカマツは「関東・中部地方」、広葉樹（ナラ類・クヌギ）は「関東・中部地方」などの種類です。

なお、北信州のスギ、南信州（天竜、根羽等）のスギ・ヒノキの適用性については微妙です。

北信州のスギは、北安曇の佐野坂（中綱湖）と北信の高社山を結ぶライン以北では日本海側気候帯に類似し、スギの成長も多少異なっています。昭和 40 年に信州大学と長野県森林計画研究会で作成した「北信地方スギ林分収穫表」（データ数 152）をもとに、樹高成長と、密度管理図の「北関東・東山地方」と「裏東北・北陸地方」を比較してみました。樹高成長は「北関東・東山地方」の樹高曲線に、密度管理図による直径成長では「裏東北・北陸地方」に類似し、材積は「北関東・東山地方」が過大に、「裏東北・北陸地方」では過少となります。過大評価を避けたいときは、北信州の多雪地域では「裏東北・北陸地方」を用いた方がよいと考えられます。

南信州（天竜、根羽等）のスギ・ヒノキについても「北関東・東山地方」、「関東・中部地方」というよりは、「南関東・東海」地方の値に類似しています。

「その他針葉樹」については、上記 22 種類には含まれていません。他の密度指標を用いて密度管理を行うこととなります。



(3) 相対幹距比 (Sr)

相対幹距比 (Sr : Relative spacing) は占有生育空間に係る指標で、樹種や林齢・地位に関係なく、林分密度が簡単な計算式で求められます。

$$Sr = \sqrt{\frac{10000}{\text{ha 当たりの本数}(N)}} \div \text{樹高}(H) \times 100$$

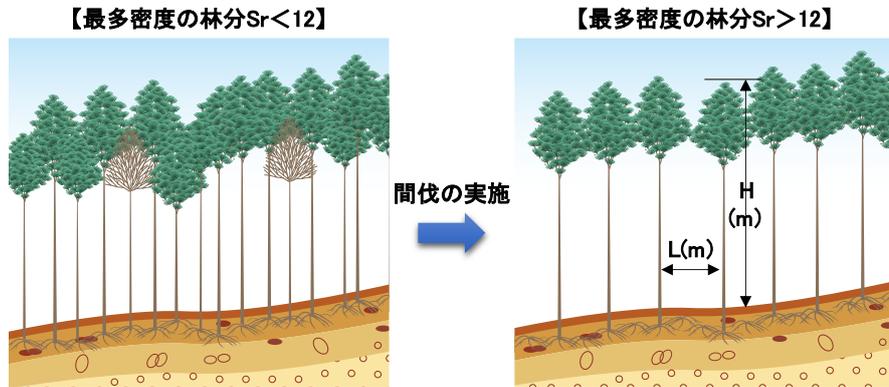


図 4-73 相対幹距比 (Sr)

これは、1ha の面積に N 本の立木があるときの 1 本当たりの占有面積を正方形面積と仮定し、平方根を解くことで隣接木との平均距離を求めます。この平均距離 (幹距) と平均樹高との比を表したものが相対幹距比です。これは占有生育空間の立体的形状を相対的に表わしたもので、同じ平均樹高を有する林分では立木本数密度が小さくなるほど相対幹距が大きくなります。一般的には若齢林では Sr=25 を超える場合がありますが、壮齢林では大体 Sr=20 をやや下回る値で安定しています (竹内 2001)。

樹種により多少異なりますが、一般に Sr=23 以上は疎密度、Sr=19~22 が中庸、Sr=19 未満が高密度林分と考えられます。

$$\text{幹距}(L) \div \text{樹高}(H) \times 100$$

一般に、この式で計算される値が 20 前後の場合に安定した森林といわれています。樹高が 15m の場合は立木と立木の距離が 3m、樹高が 20m の場合は 4m となります。林分の平均樹高が求めれば、その 2 割を目安に立木の間隔を定めれば、適正な密度に誘導することができます (図 4-73)。

市町村森林経営管理事業の場合 **Sr=20 を目標**に密度管理をすることが必要です。



【現場での汎用性が高い“Sr”】

相対幹距比 (Sr) は英国で始まったとされ、日本では旧長野営林局が昭和 52 年作成した「間伐実施要領」の間伐指標として用いられていました。あまり一般化されていませんが、収量比数 (Ry) との相関もあり、樹種に関係なく、基準とする図表なども必要としないなどの利点があります。√ (平方根) が解ける電卓があれば、誰でも求めることができます。

現況の Sr を求めたい場合は、本文中の式で計算します。管理目標の Sr 値を設定した場合は、逆算して ha 当りの成立本数を求めることができます。目標 Sr 値を設定して樹高曲線があれば、数年後何本伐採すればよいか推定することが可能となります。

収量比数 (Ry) は本文で記載したとおり、同種同齢の植物個体群で生育条件が一樣であることが必要で、人工林 (一斉林) における密度管理指標として利用されているもので、混交林などの密度指標には使用できません。

樹高と立木の距離で求まる相対幹距比 (Sr) は、今後の複層林造成など、多様な森林づくりの有効な指標と考えられます。

(4) 形状比

形状比 (height diameter ratio) ※4-4 は、樹高 (H: 単位 m) を胸高直径 (D: 単位 cm) で割った値を百分率で表すものです ($H/D \times 100$)。単木レベルの形状比は約 50~150 と範囲が広がりますが、林分 (平均樹高と平均胸高直径) ではその範囲は狭くなります (白石 2001)。値が小さいと樹高に対して幹が太く物理的に安定した樹形となり、値が大きいと細長く不安定な樹形の木になります。一般に形状比の値が 80 を超えると気象害に対して抵抗力が小さくなるとされています。

風害や冠雪害に対する森林の耐性は、形状比によってある程度判断することができ、一般には、林分の平均形状比が 60 以下の場合には耐性が高く安全、90 を超えると弱く、100 以上ではごく弱く危険であると考えられており、林分形状比が 90 を超えるような林分ではとくに留意が必要です。

冠雪害と形状比との関係は、樹木の大きさによって変動することが認められており、一般に樹高が低い森林では形状比が小さくても被害が発生しやすく、大きくなるに従って比較的大きな形状比でも危険が少なくなります。間伐の必要性や風・雪害に対する **危険度の指標** として有効です。

胸高断面積合計と同様に、長野県内のカラマツ林分の 734 プロット調査データによる林分形状比を調べると、80~90 の範囲の森林が多くなっています (図 4-74)。この結果から、

※4-4 現在の森林科学における形状比は、「height diameter ratio」または「height-dbh ratio」が用いられている。本書では (H/D) または林学検索用語集 (P.88, 1990, (財) 林学会) に記載されている Fr (Form ratio) と表現する。





【形状比】

形状比は、密度管理によって異なり、高密度の林分ほど高くなること（安藤ら，1968）、あるいは台風や雪積などの気象害に対する林分抵抗力を示すもの（石井ら，1982；松田，1988）として知られています。また、現場での測定が簡単であるため、簡便な表現方法として用いられています。

竹内ら（1997）は、ヒノキ若齢人工林における形状比の変化について調査を行い、形状比は生育にともない大きな変化をする（下図）ことなどから、幹形自体の変化を表現しないことを明らかにし、「形状比は、樹高の等しい個体間や林分での比較、また壮齢林のような樹高の高い林木を対照にした場合でないと、幹形の違いを表現できない」としています。

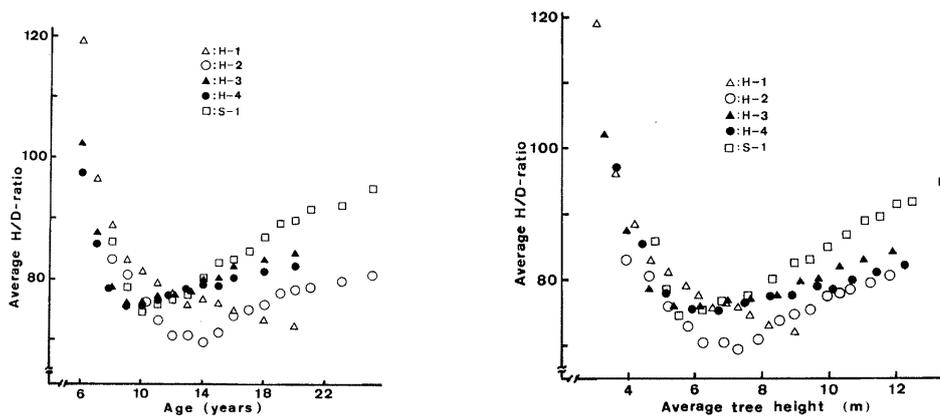


図.平均形状比の林齢による変化（左）と平均樹高と平均形状比の関係（右）（竹内ら,1997）

カラマツ林分の試料数 734 データ（平均林齢 44 年生：11 年生～95 年生）の収量比数と林分形状比の関係は下図のとおりとなり、高密度に移行するに従い、林分形状比は高くなる傾向を示します（松澤 2007）。このことから、林分密度指標として用いられる場合もありますが、林分形状比は、樹冠閉鎖した後の一斉林の壮齢林分でのみ、密度指標の参考として用いることが望ましいと考えられます。

なお、前述のとおり間伐の必要性や風・雪害に対する危険度の指標としては有効です。

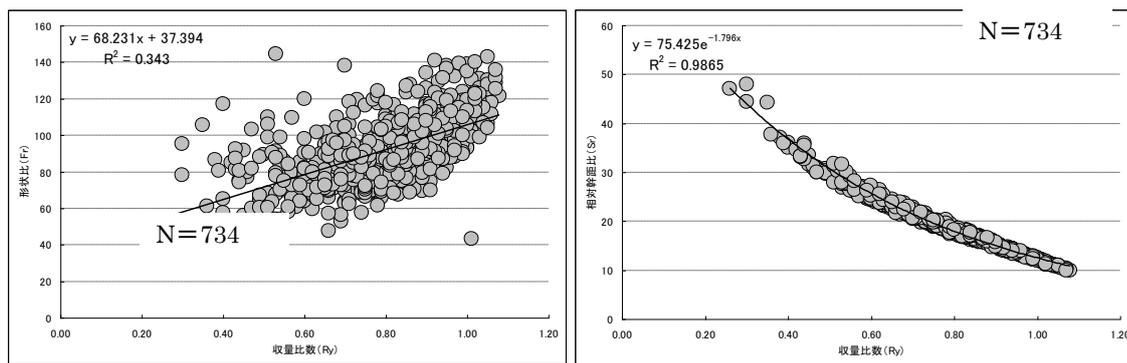


図.カラマツ林分の収量比数 (Ry) と林分形状比の関係 (左) と同データにおける収量比数 (Ry) と相対幹距比 (Sr) の関係

【参考文献】

安藤貴ら（1968）スギ林の保育形式に関する研究.林試研報 209：1-76
石井弘ら（1982）昭和 53 年 1 月異常降雪によって冠雪害をうけたスギ人工林の解析.IV 林分内被害の特徴.島根大学農研報 16：65-72
竹内郁雄ら（1997）ヒノキ若齢人工林における形状比の変化.日本林学会誌 79（3）1997.論文：137-142
松澤義明（2007）森林調査と森林の把握. 島崎洋路監修. 長野県林務部治山担当者研修副読本.



現状の人工カラマツ林では、林分形状比 80～90 の範囲が平均的な値であると考えられます。樹種により林分形状比は多少異なります。カラマツは他の樹種に比べ樹高成長が良いため、多少大きい値になると考えられます。

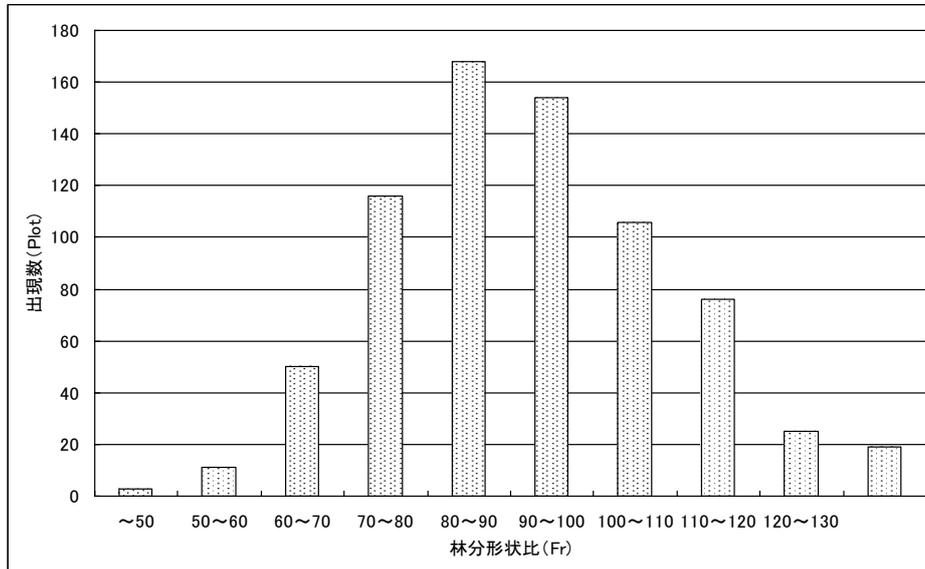


図 4-74 林分形状比 *人工カラマツ林分 734 データ、平均樹高と平均 DBH による林分形状比

(5) その他の密度管理指標

林分密度の指標には、本文中のほか次のような指標があります。

① 立木本数にかかわる指標

1ha 当たりの立木本数の値そのものを用いるのが立木本数密度です。若い人工林で立木の大きさに大きな違いのない混み具合を表現するために多く用いられます。

その他、ライネケの林分密度指数 (SDI)、坂口の本数密度比数 (SDR) や只木の相対密度 (ρ_Y) があります。

② 面積にかかわる指標

樹冠疎密度は面積に係る指標です。樹冠疎密度 (閉鎖度) は樹冠が林地を覆っている割合を示すもので、林地面積に対する樹冠投影面積合計の比で定義されます。割合またはその値によって疎・中・密と区分されますがその分類基準は必ずしも明確ではありません。

③ 材積にかかわる指標

立木度は、当該林分と同齢の標準的な林分の材積に対する該当林分の材積の比で定義されます。

④ 有生育空間にかかわる指標

相対幹距と類似した概念に相対幹距数 (Ra) があります。これは相対幹距で考えた平均樹幹距離の平均胸高直径に対する比で定義されます。



(6) 複数の指標を用いて判断する

森林の混み具合を知るために前記の密度指標を使いますが、ひとつの指標に頼るのではなく、これらの指標値をすべて確認することをお勧めします。

Excelなどの計算ソフトを使用して指標比較表を作成します。表4-18はヒノキ55年生、平均樹高23.7m、成立本数1,000本/haの林分の指標比較表の例です。ここには「胸高断面積：G」、「収量比数：Ry」、「相対幹距比：Sr」などの値とともに「林分形状比：Fr」、「林分材積（表中：V）」、計算上求めることができる「胸高直径（表中：理論D（M）」も併記しています。

この表から、現況の森林を次のとおり把握することができます。

「林分密度はRy、Srとも高密度の値を示し、また、理論上求まる胸高直径よりも現実の胸高直径（表中：現DBH）が低い。したがって、このデータの林分は、林分密度は密で直径成長（肥大成長）がやや劣る。また、形状比が90以上の値を示すことから風・雪害等の気象害の危険性が高くなっている。」

表4-18 指標比較例

区分		値	備考
林齢	当該森林の林齢（年）	55	
樹高	当該森林の平均樹高（m）	23.7	
DBH	当該森林の平均胸高直径（cm）	24.0	
本数	本（ha）	1,000	
V	幹材積（m ³ /ha）	624.9	
HF	林分形状高	12.1	
G	断面積（m ² /ha）	51.8	
DG	断面積平均直径（cm）	25.7	
NRF	最多密度本数（当該樹高）	1606.7	
VRF	最多密度材積（当該樹高）	699.5	
Ry	収量比数	0.89	V ÷ VRF = Ry
理論D(M)	平均胸高直径（cm）	25.2	
理論Fr	林分形状比（H/D）	94.2	
Sr	相対幹距比	13.3	

理論D(M)、理論Frは、計算によって導かれる値



IV-4-2 森林の光環境の把握

複層林や針広混交林に誘導するためには、前生稚樹や後継樹種の生育環境にとっての大きな要因となる森林の光環境を把握することが必要です。

(1) 森林の生育要因

植生生育の基礎的要素は、「太陽エネルギー＝光」、「温度」、「空気」、「水分」です。森林生産の視点からは、「太陽エネルギー＝光」、「土」、「水分」の3要素が重要な要因となります。

「土」、「水分」は、広大な森林帯において人為的土壌改良、灌漑などの操作、制御することは困難といえます。「太陽エネルギー＝光」は、一般に制御が困難であると考えられますが、人工林などの同種、同齢林分では、上層を構成する立木の密度調整を行うことで林内、特に林床の光環境をコントロールすることが可能となってきました。森林内の光環境のコントロールは、上層を構成する樹種以外の後継樹種などの生育に重要な要素といえます。

(2) 光環境の測定

森林内の光環境（light condition）は、一般に「明るさ」で判断できますが、「明るい・暗い」は分かっても、明るさを量や数値で示すのは困難を伴います。

森林における光環境調査の目的は、大きく分けて2つあります。1つは森林の上層を占有している樹木の吸収した光の量と林床植物の受光量を測定すること、2つ目は森林の林床に生育する植物が受けることのできる光の量を測定することです。

森林の光量の測定には、照度計（light intensity）と日射計（solar radiation）、光量子計が用いられます。それぞれの単位は照度：lx、日射量：W/m²、光量子量：μmol /m²/s で表されます。なお、照度は、太陽光の波長域のうち可視光域である400～700nmの中の人間の目が最も効率よく反応する555nm（緑色域）の波長域に合わせたものです。可視光線は、植物の光合成に利用される波長域と一致している部分が多いことから、古くから森林の光環境の指標に使用されてきました。これに対し近年では、感度を植物に合わせて日射・放射計による光合成有効放射測定や光量子センサによる光合成有効光量子密度の測定が行われています。

現在、光環境の測定には次の方法などが使用されています。

- ① 照度計による測定手法
- ② 光量子・日射センサによる光環境測定
- ③ 感光フィルムによる光環境測定
- ④ 全天空写真による光環境測定





第IV章 森林の把握 ～解説～

これらによる測定は、特殊な機材が必要になるため、専門的な調査になります。また、それぞれの手法には測定精度や取り扱い、経済性などの面について利点や課題点があります。目的に応じて測定精度や経済性を考慮して測定手法を選ぶと良いと思います。

参考までに表 4-19 に各測定手法の利点や欠点などを記載します。

表 4-19 森林における光環境測定手法の比較

評価項目	森林の光環境測定手法			
	照度計計測	光量子・日射計計測	感光フィルム計測	全天空写真計測
主な利点	<ul style="list-style-type: none"> 古くからの手法で幅広く用いられている 照度計計測による森林の光環境に関するデータが最も多く整っている 	<ul style="list-style-type: none"> 植物の光合成の光環境の測定には最適である 高精度な計測が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 数多くの地点を計測することが可能 植物の葉の表面に設置でき、個々の葉の受ける光環境を測定できる 安価である 	<ul style="list-style-type: none"> 直達光、散乱光の光量子密度の推定が可能 入射光量の方向別入射光量の推定が可能 林冠構造と林床への入射光量との関係や、植生の地上部の三次元構造(枝葉の空間分布)との関係を解析するのに有効
主な欠点	<ul style="list-style-type: none"> 可視光域のうちでも感度の最大値を550nmに設定しているため、捕らえきれない感度領域がある 測定には裸地と林内の2箇所ですべて同時計測する必要があり、最低でも2人必要である 	<ul style="list-style-type: none"> 光量の時間的変動が大きいことから、連続測定が必要 森林を広い面積に渡って計測する場合、多くのセンサが必要となることから、経済的な問題がある 	<ul style="list-style-type: none"> フィルムの変色度を日射量に換算することから、色が変わりにくい林床の測定精度が低い 	<ul style="list-style-type: none"> 撮影時の露出や天候の影響などが画像解析(2値化)精度に影響を与えることから、最適な画像を得るためには、曇天日に撮影する必要がある
携帯性	○	×	◎	○
取り扱い難易度	△	×	◎	◎
測定精度	○	◎	×	○
汎用性	◎	○	△	◎
経済性	△	×	◎	△



IV-4-3 密度指標からの光環境の推測

照度計測、光量計測等を実施した場合は、その値により林内光環境を想定しますが、林況調査や植生調査によって、おおよその林内光環境を想定することが可能です。

(1) 下層植生指標

一般的に、次の林内相対照度（relative light intensity：RLI、林外・樹冠の照度と林内の照度の割合、以下：相対照度）が必要といわれています（図 4-75）。

- ⊙ **A：下層植生の生存限界の相対照度は 5%以下**
- ⊙ **B：成長量が 0 となるのが 5~8%程度**
- ⊙ **C：ある程度健全に生育するためには 10%以上**

林分内の下層植生を指標として相対照度を推定する研究成果が示されています。

① スギ林

既存のデータでは、岩手、宮城、秋田、山形、福島、岐阜の 6 県でスギ林内に生育する下層植生と実測照度値との関係から、相対照度別に消失する植物種が明らかとなっています（表 4-20）。

② ヒノキ林（温暖帯）

既存のデータでは、温暖帯に位置する 16 県でヒノキ林内に生育する下層植生と実測照度値との関係から、相対照度別に優占する植物種が明らかとなっています（表 4-21）。

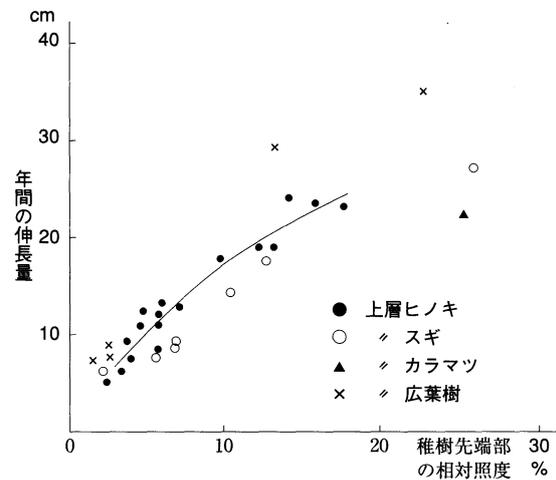


図 4-75 相対照度と稚樹の成長

表 4-20 森林植物が生育できる林内照度の下限（スギ林）

相対照度	5%以下	10%以下	15%以下	20%以下
植生名	ニワトコ	チマキザサ クマイザサ チゴユリ イノデ ミヤマカンスゲ エゾアジサイ ホオノキ ミズナラ ムラサキシキブ ヤマザンショウ ベニイタヤ	チチミザサ	ハギ類

（複層林の造成管理技術の開発：大型プロジェクト研究、林野庁 平成 9 年：一部改変）



表 4-21 森林植物が生育できる林内照度の下限（ヒノキ林）

種名		相対照度		5%未満	5%以上 ~10%未満	10%以上 ~20%未満	20%以上 ~30%未満	30%以上
		5%未満	5%以上 ~10%未満					
草 本	チゴユリ	●	●					
	ノササゲ	●						
	シシガシラ	●	●					
	ベニシダ		●		●			
	ゼンマイ		●		●	●		
	ミカエリソウ		●		●	●	●	
	ササクサ		●		●	●		
	ヘクソカズラ		●		●	●	●	
	オシダ				●	●		
	マツカゼソウ				●	●	●	●
	ススキ				●	●	●	●
	ワラビ				●	●	●	●
	イタドリ				●	●	●	●
	カラムシ				●	●	●	●
	イノコヅチ				●	●	●	●
	タケニグサ				●	●	●	●
	ヒヨドリバナ				●	●	●	●
	ダンドボロギク				●	●	●	●
	ヨモギ				●	●	●	●
	木 本	ヤブツバキ	●					
コアジサイ		●	●		●	●		
ヒサカキ		●	●		●	●		
ヤブコウジ			●		●	●		
イヌツゲ			●		●	●		
アオキ			●		●	●		
フユイチゴ			●		●	●	●	●
コシアブラ			●		●	●		
フジ			●		●	●	●	●
クサギ			●		●	●		
クサイチゴ			●		●	●	●	●
ナツツタ					●	●		
モミジイチゴ					●	●		
サルトリイバラ					●	●	●	●
ウツギ					●	●	●	
ヤブムラサキ					●	●	●	
コアカソ				●	●	●	●	

(複層林の造成管理技術の開発：大型プロジェクト研究、林野庁 平成9年)



(2) 上木密度指標

照度計などで林内照度を測定しなくても、上層木の密度指標から相対照度を推定する研究成果が示されています。

上層木の密度指標 (Ry) を用いて相対照度 (RLI : %) を推定する場合は、次に解説するスギ式-1、ヒノキ式-2、アカマツ式-3、カラマツ式-4 を用いることが長野県内では適すると思われま (後述 : 表 4-27、第IV章 95 ページ)。

スギ : $RLI = -29.238 \times \ln(Ry) + 1.0281 \quad \dots r = 0.941 \dots \text{式-1}$

ヒノキ : $RLI = -3.46 - 54.00 \times \ln(Ry) \quad \dots r = 0.809 \dots \text{式-2}$

アカマツ : $RLI = 6.310 - 45.1796 \times \ln(Ry) \quad \dots r = 0.827 \dots \text{式-3}$

カラマツ : $RLI = 9.4629 - 21.9673 \times \ln(Ry) \quad \dots r = 0.928 \dots \text{式-4}$

① スギ

密度指標である収量比数 (Ry) と相対照度 (RLI) の間には有意な相関があることが示されており、藤森 (1988) と安藤 (1983) による間伐後の関係表があります (表 4-22)。その他、全国 1 都 6 県でスギの上層木密度指標と相対照度 (RLI) の関係について研究成果が示されています。

表 4-22 スギの収量比数と相対照度

相対照度 収量比数	間伐後のスギ収量比数と相対照度 *安藤 1983			相対照度 *藤森 1988
	最低値	最高値	平均	
0.4	35	75	55	50
0.5	25	68	47	41
0.6	17	60	38	33
0.7	12	53	33	25
0.8	7	40	23	16

これによると、収量比数 (Ry) と相対照度 (RLI) の関係は、試料数 258 件、有意水準 1% で相関係数 $r=0.762$ となっています (回帰分析式は公表されていない)。この研究成果は、単一因子による推定式は精度的に不十分とし、複数因子を用いた重回帰分析が行われています。

参考として次の 3 式を示します。

収量比数 (Ry)、樹高 (H : m)、枝下高率 (Rb : %)

$$RLI = -57.40 + 33.01 / Ry + 0.4020 \times H + 0.2662 \times Rb \quad \dots R^2 = 0.744$$



第IV章 森林の把握 ~解説~

収量比数 (Ry)、枝下高率 (Rb : %)

$$RLI = -43.46 + 30.66 / Ry + 0.21112 \times Rb \quad \dots \dots R^2 = 0.733$$

胸高断面積合計 (G : m²/ha)、樹高、樹冠長 (Hk:m)

$$RLI = -G \times Hk / (0.2010 \times H - 0.738) + 100 \quad \dots \dots R^2 = 0.882$$

(安藤・宮本 1971 に準拠)

収量比数 (Ry) と相対照度 (RLI) による関係は、島根林試と兵庫林試 (1995) で次の式があります。この式を回帰分析し、式-1 を導出しました。県内のスギ林には、式-1 を用いることが妥当と考えます。

相対照度 (RLI) と収量比数 (Ry)

$$RLI = -40.76 \times \ln(Ry) - 4.0333 \quad \dots \dots \text{島根林試}$$

$$RLI = 6.298 \times Ry - 1.666 \quad \dots \dots \text{兵庫林試}$$

$$RLI = -29.238 \times \ln(Ry) + 1.0281 \quad \dots \dots r = 0.941 \quad (R^2 = 0.887) \quad \text{式-1}$$

② ヒノキ

スギと同様に密度指標である収量比数 (Ry) と相対照度 (RLI) の関係には有意な相関があることが示されており、上中ほか(1983)による間伐後の関係表があります(表 4-23)。

表 4-23 間伐後のヒノキ収量比数と相対照度

収量比数 \ 相対照度	最低値	最高値	平均
0.4	32	77	55
0.5	19	68	44
0.6	12	59	36
0.7	8	48	27
0.8	6	35	21

* 上中ほか 1983

その他、全国 4 県でヒノキの上層木密度指標と相対照度 (RLI) の関係について研究成果が示されており、これによると、収量比数 (Ry) と相対照度 (RLI) の関係は式-2 が示されています。

相対照度 (RLI) と収量比数 (Ry)

$$RLI = -3.46 - 54.00 \times \ln(Ry) \quad \dots \dots r = 0.8091 \quad \dots \dots \text{式-2}$$



この報告では、相対照度 (RLI) と収量比数 (Ry) の関係を枝下高 8.9m 以下、9.0～11.0m 以下、11.1m 以上で検証し、収量比数 Ry=0.7 でも枝下高が 10m 以上あれば相対照度 20% を確保でき、10m 以下では相対照度 20% を確保できない結果を得ています。これらの結果から枝下高を因子とした重回帰分析で次の式を得ています。

相対照度 (RLI) と収量比数 (Ry)、枝下高 (B : m)

$$RLI = 60.3768 + 0.8316 \times B - 77.0681 \times Ry \cdots r = 0.8216$$

③ アカマツ

長野県内のアカマツの収量比数と相対照度 (RLI) の関係は、片倉 (1993) によって式-3 が示されています。

相対照度 (RLI) と収量比数 (Ry)

$$RLI = 6.310 - 45.1796 \times \ln(Ry) \cdots r = 0.827 \cdots \text{式-3}$$

この成果を含め長野県他全国 4 県のデータを基に次の式が示され、この式による収量比数と相対照度 (RLI) の関係は表 4-24 となります。

相対照度 (RLI) と収量比数 (Ry)

$$RLI = 100e^{-2.1832Ry} \cdots R^2 = 0.3735$$

表 4-24 アカマツ収量比数と相対照度

収量比数 (Ry)	相対照度 (RLI)
0.80	17
0.75	19
0.70	22
0.65	24
0.60	27
0.55	30
0.50	34
0.45	37
0.40	42
0.35	47
0.30	52

④ カラマツ

長野県内のカラマツの収量比数と相対照度 (RLI) の関係は、片倉 (1992) によって次の式が示されています。

相対照度 (RLI) と収量比数 (Ry)

$$RLI = 8.4278 - 25.6678 \times \ln(Ry) \cdots r = 0.8277$$



この成果を含め長野県と北海道のデータを基に式-4 が示され、この式-4 による収量比数と相対照度（RLI）の関係は表 4-25 となります。

相対照度（RLI）と収量比数（Ry）

$$RLI = 9.4629 - 21.9673 \times \ln(Ry) \quad \dots \cdot r = 0.9278 \quad \text{式-4}$$

表 4-25 カラマツ収量比数と相対照度

収量比数（Ry）	相対照度（RLI）	
	長野・北海道	猪瀬ら（1991）
0.80	14	7
0.70	17	10
0.60	21	14
0.50	25	21
0.40	30	34

前述のとおり、収量比数（Ry）と相対幹距比（Sr）には高い相関が認められます。長野県内の林分調査 734 データによる Ry と Sr の関係は以下のとおりとなります。

$$Sr = -25.716 \times \ln(Ry) + 12.361 \quad \dots \cdot r = 0.9938 \quad \text{式-②}$$

$$RLI = 9.4629 - 21.9673 \times \ln(Ry) \quad \text{式-4}$$

$$Ry = \text{Exp}(RLI - 9.4629) / 21.9673 \quad \text{式-③}$$

$$Sr = -25.716 \times \ln(Ry) + 12.361 \quad \text{式-②}$$

この式-②と上記の式-4 を用いて相互関係を示すと表 4-26 となります。

表 4-26 RLI・Ry・Sr の相互関係

相対照度（RLI）	収量比数（Ry）	相対幹距比（Sr）
5	1.23	7.14
8	1.07	10.65
10	0.98	12.99
15	0.78	18.84
20	0.62	24.70
25	0.49	30.55
30	0.39	36.40



(3) 複層林や針広混交林への誘導

スギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツの人工林から複層林や針広混交林を誘導する場合は、収量比数（ R_y ）を密度管理図等から求め、それぞれの式や表 4-27 にあてはめることで、現在の森林の林内相対照度を推計し、下層植生の誘導に必要な 20～25%程度の林内相対照度誘導への間伐等の計画を立てます。

表 4-27 針葉樹人工林主要樹種の収量比数（ R_y ）と林内相対照度（RLI）の関係

収量比数 (R_y)	林内相対照度 (RLI)			
	スギ (式-1)	ヒノキ (式-2)	アカマツ (式-3)	カラマツ (式-4)
1.00	1.0	—	6.3	9.5
0.95	2.5	—	8.6	10.6
0.90	4.1	2.2	11.1	11.8
0.85	5.8	5.3	13.7	13.0
0.80	7.6	8.6	16.4	14.4
0.75	9.4	12.1	19.3	15.8
0.70	11.5	15.8	22.4	17.3
0.65	13.6	19.8	25.8	18.9
0.60	16.0	24.1	29.4	20.7
0.55	18.5	28.8	33.3	22.6

※ 第II章 43 ページ、表 2-6 に適用式を加筆して再掲

IV-4-4 森林の成長予測

調査した森林が、「今後どのように変わっていくか」を推測する必要があります。このとき重要なことは、森林の成長予測です。森林の構造を決定する重要な構成因子は、林冠を構成している樹種の成長で、とくに樹高成長が最も重要となります。

樹高成長を読み取るには、人工林では X 軸が林齢、Y 軸が樹高の「樹高成長曲線」、「地位指数曲線」などがあり、長野県関係のものは表 4-28 の文献に記載されています。これらに記載されている樹高曲線から将来の樹高成長を推定します。

30 年生で、樹高が 16.0m のヒノキ林の場合、10 年後（40 年生）では 19.4m、30 年後（60 年生）では 23.3m と読み取ります（図 4-76）。この曲線から読み取った樹高値をもとに、密度管理図などを用いて本数や密度を求め、森林の推移を推定することができます。

表 4-28 に記載されている樹種の樹高曲線は図 4-77～図 4-81 となります。



表 4-28 樹種別樹高曲線図記載一覧表

樹種	記載文献	式	備考
スギ (表)	「長野県民有林 人工林林分材積表・収穫予想表」 長野県林務部、昭和 59 年	一分子反応式	
スギ (裏)	「長野県民有林 人工林林分材積表・収穫予想表」 長野県林務部、昭和 59 年	一分子反応式	
ヒノキ	「長野県民有林 人工林林分材積表・収穫予想表」 長野県林務部、昭和 59 年	一分子反応式	
アカマツ	「長野県民有林 人工林林分材積表・収穫予想表」 長野県林務部、昭和 59 年	修正指数式	
カラマツ	「長野県民有林 人工カラマツ林・長伐期施業の手引き」 長野県林務部、平成 3 年	ミッチャーリッヒ 曲線式	平成 3 年 改正

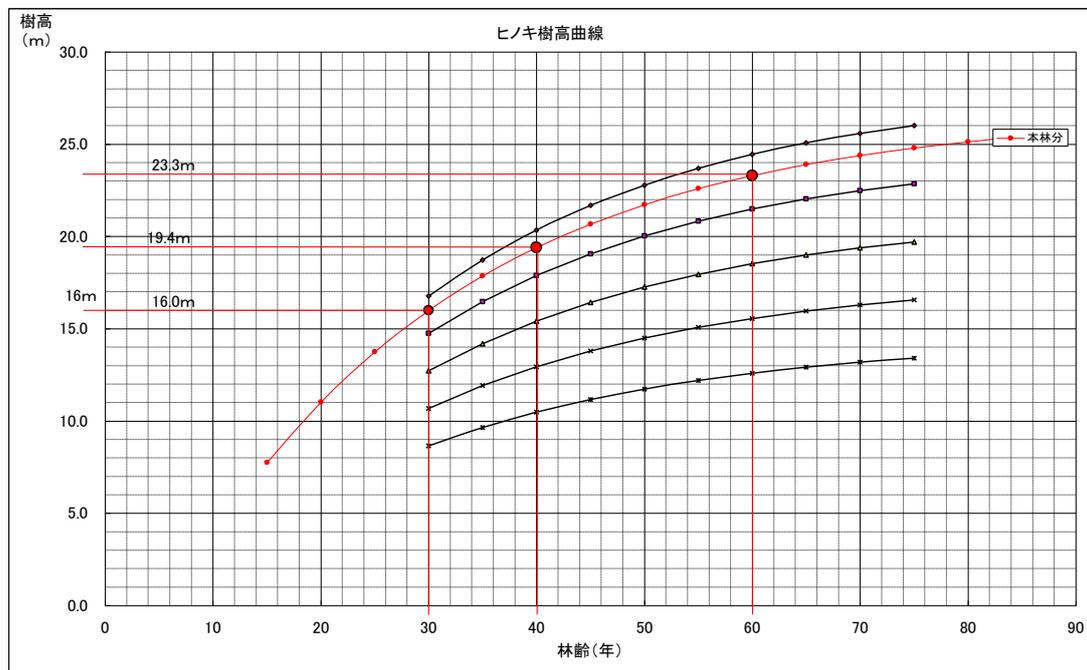


図 4-76 ヒノキ樹高曲線
(「長野県民有林 人工林林分材積表・収穫予想表」一分子反応式を用いて作成)



【収穫表】

密度管理図が主流となっていますが、これは時間的 direction の変化が捉えられないモデルである一方で、時間とは無関係に把握できる利点もあります。

将来の森林を予測するために、収穫表を用いる場合があります。収穫表は、ある樹種に対して、同一の施業を受けた同齢単層林（一斉林）から生産される 1ha 当りの本数、材積、成長量などの諸要素の標準的な値を一定年齢（年齢：5 年）ごとに示した図表です。将来を予測して、施業指針などを作成する場合、収穫表には時間的観念が入り、本数管理の数字も示せるなどの利点があります。今一度、収穫表に目を向けることも必要ではないでしょうか。

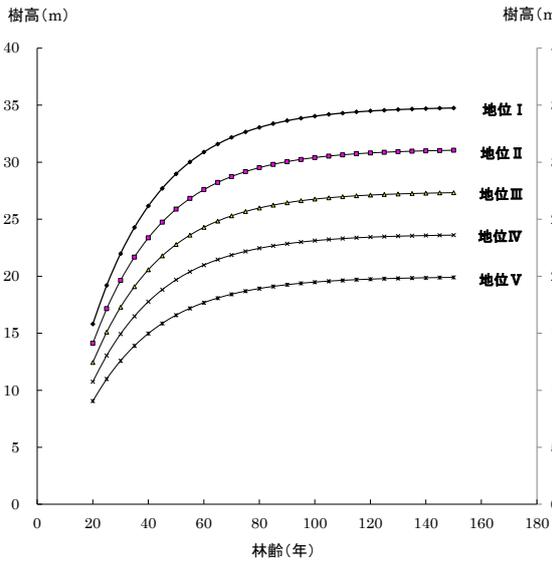


図 4-77 北関東・東山スギ林分樹高曲線

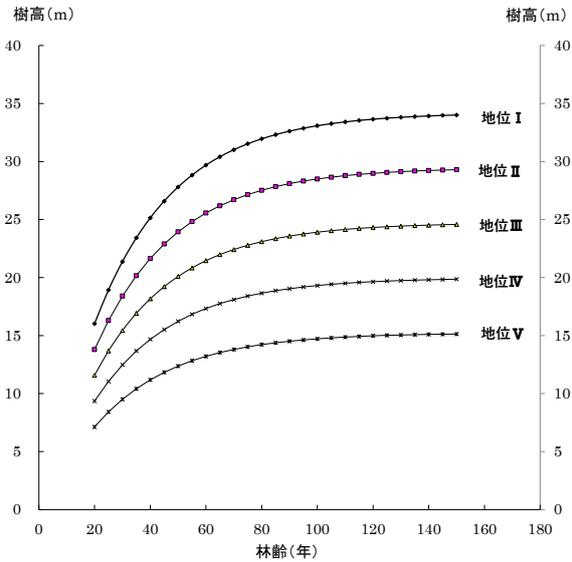


図 4-78 裏東北・北陸スギ林分樹高曲線

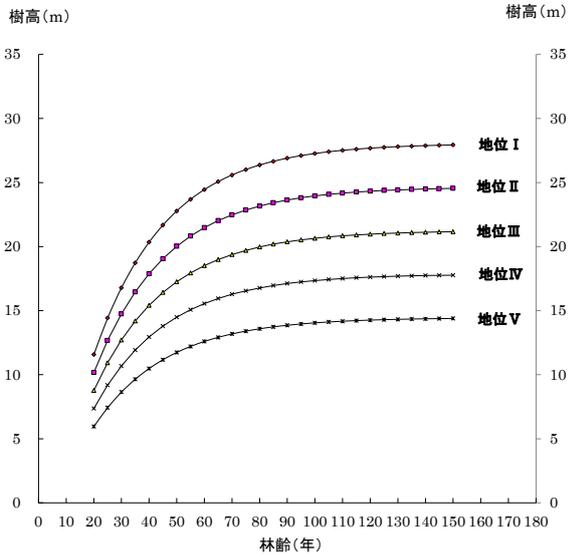


図 4-79 ヒノキ林分樹高曲線

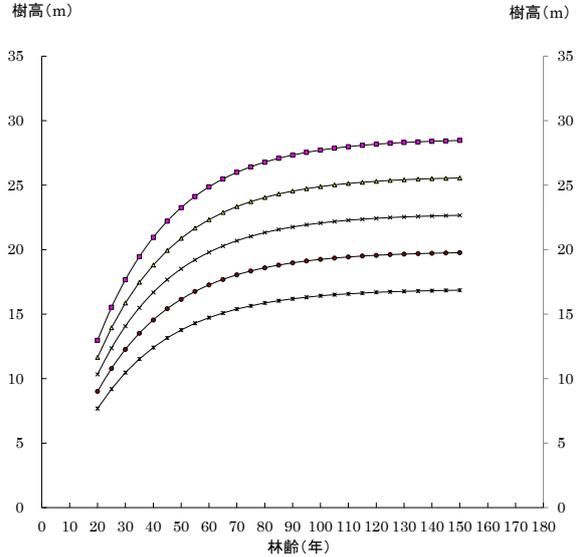


図 4-80 アカマツ林分樹高曲線

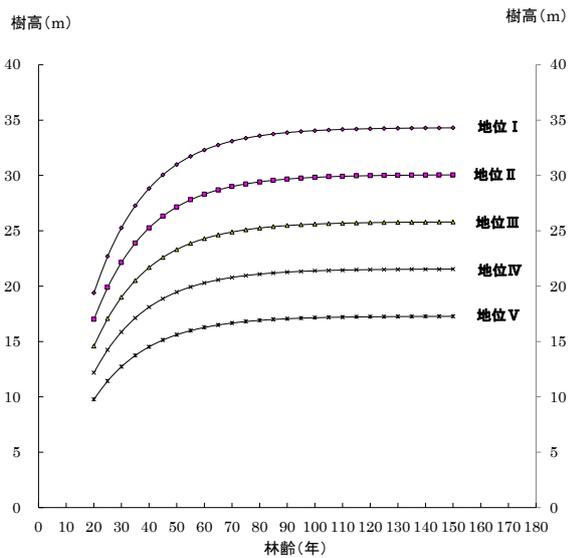


図 4-81 カラマツ林分樹高曲線

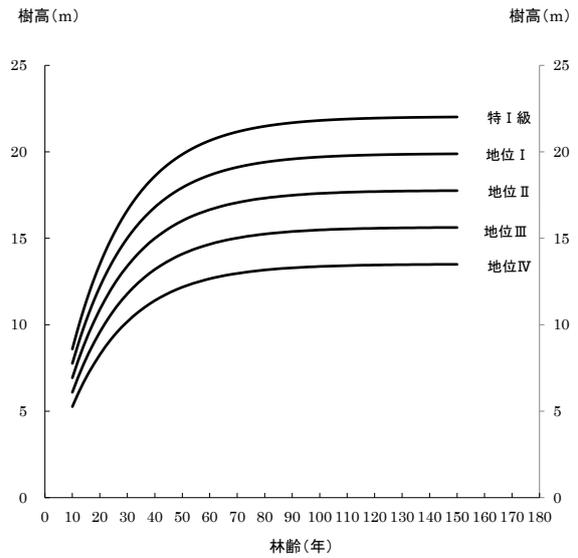


図 4-82 コナラ人工林樹高曲線



第IV章 森林の把握 ~解説~

また、長野県林業総合センター（「しいたけ原木造成の手引き,長野県林務部,平成元年 3月」）では表 4-28 に記載されていないコナラ人工林樹高成長の樹高曲線を作成しています。コナラの地位は特 I ~地位IVまでの 5 分級となっています（図 4-82）。

ヨーロッパトウヒについては、「ドイツの収穫表、中庸仕立て Ertegestafeln Wichtiger Baumareten（1975）、Dr.Schober 作成、Dr.Wiedeman 調整（1936.1942）」と東京大学北海道演習林データ（山本ら 1991：樹幹解析 41 本、樹幹解析値 658 データ）を基に、樹高曲線の検討を行い、最も適合度の高いミッチャーリッヒ曲線から樹高曲線の作成を行いました（図 4-83）。現在、県内のヨーロッパトウヒのデータ数は少ないのですが、このグラフにプロットすると地位上位に分布しました。データが整うまで参考として用いることが可能と判断されます。

その他の樹種については、研究機関などで樹高成長曲線を作成している場合があります。成長が類似していそうな樹種を代用する（サワラはヒノキを代用等）などして予測することもあります。

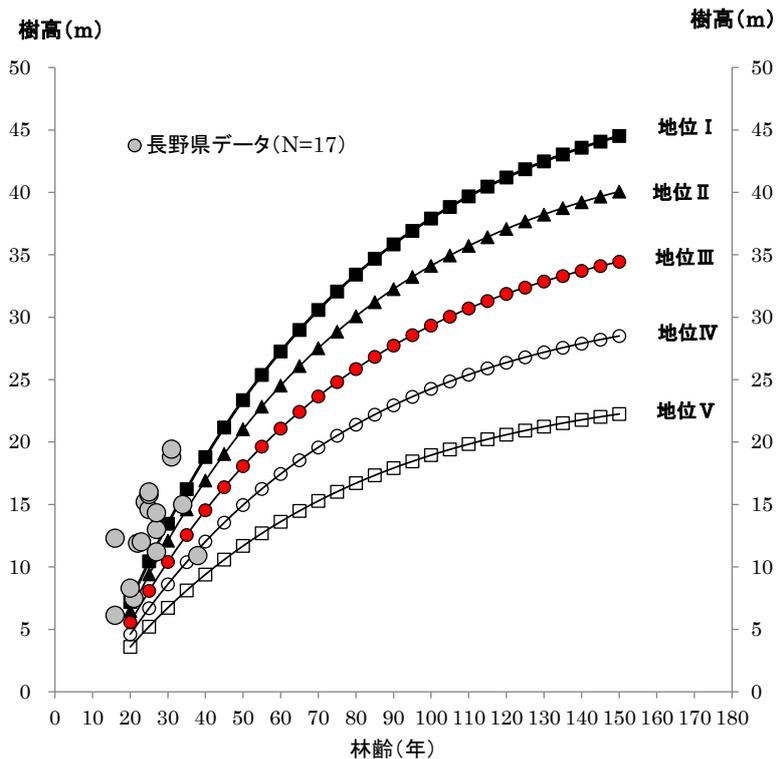


図 4-83 ヨーロッパトウヒ樹高曲線（案）



【樹高曲線】

長野県では、全国に先駆けてカラマツの樹高曲線にミッチャーリッヒ樹高曲線を採用しました。この樹高曲線式を採用するにあたり、「修正指数式及び一分子反応式の両式は一般的に若齢期の成長は低く、高齢期の成長が高く表現されやすい。一方、長野県カラマツに用いられている Mitscherlich 関数式は、個体差サイズの上限値をパラメータとすることで、長期間の成長を表現できるため適合性が高い（長野県 1991）」としています。

国内では、これまでの修正指数式及び一分子反応から、個体サイズの樹高上限値から求まる Mitscherlich 関数式、Richards 関数及び Logistic 関数などにより検討され、樹高曲線の見直しがされています。

長野県のアカマツを対象に樹高曲線の中央曲線（ガイドカーブ）を検討してみました。県内 17 市町のアカマツ 79 個体の伐倒を行い、樹幹解析（円盤数 992 円板）に供して樹高曲線を検討した結果、Mitscherlich 関数式が最も適合し、ガイドカーブは下図となり、既存の修正指数計算式による樹高成長曲線の地位Ⅲの上位に位置し、地位 1 と地位 2 の中間域を表現する曲線となりました（松澤ら 2019）。

長伐期を迎える今後は、より現実的な樹高曲線の検討が必要となります。

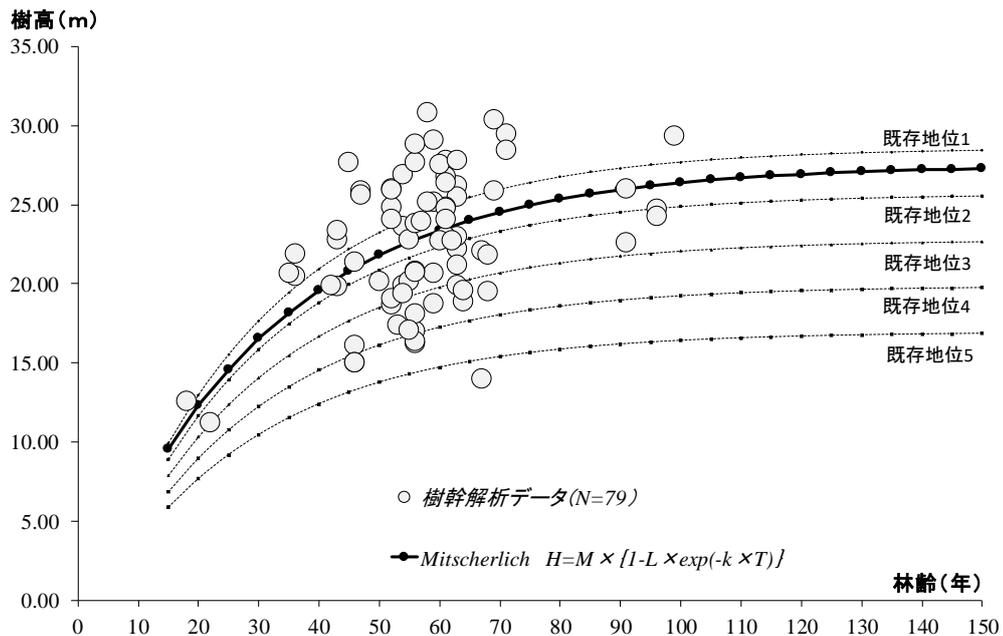


図. 樹幹解析によるガイドカーブ（Mitscherlich 曲線）及び既知樹高成長曲線





IV-4-5 広葉樹林

(1) 広葉樹林の把握

多種多様な広葉樹林分または混交林分を把握することは画一的な手法では困難です。シイタケ原木を生産するために管理されているナラ類や、研究が進んでいるブナなどでは参考となる文献がありますが、不成績造林地や伐採跡地、薪炭放置林に見られる天然生二次林（混生広葉樹林）は、その取り扱いをどのようにするのか**未知の部分が多いため**状況です。

今後、こうした広葉樹林は、市町村森林経営管理事業の防災・減災・生活環境に資する森林となる可能性が高いと思われます。

これまで、県内で広葉樹を調査した結果を紹介します。

(2) 広葉樹林分の調査事例 1

長野県内の保安林事業対象区におけるナラ類を主構成種とした天然生二次林（混生広葉樹林）の 95 林分から得たデータを基にした分析結果は次のとおりです（松澤 2003）。

分析は、樹種、樹高、胸高直径、林齢、枯死本数を抽出し、観測値がある場合は樹冠疎密度（うっ閉率）、林内相対照度を抽出しました。なお、資料は、分析因子ごとに棄却検定（有意水準 5%）を行い、16 データを棄却して最終的には 79 データとなっています。

① 胸高断面積合計（G）

胸高断面積合計（G）は、平均値 $36.09\text{m}^2/\text{ha}$ 、中央値 $34.36\text{m}^2/\text{ha}$ で、おおよそ $35\text{m}^2/\text{ha}$ 前後が林分の中庸密度を示しました。最大は $80\text{m}^2/\text{ha}$ 前後と考えられました。

② 相対幹距比（Sr）と林分形状比（H/D）

Sr は 20 前後が中庸の値を、H/D（Fr）は 80 前後が中庸値と考えられました。

③ 広葉樹林分の密度区分

Sr と H/D（Fr）の関係は、全データで $r=0.5598$ 、枯死木発生林分で $r=0.8073$ の相関を示しました。また、G と Fr の関係は相関が認められず、G と Sr との関係においては全データで $r=0.5443$ の相関を示しました。

そこで、G 値が密度として最も林分を代表するものと仮定し、それぞれの関係を示すと図 4-84 となり、 $G = 35\text{m}^2/\text{ha} \pm 2$ を中庸とした場合、 $Sr=19\sim 22$ 、 $H/D（Fr）=79\sim 84$ が中庸密度と推測されました。

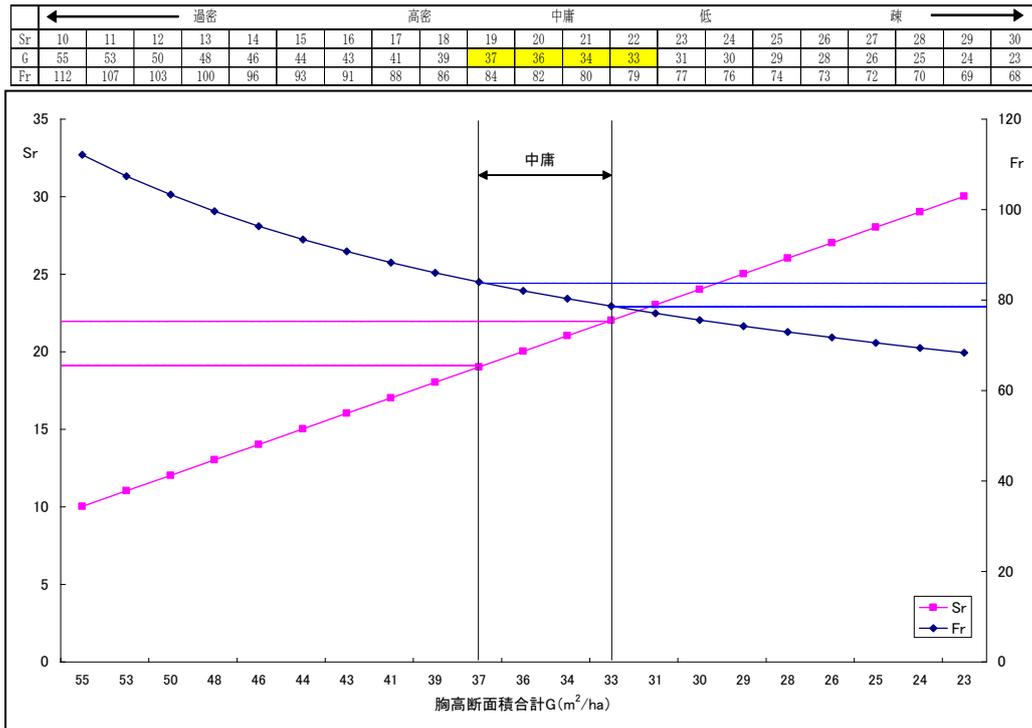


図 4-84 広葉樹林分の密度区分

④ 樹高成長

二次林を対象とした林分では、時系列（樹齢）と成立本数とに次の関係が認められました。

$$\text{AvgH} = 6.1309 \times \text{Ln}(A) - 8.1487 \quad (r=0.8197)$$

ここに、AvgH=平均樹高

A=林齢

先のコナラ樹高曲線（図 4-82）に 79 林分データを当てはめてみると、図 4-85 となりました。樹高曲線よりも低い位置に多くの値がある結果となりました。

⑤ 直径成長

79 データの林齢と胸高直径の関係から式④が求まります（図 4-86）。

$$\text{DBH} = 1.6559 \times A^{0.5392} \quad (r = 0.43756) \dots \dots \dots \text{式④}$$

ここに、A=林齢（年）、DBH=平均胸高直径（cm）

前述の「しいたけ原木造成の手引き,長野県林務部,平成元年 3 月」では、コナラ樹高曲線とともに地位別の胸高直径を示しています（図 4-87）。



第IV章 森林の把握 ~解説~

図 4-86 の 79 データによる胸高直径中央曲線の値は、図 4-87 の地位Ⅱと地位Ⅲの中間に位置しています。

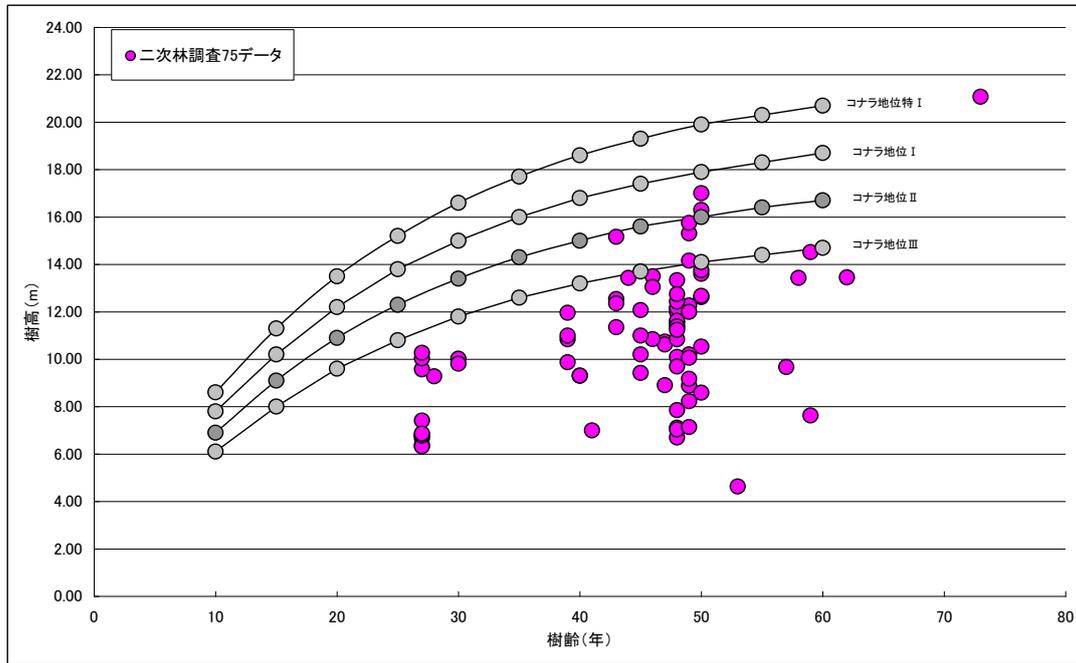


図 4-85 コナラ樹高曲線図 (「しいたけ原木造成の手引き,長野県林務部,平成元年 3 月」前掲図 4-82 に 79 林分データの樹齢と樹高の関係に上式を代入)

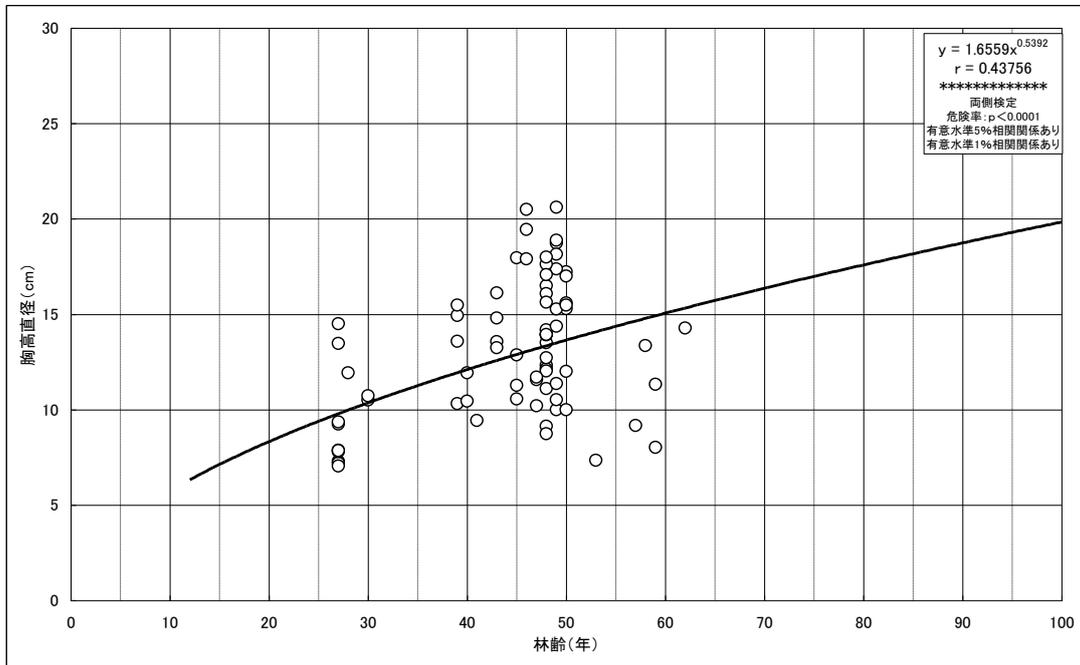


図 4-86 79 データの胸高直径曲線図

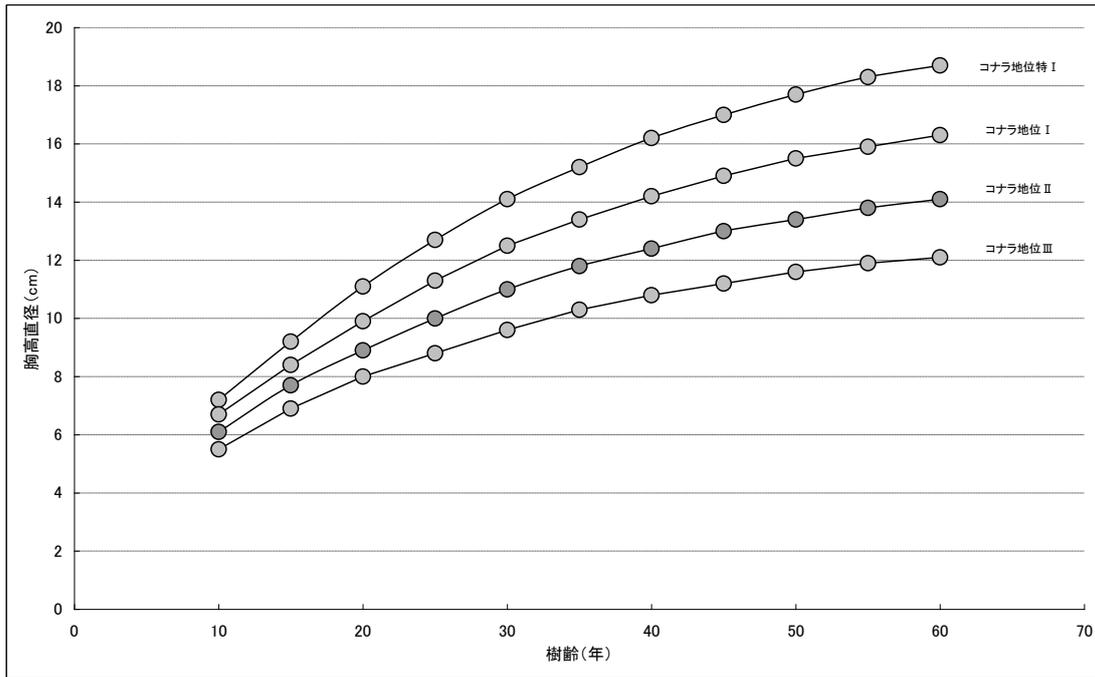


図 4-87 コナラ胸高直径曲線図「しいたけ原木造成の手引き,長野県林務部,平成元年3月」

⑥ 広葉樹施業モデル

以上から、時系列を伴う平均的な林分施業を想定して、図 4-88 のモデルが提案されています。

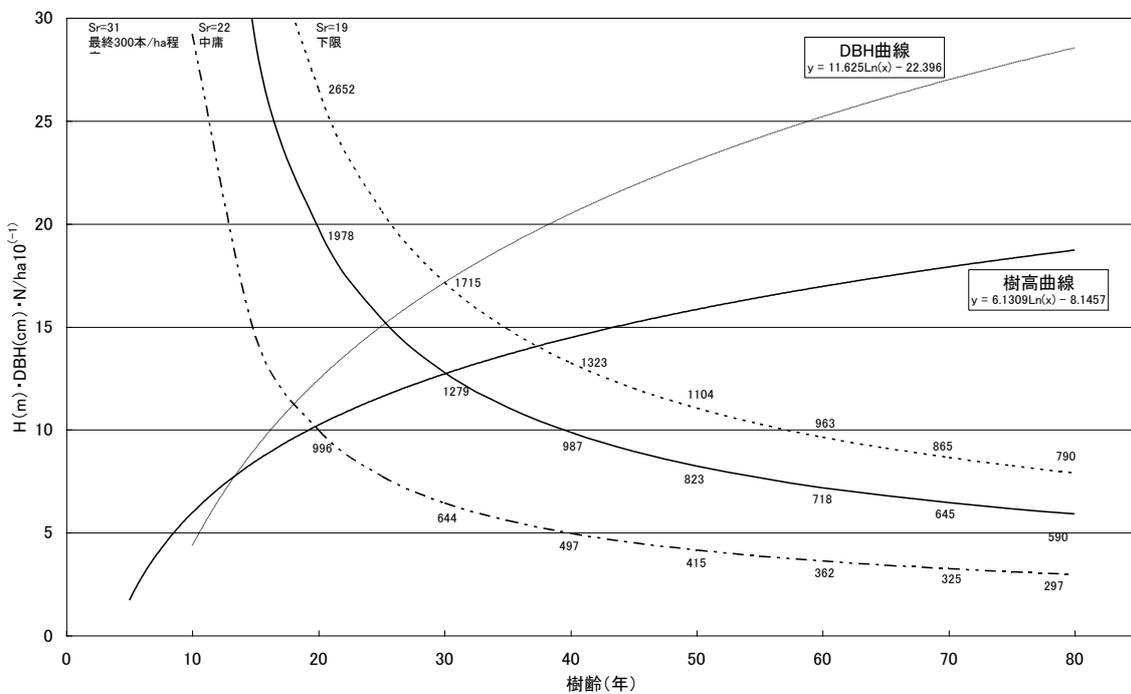


図 4-88 広葉樹施業モデル (案)



(3) 広葉樹調査事例2

2012年に表4-29に示す長野県内の広葉樹林分調査464箇所のデータを収集しました（松澤2012）。

このデータの平均林齢は59年生、単位面積当たりの成立本数は968本/ha、平均樹高14.9m（n=436）、平均胸高直径22.0cm（n=438）で材積243.7m³/ha（n=435）でした。単位面積当たり本数と材積の変動係数はそれぞれ57.5%、50.0%と開き（バラツキ）が大きいものの、林齢、平均樹高及び平均胸高直径の変動係数は20%台と比較的开き（バラツキ）が小さい結果でした（表4-30）。

表4-29 県内広葉樹464データ

データ区分	千曲川上流		伊那谷		木曾川		中部山岳		千曲川下流		計
	佐久	上小	諏訪	上伊那	下伊那	木曾	松本	北安曇	長野	北信	
データ合計	46	52	51	44	39	25	51	52	61	43	464
解析データ計	40	32	51	44	39	25	49	52	61	43	436

※調査データのうち、全木樹高、胸高直径計測値がないものは棄却

※県データ木曾は200m調査区

※毎木調査区規模の北安曇0.60haは0.30×2箇所

表4-30 県内広葉樹464データの基本統計量

統計情報	林齢	成立本数 (本/ha)	平均樹高 (m)	平均胸高直径 (cm)	材積 (m ³ /ha)
平均	59	968	14.9	22.0	243.7
標準誤差	0.6259	25.8263	0.1755	0.2990	5.8422
中央値	59	874.5	14.7	21.5	233
最頻値	60	800	12	20.6	122
標準偏差	13.4830	556.3160	3.6653	6.2568	121.8485
分散	181.7909	309,487.4699	13.4346	39.1473	14,847.0594
最小	20	100	6.4	7.6	31
最大	98	5007	28	57.5	701
標本数	464	464	436	438	435
変動係数(SD:%)	22.8	57.5	24.7	28.4	50.0

※調査区域数464

※平均樹高(N=436)、胸高直径データ(N=438)、材積データ(N=435)の欠測値を除く

このデータの林齢を基準としてグラフ化したものと、成立本数を基準としてグラフ化したものを図4-89～図4-98に掲載します。

広葉樹を調べたときに、そのデータをグラフに重ねてもらえれば、県内の過去データと林分と比較することができます。

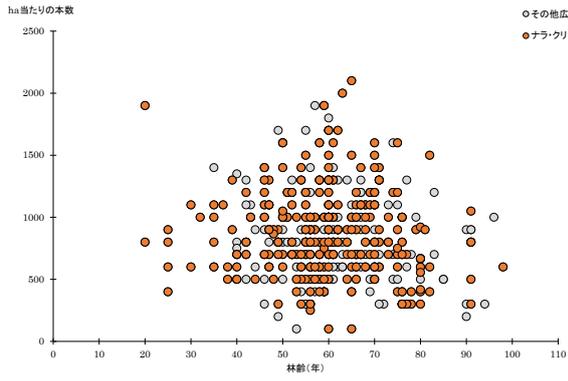


図 4-89 林齢と本数 (本/ha)

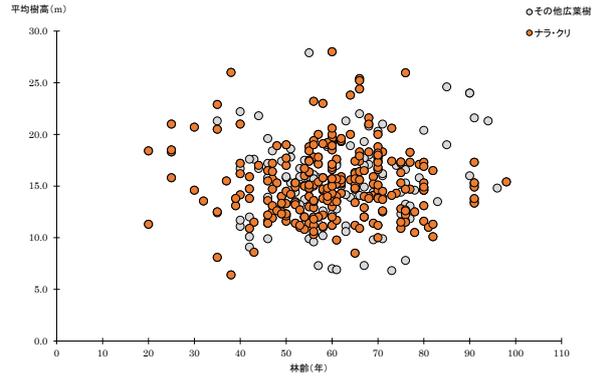


図 4-90 林齢と平均樹高

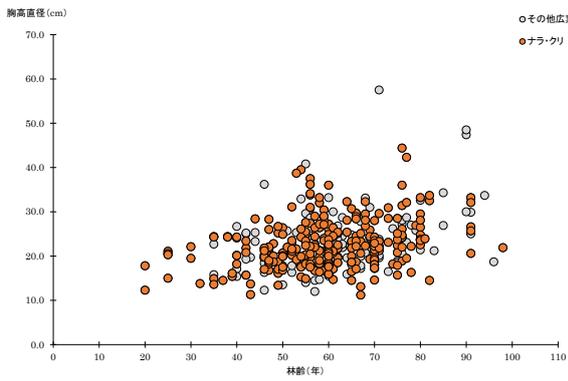


図 4-91 林齢と平均胸高直径

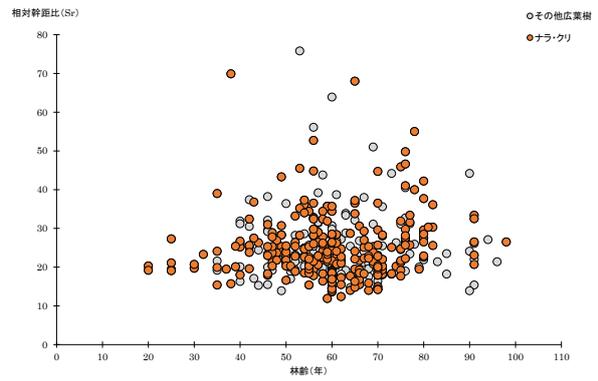


図 4-92 林齢と相対幹距比 (Sr)

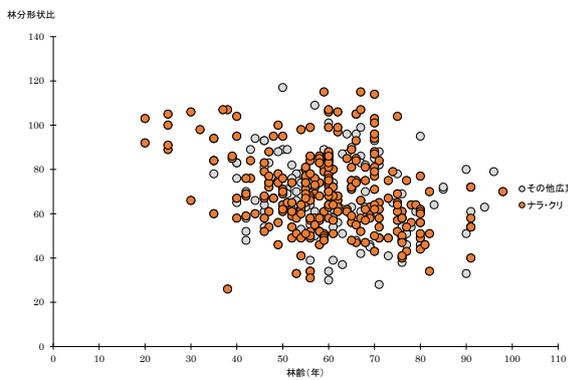


図 4-93 林齢と林分形状比

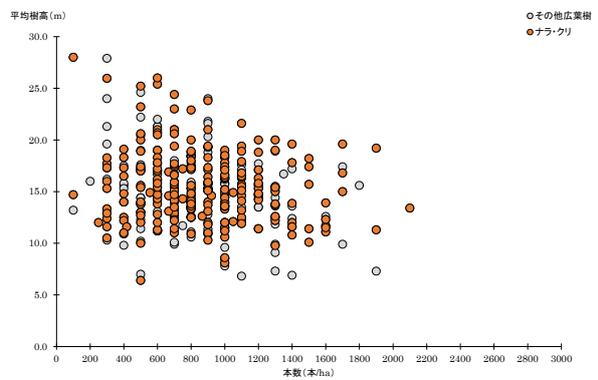


図 4-94 本数 (本/ha) と平均樹高

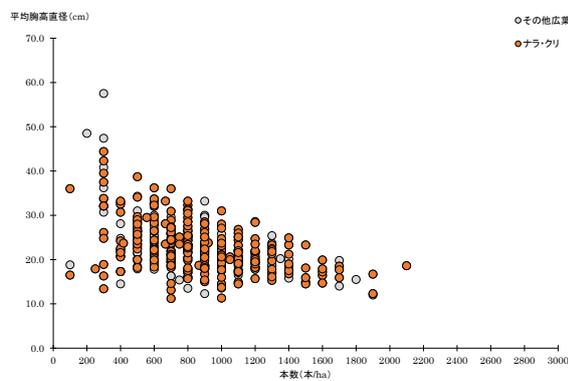


図 4-95 本数 (本/ha) と平均胸高直径

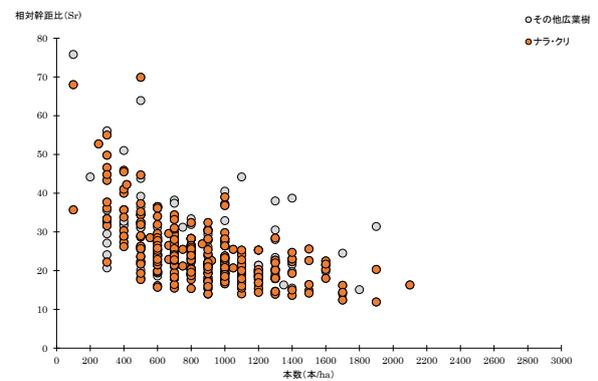


図 4-96 本数 (本/ha) と相対幹距比 (Sr)

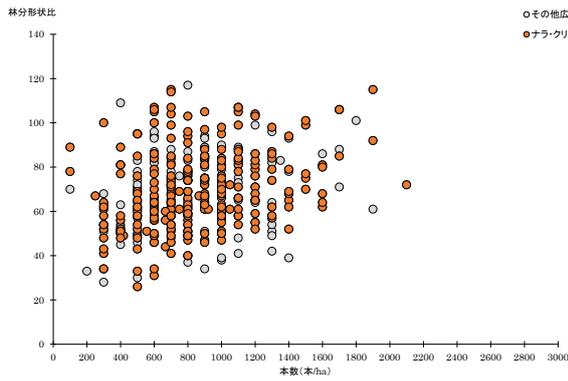


図 4-97 本数 (本/ha) と平均胸高直径

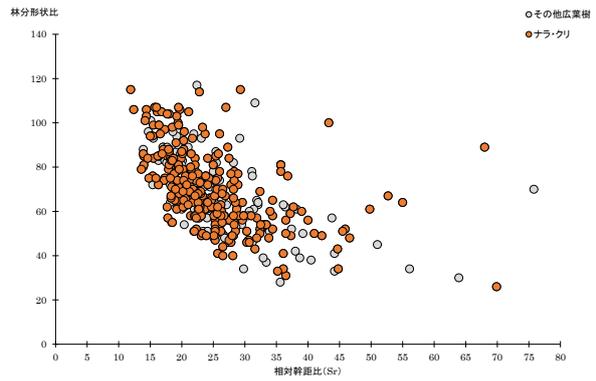


図 4-98 相對幹距比 (Sr) と形状比

(4) 広葉樹林内の光環境

広葉樹の林分構造の指標としての林内相対照度 (RLI) について、長野県内の広葉樹調査データによる分析を行いました (松澤 2007)。分析に供したデータは、林分調査と計測時間 3 分以上の積算照度計測を実施した 50 データです (表 4-31)。

林分構成データである成立本数、平均樹高、平均直径、幹距と林内相対照度 (RLI) の関係、密度指標である胸高断面積合計、相對幹距比、林分形状比と林内相対照度 (RLI) の関係を検討しましたが、規則性または有意な関係は認められませんでした (図 4-99)。

通常、密度が疎に移行するに従い空隙が生じ RLI が上昇すると想定されますが、密度指標である胸高断面積合計、相對幹距比、および林分形状比において、疎に移行するに従い RLI が上昇する傾向は示していません。このことから、照度計を用いた広葉樹の RLI の結果を密度指標として用いることは、適当でないと考えられます。

森林の特徴は、日射を吸収・散乱する葉群が垂直的に分布していることにあります。森林の複雑な葉群構成によって、日射は吸収・多重反射され、樹冠から林床に向かうにつれて急激に減衰します。「林内での全天日射束の減衰は Lambert-Beer 式でよく近似する (鈴木 2003)」とされます。

$$I_F = I_0 \times \exp(-kF)$$

ここで、

I_F と I_0 : それぞれ森林の最上面と葉面積深さ F での日射束 (w/m^2)

k : 減衰係数 (消散係数)

ここで、減衰係数 (消散係数) は、葉群の傾斜角・方向角についての葉面積分布関数と太陽高度によって複雑に変化しますが、日射の散乱成分のみを対象として検討すると、前述の森林の物理的な形態や日射の入射角などは無関係になります。



表 4-31 広葉樹林分構造と林内相対照度

No	箇所	Pno	主構成種	林齢	林分構成								相対照度 (RLI)	Grubbs-Smirnov 棄却検定 (有意1%) RLI	
					本/ha	枯本数 (本/ha)	株立率 (%)	幹距 (m)	平均樹高 (m)	平均直径 (cm)	断面積合計 (m ² /ha)	林分形状比 (Fr)			相対幹距比 (Sr)
1	薄川	2	ササSp・クマシテ	28	3,772	0	33	1.63	9.28	11.92	51.43	77.85	17.54	1.6	
2		6	ミズナラ	47	3,583	0	74	1.67	10.74	10.20	31.13	105.32	15.55	3.2	
3		7	ミズナラ	48	2,941	105	93	1.84	12.11	12.32	38.38	98.26	15.23	18.6	
4		8	シラカンバ	48	1,252	104	33	2.83	12.00	16.50	32.49	72.73	23.55	1.0	
5		23	ミズナラ	47	4,085	110	62	1.56	10.62	11.57	45.15	91.82	14.73	4.0	
6		25	ミズナラ	48	2,412	0	17	2.04	11.54	16.08	62.76	71.76	17.64	5.2	
7		26	ササSP	43	1,631	0	27	2.48	12.53	14.80	33.00	84.68	19.75	4.1	
8		27	ミズナラ	43	1,652	0	61	2.39	15.17	16.11	39.86	94.14	15.76	2.7	
9		28	ミズナラ	43	2,543	0	72	1.98	12.36	13.56	41.57	91.15	16.04	1.5	
10		35	ミズナラ	48	1,333	0	82	2.74	11.32	13.50	62.74	83.84	13.65	5.7	
11		36	ミズナラ	48	1,682	112	64	2.44	10.84	13.92	49.90	77.87	17.42	4.6	
12		37	ミズナラ	48	2,719	0	54	1.92	7.11	9.13	34.85	77.86	19.89	5.3	
13		38	ササSP	48	2,963	0	19	1.84	7.85	13.93	60.05	56.38	23.40	0.4	
14		39	シラカンバ	48	4,024	0	12	1.57	6.70	8.73	27.28	76.74	23.52	0.5	
15		40	クリ・ササS	48	3,713	0	17	1.64	7.03	11.10	43.17	63.35	23.33	0.5	
16		41	カエデ Sp	48	1,442	0	29	2.63	12.18	14.18	33.87	85.89	19.63	1.4	
17		42	ミズナラ・シラカンバ	48	1,648	0	43	2.46	11.62	12.14	28.01	95.69	18.51	1.9	
18		43	シラカンバ	48	1,393	0	28	2.68	11.39	12.72	29.28	89.52	19.99	0.6	
19	山辺北	1	サワグミ	50	1,000		40	3.16	16.30	15.60	23.61	104.49	19.40	1.8	
20		2	ニセアカシア	50	1,900			2.29	10.53	12.00	26.54	87.75	21.79	1.2	
21		3	シテ	50	1,300			2.77	12.62	17.23	37.10	73.24	21.98	0.8	
22		4	カエデ Sp	41	2,100		19	2.18	7.00	9.43	16.41	74.23	31.17	6.2	
23		5	サワグミ・カエデ Sp	50	1,700			2.43	13.60	15.29	49.40	88.95	17.83	1.4	
24	悪沢	1	ツグ・ミズナラ	49	1,800			2.36	8.88	18.72	60.65	47.44	26.54	1.6	
25		2	ツグ・ミズナラ	49	1,000			3.16	12.27	20.60	37.14	59.56	25.77	1.4	
26		3	ツグ・ミズナラ	49	1,700			2.43	12.00	18.88	55.11	63.56	20.21	3.0	
27		4	ツグ・シラカンバ	49	1,600			2.50	15.31	17.38	43.65	88.09	16.33	1.1	
28		5	ツグ・ブナ	49	1,400			2.67	10.20	18.14	55.53	56.23	26.20	2.1	
29		6	ミズナラ・リョウブ	49	1,400			2.67	7.14	10.00	12.53	71.40	37.43	2.3	
30		7	シラカンバ	49	2,200			2.13	8.23	11.36	24.16	72.45	25.91	3.6	
31		8	ツグ・ミズナラ	49	1,800			2.36	9.17	15.28	39.23	60.01	25.70	1.6	
32	黒川	1	コナラ	50	833			3.46	16.00	20.70	32.12	77.29	21.65	69.3	**
33		2	クリ	50	917			3.30	18.45	20.27	32.67	91.02	17.90	73.3	**
34	佐久町古屋	1	クリ	62	2,200	500	77	2.13	13.45	14.27	24.10	94.25	15.85	1.8	
35		2	ウリノキ・ミズナラ	48	2,900	400	72	1.86	11.24	12.03	44.02	93.43	16.52	4.4	
36		3	コナラ・ミズナラ	58	2,300	400	65	2.09	13.43	13.35	40.44	100.60	15.53	16.6	
37		4	アカマツ・ミズナラ	56	3,000	250	45	1.83	11.15	10.25	31.46	108.78	16.37	22.8	
38		5	ミズナラ	57	3,000		73	1.83	9.67	9.17	25.93	105.45	18.88	13.8	
39		6	ミズナラ・クリ	59	2,800	300	48	1.89	14.52	11.32	38.64	128.27	13.02	11.1	
40		7	ミズナラ	59	3,650	150	62	1.66	7.63	8.03	28.09	95.02	21.69	6.6	
41		8	イヌブナ・リョウブ	59	3,000	100	40	1.83	9.47	9.73	31.80	97.33	19.28	27.6	
42		9	ミズナラ・クリ	49	1,550		55	2.54	10.06	10.52	20.09	95.63	25.25	4.6	
43		10	ミズナラ・エンコウ	48	1,600	100	88	2.5	12.75	15.63	37.91	81.57	19.61	15.6	
44		11	ミズナラ	45	2,200	400	86	2.13	11.00	12.86	34.36	85.54	19.38	4.1	
45	本城	TP1	コナラ・ミズナラ・クマシテ	43	1100			3.0	16.60	17.00	24.96	97.65	18.16	3.5	
46		TP4	コナラ	48	700			3.8	12.60	15.00	12.36	84.00	30.00	6.4	
47		OP1	コナラ・クリ・ヤマナシ	54	350			5.4	17.80	16.60	19.44	107.23	30.03	24.8	
48		OP2	コナラ・クリ	54	550			4.3	17.80	22.50	21.86	79.11	23.96	3.6	
49		OP3	コナラ	46	200			7.1	18.00	27.50	11.89	65.45	39.28	10.4	
50		OP4	ウミズナラ	46	300			5.8	12.20	22.60	12.05	53.98	47.32	12.4	

**No32,33 : Grubbs-Smirnov 棄却検定 : 有意 1%による棄却

森林内の光環境を正確に推定する方法として、Lambert-Beer 則に基づく Monsi-Saeki モデル (1953) があります。Monsi-Saeki モデルは植物体表面積指数 PAI を林冠における日射透過率 (I/I_0) の指数関数として表現したものです。

$$PAI = \ln(I/I_0) / (-k)$$

ここで、PAI : 植物体表面積指数

(I/I_0) : 日射透過率

k : 減衰係数 (消散係数)

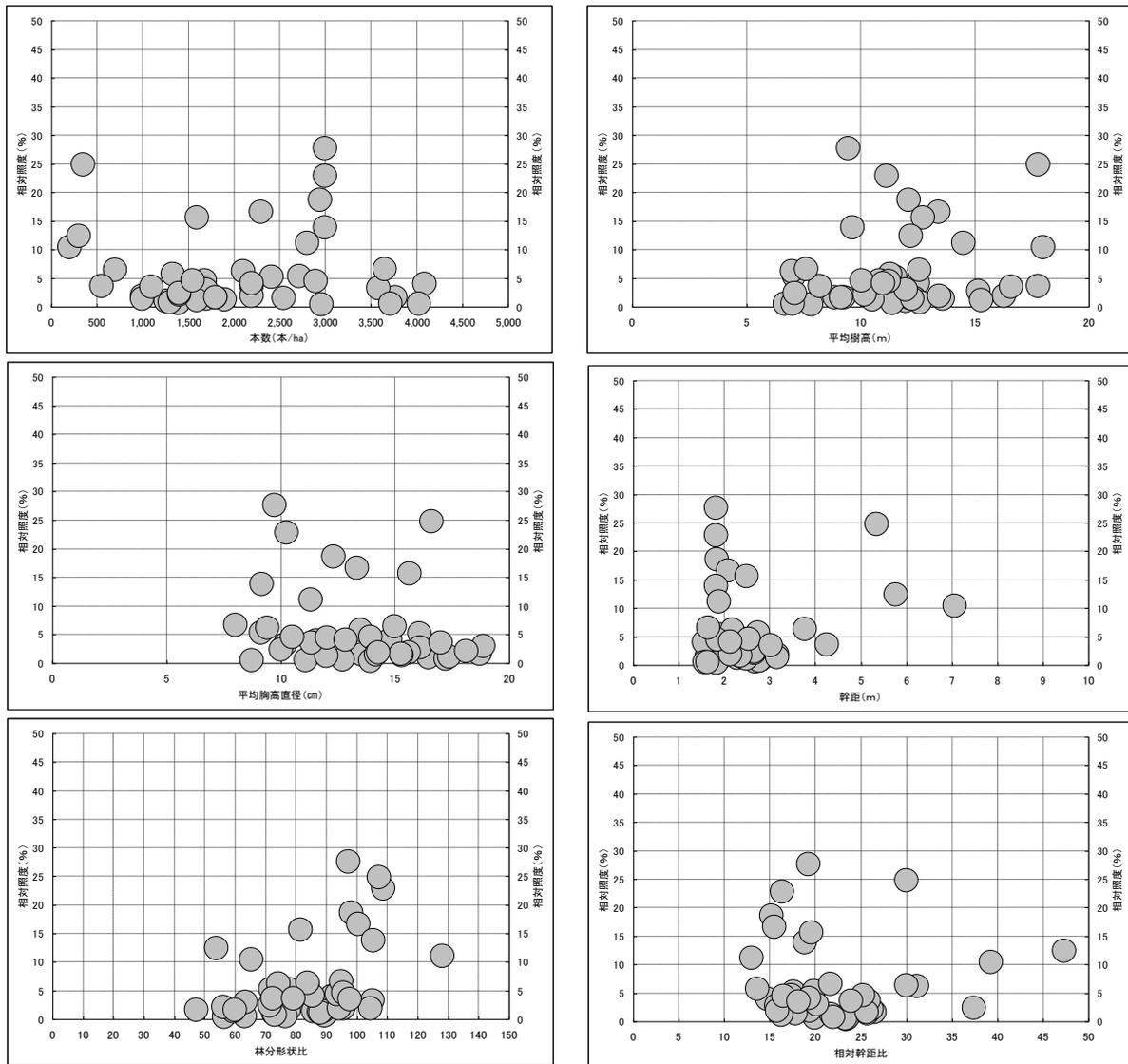


図 4-99 成立本数、平均樹高、平均直径、幹距、胸高断面積合計、林分形状比、相対幹距比と林内相対照度 (RLI) の関係

以上の 2 つのモデルの実用には、「森林内外における精度のよい日射計による計測が必要であり、また PAI の実測は困難である (石井 2007)」とされます。森林内の光環境を正確に推定することは極めて難しく、さらに、広葉樹の場合は人工針葉樹林(一斉林)よりも、樹種別、階層別の葉群の構造が複雑であるため、既存の密度指標等による林内光環境の推定は困難であると考えられます。

林内の全天日射束の減衰は、指数関数的に減衰します。表 4-31 のデータにより成立本数 (本/ha) および胸高断面積合計 (m²/ha) と、相対照度との関係について指数関数 (Y: 切片 100 とする) で表すと図 4-100 が得られました。

成立本数(本/ha)と相対照度(%)の関係は次の式で表現されます(決定係数 R²=0.980)。この式を用いた場合、500 本/ha で RLI=49.7%、1000 本/ha で RLI=24.7%、1500 本/ha で RLI=12.2%と計算されます。



この式は、単位面積当たりの成立本数と相対照度の関係のおおよその目安となります。樹種別、樹冠および階層構造（葉群の鉛直分布）によって地表面に達する照度（日射束）は異なります。

$$RLI = 100 \times \exp(-0.0041X)$$

ここで

RLI：林内相対照度（％）

X：成立本数（本/ha）

森林の更新に大きく影響する光（放射）環境は、今後の複層林や針広混交林誘導、または広葉樹への誘導・造成において重要な要因であり、新たな研究や多くのデータ収集が必要です。

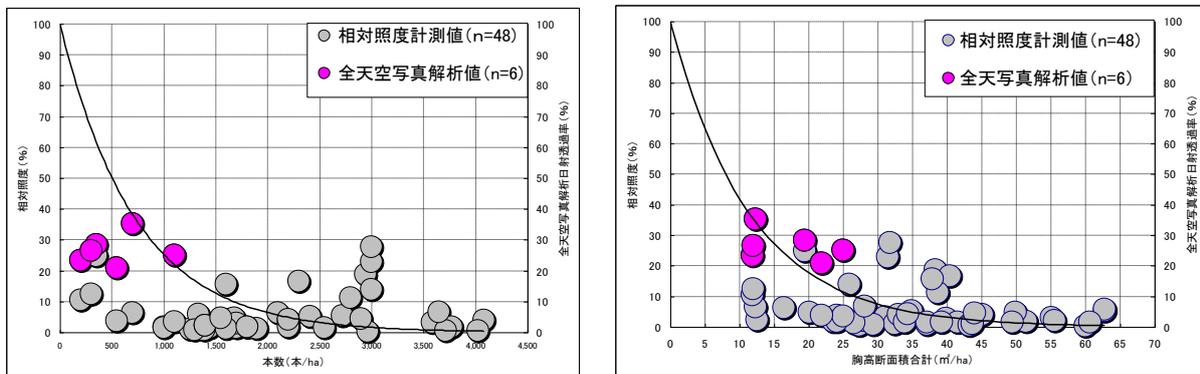


図 4-100 単位面積当たりの成立本数（左）、胸高断面積合計（右）と相対照度（％）の関係
指数関数的に林内照度が減衰すると仮定した場合（松澤,2007）
全天空写真解析による日射透過率 6 データを含めた（表 4-31, No45～50 に対応）。未立木地では地表面に達する照度（日射束）は 1 であることから、切片（Y）100 とする

(5) 荒廃広葉樹林分の把握

とくに荒廃が著しいと判断される広葉樹林においては、立地環境条件と立木状況との関係を調査し、そのデータから客観的かつ総合的に対象林分の状況を把握する必要があります。

林地環境と立木との関係を客観的かつ総合的に表す方法としては、対象林分内に数本の縦断測線（帯線）を設け、谷から尾根までの現状を調査します（前述：第IV章 54 ページ）。この方法は対象林分を良く表現でき、林分構造を立体的に把握できます（図 4-101）。

荒廃森林では倒木が発生している場合が多くみられます。このような林分においては生育している樹木だけではなく、倒れている樹木を計測することが荒廃原因を把握する手掛りとなります。



第IV章 森林の把握 ～解説～

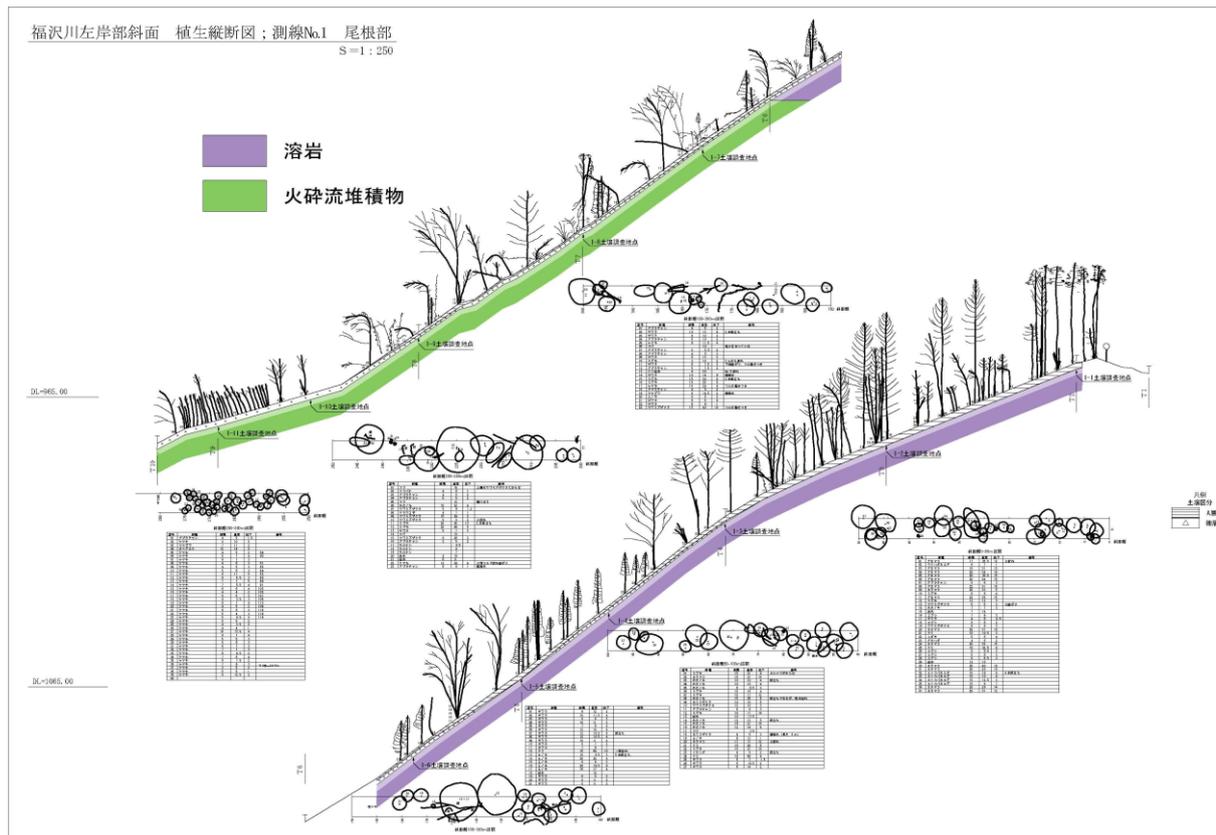


図 4-101 帯線調査法を用いた荒廃広葉樹林分の調査事例（植生縦断図と立地環境）
諏訪地方事務所,2005



【広葉樹】

広葉樹林分の調査は大変です。計測する本数が多く、樹幹の偏倚などで樹高や樹冠の広がりを計測するにはとても時間が掛かります。また、「この木何の木?」、「広葉樹の梢はどこ?」、「枝下高はどこ?」のように、実際に計測しても解らなくなる場合が多々あります。

広葉樹林分は実際の調査段階で労力も掛り、解らないことが沢山あります。定量的な指標があまりない広葉樹林の把握はやはり大変です。

人工林の不成績造林地や放置された薪炭林など、市町村森林経営管理事業で、広葉樹林を管理しなくてはならない場合が想定され、施業を実施することが考えられます。広葉樹施業を行うためにも、過去のデータや近年のデータを数多く収集することが必要です。

さらに、針葉樹人工林内に随伴して生育している広葉樹は「トレーナー：trainer」と呼ばれています。随伴種は、植林された目的樹種の教育係として補完しているということになります。林冠を構成している目的樹種だけに目が行きがちですが、針葉樹林のなかに生育している広葉樹にも目を向ける必要があります。

「針広混交林への誘導」という目標に向けて、広葉樹のことを、もっともっと知る必要があります。



IV-4-6 竹林

(1) 竹とは

大型の竹類（本書では植物表記の“タケ”は用いず、全て「竹」と表記）は、里山地域を中心に分布しています。日本の山野に生育する大型の竹は、主にイネ科タケ亜科マダケ属のモウソウチク（*Phyllostachys pubescens*）とマダケ（*Phyllostachys bambusoides*）とされていますが、県内には主にモウソウチク（写真 4-20）とハチク（*Phyllostachys nigra*：写真 4-21）が生育しています。



写真 4-20

モウソウチク（孟宗竹）

直径 18cm、高さ 22m になる大型種。

日本の自生種ではなく、江戸時代に中国から導入されたという記録がある。節には環が 1 つあり、節間が比較的短く、材質部は厚い。材質は、弾力性に欠け、建築や農漁業用資材として利用されているが、かごなどの編組には向かない。タケノコは春一番に発生し、春の味覚の王者と言われている。

林野庁タケのはなし <http://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/take/>



写真 4-21

ハチク（淡竹）

直径 3～10cm、高さ 15m 程の大型種。

耐寒性があるため、比較的寒い地域にも生育する。

節には環が 2 つあり、細く割りやすいという材質から、茶筌などの茶道用具に利用されている。

タケノコはおいしいと言われるが、市場に出回ることは少ない。

林野庁タケのはなし <http://www.rinya.maff.go.jp/j/tokuyou/take/>

竹類は、日本人にとってもなじみの深い植物で、観賞用として人家に植えられたり、建築材やタケノコの生産のために広く栽培され、利用されてきました。また、竹林は里山を構成する景観要素としても重要なものです。竹類は、数十年ごとに一斉に開花・枯死するという特異な生態をもちますが、現在のところ、種子による稗の天然更新は報告されていません。

しかしながら、竹類は地下茎を伸ばしタケノコによって盛んに群落を拡大します（図 4-102）。モウソウチク群落、マダケ群落の物質収支について調べた研究では、いずれも総生産量の約 30%、葉の余剰生産量の約 50%の光合成産物が根系に投資されている報告があります。竹類は、根系の維持・更新に大きなコストをかけて群落を拡大し、タケノコによるすみやかに確実な稗の更新を可能にしているのではないかと考えられています。これらが自然に拡大するという事態は、おそらく誰も予想していなかったと思われる。特にモ





第IV章 森林の把握 ～解説～

ウソウチクの拡大傾向が著しいと言われている。

タケノコは地下の貯蔵養分を使って伸長するので、暗い林床でも一人前のサイズまで成長することができます。竹は、春から夏の間に樹木の背丈を追い越し、樹木よりも高いポジションに枝葉を展開して空間を占有するため、竹の被陰下になった樹木は成長に十分な光を得ることができず、次第に衰退して行くと考えられています。自然に拡大した竹林内には立

ち枯れ状態の樹木がしばしば観察できます。逆に、竹林よりも群落高の高いヒノキ林内などでは、竹が順調に生育できず枯死している状況が観察されています。

竹は元々植栽されたものであること、社会状況の変化に伴って放置されるようになったこと、生態的競争の場では、周囲の樹木などよりも有利な特性を持っていることなど社会的（人為的）要因と生態的（自然的）要因の両方が組み合わさって拡大に至っています（鳥居ら 2010）。

近年、西日本各地を中心として竹林が拡大しており、防災学上、あるいは生態学上の大きな問題となっています。竹林の分布拡大は著しいものがあります。集約的な施業がなされている竹林も残存するものの、大部分は管理放棄された竹林と近年自然状態で拡大してきたと考えられる竹林で構成されています。現在の社会的背景を考慮すると、集約的に維持・管理された竹林の面積は今後ますます減少すると考えられますが、その一方で在来植生の竹林化は、林分の構造と組成の単純化を招き、地域の生物多様性に大きな影響を及ぼすことも懸念されています。

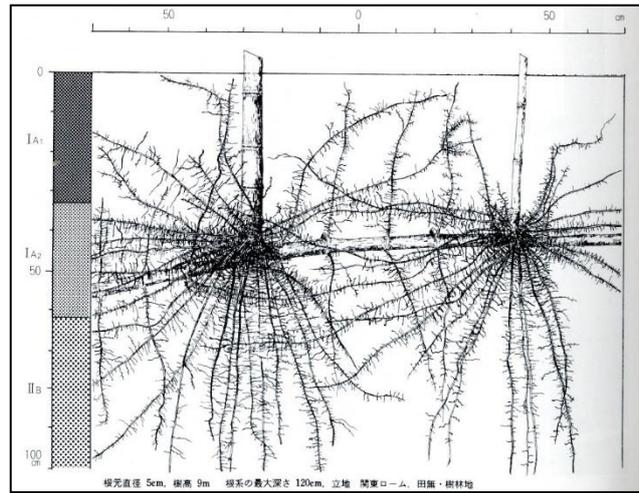


図 4-102 ハチクの根系 *樹木根系図説

(2) 竹林の課題

竹は、地上に頭を出して 2~3 ヶ月で成竹になってしまうほど、旺盛な繁殖力を持つため、あっという間に山を覆い尽くします。竹林の放置化が進むと次の現象を招くと考えられます。

① 肥沃な土地への拡大

竹の地下茎は、明るいところや養分豊富な土壌に向かって 1 年間に 6~8m も伸びる。養分に富む肥沃な土地帯は竹にとっては生育適地となる。



② 在来樹種などの衰退要因

針葉樹と竹は比較的根が浅く、養分等を競合するため、根系生長が旺盛な竹が優占する。広葉樹は根が深いため、養分の取り合いにならず、比較的共存できるとされるが、樹齢が若く、竹より樹高が低い樹木や上層を優占されると林内光環境が劣化し、やがて衰退して行く。

③ 生態系への影響

竹により植生が単一化されることによって、微生物・虫・動物など生態系が単一化され、多様性が減少して生態系に影響を及ぼす。

④ 防災機能の低下

竹の地下茎は浅く（地中約 1m 以内）、地表付近を横に這うように広がるため、竹の放置化や生育区域の拡大が進むと、土壤緊縛力の主根である地下茎から生えている「ヒゲ根」が減少し地下茎が衰退して土壤の緊縛力が低下する。さらに、ほぼ同一層の根系分布となるため、急峻な斜面では薄層の根系層が滑落することが考えられる。「竹は切ることが植えること」と言われるほど、人為的管理が必要とされる。竹の放置化は、森林だけでなく耕地などへの悪影響を与えるものと考えられるため、当該調査区域においても、その対策が必要な樹種である。

(3) 生育範囲

日本国内における竹(モウソウチク、マダケ、ハチク)の生育分布は、おおそ標高 1,400m 以下であると考えられています（図 4-103）。

河合（2011）は、モウソウチクとハチクが混交する竹林が分布する岐阜県西部の揖斐川町徳山地区を対象に、立地環境から竹林を三つのタイプに類型化しています。

① 里山タイプ： 傾斜のある低山や丘陵の裾に分布

里山タイプの拡大域の傾斜角度は、5～30度の範囲で全体の 80.4%を占め、15～20度の階級が最も多く、次いで 10～15度の階級、20～25度の階級の順序で多い。里山タイプでは、拡大域はもともとの分布域よりも傾斜角度が大きい。

里山タイプの拡大域の特徴として、ほぼ平坦かやや凹型の地形である。里山タイプにおいては、植栽や管理のために人間が入りやすい地形を選んだため、もともとの分布域が平坦ないしはやや凹型の地形であったと推察。

② 河川敷タイプ： 堤防や河川敷に分布

傾斜角度は 10 度以下が全体の 80%以上を占めており、0～5 度の階級が最も多く、次いで 5-10 度の階級が多い。河川敷タイプの拡大域の特徴も、ほぼ平坦かやや凹型の地形である。





③ 市街地タイプ

平地や傾斜 5 度前後のほぼ平坦な土地で、周囲を人家や田畑に囲まれている市街地に分布。

「竹林は、里山タイプ、河川敷タイプ、市街地タイプの三つに類型され、面積、拡大面積ともに里山タイプの竹林が最も広く、拡大率も里山タイプの竹林が最も大きかった。従って、**里山タイプの竹林管理が竹林拡大の抑制に効果的**だと考えられる。竹林拡大域における地形要因と植生要因の特徴を抽出した結果、河川敷タイプと里山タイプともに、平坦な地形またはやや凹型の地形で、平均的な竹高と同じか低い植生高であった。」と結論付けています。

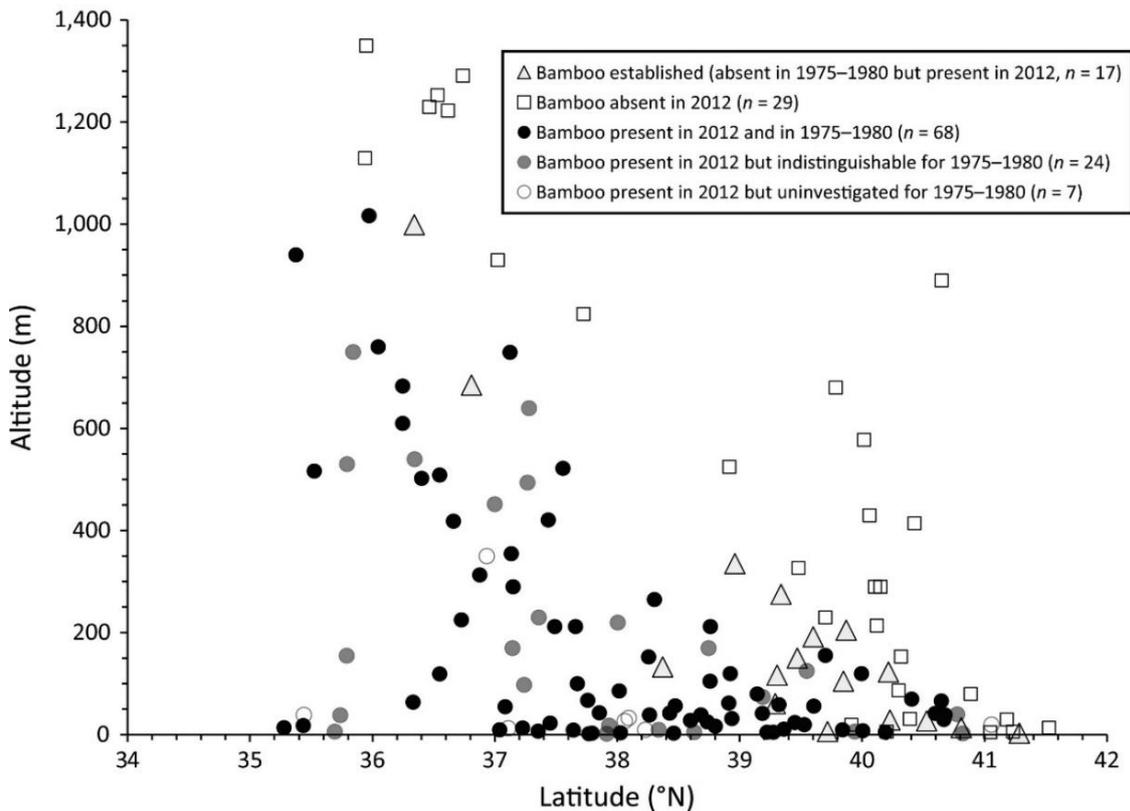


図 4-103 竹林の有無、または竹林の新規定着を伴う調査地の緯度および高度分布との関係

Figure 2 : Latitudinal and altitudinal distribution of study sites with presence, absence, or new establishment of bamboo stands

横軸：緯度、縦軸：標高、
 △：1975-2012 竹林定着
 □：2012 年に竹林なし
 ●：2012 年に竹林あり

(4) 竹林生育分布と分布確率

環境省では、竹林が分布する可能性の高さを、“竹林分布確率”として表示したデータを公開しています（図 4-104）。

伊那市（2019）では、衛星画像（プレアデス衛星：解像度 0.5m）の解析から市域内の竹林分布マップを作成し、この“竹林分布確率”と市域竹林の生育地を検証しています（図 4-106、第IV章 116 ページ）。



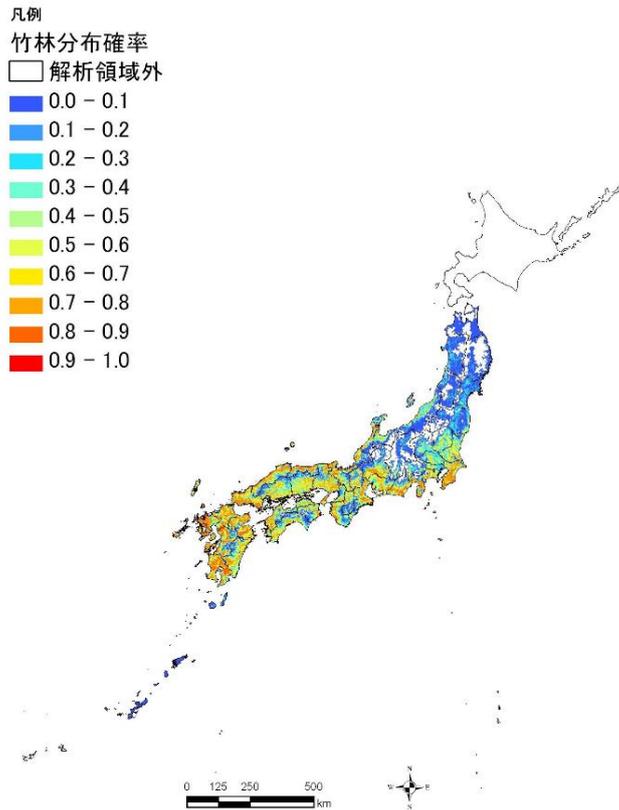


図 4-104 竹林の分布可能域
環境省「竹林が分布する可能性の高い地域」
<https://www.biodic.go.jp/biodiversity/activity/policy/map/map13/index.html>

環境省の竹林分布確率メッシュと抽出した竹林とは、分布確率 30～50%以下に全体の 6.3%、20～30%以下に 18.9%、10～20%以下に 43.8%、0.5～10%以内に 30.0%、0～0.5%以内に 1.0%となり、分布確率 0.5%～50%以内に全体の 99%が適合しました (図 4-105)。

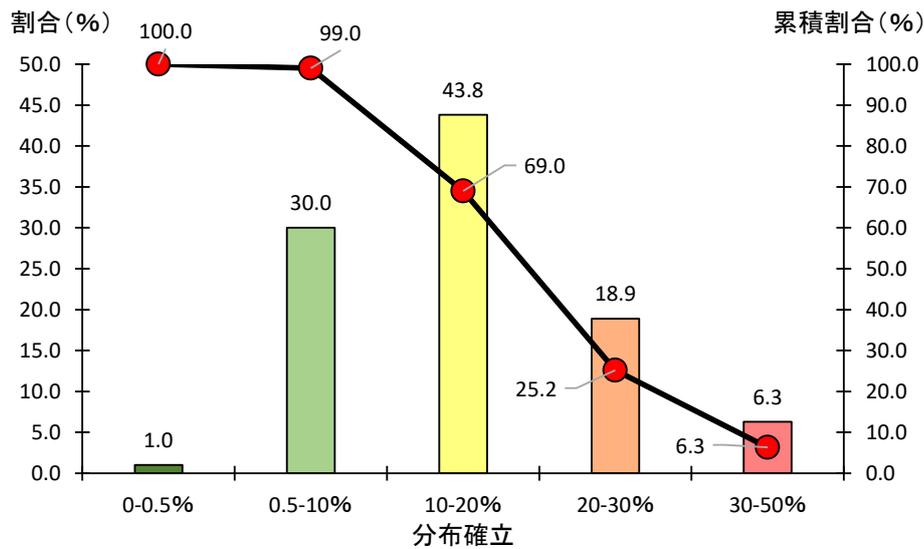


図 4-105 竹林生育地の分布確立メッシュ内の割合
累積値は 30-50%からの順位として累積
伊那市 50 年の森林 (もり) ビジョン推進委員会



第IV章 森林の把握 ~解説~

この結果、竹林分布確率は伊那市の竹林の分布や竹林拡大率を高い精度で反映していると言え、この竹林分布確率メッシュ図を伊那市の竹林拡大予測図として適用できるものと考えられています。

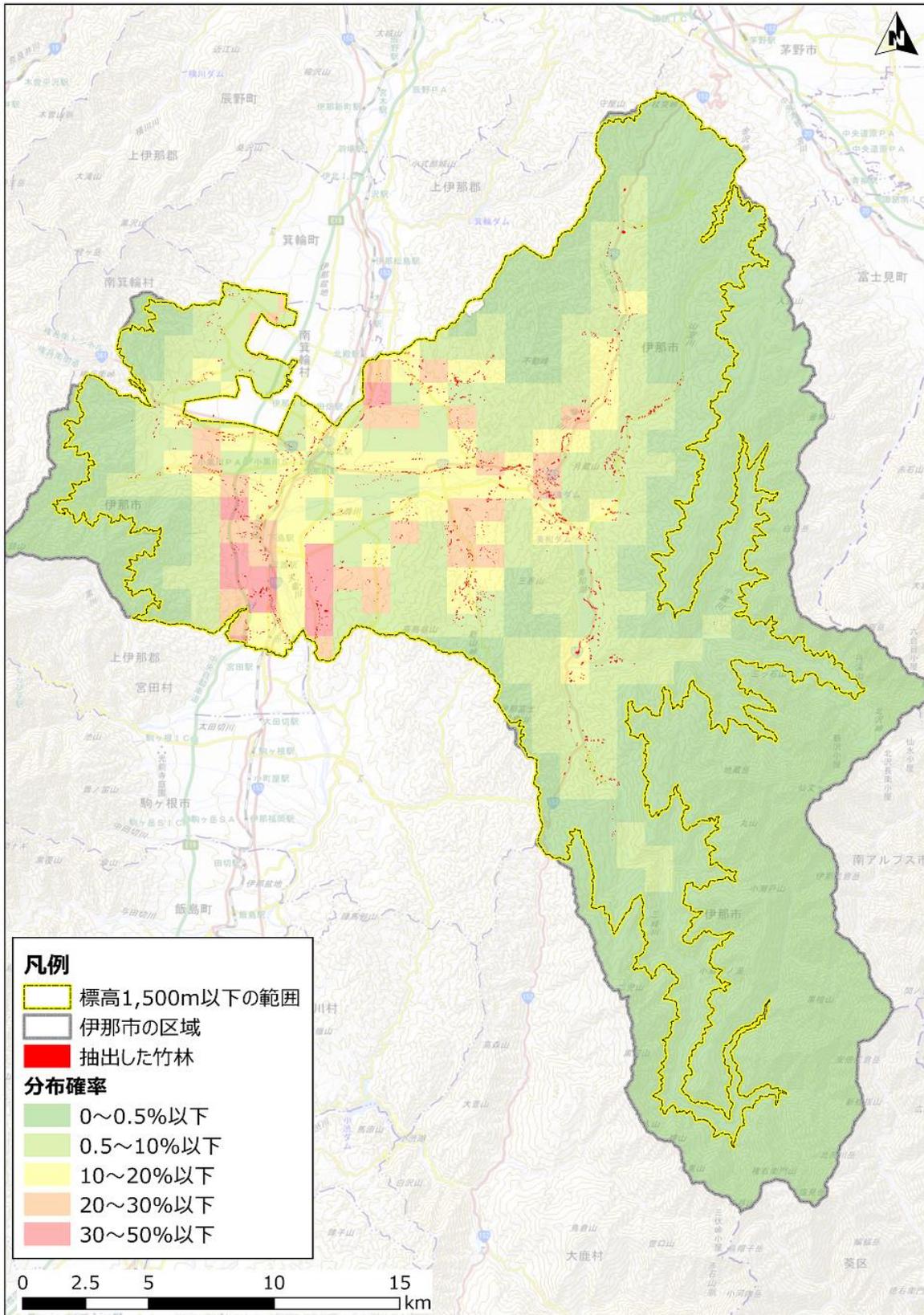


図 4-106 現在の竹林生育分布と竹林分布確率（拡大予測）

伊那市50年の森林（もり）ビジョン推進委員会



竹の地下茎伸長の大きさ（速度）は、「生活空間の広さは表土層の厚さ（土壌の厚さ）に依存する」とされています（沼田ら 1957）。

傾斜角度が大きくなると一般的に表土層は薄くなります（図 4-107）。奥山の傾斜 35 度以上の急峻な山地には、あまり竹の生育拡大に至らない可能性も有りますが、図 4-107 から見ると地下茎成長には十分な表土がある場合もあります。特に断続的に緩斜面を伴う山地では竹の侵入や生育域を拡大させる可能性はあります。

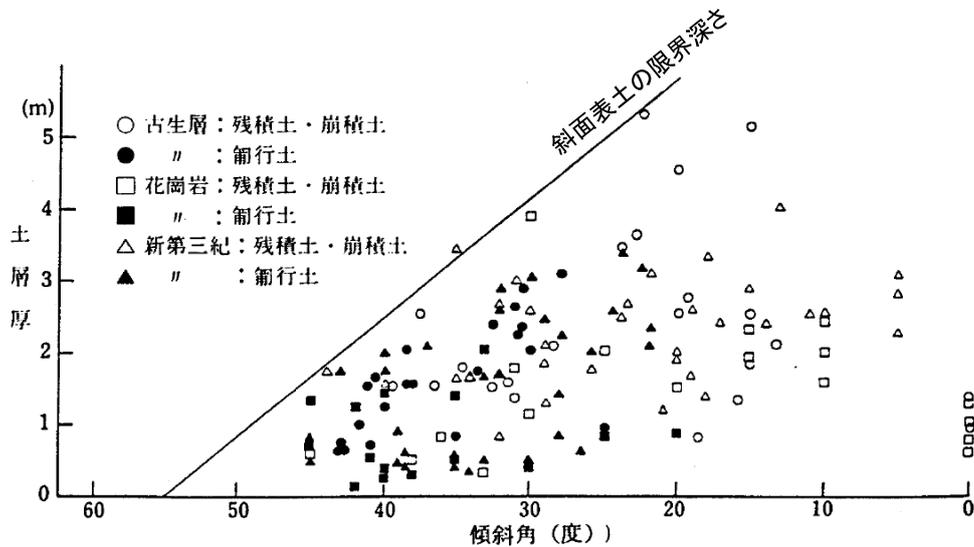


図 4-107 斜面傾斜角と土層厚の関係（逢坂、塚本 1987）
原図に「斜面表土の限界深さ」を加筆。

現在、長野県内はマツ材線虫病（松くい虫）の被害が多く地域で発生しています。県内で猛威を振るっている松くい虫被害の被害区域と竹林生育箇所は、ともに里山周辺に位置しています。

過去にアカマツが松くい虫で枯死した四国・中国地方では、松くい虫被害地に竹が繁茂し、大きく環境を変えてしまいました。また、松くい虫被害でアカマツが枯れ、根系の土壌緊縛力が低下した山地で、竹の侵入によって竹の浅い地下茎が山地斜面を占有した場合、土砂災害の誘因になる可能性もあり（日浦ら 2004）、竹の侵入と拡大は非常に危惧される状態となります。

県内においてもこの危険性が十分考えられます。**松くい虫の激甚被害地と竹林の生育地は共に重複している**ことを十分認識する必要があります。



IV-4-7 森林に被害をもたらす獣害

県内の森林を健全に育成させていく中で、そのリスクが大きいと考えられるのが、ニホンジカなどの獣類です。

(1) 野生鳥獣による農林業被害

農林業被害額は、平成 27 年度に昭和 60 年代以降初めて 10 億円を下回り、令和元年度まで 12 年連続で前年度より減少しています(図 4-108)。獣種別では、ニホンジカが 3 割、イノシシ、ツキノワグマ、ニホンザルが 1 割程度となっています(図 4-109)。

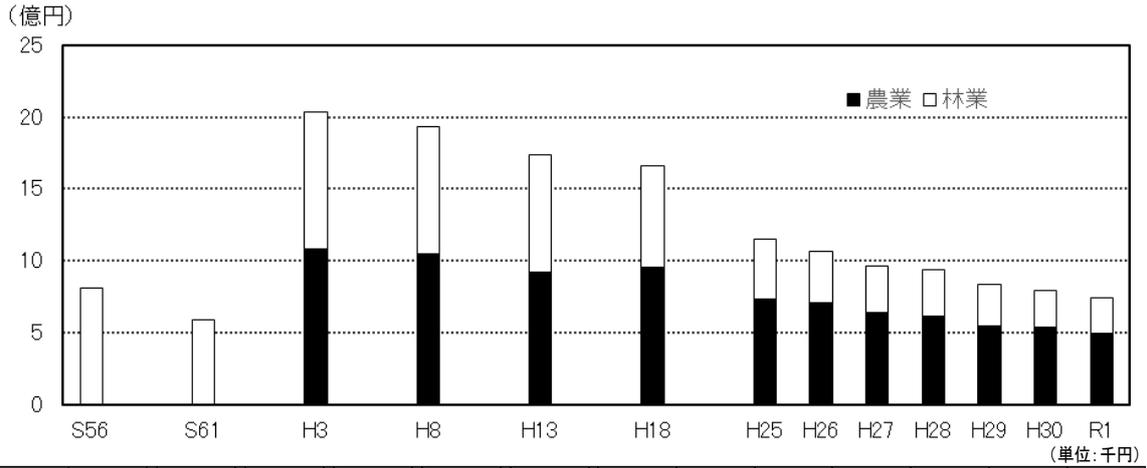


図 4-108 農林業被害額の推移(農林業別) 資料：林務部鳥獣対策・シビ工振興室鳥獣保護管理係

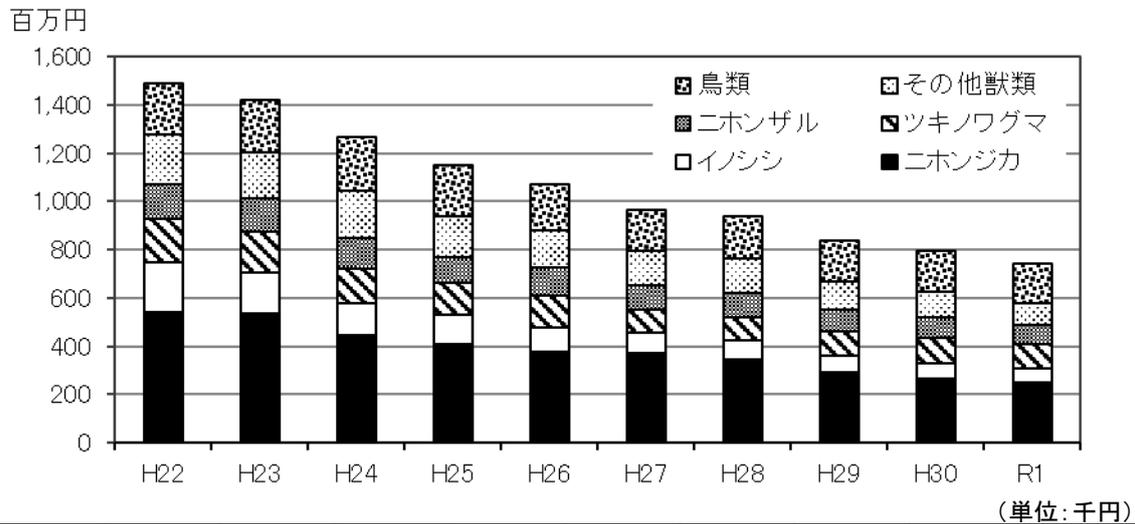


図 4-109 種類別農林業被害額 資料：林務部鳥獣対策・シビ工振興室鳥獣保護管理係



(2) 野生鳥獣による林業被害と対策

今後、針広混交林への誘導や再造林を進めていく中で、更新時に気をつけなければならないのが、ニホンジカ、ノネズミとノウサギ、ニホンカモシカの被害です（表 4-32）。

ニホンジカの被害は、現在獣害の中で最も多くなっています（参照：第IV章 21～22 ページ）。表 4-33 にニホンジカの生息密度別に見た被害程度と被害対策をまとめています。

「市町村業務マニュアルⅢ～森林・林業基礎編～」 p38

また、ノネズミは種類によって被害の形態が異なるので、表 4-34 にまとめました。

詳細は長野県林務部（2015）「皆伐施業後の森林を確実に育てるために～皆伐施業後の更新の手引き～」の 24～28 ページを参照してください。

<https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyo/sangyo/ringyo/documents/reforestmanual.pdf>

表 4-32 針広混交林への誘導や再造林等の更新時に気をつけなければならない獣害

区分	ニホンジカ	ノネズミ	ノウサギ	ニホンカモシカ
被害の形態	更新木の枝葉食害 幹の剥皮被害	ドングリなどの種子食害 植物の根系食害(植栽初期)	更新木の先端食害 (地上高 70cm 以下で 直径 8mm 以下の部位 を切断)	樹木の枝葉食害
被害の特徴	生息密度が増加すると 被害が発生し生息密度 が高いほど激害化		更新木の先端がナイフ で切ったようにきれいに 切られる	苗木の先端部の食害
被害の区分	「激害地」：10 頭/km ² 以上が生息する生息密度 が非常に高い地域 「被害地」：2～10 頭 /km ² 以上が生息する生 息密度が高い地域 「微害地」：2 頭/km ² 未 満が生息する生息密度 の低い地域			
生息環境	参照：表 4-33	参照：表 4-34	森林と草原の境界付近 で生息 皆伐後の造林地は生息 の最適地	森林
被害の時期			冬季が中心（広葉樹は 1 月以降、針葉樹は 2 月 以降）	
被害樹種			アカマツ、ヒノキ、ミズ ナラ、クリなど多数	イチイやヒノキなどの 針葉樹を好む（広葉樹も 加害例あり）
留意点			積雪地では積雪の上部 に出た部分も食害され る	縄張を持つため特定個 体が年間通じて加害 国の特別天然記念物指 定（捕獲は制限）
被害対策	参照：表 4-33	参照：表 4-34	・大苗の植栽 ・個体捕獲	・忌避剤 ・植栽木の先端部保護



表 4-33 ニホンジカの生息密度別に見た被害程度と被害対策の関係

ニホンジカ生息密度		10 頭/km ² 以上 非常に高い	2~10 頭/km ² 高い	2 頭/km ² 未満 低い
被害の状況	区分	激害地	被害地	微害地
	周辺森林等の状況	*あるはずのササが消失 *林内の多くの種類で幹が剥皮されている(ヒノキ、ミズナラ、カラマツなど)	*ササの食害がある *樹種によっては細い立木の幹剥皮が観察できる(リョウブ、カエデ、ヤナギなど特定の樹木)	*枝葉が食害されている *角こすり被害は見られるが、樹皮剥皮はほとんどない
	地域の農林業被害の程度	重要な問題となる(個体数が増えるほど甚大)	有り(山際の集落などで問題になる)	被害と感しない
対策の必要性		必須(複数の組み合わせも検討)	必要	植栽する場合は実施することが望ましい
被害対策	侵入防護柵	どちらか必ず必要(両方を組み合わせても良い)	どちらかを実施することが望ましい	不要
	単木防護資材			
	忌避剤	効果なし	個体数が少なければ効果有り	効果有り
	被害を受けにくい樹種への転換	困難(防護資材と組み合わせれば有効)	個体数が少ない状態に限り効果有り	不要
	下刈り等省略	林床植生が欠落するので効果なし	個体数が少ない状態に限り効果有り	不要
	個体数調整	かなり有効	有効	個体数を増やさないために必要

長野県林務部(2015)「皆伐施業後の森林を確実に育てるために～皆伐施業後の更新の手引き～」, p26, 表 3-1.

表 4-34 ノネズミの種類別被害の特徴

種類	アカネズミ・ヒメネズミ	ハタネズミ
生息環境	成熟した森林	草原の周辺やササ地
被害形態	ドングリなどの種子食害	植物の根系食害(植栽初期)
対応策	<ul style="list-style-type: none"> 殺鼠剤の散布 個体の捕獲 	<ul style="list-style-type: none"> 殺鼠剤の散布 個体の捕獲 そだを林外へ持ち出す 根元に保護材を巻く

長野県林務部(2015)「皆伐施業後の森林を確実に育てるために～皆伐施業後の更新の手引き～」, p27, 表 3-2.



(3) 野生鳥獣による人身被害

森林を管理するため、巡視（モニタリング）を行います。その時注意すべき事項として、野生鳥獣害と遭遇した場合の人身事故があります。

令和3年1月現在の野生鳥獣による人身被害は、ツキノワグマ12件（12名）、ニホンザル1件（1名）、イノシシ2件（3名）と例年に比べ多くの被害が発生しています（表4-35）。

表 4-35 野生鳥獣による事故発生状況

種類	H22		H23		H24		H25		H26		H27		H28		H29		H30		R1		R2	
	件数	人数	件数	人数	件数	人数																
ツキノワグマ	14	14	4	7	7	7	3	3	31	32	6	6	9	9	6	7	5	5	8	8	12	12
ニホンザル	-	-	1	1	-	-	1	1	2	7	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	1	1
イノシシ	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	2	3

資料：林務部鳥獣対策・シビ工振興室鳥獣保護管理係

※R2はR3.1月末現在

表 4-36 長野県のツキノワグマ目撃及び人身被害の状況

年度	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月-3月	4-3月計	人身被害件(人)
H18	22	27	108	252	817	909	751	434	42	-	3,362	16(18)
H19	35	64	83	164	306	137	28	11	0	-	828	3(3)
H20	12	29	79	131	203	127	46	40	13	-	680	12(12)
H21	6	25	69	103	156	76	6	2	0	-	443	5(6)
H22	8	38	112	159	327	535	269	139	4	-	1,591	14(14)
H23	13	46	115	154	219	96	38	3	0	-	684	4(7)
H24	8	31	84	176	325	286	89	21	0	-	1,020	7(7)
H25	14	41	84	89	147	85	12	4	0	-	476	3(3)
H26	14	52	79	138	263	413	430	177	9	-	1,575	31(32)
H27	25	47	134	142	177	37	12	8	0	0	582	6(6)
H28	12	60	137	163	171	118	87	31	6	1	786	9(9)
H29	11	20	91	151	152	128	22	20	3	2	600	6(7)
H30	22	92	183	158	182	55	23	18	9	7	749	5(5)
R01	18	64	196	291	334	207	125	68	16	13	1,332	8(8)
R02	16	50	151	264	411	309	126	86	14	3	1,430	12(12)

資料：林務部鳥獣対策・シビ工振興室鳥獣保護管理係

ツキノワグマの目撃および人身被害の月別の状況を見ると、平常年は山のエサが少なくなり農作物が収穫を迎える8月が目撃件数のピークとなっていますが（表4-36）、大量没年では8月から11月にかけて目撃件数が増加し、とくに9月、10月が顕著に増加しています。この傾向は堅果類（ナラ類のドングリなど）の豊凶の影響が推察されています（表4-37、図4-110）。

森林を巡視する際は、キノワグマとの遭遇に注意するとともに、目撃した場合は、地域住民の安全確保のため、事故発生時の連絡体制に沿って、関係機関との調整をしてください。



表 4-37 月別ツキノワグマ目撃及び人身被害の状況

月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	4-12月 累計	人身被害件 (人)
大量出没年*の 平均値	15	39	100	183	469	619	483	250	18	2,176	20.3 (21.3)
大量出没年を 除く平均値 (H18~R1)	16	47	114	115	216	123	44	21	4	742	6.2 (6.6)
令和元年度	18	64	196	291	334	207	125	68	16	1,319	8 (8)
令和2年度	16	50	151	264	411	309	126	86	14	1,427	12 (12)

※大量出没年：H18、H22、H28年

※林務部鳥獣対策・シビエ振興室鳥獣保護管理係資料を加筆

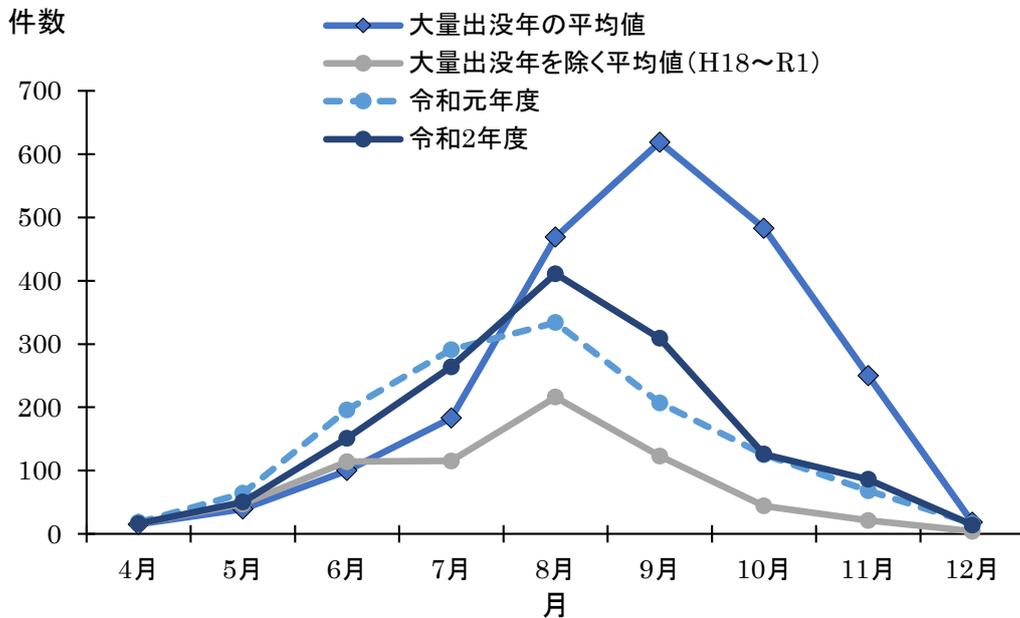


図 4-110 月別のツキノワグマ目撃及び人身被害の推移

※林務部鳥獣対策・シビエ振興室鳥獣保護管理係資料を加筆



IV-5 森林の CO₂ 吸収量

IV-5-1 森林 CO₂ 吸収の算定方法

長野県では、平成 20 年（2008 年）から県独自の森林の CO₂ 吸収量評価・認証する制度を定めています。「森林（もり）の里親促進事業」に協力している環境先進企業等の取り組みを、CO₂ 吸収量で評価・認証（CSR 活動を「見える化」）するものです（図 4-111）。

長野県の「森林 CO₂ 吸収評価認証制度」は次のアドレスです。

<https://www.pref.nagano.lg.jp/shinrin/sangyo/ringyo/seibi/ninsho/index.html>



図 4-111 森林 CO₂ 吸収評価認証制度のロゴマークとキャッチフレーズ

この制度における森林 CO₂ 吸収量の評価方法は、次の計算により算定しています。

森林による二酸化炭素吸収量 (ton-CO₂/年)

$$= \text{森林面積} \times \text{蓄積増分} \times \text{拡大係数} \times \text{容積密度} \times \text{炭素含有率} \times \text{二酸化炭素換算係数}$$

ここに

- 森林面積 ; 森林管理が実施された森林の面積(ha)
- 蓄積増分 ; 一定期間内における蓄積量の増分で幹材積の成長量（長野県民有林林分材積表）により算出
- 拡大係数 ; 幹材積の成長量に枝や根の成長量を加算補正するための係数
- 容積密度 ; 成長量（材積）をバイオマス（乾燥重量）に換算するための係数
- 炭素含有率 ; 樹木の乾燥重量に占める炭素の比率
- 二酸化炭素換算係数 ; 炭素量を二酸化炭素量に換算するための係数(44/12)

※原子量 H=1、C=12、O=16 とし、炭素 C→二酸化炭素 CO₂ C=12 →CO₂=44 ∴ 44/12

この式に用いる拡大係数、容積密度、炭素含有率は、「京都議定書 3 条 3 及び 4 の下での LULUCF 活動の補足情報に関する報告書，日本国，2008.5,p18」に準じることとしています（表 4-38）。また、計算に用いる適用樹種区分と適用地域区分は表 4-39 となっています。

この制度による二酸化炭素吸収量は、長野県独自の算定方法です。二酸化炭素の取引（クレジット）には適用できません。





表 4-38 森林簿樹種の BEF、Root-Shoot ratio、容積密度数

		BEF		R	D	炭素含有率	備考
		≤20	>20				
針葉樹	スギ	1.57	1.23	0.25	0.314	0.5	
	ヒノキ	1.55	1.24	0.26	0.407		
	サワラ	1.55	1.24	0.26	0.287		
	アカマツ	1.63	1.23	0.27	0.416		
	クロマツ	1.39	1.36	0.34	0.464		
	ヒバ	2.43	1.38	0.18	0.429		
	カラマツ	1.50	1.15	0.29	0.404		
	モミ	1.40	1.40	0.40	0.423		
	トドマツ	1.88	1.38	0.21	0.319		
	ツガ	1.40	1.40	0.40	0.464		
	エゾマツ	1.92	1.46	0.22	0.348		
	アカエゾマツ	2.15	1.67	0.21	0.364		
	マキ	1.39	1.23	0.18	0.455		
	イチイ	1.39	1.23	0.18	0.454		
	イチョウ	1.51	1.15	0.18	0.451		
	外来針葉樹	1.41	1.41	0.17	0.320		
	その他針葉樹	2.55	1.32	0.34	0.352		北海道、東北6県、栃木、群馬、埼玉、新潟、富山、山梨、長野、岐阜、静岡に適用
	〃	1.39	1.36	0.34	0.464		沖縄県に適用
〃	1.40	1.40	0.40	0.423	上記以外の県に適用		
広葉樹	ブナ	1.58	1.32	0.25	0.573	0.5	
	カシ	1.52	1.33	0.25	0.629		
	クリ	1.50	1.17	0.25	0.426		
	クヌギ	1.36	1.33	0.25	0.668		
	ナラ	1.40	1.26	0.25	0.619		
	ドロノキ	1.33	1.17	0.25	0.291		
	ハンノキ	1.33	1.19	0.25	0.382		
	ニレ	1.33	1.17	0.25	0.494		
	ケヤキ	1.58	1.28	0.25	0.611		
	カツラ	1.33	1.17	0.25	0.446		
	ホオノキ	1.33	1.17	0.25	0.386		
	カエデ	1.33	1.17	0.25	0.519		
	キハダ	1.33	1.17	0.25	0.344		
	シナノキ	1.33	1.17	0.25	0.369		
	センノキ	1.33	1.17	0.25	0.398		
	キリ	1.33	1.17	0.25	0.234		
	外来広葉樹	1.41	1.41	0.25	0.660		
	カンバ	1.31	1.20	0.25	0.619		
その他広葉樹	1.37	1.37	0.25	0.473	千葉、東京、高知、福岡、長崎、鹿児島、沖縄		
〃	1.52	1.33	0.25	0.629	三重、和歌山、大分、熊本、宮崎、佐賀		
〃	1.40	1.26	0.25	0.619	上記2区分以外の府県		

BEF：地上バイオマス（幹・枝・葉）と幹バイオマスとの比率
 R：地上バイオマスに対する地下部バイオマス（根）の割合
 D：容積密度（トン/m³）
 拡大係数=BEF×（1+R）

※表 4-38 の炭素含有率は、現在改定され針葉樹は 0.51、広葉樹は 0.48 となっているが、長野県「森林 CO2 吸収評価認証制度」では LULUCF 活動の補足情報に関する報告書（2008 年 5 月）の値を用いている。



表 4-39 適用樹種区分と適用地域区分

	収穫表	樹種	地位級区分	適用地区	備考
針葉樹	スギ(表)	スギ	I~V	長野県一円 (以下を除く)	森林計画に準拠
	スギ(裏)	スギ	I~V	中野・飯山以北 白馬以北	森林計画に準拠
	ヒノキ	ヒノキ	I~V	長野県一円	
	カラマツ	カラマツ	I~V	長野県一円	平成3年調整の樹高曲線
	アカマツ	アカマツ	I~V	長野県一円	
	トウヒ	トウヒ (ヨーロッパトウヒ)	I~V	長野県一円	ドイツの収穫表等を適用
	その他針葉樹	ツガ・モミ等		長野県一円	ヒノキ地位級IVを適用
広葉樹	ナラ	ミズナラ・コナラ・クヌギ・クリ	特I ~III	長野県一円	
	ブナ	ブナ		長野県一円	
	その他広葉樹	ケヤキ等		長野県一円	ナラを準用

※『長野県「森林の里親促進事業」CO₂吸収量算定基準』別表より

IV-5-2 森林 CO₂ 吸収量

(1) 森林 CO₂ 吸収量の計算

長野県内の森林における年二酸化炭素吸収量は、表 4-39 の因子から樹種（カラマツ、ヒノキ、スギ、アカマツ、広葉樹等）別、地位級別、齢級別に計算され、早見表となっています（第IV章 130~133 ページ）。

二酸化炭素吸収量表から読み取った数値は、ha 当たりの 1 年間の二酸化炭素吸収量で、単位は“t-CO₂/年・ha”です。“t-CO₂”は“二酸化炭素トン”と呼びます。

林齢は 5 年を単位（1~5）としています。その単位を齢級と呼びます。

林齢と地位がわかれば計算できますので、第II章の施業計画 Excel シート（第II章 105~110）を活用し、地位を判定して早見表から CO₂ 吸収量を求めてください。

【計算例 1：森林整備実施森林の二酸化炭素吸収量】

- ・カラマツ
- ・地位II
- ・林齢 53 年生
- ・整備面積 20ha





第IV章 森林の把握 ~解説~

カラマツ林の二酸化炭素吸収量の表の該当林齢と該当地位から表中の数値を読み取ります。

図 4-112 の吸収量は 3.0 t-CO₂/年・ha となります。整備面積が 20ha なので、

$$\begin{aligned} \text{二酸化炭素吸収量} &= 3.0 \text{ t-CO}_2/\text{年} \cdot \text{ha} \times 20\text{ha} \\ &= 60\text{t-CO}_2/\text{年} \end{aligned}$$

と計算され、森林整備を実施したカラマツ林は年間 60t の二酸化炭素を吸収していることとなります。

長野県内カラマツ林の二酸化炭素吸収量 (t-CO₂/年・ha)

林齢	地位級 I	地位級 II	地位級 III	地位級 IV	地位級 V
1-5	0.9	0.8	0.7	0.5	0.5
6-10	26.2	21.4	17.3	11.7	8.3
11-15	24.9	20.6	16.3	12.6	8.8
16-20	22.3	18.6	14.9	11.7	8.3
21-25	14.5	12.1	9.6	7.7	5.5
26-30	12.1	9.9	8.1	6.3	4.6
31-35	9.6	7.9	6.3	5.2	3.7
36-40	7.7	6.3	5.2	4.1	3.0
41-45	5.9	5.2	3.9	3.3	2.4
46-50	4.8	3.9	3.3	2.6	1.9
51-55	3.9	3.0	2.6	1.9	1.3
56-60	2.8	2.6	1.9	1.7	1.3
61-65	2.4	1.7	1.5	1.3	0.8
66-70	1.7	1.5	1.1	0.8	0.6
71-75	1.5	1.3	1.1	0.8	0.6
76-80	1.1	0.8	0.6	0.6	0.4

図 4-112 53 年生、地位 II のカラマツ林の単位面積当たりの年間二酸化炭素吸収量

二酸化炭素吸収量の表の林齢は、齢級単位なので、53 年生の吸収量 3.0 t-CO₂/年・ha は 51 ~55 年生に適用されます。53 年生から 3 年後の 56 年生になると 2.6 t-CO₂/年・ha に減少します。二酸化炭素吸収量の値を見ると 6~10 年生を最大としてその後林齢とともに二酸化炭素吸収量は減少します (図 4-113)。二酸化炭素吸収量を計算する場合、齢級に注意して計算してください。

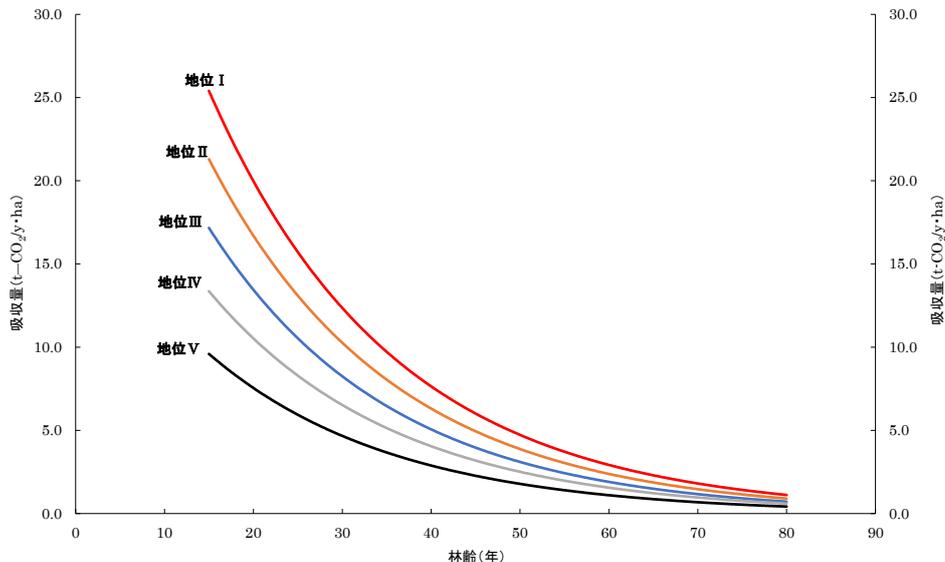


図 4-113 カラマツ林の地位別単位面積当たりの年間二酸化炭素吸収量





【計算例 2：地域の二酸化炭素吸収量の概数】

「〇〇市町村の民有林でどの位の二酸化炭素を吸収しているの?」と、森林の二酸化炭素吸収量を聞かれる時があります。二酸化炭素吸収量表を用いて、二酸化炭素吸収量の概数を求めることができます。

ここでは、二酸化炭素吸収量表に示されているスギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツを用いて二酸化炭素吸収量の概数を求める事例を示します。

長野県ホームページから「林務部森林政策課」 > 「統計情報」 > 「民有林の現況」 > 「該当年」 > 「(2)個表・エクセル」 > 「(ウ)市町村」と進み、「第 11 表市町村別・資源構成表 (エクセル)」をダウンロードします (図 4-114)。

The screenshot shows the website navigation process. It starts with the '統計情報' (Statistics Information) section, where users are directed to '民有林の現況' (Status of Private Forests) and then to the specific table '第11表市町村別・資源構成表 (伊那谷)'. A hand icon points to the 'ダウンロード' (Download) button for this table.

第11表 市町村別・資源構成表 (伊那谷)

郡市	種別	単位: 面積 ha, 蓄積 成長量 m³										計		
		スギ	ヒノキ	サワラ	アカマツ	カラマツ	その他針葉	小計	クスギ	ブナ	ナラ		その他広葉	
1 東信	面積							0.00				8.10	8.10	8.10
	成長							0.0				0.0	0.0	
2 東上	面積							0.0				0.00	0.00	0.00
	成長							0.0				0.0	0.0	
3 東中	面積							0.00				0.11	0.11	0.11
	成長							0.0				0.2	0.2	
4 東南	面積	0.18	2.37		0.10			0.13	2.78			1.37	1.37	1.37
	成長	22	190		5			4	228			30	30	
5 東北	面積	1.28	17.0		5			0.00	20.4			2.1	2.1	2.1
	成長	18	271		200			4.71	34.82			34.82	34.82	
6 東西	面積	3.07						2.94	6.01			5.78	5.78	5.78
	成長	25.1						12.7	37.8			71.5	71.5	
7 東南	面積	0.89	25.17		0.23	18.87		43.12	18.89	18.89		18.89	18.89	18.89
	成長	181	4,598		39	2,061		6,902	988	988		988	988	
8 東北	面積	6.0	185.7		1.2	58.7		261.6	401	401		401	401	401
	成長	0.67	41.99		6.68	27.27		76.64	29.79	29.79		29.79	29.79	
9 東中	面積	1.91	8.13		0.30	4.662		13.098	9.08	9.08		9.08	9.08	9.08
	成長	9.5	272.3		28.6	101.1		411.6	53.0	53.0		53.0	53.0	
10 東南	面積	1.81	24.52		26.91	89.77		118.40	17.52	17.52		17.52	17.52	17.52
	成長	499	4,773		5,907	10,862		20,168	2,954	2,954		2,954	2,954	
11 東北	面積	10.4	129.0		88.8	224.5		422.4	382	382		382	382	382
	成長	6.28	98.45		3.18	84.42		122.11	49.48	49.48		49.48	49.48	
12 東中	面積	1.853	18.438		895	9,497		10,789	2,742	43,893		47,377	47,377	47,377
	成長	28.1	387.2		14.4	143.2		185.2	82.8	82.8		82.8	82.8	
13 東南	面積	16.82	49.40		1.23	26.12		87.30	499.49	1.2		497.7	497.7	497.7
	成長	5,897	11,231		292	61,922		17,728	1,114	86,877		4,998	101,573	
14 東北	面積	71.3	201.9		0.3	289.7		289.3	1,263.8			1,184.5	1,184.5	1,184.5
	成長	44,251	14,451		690	73,192		138,864	1,381	1,098.9		1,971	1,971	
15 東中	面積	14,373	3,573		15	180,279		73,827	208	252,088		252,088	252,088	252,088
	成長	199.3	23.2		8.2	1,944.0		2,044.6	4.1	3,089.7		3,089.7	3,089.7	
16 東南	面積	48.87	15.35		733.79	743.00		4.27	1,843.48			2,044	2,044	2,044
	成長	16,221	4,015		188,174	183,373		209	372,226			218	372,226	
17 東北	面積	210.2	27.0		1,919.8	2,319.67		11.6	4,189.8			4.4	4,189.8	4,189.8
	成長	127.84	27.82		0.39	1,053.84		674	2,096.77			2.27	2,096.77	
18 東中	面積	43,143	7,981		106	252,449		255,769	633	963,478		963,478	963,478	963,478
	成長	379.2	109.9		1.6	2,815.1		2,245.1	19.2	8,188.4		4.8	8,188.4	
19 東南	面積	58.21	31.29		8.40	643.03		843.93	0.35	1,579.09		0.58	1,579.09	1,579.09
	成長	27,688	8,842		115	189,841		261,288	46	492,146		0	492,146	
20 東北	面積	219.3	103.3		1.4	1,387.7		3,790.0	1.1	4,381.0		4.3	4,381.0	4,381.0
	成長	14.28	105.12		18.87	1,229.89		449.40	36.02	1,820.52		0.18	1,820.52	
計	面積	29,799	319,29		2,731	329,273		139,207	8,809	564,919		18	564,919	564,919
	成長	109.1	110.8		25.8	1,778.0		841.4	83.9	2,841.6		19.3	2,841.6	

図 4-114 長野県ホームページ民有林の現況のダウンロードページ
<https://www.pref.nagano.lg.jp/rinsei/sangyo/ringyo/toukei/minyurin/index.html>

ダウンロードした Excel シートには、年齢別の「蓄積」、「面積」、「成長量」があり、このうち年齢別の面積を抽出します (表 4-40)。



第IV章 森林の把握 ~解説~

該当する樹種別の二酸化炭素吸収量の地位Ⅲの値にこの面積を乗じて計算します。過大評価を避けるため中庸の地位（平均的な値）を表している地位Ⅲの値を用います。

計算結果は表 4-41 となり、地域のスギ、ヒノキ、アカマツ、カラマツの森林が年間吸収する二酸化炭素は 22,705.4 t-CO₂/年 となります。

この事例はあくまでも概数です。該当する樹種だけで計算していますので説明時は「地域の森林のうち、主な針葉樹の二酸化炭素吸収量は 2 万 2 千 t-CO₂/年です」と回答してください。

表 4-40 第 11 表市町村別・資源構成表から抽出した齢級別面積

齢級	スギ	ヒノキ	アカマツ	カラマツ
1				
2				
3		0.59		
4	0.16	2.37	0.10	
5		2.71		2.00
6	0.85	25.17	0.23	16.87
7	0.67	41.95	6.68	27.27
8	1.82	24.52	26.90	56.12
9	5.59	88.45	48.42	52.35
10	16.65	49.40	292.12	72.35
11	44.35	14.45	721.92	286.96
12	46.87	15.55	733.79	743.00
13	127.84	27.92	1,059.84	876.04
14	58.21	31.29	645.03	843.80
15 以上	74.26	105.12	1,259.85	449.60
計	377.27	429.49	4,794.88	3,426.36

面積

表 4-41 森林の二酸化炭素吸収量計算表

齢級	樹種別面積と単位面積当たりの CO ₂ 吸収量 (t-CO ₂ /年)								CO ₂ 吸収量 (t-CO ₂ /年)				
	スギ		ヒノキ		アカマツ		カラマツ		スギ	ヒノキ	アカマツ	カラマツ	計
	ha	CO ₂	ha	CO ₂	ha	CO ₂	ha	CO ₂					
1		0.4		0.4		0.6		0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2		9.8		3.3		11.2		17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3		22.5	0.6	18.0		18.5		16.3	0.0	10.6	0.0	0.0	10.6
4	0.16	23.2	2.4	19.2	0.1	16.2		14.9	3.7	45.5	1.6	0.0	50.8
5		16.2	2.7	13.7		10.6	2.0	9.6	0.0	37.1	0.0	19.2	56.3
6	0.85	13.7	25.2	11.6	0.2	8.9	16.9	8.1	11.6	291.9	2.0	136.6	442.1
7	0.67	11.2	42.0	9.5	6.7	7.5	27.3	6.3	7.5	398.5	50.1	171.8	627.9
8	1.82	9.2	24.5	7.8	26.9	6.3	56.1	5.2	16.7	191.2	169.4	291.8	669.1
9	5.59	7.5	88.5	6.4	48.4	5.2	52.4	3.9	41.9	566.0	251.7	204.1	1,063.7
10	16.65	6.1	49.4	5.2	292.1	4.4	72.4	3.3	101.5	256.8	1,285.3	238.7	1,882.3
11	44.35	5.0	14.5	4.3	721.9	3.7	287.0	2.6	221.7	62.1	2,671.1	746.0	3,700.9
12	46.87	4.0	15.6	3.5	733.8	3.1	743.0	1.9	187.4	54.4	2,274.7	1,411.7	3,928.2
13	127.84	3.3	27.9	2.9	1,059.8	2.6	876.0	1.5	421.8	80.9	2,755.5	1,314.0	4,572.2
14	58.21	2.7	31.3	2.3	645.0	2.2	843.8	1.1	157.1	71.9	1,419.0	928.1	2,576.1
15 以上	74.26	2.2	105.1	1.9	1,259.9	1.8	449.6	1.1	163.3	199.7	2,267.7	494.5	3,125.2
計	377.27		429.5		4,794.9		3,426.4		1,334.2	2,266.6	13,148.1	5,956.5	22,705.4

地位Ⅲの値

面積 × 地位Ⅲの値

この二酸化炭素吸収量 22,705.4 t-CO₂/年は、地域にどの位の貢献をしているのわかりやすい試算があります。人間 1 人が呼吸により排出する二酸化炭素は年間約 320kg、自家用車 1 台当たりから排出される二酸化炭素は年間約 2,300kg、1 世帯当りの二酸化炭素排出量は年間約 6,500kg と林野庁で示しています。この値から 22,705.4 t-CO₂ をそれぞれ計算すると、70,954 人、自動車 9,872 台、3,493 世帯と試算されます（図 4-115）。





このような身近な二酸化炭素排出量と森林の二酸化炭素吸収量を比較すると、わかりやすく説明することができます。

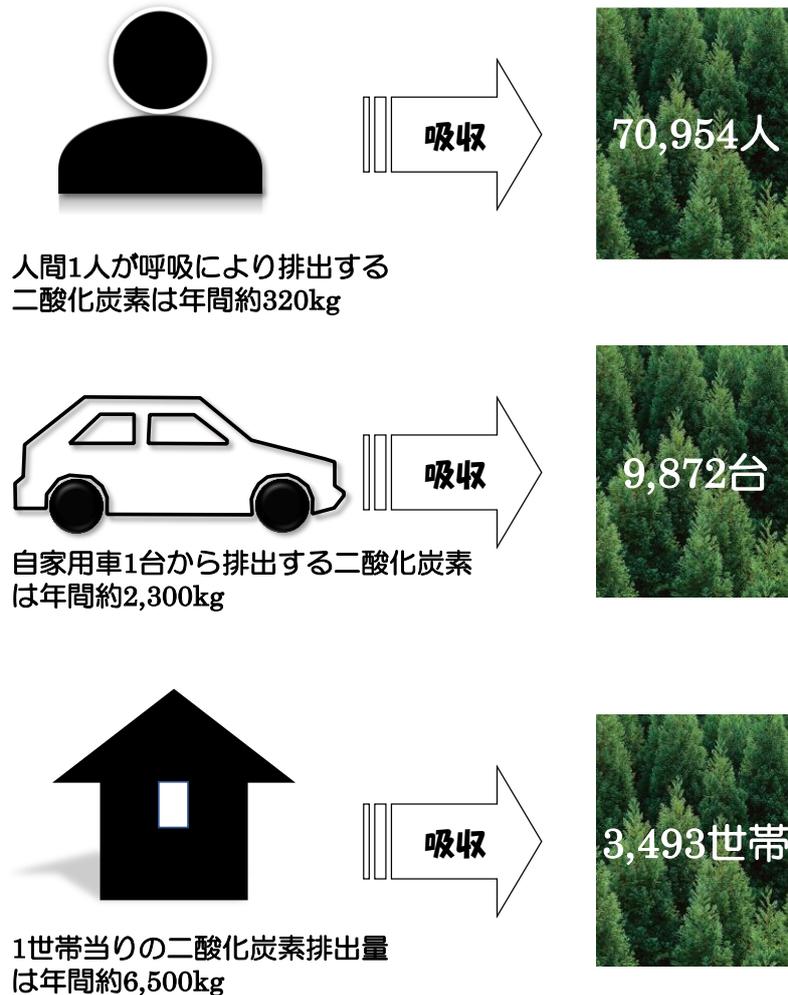


図 4-115 身近な二酸化炭素吸収量の換算

森林は二酸化炭素を吸収・蓄積させるばかりではなく、森林から伐採され搬出された木材（HWP：Harvested Wood Products）は、住宅資材などに利用されている間も森炭素を蓄積・固定しています。さらに、森林（木材）は再生可能な資源です。

二酸化炭素吸収量の国際ルール（京都議定書）は、人工林等（育成林）では適正に手入れされている森林の吸収量を削減目標の達成に組み込むことが認められています。人工林を健全に保つためには、間伐等の森林整備を適切に行うことが必要です。

また、前掲図 4-113 や二酸化炭素吸収量表のように、若齢の森林で吸収量は最大となります。若齢段階の森林も存在する様々な林齢の森林構成が二酸化炭素吸収において効果を発揮します。このことから“林齢の平準化”は二酸化炭素吸収源対策としても重要です。



(2) 長野県内の森林における年二酸化炭素吸収量

長野県内カラマツ林の二酸化炭素吸収量(t-CO₂/年・ha)

林齢	地位級Ⅰ	地位級Ⅱ	地位級Ⅲ	地位級Ⅳ	地位級Ⅴ
5	0.9	0.8	0.7	0.5	0.5
10	26.2	21.4	17.3	11.7	8.3
15	24.9	20.6	16.3	12.6	8.8
20	22.3	18.6	14.9	11.7	8.3
25	14.5	12.1	9.6	7.7	5.5
30	12.1	9.9	8.1	6.3	4.6
35	9.6	7.9	6.3	5.2	3.7
40	7.7	6.3	5.2	4.1	3.0
45	5.9	5.2	3.9	3.3	2.4
50	4.8	3.9	3.3	2.6	1.9
55	3.9	3.0	2.6	1.9	1.3
60	2.8	2.6	1.9	1.7	1.3
65	2.4	1.7	1.5	1.3	0.8
70	1.7	1.5	1.1	0.8	0.6
75	1.5	1.3	1.1	0.8	0.6
80	1.1	0.8	0.6	0.6	0.4

※県内全域に適用

※材積は長野県林分材積表等による

※評価集計値は、少数第二位切捨て

長野県内ヒノキ林の二酸化炭素吸収量(t-CO₂/年・ha)

林齢	地位級Ⅰ	地位級Ⅱ	地位級Ⅲ	地位級Ⅳ	地位級Ⅴ
5	0.5	0.4	0.4	0.2	0.2
10	7.3	5.1	3.3	2.0	1.1
15	28.3	23.2	18.0	12.4	7.6
20	27.3	23.3	19.2	15.6	11.5
25	18.4	16.2	13.7	11.1	8.4
30	15.0	13.4	11.6	9.5	7.4
35	12.0	10.9	9.5	8.0	6.3
40	10.3	8.8	7.8	6.7	5.3
45	9.2	7.1	6.4	5.5	4.4
50	7.5	5.8	5.2	4.5	3.7
55	6.2	5.9	4.3	3.7	3.0
60	5.1	4.5	3.5	3.1	2.5
65	4.1	3.7	2.9	2.5	2.0
70	3.4	3.1	2.3	2.0	1.7
75	2.8	2.5	1.9	1.7	1.4
80	2.3	2.1	1.6	1.4	1.1

※県内全域に適用

※材積は長野県林分材積表等による

※評価集計値は、少数第二位切捨て



長野県内スギ林の二酸化炭素吸収量(t-CO₂/年・ha)

林齢	地位級Ⅰ	地位級Ⅱ	地位級Ⅲ	地位級Ⅳ	地位級Ⅴ
5	0.6	0.5	0.4	0.4	0.3
10	16.7	13.0	9.8	6.8	4.5
15	33.2	28.0	22.5	17.3	12.5
20	32.0	27.5	23.2	19.0	14.4
25	21.1	18.9	16.2	13.3	10.6
30	17.3	15.5	13.7	11.6	9.2
35	13.9	12.7	11.2	9.8	7.9
40	11.1	10.3	9.2	7.9	6.7
45	8.8	8.2	7.5	6.5	5.6
50	7.0	6.6	6.1	5.4	4.6
55	5.5	5.3	5.0	4.4	3.7
60	4.4	4.3	4.0	3.6	3.0
65	3.5	3.5	3.3	2.9	2.5
70	2.8	2.8	2.7	2.4	2.0
75	2.2	2.3	2.2	2.0	1.7
80	1.8	1.8	1.8	1.6	1.4

※白馬以北、中野・飯山以北を除く
 ※材積は長野県林分材積表等による
 ※評価集計値は、少数第二位切捨て

長野県内スギ林(白馬・中野・飯山以北)の二酸化炭素吸収量(t-CO₂/年・ha)

林齢	地位級Ⅰ	地位級Ⅱ	地位級Ⅲ	地位級Ⅳ	地位級Ⅴ
5	0.9	0.8	0.6	0.4	0.3
10	24.5	17.8	12.1	7.3	3.6
15	28.1	22.5	16.6	11.0	6.4
20	26.8	21.7	16.9	12.2	7.3
25	18.8	15.4	12.1	9.0	5.8
30	16.2	13.6	10.7	7.9	5.5
35	13.8	11.7	9.3	7.0	4.8
40	11.6	9.9	8.1	6.1	4.1
45	9.7	8.4	6.8	5.2	3.5
50	8.1	7.0	5.8	4.4	3.0
55	6.7	5.9	4.9	3.8	2.6
60	5.6	4.9	4.1	3.2	2.2
65	4.6	4.1	3.5	2.7	1.9
70	3.9	3.5	2.9	2.3	1.6
75	3.2	2.9	2.4	1.9	1.3
80	2.7	2.4	2.0	1.6	1.1

※白馬以北、中野・飯山以北に適用
 ※材積は長野県林分材積表等による
 ※評価集計値は、少数第二位切捨て



長野県内アカマツ林の二酸化炭素吸収量(t-CO₂/年・ha)

林齢	地位級Ⅰ	地位級Ⅱ	地位級Ⅲ	地位級Ⅳ	地位級Ⅴ
5	0.8	0.6	0.6	0.4	0.4
10	19.2	15.1	11.2	7.8	5.0
15	23.7	21.2	18.5	15.5	11.9
20	21.0	18.6	16.2	13.7	11.6
25	13.4	12.0	10.6	9.0	7.4
30	11.2	10.1	8.9	7.7	6.4
35	9.6	8.4	7.5	6.5	5.4
40	8.1	7.1	6.3	5.4	4.6
45	6.7	6.1	5.2	4.5	3.8
50	5.5	5.1	4.4	3.8	3.2
55	4.6	4.2	3.7	3.1	2.7
60	3.8	3.5	3.1	2.6	2.2
65	3.1	2.9	2.6	2.2	1.9
70	2.6	2.4	2.2	1.8	1.6
75	2.2	2.0	1.8	1.6	1.3
80	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1

※県内全域に適用

※材積は長野県林分材積表等による

※評価集計値は、少数第二位切捨て

長野県内ヨーロッパトウヒ林の二酸化炭素吸収量(t-CO₂/年・ha)

林齢	地位級Ⅰ	地位級Ⅱ	地位級Ⅲ	地位級Ⅳ	地位級Ⅴ
5	1.1	0.8	0.8	0.6	0.6
10	12.1	8.8	6.1	5.0	3.3
15	13.0	11.9	9.9	6.6	4.1
20	29.3	24.0	18.9	13.9	9.0
25	14.8	12.2	9.5	7.0	4.5
30	14.1	11.6	9.1	6.7	4.4
35	13.4	11.0	8.6	6.3	4.2
40	12.6	10.3	8.1	6.0	4.0
45	11.8	9.7	7.6	5.6	3.6
50	11.0	9.1	7.1	5.2	3.4
55	10.3	8.4	6.7	4.9	3.1
60	9.5	7.8	6.1	4.5	2.9
65	8.9	7.3	5.8	4.2	2.7
70	8.3	6.8	5.3	4.0	2.6
75	7.7	6.2	5.0	3.6	2.3
80	7.1	5.9	4.5	3.4	2.1
85	6.6	5.4	4.3	3.1	2.0
90	6.1	5.0	4.0	2.9	1.9
95	5.7	4.6	3.6	2.7	1.7
100	5.2	4.3	3.4	2.4	1.6
105	4.9	4.0	3.1	2.2	1.4
110	4.5	3.7	2.9	2.1	1.3
115	4.2	3.4	2.7	1.9	1.2
120	3.8	3.1	2.4	1.8	1.1

※県内全域に適用

※材積はドイツ国収穫表及び東京大学演習林報告第84号データ等から計算した

※評価集計値は、少数第二位切捨て



長野県内ナラ類の二酸化炭素吸収量(t-CO₂/年・ha)

林齢	地位級特 I	地位級 I	地位級 II	地位級 III	地位級 IV
5	1.1	1.0	0.9	0.8	
10	31.3	26.4	21.6	17.0	
15	16.3	14.8	13.0	11.1	
20	11.8	11.2	10.6	9.2	
25	8.0	7.5	7.0	6.7	
30	6.1	5.8	5.3	4.9	
35	4.6	4.4	4.2	3.8	
40	3.5	3.4	3.2	3.0	
45	2.6	2.6	2.5	2.3	
50	2.0	2.0	1.9	1.8	
55	1.5	1.6	1.5	1.4	
60	1.2	1.2	1.2	1.1	

※県内全域に適用

※ナラ類:コナラ、ミズナラに適用

※材積は長野県林分材積表等による

※評価集計値は、少数第二位切捨て

長野県内ブナの二酸化炭素吸収量(t-CO₂/年・ha)

林齢	CO ₂ 吸収量
5	0.8
10	13.0
15	14.7
20	14.9
25	11.4
30	9.7
35	7.3
40	6.9
45	5.5
50	4.6
55	4.5
60	4.5

※県内全域に適用

※ブナに適用

※樹高曲線は長野県林業総合センター研究報告第20号,2006による

※ミズナラ等主要広葉樹の用材林育成技術の開発,1988,農林水産技術会議事務局の密度管:

※評価集計値は、少数第二位切捨て



(3) 初期成長（1年生～10年生ままで）の成長量とCO₂吸収量

「長野県の森林 CO₂ 吸収評価認証制度」は、平成 28 年 1 月 1 日付けで制度改正（拡充）を行いました。従来、森林整備の実施により CO₂ 吸収量を認証できる対象施業は「間伐」だけでしたが「植林」、「除伐」を追加しました。

植林してから除伐の対象期間の CO₂ 吸収量の算定は、新たに各種の樹木成長モデルから最も適合性の高いロジスティック式を採用しています（図 4-116）、前掲の各樹種の 1-5 林齢の吸収量がこれに該当します。

$$\text{材積(m}^3\text{/ha)} = \frac{M}{(1+L \times \exp(-k \times \text{Yer}))} \cdot \cdot \cdot \cdot \text{Logistic}$$

ここで、

- Yer： 林齢
- M： 個体サイズの上限值
- L： 開始に係わる定数
- K： 速度定数

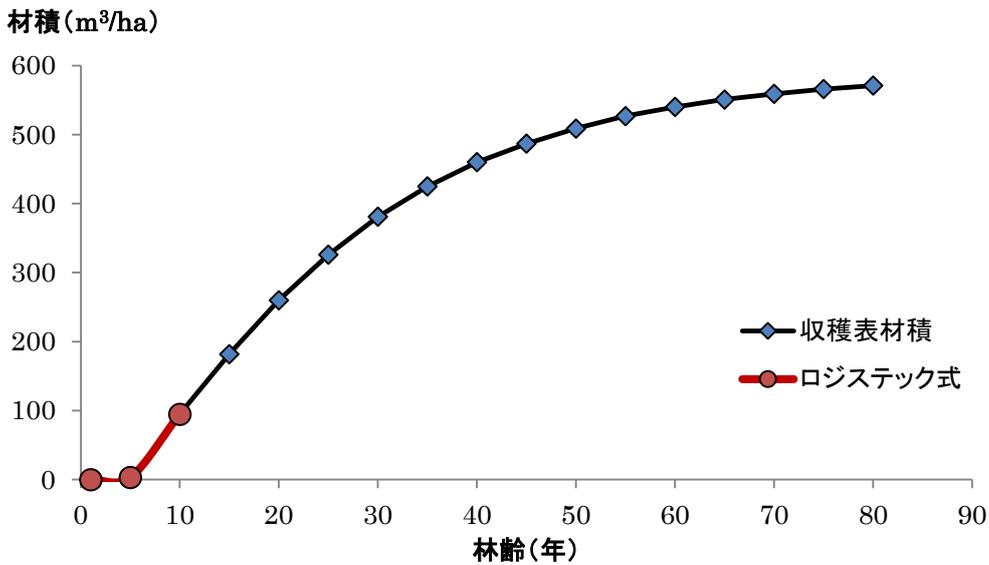


図4-116 初期成長（1年生～10年生ままで）の成長量算定基準
長野県内カラマツ林の地位級 I の場合