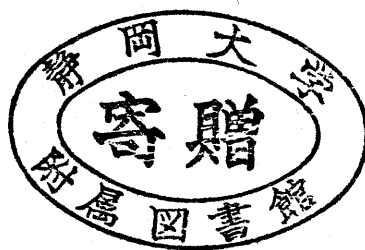


里山の森林景観の生態学的基本構造と その整備に関する総合的研究

(研究課題番号 11660144)

平成11年度～平成14年度科学研究費補助金 (基盤研究(C)(2))

研究成果報告書



平成15年 3 月

静岡大学附属図書館



030850571 8

研究代表者 藤 本 征 司

(静岡大学農学部附属地域フィールド科学教育研究センター)

野外ミュージアム「賑わいの森」

一森で何に出会えるか？

森は静か？ それとも賑やか？

何の気配もない「もの」の集まりが森なのではない。
もちろんそれは頭の中にしかないイメージでもない。

そうではなくて、森は、
そんな静かな「もの」やイメージに先立ってある、
様々な「出会いの連続」！

どこからともなく出沒した××との出会い、○○との別れ、
様々なざわめき、楽しい出会い、かなしい出来事、
そんな出来事が、時を置かず交錯して、
私たちに包む。
そんな賑やかな「出来事の集合」、
それが本当の森の姿！

森はいったい誰の「もの」？

Xの「もの」？ Yの「もの」？ Zの「もの」？

それともみんなの「もの」？

みんな違う！

森は「もの」の集まりではないのだから、

空や海や冥界と同じ、

誰の「もの」でもない世界！

誰のものでもないがゆえに、

都市のように賑やかな世界！

そんな賑わいを感じよう、考えよう、見つめ直そう、
そしてそんな賑やかな出会いの果てに、
勉めよう！

私たちの豊かな環境世界と、
そして私たち自身を、

レシビ（老婆心）

①川や沢が流れ、緑木林（広葉樹天然二次林）がけっこう広がる森林景観全体に目を向け、川下に収容規模の大きな「賑わいの広場」を配す。「広場」は都市と森の境界であり、人間と自然が互いに会いあうお祭り広場となる。

②「賑わいの広場」の一角に「賑わいの森」情報館を配す。機能重視のモダンな建築物とし、周辺には充分な緑を残す。

③広場の川上側に位置する森林景観を左右に二分し、より自然性の高い方を「原始の森」、田んぼなどがある方を「豊饒の森」に見立て、それぞれに若干の情景を提示。「原始の森」入口に配す景観は、それを置くだけで、単なる二次林主体の森が「原始の森」に見えてくるほどの巨木でなければならない。それと対照させる「豊饒の森」の山の神も同様で、それだけで、将来の豊饒が完全に保証されるような立派なものをこしらえる。ただし、ともに自然豊かなエコパークなので、さりげない演出が大切。

④古くから、林業後も、二つの森には実質的差異がほとんどないことになる。それでは何故、さして違いのない空間が敷いて二分されているのか？ 違いは名ばかりで、しかも、それぞれが、「原始の森」「豊饒の森」と呼ばれるには程遠い空間であって、むしろ、自然環境からの非難や疑問が湧き、論争を呼ぶ。従って、論争を呼び寄せるための仕掛けに過ぎないと考えてもよい。また、人間と人間、人間と人間が話し合えず、深く対立しあっている様子を暗示するだけで十分と解釈することもできる。以上のように考える場合は、二つの森の「違い」にはさしたる意味はないことになる。それに対して、来るべき時代の「自然-人間」共生系において、その共生と融合が期待されているが、現状では、互いに引き合いつつも、相対立させるような二つの目録（自然自体の本来性との関係と人間にとっての豊かさの？）の象徴のようなものとして取り扱うことも可能である。そう解釈すると、将来、この二つの森が成熟しつつある時、新時代の森林風景が自然のまじり合いによって生まれることになる。

⑤二つの森が出会う「海上の丘」は、山頂など見晴らしのよいところに設ける。二つの森は単なる「森」の壁に過ぎないが、共に今般な状況にあるので、当面は、出会い合っても何も生み出せず、矛盾ばかりが露呈する。ここで出会うのは、奇岩群、「ザクザク山」など、正体不明のオブジェばかりのようである。

⑥つまり、境界領域に位置する「海上の丘」では、事物の持つ意味の両義化や多義化が生じ、例えば、二つの森の中では球状に「お宝」もしくは「ゴミ」であったものが、「お宝」かつ「ゴミ」、もしくは、「お宝」が「ゴミ」かきさ不明のものへと転化する。すると事物は、結果的に、捨てても惜しくない「お宝」、もしくは捨てても構わない「ゴミ」となって、ここに配置される？ ここに、赤土記念石をポイントできる「ザクザク山」と「ゴゴゴ山」が設けられるのもそのためらしい。

⑦「ザクザク山」「ゴゴゴ山」もまたこのような両義的もしくは意味不明な構造物として配される。球状に、山頂から、地上の森、都市や空や海、さらには冥界までも見渡す「空海」は、すでに地上の矛盾をふまにするだけの力量を持っているのかもしれない。頂のデッペンに描き付けられた「森」のイメージが、例えば、いま問題になっている「脱炭素（脱炭素）の生活」なども頻に見守ってゆくことになる。自然環境は炭素の最も重要な源とされる分野のひとつであり、さらに森林を取り巻く地球環境のグローバルな保全にも重要な役割を果たしていることになる。しかし、もちろんそれだけで、人間と自然の真の和解がもたらされるわけではなく、そればかりが、「空海」のこれ見よがしの面相と、近代科学を地味にやうな仕切りたり星の性格は、真の和解の最大の障壁ともなりかねない。もちろん「空海」は、そんな危険も充分察知している。その高い能力にも関わらず、彼が、単なるキノコ、単なる「巨大ゴミ」とも思われかねない異形のオブジェ、さらには「賑わいの森」情報館の単なる壁に甘んじているのもそのためらしい。しかしそんなことを知る「空海」をもってしても、たぶん、自然と人間の真の和解が遠い道であることに変わりはないわけだ。

⑧しかし、森での様々な出会いと無関係なお祭りの果てに、時代の想や思考パターンがリフレッシュされはじめ、さらには、二つの森が成熟してゆくにつれ、やがて両森が同じになる。二つの森、そして自然と人間の関係が本当の意味で和解しあう、そんな時代がやがてやってくるに違いない。すなわち、そんな時代への期待をこめて設けられるモニュメントが、賑わいの広場の一角を占める「巨大石」である。「巨大石」は、単純な石に過ぎないが、実は「賑わいの森」全体の隠れたシンボルであるらしい、文字通りお祭りの中心舞台となる。

⑨森は「自然」が空間なので、そこにはいかなる不法侵入も阻止しようとするような、強力なバリアがあらがじめ張り巡らされていることになる。けっこうな入館料を徴収されたうえに、きつい山道を歩かされる。監視は完全なバリアであり、山の神もまたバリアとして機能する。しかしバリアがバリアであることは、森も出入り可能なバリアの空間であることも同時に意味する。従って、このようなバリア-バリアの果ての空間に充分留意して、修業やバリア対策にも工夫をこらす必要がある。賑わいの広場や情報館は出る限りバリア-バリアとするが、二つの森の中には、ここからバリア-バリアのための設備は設けられない。「原始の森」では、部分的にはかなり歩みにくい箇所も残される。また、小型乗用車（乗客専用）を情報館から「空海」まで敷設するが、このバリア-バリアには、二つの森を分断するバリアとしての役割も持たせることにする。これは、むしろバリア-バリアのバリアであると同時に、バリアのバリアでもあることを意味する（バリアの問題は、さけて通れないのなら、この問題については議論してはどうだろうか？）。



⑩森は究極的には出入り自由な賑やかな世界であり、それは「原始の森」でも同様である。従って、例えば「原始の森」に針葉樹の人工林がかなり存在している、なんら問題はない。本館の「原始の森」とは、人間の庇護下におかれ、人間の影響を極力制限・排除する方向で管理されているような森で決まっている。人間からの影響を極力排除しているにもかかわらず、それをもっともしないで逆に森のことなのだ。本来その空間によって距離のない自由な空間にしようとは寛容な自然が本来の自然なのだ。従って、例えば「原始の森」とは、人間によって略奪自由、ゴミの捨て自由の空間だったはずなのである。このような観点に従うと、人間の庇護下にあるいわゆる「原始の森」などよりも、略奪されながらも力強く（あるいは）樹木林や、略奪空間として造成されながらも人間のお荷物となり、粗大ゴミ（同様の取り扱いを受けながらも）存在を顕示し続けてきた針葉樹人工林などからなる里山の森林風景の方が、はるかに「原始の森」に近い存在だったのかもしれない。以上のように考えていくと、例えば針葉樹人工林を眺めていると、針葉樹の方が広葉樹よりも、地質学的にずっと古い（ア）の森林なのであり、その意味では、針葉樹を含む森はそれだけで山並み（原始の森）なのではないかと思える。

⑪しかし、こんな森林風景が、「原始の森」と呼ぶには、森があまりにも未熟に過ぎるということも明らかである。だから、森を永年に渡り育ててゆく努力が必須となる。とにかく巨木の森に育てていこう。広葉樹も大切だが、針葉樹も大切だ。針葉樹あつての「原始の森」なのだから、だから針葉樹も育てて、もうはたして巨木にささえ出さぬような豊かさを築いていこう。それから、「豊饒の森」の森だって同じことだ。針葉樹の巨木が林立してこそ「豊饒の森」と呼べるはずだ。「豊饒の森」の針葉樹は半入力を完全に、枝打ちもなくなり進めていこう。そんな試みから、たぶん新時代の「原始の森」と「豊饒の森」の一端が浮かび上がってくるに違いない！これが「賑わいの森」作りの最良の処方箋である。

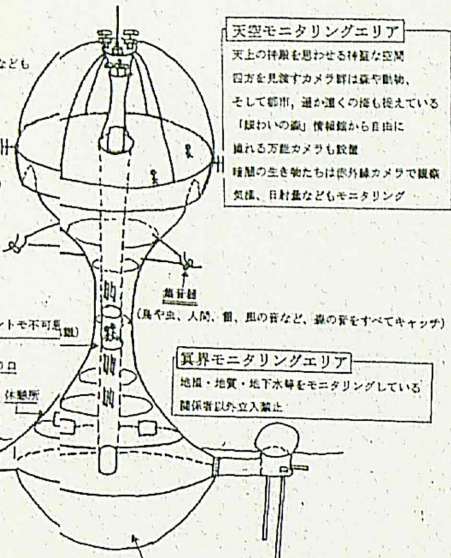
モニタリングマッシュルーム

「空海」

天空の間

天空を見つめる透明なドーム
そこに登って、森林や海、空や海なども
眺められる

アンテナ（情報センターへデータを送信する）



冥界の間

地下を見つめる透明なドーム
土壌、岩石、土壌生物、きのこなども観察できる

中へ真っ暗な空間で冥界に出会えそうな
オンロイ空間

「賑わいの森」情報館

森林を巡る情報、特に森林とそれを取り巻く地球環境の総体の長期にわたる
情報の収集と発信を効率的に行なえる恒久施設。各種展示ホール、講演ホー
ル、情報館、研修室、研究室、情報処理室、読書室などを設ける。

目玉となる公開展示は、

① 超大型モニターによる「森の賑わいの」ビジュアル展示

「空海」や林内に設けたビデオカメラ群が撮影した映像のリアルタイム中
継や、夜の様子や何かが出た時の録画放映。生きだ土壌動物やキノコ
などの展示（画面いっぱい、拡大され動き回るおどろおどろしい土壌動物
の群れ。キノコの傘が開いていく様子などを早速送り画面で）。

② 「森林環境の変遷」のパネル展示

森のはじまり（石炭紀の森）、裸子植物の森から被子植物の森へ、人間が
まだ夜行性の小動物であったころ、森からの流離、森と人間の競争と共生、

超環境な時代の森、誰のものでもない世界から所有化された空間へ。

③ 「これが新時代の森林風景（里山）だ！」

多くの人に、来るべき森林風景をメディア自由で描いてもらう。

はしがき

本研究は文部科学省科学研究費補助金（基盤研究 C(1)）の交付を受け展開されたものである。研究組織交付額などは下記の通りである。

1. 研究組織

研究代表者：藤 本 征 司（静岡大学農学部附属地域フィールド科学教育研究センター）

研究協力者：佐 藤 守 俊（静岡大学大学院農学研究科）

金 子 智 明（ 〃 ）

徳 永 咲 子（ 〃 ）

2. 交付決定額（配分額）

（金額単位：千円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合 計 |
|----------|------|------|------|
| 平成 11 年度 | 1800 | 0 | 1800 |
| 平成 12 年度 | 500 | 0 | 500 |
| 平成 13 年度 | 500 | 0 | 500 |
| 平成 14 年度 | 500 | 0 | 500 |
| 計 | 3300 | 0 | 3300 |

3. 研究発表

（1）学会誌等

藤本征司・大江記代：森林景観に出現する動物相の長期観測—特に1996年から1997年の昆虫類・鳥類について—。静岡大学演習林報告、23、45～55、(1999)

藤本征司・若木 哲：引佐演習林の森林景観の生態学的基本構造—全域での林分動態の概略とマツ人工林分の推移—。静岡大学演習林報告、23、57～67、(1999)

（2）口頭発表

大江記代・藤本征司：森林景観に出現する昆虫類などの観測。46回日本林学会中部支部大会講演要旨集、32、(1998)

藤本征司・佐藤守俊・吉野知明：針葉樹のシュート形成と樹形、第46回日本生態学会大会講演要旨集、100、(1999)

藤本征司・佐藤守俊：モミの樹形形成パターン。平成12年度東北大学植物園利用研究成果報告書、13～14、(2001)

徳永咲子・藤本征司：高木性広葉樹の樹形形成パターン。49回日本生態学会大会講演集、241、(2002)

（3）出版物

藤本征司：静岡大学上阿多古演習林での試み。森の公開講座(東京農工大学編)、291-296 (1999)

藤本征司・他5名：野外ミュージアム「賑わいの森」—森で何に出会えるか。ここからはじまる森世紀 2005 年日本国際博覧会に関するアイデア事例集、44、(2000)

目 次

| | |
|-------------------------------------|----|
| I. はじめに | 1 |
| II. 常緑針葉樹の樹形形成パターンの定式化 | 4 |
| III. 高木性広葉樹の樹形形成と成長戦略に関する定量的研究 | 19 |
| IV. 里山域の森林景観の構造と整備—上阿多古フィールドでの事例研究— | 40 |

I. はじめに

1. 研究目的

暖温帯里山域には、通常、スギ、ヒノキの一斉造林地が大面積に広がるが、広葉樹二次林やマツ林が成立している場合が多いが、広葉樹二次林などはもちろん、針葉樹人工林の場合でも、木材価格の低迷や労働力不足が災いして、充分な手入れが進まず、半ば放置された状態にある場合も少なくなく、不成績造林地も認められる。また、そのため、各地で里山林の復元・整備等が企画・実行されているが、これまでのところは、たぶん試行錯誤的で、里山域の森林景観構造の十全な把握と、それを通じた今後の里山域のあるべき管理や整備の方向性の抽出を前提とした試みには至っていない状況にある。また、その前提となる基礎理論の構築においても、不十分な状況にあったと考えられる。そこで本研究では、以上のような現状認識に従い、次世代の里山域景観の抽出を目的とし、森林景観の基礎理論の構築や研究対象地森林景観構造の現状分析などを行ない、その結果を参考にし、事例対象地の今後の管理や整備の方針などについて検討することにした。

森林景観に関与する要素には、そこに適応し、住み着いている競合・定着的要素以外に、針葉樹類などのような、必ずしもそこに住み着かず、広い範囲を行き来する非競合・非定着的要素も存在する。またこの2つの要素の違いは、樹木においては、樹形の違いに帰着し、樹形の違いは分枝パターンの違いや展葉パターンの違い、さらには冬芽構造の違いにつながっている。また、森林景観は、本来的には「森林を巡る出会いの連続（出来事の集合）」として捉えられるが、それには、以上のような針葉樹などの非定着的な要素の存在が大きく関わっていると考えられる。本研究では、まず、森林景観の生態的基本構造を理解するうえで重要な意味を持つにもかかわらず、これまであまり取り上げてこなかった針葉樹類を中心とした高木類の生育・更新様式やその基本となる樹形形成パターンの解析や、樹木以外の要素からの検証などを行なうことで、前報（藤本、1998）に引き続き、基礎理論の完成をめざす。またこのような基礎理論や詳細な現況調査や追跡調査の展開を前提として、対象地についての整備計画案を策定することも本研究の課題となる。

自然環境の変貌に対応して、近年、国の内外を問わず、里山のような人為的影響を強く受けた複雑な実空間を景観として捉える景観生態学的研究が活発に展開されるようになり、その成果には大きな期待が寄せられている。しかし、この方向は、研究分野として新しいこともあり、その学的対象である「景観」概念についての共通認識には必ずしも到達していない。また景観を解釈するための生態学理論の検討も充分進んでいるとはいえない状況にある。本研究では、景観を「出会いの連続」的なものと見る、新たな景観像の確立が目指されており、また、申請者の、森林に関与する要素を、競合・定着的戦略者と非競合・非定着的戦略者に分ける考え方は、景観を説明する比較生態学理論として、これまでのr-K理論などの既存の類型区分よりもより有効性の高い理論と考えられる。従って本計画は今後の景観生態学の発展に寄与するところの大きい課題でもあったと考えられる。

2. これまでの研究経過・成果と本課題の着想

これまで、文部省科研「森林地域における酸性雨等地球環境モニタリング体制の確立」(5～7年度、代表者藤原滉一郎、同「高木類の生育更新・樹形特性から見た森林景観の基本構造の把握」(7～9年度、代表者・藤本征司)、特定研究「広領域分野における学術・教育資料の情報体系分析と情報資源化に関する基礎的研究」(8～9年度、代表者八重樫純樹)などの補助を得て、関連研究を展開してきた。

「森林地域・・・」では、森林景観の主体である高木類のフェノロジーや展葉パタンの観察を多くの樹種を対象にして行い、高木類から見た森林景観の構造の一端を抽出した。またタイムラップ装置付きのビデオによる森林景観に出入りする昆虫類などの動態の予備的観測を行なうことで、ビデオによって昆虫類などの出現パターン(森で何に出会えるか?)の一端が解析できることなどが示唆された。そして「高木類・・・」では展葉パターンや樹形特性の解析、森林景観の構造と推移についての実地調査などを行なうことで、森林景観が、競合・定着的要素だけではなく、必ずしもその場の構成要素とは言えない非競合・非定着的要素(漂白民的要素)も多数出入りする、開放的で多交通的な賑やかな空間として、さらには様々なものに出会うことのできる「出会いの連続」として捉えることが示唆された。また「広領域・・・」では、以上のような考え方に従って、森林景観関連情報のシステム化を図ることで、里山の森林景観の永続性が高いデータベースの構築が可能となることなどがわかった。

そしてこのような関連研究を進める中で、衰退の一途をたどっているように思える里山域の森林が、実際には、今だ生態学的に見て極めて大きな潜在力を持った空間として把握可能であり、従って、このような潜在力の抽出を計る基礎理論の確立を進めると同時に、それを生かす方向での整備計画を立てることで、これからの里山域のモデルとなるような活気ある森林景観(木材生産活動が活発に展開されていると同時に、様々なものに出会える本来の森林に近い構造を示す景観。新たなタイプの原始の森も含む)の造成が可能となるのではないかと考えるに至り、科研課題として申請し、本研究を展開することとなった。

3. 年度ごとの成果の概略

<11年度>初年度においては、事例対象地の最重要調査地である「原始の森」復元試験地ないの大面積固定試験地(3.96ha)の毎木調査を終了した。結果より、試験地の種数が豊かであること、また、現時点では、種多様度は、決して高いとはいえないが、今後、除・間伐を繰り返すことで、多様度が確実に高くなることなどがわかった。そのほか、比較対照となる「生産の森」内のヒノキ人工林・モミ天然更新地(約0.9ha)の調査なども行なった。基礎理論の構築にとって重要となる樹形調査については、モミ、アカガシなど15個体程度を対象に解析を終了した。その結果、針葉樹の樹形は、枝条の現存量 $F(t)$ が時間 t のほぼ3乗に比例して増える傾向があることなどがわかった。「ビデオカメラ」による森林景観に出入りする動物相の調査については、すでに設置済みのビデオカメラシステムによる観測結果を取りまとめた結果、森林景観において出会える動物相についても、定着的な要素と非定着的な要素があることが示唆された。

<12年度>事例対象地の現況調査については、実施計画通り、「原始の森」復元試験地内大面積固定試験地を一部拡張し、毎木調査した。拡張面積は20m×20m区画5区画で、その結果、ヒノキの多い「へ」小班側、広葉樹二次林化が進む「る」小班側がそれぞれ約2haとなり、またそれぞれに100m×100mの比較試験地が設けられた。それを使って種数と面積(100～20000m²)の関係を分析した結果、「る」小班側の種数が、現時点では豊かであっても、まわりをヒノキ林により取り囲まれ、孤立状態となっているため、すでに頭打ち状態を示していることなどが明らかとなった。試験地全体を対象にした調査としては、フサザクラが更新していた自然性の高い沢沿いに26m×32mの新規プロットを設定し、稚幼樹も含めた毎木調査を実施した。また、稚幼樹調査については、20m×20m区画11区画を選定し、調査した。以上の調査から、試験地周辺を種多様性の高い森林として維持していくためには、ヒノキの間伐など、何らかの手入れが不可欠となるが、樹種の多様性を超えた自然性の豊かな森林に誘導していくためには、手を付けず保存して行く観点も重要となることなどが示唆された。温帯系樹種見本林の毎木調査については、全個体の直径の測定を終了した。また、「生産の森」の標準地調査についても、既存の標準地3箇所と新規標準地2箇所の毎木調査を行った。分枝パターンや樹形などの解析については、13種19個体で実施した。その結果、森林景観を、競合・定着的なものとは非競合・非定着的なものが織りなす空間として理解する基礎理論の妥当性がより一層高いものであることが示唆された。

<13年度>事例対象地の現況調査については、ほぼ実施計画通り、「原始の森」復元試験地内大面積固定試験地の一部拡張・毎木調査(20m×40m)、「生産の森」の標準地調査(ヒノキ造林地5箇所、スギ造林地3箇所)、天然生広葉樹二次林調査区2箇所、コウヨウザン人工林などの調査、引佐演習林の固定試験地の継続調査(予定の11箇所

中9箇所を終了)、稀少植物を含む生物多様性保全を目的とした新規プロット(20m×100m)の設定調査を終了した。さらに上阿多古演習林では、全域を対象とした大径木調査、マツ人工林調査等も行い、全林の現況把握のための現地調査をほぼ終了し、データを取りまとめた。その結果、森林景観全林を「生産の森」、「原始の森」および「情報の森」の3つの林種に区分し管理していくことを基本とする森林景観管理計画案の妥当性がある程度まで確かめられた。また、基礎理論構築のための樹形調査については、当該年度は高木類13種30個体を対象にした調査を終了し、生活形の面からみた森林景観の2大構成要素である高木性広葉樹類と常緑針葉樹類の樹形形成・生活戦略上の相違について、コスト・ベネフィットの観点から検討を加えた。その結果、t年目までの樹体を構成するすべての枝条の累積形成量(伸長量)を $f(t)$ とすると、高木性広葉樹の場合は、針葉樹と同様に $f(t)=L \cdot t^r$ で表せるが、rが針葉樹より小さく、平均で2.4程度であること、広葉樹の場合は、針葉樹と異なり、短い枝条ほど、単位長さ当たりの葉量が多くなるが、平均枝条長は揭示時間の経過とともに平均枝条長が短くなる傾向があるため、競合的な条件下で、針葉樹よりもはるかに光合成効率が高い樹形形成を行っているらしいことなどが判った。

<14年度>事例対象地の現況調査については、計画通り、上阿多古フィールド「原始の森」復元試験地内の未同定樹種の同定、当該フィールド全域の樹種別最大直径木の探査を終了したほか、天然生広葉樹二次林試験地(0.79ha)の未調査区域全域(約0.4ha)の毎木調査、里山景観型ビオトープ造成試験地(0.04ha)などの調査も終了した。その結果、当初予定していた当該フィールドの森林景観全域の概況把握が可能となり、旧来型の森林簿が更新できたほか、全域の種数が自生種のみで101種、小班毎の多様度指数 H' が0~5.75、全体のそれが1.7であることなどがわかった。引佐フィールドについても、固定調査区2箇所の毎木調査は実行できなかったが、その他については、計画通り、マツ枯れ調査、稀少植物保護区調査を実行したほか、モミ人工林調査なども行なった結果、全域把握が可能となった。高木類の樹形形成研究、同化器官・非同化器官量の解析についても、ほぼ計画どおり終了し、結果を参考にして、森林景観に関与する生物の生活戦略を2類型に区分する理論の妥当性のコスト・ベネフィット分析による検証を試みた。その結果、広葉樹型樹形を示すものの戦略が、定量的にも競合的とみなせる可能性が高いことなどがわかった。以上の結果を参考にして、次世代のあるべき里山域における森林景観の基礎理論の構築を行なうとともに、導いた基礎理論に従った、「生産の森」、「原始の森」および「情報の森」を整備指針とする事例研究対象地の整備計画案を作成し、暖温帯里山域を整備するにあたっての基本指針につき総合考察を加えた。

4. 本報告の構成

本報告では、前節で触れた一連の成果のうち、本章において、成果全体の概略について触れ、第2章で、針葉樹型の樹形形成パタンの特徴について、第3章で、針葉樹型と広葉樹型の樹形形成パタンの相違および広葉樹型の樹形形成パタンのコスト・ベネフィット解析の概略について、最後の第4章においては、2~3章より導いた基礎理論に従った暖温帯里山域の森林景観構造の把握とその整備に関する研究成果の概略について触れた。その他の成果については、はしがきに触れた研究発表一覧の文献等を参照されたい。また、本研究の基礎理論を集約して表現していると考えられる『野外ミュージアム「賑わいの森」—森で何に出会えるか?』(愛知万博国際アイデアコンペ応募作品)を見開きに綴じ込んだので、併せて参照されたい。

<謝 辞>

本研究は、我々の研究室(静大農学部附属地域フィールド科学教育研究センター・森林学研究室)の卒業・修了生、在学生の諸君(佐藤守敏、有高泰行、櫻井良樹、岩瀬明子、金子智明、大辻希代美、徳永咲子、寺嶋泰子、佐野智一、土江奈緒美、大橋紀子、吉藤祐子)との共同研究による成果である。特に、第2章、第3章は、それぞれ、佐藤守敏君、徳永咲子さんの修士論文を基にしたものであり、ほぼ原文通り掲載した。第4章の取りまとめに際しては、金子智明君と寺嶋泰子さんの卒論・修論の図表を採用した。また、本報告の考え方の基となる、見開きに綴じ込んだ「賑わいの森」は、佐藤君、有高君、櫻井君、岩瀬さんらとの共作であるが、特にイラストは、大半が岩瀬さんによるものである。これらの諸君、諸嬢に深謝したい。

<文 献>

藤本征司(1998):高木類の生育更新・樹形特性から見た森林景観の基本構造の把握.平成7~9年度科研報.

II. 常緑針葉樹の樹形形成パターンの定式化

1. はじめに

樹形形成パターンの違いは、樹冠の形状のみならず、同化器官や非同化器官の樹体内配分など光資源獲得戦略の違いや生育戦略の違いを表現しているため、樹木の適応戦略を知るうえで重要な意味を持っていると考えられる。そのため、これまでに、多くの樹種の樹形解析が試みられ、針葉樹についても、武藤・信岡(1975)、Kohyama(1980)、藤本・嶋田(1991)などの樹形解析がなされてきた。また、近年、コンピュータによる樹形のシミュレーション(Honda, 1971, Honda et al., 1981; Takenaka, 1994; Kurth, 1994など)が盛んとなり、針葉樹型の樹形の再現なども試みられ(Niklas et al., 1986; 久保田・角張, 1995; Perttunen et al., 1996など)、針葉樹の樹形形成に関わる知見も著しく増加してきたと考えられる。しかし、これらの情報の集積にも関わらず、針葉樹の樹形形成パターンには不明な点も少なくない。特に、広葉樹とは異なる針葉樹全般に共通した樹形形成特性については、Brownら(1967)による、頂部優勢(Apical dominance)が顕著というよりはむしろ緩やかで、頂部支配(Apical control)が顕著な突出型樹形(excurrent tree form; 単幹で、比較的幅の狭い円錐形の樹冠形を示す樹形)のあり方に求める考え方の提示以降は、特段の進展は認められず、特にその定量的解析において不十分な状況にあったと推察される。そこで、本研究では、典型的な針葉樹型樹形を形成する常緑針葉樹の1種であるモミ等の分枝パターンの解析などを通して、常緑針葉樹の樹形形成パターンの定式化・モデル化を試みた。

2. 材料と方法

調査は、静岡大学農学部附属地域フィールド科学教育研究センター上阿多古フィールド(標高300~430m)、同引佐フィールド(同180~200m)および東北大学大学院理学研究科附属植物園青葉山(同60~145m)でおこなった。主要解析対象としたサンプル木の概要を表1に示した。主要サンプル木は、モミ12個体、カヤ8個体、イヌガヤ4個体である。これら主要サンプル木については、樹高、胸高直径、樹冠幅、主軸(幹)の連年伸長成長量、樹齢等の基礎項目を調査したのち、樹体を構成する枝条の位置関係がわかるように樹形のスケッチをおこない、樹体を構成するすべての枝条の伸長量の測定、齢の査定を行なうことにより、樹形の発達を枝条の総伸長量で評価することにし、樹体を構成する枝条の現存量や当年生枝の現存量(形成量)を時間の関数に回帰させた。なお、大サイズのサンプル木については、すべての枝条の測定が困難であったので、樹体上部(4~6年分程度)のみを解析対象とし、下枝に関しては、代表的な一次枝(主軸から直接出ている枝)をサンプリングし、上記と同様の解析をおこない、他の一次枝については、その基部直径、生枝下直径、全長、生枝下長を測定し、相対成長関係を使って、その枝条の総伸長量等を推定し、樹体全体の樹形形成パターンの解析に供した。モミについては、さらに、被圧開放木2本、同被圧木20本、合計22本(樹高0.16~19.8m)を、補足サンプル木に選定し、樹体上部のみを対象として、主要サンプル木と同様の測定をおこなった。カヤとイヌガヤについても、補足サンプルを、それぞれ、4本および6本選定し、同様の測定を行なった。また、比較のため、上阿多古フィールドにおいて、広葉樹15種24本を選定し、樹体上部2年分の主軸と1年生一次枝の伸長量を測定した。モミ、カヤ、イヌガヤ3種については、樹形と枝条形成の関係をj知るために、静大上阿多古フィールドまたは引佐フィールドのサンプル木から枝条をランダムに採取して、それに着生する葉の乾重と枝条長との関係も調べた。なお、葉の乾燥は、約90℃約1週間の乾燥とした。また、本解析で用いた拡張相対成長式等への回帰分析については、STATISTICA・VER. 5.5(Stat Soft 社)の非線形回帰分析法を利用し、準ニュートン法により回帰させた。

3. 結 果

1. モミ

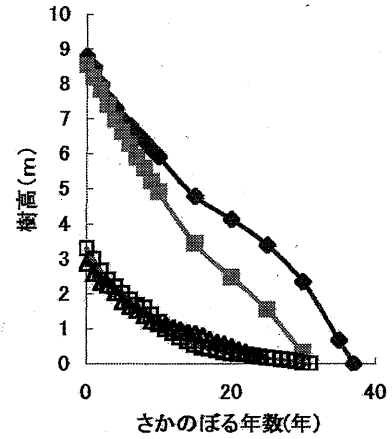
図-1に、樹高成長曲線を示した。若齢期を除くと、年間伸長量の形成年次による変動は比較的少なかったことがわかる。また、一次枝の形成本数の年次変動も少なく(図-2)、一次枝のその後の成長量(一次枝を構成する枝条の伸長量の総和)についても、加齢された下枝を除くと、形成年次による顕著な相違は認められないことがわか

表一 主要サンプル木概要

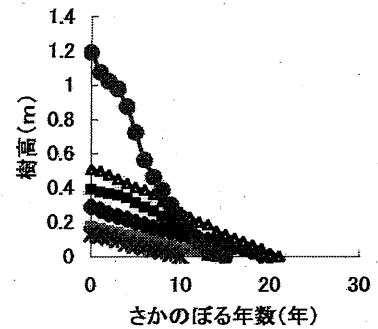
| 樹種 | サンプル数 | 平均樹高(最大-最小) |
|------|-------|-----------------|
| モミ | 12 | 2.29(8.80-0.13) |
| カヤ | 8 | 0.91(1.23-0.41) |
| イヌガヤ | 4 | 1.40(1.79-0.93) |
| 合計 | 24 | 1.68(8.80-0.13) |

表二 補足サンプル木概要

| 樹種 | サンプル数 | 平均樹高(最大-最小) |
|--------|-------|------------------|
| モミ | 22 | 1.75(19.80-0.16) |
| イヌガヤ | 6 | 0.88(1.60-0.43) |
| カヤ | 4 | 1.26(1.85-0.36) |
| アラカシ | 4 | 1.24(2.20-1.10) |
| コナラ | 3 | 1.40(1.50-1.20) |
| ヒサキ | 3 | 1.50(1.60-1.40) |
| アカシ | 2 | 1.20(1.30-1.10) |
| ミズナラ | 2 | 1.70(1.70-1.70) |
| その他広葉樹 | 10 | 1.63(2.40-1.00) |
| 合計 | 56 | 1.51(19.8-0.16) |



図一a 樹高曲線(モミ-被圧開放木)



図一b 樹高曲線(モミ-被圧木)

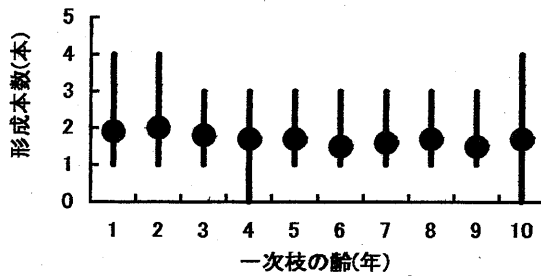


図-2 一次枝の形成本数

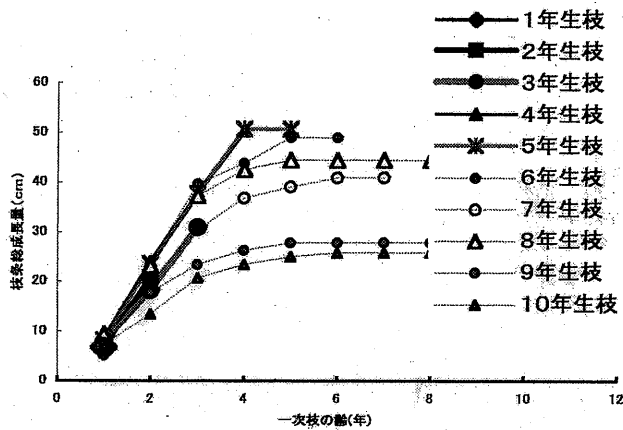


図-3 一次枝の齢と成長量の関係

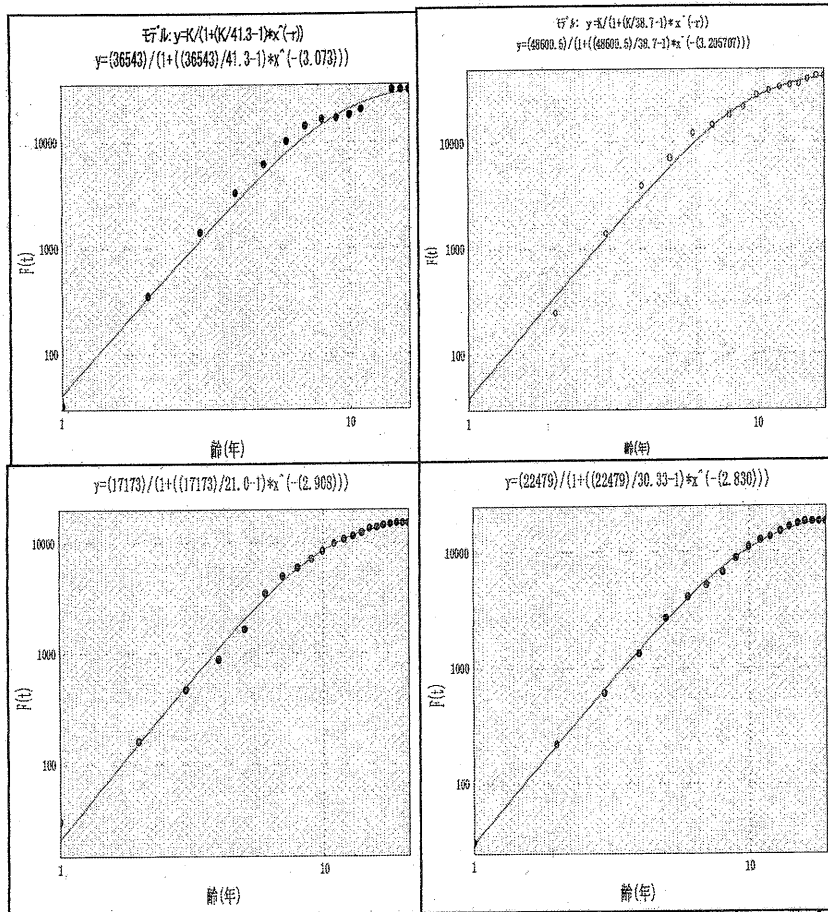


図-4a モミの齢と枝条の現存量の関係(被圧開放木)

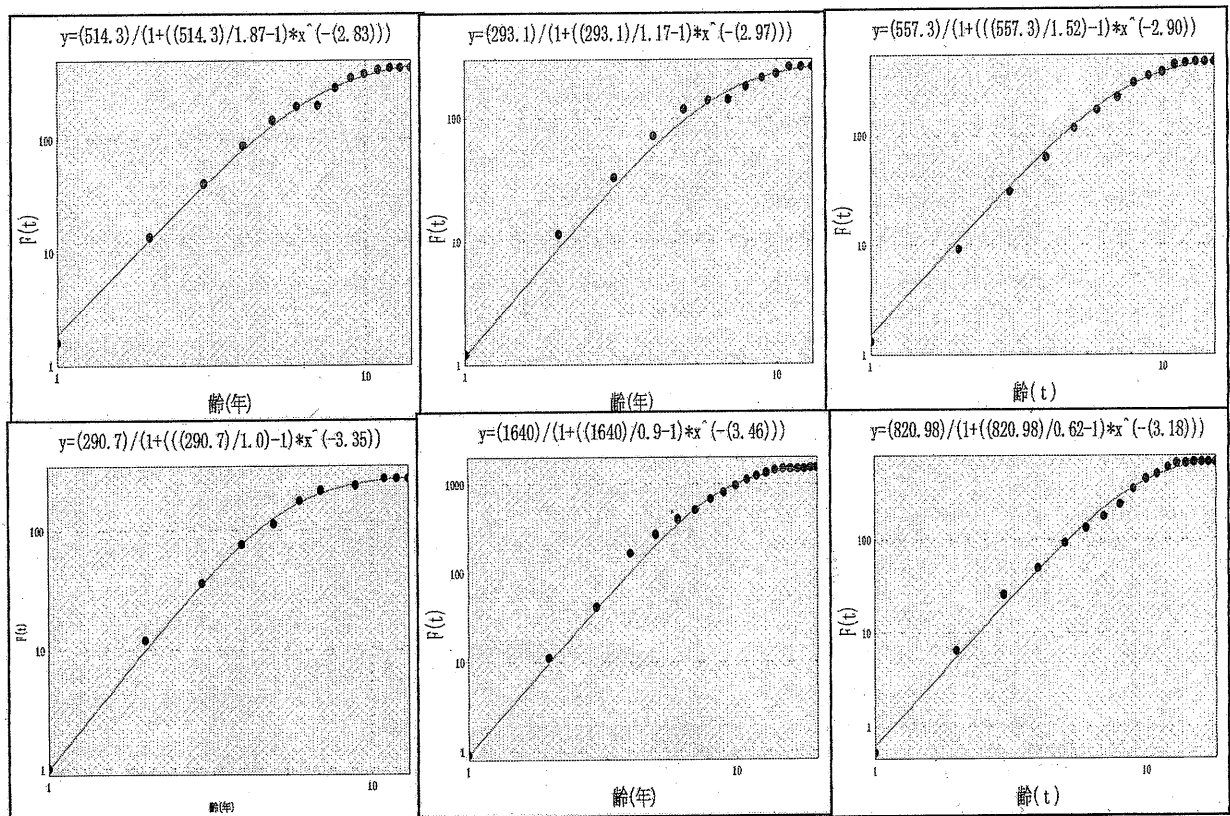
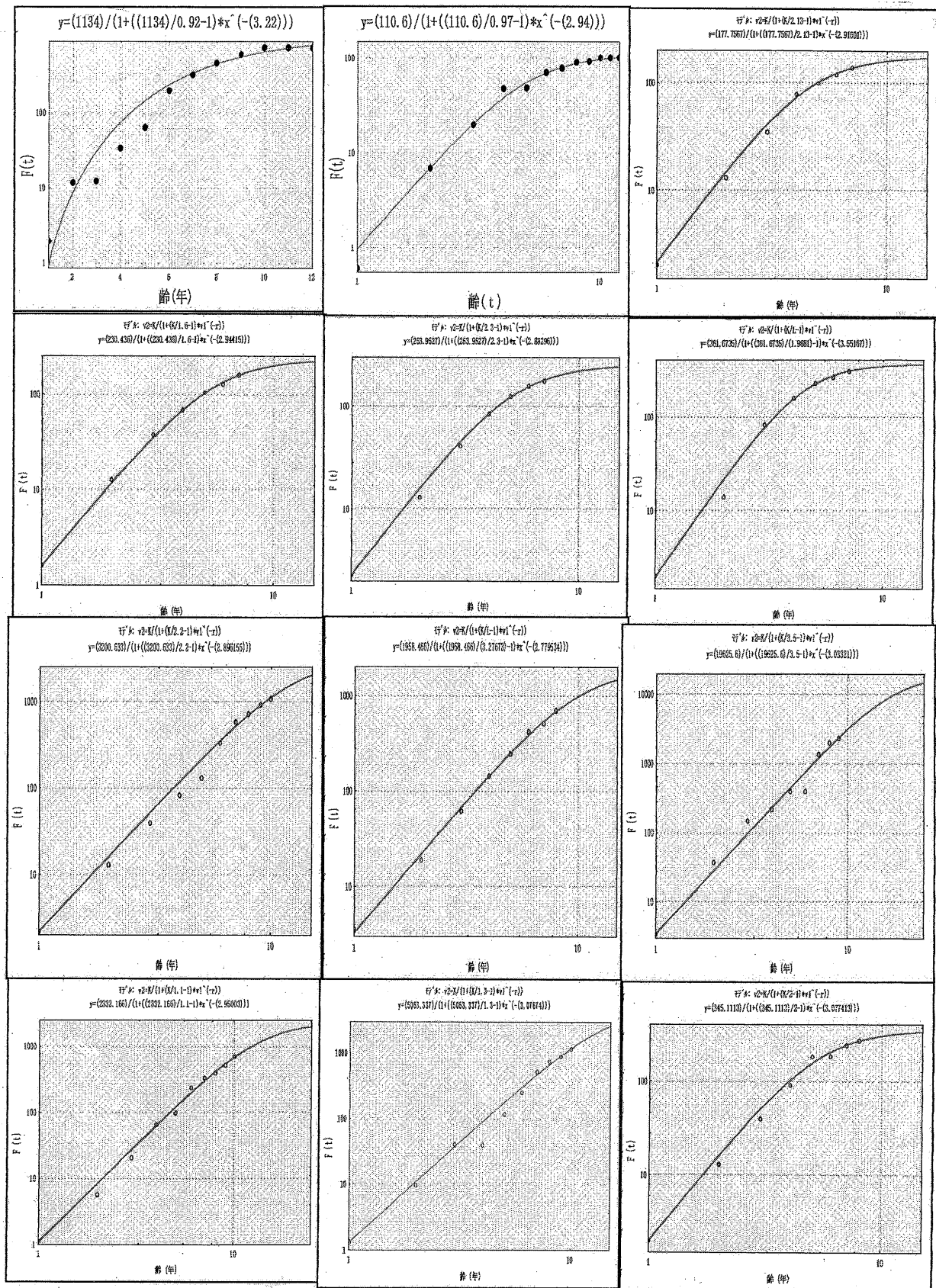


図-5 モミの齢と枝条の現存量の関係(被圧木)



図一6 モミの齢と枝条の現存量の関係(被圧木)

る(図-3)。すなわち、以上のことは、 t 年目に形成される主軸の成長量を $L(t)$ 、樹体の先端から t 年目の主軸の伸長成長量を $Lr(t)$ とすると、 $L(t)$ は、

$$L(t) = Lr(t) \quad (1)$$

で推定でき、また、 t 年目に形成されるすべての一次枝を構成する枝条の現存量(一次枝を構成する枝条の伸長量の総和)を $B1(t)$ 、樹体の先端から t 年目に着生しているすべての一次枝(すなわちすべての t 年生一次枝)を構成する枝条の伸長量の総和を $B1r(t)$ とすると、 $B1(t)$ は、ある程度まで、

$$B1(t) = B1r(t-1) \quad (2)$$

で推定できることを意味する。従って、 t 年目の樹体を構成するすべての枝条の伸長量の総和(以下、枝条の現存量と呼ぶ)を $F(t)$ 、樹体(主軸)の先端から t 年目までの樹冠を構成するすべての枝条の伸長量の総和を $Fr(t)$ とすると、

$$F(t) = \sum L(t) + \sum B1(t) \quad (3)$$

$$Fr(t) = \sum Lr(t) + \sum B1r(t-1) \quad (4)$$

なので、 $F(t)$ は、結局、ある程度まで、

$$F(t) = Fr(t) \quad (5)$$

で代替できることになる。また、(5)式は当年生枝だけを対象にしても成り立つので、 t 年目における樹体全体の当年生枝条の総伸長量(以下、当年生枝形成量と呼ぶ)を $fa(t)$ 、樹体(主軸)の先端から t 年目までの樹冠を構成するすべての当年生枝の伸長量の総和を $far(t)$ とすると、 $fa(t)$ は、

$$fa(t) = far(t) \quad (6)$$

で見積れることになる。

図-4~6に、(5)式を仮定して求めた枝条の現存量 $F(t)$ の増加曲線を示した。 $F(t)$ は、どのサンプルでも、 t がある程度まで小さい間は、単純相対成長式(累乗式)、

$$F(t) = L t^r \quad (7)$$

に従って増加し、さらに加齢された場合も含めると、 K 点を持つ拡張相対成長式、

$$F(t) = K / \{1 + (K/L - 1) t^{-r}\} \quad (8)$$

で近似できた。ここで、 L は主軸の年平均伸長量で、被圧の有無により、値が大きく異なっていた。 K 値も同様であった。それに対し、 r は相対成長率を示すパラメータで、サンプルによりばらつきはあったが、被圧の有無に関わらず、3に近い値を示していた。当年生枝形成量 $fa(t)$ についても同様の傾向が認められ、 $fa(t)$ も、 t が充分小さいうちは、単純相対成長式に従って増加し、加齢された場合も含めると、拡張相対成長式で近似でき、その r 値も3に近かった(12本の平均で2.99)。

2. 他の針葉樹・広葉樹樹種との比較

カヤやイヌガヤには、数年に一度しか主軸が成長しないといった特異な成長リズムが認められた。しかし、その成長間隔(p ; p に一度成長する場合)と成長する年の成長量がほぼ一定であったため、長い生育期間を通してみると、モミと同様に、ほぼコンスタントに樹高成長していると見なせる(図-7)。また、一次枝の形成本数や、一次枝のその後の成長についても、モミと同様に、常に同様の樹形形成を繰り返す傾向がある(図-8、図-9参照)。その一例を図-8と図-9に示した。従って、モミと同様、ある程度まで、 $F(t)$ は $Fr(t)$ で代替できる。図-10および図-11に、 $Fr(t)$ からの推定である枝条の現存量 $F(t)$ の増加曲線を示した。図の通り、両樹種にも、モミと同様に、 t が小さい間は単純相対成長式、加齢されるに従い拡張相対成長式に従って増加する傾向が認められる。また、その r 値についても、モミと同様に、3に近い値を示していたことがわかる。なお、これらの樹種の場合は、上述したように、主軸が特異な成長リズムを示すため、モミのように任意の t では成り立っていなかったが、 p 年を1時間単位と考えて、 L に、年平均成長量ではなく、 p 年間の平均伸長量を当てはめ、 p 年ごとにその成長量を見ると(すなわち $t = p, 2p, 3p, \dots$ で考えると)、(1)式~(3)式が成り立つ。従って、これらの樹種とモミでは、ただ成長間隔が異なるだけで、基本的には同様の樹形形成パターンを示していると思える。

表-3に、補足サンプル木も含めた、モミ、カヤ、イヌガヤ、広葉樹類の r 値の一覧を示した。サンプルによるばらつきは大きかったが、モミの r 値は、平均値で見ると、被圧開放木、被圧木ともに、2.90、2.94と、どちらも3に近い値を示し、その平均値に有意差は認められなかった。総平均は、2.93であった。カヤ、イヌガヤについても、それぞれ平均2.91、3.00と、3に近い値を示していたが、広葉樹の r 値は、平均値で2.1と小さく、針

葉樹3種の r 値と有意に異なっていた。

3. 枝条長と葉乾重の関係

図-12に、モミ、カヤおよびイヌガヤの枝条長(L_s)と葉乾重 $Wl(L_s)$ の関係を示した。 $Wl(L_s)$ は、被圧の有無に関わらず、主軸を除くと、

$$Wl(L_s) \div a L_s^b$$

で表せ、 b はほぼ1に近く、葉乾重は枝条長にほぼ正比例していたことがわかる。

4. 樹形形成パターンのモデル化

以上のような結果に従って分析を進めることで、常緑針葉樹の樹形形成パターンの定量モデル化が可能となる。

まず、枝条の現存量 $F(t)$ は、結果より、 r を3と見なして、

$$F(t) = L t^3$$

で記述できる。一方、齢 t までに形成される枝条の総伸長量 $f(t)$ (以下、枝条の累積形成量とよぶ) は、

$$f(t) = \sum f_a(t) \\ \div \int f_a(t+0.5) dt$$

となり、 $f_a(t+0.5)$ は、 $f_a(t)$ と同様、拡張相対成長式で近似できるが、 r が小さくなり、ほぼ2となる(主要サンプル木12本の平均で2.07、被圧開放木4本のみの平均は1.95、被圧木8本の平均は2.13。図表省略)ので、 $f_a(t+0.5)$ は、

$$f_a(t+0.5) = K' / \{1 + (K' / L' - 1) (t+0.5)^{-2}\}$$

で近似できる。従って、これを積分することで、 $f(t)$ は、結局、

$$f(t) = K' (t+0.5) - (K' / L' - 1)^{0.5} K' \arctan\{(t+0.5) / (K' / L' - 1)^{0.5}\}$$

で記述できることになる。ここで、 L' は、 $f_a(t+0.5)$ の初期値なので、

$$L' = f_a(0.5) = L/4$$

である。以上のように、枝条の現存量 $F(t)$ と累積形成量 $f(t)$ が定まると、枝条の累積脱落量 $\sum D_s(t)$ や枝条の脱落量 $D_s(t)$ も、それぞれ、

$$\sum D_s(t) = f(t) - F(t) \\ D_s(t) = \sum D_s(t) - \sum D_s(t-1)$$

で定式化できるようになる。ここで、 $D_s(t)$ は、

$$D_s(t) = f'(t-0.5) - F'(t-0.5) \\ = f_a(t) - F'(t-0.5) \\ = f_a(t) - \{(K' / L' - 1) K' (t-1)^2 / \{(t-1)^3 + K' / L' - 1\}^2\}$$

と書きかえられるが、 t が充分小さいときは、枝の脱落が伴わないので、 $D_s(t)$ はほぼゼロであるが、 t が充分大きくなると、上式の右辺の値が低下し、やがてゼロに近づくので、 $D_s(t)$ が、枝条の形成量 $f_a(t)$ に近づく。

一方、すべての t 年生一次枝を構成する枝条の現存量 $B1r(t)$ も、

$$B1r(t) = F(t) - F(t-1) - L \\ \div F'(t)$$

で見積もり可能となるが、 $F'(t)$ は、

$$F'(t) \div f'(t) - D_s(t) \\ = f_a(t) - D_s(t)$$

なので、 $B1r(t)$ が取り得る最大値 $\text{Max}(B1r(t))$ は、 $D_s(t)$ がゼロの場合(すなわち、下枝にまだ脱落が生じていない場合)であり、その時、 $\text{Max}(B1r(t))$ は、

$$\text{Max}(B1r(t)) \div f_a(t)$$

と、やはり、 $f_a(t)$ とほぼ等しくなることもわかる。以上のことは、常緑針葉樹のように、当年生枝条の形成量 $f_a(t)$ の増加速度がほぼ頭打ちになってから、下枝の脱落が始まる場合は、 $f_a(t)$ がほぼ頭打ちとなった以降は、毎年、 $f_a(t)$ にほぼ相当する $\text{Max}(B1r(t))$ が樹体下部から脱落していき(すなわち、加齢され、枝条の現存量

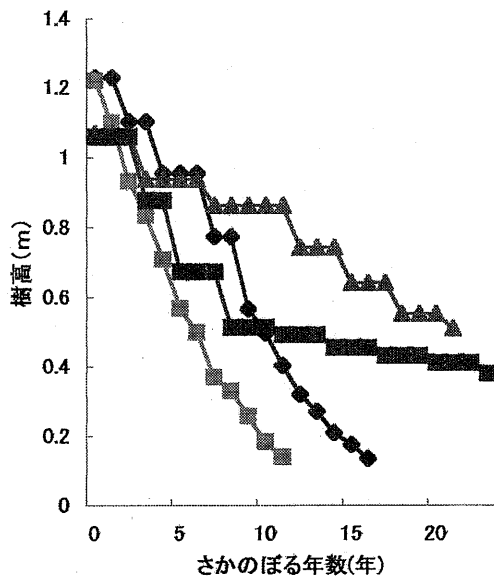


図-7a 樹高曲線(カヤ)

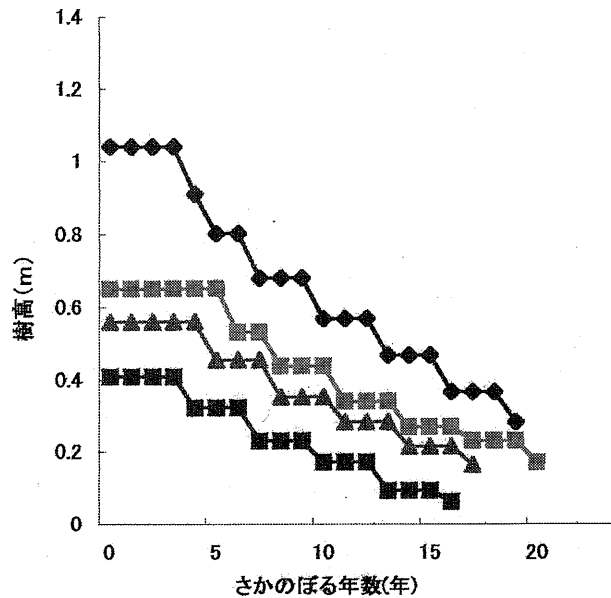


図-7b 樹高曲線(カヤ)

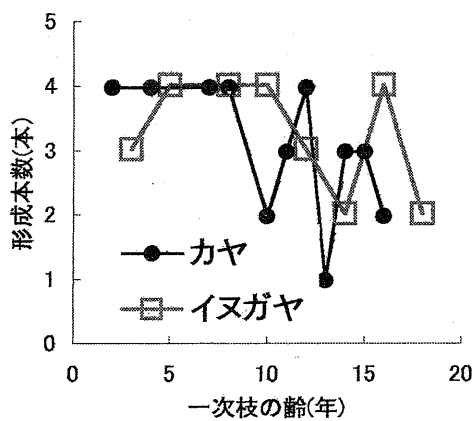


図-8 一次枝の形成本数

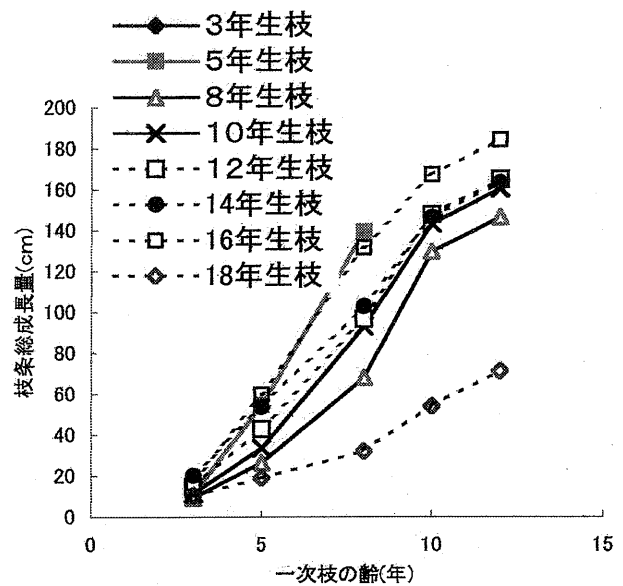


図9 一次枝の齢と成長量の関係(イヌガヤの一例)

表-3 r値の比較

| 樹種など | サンプル数 | 平均±SD |
|----------|-------|--------------------------------|
| モミ | 34 | 2.93±0.26 ^a |
| 〃(被圧開放木) | (6) | 2.90±0.24 ^b |
| 〃(被圧木) | (28) | 2.94±0.26 ^c |
| カヤ | 8 | 2.91±0.58 ^d |
| イヌガヤ | 8 | 3.00±0.33 ^e |
| 広葉樹 | 24 | 2.10±0.34 ^{a,b,c,d,e} |

* a,b,c,d,eとも $p < 1\%$ で有意差あり(t検定)

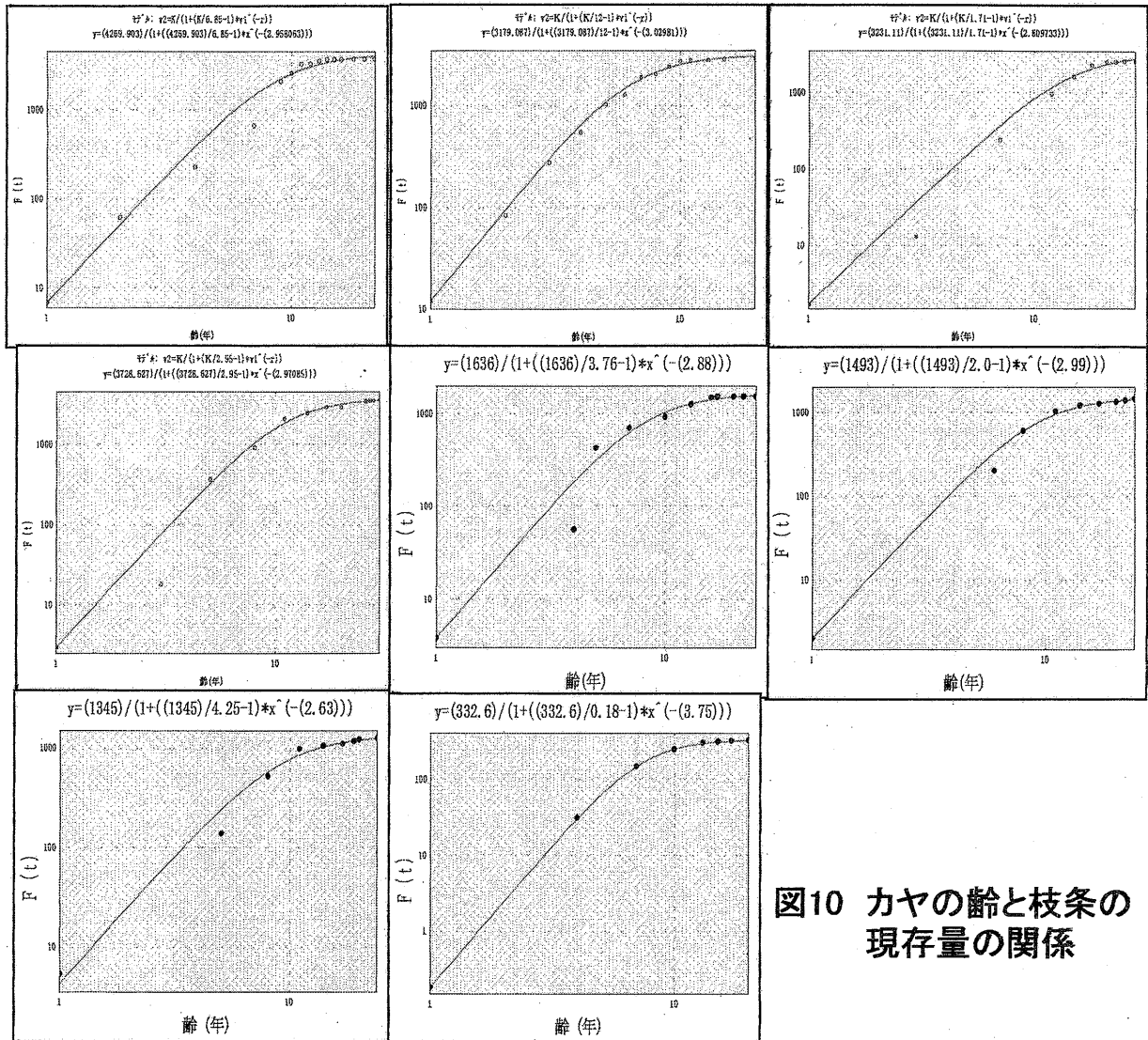


図10 カヤの齢と枝条の現存量の関係

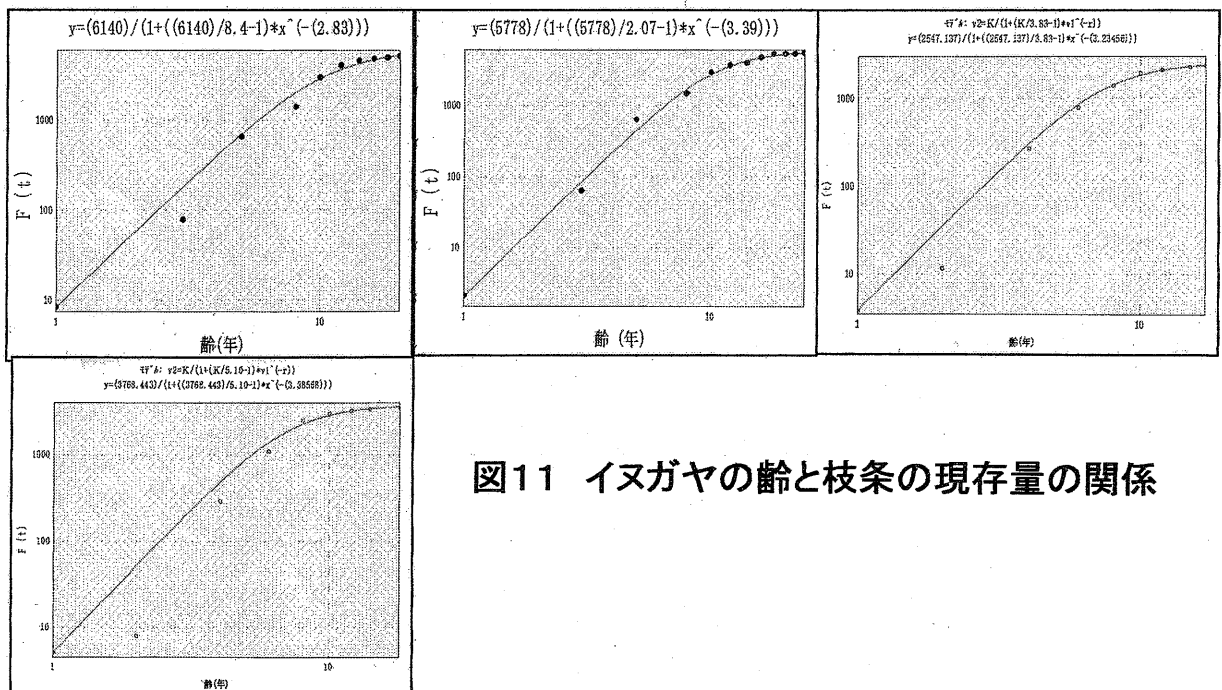


図11 イヌガヤの齢と枝条の現存量の関係

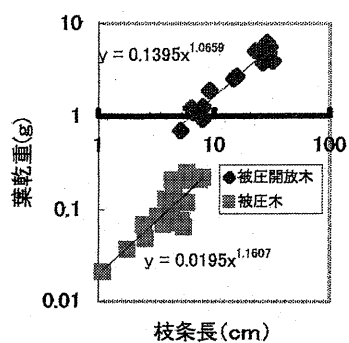


図12a 枝条長と葉乾重の関係(モミ)

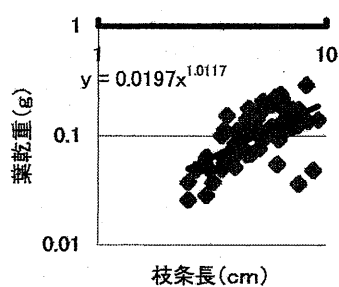


図12b 枝条長と葉乾重の関係(カヤ)

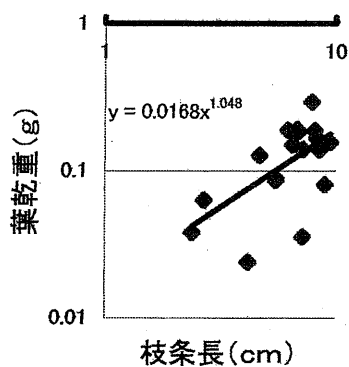


図12c 枝条長と葉乾重の関係(イヌガヤ)

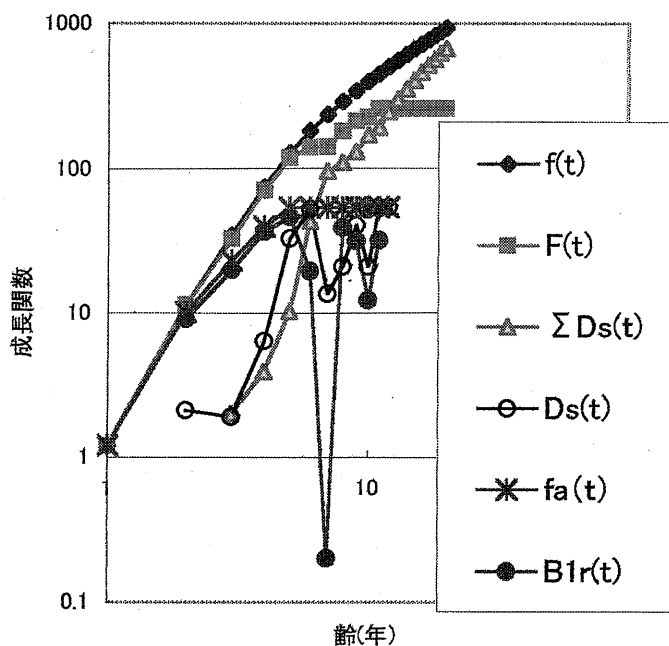


図-14 $f(t)$, $F(t)$, $\Sigma Ds(t)$, $Ds(t)$, $fa(t)$ および $B1r(t)$ の関係の一例

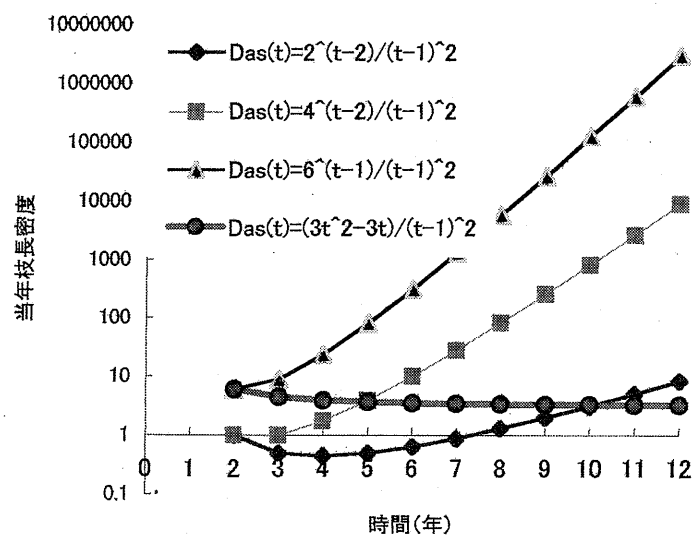


図-15 当年枝長密度の増加曲線

が $f_a(t)$ とほぼ等しくなった、下部に着生する一次枝から順次、毎年、ほぼ、1年分ずつ脱落していくといったリズムで脱落が起こり、結果的に、枝条の現存量がほぼ一定となることを意味している。葉の現存量、脱落量についても、同様に定式化できる。結果で示したように、葉量/枝条長比が枝条長によらず一定なので、これを k とすると、 n 年生葉の現存量 $Wln(t)$ は、

$$Wln(t) = k * F(t - n + 1)$$

となり、葉の寿命が定まると、葉の総重量も見積もれることになる。

図-14に、実測値より求めた、 $f(t)$ 、 $F(t)$ 、 $\Sigma Ds(t)$ 、 $f_a(t)$ 、 $Ds(t)$ 、 $Blr(t)$ の関係の一例を示した。まず、 $f(t)$ と $F(t)$ は、増加速度が低下するようになるまでは、極めて類似した相対成長曲線に従い増加しており、従って、枝条が盛んに脱落するようになるのは、 $f(t)$ の増加速度が低下し、およそ当年枝の形成量 $f_a(t)$ が頭打ちになってからであることがわかる。このことは、枝条の現存量 $F(t)$ が累乗的にしか増加しないのは、時間の経過とともに、自己被陰に伴う枝の脱落により生じるのではなく、枝条の形成量自体の増加速度の経時的低下に伴って起こっていることを意味している。しかし、さらに加齢されると、 $F(t)$ は、 $f(t)$ とは異なって、まったく増加しなくなり、 $f(t)$ をはるかに下回るようになる。すなわち、その差が枝条の累積脱落量 $\Sigma Ds(t)$ である。また、上述の予想通り、時間の経過と共に、 $Ds(t)$ が $f_a(t)$ に近づき、 $Max(Blr(t))$ が $f_a(t)$ とほぼ等しくなっていたことがわかる。

5. 考 察

以下に触れるとおり、以上において定式化した樹形形成モデルは、針葉樹型の樹形形成パターンのあり方や形態・生態的特徴をよく表現していると考えられる。

近年、Harper(1977) や White(1979) などの考え方に従って、樹形形成過程を自律的成長性を顕著に示す、枝条などの成長単位(モジュール)数の個体群動態的な増殖過程と見なし、樹形を解析する研究が盛んである。そして、このような考え方に従うと、一般に、自己被陰等の環境圧がかからない限り、成長単位の数やその成長量が指数関数的に増加し、その後、自己被陰が進むにつれ、その増加速度や成長速度が調節されたり、自己間引きが生じるようになり、密度が安定してくると見なされることになるが(Takenaka, 1994 など)、このようなプロセスによる密度調節には、物質経済的に見て重要な欠点がある。すなわち、最適密度に到達してから密度調節がなされることになるので、一般に最適密度に到達するまでに長期間かかってしまうことである(酒井, 2000)。

例えば、本研究で示したように、枝条の現存量 $F(t)$ が時間の3乗に従って増加する場合は、樹冠を構成する当年生枝量 $Fa(t)$ は、鉛直方向に伸びる主軸当年生枝を除いて考えることにすると、

$$\begin{aligned} Fa(t) &= F(t) - F(t-1) - L \\ &\cong 3L(t^2 - t) \end{aligned}$$

となり、ほぼ時間の2乗に比例して増加するようになるのに対して、樹冠の投影面積(ここでは真上から考えた)も、ほぼ時間の2乗に比例して増加するので、樹幹投影面積あたり当年枝密度 $Das(t)$ 、すなわち、

$$Das(t) \cong (F(t) - F(t-1) - L) / (t-1)^2$$

も、図-15のとおり、当初は多少高めであるが、早くから密度が安定し、最適密度を示すようになると考えられる。しかし、それに対して、当年生枝の総量が指数関数的に増加する場合には、以下に触れる通り、このような早期からの最適密度化が困難となる。すなわち、 $Das(t)$ は、枝が形成され始める時点である、 t が2の時のそれを1とすると、指数関数的に増加する場合は、

$$Das(t) \cong e^{k(t-2)} / (t-1)^2$$

となり、例えば、 $e^k = 2$ だと、図の通り、 t が4までは、 $Das(t)$ はむしろ経時的に減少していき、その後増加していくものの、最適密度と考えられる3.2程度に到達するのに10年もの期間が必要となる。 $e^k = 4$ だと、密度が減少傾向を示すことはないが、それでも最適密度に到達するまでに5年を要する。 r が3で累乗式に従って増える場合は、2年目に母軸の6倍の枝が形成されるが、これと同様のスピードで指数関数的に増える場合について考えると、

$$Das(t) \cong 6^{t-1} / (t-1)^2$$

となり、この場合は、最初から最適密度を超えており、枝が形成され始める以前から何らかの密度調節がなされ始めていなければならないことになり、結局、本研究で導いたような密度調節機構の前提が必要となる。なお、以上の論議は、当年枝のみについてのものであるが、葉を着生する若齢枝全体の密度についても同様の解釈がで

きると考えられる。また、常緑針葉樹の場合は、結果でも示したとおり、葉量が枝条長にほぼ正比例する (Shibakusa, 1977 ; 久保田・角張, 1995) ので、上記の議論は、葉密度に関しても同様に当てはまることになる。

樹形形成過程が分岐の繰り返し過程である以上、それが成長単位の増殖過程の側面を持っていることも確かだとしても、一方で、樹形の総体が、全体として有機的まとまりを持ったひとつの個体であることも明らかであり、本解析の結果は、このような、樹形形成過程を一つの個体の成長過程と見なす考え方の重要性を指し示している。以上のように、これまでの、指数関数的増加を前提とする樹形形成モデル (例えば竹中, 1996 ; Honda et al., 1981 など) では、下枝の成長の衰えを大幅に環境条件の低下に起因すると考え、環境条件の変化を組み込んでモデルを作るか、現実の樹形を記述する際に、環境変化による大幅な修正が必要であったが、本研究で導いたように、もともと枝は、環境圧がなくても、指数関数的には増えず、有機的統合性を示す樹体全体での相対成長規則によって密度が内部的に調節されているものと考え、物質経済的に考えても、より妥当性の高い説明が可能となると考えられる。なお、総合考察で触れるように、常緑針葉樹が被陰下で示す傘型樹形の形態学および生態学的意味の理解がより容易となることもまた、定式化したモデルの有効性を指し示すものといえる。

モミなどに認められた以上のような樹形形成パターンや樹形モデルは、Brownら(1967)の頂部優勢や頂部支配の考え方と絡めて理解することで、理解がより容易となる。また、このように考えることで、Brownらが提案した考え方の問題点の修正も可能となる。

まず、 $F(t)$ の r 値がほぼ 3 であることは、樹体先端部では、主軸の成長量の約 6 倍もの一次枝が形成されていることを意味しており、このような大きな r 値は、Brownら(1967)の意味での頂部優勢度合いの低さの量的表現と解釈できる。カヤ、イヌガヤの r 値が、同様にほぼ 3 を示していたことや、それに対し、広葉樹の r 値が有意に小さかったことも、高い r 値によって、頂部優勢度合いの低さが量的に示せることを示唆している。一方、 $F(t)$ が単純相対成長式に従って増加する場合は、樹冠の上半分と下半分を構成する枝条の総伸長量は、それぞれ、 $F(2^{n-1})$ と $F(2^n) - F(2^{n-1})$ なので、樹冠の上半分に対する樹冠の下半分を構成する枝条の総伸長量比 $R_s(n)$ は、

$$R_s(n) = \{F(2^n) - F(2^{n-1})\} / F(2^{n-1}) \\ = 2^r - 1$$

と、常に一定となり、かつ、 r が大きいほど $R_s(n)$ が大きくなり、 $F(t)$ が拡張相対成長式に従って増える場合は、

$$R_s(2^n) = \{F(2^n) - F(2^{n-1})\} / F(2^{n-1}) \\ = (2^r - 1) \{1/(K/L - 1) 2^{-rn}\} + 1$$

となり、ここで、 $2^r - 1 > 0$ 、 $2^{-rn} > 0$ 、 $(K/L - 1) > 0$ なので、経時的に $R_s(2^n)$ 値が小さくなり、かつ、 K/L が小さいほど、 $R_s(2^n)$ 値が大きくなるのがわかる。従って、頂部支配の度合いは、ある程度まで K/L 値によって量的に評価できることになり、 K/L 値が小さいほど、頂部支配の度合いが高くなると見なせる。

古くから、針葉樹型の樹形は、様々な類型概念により表現されてきた。すなわち、Ward(1909)やRaunkier(1937)による *fastigate* 型、鈴木(1952)によるヒノキ型、山田(1971)などによる針葉樹型など様々な類型概念が提案されてきたが、これらはすべて、針葉樹一般が示す、主軸の発達が顕著かつ明瞭で、枝の発達がそれほど顕著と見えない樹形の外形的特性に着目した類型であったといえ、そのため、必然的に、枝に対する主軸の成長における優先性、すなわち、頂部優勢(頂芽優勢、*apical dominance*)の弱さと関連付けられ、理解されてきたといえる。そして、Toumey & Korstian(1937)、Baker(1950)、Kozłowski(1964)などによる *excurrent tree form* (突出型樹形) もまた、もともとは針葉樹に認められる主軸の発達が著しい形状に着目した類型であったといえるが、Brownら(1967)は、針葉樹類に一般的な突出型樹形と広葉樹類によく認められる沿下型樹形(*decurent tree form*)の相違と頂部優勢度合いとの関連を検討し直し、主軸先端部で考える限り、むしろ、突出型の方が沿下型よりも、開芽する側芽の数が多く、側枝のその後の成長が著しいことなどから、前者の方が頂部優勢の度合いが低いと見なせること、従って、針葉樹一般に見られる樹冠の広がりやそれがそれほど顕著とはいえない樹形形成上の特徴は、低い頂部優勢度合いと関連付けて理解されるべき事象ではなく、主軸の先端部での頂部優勢度合いは低いが、その後、成長が抑制されるようになり、結果的に、樹体上部の成長量が樹体下部にくらべ顕著となる現象をさすことを指摘した。そして、このような現象を頂部優勢現象と区別し、頂部支配(*apical control*)と呼ぶことを提案した。しかし、このような指摘に従い、突出型の樹形を理解する傾向は増加しているものの(三浦, 1983 ; 藤本, 1985 ; 畑野・佐々木, 1987 ; Fujimoto & Miyakawa, 1991 ; Bell, 1991 ; Tomas, 2000 など)、その後、突出型樹形と沿下型樹形の違いの定量的解析がほとんど進まなかったことや、頂部優勢概念と頂部支配概念の関連が必ずしも明瞭ではなかったことなどもあり、Brownら(1967)以来の考え方は、必ずしも定説となるには至らず、結果的に針葉樹型の樹形形成パターンの理解を遅らせてきたと考えられる。

Brown ら(1967)による、頂部優勢と頂部支配を区別して、針葉樹型の樹形形成パターンの特徴を捉えようとする考え方は、極めて重要な考え方ではあったが、以上に触れたように、およそふたつの点において課題が残されていたと考えられる。ひとつは、頂部優勢概念と頂部支配概念の相互関係が必ずしも明快ではなかったことであり、もうひとつは、量的評価を欠いていたことである。すなわち、Brown ら(1967)では、頂部優勢は主軸先端部における現象を説明する概念であり、樹体全体で見た樹体上部の成長における優勢性を説明する概念が頂部支配であるとされ、これらは根本的に異質な事象と見なされているが、必ずしも、妥当な解釈とはいえない。また、頂部優勢や頂部支配の度合いを判断する量的基準が示されていないので、どの程度以上になると頂部優勢や頂部支配が強いもしくは弱いと判断してよいのが明確に判断できないことになる。それに対して、上述したように、頂部優勢度合いと頂部支配の度合いの判断基準を、それぞれ r 値と K/L 値に求めることで、はるかに両概念の関係や相違が理解しやすくなる。すなわち、頂部優勢の度合いは、 r 値によって量的に評価でき、 r 値が大きいほど、頂部優勢の度合いが小さくなるが、どのような r の値を取るかは、樹体の先端部のみではなく、樹体全体の形成にも関し、樹冠の上半分に対する樹冠の下半分を構成する枝条の総伸長量比 $R_s(n)$ は、

$$R_s(n) = \{F(2^n) - F(2^{n-1})\} / F(2^{n-1}) \\ = 2^r - 1$$

で表わされるので、 r 値が大きければ大きいほど、樹体全体で見ても、成長における下部の優勢度合いが高いと判断できるようになり、このように考えることで、頂部優勢は、頂部支配と同様に、先端部だけでなく、樹体全体にも関わる概念と見なせるようになり、両者の関係が理解しやすくなる。それに対し、頂部支配の度合いは、 K/L 値によって量的に K に評価でき、頂部優勢度合いが低いと、単純相対成長式に従って樹形を形成し続けると、樹高成長量/樹体成長量比が必然的に大きいため、同じ成長を示すためにかかるコストが r 値が低い場合よりも、はるかに多くなってしまい、また、同様に、必然的に、樹体の下部への同化産物の分配量が相対的に多くなってしまい突出型樹種が示す適応上の変形であり、高い頂部優勢度合いを示すことのもつ欠点を修正する意味を持った変形と見なせるようになる。樹体全体では、高い r 値に従って、枝条の量が指数関数的に増えるのではなく、最低限、時間の r 乗にしか増加しない状態に内的に抑制され、さらに、時間の経過とともに増加速度がさらに低下し、下枝ほど枝条の成長が抑制されるといった抑制傾向が、高い頂部支配の度合いのより具体的な中身と考えられる。

以上のように、モミなどに認められた樹形形成規則は、針葉樹型の樹形形成のあり方やその形態・生態的特徴をよく説明しうるものと考えられるが、残された課題も少なくない。

まず、第1に、本研究においては、年間樹高成長量を一定と見て、モデルを作ったが、発芽時から老齢化するまでの生活史の全過程を通してみると、樹高成長は一般に、S 字カーブを描き、たとえば、ミッチャーリッヒ型のリチャーズ関数で記述される(大隅・石川、1983)。従って、本解析で示した成長モデルは、樹高成長量が安定する、成長中期のみを対象とした特殊モデルに過ぎず、樹高成長量が変化する全過程を対象にした一般モデルの構築が必要となる。 $F(t)$ が累乗式に従って増加し、 L が一定だと、樹高の累積成長を h とすると、

$$h = L t$$

なので、 $F(t)$ は、

$$F(h) = h^r / L^{r-1}$$

と書き換えられる。従って、この h がミッチャーリッヒ式に従って増えていくと考えることで、 $F(t)$ は、

$$F(t) = A(1 - be^{-rt})^c$$

のようなミッチャーリッヒ型のリチャーズ式で記述できるようになると考えられるが、これは今後の課題といえる。針葉樹の解析対象樹種やサンプル数を増やし、精度を高めていくことや、広葉樹との比較をさらに進めること、肥大成長パターンも組み込んだモデルに変えていったうえで、コスト・ベネフィット解析を導入し、針葉樹型の樹形形成パターンの成長戦略上の特徴を定量的に明らかにしていくことなども、今後の課題となる。

6. 総合考察

針葉樹は古型の樹木であり、そのため一般に、歴史の中で広葉樹に対する相対的地位を低下させた分類群と考えられている(早田、1933; Chamberlain, 1935; 西田、1972; Miller, 1977; 西田、1998 など)。またその原因となった古型の形質や性質としては、以前は、裸子植物であること、動物・昆虫類との共進化的関係が希薄であること、仮道管しかもたないこと、効率の悪い花粉管、生活形の多様化が進んでいないことなどがあげられてき

たが、これらの基本にある、樹体形成の可塑性や柔軟性の低さにその理由を求める考え方も有力である (Takhtajan, 1976 ; Doyle, 1978 など)。しかし、このような樹体形成の可塑性や柔軟性のなさが、いったいどのような体制的特性に帰着するのかについては、針葉樹の示す独特の樹形 (藤本, 1993) に求める考え方などが提案されてきたものの、十分な解明がなされてこなかったと考えられる。特に、その定量的解明において不十分であったといえる。

本研究により、針葉樹の樹形形成が、枝条の現存量や当年枝の形成量が、単純もしくは拡張相対成長式に従って増加するといった、かなり制約性の高い規則に従って形成されていることが推察された。以下に触れるように、このような樹形形成上の制約は、針葉樹が示す成長戦略や生活戦略を大幅に規制しているものと考えられる。

例えば、針葉樹が被陰下で示す傘型樹形化も、一義的には、このような規則からの制約により生じる変形と見なせるようになる。

まず、傘型化の度合いを示す樹冠形指数 CSI (中村・小幡, 1982) は、

$$CSI = \log_2(L/B1)$$

で近似でき、ここで、B1 は当年生一次枝の平均伸長量であるが、B1 は、

$$B1 = (F(2) - F(1) - L)/n \\ = (2^r - 2)L/n$$

で求められ (ここで n は一次枝の年平均形成本数)、さらに、 n は、 L にほぼ比例するので (佐藤, 1999 ; 藤本ら, 1999 ; 藤本・佐藤, 2001)、

$$n = kL$$

となる。従って、B1 は、

$$B1 = (2^r - 2)/k, \\ \therefore CSI = \log_2\{kL/(2^r - 2)\}$$

となり、CSI は、 L が小さいほど小さくなることがわかる。すなわち、針葉樹は、本研究で導いた樹形形成パターンに従って樹形を形成していくと、環境条件が厳しくなり、 L が低下して行くと、必然的に傘型樹形化することになる。例えば、 k をおよそ 0.4 (佐藤, 1999)、 r を 3 とすると、

$$CSI = \log_2(L/15)$$

となり、 L が 15 cm を超えなければ、 $CSI > 1$ とならないが、 $L > 15$ といった大きな伸長量を維持していくためには、極めて大きな同化産物の消費が必要となるので、被陰下では、 $L < 15$ となり、必然的に傘型樹形化することになると考えられる。

針葉樹が示す傘型樹形は、一般には、被陰下で示す適応的意味を持った可塑的変形と考えられているが (例えば、Kohyama, 1981)、以上で示したように、一義的には、いつかの規則や関係式からの強い制約を受けて形成される、むしろ固定的な樹形形成の現われといえ、その持つ生活戦略上の意味は大きいと考えられる。それに対して、多くの広葉樹の場合は、例えば、高い樹体の再構成 (reiteration) 能力を示し (Halle ら, 1987)、また、短い枝条ほど葉量/枝条長比が大きくなる (八木, 2000 ; 徳永・藤本, 2002) など、針葉樹よりはるかに柔軟な樹形形成を行っていると思われる。もしそうであるならば、針葉樹の示す以上のような樹形形成パターンは、Grime (1977, 1979) の意味での競合圧の高い環境条件下 (中間的な光条件下など) では不利なパターンと見なせるようになる。

最後に、スギに見られるような、自由成長 (free growth) をおこない、腋芽がその年の内に開芽し、さらに 2 次枝、3 次枝を形成して、1 生育期間内に樹形を形成するといった、primary な分枝パターンを示す樹種にも、本研究で示したような、モミなどと同様の樹形形成規則が認められていることは (佐藤, 1999)、針葉樹型の樹形形成パターンの古型性を示唆しており、進化生物学的に興味深い事項といえる。このような、針葉樹の樹形形成パターンの持つ、進化生物学的意味について検討していくことも、今後の極めて重要な課題のひとつとなると推察される。

7. 摘 要

1. 常緑針葉樹の樹形形成パターンの定量的理解とその生育戦略上の意義の把握を目的として、典型的な針葉樹型の樹形を形成するモミの樹形形成パターン、特にその分枝パターンの解析とその他の幾つかの常緑針葉樹と広葉樹の比較解析をおこなった。
2. モミには、枝条の現存量 $F(t)$ (現存する枝条の総伸長量) が、 t が充分小さい間は、単純相対成長式 (累乗式；

$F(t)=L(t)$ 、さらに加齢された場合も含めると拡張相対成長式($F(t)=K/(1+(K/L-1)t^{-r})$)に従って増加する傾向が認められた。ここで、 L 、 r および K は定数で、 L 値と K 値は被圧の有無により大幅に異なっていたが、 r 値は被圧の有無に関わらず3に近かった。また、当年生枝形成量 $fa(t)$ も同様の単純もしくは拡張相対成長式によって記述できた。

3. カヤとイヌガヤでも、枝条の現存量 $F(t)$ が単純・拡張相対成長式で記述でき、その r 値が3に近いことがわかった。それに対し、広葉樹の r 値は平均で2.10と、針葉樹3種より、有意に小さかった。
4. 以上の結果を踏まえ、さらに解析を進めることで、常緑針葉樹の樹形形成パターンが定式化できるようになり、枝条の累積形成量 $f(t)$ 、枝条の累積脱落量 $\Sigma Ds(t)$ および枝条の脱落量 $Ds(t)$ 、すべての t 年生一次枝を構成する枝条の現存量 $Blr(t)$ は、それぞれ、

$$f(t)=K' \cdot (t+0.5)^{-r} - (0.25 \cdot K' / (L-1))^{0.5} K' \cdot \arctan\{t / (0.25 \cdot K' / (L-1))^{0.5}\}$$

$$\Sigma Ds(t)=f(t)-F(t)$$

$$Ds(t)=fa(t)-F'(t-0.5)$$

$$Blr(t) \doteq F'(t)$$

で見積もれるようになる。また、 t が充分大きくなると、

$$Ds(t) \rightarrow fa(t) = \text{Max}(Blr(t))$$

となる。同様に、樹体の葉量についても定式化できる。

5. 以上のような樹形形成モデルに従うことで、針葉樹型の樹形形成の特徴が、より理解しやすくなる。たとえば、これまでの、成長単位の指数関数的増加を基本とするモデルでは、最適密度に到達するまでにかかなり長い時間の経過を前提しなければならなくなるといった欠点があったが、提案したモデルに従うと、最初からほぼ適正密度に保たれることになり、その欠点が解消される。また、常緑針葉樹が被陰下で示す傘型樹形の解釈も、比較形態・生態学的に見て、より妥当性の高いものとなる。
6. 同様に、Brownら(1967)の頂部優勢の度合いと頂部支配の度合いが、それぞれ、 r 値および K/L 値によって量的に示せるようになり、これら両概念の相互関係がよりわかりやすくなり、また、それを通して、針葉樹型の樹形形成の特徴が、より理解しやすくなることなどがわかった。
7. 以上のことから、定式化した樹形形成モデルは、針葉樹型の樹形形成の基本をうまく表現していると判断した。

8. 文 献

- Baker, F.S.(1950): Principle of Silviculture. MacGraw-Hill Book C.
- Bell, A.(1991): Plant Form. Oxford Univ. Press.
- Chamberlain, C.J.(1935): Gymnosperms: Structure and Evolution. Univ. Chicago Press.
- Doyle, J. A., (1978): Origin of angiosperms. Ann. Rev. Eco. Syst., 9, 365-392.
- 藤本征司(1985): 樹形の生態学的意味について—北海道の高木類の生育・更新様式の類型区分に関する予備的解析および作業仮説—. 北大演研報、42、733-768.
- 藤本征司 (1993): 北海道の高木類の生育・更新様に関する比較形態・生態学的研究. 静大演報, 17, 1-64.
- Fujimoto, S. & M. Miyakawa(1991): Growth characteristics of *Betula ermanii* in particular reference to response patterns at timber lines J. Agr. Hokkaido Univ, 65, 219-228.
- 藤本征司・佐藤守俊(2001): モミの樹形形成パターンについて. 東北大学植物園利用成果報告書、12年度、13-14.
- 藤本征司・佐藤守俊・吉野知明(1999): 針葉樹のシュート形成と樹形. 46回日本生態学会大会講演集、100.
- 藤本征司・嶋田 理(1991): 常緑針葉樹3種の稚幼樹期における被圧対応様式—樹体形成と物質生産に関する予備的解析—. 北大演研報、48、271-292.
- Grime, J.P. (1977): Evidence for the existence of three primary stages in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. Amer.Natur.111: 1169-1194.
- Grime, J.P.(1979): Plant Strategies and Vegetation Processes. Wiley.
- Harper, J.L.(1977): Population Biology of Plants. Academic Press.
- 畑野健一・佐々木恵彦(1987): 樹木の生長と環境. 養賢堂.
- Honda, H.(1971): Description of the form of trees by the parameters of the tree-like body: effects of the

- branching angles and the branch length on the shape of the tree-like body. J. Theor. Biol., 31, 331-384.
- Honda, H., P. B. Tomlinson & J. B. Fisher (1981): Computer simulation of branch interaction and regulation by unequal flow rates in botanical trees. Am. J. Bot. 68, 569-85.
- Kohyama (1980): Growth pattern of *Abies mariesii* saplings under conditions of open-growth and suppression.
- Kozłowski, T. T. (1964): Shoot growth in woody plants. Bot. Rev., 30, 335-392.
- 久保田光政・角張嘉孝(1995): モミ樹冠における枝形成と光要因の相互依存関係(I)測定法および樹冠構成要素の解析について. 静岡大学演習林報告, 19, 11-32.
- Miller, C. N. (1977): Mesozoic conifers. Bot. Rev., 43, 217-280.
- Kurth, W. (1994): Morphological models of plant growth: Possibilities and ecological relevance. Ecological Modelling, 75/76, 299-308.
- 三浦淳平(1983): りんご衰弱木の剪定による樹勢回復に関する研究. 青森県りんご試験場報告, 20, 13-29.
- 武藤憲由・信岡山治(1975): 上木の疎開とトドマツ被圧木の生長. 北方林業, 27(1), 12-14.
- 中村俊彦・木幡和夫(1982): シラベ、コメツガの生態学的特性に関する研究. 東大演報, 72, 121-137.
- Niklas, K. J. (1986): Computer-simulated plant evolution. Sci. Amer., 254(3), 68-75.
- 西田治文 (1998): 植物のたどってきた道. NHKブックス.
- 西田誠 (1972): たねの生いたち. 岩波書店.
- 大隅眞一・石川善朗(1983): 樹木の生長解析に対するRichards生長関数の適応性について. 京都府大学術報告, 35, 49-76.
- Perttinen, J., R. Sievannen, E. Nikinmaa, H. Salminen, H. Saarenmaa & J. Vakeva (1996): LIGNUM: A tree model based on simple structural units. Ann. Bot., 77, 87-98.
- 酒井聡樹(2000): 植物の形の進化. 多様性の生物学3植物の種(岩槻邦男・加藤雅啓編), 東京大学出版会, 169-176.
- 佐藤守俊(1999): 常緑針葉樹の分枝パターンと樹形. 1999年度静大農学部卒論.
- Shibakusa, R. (1977): On the morphological characteristics of the needles of summer shoots in seedlings of *Abies sachalinensis* Masters. J. Jap. For. Soc., 59(6), 207-212.
- Takenaka (1994): A Simulation model of tree architecture development based on growth response to local light environment. J. Plant Res., 107, 321-330.
- Takhtajan, A. L. (1976): Neoteny and the origin of flowering plants. Origin and Early Evolution of Angiosperms, ed. by C. B. Beck, 207-219, Columbia Univ. Press.
- Toumey, J. W. & C. F. Korstian (1937): Foundation of Silviculture upon an Ecological Basis. >>>>
- 徳永咲子・藤本征司(2002): 高木性広葉樹の樹形形成パターン. 49回日本生態学会大会講演集, 241.
- Thomas, P. (2000): Trees, Their Natural History. Cambridge Univ. Press.
- Ward, H. M. (1909): Trees (V): Form and Habit. Cambridge Univ. Press.
- White, J. (1979): The plant as a metapopulation. Ann. Rev. Ecol. System., 10, 109-145.
- 八木貴信 (2000): 広葉樹種におけるモジュールの機能のモジュールの機能分化. 日生態会誌, 50, 235-250.

Ⅲ. 高木性広葉樹の樹形形成と成長戦略に関する定量的研究

1. はじめに

樹木の形態は種によって異なるが、形態の違いは生活様式の違いと密接に関係している(藤本 1998)。これまでも、樹冠構造の解析 (Holbrook ら 1989、寄元 1989、1992、Davidson ら 1990、隅田 1996、2000、林 1997) や、分岐パターンのコンピューターシミュレーション(本多 1978、1981、Honda ら 1978、1979、1981、ニクラス 1986、Ford 1987、Kurth 1994、Perttunen ら 1996、竹中 1999)を通して、生活様式や戦略理論を議論した研究は多くなされてきているが、針葉樹類、広葉樹類、両者の生活型の基本を規定すると考えられる樹形形成上の相違、特に定量的な相違については不明な点が多く、Brown ら(1967)による頂部支配(apical control)の概念の導入以来、大きな進展はない(Wilson 2000、Cline ら 2002)。そこで、本研究では、高木性広葉樹類の樹形形成の解析を行い、その針葉樹類とは異なる成長戦略上の特性の定量解析を試みた。

2. 研究小史

—樹形—

樹形について考える場合は、まず、「かたち」の不変的側面を原型 (Urtypus) として捉える一方で、「かたち」を静的な Gestalt (shape) と見るより、形成過程も含む動的な Bildung (form) と見ていこうとする Goethe のかたちの捉えかたが重要である (藤本 1993、ゲーテ 1980)。また、生物の器官と全体の相対成長に関する検討をおこなったダーシー・トムソン(1973)は「生物学者も哲学者と同様、全体は部分の単なる集合であるとは認識していない。なぜなら、全体は部分がただ寄り集まってできたものではなく、アリストテレスの“単一性の原理”で示されるように、相互に最も適した配置をとって組織された集合なのである。」と述べている。このような考え方も、生物個体全体の有機的統合性を重視する考え方といえ、樹形形成の分析においても重要となる。近年、コンピュータの発達にともない、多量のデータの解析が容易となったこともあり、動的な樹形形成モデルも幾つか提案されるに至っている。しかし、「形が確定していて、年齢とともにそれがただ大きくなるだけ」(Thomas、2000)の動物と異なり、植物の特徴のひとつは「一つの個体のもつ器官の種類は少ないが、個々の器官の数が極めて多いこと」(原 1994)であることから、これまでの樹形形成の定量モデルは、枝条 (モジュール) の指数関数的増加を仮定して、構築されるのが一般的であったと考えられる。例えば、Honda (1978)の樹形形成モデルも、このような、指数関数的増加を仮定したモデルのひとつであり、このモデルでは、枝がある角度と長さの比で二又分岐を繰り返すことで、樹形が形成されていくことになる。しかし、このモデルは、単純なモデルで樹木様の幾何学体をシミュレートしうることを示し、樹形形成パターンの定量化の可能性を示し得た点で重要な解析であったといえるが、無限に二又分岐が繰り返されるモデルであった点に問題があり、実際の樹木が示す樹形形成パターンを再現しえるモデルとはいえなかったと考えられる。それに対し、本多らによる改良モデル (Honda et al. : 1981、本多 : 1981) では、樹形形成過程に働く内的制御機構の存在を想定し、養分や水分、ホルモン等の輸送能力の差を示すパラメータ f を導入することで、現実の樹木の枝条の増加プロセスに近い樹形の再現に、ある程度まで成功しえたと考えられるが、樹形形成に内的な制御が働いていることに着目し、構成されたモデルである点では優れているものの、やはり、枝条の指数関数的増加を前提にして構成されたものであったことに変わりはなく、そのため、樹体全体の形状の再現には成功したものの、樹体先端部や樹体下部での分岐パターンの再現には至らなかったと考えられる。竹中 (2000) は、「いったん作った枝が日陰になったら枯らすというやりかたは無駄が多いような気がする。将来日陰になりそうなどころには最初から枝を作らなければいいのではないかとも思える。しかし、将来の込み合いを避けるには、生育初期に出す枝の数をかなり少なめに制限しなくてはならない。・・・(中略)・・・それよりは、将来的には捨てることを覚悟で枝を伸ばして、その枝が日陰になってきたら枯らして落とすというやりかたのほうが生涯を通じて考えたときには具合がよいのではないか」と述べて、Honda の初期のモデルに光環境依存性を組み込んで仮想樹木を構成したが、やはり、環境条件が許せば、成長単位 (Growth Unit) が指数関数的増加し得ることをモデルの前提に置いていること、また、成長単位の autonomy (Sprugel、1991) を強調したモデルであったことなどから、現実の樹木の有り様からのずれが大きなシミュレーションであったと考えられる。

その他、Lシステムを利用した樹木の成長モデル (Kurth1994、Perttunen ら 1996) も、樹形形成の定量化に際し、重要となる。これは、「書き換えシステム」(記号列がある規則に従って発展していくもので、規則は単純ながら、最初の簡単な状態は書き換えを行うにつれ複雑になっていくという特徴を持つ) を利用して、樹形を再現させるモデルであり、樹木の自己相似性の再現に、ある程度まで成功したモデルとして重要である。その他、熱帯性樹木の樹形を23の遺伝的樹形に類型区分した、Hallé ら(1978)による総論も、樹形の生態学的意義を考える上で重要性を持ち、reiteration の考え方など、示唆に富む内容を含んでいる。また、針葉樹型と広葉樹型の樹形の形成パターンの相違を解析する場合には、多分に古典的ではあるが、Brown ら(1967)の、「頂部優勢(頂部による側芽の抑制)」と「頂部支配(頂部による成長の制御)」の相違を明確にし、頂部優勢が弱く、頂部支配が強い場合に、針葉樹型の突出型樹形が形成され、逆に前者が弱く、後者が強い場合に、広葉樹型の沿下型樹形が形成されるとする結論を導いた研究が重要となり、研究史的に極めて重要な位置を占めると考えられる。本研究室で行なわれてきた一連の樹形研究(藤本ら、1991; , 1992, 1993, 1994, 1999, 2001) も、Brown ら(1967)の考え方を継承して行なわれてきたものであり、本研究もまた、その展開の一つとして位置付けられると考えられる。

—戦略理論—

形態には形態形成の法則があり、形態そのものは中立といってもいい(養老 1986)し、生物の体をつくっている構造材料とその力学的性質も形の制御にとって重要な要因であるが(ウエインライト 1989)、生物の示すさまざまな形態はすべて、何らかの淘汰圧の下で構成されるため、比較形態学的研究は、必然的に、適応戦略理論に従い展開されるものでなくてはならない。

これまでに、様々な適応戦略理論が提案されてきたが、そのうち、重要なものとしては、 r - K 戦略理論(ピアンカ 1980)とグライムの3類型理論(1977, 1999)が挙げられる。 r - K 戦略理論は、ロジスチックモデルの二つのパラメータである、 r と K に着目して、適応戦略を r 戦略と K 戦略の2つに区分しようとする理論であり、適応戦略の定量的理解を進めた最初の理論として、研究史的に重要である。グライムによる3つの戦略(Ruderal, Stress tolerant および Competitive strategy)に区分する考え方は、 r - K 戦略理論を批判的に継承する理論といえ、植物の生活形を重視していて重要であるが、定量的な議論を欠いている点に問題があると考えられる。藤本(1991, 1992, 1993, 1994)は、グライムの3タイプのうちの Stress tolerant と Ruderal を一つの戦略範疇にまとめ、Noncompetitive strategy とし、Competitive strategy と対比させる考え方を示し、突出型樹種を非競争的・非定着的な戦略をとるもの、沿下型樹種を、競争的・定着的戦略をとるものとする高木類の類型区分を提案した。この考え方は、針葉樹型と広葉樹型の樹形形成パターンの相違を考える上で、重要な意味を持つと考えられるが、これまでのところは、まだ、定性的な議論に留まっており、今後は、その定量化が必須となると考えられる(藤本・佐藤、1999 など)。

—森林景観—

生活型は視覚的なランドスケープの出発点である(沼田 1996)。

生活型の観点から、相観的景観を説明しようとする試みは、歴史的にも古くから存在し、Theophrastos(紀元前 370 年から 285 年)は、生活型(高木、低木、亜低木、草本)と気候との関係に着目した仕事を行っており、Humboldt と Bonpland は 1805 年に植物地理学を創立し(ウッドワード 1993)、生活形や相観的景観の研究を展開している。現在では、景観生態学という学問領域が確立し(中越 2000)、景観を重視した諸研究が展開されている。保全生態学もまた、景観生態学と同様、景観概念を重視した研究領域であり、景観を階層構造の最高位(生態系の上位)に位置付け、その景観レベルでの生物多様性の保全を研究目的に位置付け、様々な研究が展開されている(鷺谷・矢原 1996)。

森林景観やその推移についての研究では、菊澤 (Kikuzawa, 1991; 1995, 1996) による、leaf-longevity 理論に基づき、常緑樹林と落葉樹林、さらには種の豊かさの地理的分布をシミュレーションした研究が特に重要である。菊澤は、この一連の研究を通して、季節的環境下で葉の単位時間当りの有機物獲得量を最大化する葉の寿命と、そのときに有機物獲得量がプラスになる種(それぞれのパラメータの組み合わせ)の数を算定し、常緑・落葉性の違いを有機物生産という観点から統一的に理解することに、ある程度まで成功し、同じ地域でもパラメータの違いによって、常緑性、落葉性が混生し得ることなど、葉の寿命を巡る諸現象の統一的かつ定量的理解を深めた。この菊澤による諸研究は、森林の保持する葉の量は、樹種、緯度、立地条件が同じならば、ほぼ同一量に収斂すること(只木 1976、菊澤 1986) などから、樹木個体の葉量も、時間に関わらず、ほぼ一定(従がって、モ

デル構築にあつては、樹木はただ1枚の葉を保持・更新し続ける生物体と見なせる)とする仮定を前提に展開されているが、現実の樹木では、葉量が時間とともに変動するのが通例である。ここに、この一連の研究が成功しえた理由と、その問題点が、同時に伏在していると考えられる。

2. 調査材料と方法

調査地は静岡大学農学部地域フィールド科学教育研究センター上阿多古フィールドで、被圧開放木を中心とした常緑樹、落葉樹を含む広葉樹17種45個体を解析対象木に選定した。まず、これらの解析対象木の樹高、直径(胸高・根元・一次枝基部)などの基礎項目を測定したあと、樹形を構成するすべての枝条の伸長量の測定や齢の査定などを行い、枝条の伸長量(cm)によって評価した枝条の現存量や枝条の累積形成量を時間の関数に置き換え、針葉樹との相違を抽出した。なお、大サイズのサンプルの場合は、樹体上部(5~10年分程度)を解析対象とし、下枝に関しては、代表的な一次枝(主軸から直接出ている枝)をサンプリングし、上記と同様の解析をおこない、他の一次枝については、その基部直径、生枝下直径、全長、生枝下長を測定し、相対成長関係を使って枝条の総伸長量等を推定して、樹体全体の枝条量を評価した。また、拡張相対成長式等への回帰分析に際しては、STATISTICA・VER. 5.5(Stat Soft 社)の非線形回帰分析法を利用し、準ニュートン法により回帰させた。また、枝の脱落パターンや残存パターン、葉と枝条長との関係等も解析し、広葉樹の太さ情報や葉の形成パターンも含めた樹形形成パターンの特徴につき、検討を加えた。なお、葉量は乾燥重量で評価し、乾燥方法については、約90℃約1週間の乾燥とした。最後に、以上の結果や、Kikuzawa(1991, 1995)、藤本・佐藤(1999)、藤本・徳永(2001)、佐藤(2003)などを参考にして、時間tにおける同化器官の総光合成量P(t)、維持コストM(t)、形成コストCf(t)、非同化器官の維持コストCms(t)、及び形成コストCs(t)を見積もり、cost-benefit解析に従って、針葉樹とは異なる広葉樹一般の樹形形成パターンの持つ成長戦略上の特徴を抽出した。

3. 結果と考察

針葉樹との一致点

解析サンプル木17種45個体(樹高0.6~15.5m)の概略を表1に示した。

これまでの本研究室における樹形研究の結果(藤本ほか1999、藤本2000、佐藤1999, 2003)から、常緑針葉樹類では、主軸の年間伸長量がほぼ一定になる成長安定期においては、tが充分小さいうちは、t年目における枝条の現存量(F(t)); t年目における樹体を構成するすべての枝条の伸長量の総和、cm)や累積形成量(f(t)); 時間tまでに形成された枝条の累積伸長量、cm)が、

$$F(t) = L t^{r1} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$f(t) = L t^{r2} \quad \dots \dots \dots (1')$$

のような累乗式に従って増加する傾向があることがわかっている(図1)(ここでLは年平均樹長成長量で、幹が真っ直ぐ成長する場合は年平均樹高成長量と等しく、環境が変化しなければ、成長初期や後期を除く成長安定期では一定となるパラメータ、rは枝条の増加速度で、環境条件によらず、種や生活型ごとに一定となるパラメータであると考えられる)が、以下に触れる通り、広葉樹類でも同様の傾向が認められた。

まず、図2に樹長曲線を示す。これらの個体の中には樹長成長がすでに頭打ち化していたり、成長速度が大幅に変化していたりした個体もみとめられたが、多くの解析個体で傾きがほぼ一定、つまり主軸の年間伸長量はほぼ一定となっていた。そして、これら、樹長成長がコンスタントとなった個体の場合は、針葉樹とおおよそ同様に、F(t)やf(t)が累乗式(単純相対成長式)に従って増加する傾向が明瞭に認められた(図3-1, 2, 3)(f(t)の推定法に関しては付録1を参照)。

針葉樹との相違点

このように単純相対成長式が成り立つ点では共通していたものの、針葉樹類と広葉樹類では異なる点も認められた。

まず、常緑針葉樹類では、加齢されて、tが大きくなるにしたがい、F(t)の増加速度F'(t)が頭打ちを示すようになり、拡張相対成長式、

$$F(t) = K/[1 + \{(K/L) - 1\} * t^{-r}] \quad \dots \dots \dots (2)$$

表1. 調査個体一覧

| 樹種 | 個体数 | 樹高(m) | DBH(cm) |
|---------|-----|----------|------------|
| コナラ | 9 | 1.6-13.0 | 0.32-16.58 |
| アカメガシワ | 3 | 3.3-5.5 | 2.63-3.50 |
| エンコウカエデ | 2 | 3.8-13.5 | 2.78-10.6 |
| シラキ | 2 | 2.2-8.1 | 0.87-7.30 |
| ネムノキ | 1 | 15.2 | 14.98 |
| アカシデ | 1 | 13.2 | 13.63 |
| リョウブ | 1 | 6.5 | 4.55 |
| ケヤキ | 1 | 10.4 | 15.85 |
| アオダモ | 1 | 2.6 | 1.35 |
| アラカシ | 8 | 0.6-3.0 | 0-2.06 |
| ヤブツバキ | 6 | 1.7-6.8 | 0.70-7.30 |
| アカガシ | 3 | 1.8-2.7 | 0.89-1.18 |
| ツブラジイ | 3 | 1.0-8.1 | 0-11.1 |
| サカキ | 1 | 1.96 | 0.62 |
| ネズミモチ | 1 | 3.74 | 3.48 |
| シロダモ | 1 | 3.85 | 2.61 |
| カクレミノ | 1 | 3.68 | — |
| 合計 | 45 | 0.6-15.2 | |

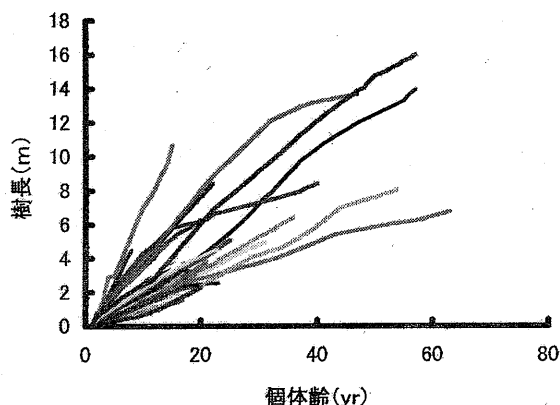


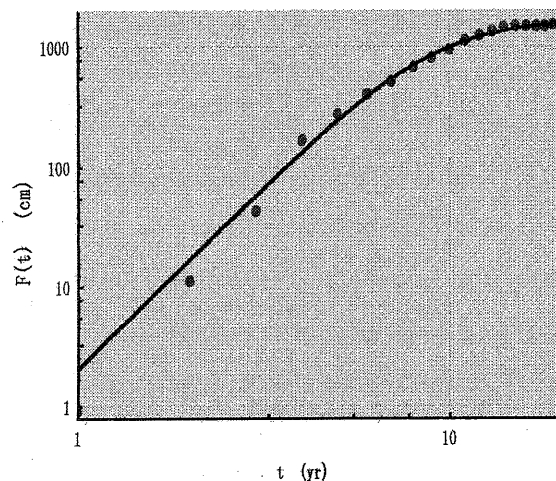
図2. 樹長曲線

表2. 樹種ごとのr値一覧

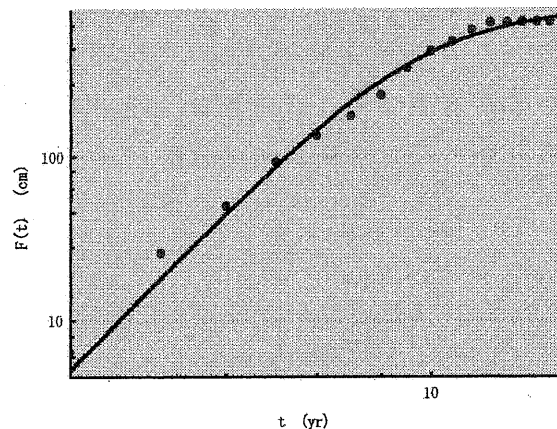
| 樹種 | r(形成量) | r(現存量) |
|---------|-----------|-----------|
| コナラ | 2.18-3.18 | 1.82-2.63 |
| アカメガシワ | 2.29-2.60 | 2.01-2.66 |
| エンコウカエデ | 2.51-3.09 | 2.25-2.26 |
| シラキ | 2.14-2.79 | 1.63-2.27 |
| ネムノキ | 2.39 | 1.95 |
| リョウブ | 2.24 | 2.18 |
| ケヤキ | 3.44 | 2.86 |
| アオダモ | 2.10 | 1.71 |
| アラカシ | 1.54-3.05 | 1.54-2.46 |
| ヤブツバキ | 2.07-2.36 | 1.90-2.36 |
| アカガシ | | 2.02-2.47 |
| ツブラジイ | 2.28-3.13 | 2.16-3.11 |
| サカキ | 2.38 | 1.98 |
| ネズミモチ | 3.17 | 2.53 |
| シロダモ | 2.31 | 2.14 |
| カクレミノ | 1.84 | 1.76 |
| | 2.43 | 2.18 |

$$F(t) = K / (1 + ((K/L) - 1) * (t^{-r}))$$

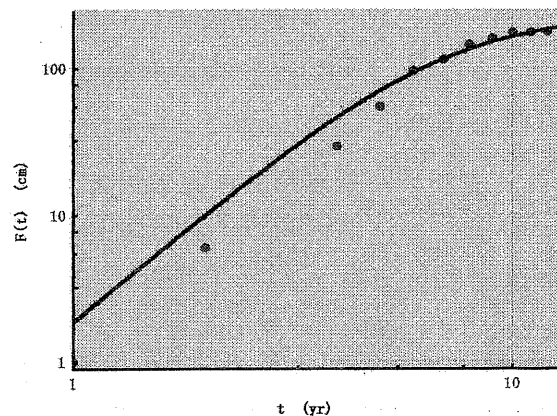
$$F(t) = (1704.19) / (1 + (((1704.19)/2.08) - 1) * (t^{-(3.06287)}))$$



$$F(t) = (814.2577) / (1 + (((814.2577)/0.52) - 1) * (t^{-(3.25976)}))$$



$$F(t) = (235.278) / (1 + (((235.278)/1.88) - 1) * (t^{-(2.477135)}))$$



図一1 モミの枝条の現存量増加曲線

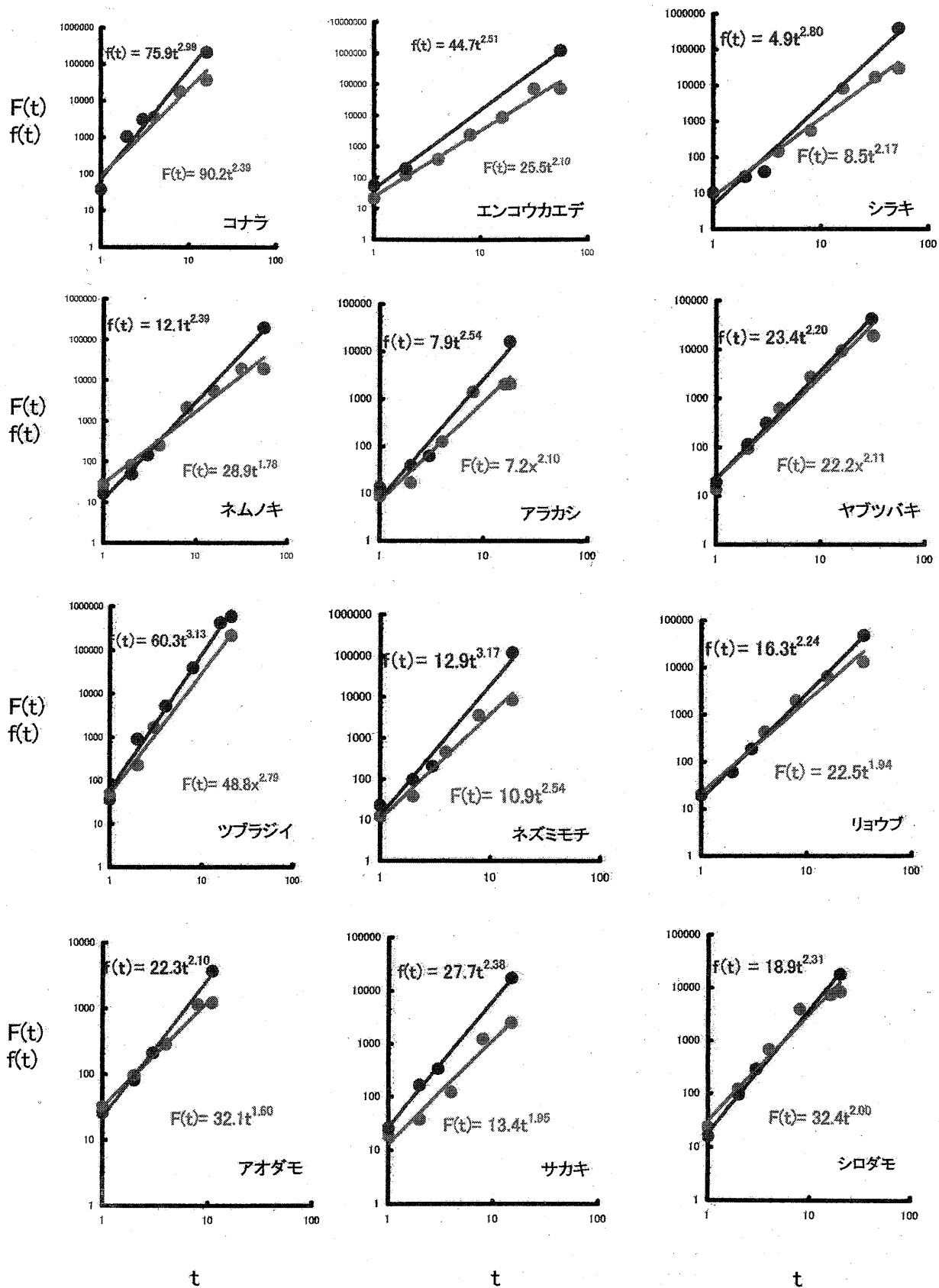


図3 個体齢と枝条の総伸長量の関係

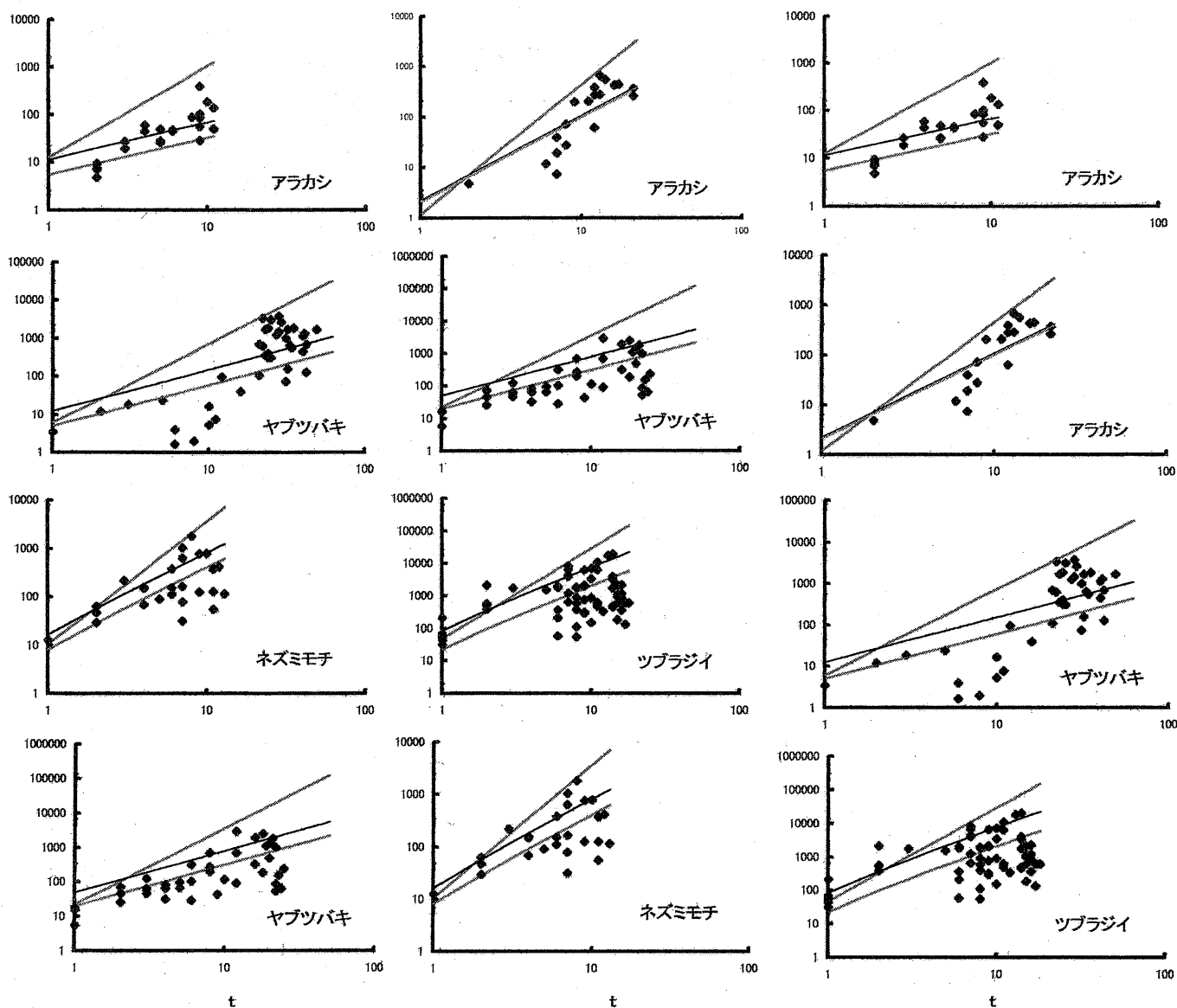


図4 一次枝の齢(t)と $B_1(t)$ の関係

桃色線: $B_1(t) = F(t)$ の場合

黒色線: $B_1(t) = \sum B_1(t)$ の場合

水色線: $B_1(t) = \frac{\sum B_1(t)}{n}$ の場合

表3. 頂部からの深度($2^{n-1} \sim 2^n$)ごとの最大一次枝の平均直径 D_{\max} と $D_{\max} \sim D_{\max}/2$ までの一次枝の平均本数

| 頂部からの深度 | D_{\max} 平均直径(cm) | $D_{\max} \sim D_{\max}/2$ 平均本数 |
|----------------|------------------------|------------------------------------|
| $2^1 \sim 2^2$ | 0.56 | 3.5 |
| $2^2 \sim 2^3$ | 1.16 | 4.3 |
| $2^3 \sim 2^4$ | 2.14 | 4.6 |
| $2^4 \sim 2^5$ | 4.27 | 5.2 |

で近似できるようになることがわかっている(図1)が、広葉樹では、かなり加齢されても $F(t)$ や $f(t)$ の増加速度が低下しない個体が多かった(図3-1, 2, 3)ことから、単に(1)式や(1)'式に従って成長するモデルが適用できることがわかった。また、常緑針葉樹の(1)式や(1)'式の r 値は3に近いことがわかっているが、広葉樹では、種や個体によってバラツキが大きく($2 < r < 3$ の範囲)針葉樹類のように3に近いものも認められたものの、平均値では、現存量 r_1 で2.18、形成量 r_2 でも2.43と、総体的に針葉樹類より小さな値を示していた(表2)。

また、針葉樹では任意の整数値 t で、(1)式が成り立つが、広葉樹の場合は、 $F(t)$ の変動が大きく、2や3の累乗倍の数列(本解析では $2^0, 2^1, 2^2, 2^3, \dots$ とした)でしか成り立たず、それと関連して、個々の一次枝の成長に極端なバラツキが生じてくるのも針葉樹類とは異なる特徴と考えられる。すなわち、 $B_1(t)$ をそれぞれの一次枝を構成するすべての枝条の伸長量の総和とすると、針葉樹類の $B_1(t)$ は、円錐形の樹冠が示すとおり、同齡のものではほぼ等しくなっているといえるが、広葉樹類では、図4-1, 2に示すとおり、同齡でも成長のバラツキが極度に大きくなっていて(桃色線は、 $B_1(t)$ が同齡の主軸を構成する枝条の現存量 $F(t)$ と等しくなる場合、黄色線は、 $B_1(t)$ がすべての同齡1次枝を構成する枝条の伸長量の総和 $\Sigma B_1(t)$ と等しくなる場合、水色線は $B_1(t)$ が同齡の一次枝の伸長量の平均値を示す場合である)、主軸の成長量に匹敵するものから、平均一次枝成長量を下回るものまで認められ、既に脱落した一次枝も含めた場合、差は更に大きくなることがわかる。そして、このような枝の成長のバラツキが、結果的に、針葉樹・広葉樹相互間に見られる、枝の脱落パターンの相違につながっているものと考えられる。すなわち、針葉樹の場合は、一次枝の脱落が基本的に樹体下部に着生する高齡のものから順次起こるのに対して、広葉樹の場合は、着生位置や齡とはあまり関係なく、成長不良で物質経済的に不要となったものから順次脱落していくといった傾向にあり、このような枝の脱落パターンの違いも、針葉樹型と広葉樹型の樹形形成パターンの大きな相違のひとつと考えられる。そして、以上のような広葉樹型の枝の成長・脱落特性は、広葉樹型の樹形形成のフラクタル性と密接に関連しており、例えば、図5に示すように、樹齡が2倍になり、個体サイズも2倍になると、樹形が自己相似性を示しながら拡大される場合は、それに連動して、それぞれ対応する部分の一次枝直径も2倍となるが、このように2倍サイズになった一次枝の本数は変わらず、従って、このようにして自己相似的に肥大した枝以外の枝は脱落するか、2倍サイズ以下となり、いずれ脱落していくといった、脱落リズムが、樹冠のどの部分でも、自己相似的に繰り返されているということになるはずであり、実測データでも、概ねそのようなようになっていた。すなわち、幹を頂部から2ⁿ年ごとに区切ったそれぞれのランクの中で、最も直径が大きい一次枝の平均直径は、ランクが上がる毎にほぼ2倍となり、その本数については、各ランクで3.5-5.2本とほぼ一定となっていた(表3)。これは、樹冠を構成する一次枝を、規則的に脱落させながら、自己相似的に樹冠を再構成していく傾向を示していることを意味し、このように樹形が構成されていくことも、針葉樹とは異なる広葉樹固有の樹形形成特性と考えられる。

また、針葉樹の場合は、葉量が枝条長にほぼ正比例するが、広葉樹では、図6の通り、葉量 W_{1a} と枝条長 L_s には、

$$W_{1a} \propto L_s^c$$

と、相対成長関係が認められるものの、 c が1より小さく、短い枝条ほど単位長さ当り葉量が多いと考えられた(図6)。このような葉量/枝条長比の違いも、広葉樹と針葉樹の樹形形成パターンの重要な相違のひとつと考えられる。すなわち、一般に、加齢されるに従い、樹体を構成する枝条の平均長が短くなるが(図7)、 $c=1$ の針葉樹の場合は、平均長が短くなっても、葉量/枝条長比が一定なので、樹体全体の葉量 W_1 がほぼ $f'(t)$ に比例してしか増加しないが、 c が1より小さいと、 W_1 が、

$$W_1 \propto f'(t) \cdot t^{b(c-1)}$$

と $[b(c-1) > 0]$ 、その増加速度が $f'(t)$ の増加速度より大きくなることになり、樹形形成上重要な意味を持つことになる。

以上の結果より、広葉樹型の樹形形成の特徴について総括すると、加齢されても $F(t)$ や $f(t)$ の増加速度が低下しないことから、長期間林床でストレス、主に被陰ストレスに耐えたのち、攪乱を契機に上層木化するといったストレス耐性的な対応パターンは、物質経済的にも、それほど有利とはいえず、そのため、このように上層木化する率すなわち上層木化率 b は、それほど高くないと予想される。しかし、一方で、 r 値が相対的に小さいことや、効果的な葉量調節や非同化器官量調節がおこなえることなどから、競争に勝って一気に上層木化することが、物質経済的にも可能な成長戦略を取っていると考えられ、このように上層木化する率、すなわち上層木化率 a は、かなり高いと予想される。そして、環境によらず、上述したような競合的な対応パターンを示す場合、各ストレス下における上層木化率 a, b と、それを足した総合適応度 $a+b$ の変動を捉えることに加えて、どのよう

なL値が各ストレス下で最大の総合適応度を示すのかを、針葉樹との比較の上に捉えることが、針葉樹型、広葉樹型の成長戦略や分布域の相違を説明する上で重要となる。L値は、同一種にあっても、環境の変化に伴い変動させ得るパラメータと考えられるが、そのような前提に立った場合、Kikuzawa (1991) のCB解析中のt*同様、各環境下で、その種の適応度を最大にするLつまりL*が定められるはずである。Lは、大きくなるほど、上層木化に要する期間が短くなり上層木化にプラスに働くが、単位葉量が支える非同化器官の維持コストも増大する点では、物質経済的にマイナスになる可能性もあつて必ずしも上層木化にプラスに働くわけではなく、一方、Lが小さくなるほど、上層木化に要する期間は長くなり、競争に勝って一気に上層木化するには不利になるとも考えられるが、単位葉量が支える維持コストは抑えられるので、物質経済的にマイナスになる可能性は少なく必ずしも上層木化にマイナスに働くわけではないと考えられ、コストベネフィット解析による定量評価が不可欠である。

そこで、最後に、以上のような予測の妥当性の検証と、その量的評価を目的として、広葉樹型の樹形形成のコスト・ベネフィット解析を試みた。

4. コストベネフィット解析

解析手順

以上の結果を参考にして、解析より抽出された針葉樹とは異なる広葉樹の樹形形成パターンのコストベネフィット解析を、以下の手順で遂行した。

- 1) まず、葉が単純相対成長式に従がつて増加する場合でも、葉の最適寿命t*が定められるかどうかを確かめたのち、Kikuzawa (1991) に従がい、a, b, m, Cf からなるパラメータセットの組み合わせ数(1400)を選択圧がかかる前の種数と見なして、暖温帯域(f = 1)における各パラメータセットごとのt*を算定し、単位時間当り純生産量g(t)が+となる、パラメータセットを予備選抜した。
- 2) 次に、1) で定めたt*に従つて、個体レベルでの総光合成量P(t)と葉の維持コストM(t)を見積もり、また、葉の形成コストCf(t)、非同化器官の維持コストCms(t)、同形成コストCs(t)に関しても、時間の関数で表現して、上層木化率aや上層木化率bなどを決めるうえで物質経済的に重要な意味を持つ繰越生産物量Sp(t)を定式化した。
- 3) そして、最後に、ストレスに伴って個体が受ける影響度sによって、L値ごとの、繰越し生産物量、耐忍期間、上層木化率a、上層木化率b、総合適応度(a+b)、各s下における、最適のLつまり総合適応度を最大にするL(以下L*)などを定めることで、広葉樹型の樹形形成パターンを示す場合の、上層木化率aと上層木化率bの上層木化戦略上の役割を量的に評価した。

パラメータセット毎のt*の算出

葉の最適寿命は、加齢されても個体の葉量が変化しない場合は、

$$G/t = 1/t \{ \int \langle 0 \sim f \rangle p(t) dt + \int \langle 1 \sim 1+f \rangle p(t) dt + \dots + \int \langle [t] \sim t \rangle p(t) dt - \int \langle 0 \sim t \rangle m(t) dt - Cf \}$$

を最大にするtで推定でき、また、上式で、f = 1の場合は、

$$G/t = 1/t \{ \int \langle 0 \sim t \rangle p(t) dt - \int \langle 0 \sim t \rangle m(t) dt - Cf \}$$

と書き換えられ、t*は、

$$t^* = \{ 2bCf / (a-m) \}^{1/2} \dots \dots \dots (3)$$

で算定できる(Kikuzawa, 1991)。ここで、p(t)は葉1g1年あたりの光合成速度で、aはその初期値、m(t)は葉1g1年あたりの呼吸速度でmはその初期値、bは光合成速度と呼吸速度が0になる年数、Cfは葉の形成コスト、fは光合成好適期間である(なお、本解析では、暖温帯の浜松を想定することにし、浜松におけるf値を、Kikuzawa (1995) に従がつて判定したところ、1であったので、f = 1のケースで解析することにした)。しかし、これは葉量が経時的に変化しない場合で、変化する場合は、式の変形が必要となる。

まず、広葉樹のW1(t)は、下記(10)式より、

$$W1(t) \cong k f^{-1}(t) \cdot t^{b(c-1)} \\ = k r L t^{r+b \cdot (c-1) - 1}$$

で見積もれ(ここでr+b(c-1)-1は、下記で触れる通り、2と見なすのが妥当と判断されるので、以下では、この値を2として解析を進めた)、従がつて、この様に葉が増加していく場合は、個体齢がxの時点で形成された葉

は $x+t^*$ 年後の葉の形成コストを支払う必要があることになるため、単位葉量(g)当りの葉の形成コストは、Cfではなく、それに、

$$k(x+t^*)^2/kx^2=(1+t^*/x)^2$$

を乗じた値となる。従って、結局、単位時間当たりの光合成量を最大にする t^* は次の式の $g(t)$ を最大にする t となる。

$$g(t)=1/t\{\int\langle 0\sim t\rangle p(t)dt-\int\langle 0\sim t\rangle m(t)dt-(1+t^*/x)^2\cdot Cf\}$$

すなわち、 $g(t)$ を最大にする t は、上式を t で微分したものが0と等しくなる点であるので、 t^* は、

$$t^*=[2bCf/\{(2bCf/x^2)+a-m\}]^{1/2}$$

となる。従って、式のかたちから、 t^* が経時的に増加していくことが予想されるが、齢が小さいときは変動が大きいものの、 x が15年程になると値が安定し、ほぼ(3)式と等しくなることから(Kikuzawa1991参照)、本解析では、各パラメータのセット(a, m, Cf, b)毎の、 $x=30$ における t^* を求め、これを、時間に非依存的な各パラメータセットの t^* と見なすことにした。算定の結果、1400組中1164組のパラメータセットが採択され、その t^* 値は、最小0.29、最大4.92、平均1.68となった。

個体レベルでの最大光合成量等の定式化

まず、個体を構成するすべての同化器官の t 年目の総光合成量 $P(t)$ 、同維持コスト $M(t)$ 、同形成コスト $Cf(t)$ は、それぞれ、

$$\begin{aligned} P(t) &= \sum Wla(t) \cdot \int\langle 0\sim f\rangle p(t)dt + \sum Wla(t-1) \cdot \int\langle 1\sim 1+f\rangle p(t)dt \\ &+ \sum Wla(t-2) \cdot \int\langle 2\sim 2+f\rangle p(t)dt + \dots \\ &+ \sum Wla(t-t^*+1) \cdot \int\langle t^*-1\sim t^*-1+f\rangle p(t)dt \\ &\dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M(t) &= \sum Wla(t) \cdot \int\langle 0\sim 1\rangle m(t)dt + \sum Wla(t-1) \cdot \int\langle 1\sim 2\rangle m(t)dt \\ &+ \sum Wla(t-2) \cdot \int\langle 2\sim 3\rangle m(t)dt + \dots \\ &+ \sum Wla(t-t^*+1) \cdot \int\langle t^*-1\sim t^*\rangle m(t)dt \dots\dots (5) \end{aligned}$$

$$Cf(t) = \sum Wla(t) \cdot Cf \dots\dots\dots (6)$$

で記述できる。また、 t 年目における個体を構成するすべての非同化器官の維持コスト $Cms(t)$ 及び形成コスト $Cs(t)$ は、針葉樹、広葉樹毎に、それぞれ、

$$\begin{aligned} Cms(t) &= T/S \cdot R \cdot L^2 \cdot (D_l/L_l) \cdot \pi \cdot t^{r+1} \cdot (2\log_{10}t+1) \cdot (Rb^{1/2}-1)/(t \cdot Rb^{1/2}-1) \\ &+ (\pi/2) (D_l/L_l) Lt \cdot [\{R_b^{1/2} L \cdot 1.5t^*/(R_b^{1/2}-1)\}^2 + (D_l/L_l)^2 (Lt/2)^2]^{1/2} \\ &- (\pi/2) (D_l/L_l) Lt (1/R_b)^{1/2} \cdot [\{L \cdot 1.5t^*/(R_b^{1/2}-1)\}^2 + (D_l/L_l)^2 (Lt/2R_b^{1/2})^2]^{1/2} \dots\dots (7) <針葉樹> \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cms(t) &= T/S \cdot R \cdot L^2 \cdot (D_l/L_l) \cdot \pi \cdot t^{r-\alpha} \cdot \{p \cdot t^{(-2\log_{10}p)}\} \\ &\cdot (p \cdot Rb^{1/2}-1)/(p-1) \cdot \{p \cdot Rb^{1/2}-t^{(-2\log_{10}p-1)}\} \\ &\dots\dots\dots (7) <広葉樹> \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs(t) &= T/S \cdot Dv \cdot Ch \cdot [(\pi/4) \cdot (D_l/L_l)^2 \cdot (1/Rb^{1/2}) \cdot L^3 \cdot t \cdot \{(1.5t^*)^r - (1.5t^*-1)^r\} \\ &+ (\pi/12) \cdot (D_l/L_l)^2 \cdot L^3 \cdot 3t^* \cdot t \cdot (Rb-1)/(Rb^{1/2}-1)] \\ &\dots\dots\dots (8) <針葉樹> \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs(t) &= T/S \cdot Dv \cdot Ch \cdot [(\pi/4) \cdot (D_l/L_l)^2 \cdot (1/Rb^{1/2}) \cdot L^3 \cdot t \cdot \{(0.6t)^r - (0.6t-1)^r\} \\ &+ (\pi/12) \cdot (D_l/L_l)^2 \cdot L^3 \cdot 1.2t^2 \cdot (Rb-1)/(Rb^{1/2}-1)] \\ &\dots\dots\dots (8) <広葉樹> \end{aligned}$$

で記述可能である。そして、パラメータセット(a, b, m, Cf, L)毎の、齢 t までの繰り越し生産物量 $Sp(t)$ を、下式のように定式化した。

$$\begin{aligned} Sp(t) &= \sum \{s \cdot P(t) - M(t) - Cf(t) - Cms(t) - Cs(t)\} \\ &\dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

なお、(4)式の $p(t)$ は、(5)式の $m(t)$ は、それぞれ、

$$p(t) = a(1-t/b)$$

$$m(t) = m(1-t/b)$$

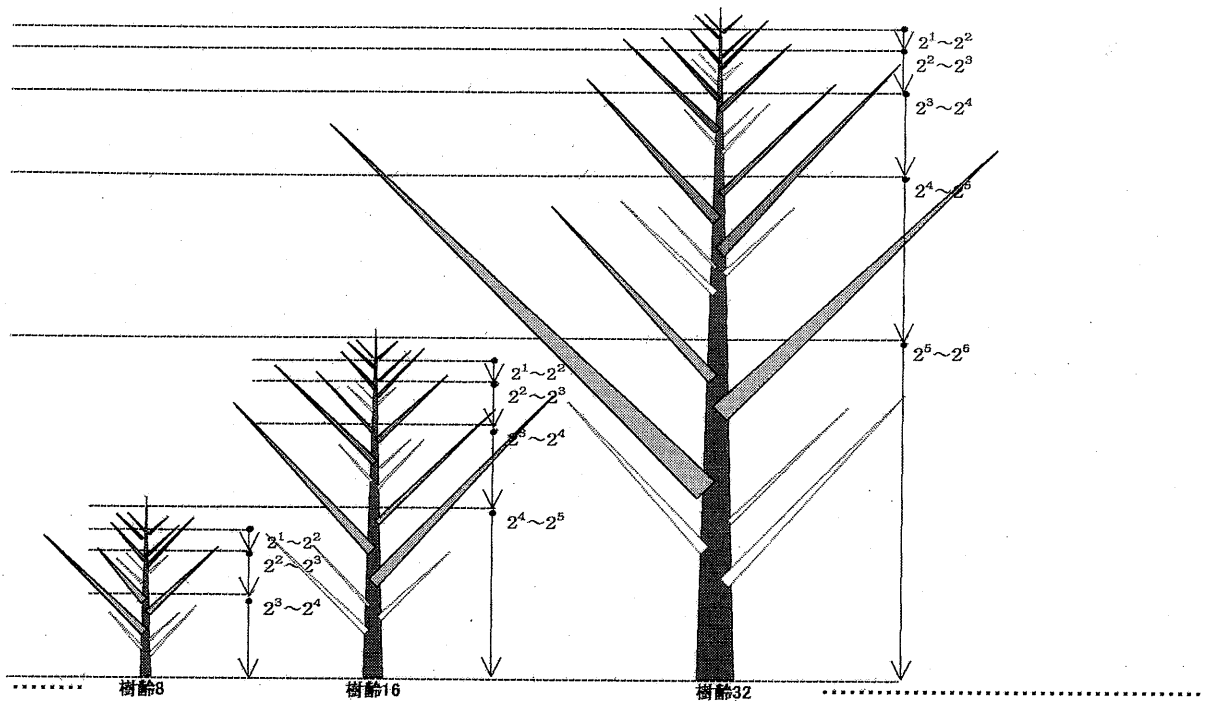


図5. 一次枝の脱落と肥大成長パターン

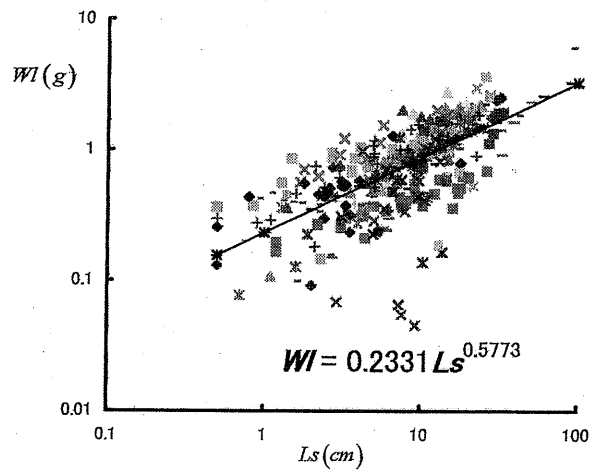


図6. 枝条長 (Ls) と葉乾重 (WI) の関係

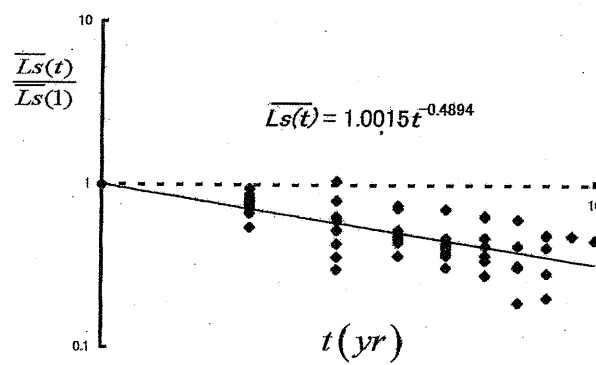


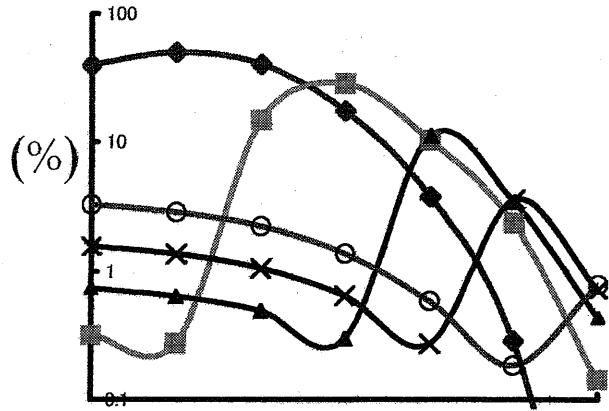
図7. 個体齢 (t) と平均枝条長 (\overline{Ls}) の関係

表4. Rb値一覧

| 樹種 | Rb | 平均 |
|---------|------|------|
| コナラ | 4.47 | 3.79 |
| アカメガシワ | 3.49 | |
| エンコウカエデ | 5.17 | |
| シラキ | 2.99 | |
| ネムノキ | 2.68 | |
| アカシデ | 3.63 | |
| リョウブ | 3.40 | |
| アオダモ | 4.53 | 4.10 |
| アラカシ | 3.75 | |
| ヤブツバキ | 4.29 | |
| アカガシ | 3.70 | |
| ツブラジイ | 4.59 | |
| サカキ | 3.75 | |
| ネズミモチ | 4.54 | |
| シロダモ | 4.11 | |
| 平均 | | 3.95 |

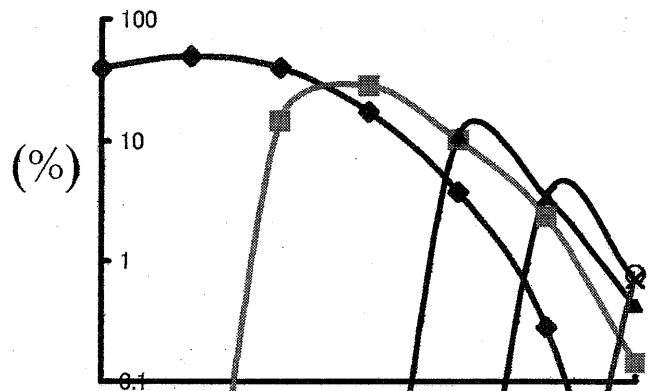
表5. L_1D_1 比一覧

| 樹種 | L_1D_1 | |
|--------|----------|-------|
| コナラ | 78.45 | 72.06 |
| アカメガシワ | 67.33 | |
| シラキ | 57.14 | |
| リョウブ | 42.50 | |
| アラカシ | 99.31 | 95.27 |
| ヤブツバキ | 77.97 | |
| アカガシ | 87.62 | |
| ツブラジイ | 119.12 | |
| サカキ | 111.12 | |
| シロダモ | 108.15 | |
| カクレミノ | 89.81 | |
| 平均 | 85.32 | 85.28 |



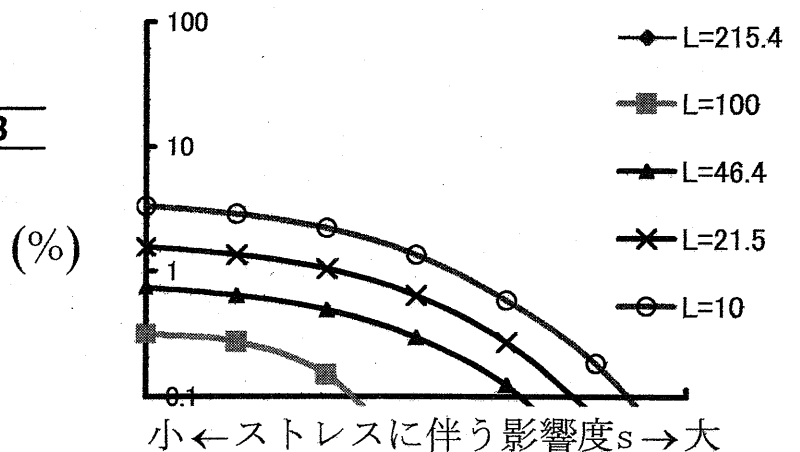
小←ストレスに伴う影響度 s →大

図8. 総合適応度 $a+b$



小←ストレスに伴う影響度 s →大

図9. 上層木化率 a



小←ストレスに伴う影響度 s →大

図10. 上層木化率 b

と時間の経過(葉の老化)とともに直線的に減少する式で表される。ここで、 a, m, b そして C_f 値は、Larcher(1975)、Saeki and Nomoto(1958)、Kikuzawa(1991, 1995)等を参考に、そのレンジをそれぞれ $a=25-221 \text{ gCO}_2\text{g}^{-1}\text{yr}^{-1}$ 、 $m=5-37 \text{ gCO}_2\text{g}^{-1}\text{yr}^{-1}$ 、 $C_f=9-37 \text{ gCO}_2\text{g}^{-1}\text{yr}^{-1}$ 、 $b=1-13$ 年と定めた。また、 $\Sigma Wla(t)$ は、 t 年目に形成された当年葉の総量(乾重)で、針葉樹などの場合は、葉量が枝条長にほぼ正比例するので、

$$\Sigma Wla(t) = k \cdot \{f(t) - f(t-1)\} \quad \dots \dots \dots (10)$$

で見積もれるが、広葉樹の場合は、III-2の結果より、

$$\Sigma Wla(t) = k t^{b \cdot (c-1)} \{f(t) - f(t-1)\}$$

で見積もり可能で、従って、 t が充分大きいとき、

$$\begin{aligned} \Sigma Wla(t) &\doteq k t^{b \cdot (c-1)} f'(t) \\ &= k r L t^{r+b \cdot (c-1)-1} \quad \dots \dots \dots (11) \end{aligned}$$

で見積れることになる。ここで、 $r+b(c-1)-1$ は、実測値は1.64であったが、これが2未満であると、経時的に単位樹冠投影面積あたり葉量が減少し、一方、2を越えると、経時的に増加し、物質経済上不利となるので、ここでは、この値を2と見なした。なお、ここで上乘せした0.36は、 r 値に上乘せしたものと考えて、 $C_{sm}(t)$ や $C_s(t)$ を見積もる際にも同様に上乘せした r 値を適用した。 L 値は0.1-215cmとした。また、(11)式の k は、単位長さあたり葉量(乾重)で、実測値より、0.23とした。また、(7)、(8)式の T/S は全非同化器官量/地上部非同化器官量で、Niklas(2002)、依田(1971)を参考に1.37とした。 R は、1年・1cm²当たりの非同化器官の呼吸量で、佐々ら(1984)、Larcher(1994)より2~5mg・CO₂/cm²・hと考え、これを年当りに換算した、0.175~0.438 g・CO₂/cm²・yrの平均値0.3 g・CO₂/cm²・yrを用いた。 R_b はホルトンの分岐比で、平均値より4と見なして(表4)解析した。 $D1/L1$ は、種や環境条件によらず一定の値をとるが、実測値より1/85とした(表5)。 D_v は容積密度でKollmann(2001)0.77-0.81より、0.8とした。 Ch は1g乾燥有機物量でLarcher(1994)より1.6g CO₂とした。 $r1$ は枝条の現存量の増加速度で2.45、 $r2$ は枝条の累積形成量の増加速度で2.79とした。 p はホルトンの次数毎の枝条の残存率で0.8とした。(9)式の s は、ストレスに伴う総光合成量の通減率であり1、0.681、0.464、0.316、0.215、0.147、0.1の7つのランクを設定した。

算定結果

図8、9、10に解析結果を示した。上層木化には、以上に触れたように、2つのパターン、すなわち、上層木化率 a (競争に勝って上層木化する割合)と上層木化率 b (被陰に耐え、攪乱の後に上層木化する割合)があり、 a と b を足したものである総合適応度が、最終的な上層木化率を表わすと考え、解析を進めた。

まず、上層木化率 a は、各 s 下で、上層木化する(樹長8mに達する)まで、 $Sp(t)$ がマイナスにならないパラメータセット数(以下種数)に、 s 下ごとに異なる競合圧を乗じて得られた種数を、 L が大きいものから採択した上で、 $100 \times 5 \times L$ 毎の上層木化本数/7000により、 L 毎の上層木化率に直した。なお、ここで、 s 下ごとの異なる競合圧は、 s が小さくなるほど大きくなると考え、 s とは逆に0.1、0.147、0.215、0.316、0.464、0.681、1をそれぞれ乗じた。上層木化率 b は、各 s 下で、 L 毎に a により上層木化したものの以外のすべてを前生樹として $(100-a)\%$ 、その平均耐忍期間 D_{st} を算定し、攪乱の再来間隔 P_d を200年として D_{st}/P_d を求め、また、攪乱後はすべての環境で被陰から開放されると考えられるため $s=1$ における競合圧0.1を仮定し、 $0.1 \cdot (100-a) \cdot D_{st}/P_d$ によって算出した。(なお、森林の回転率は、熱帯林で 118 ± 27 という報告がある(山本1981))そして、総合適応度 $a+b$ が最も高かった L が、各 s 下の L^* である。

その結果、 L^* は s が大きくなるほど、相対的に小さくなっていくことがわかるが、どの s 下でも、 a の寄与率が b に比べてはるかに高く、99%前後となっており、そのため、高い s 下で、 L^* の値が比較的小さくなった場合でも、ほとんど、競争に勝って上層木化する対応に依存して総合適応度を高めているらしいことがわかった。

以上のことは、広葉樹型の樹形形成を示すものにとる成長戦略が、「競合的戦略」であるということが、物質経済的にも位置付けられる可能性を示唆している。

5. 総合考察

以上のような結果を参考にして、針葉樹・広葉樹相互間の樹形形成パターンの違いや、物質生産的相違などについて、とりまとめた。

まず、針葉樹と広葉樹では、針葉樹は、主軸が明瞭で上方に突出した突出型樹形、広葉樹は、主軸が不明瞭で、下方から上方に向かって広がる沿下型樹形を示しているというように、その外形が大きく異なっているため、これら両者の樹形形成パターンは、かなり異なっていると考えられがちである。しかし、まず、両者に共通した樹形形成パターンも認められることは重要な事項と考えられる。すなわち、どちらも、相対成長式や拡張相対成長式に従って枝条が増加する傾向を示すことでは一致しており、このことは、あらかじめ、枝条の指数関数的増加が抑えられるような内的規制が働いていることを意味している。従って、針葉樹・広葉樹を問わず、樹形一般の形成パターンを考える場合、極めて重要な前提事項と考えられ、興味深い。そして、針葉樹・広葉樹のみでなく、Halléら(1978)の熱帯植物の23類型区分に含まれるような一次枝をほとんど出さない木本などをも含めて、様々な植物に適用できるものと考えられ、今後さらに対象を広げて検討し、その r 値によって植物を類型区分することも可能であると考えられる。

しかし、一方で、針葉樹と広葉樹の樹形形成パターンには、かなり重要な相違も認められる。

すなわち、まず、 r 値の相違は、枝条の増加速度の違いであると同時に、樹木の形態の制御にとって極めて重要な、頂部支配 (Apical dominance)、頂部優勢 (Apical control) の強弱を示すものでもあり、 $r=3$ を最高値とし低下するにつれ頂部支配が緩やかになる Apical dominance index (ADI) とすることもできる。しかし、ここで、広葉樹類においては、頂部支配は、緩やかながらも、樹体のかなり下部にまで及ぶことも重要であり、ADIが同様の値を示しても個体全体をみれば、その意味合いの違うものもあり得ることが考えられる。

そして、このことは、局所的に見れば、個々の一次枝の個性が高く見られがちな広葉樹類が、樹冠内部で一次枝の脱落を繰り返しながら、自己相似的樹冠の再構成を行っていることにも見られるように、そこに働く内的規制はかなり強いこと、換言すれば、個体全体の有機的統合性がはっきりと現れていることを示している。

とはいえ、このような内的規制の働く中で、個々の一次枝の成長に、高い自由度が与えられていることは、針葉樹とは異なる、広葉樹類の適応戦略上の、非常に重要な事項のひとつであると考えられる。

まず、針葉樹類では、その円錐形の樹冠にみる通り、同齢の一次枝の成長がほぼ一様で、枝が枝性を示しており、主軸とは明瞭に区別されるが、このような主軸と枝の互換性のない固定的な形態は、ストレスも攪乱も小さく、そのため植物が込み合って、恒常的に資源(光)の奪い合いが起こっている競合圧の高い環境では、資源獲得が難しく、上層木化しにくい、つまり、非競合的な体制と考えられる。一方広葉樹類では、 $F(t)$ の K 点が高く、樹冠が t の経過とともに拡大していくかわりに、その内部で一次枝の成長のバラツキが極度に大きくなって脱落も生じるようになっていたが、このように、一次枝に、齢に関わりなく甲乙をつけることによって、その成長の可能性に大きな自由度を与えることは、周辺の一次枝の成長量を集中させたような、主軸にも匹敵する一次枝を形成することを可能にするものである。これは、頂部支配の弱さ (r 値の低さ) に起因するものでもあるが、環境条件の如何で、柔軟に配分を変える能力をもつことを示すもので、一個体が微環境の変動に対応して、場合によっては主軸さえも交代して樹高成長を引き継ぎながら、定着的に生きていくことを可能にするもので、競合的特質のあらわれであるといえる。

また、両者の大きな相違として葉量/枝条長比は重要である。葉を着生させている枝条の密度 $D_s(t)$ は、葉を着生させている枝条の総伸長量 $g(t)$ ($\propto t^{r-1}$) を、樹冠の投影面積 $A(t)$ ($\propto t^2$) で割った t^{r-3} に比例し、まず、針葉樹の場合は、 r をほぼ3、 c をほぼ1にして、葉密度を一定に保っていることになるが、枝条長に比例した葉量を付けることは、必ずしも樹体形成上の工夫とはいえないので、このような葉密度の調節の仕方は、単に、針葉樹・広葉樹に共通して認められる相対成長規則にしたがって葉密度調節を行っているだけの対応といえ、かなり固定的な樹形形成パターンの反映と考えられる。

それに対して広葉樹の場合は、 r を3未満に抑え、枝条密度を経時的に低下させるパターンを示していることになるが、このようなパターンは、まず、非同化器官量の増加速度を経時的に抑えることができるという意味で、生産効率の良い対応パターンと考えられる。また、 r を3未満に抑えると、枝条密度が経時的に低下し、そのため、 $c=1$ だと葉密度も経時的に低下してしまうことになるが、広葉樹の場合は、これを、短い枝ほど葉量を多くするといった枝条構造レベルでの工夫を行うことで回避し、結果的に、充分な葉量を維持していると考えられ、このようなパターンは、針葉樹が示すパターンより、はるかに柔軟で効率的なパターンではないかと考えられる。

以上のように、針葉樹と広葉樹の樹形形成パターンの大きな違いのひとつは、針葉樹・広葉樹に共通して認められる相対成長規則にしたがって、ただ r をほぼ3にすることで、葉密度調節を行っているだけか、それとも、 r をさらに低下させて、その利点を生かす方向で、一次枝相互間の成長度合いの調節を行ったり、枝条構造を変

化させるなどといったような工夫をこらすことで、より柔軟で生産効率の高い樹形を形成しているかに帰着するものと考えられた。

森林景観は、相観的には、常緑広葉樹、落葉広葉樹、常緑針葉樹が、気候の変化に伴って、垂直、水平的に推移するものの総体と考えることができる。そして、その推移の要因については、吉良の温量指数による説明や、菊澤による、コストベネフィット解析を用いた、常緑から落葉、落葉から常緑に推移する、常緑樹の二山型分布の説明などがあるが、広葉樹から針葉樹への推移に対する定量的な説明はまだなされていなかった。本研究では、両者の樹形形成パターンを参考に定式化されたモデルにより、広葉樹型のコストベネフィット解析の試算を行い、その成長戦略が競合的であることの一端を量的に示すことに成功し、このような解析法で、垂直、水平的な推移が説明される可能性を示した。今後、競合圧やストレスのかけ方、光合成速度や呼吸速度の評価の工夫、非同化器官量を定めるパラメータの再検討、光合成好適期間の $f=1$ 以外での解析、針葉樹との比較、等の課題をクリアすることによって、針葉樹型(突出型樹形形成種)・広葉樹型(沿下型樹形形成種)の織りなす森林景観を、明瞭に、定量的に示すことが可能になると考えられる。

6. 結 語

地質学上の記録によれば、白亜紀の初めには現代的なスタイルの森林が存在したといわれており、それ以来、さまざまな植物によってその主要構成要素の推移のさまが演じられてきた。そのような歴史の延長にある現代の森林において、現生の針葉樹類は、被子植物の前の時代に世界中に広がっていた針葉樹林の名残であって、広葉樹林によって押し退けられてきた、または、両者の闘争が引き続きおこなわれている(コーナー1989)ともいわれているが、両者のとる成長戦略の相違に目を向ければ、これら両者の織り成す森林景観は、必ずしもこれら両者の闘争の結果でもなければ、闘争の様相を呈しているともいえず、競合と非競合、定着と非定着といった、さらに複雑な社会関係の結果と見るべきものではないかと考えられる。CB解析を主とする、今後のより定量的な実証が必要である。

7. 要 旨

高木類は、樹形を含む生活型の違いから、針葉樹類と高木性広葉樹類に区分できるが、これら両者の生活型の基本を規定する樹形形成上の相違、特に定量的な相違については不明な点が少なくない。そこで、本研究では、針葉樹とは異なる広葉樹類の成長戦略特性の定量化を目的として、高木性広葉樹類の樹形形成の解析を試みた。

調査地は静大上阿多古フィールドで、広葉樹 17 種 45 個体を解析対象木に選定し、これらの樹高、直径などの基礎項目を測定したあと、樹形を構成するすべての枝条の伸長量の測定や齢の査定などをおこない、枝条の現存量(樹体を構成するすべての枝条の伸長量の総和)や枝条の累積形成量(それまでに形成された枝条の総伸長量)を時間の関数に置き換えた。また、枝の脱落、残存パターン、葉と枝条長との関係等も解析し、太さ情報なども含む樹形形成パターン全体の針葉樹とは異なる特徴を定式化した。最後に Kikuzawa(1991)などを参考にして CB 解析を行なった。

その結果、 t が充分小さいうちは、針葉樹類と同様に、広葉樹類でも、 t 年目における枝条の現存量 $F(t)$ や累積形成量 $f(t)$ が、累乗式(単純相対成長式)、 $F(t)=L t^{r1}$ 、 $f(t)=L t^{r2}$ (L は年平均樹長成長量)に従って増加する傾向が認められた。しかし、針葉樹では t が大きくなるに従い、拡張相対成長式に従うようになるが、広葉樹ではかなり加齢されても、 $F(t)$ や $f(t)$ の増加速度が低下せず、また、針葉樹の r 値は 3 に近いが、広葉樹では、 $r1$ で平均 2.18、 $r2$ でも平均 2.43 と、針葉樹類より小さかった。また、個々の一次枝の成長量 $B_1(t)$ に極端なバラツキが生じ、その結果、 $2^{n-1} \sim 2^n$ 年生一次枝全体の直径・本数分布が、 n に関わらず、最大一次枝(そのランクの中で、最も基部直径が大きい一次枝)の直径が $a \cdot 2^n$ (ここで a は定数)となり、かつ、 $0.5a \cdot 2^n \sim a \cdot 2^n$ の範囲の直径をもつ一次枝の残存本数がほぼ一定(3.5~5.2 本)となっていた。これは、樹冠を構成する一次枝を、規則的に脱落させながら、自己相似的に樹冠を再構成していく傾向があることを意味している。また、針葉樹では、葉量が枝条長と正比例するが、広葉樹では、短い枝条ほど単位長さ当り葉量が多くなっていた。このことは、個体全体の平均枝条長は一般に加齢されるに従い小さくなるため、単位枝条長当り葉量が経時的に増加することを意味する。

以上の結果より、広葉樹型の樹形形成について考えると、加齢されても $F(t)$ や $f(t)$ の増加速度が低下しな

いことから、長期間林床で被陰ストレスに耐えたのち、攪乱を契機に上層木化するといったストレス耐性的な対応パターンは、物質生産的にも、それほど有利とはいえないが、 r 値が相対的に小さいことや、効果的な葉量調節や非同化器官量調節がおこなえることなどから、多少のストレスであれば、一気に上層木化することが、物質経済的にも可能な成長戦略を取っていると予想される。

そこで、最後に、CB 解析を試み、ストレス(主に被陰ストレス、以下 s)の変化とともに、広葉樹型の樹形形成パターンの、 L 値毎の、上層木化率 a (競争に勝って上層木化する割合)と上層木化率 b (被陰に耐え、攪乱の後に上層木化する割合)、総合適応度($a+b$)、各 s 下での最適となる L (以下 L^*)と上層木化寄与率($a/(a+b)$)がどのように変化するかを求めた。その結果、どの s 下でも、 a の寄与率が b に比べてはるかに高く(99%前後)、そのため、 L^* が比較的小さい場合でも、競争に勝って上層木化する対応により総合適応度を高めていることがわかった。今回の解析は、まだ試算段階で、今後のより厳密な解析を必要としているが、以上の結果は、広葉樹型の対応パターンが、物質経済的にも競合的な対応であることを示唆している。

8. 引用文献

- Brown, C. L., G. M. Robert, & P. K. Paul (1967): Apical dominance and form in woody plants: A reappraisal. Amer. J. Bot. **54**(2), 153-162.
- Claßen-bockhoff, R. (2001): Plant morphology: The historic concept of Wilhelm Troll, Walter Zimmermann and Agnes Arber. Ann. Bot., **88**, 1153-1172.
- Cline M. G., K. Sadeski (2002): Is auxin the repressor signal of Branch growth in apical control? Amer. J. Bot. **89**(11), 1764-1771.
- コーナー (1989): 植物の起源と進化(大場秀章・能城修一訳). 八坂書房.
- ダーシー・トムソン(1973): 生物のかたち(柳田友道・遠藤勲・古沢健彦・松山久義・高木隆司訳). 東京大学出版会.
- Davidson, C. G., W. R. Remphrey (1990): An analysis of architectural parameters of male and female *Fraxinus pennsylvanica* in relation to crown shape and crown location. Can. J. Bot., **68**, 2035-2043.
- Ford, H. (1987): Investigating the ecological and evolutionary significance of plant growth form using stochastic simulation. Ann. Bot., **59**, 487-494.
- 藤本征司 (1993): 北海道の高木類の生育・更新様式に関する比較形態・生態学的研究. 静大演報, **17**, 1-64.
- 藤本征司 (1998): 高木類の生育更新・樹形特性から見た森林景観の基本構造の把握. 平成7~9年度科研報.
- 藤本征司・俣野利一郎 (1994): カツラ稚幼樹の生育パターン—野外調査、成長量および分枝様式—. 静大演習林報, **18**, 89-95.
- 藤本征司・佐藤守俊(1999): 針葉樹のシュート形成と樹形. 第46回日本生態学会大会講演集, 100.
- 藤本征司・佐藤守俊(2001): モミの樹形形成パターンについて. 東北大学植物園利用研究成果報告書, 12年度, 13-14.
- 藤本征司・嶋田理 (1991): 常緑針葉樹3種の稚幼樹期における被圧対応様式—樹体形成と物質生産に関する予備的解析—. 北大演研報, **48**, 2, 271-292.
- 藤本征司・徳永咲子(2002): 3つの樹体形成規則を用いた広葉樹地上部非同化器官の表面積の推定法. 文科省科研費補助金「我が国における広葉樹二次林における生産量および炭素固定機能の評価. 平成13年度研究課題成果報告集, 9-14.
- Gansert, D., K. Backes, T. Ozaki & Y. Kakubari (2002): Seasonal variation of branch respiration of treeline forming (*Betula ermanii* Cham.) and a montane (*Fagus crenata* Blume) deciduous broad-leaved tree species on Mt. Fuji, Japan. Flora, **197**, 186-202.
- Grime, J. P. (1977): Evidence for the existence of three primary strategy in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. Amer. Natur., **111**, 1169-1194.
- Grime, J. P. (1999): Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties (2nd ed.). Wiley.
- ゲーテ(1980): 形態学序説. ゲーテ全集14 自然科学論(前田富士男他訳). 潮出版社.
- Hallé, F., R. A. A. Oldeman & P. B. Tomlinson (1978): Tropical trees and forests: An architectural analysis. Springer-Verlag.

- 原 襄(1994) : 植物形態学. 朝倉書店.
- 林拙郎・高橋洋子(1997) : 樹形のモデル化について—スギ・ヒノキの場合—. J. Jpn. For. Soc., **79**, 4, 222-228.
- Holbrook, N. M., F. E. Putz (1989) : Influence of neighbors on Tree form : Effect of lateral shade and prevention of sway on the allometry of liquidambar styraciflua (sweet gum). Amer. J. Bot. **76**, 12, 1740-1749.
- 本多久夫 (1978) : 樹木の幾何学模型. 数理科学, **184**, 18-25.
- 本多久夫 (1981) : 樹木の分枝. 数理科学, **221**, 51-57.
- Honda H., J. B. Fisher (1978) : Tree branch angle : Maximizing effective leaf area. Science, **199**, 888-889.
- Honda H., J. B. Fisher (1979) : Ratio of tree branch lengths: The equitable distribution of leaf clusters on branches. Botany, **76**, 8, 3875-3879.
- Honda H., P. B. Tomlinson & J. B. Fisher (1981) : Computer simulation of branch interaction and regulation by unequal flow rates in botanical trees. Amer. J. Bot., **68**, 4, 569-585.
- 伊藤嘉昭(1994) : 生態学と社会. 東海大学出版会.
- 菊澤喜八郎(1986) : 葉の生存戦略 森林樹木を中心として. 日生態学会誌, **36**, 189-203.
- Kikuzawa, K. (1991-a) : A cost-benefit analysis of habit and leaf longevity of trees and their geographical pattern. Amer. Natur., **138**, 1250-1263.
- Kikuzawa, K. (1991-b) : Leaf phenology as an optimal strategy for carbon gain in plants. Can. J. Bot., **73**, 158-163.
- Kikuzawa, K. (1995) : The basis for variation in leaf longevity of plants. Vegetatio, **121**, 89-100.
- Kikuzawa, K. (1996-a) : Geographical distribution of leaf life span and diversity of trees simulated by a leaf-longevity model. Vegetatio, **122**, 61-67.
- 菊澤喜八郎(1996-b) : フェノロジーにもとづいた樹種多様性の緯度・高度勾配. 日生態会誌, **46**, 69-72.
- Kikuzawa, K., G. Kudo (1995) : Effect of the length of the snow-free period on leaf longevity in alpine shrubs: a cost-benefit model. Oikos, **73**, 214-220.
- 来田和人・藤本征司(1992) : 落葉広葉樹数種の枝条形成について. 日林北支論, **40**, 89-92.
- Kollmann, J., P. J. Grubb (2001) : Biological flora of central Europe: *Cornus sanguinea* L. Flora, **196**, 161-179.
- Kurth, W. (1994) : Morphological models of plant growth: Possibilities and ecological relevance. Ecological Modelling, **75-76**, 299-308.
- Larcher, W. (2001) : 植物生態生理学 (佐伯敏郎監訳). シュプリンガー・フェアラーク東京.
- 間野知宏・隅田明洋(2000) : アオハダの短枝・長枝のシュート構造の解析. 中森研, **48**, 15-16.
- 中越信和(2000) : 景観生態学: 空間の入ったエコロジーの展開. 日生態学会誌, **50**, 261-267.
- 中静透・山本進一 (1987) : 自然攪乱と森林群集の安定性. 日生態会誌, **37**, 19-30.
- ニクラス, K. J. (1986) : 植物進化のコンピューター・シミュレーション(井上浩訳). サイエンス, **16**, No. 5, 66-75.
- Niklas, K. J. (1997) : Mechanical properties of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Wood. Size and age-dependent variation in sap- and heartwood. Annals of Botany **79**, 265-272.
- Niklas, K. J., B. J. Enquist (2002) : Canonical rules for plant organ biomass partitioning and annual allocation. Amer. J. Bot., **89**, 5, 812-819.
- 沼田真(1996) : 景観生態学の基礎概念と方法—自然保護との関連とともに—. 景観生態学, 沼田真(編), 朝倉書店, 1-7.
- Oohata, S., T. Shidei (1971) : Studies on the branching structure of trees. I. Bifurcation ratio of trees in Horton's law. Jap. J. Ecol., **21**, 7-14.
- Perttunen, J., R. Sievanen, E. Nikinmaa, H. Salminen, H. Saarenmaa & J. Vakeva (1996) : Lignum: A model based on simple structural units. Ann. Bot., **77**, 87-98.
- ピアンカ, E. R. (1980) : 進化生態学 (原書第2版訳) (伊藤嘉昭監修). 蒼樹書房
- Saeki, T., N. Nomoto (1958) : On the seasonal change of photosynthetic activity of the some deciduous and ever green broadleaf trees. Botanical Magazine Tokyo, **71**, 235-241.

- 佐々朋幸・大畑茂・若林義男・根岸賢一郎(1984): 秩父演習林産落葉広葉樹の樹皮呼吸速度. 東大演報, **23**, 117-129.
- 寄元道徳・武田博清(1989): 天然性アカマツ・ヒノキ林におけるヒノキ下層木の樹冠形態の可塑性とその更新. 日林論, **100**, 345-346.
- 寄元道徳・佐藤修一・渡辺康弘(1992): 針広混交林の異なった光環境下におけるトドマツ若木の樹冠の構造と動態. 日林論, **103**, 395-396.
- 寄元道徳・木村庄治(1993): 北方落葉広葉樹林における林冠木種の若木の樹冠の動態と維持. 京大演習林報, **65**, 85-93.
- 佐藤守敏(1999): 常緑針葉樹の分枝パターンと樹形. 1999年度静大農学部卒論.
- 佐藤守敏(2003): モミ等の分枝パターンに基づく常緑針葉樹の樹形形成パターンのモデル化. 平成14年度静大農学研究科修士論文.
- Shinozaki, K., K. Yoda, K. Hozumi & T. Kira(1964): A quantitative analysis of plant form—the pipe model theory. I. Basic analysis. Jap. J. Ecol., **14**, 97-105.
- Sprugel D. G., T. M. Hinckley, W. Schaap (1991): The theory and practice of branch autonomy. Annu. Rev. Ecol. Syst., **22**, 309-334.
- 隅田明洋 (1996): 広葉樹群落の空間構造—個体レベルからのアプローチ—. 日生態会誌, **46**, 31-44.
- 只木良也(1976): 森林の現存量—とくにわが国の森林の葉量について—. J. Jap. For. Soc., **58**, 11, 416-423.
- 高木隆司(1992): 形の数理. 171pp, 朝倉書店.
- 竹中明夫(1999): 光獲得構造としての植物のマクロなたち. 化学と生物, **37**, 3, 189-195.
- 竹中明夫(2000): 樹形形成のメカニズムを枝の挙動にさぐる. 生物の形づくりの数理と物理. 本多久夫(編). 共立出版株式会社.
- Thomas, P. (2000): Trees: Their natural history. Cambridge university press. 72.
- 富樫麻子・隅田明洋(2000): レーザー測定器付きセオドライトを用いたコナラの3次元構造の測定. 中森研, **48**, 19-20.
- 徳永英二 (1981): 河川の分岐と流域構成について. 数理科学, **221**, 45-50.
- ウエインライト, S. A. (1989): 生物の形とバイオメカニクス(本川達雄訳). 東海大学出版会.
- 鷺谷いづみ・矢原徹一(1996): 保全生態学入門. 文一総合出版.
- Wilson, B. F. (2000): Apical control of branch growth and in woody plants. Amer. J. Bot., **87**(5), 601-607.
- ウッドワード(1993): 植生分布と環境変化. 古今書院.
- 山本進一 (1981): 極相林の維持機構—ギャップダイナミクスの視点から—. 生物科学, **33**(1), 8-16.
- 養老孟司 (1986): 形を読む. 生物の形態をめぐって. 培風館.
- 依田恭二 (1971): 森林の生態学. 築地書館.

<付録>

1. 枝条の形成量の推定法

累積形成量の推定は、①齡が十分小さいときは、樹体上部では、枝条の脱落がほとんどみとめられないので、樹体上部3年間の、枝条の伸長量の実測値から推定し、②齡 t が大きいときは、加齡に伴い、枝条の枯死脱落が起こるので、実測値から推定できないため、樹体上部で、齡 t の主軸の直径 $D(t)$ と、そこから上の $f(t)$ の間に $f(t) = a\{D(t)\}^b$ の関係が成り立っている(a, b は定数)ことに着目し、この相関関係を、 $D(t)$ が大きい場合にも適用することによって、 $f(t)$ を推定した。なお、この推定式と(1)式の関係であるが、まず、 $D(t)$ の毎年の太り成長が一定(k)であるとする、

$$D(t) = k t$$

$$\therefore t = D(t)/k$$

これを(1)式に代入すると

$$f(t) = L t^r$$

$$f(t) = L \{D(t)/k\}^r$$

$$f(t) = (L/k^r) D(t)^r$$

となり、実測値において L と (L/k^r) 、 r と b はほぼ等しかったため $f(t) = a\{D(t)\}^b$ は妥当であると考えられ

た。

2. 広葉樹地上部非同化器官の表面積の推定法

はじめに

広葉樹単木の成長モデル（樹体形勢モデル）の構築を目的として、ホルトンの規則や、パイプモデル、樹形形成の相対成長規則が成り立つ場合に、広葉樹の地上部非同化器官の表面積がどのような推定式によって記述できるかについては、藤本ら(2002)によって検討や、実測値との比較が試みられている。しかし、このモデルは、樹冠内部（生枝上）の枝条の脱落を仮定していないため、針葉樹における地上部非同化器官の表面積推定式とすることが妥当であると考えられる。そこで、以下では広葉樹の樹冠内部の一次枝の残存の仕方（本文 19-20 ページ）なども参考にして、広葉樹地上部非同化器官の表面積推定式を導出、あわせて実測値との比較も試みた。

推定式の導出

ホルトンの第一規則が樹木の分岐様式にも成り立つと考えると、時間の経過に伴う個体の成長を、ホルトンの最大次数の増加の過程とみることも可能である。

本文 19-20 ページのような自己相似的な成長パターンと一次枝の脱落パターンを仮定した場合、ホルトンの最大次数が m 次の個体からみた枝条の脱落は、最大次数が $m-1$ 次の個体の主軸をのぞく全枝条に相当することになる。この場合、最大次数 m の個体からみた各次数ごとの脱落率 $(1-p)$ は、次数にかかわらず

$$1-p = (R_b - 1)/R_b^2$$

と、一定となる。

ホルトンの第 1 規則は、ホルトンの k 次の枝（ホルトンの k 次枝）の本数を N_k とすると、脱落を考えない場合

$$N_k = N_1/R_b^{k-1} \quad \dots \dots \dots (1)$$

が成り立つが、上述したように、脱落が各次数の枝に同じ比率 $1-p$ でおこると仮定すると、残存率は p なので、

$$N_k = N_1/(pR_b)^{k-1} \quad \dots \dots \dots (2)$$

と書き換えられる。

また、さらにパイプモデルも成り立つとすると、 $k-1$ 次枝の多くは k 次枝から分岐しているので、枝の脱落がない場合は、任意の k で、

$$N_k \cdot D_k^2 \doteq N_{k-1} \cdot D_{k-1}^2$$

が成り立つが、枝条の脱落が起こる場合であっても、脱落した $k-1$ 次の枝条の肥大成長は、 k 次枝に反映されているはずなので、枝の脱落がない場合と同様に (3) 式がなりたつと考えられる。

また、そのように、肥大成長に関しては、脱落が生じない場合と同様であるので、 N_{k-1}/N_k は (1) 式より R_b なので、任意の k で

$$D_k^2 \doteq D_{k-1}^2 R_b$$

が成り立つ。従って、

$$D_k = D_1 R_b^{(k-1)/2} \quad \dots \dots \dots (3)$$

となる。

また、ホルトンの第 2 規則も成り立つと考え、 k 次枝の平均長を L_k とすると、

$$L_k = L_1 R_1^{k-1}$$

が成り立ち、また、 R_1 は流長比（枝条長比と見なせる）であるが、分岐体の自己相似的発達をより普遍的なものと仮定することで、さらに、

$$R_1 \doteq R_b^{1/2}$$

と見なせるようになるので（徳永, 1989）、上式は結局、

$$L_k = L_1 R_b^{(k-1)/2} \quad \dots \dots \dots (4)$$

と書き換えられる。なお、この自己相似仮定は、(4) 式および (5) 式より、

$$L_k/D_k = L_1/D_1$$

が、任意の k で成り立つので、ホルトンの L_k/D_k 比が次数に関わらず、一定となることを意味する仮定である。すなわち、以上のように考えて、(2)～(4) 式が成り立つものと見なし、また、本文 (1) 式（樹形形成の相対成長規則）が成り立つと仮定すると、樹体全体の非同化器官の表面積 S は、以下の (5) 式で求められる。

$$S = F \cdot s \quad \dots \dots (5)$$

ここで、Fは枝条の現存量（樹体を構成するすべての枝条の伸長量の総和）、sは樹冠を構成するすべての枝条を単位長さ1cmに切り分けた場合のそれぞれの表面積の相加平均である。

まず、sは、

$$s = \pi \left(\sum_{k=1}^m D_k L_k N_k \right) / \sum_{k=1}^m L_k N_k \quad (6)$$

で求められるが、(2) (3) (4) 式から、

$$\begin{aligned} s &= \pi D_1 L_1 N_1 \sum_{k=1}^m (1/p)^{k-1} / L_1 N_1 \sum_{k=1}^m \{1/(p \cdot R_b^{1/2})\}^{k-1} \\ &= \pi (D_1/L_1) L_1 \sum_{k=1}^m (1/p)^{k-1} / \sum_{k=1}^m \{1/(p \cdot R_b^{1/2})\}^{k-1} \quad (7) \end{aligned}$$

と書き換えられる。さらに、(7)式の右辺の分子のΣ以降については、

$$\sum_{k=1}^m (1/p)^{k-1} = (p - p^{1-m}) / (p-1)$$

(7)式の右辺の分母については、

$$\sum_{k=1}^m (1/p)^{k-1} R_b^{-(k-1)/2} = \{p R_b^{1/2} - (p R_b^{1/2})^{1-m}\} / (p R_b^{1/2} - 1)$$

となる。また、(3)式より、

$$R_b^{-(k-1)/2} = D_1/D_k$$

で、 D_k は D_0 で代替可能で、年肥大成長は D_1 とほぼ等しいと考えられるので、根元の年輪数(すなわち樹齢)をtとすると、

$$D_0 = D_1 t$$

となるので

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^m (1/p)^{k-1} R_b^{-(k-1)/2} &= \{p R_b^{1/2} - (D_1/D_0) p^{1-m}\} / (p R_b^{1/2} - 1) \\ &= (p R_b^{1/2} - p^{1-m}/t) / (p R_b^{1/2} - 1) \end{aligned}$$

となる。さらに、(3)式が任意のkで成り立つので、

$$\begin{aligned} m-1 &= 2 \log_{R_b} (D_0/D_1) \\ &= 2 \log_{R_b} t \end{aligned}$$

であるので、結局(6)式は

$$\begin{aligned} s &= \pi (D_1/L_1) L_1 \{p \cdot t^{-(2 \log_{R_b} p)}\} (p R_b^{1/2} - 1) \\ &\quad / (p-1) \{p R_b^{1/2} - t^{-(2 \log_{R_b} p)}\} \quad \dots \dots (8) \end{aligned}$$

となる。従って、(5)式および(8)式より、結局、広葉樹の地上部非同化器官の表面積は以下の時間の関数、

$$\begin{aligned} S(t) &= F(t) \cdot s(t) \\ &= L t^{r-\alpha} \cdot \pi (D_1/L_1) L_1 \{p \cdot t^{-(2 \log_{R_b} p)}\} (p R_b^{1/2} - 1) \\ &\quad / (p-1) \{p R_b^{1/2} - t^{-(2 \log_{R_b} p)}\} \\ &= L^2 \cdot t^{r-\alpha} \cdot \pi (D_1/L_1) \{p \cdot t^{-(2 \log_{R_b} p)}\} (p R_b^{1/2} - 1) \\ &\quad / (p-1) \{p R_b^{1/2} - t^{-(2 \log_{R_b} p)}\} \quad \dots \dots (9) \end{aligned}$$

実測値との比較

個体ごとの測定結果一覧を表1に示した。

また、図1~2に、個体の非同化器官表面積の推定値と実測値の関係を示した。図1はパラメータr、 R_b 、 L_1/D_1 を環境による変化のないパラメータと考えて、サンプル木の平均値を用いた場合で(rは2.09、 R_b は4、 L_1/D_1 比は85)、図2は個体ごとの測定値を用いた場合である。

パラメータに平均値を用いた場合に関しては、概ねよく当てはまっているが、個体ごとの測定値を用いた場合の推定値が実測値より3倍程度大きな値を示していた。この理由として R_b を樹体上部5年程度のみで算出していることがあげられるとともに、両推定法とも L_1/D_1 比を再検討する必要があると考えられる。また、ホルトンの次数毎の残存率pに関して $R_b=4$ における値0.8を用いたが、これについてもパラメータ化の検討が必要と考えら

れる。

3. 広葉樹地上部非同化器官の体積の推定法

はじめに

藤本ら(2002)や、付録1に続いて、単木の成長モデル(樹体形勢モデル)の構築を目的として、ホルトンの規則や、パイプモデル、樹形形成の相対成長規則が成り立つ場合、地上部非同化器官の体積(形成量)やその毎年の形成量がどのような推定式によって記述できるようになるかについて検討した。

推定式の導出

ホルトンの第1規則が樹木の分岐過程にも成り立つと考えると、ホルトンのk次の枝(ホルトンのk次枝)の本数を N_k とすると、

$$N_k = N_1 / R_b^{k-1} \quad \dots \dots \dots (1)$$

が成り立つ。また、さらにパイプモデルも成り立つとすると、k-1次枝の多くはk次枝から分岐しているので、枝の脱落がない場合は、任意のkで、

$$N_k \cdot D_k^2 \doteq N_{k-1} \cdot D_{k-1}^2$$

が成り立つ、また、ここで、 N_{k-1}/N_k は(1)式より R_b なので、任意のkで

$$D_k^2 \doteq D_{k-1}^2 R_b$$

が成り立つ。従って、

$$D_k = D_1 R_b^{(k-1)/2} \quad \dots \dots \dots (2)$$

となる。

また、ホルトンの第2規則も成り立つと考え、k次枝の平均長を L_k とすると、

$$L_k = L_1 R_1^{k-1}$$

が成り立ち、また、 R_1 は流長比(枝条長比と見なせる)であるが、分岐体の自己相似的発達をより普遍的なものと仮定することで、さらに、

$$R_1 \doteq R_b^{1/2}$$

と見なせるようになるので(徳永, 1989)、上式は結局、

$$L_k = L_1 R_b^{(k-1)/2} \quad \dots \dots \dots (3)$$

と書き換えられる。

以上のように考えて、(1)~(3)式が成り立つものと見なし、また、本文(1)式(樹形形成の相対成長規則)が成り立つと仮定すると、ホルトンの最大次枝(幹の生枝下部分にはほぼ相当すると考えられる)を除く非同化器官の体積 V (すなわち、樹冠を構成する非同化器官の体積)は、以下の(4)式で求められるようになる。

$$V = (f - Hr) \cdot v \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 f は枝条の形成量(時間 t までに形成されたすべての枝条の伸長量の総和)、 v は樹冠を構成するすべての枝条を単位長さ1cmに切り分けた場合のそれぞれの体積の相加平均である。

まず、 v は、

$$v = (\pi/4) \left(\sum_{k=1}^{m-1} D_k^2 L_k N_k \right) / \sum_{k=1}^{m-1} L_k N_k \quad \dots \dots \dots (5)$$

で求められるが、(1)(2)(3)式から、任意のkで、

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^m D_k^2 L_k N_k &= D_1^2 L_1 N_1 \sum_{k=1}^{m-1} R_b^{k-1/2} \\ &= D_1^2 L_1 N_1 (R_b^{m-1/2} - 1) / (R_b^{1/2} - 1) \\ \sum_{k=1}^m L_k N_k &= L_1 N_1 \sum_{k=1}^{m-1} R_b^{-(k-1)/2} \\ &= L_1 N_1 (R_b^{-(m-1)/2} - 1) / (R_b^{-1/2} - 1) \end{aligned}$$

ここで、(2)式より

$$R_b^{k-1/2} = D_k / D_1$$

で、 D_k は D_0 と代替可能であり、年肥大成長量は D_1 とほぼ等しいと考え、根元の年輪数(すなわち樹齢)を t とする

と、上式は

$$R_b^{k-1/2} = t$$

となるので

$$\sum_{k=1}^m D_k^2 L_k N_k = D_1^2 L_1 N_1 (t-1) / (R_b^{1/2} - 1)$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^m L_k N_k &= L_1 N_1 (t^{-1} - 1) / (R_b^{-1/2} - 1) \\ &= L_1 N_1 R_b^{1/2} (t-1) / t (R_b^{1/2} - 1) \end{aligned}$$

したがって、(5)式は

$$v = (\pi/4) \cdot (D_1/L_1)^2 \cdot L_1^2 \cdot t/R_b^{1/2}$$

となり、(4)式は結局

$$\begin{aligned} V &= \{ f - Hr \} \cdot (\pi/4) \cdot (D_1/L_1)^2 \cdot L_1^2 \cdot t/R_b^{1/2} \\ &= L^3 (t - t + t*)^r \cdot t \cdot (\pi/4) \cdot (D_1/L_1)^2 / R_b^{1/2} \cdot \dots \cdot (6) \end{aligned}$$

となり、これに幹の生枝下部分の体積をプラスした(7)式が、樹体全体の非同化器官の体積の推定式となる。

$$\begin{aligned} V(t) &= L^3 (t - t + t*)^r \cdot t \cdot (\pi/4) \cdot (D_1/L_1)^2 / R_b^{1/2} \\ &\quad + (\pi/12) (D_1/L_1)^2 \cdot L^3 \cdot (t^3 - t^2 \cdot t*) \cdot (R_b - 1) / (R_b^{1/2} - 1) \\ &\quad \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

ここで、t*は生枝下年輪数で、広葉樹では実測値から、稚幼樹期を除けばほぼ一定で、平均0.6 tであったので、

$$\begin{aligned} V(t) &= L^3 \cdot 0.6^r \cdot t^{r+1} \cdot (\pi/4) \cdot (D_1/L_1)^2 / R_b^{1/2} \\ &\quad + (\pi/12) (D_1/L_1)^2 \cdot L^3 \cdot 0.4t^3 \cdot (R_b - 1) / (R_b^{1/2} - 1) \end{aligned}$$

したがって、t年目の非同化器官の形成量は

$$\begin{aligned} \Delta V(t) &= L^3 \cdot 0.6^r \cdot (r+1) \cdot t^r \cdot (\pi/4) \cdot (D_1/L_1)^2 / R_b^{1/2} \\ &\quad + (\pi/12) \cdot (D_1/L_1)^2 \cdot L^3 \cdot 1.2t^2 \cdot (R_b - 1) / (R_b^{1/2} - 1) \end{aligned}$$

で推定できることになる。

IV. 里山域の森林景観の構造と整備—上阿多古フィールドでの事例研究—

1. はじめに

本章では、次世代の里山域景観の抽出を目的として、事例研究対象地である静岡大学上阿多古フィールドの森林景観構造の現状分析を行ない、その結果を参考にして、事例対象地の今後の管理や整備の方針などについて検討した。

2. 調査地と方法

調査地である静岡大学農学部附属上阿多古フィールドは静岡県天竜市の観音山（標高 578m）の北斜面に位置し、気候は暖温帯に属し、平均気温は 14.4 度、年間降水量は約 2,300mm、降雪は年数回認められるが、積雪はほとんどなく、冬季は北西の常風が強く乾燥する。地形は低起伏山地で、60.7ha の面積をもつ。本林のほとんどは、ヒノキを主体とする針葉樹人工林からなるが、広葉樹二次林など、これとは違った林分も部分的に点在している。また、針葉樹人工林でも、林齢、各小班における広葉樹等との混交率、成長状況等は様々で、このような林分の多様性などにも着目すると、その総体を諸林分がモザイク状に複雑に組み合わせられた森林景観と見ることもできる。本研究では、上阿多古フィールド全域を、以上のような「森林景観」と捉え、ヒノキ・スギ人工林分主体の現況把握に終わることなく、なるべく全林の林分多様性等が抽出できるように調査を進め、1992 年の森林簿を新たに更新することにした。また、ヒノキ人工林については、主に標準地法に基づき材積や成長量を算定した（以前から設けられているヒノキ標準地 1 林班ろ小班 (no.1)、1 り (no.2)、1 ち (no.3)、1 め (no.4)、2 林班ろ小班 (no.5,6)、2 く (no.7)、2 へ (no.8) の調査をそれぞれ行なった）。他の若齢造林地、ヒノキ標準地以外の場所については、林分収穫表やシステム収穫表で、材積、成長量等の概数を見積もった。ヒノキ以外の広葉樹人工造林地や天然生林については、なるべく毎木調査を行ない、材積等を算定した。なお、調査に際しては、胸高直径 5cm 上を対象とし、ナンバータブによる個体識別、mm 単位での測定を基本としたが、広葉樹見本林については、5cm 未満も含めた、全植栽木を調査対象とした。

3. 結果

<概要>

調査より得られたフィールド全域の森林概況を表 1、図 1～2 に示した。立木総材積、ha 当り材積は、前回 1992 年の結果と比較すると、それぞれ 16384m³ から 19979m³、277m³ から 339m³ と増加していた。しかし、過去 10 年間の材積成長量は 5403m³ から、4136m³ と減少し、ha 当り換算でも、92m³ から 70m³ と減少していた。ha 当り年平均材積成長量も、前回の調査より、2 立方ほど減少していた。減少した理由のひとつとしては、1992 年までに比べて間伐量が減少したことが挙げられる。天竜・大井川地区のヒノキの林分収穫表によると、地位 3、林齢 61 年のヒノキ人工林の年平均材積成長量は、3m³ であり、当林の 7m³ という成長量は、かなり大きな値であったといえ、必ずしも成長不良となったことを意味するわけではないと考えられる。

人工林率は、期首の 1992 年とほとんど変わらず、針葉樹人工林率が 95%、針葉樹材積割合が 96% で、これは、当フィールドのほとんどが、針葉樹植栽木からなっていることを意味する。また、針葉樹の中でもヒノキが多く、面積で 78%、材積割合で 80% も占めており（図 2）、これは、当フィールドの大半がヒノキ人工林であることを意味している。

<ヒノキ人工林>

表 2 に、当フィールドの大半を占めるヒノキ人工林に設けられているヒノキ標準地 (No1～No8) の継続調査の結果を示した。

<ヒノキ以外の針葉樹人工林>

しかし、一方で、その林分や樹種の多様性に着目すると、必ずしも、ヒノキばかりからなるともいえず、ヒノキ以外にも、スギ・マツ類・その他の針葉樹林（コウヨウザンなど）がそれぞれ16.8%、針広混交林1、2テなどが2.1%占めるほか、小面積ながら、天然生広葉樹二次林（1ヨ、沢沿いなど2.4%）や、広葉樹人工林（見本林など、1.7%）も認められ、全体を通してみると、必ずしも一様とはいえないことも明らかである。このような、ヒノキ以外の針葉樹人工林の樹種別胸高直径階別本数表を表4～12に示した。

そのうち、表11、12に示したものは、上木をテーダマツとする針葉樹複層林（樹下植栽地）である。上木の成長は良好で、その最大胸高直径は60.2cmであった。樹下植栽したスギ、ヒノキの直径階は、まだ5cmに留まっていた。

<針広混交林>

材積割合から針広混交林に相当する小班としては、1林班の小班（針葉樹材積割合50.5%）、2林班テ小班（同59.7%）が認められた。

1林班の小班は、「原始の森」復元試験地を構成する小班であり、その調査結果は、付録に示した。

2林班テ小班的の樹種別胸高直径階別本数表を表13に示した。当小班も、もともとはヒノキ造林地であるが、その本数、材積は少なく、いわゆる不成績造林地に相当する林分である。

<天然生広葉樹林>

過去に人工植栽の履歴がなく、純粋に天然生広葉樹林に相当すると見なせる小班は3箇所であり、1林班ヨ小班、タ小班、レ小班がそれに相当する。そのうち、1林班ヨ小班に設けられた2つの調査区（合計0.087ha）の樹種別胸高直径階別本数表（合算）を表14に示した。タ小班は未調査に終わった。レ小班については、今回は調査しなかったが、最近の調査結果として、岩瀬(2000)がある。

<広葉樹が比較的多く混在するヒノキ人工林>

材積割合からは混交林には相当しないが、比較的広葉樹が多く混在するヒノキ人工林分（小班）も少なからず認められた。このような林分は、尾根沿いや沢沿いに集中して認められる。1林班については、このような小班（すなわち、い、ろ、は、に、と、ち、を、わ、および、カ小班）に混在していた広葉樹のみを対象に毎木調査を行った。その樹種別胸高直径階別本数表を表16に示した。コナラが多く、胸高直径57.2cmを示す個体も認められた。次いで直径の大きい個体は、ツブラジイの50.2cmであった。山頂に位置する2林班のヤ小班については、広葉樹と大径の針葉樹を調査対象にして、毎木調査した。結果を表15に示した。ヒノキ植栽木中最大胸高直径を示すものは、49.6cmと大きかった。また、スギ、アカマツの最大胸高直径も、54.6cmおよび66.0cmと大きかった。また、大径木は存在しなかったがツガが少数ながら認められたことも、この小班の特徴といえる。

<広葉樹人工林>

広葉樹人工林のうち、最も面積の広いものは、森林ステーション内広葉樹見本林(0.45ha)である。その樹種別胸高直径階別本数表を表24-aに示した。樹種別の平均胸高直径は、クスノキ9.6cm、タブノキ9.3cm、イチイガシ9.1cmなどが比較的大きく、コハクウンボク1.7cm、ブナ3.1cm、コブシ3.7cmなどは成長不良であった。また、見本林内に大径の針葉樹もあり、その樹種別胸高直径階別本数表を表24-bに示した。

広葉樹人工林としては、他に、1林班い1小班的のナツツバキ・ヒメシャラ・ブナ・ミズナラ林0.09ha（未調査）や、の、2林班テ小班的のフウ・コナラ・クヌギ林の0.14ha、2林班ぬ小班的のなどが存在する。後者の樹種別胸高直径階別本数表を表25に示した。

また、森林ステーションでは、1996年より、卒業記念植樹がおこなわれてきた。表26に、記念植樹時に導入した樹種・個体の一覧を示した。そのほとんどが、まだ幼木段階に留まっており、今後の成長が期待される。

以上に触れた林分以外に、針広混交人工林として、ヒノキ・コナラ混交林試見地の0.45haが存在するが、今回は、調査しなかった。

<ヒノキ人工林の齢級別の面積・材積割合>

ヒノキ人工林の齢級別の面積・材積割合を図4に示した。齢級ⅩⅢが面積23.6haと、ヒノキ人工林全体の面積の51%も占め、齢級配分に著しい偏りることがわかる。しかし、このように面積や材積に偏りはあるものの、

表1 上阿多古フィールドの現況(10年前との比較)

| | 1992 | 2002 |
|--------------------------------|-------|-------|
| 総材積(m ³) | 16384 | 19979 |
| ha当たり立木材積(m ³) | 278 | 339 |
| 過去10年間の総間伐量(m ³) | 1960 | 541 |
| 過去10年間の総成長量(m ³) | 5403 | 4136 |
| haあたり年平均材積成長量(m ³) | 9.2 | 7.0 |

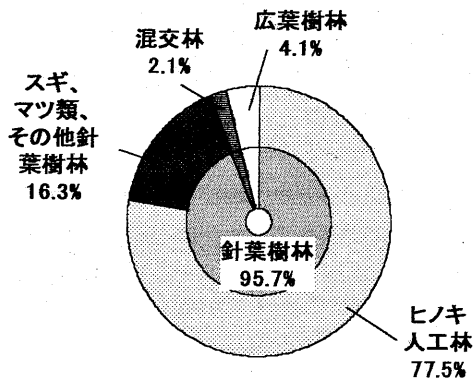


図1. 針・広樹種別面積割合

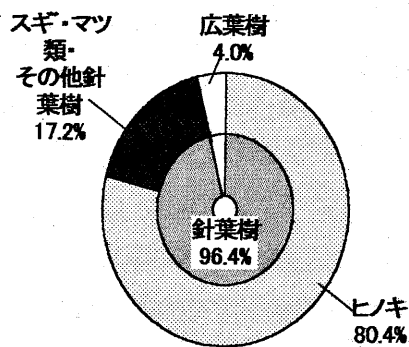


図2. 針・広・樹種別材積割合

表2 ヒノキ標準地調査結果一覧

| 調査年度 | 1993 | 2002 |
|-----------------------------|--|---|
| NO.1 1ろ内 0.09 ha | 総材積(m ³) 41.1 ha当たり材積(m ³) 480.1 総本数 171 ha当たり本数 1998 平均直径(cm) 18.0 平均樹高(cm) 17.2 | 40.5 47.3 106 1238 22.0 20.2 |
| NO.2 1ろ(一部ほ)内 0.41 ha | 総材積(m ³) 145.2 ha当たり材積(m ³) 352.5 総本数 610 ha当たり本数 1481 平均直径(cm) 19.4 平均樹高(cm) 19.1 | 173.4 420.8 496 1204 22.1 17.2 |
| NO.3 1ち内 0.11 ha | 総材積(m ³) 30.4 ha当たり材積(m ³) 269.0 総本数 141 ha当たり本数 1261 平均直径(cm) 18.6 平均樹高(cm) 14.8 | 39.4 352.1 140 1252 20.9 15.2 |
| NO.4 1ぬ内 0.1 ha | 総材積(m ³) 23.8 ha当たり材積(m ³) 237.8 総本数 154 ha当たり本数 1540 平均直径(cm) 16.8 平均樹高(cm) 17.2 | 34.0 339.8 149 1490 19.5 14.0 |
| NO.5 2ろ 0.04 ha | 総材積(m ³) 20.8 ha当たり材積(m ³) 574.0 総本数 48 ha当たり本数 1326 平均直径(cm) 22.2 平均樹高(cm) 20.6 | 22.7 626.2 33 912 27.0 23.3 |
| NO.6 2ろ内 0.06 ha | 総材積(m ³) 24.8 ha当たり材積(m ³) 397.0 総本数 65 ha当たり本数 1040 平均直径(cm) 22.6 平均樹高(cm) 18.1 | 28.4 455.1 50 800 26.6 20.1 |
| NO.7 2く内 0.14 ha | 総材積(m ³) 70.7 ha当たり材積(m ³) 517.4 総本数 173 ha当たり本数 1265.5 平均直径(cm) 22.3 平均樹高(cm) 18.7 | 71.1 519.9 110 805 28.0 20.2 |
| NO.8 2へ内 0.06 ha | 総材積(m ³) 19.8 ha当たり材積(m ³) 316.3 総本数 79 ha当たり本数 1264 平均直径(cm) 19.9 平均樹高(cm) 15.4 | 25.0 399.8 65 1040 22.9 17.4 |

表 4. 樹種別胸高直径階別本数表 (2ヶ小班 0.44ha)

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 50~ | 55~ | 60~ | 合計 | 材積 | 本数割合 | 本数密度 | 平均胸高直径 | 断面積合計 |
|---------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-------|--------|-------|
| デーダマツ | | | 3 | 15 | 17 | 17 | 24 | 13 | 7 | 2 | | | 98 | 93.55 | 0.36 | 222.7 | 33.7 | 17.81 |
| モドウマツ | | | 3 | 11 | 10 | 12 | 6 | 1 | 2 | | | | 45 | 33.45 | 0.17 | 102.3 | 29.5 | 3.15 |
| スギ | 1 | 1 | 6 | 6 | 10 | 7 | 1 | 1 | | | | | 33 | 16.38 | 0.12 | 75.0 | 25.5 | 1.72 |
| アカマツ | | | | 1 | | | 1 | | | | | | 2 | 1.15 | 0.01 | 4.5 | 30.0 | 0.14 |
| クロマツ | | | 3 | 4 | 10 | 7 | 4 | 1 | | | | | 29 | 11.39 | 0.11 | 65.9 | 23.9 | 1.36 |
| スワノモリ | | | 2 | 9 | 4 | 4 | 3 | | | | | | 22 | 7.22 | 0.08 | 50.0 | 21.8 | 0.89 |
| ヒノキ | | | | 3 | 2 | | | | | | | | 5 | 0.90 | 0.02 | 11.4 | 19.5 | 0.23 |
| ツブラジイ | 3 | 1 | | | | | | | | | | | 4 | 0.09 | 0.01 | 9.1 | 8.75 | 0.02 |
| ヤマザクラ | 14 | | | | | | | | | | | | 14 | 0.24 | 0.05 | 31.8 | 7.5 | 0.04 |
| クリ | 5 | | | | | | | | | | | | 5 | 0.10 | 0.02 | 11.4 | 7.5 | 0.02 |
| ホオノキ | 3 | | | | | | | | | | | | 3 | 0.04 | 0.01 | 6.8 | 7.5 | 0.01 |
| ケンボナン | 2 | | | | | | | | | | | | 2 | 0.04 | 0.01 | 4.5 | 7.5 | 0.01 |
| エゴノキ | 2 | | | | | | | | | | | | 2 | 0.03 | 0.01 | 4.5 | 7.5 | 0.01 |
| アカメガシワ | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 0.02 | 0.00 | 2.3 | 7.5 | 0.00 |
| ウリハダカエデ | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.00 | 2.3 | 7.5 | 0.00 |
| カナクギノキ | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.00 | 2.3 | 7.5 | 0.00 |
| ゴンズイ | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.00 | 2.3 | 7.5 | 0.00 |
| リュウブ | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.00 | 2.3 | 7.5 | 0.00 |
| マツ | | | | 1 | 1 | | | | | | | | 2 | 0.32 | 0.01 | 4.5 | 20 | 0.25 |
| 合計 | 35 | 7 | 29 | 50 | 48 | 43 | 33 | 15 | 9 | 2 | 0 | 0 | 271 | 165.0 | | 615.9 | 26.2 | 1.25 |

表 5. 樹種別胸高直径階別本数表 (1か小班 1ha)

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 50~ | 55~ | 60~ | 合計 | 材積 | 本数割合 | 本数密度 | 平均胸高直径 | 断面積合計 |
|---------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|------|--------|-------|
| デーダマツ | | | 5 | 15 | 15 | 20 | 12 | 7 | 4 | | | | 79 | 85.32 | 0.18 | 79 | 36.4 | 8.51 |
| スラッシュマツ | | | 10 | 30 | 46 | 31 | 19 | 3 | 1 | | | | 186 | 132.4 | 0.42 | 186 | 31.0 | 14.60 |
| クロマツ | | 2 | 6 | 8 | 20 | 10 | 4 | 4 | | | | | 54 | 31.34 | 0.12 | 54 | 27.9 | 3.46 |
| ヒノキ | | 1 | 6 | 15 | 27 | 35 | 14 | 1 | | | | | 99 | 58.57 | 0.22 | 99 | 29.3 | 6.84 |
| スギ | 1 | 1 | 2 | | 2 | 1 | | | | | | | 7 | 2.57 | 0.02 | 7 | 20.4 | 0.27 |
| アカマツ | | | | 1 | | 1 | | | | | | | 2 | 1.05 | 0.00 | 2 | 27.5 | 0.12 |
| クリ | 5 | | | | | | | | | | | | 5 | 0.07 | 0.01 | 5 | 7.5 | 0.02 |
| ツブラジイ | 3 | | | | | | | | | | | | 3 | 0.04 | 0.01 | 3 | 7.5 | 0.01 |
| エンコウカエデ | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.00 | 1 | 7.5 | 0.00 |
| クスノキ | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 0.02 | 0.00 | 1 | 7.5 | 0.00 |
| クマノミズキ | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.00 | 1 | 7.5 | 0.00 |
| エゴノキ | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 0.03 | 0.00 | 1 | 7.5 | 0.01 |
| エノキ | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.00 | 1 | 7.5 | 0.00 |
| ビワ | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.00 | 1 | 7.5 | 0.00 |
| その他L | 2 | | | | | | | | | | | | 2 | 0.03 | 0.00 | 2 | 7.5 | 0.01 |
| 合計 | 17 | 4 | 24 | 59 | 110 | 108 | 69 | 36 | 10 | 5 | 0 | 1 | 443 | 311.5 | | 443 | 30.2 | 33.84 |

表 6. 樹種別胸高直径階別本数表 (2な小班 0.22ha)

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 50~ | 55~ | 60~ | 合計 | 材積 | 断面積合計 |
|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-------|-------|
| デーダマツ | | | 3 | 3 | 12 | 9 | 10 | 6 | 5 | | | | 48 | 43.27 | 4.461 |
| スギ | | | 1 | 1 | 5 | 1 | 2 | 3 | | | | | 13 | 10.6 | 1.051 |
| アカマツ | | 1 | | | 1 | 1 | 2 | | | | | | 5 | 3.193 | 0.393 |
| ヒノキ | | | | | | 3 | | | | | | | 3 | 2.108 | 0.231 |
| クロマツ | 1 | | 2 | | 1 | | | | | | | | 4 | 1.031 | 0.125 |
| 合計 | 1 | 1 | 6 | 4 | 19 | 14 | 14 | 9 | 5 | | | | 73 | 60.2 | 6.261 |

表 7. 樹種別胸高直径階別本数表 (2う小班 1.88ha)

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 50~ | 55~ | 60~ | 合計 | 材積 | 本数割合 | 本数密度 | 平均胸高直径 | 断面積合計 |
|---------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|------|---------|-------------|------------|
| デーダマツ | | 1 | 8 | 11 | 8 | 12 | 20 | 6 | 5 | 2 | 2 | | 75 | 67.54 | 0.05 | 40 | 33.0 | 6.93 |
| ヒノキ | 13 | 128 | 197 | 187 | 148 | 132 | 81 | 29 | 3 | 3 | | | 921 | 422.7 | 0.62 | 490 | 24.2 | 47.3 |
| スラッシュマツ | | 2 | 12 | 35 | 47 | 37 | 22 | 13 | 1 | 3 | | | 172 | 115.3 | 0.12 | 91 | 29.7 | 12.5 |
| スギ | 2 | 20 | 41 | 41 | 22 | 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 140 | 49.25 | 0.09 | 74 | 21.5 | 5.57 |
| クロマツ | | 6 | 16 | 30 | 26 | 28 | 13 | 5 | | 1 | | | 125 | 69.91 | 0.08 | 66 | 27.3 | 7.77 |
| アカマツ | | | | 4 | 6 | 10 | 5 | 6 | | | | | 31 | 22.16 | 0.02 | 16 | 33.0 | 2.78 |
| コナラ | | 2 | 3 | | 1 | 2 | 1 | | | | | | 9 | 3.139 | 0.01 | 5 | 23.1 | 0.43 |
| クスギ | | | | | 1 | 1 | | | | | | | 2 | 1.085 | 0.00 | 1 | 30.0 | 0.15 |
| ツブラジイ | | | | | 1 | | | | | | | | 1 | 0.371 | 0.00 | 1 | 27.5 | 0.05 |
| ラクウショウ | 5 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 7 | 0.384 | 0.00 | 4 | 9.6 | 0.06 |
| ヤマザクラ | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 2 | 0.083 | 0.00 | 1 | 10.0 | 0.01 |
| アカメガシワ | 1 | 2 | | | | | | | | | | | 3 | 0.154 | 0.00 | 2 | 10.8 | 0.03 |
| タブノキ | 4 | | | | | | | | | | | | 4 | 0.056 | 0.00 | 2 | 7.5 | 0.01 |
| 合計 | 26 | 163 | 278 | 308 | 260 | 232 | 143 | 60 | 10 | 10 | 2 | 0 | 1492 | 752.1 | | 793.617 | 267.1229718 | 83.6489877 |

表 8. 樹種別胸高直径階別本数表 (2つ小班 0.18ha)

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 50~ | 合計 | 材積 | 平均胸高直径 | 断面積合計 |
|--------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|--------|-------|
| スギ | 5 | 13 | 26 | 29 | 15 | 17 | 4 | 4 | | 1 | 114 | 56.72 | 23.2 | 5.35 |
| ハビショウ | | | | | | | 1 | 1 | | 1 | 3 | 1.44 | 47.5 | 0.17 |
| ヒノキ | | | 1 | | | | | | | | 1 | 1.84 | 29.2 | 0.20 |
| コナラ | | | | | | 1 | | | | | 1 | 0.70 | 32.5 | 0.09 |
| ラクウショウ | 2 | 1 | | | | | | | | | 3 | 0.12 | 9.2 | 0.02 |
| 合計 | 7 | 14 | 27 | 29 | 15 | 19 | 5 | 4 | 1 | 1 | 122 | 60.82 | | 5.83 |

表 9. 樹種別胸高直径階別本数表 (2ら小班 コウヨウザンプロット 0.019ha)

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 合計 | 材積 | 本数割合 | 本数密度 | 平均胸高直径 | 断面積 |
|--------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|------|--------|--------|------|
| コウヨウザン | | 4 | 6 | 4 | 5 | | | | | 19 | 5.2 | 0.7 | 1000.0 | 20.1 | 0.63 |
| スギ | | | 2 | 3 | 2 | | | 1 | | 8 | 3.6 | 0.3 | 421.1 | 24.4 | 0.39 |
| ヒノキ | | | | 2 | | | | | | 2 | 0.5 | 0.1 | 105.3 | 22.5 | 0.07 |
| 合計 | | 4 | 8 | 9 | 7 | | | 1 | | 29 | 9.3 | | 1526.3 | 21.5 | 1.08 |

表 10. 樹種別胸高直径階別本数表 (2 小 0.14ha)

| サウラ試見地 | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 合計 | 材積 | 本数割合 | 本数密度 | 平均胸高直径 | 断面積合計 |
|--------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|------|------|-------|--------|-------|
| サウラ | | 8 | 25 | 20 | 24 | 6 | | | | 83 | 36.8 | 0.95 | 592.9 | 22.2 | 3.4 |
| ヒノキ | | | | | | 2 | | | | 2 | 1.5 | 0.02 | 14.3 | 32.5 | 0.2 |
| スギ | | 1 | | 1 | | | | | | 2 | 0.4 | 0.02 | 14.3 | 17.5 | 0.1 |
| | 9 | 25 | 21 | 24 | 8 | | | | | 87 | 38.7 | | 621.4 | 22.3 | 3.7 |

スギ試見地

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 合計 | 材積 | 本数割合 | 本数密度 | 平均胸高直径 | 断面積合計 | |
|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|------|------|--------|-------|-----|
| スギ | 2 | 7 | 19 | 31 | 11 | 3 | | | | 1 | 74 | 24.1 | 1 | 528.6 | 21.4 | 2.8 |

ヒノキ試見地

| ヒノキ | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 合計 | 材積 | 本数割合 | 本数密度 | 平均胸高直径 | 断面積合計 |
|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|------|------|-------|--------|-------|
| ヒノキ | 3 | 3 | 20 | 25 | 8 | 2 | | | | 61 | 17.6 | 1.00 | 435.7 | 20.6 | 2.13 |
| スギ | | | | | 1 | | | | | 1 | 0.6 | 0.02 | 7.1 | 27.5 | 0.07 |
| | 3 | 3 | 20 | 25 | 9 | 2 | | | | 62 | 18.2 | | 442.9 | 20.7 | 2.2 |

表 11. 樹種別胸高直径階別本数表 (2 小 0.009ha)

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 合計 | 材積 | 本数割合 | 本数密度 | 平均胸高直径 | 断面積合計 |
|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|------|------|--------|-------|
| テーダマツ | | | | | | | 1 | | | 1 | 2 | 2.8 | 0.14 | 222.2 | 45.0 |
| スギ | | 12 | | | | | | | | | 12 | 0.3 | 0.86 | 1333.3 | 7.9 |
| 合計 | | 12 | | | | | 1 | | | 1 | 14 | 3.1 | | 1555.6 | 12.9 |

表 12. 樹種別胸高直径階別本数表 (2 小 0.008ha)

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 合計 | 材積 | 本数割合 | 本数密度 | 平均胸高直径 | 断面積合計 |
|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|------|-------|--------|-------|
| テーダマツ | | | | | | 1 | 1 | | | 2 | 1.8 | 0.29 | 250.0 | 35.0 | 0.20 |
| ヒノキ | | 5 | | | | | | | | 5 | 0.0 | 0.71 | 625.0 | 7.5 | 0.01 |
| 合計 | | 5 | | | | 1 | 1 | | | 7 | 1.9 | | 875.0 | 15.4 | 0.22 |

表 11a. 樹種別胸高直径階別本数表 (2 小 0.55ha)

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 60~ | 合計 | 材積 | 本数割合 | 本数密度 | 平均胸高直径 | 断面積合計 | |
|-------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|------|------|------|--------|-------|------|
| テーダマツ | | 2 | 2 | 6 | 7 | 11 | | 9 | 6 | 4 | 1 | 48.0 | 43.5 | 0.83 | 87.3 | 33.1 | 4.49 |
| ヒノキ | | | | 1 | | | | | | | | 1.0 | 0.3 | 0.02 | 1.8 | 22.5 | 0.04 |
| スギ | | 5 | 1 | 2 | 1 | | | | | | | 9.0 | 0.8 | 0.16 | 16.4 | 11.9 | 0.11 |
| | 5 | 3 | 4 | 8 | 7 | 11 | | 9 | 6 | 4 | 1 | 58.0 | 44.6 | | 105.5 | 29.7 | 4.65 |

表 12a. 樹種別胸高直径階別本数表 (2 小 0.24ha)

| | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 50~ | 55~ | 合計 | 材積 | 本数割合 | 本数密度 | 平均胸高直径 | 断面積合計 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-------|--------|-------|
| スギ | 3 | 3 | 1 | | | | | | | 7 | 2.4 | 0.06 | 29.2 | 21.1 | 0.27 |
| テーダマツ | | 10 | 11 | 15 | 38 | 19 | 6 | 5 | 1 | 105 | 100.5 | 0.93 | 437.5 | 36.7 | 11.38 |
| ヒノキ | | 1 | | | | | | | | 1 | 0.3 | 0.01 | 4.2 | 22.5 | 0.04 |
| 合計 | 3 | 14 | 12 | 15 | 38 | 19 | 6 | 5 | 1 | 113 | 103.2 | | 470.8 | 35.6 | 11.68 |

表 13. 樹種別胸高直径階別本数表 (2 小 0.36ha)

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 50~ | 55~ | 合計 | 材積 | 本数割合 | 本数密度 | 平均胸高直径 | 断面積合計 |
|--------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|-------|--------|-------|
| ヒノキ | 8 | 15 | 13 | 18 | 10 | 13 | 8 | 7 | 9 | 2 | 1 | 104 | 58.62 | 0.32 | 288.9 | 26.6 | 6.93 |
| コナラ | 12 | 32 | 15 | 18 | 6 | | | 1 | | | | 84 | 13.15 | 0.26 | 233.3 | 16.2 | 2.34 |
| ツブラジイ | 4 | 6 | 10 | 12 | 9 | 4 | | | | | | 45 | 11.38 | 0.14 | 125.0 | 20.6 | 2.11 |
| クスギ | | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | | | | | | 12 | 4.20 | 0.04 | 33.3 | 23.8 | 0.58 |
| ネムノキ | | 1 | 2 | 8 | | 1 | | | | | | 12 | 3.74 | 0.04 | 33.3 | 21.7 | 0.62 |
| アカガシ | 4 | 5 | 1 | 1 | | 1 | | | | | | 12 | 1.57 | 0.04 | 33.3 | 13.8 | 0.38 |
| ヤマザクラ | 1 | 13 | 8 | 4 | | | | | | | | 26 | 3.43 | 0.08 | 72.2 | 15.4 | 0.68 |
| アカマツ | | | | 1 | | | | | | | | 1 | 0.31 | 0.00 | 2.8 | 22.5 | 0.04 |
| ヤブニツケイ | | 1 | 1 | | | | | | | | | 2 | 0.19 | 0.01 | 5.6 | 15.0 | 0.03 |
| ヤマモモ | | 1 | 1 | | | | | | | | | 2 | 0.23 | 0.01 | 5.6 | 15.0 | 0.11 |
| リョウブ | | 1 | 1 | | | | | | | | | 2 | 0.21 | 0.01 | 5.6 | 15.0 | 0.03 |
| ヤマナラシ | | | 1 | | | | | | | | | 1 | 0.12 | 0.00 | 2.8 | 17.5 | 0.03 |
| ケンボナシ | 2 | 2 | | | | | | | | | | 4 | 0.16 | 0.01 | 11.1 | 10.0 | 0.03 |
| アズキナシ | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.06 | 0.00 | 2.8 | 12.5 | 0.01 |
| シラカシ | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.07 | 0.00 | 2.8 | 12.5 | 0.01 |
| シロダモ | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.07 | 0.00 | 2.8 | 12.5 | 0.01 |
| アカメガシワ | 2 | | | | | | | | | | | 2 | 0.06 | 0.01 | 5.6 | 7.5 | 0.01 |
| アラカシ | 1 | | | | | | | | | | | 1 | 0.02 | 0.00 | 2.8 | 7.5 | 0.00 |
| カゴノキ | 1 | | | | | | | | | | | 1 | 0.02 | 0.00 | 2.8 | 7.5 | 0.00 |
| ゴンズイ | 1 | | | | | | | | | | | 1 | 0.02 | 0.00 | 2.8 | 7.5 | 0.00 |
| ヤブツバキ | 1 | | | | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.00 | 2.8 | 7.5 | 0.00 |
| 不明 | | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | 5 | 1.04 | 0.02 | 13.9 | 18.5 | 0.16 |
| 合計 | 37 | 85 | 56 | 65 | 29 | 22 | 9 | 7 | 9 | 2 | 1 | 321 | 98.69 | | 891.7 | 20.3 | 14.14 |

表 14. 樹種別胸高直径階別本数表 (1日天然生二次林広葉樹試験地 0.087ha)

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 50~ | 55~ | 60~ | 65~ | 合計 | 材積 | 本数割合 | 本数密度 | 平均胸高直径 | 断面積合計 |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|--------|--------|-------|
| アカマツ | | | | 1 | 2 | 4 | | | 1 | | | | | 8 | 3.63 | 0.03 | 92.5 | 26.9 | 0.47 |
| コナラ | 4 | 6 | 5 | 5 | 4 | 2 | | | | | | | | 26 | 5.77 | 0.10 | 300.6 | 18.5 | 0.95 |
| アカガシ | 4 | 1 | 3 | 3 | 2 | 1 | | | | | | | | 14 | 3.01 | 0.05 | 161.8 | 17.9 | 0.67 |
| アカシデ | 3 | 4 | | | | | | | | | | | | 7 | 0.36 | 0.03 | 80.9 | 10.4 | 0.06 |
| ツブラジイ | | | | | | 2 | | | | | | | | 2 | 0.90 | 0.01 | 23.1 | 27.5 | 0.26 |
| ヤマザクラ | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | 6 | 0.99 | 0.02 | 69.4 | 16.7 | 0.20 |
| スギ | 11 | 1 | | 1 | 1 | | | | | | | | | 13 | 0.62 | 0.05 | 150.3 | 9.0 | 0.09 |
| リョウブ | 4 | 3 | | | | | | | | | | | | 7 | 0.34 | 0.03 | 80.9 | 9.6 | 0.06 |
| モミ | 6 | 2 | | | | | | | | | | | | 8 | 0.00 | 0.03 | 92.5 | 8.8 | 0.04 |
| ヤブニツケイ | 4 | 2 | | | | | | | | | | | | 6 | 0.19 | 0.02 | 69.4 | 9.2 | 0.03 |
| イヌシデ | | 2 | | | | | | | | | | | | 2 | 0.13 | 0.01 | 23.1 | 12.5 | 0.03 |
| ソヨゴ | 12 | 1 | | | | | | | | | | | | 13 | 0.29 | 0.05 | 150.3 | 7.9 | 0.07 |
| ヒメシャラ | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | 2 | 0.12 | 0.01 | 23.1 | 10.0 | 0.02 |
| ホオノキ | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | 2 | 0.10 | 0.01 | 23.1 | 10.0 | 0.02 |
| ヤブツバキ | 54 | | | | | | | | | | | | | 54 | 1.06 | 0.21 | 624.3 | 7.5 | 0.20 |
| ヒサカキ | 42 | | | | | | | | | | | | | 42 | 0.74 | 0.16 | 485.5 | 7.5 | 0.15 |
| サカキ | 15 | | | | | | | | | | | | | 15 | 0.27 | 0.08 | 173.4 | 7.5 | 0.05 |
| ユズリハ | 4 | | | | | | | | | | | | | 4 | 0.12 | 0.02 | 46.2 | 7.5 | 0.02 |
| カゴノキ | 2 | | | | | | | | | | | | | 2 | 0.04 | 0.01 | 23.1 | 7.5 | 0.01 |
| シキミ | 2 | | | | | | | | | | | | | 2 | 0.03 | 0.01 | 23.1 | 7.5 | 0.01 |
| シラキ | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.00 | 11.6 | 7.5 | 0.00 |
| イヌガシ | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.00 | 11.6 | 7.5 | 0.00 |
| ヒノキ | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.00 | 11.6 | 7.5 | 0.00 |
| ミヤマシキミ | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.03 | 0.00 | 11.6 | 7.5 | 0.01 |
| その他L | 14 | 5 | 2 | 1 | | | | | | | | | | 22 | 1.35 | 0.08 | 254.3 | 10.2 | 0.27 |
| 合計 | 188 | 31 | 12 | 13 | 13 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 261 | 20.14 | | 3017.3 | 10.7 | 3.68 |

表 15. 樹種別胸高直径階別本数表 (2ヤ小班 3.51ha)

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 50~ | 55~ | 60~ | 65~ | 合計 | 材積 | 本数割合 | 本数密度 | 平均胸高直径 | 断面積合計 |
|----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------|------|--------|-------|
| アカマツ | | | | | | 1 | | 1 | 1 | | | | | 4 | 6.16 | 0.03 | 1.1 | 45.0 | 0.67 |
| スギ | | | | | | | | 3 | 5 | 3 | 1 | | | 12 | 15.48 | 0.10 | 3.4 | 43.3 | 1.78 |
| ヒノキ | | | | | | | | | | | | | | 2 | 3.25 | 0.02 | 0.6 | 47.5 | 0.37 |
| アカガシ | 2 | 3 | 3 | | | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | | | | 15 | 5.62 | 0.12 | 4.3 | 22.8 | 0.75 |
| モミ | | 4 | 5 | | 3 | 6 | 3 | | | | | | | 21 | 5.89 | 0.17 | 6.0 | 22.3 | 0.85 |
| サクラ | | | | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | 4 | 1.52 | 0.03 | 1.1 | 26.3 | 0.21 |
| コナラ | 1 | 3 | 7 | 4 | 5 | | | | | | | | | 20 | 4.63 | 0.16 | 5.7 | 19.8 | 0.66 |
| ツガ | | 1 | 1 | 5 | | | | | | | | | | 7 | 1.47 | 0.06 | 2.0 | 20.4 | 0.21 |
| ネムノキ | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.33 | 0.01 | 0.3 | 22.5 | 0.05 |
| イヌシデ | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | 4 | 0.37 | 0.03 | 1.1 | 13.8 | 0.06 |
| ヒメシャラ | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 2 | 0.21 | 0.02 | 0.6 | 15.0 | 0.03 |
| アカシデ | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.15 | 0.01 | 0.3 | 17.5 | 0.02 |
| ハリギリ | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.20 | 0.01 | 0.3 | 17.5 | 0.03 |
| ヤブニツケイ | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.15 | 0.01 | 0.3 | 17.5 | 0.02 |
| リョウブ | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.15 | 0.01 | 0.3 | 17.5 | 0.18 |
| ソヨゴ | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | 3 | 0.14 | 0.02 | 0.9 | 9.2 | 0.02 |
| ウリカエデ | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 0.05 | 0.01 | 0.3 | 12.5 | 0.01 |
| コハウチハカエデ | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 0.11 | 0.01 | 0.3 | 12.5 | 0.02 |
| タブノキ | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | 0.05 | 0.01 | 0.3 | 12.5 | 0.01 |
| ヤブツバキ | 3 | | | | | | | | | | | | | 3 | 0.08 | 0.02 | 0.9 | 7.5 | 0.01 |
| その他L | 3 | 11 | 5 | 1 | | | | | | | | | | 20 | 1.94 | 0.16 | 5.7 | 13.5 | 0.30 |
| 合計 | 12 | 28 | 28 | 16 | 14 | 7 | 6 | 7 | 5 | 1 | 0 | 0 | 1 | 125 | 47.94 | | 35.6 | 22.3 | 6.27 |

表 16. 樹種別胸高直径階別本数表 (1林班沢沿い(い、ろ、は、に、と、ち、を、わ、か小班))

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 50~ | 55~ | 60~ | 65~ | 70~ | 75~ | 80~ | 合計 | 材積 | 断面積合計 |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| コナラ | 1 | 12 | 29 | 32 | 33 | 11 | 8 | 2 | 1 | | | | | | | | 130 | 48.47 | 7.004 |
| ツブラジイ | 10 | 6 | 6 | 7 | 9 | 1 | 5 | | | | | | | | | | 50 | 17.82 | 8.545 |
| ネムノキ | | | 2 | 4 | 3 | | | | | | | | | | | | 11 | 4.771 | 0.641 |
| クスノキ | 2 | | 2 | | | 1 | | | | | | | | | | | 8 | 3.983 | 0.526 |
| ホオノキ | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | 1.289 | 0.165 |
| ハリギリ | 0 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | 3 | 1.195 | 0.159 |
| アカメカシワ | 7 | 12 | 5 | 5 | 1 | 3 | | | | | | | | | | | 39 | 5.168 | 0.758 |
| ヤマザクラ | 6 | 7 | 6 | 6 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | 28 | 4.9 | 0.782 |
| エゴノキ | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 4 | 0.7 | 0.097 |
| イヌシデ | 3 | 12 | 8 | 5 | 3 | 1 | | | | | | | | | | | 31 | 4.843 | 0.763 |
| クスノキ | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | 2 | 0.776 | 0.107 |
| アカガシ | 8 | 10 | 8 | 5 | 1 | | | | | | | | | | | | 32 | 4.062 | 0.812 |
| ケンボナシ | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | 11 | 1.985 | 0.339 |
| アサダ | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | 2 | 0.631 | 0.144 |
| ヤシヤブシ | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.397 | 0.055 |
| アラカシ | 55 | 28 | 11 | 4 | | | | | | | | | | | | | 97 | 6.008 | 1.154 |
| エンコウカエデ | 5 | 9 | 4 | 2 | | | | | | | | | | | | | 20 | 1.991 | 0.306 |
| ヤブニツケイ | 0 | 2 | | 2 | | | | | | | | | | | | | 4 | 0.611 | 0.107 |
| クマノミズキ | 5 | 3 | | 1 | | | | | | | | | | | | | 9 | 0.55 | 0.106 |
| イロハモミジ | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | 13 | 0.548 | 0.119 |
| カラスザンショウ | 3 | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | 7 | 0.377 | 0.062 |
| エノキ | 1 | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | 5 | 0.443 | 0.069 |
| アカシデ | 2 | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | 5 | 0.324 | 0.052 |
| マルデ | 2 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 3 | 0.245 | 0.037 |
| タブノキ | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.192 | 0.06 |
| ヤマモミジ | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 2 | 0.22 | 0.044 |
| ヤブツバキ | 23 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | 28 | 0.761 | 0.143 |
| サウシバ | 4 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | 7 | 0.28 | 0.06 |
| クリ | 5 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 6 | 0.174 | 0.031 |
| アウブキ | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 4 | 0.171 | 0.032 |
| ツサヅクラ | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 0.106 | 0.018 |
| シラカシ | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 0.081 | 0.024 |
| イヌビワ | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 0.059 | 0.01 |
| ヒメシャラ | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.111 | 0.017 |
| ウララジロガシ | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.104 | 0.039 |
| サカキ | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | 12 | 0.303 | 0.056 |
| ソヨゴ | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | 4 | 0.1 | 0.018 |
| リョウブ | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | 0.063 | 0.011 |
| ヒサカキ | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | 0.077 | 0.014 |
| シラキ | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | 0.073 | 0.013 |
| ネズミモチ | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 0.032 | 0.006 |
| ケンボナシ | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 0.051 | 0.014 |
| カゴノキ | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 0.044 | 0.012 |
| フジ | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.035 | 0.006 |
| ビワ | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.014 | 0.00 |
| テイカカズラ | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.015 | 0.00 |
| クサギ | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 0.015 | 0.00 |
| 合計 | 200 | 132 | 91 | 77 | 56 | 20 | 15 | 8 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 604 | 115.2 | 23.55 |

表24-a. 見本林内の高胸直径階別本数表(2000年調査)

| | 0~2 | 2~4 | 4~6 | 6~8 | 8~10 | 10~12 | 12~14 | 14~16 | 合計 |
|---------|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-----|
| クスノキ | 3 | 1 | 1 | 2 | 5 | 3 | 3 | | 18 |
| マテバシイ | 1 | 3 | 7 | 2 | 2 | | | 1 | 16 |
| スタジイ | 2 | 4 | 5 | 2 | 2 | 3 | | | 18 |
| タブノキ | 1 | 1 | 2 | 7 | 6 | 2 | | | 19 |
| イチイガシ | | 1 | 4 | 9 | 4 | 2 | | | 20 |
| アベマキ | 1 | 1 | 2 | 2 | 5 | 6 | 1 | | 18 |
| ウバメガシ | | 9 | 6 | 4 | | | 1 | | 20 |
| ツブラジイ | | 2 | 5 | 1 | 4 | | 1 | | 13 |
| シラカシ | | 2 | 8 | 6 | 4 | | | | 20 |
| コナラ | 1 | 1 | 5 | 6 | 4 | 2 | | | 19 |
| アカガシ | | 3 | 5 | 7 | 1 | 2 | | | 18 |
| シリブカガシ | | 3 | 5 | 2 | 4 | 1 | | | 15 |
| アラカシ | 2 | 1 | 2 | 8 | 9 | 1 | | | 23 |
| ホオノキ | | | 3 | 5 | 1 | 1 | | | 10 |
| アカシデ | 1 | 1 | 4 | 3 | 1 | 1 | | | 11 |
| ウラジロガシ | | 2 | 10 | 3 | 3 | | | | 18 |
| イロハカエデ | 1 | 1 | 8 | 6 | 2 | | | | 18 |
| ヤマモモ | | 4 | 6 | 5 | 2 | | | | 17 |
| カシワ | | 2 | 7 | 9 | 1 | | | | 19 |
| ケヤキ | | 6 | 9 | 3 | 1 | | | | 19 |
| クヌギ | | 3 | 11 | 4 | 1 | | | | 19 |
| ツクバネガシ | 1 | 5 | 6 | 2 | 1 | | | | 15 |
| ハリギリ | | 1 | | | 1 | | | | 2 |
| ニッケイ | | 1 | 4 | 7 | | | | | 12 |
| ミズナラ | 3 | 6 | 3 | 1 | | | | | 13 |
| トチノキ | | 2 | 2 | 1 | | | | | 5 |
| ブナ | 2 | 10 | 3 | | | | | | 15 |
| ヤブニッケイ | | 1 | 2 | | | | | | 3 |
| コブシ | | 2 | | | | | | | 2 |
| コハクウンボク | 1 | 1 | | | | | | | 2 |
| ナナカマド | 1 | | | | | | | | 1 |
| 総合計 | 16 | 64 | 123 | 108 | 73 | 37 | 13 | 4 | 438 |

表 26 記念植樹導入樹種一覧

| 針葉樹類 | 科名 | 樹種名 | 樹高 | 植栽年 |
|------|--------|------------|------|------|
| | イチイ科 | キヤラクボ | 0.35 | 2001 |
| | マツ科 | ヒマラヤスギ | 1.05 | 1996 |
| | マツ科 | ダイオウショウ | 0.44 | 1996 |
| | マキ科 | イヌマキ | 1.05 | 1998 |
| | コウヤマキ科 | コウヤマキ | 0.65 | 1998 |
| | ヒノキ科 | アスナロ | 0.6 | 1998 |
| | ヒノキ科 | カイズカイブキ | 1.1 | 1998 |
| | ヒノキ科 | スカイロケット | 0.65 | 2001 |
| | ヒノキ科 | オオシマイブキ | — | 2002 |
| | ヒノキ科 | オオゴンコノテガシワ | — | 2002 |
| 広葉樹類 | | | | |
| | モクレン科 | ハクモクレン | 0.65 | 1996 |
| | モクレン科 | シモクレン | 0.82 | 1996 |
| | ヤナギ科 | セイヨウハコヤナギ | — | 2001 |
| | ヤナギ科 | (アカメ)ネコヤナギ | — | 2002 |
| | クルミ科 | オニグルミ | 1.15 | 1999 |
| | クルミ科 | カシグルミ | — | 2002 |
| | ミカン科 | ユズ | 0.28 | 1999 |
| | ミカン科 | キハダ | 2.05 | 1999 |
| | マンサク科 | マンサク | 0.86 | 1996 |
| | マンサク科 | ヒュウガミズキ | 0.95 | 2001 |
| | バラ科 | フンゴウメ | 2.1 | 1996 |
| | バラ科 | ハナカイドウ | 1.15 | 1996 |
| | バラ科 | シダレザクラ | 0.85 | 1996 |
| | バラ科 | モモ | 3.3 | 1996 |
| | バラ科 | ナナカマド | 1.85 | 1997 |
| | バラ科 | ヤエザクラ | 0.75 | 1997 |
| | バラ科 | ボケ | 0.2 | 2000 |
| | バラ科 | セイヨウスモモ | 0.8 | 2001 |
| | バラ科 | ユスラウメ | 0.45 | 2001 |
| | バラ科 | アーモンド | — | 2001 |
| | バラ科 | カワズザクラ | — | 2002 |
| | マメ科 | ギンヨウアカシア | — | 2002 |
| | カエデ科 | コハクチワカエデ | 0.8 | 1999 |
| | モクセイ科 | ムラサキハジドイ | 1.7 | 1998 |
| | モクセイ科 | ギンモクセイ | 0.9 | 2001 |
| | モクセイ科 | シマトネリコ | — | 2002 |
| | モクセイ科 | ギンモクセイ | — | 2002 |
| | カキノキ科 | カキ | 1.08 | 1996 |
| | ツバジ科 | ドウダンツバジ | 1.15 | 1999 |

表24-b 見本林設定以前からの植栽木・天然更新木

| | 20~22 | 22~24 | 24~26 | 26~28 | 28~30 | 30~32 | 32~34 | 46~48 | 合計 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| モミ | | | | | | 1 | | 1 | 2 |
| ヒノキ | 1 | | 1 | | | | 1 | | 3 |
| アカマツ | 1 | | | | | | | | 1 |
| 計 | 2 | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 6 |

表 25. 樹種別胸高直径階別本数表(2テ小班コナラ・フウ・クヌギ植栽地 0.14ha)

| | 1~2.9 | 3~4.9 | 5~6.9 | 7~8.9 | 9~10.9 | 11~12.9 | 13~14.9 | 15~16.9 | 17~18.9 | 19~20.9 | 21~22.9 | 合計 | 本数割合 | 本数密度 | 平均胸高直径 |
|-----|-------|-------|-------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----|------|-------|--------|
| フウ | 1 | 18 | 23 | 15 | 10 | 11 | 3 | 3 | 3 | 1 | 1 | 89 | 0.64 | 635.7 | 8.2 |
| コナラ | 2 | 3 | 3 | 10 | 5 | 4 | | | | | | 27 | 0.20 | 192.9 | 7.7 |
| クヌギ | 3 | 4 | 5 | 6 | 2 | 1 | | 1 | | | | 22 | 0.16 | 157.1 | 6.5 |
| 合計 | 6 | 25 | 31 | 31 | 17 | 16 | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | 138 | | 985.7 | 7.9 |

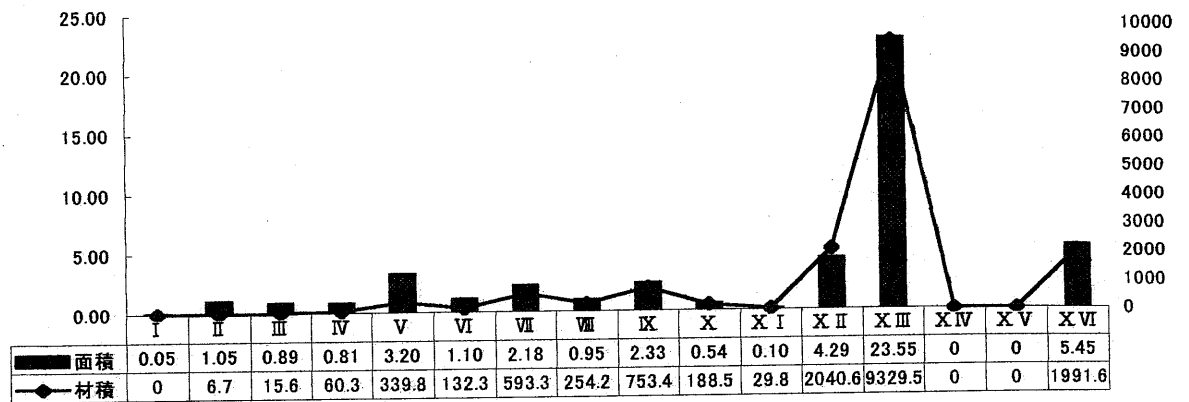


図4. ヒノキ年齢別面積材積割合

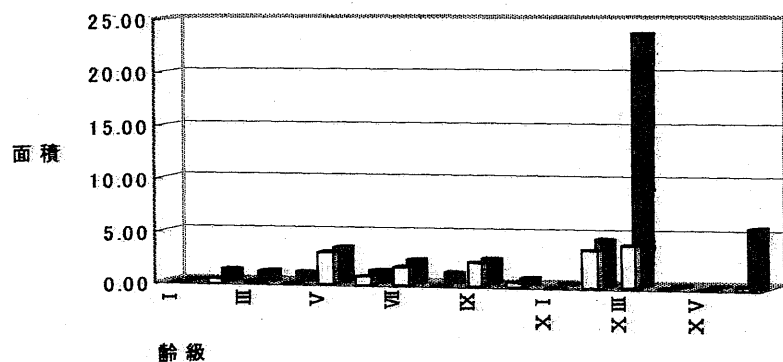


図5. ヒノキ生産林分面積

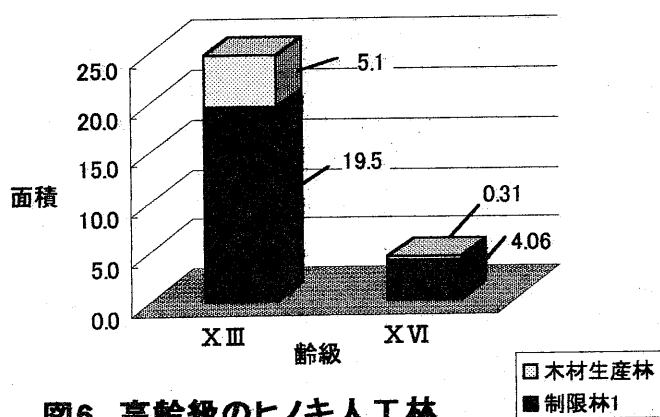


図6. 高齢級のヒノキ人工林の林種区分

表31 制限林1の対象地

| 制限林1 | ha | 小班 |
|-------------|------|----------|
| 原始の森復元試験地 | 13.1 | 1る、へ、タなど |
| 原始の森復元試験地周辺 | 8.8 | 1ほ、と、ちなど |
| 合計 | 21.9 | |

表32 制限林2の対象地

| 制限林2 | ha | 小班 |
|------------------------|------|-------------|
| 森林ステーション(見本林含む) | 0.5 | 2ほ2などの一部 |
| ヒノキ以外の針葉樹(コウヨウザン人工林など) | 5.0 | 2に、ケ、ろなど |
| 広葉樹人工林分(クリ見本林など) | 1.7 | 1い、2テ(一部)など |
| 各種試験林分 | 4.4 | 2ぬ、ち、ぬなど |
| 保安林 | 6.1 | 1ヨ、ヤなど |
| 除地 | 1.5 | |
| 合計 | 19.1 | |

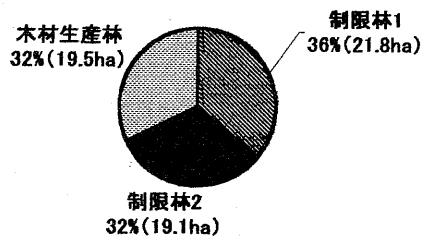


図7 林種の面積割合

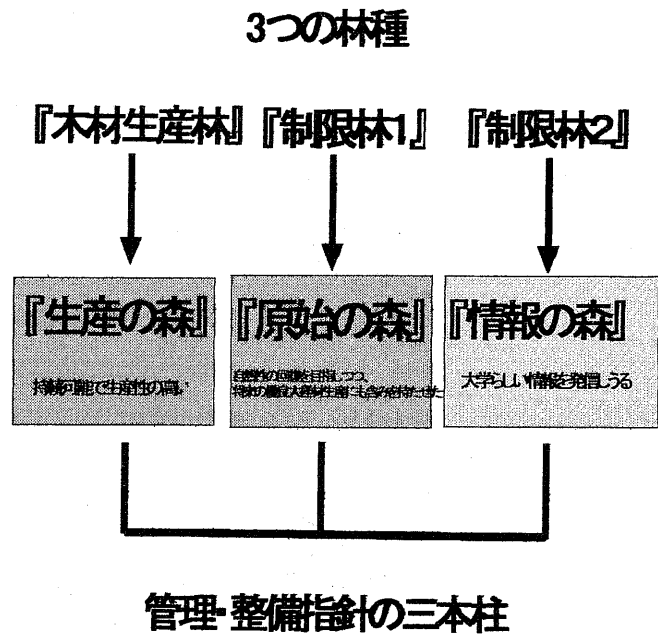


図8 上阿多古フィールドの整備案

I 齢級のものから XVI 齢級まで、幅広い齢級に渡って存在していることもまた事実といえる。

4. 考 察

現況調査・解析の結果、人工林率は、針葉樹人工林率が 95%、針葉樹材積割合が 96%で、これは、当フィールドのほとんどが、針葉樹植栽木からなっていることを意味する。また、針葉樹の中でもヒノキが多く、面積で 78%、材積割合で 80%も占めており（図 2、3）、これは、当フィールドの大半がヒノキ人工林であることを意味している。しかし、一方で、その林分や樹種の多様性に着目すると、必ずしも、ヒノキばかりからなるともいえず、ヒノキ以外にも、スギ・マツ類・その他の針葉樹林（コウヨウザンなど）がそれぞれ 16.8%、針広混交林 1 層、2 層などが 2.1%占めるほか、小面積ながら、天然生広葉樹二次林（1 層、沢沿いなど 2.4%）や、広葉樹人工林（見本林など、1.7%）も認められ、全体を通してみると、必ずしも一様とはいえないとも考えられた。また、齢級構成から見ると、ヒノキのそれは、齢級に偏りが見られ、XIII 以上のヒノキ人工林が面積比で全体の 48%を占めるものの、I、II 齢級から XVI 齢級に渡って分布し、ヒノキの齢構成から見た林分多様性は際立って高いと見なすこともできる。その他、針葉樹複層林（樹下植栽地）も小面積ながら存在し（1.6ha）、これらのことから、上阿多古フィールド全域の森林景観の多様性や複雑さが伺える。

以上のように、当フィールドは、一様性に着目すれば、針葉樹とりわけヒノキの人工林が突出し、多様性に着目すると、必ずしもヒノキ人工林ばかりともいえないといった現況を呈していることになるが、Forman & Godron(1986)の景観理論に従って考え直すと、その総体の再構成が可能となると考えられる。すなわち、当フィールドの母体(Matrix)は、確かに、面積比等で大半を占めるヒノキ人工林にあり、これが今後も、何らかのかたちで、最も重要な構成要素の一つを構成していくと考えられるが、自然性の回復が進行する、沢沿いの不成熟造林地を中心として広がりつつある Corridor の存在も無視できず、また、樹種や立地条件の違いや、さらには、大学の森に特徴的な研究目的の違いなどにより互いに区分されながらも、以上の 2 つからは明らかに異質であると言う意味で、一つの集合体として認識される、Patch 状の林分の集合体も、もうひとつ重要な構成要素として位置付けられるようになって考えられる。

以上のような考え方にしたがって、当フィールドの林種の見直しについて考えると、例えば、以下の 3 つに区分する見直し案が提起できるようになる。その 1 つは、母体を構成するヒノキ人工林のうち、法正状態に近い齢級配分に近づけるため、I ~ V 齢級と VI ~ X 齢級、XII ~ XVI 齢級の平均面積がなるべく等しくなるように取り出された「木材生産林」である（図 5）。2 つめは、自然性の回復が進行している Corridor や、その周辺に位置し、上述の「木材生産林」から除外された XIII および XVI 齢級といった高齢級のヒノキの人工林分などからなる「制限林 1」（表 31、図 6）、そして 3 つ目は、保安林、ヒノキ以外の針葉樹・広葉樹人工林分、見本林を含む森林ステーション、各種試験林分などからなる「制限林 2」（表 32）である。この林種区分に従って全林をゾーニングし直すと、その面積は、「木材生産林」が 19.5ha、「制限林 1」が 21.8ha、「制限林 2」が 19.1ha とほぼ等分となる（図 7）。

以上のような林種区分の見直しは、即、全林の管理・整備指針の見直しを意味する。従来の、全林を木材生産を目的とし、皆伐を基本作業種とする「普通林」(84%)と、保安林などからなる「制限林」(13%)に区分する林種区分は、生産偏重の嫌いがあり、大学の森本来の目的からも逸脱している。全国大学演習林でも、皆伐を否定し、伐期を定めない森林計画案が増加しており（例えば信州大、山形大など）、大学演習林の管理・経営計画は、生産・施業計画のみに偏重することなく、自然性復元計画、研究計画、地域貢献計画等を含む、多面的な情報発信計画とする必要があり、これは静岡大学においても例外ではない。また、今後の木材生産を考える場合は、持続的生産を可能にし、かつ純収益をプラスにする生産計画とする必要があり、その意味からも、生産対象林分の厳選が必要となる。

すなわち、上述した 3 つの林種に区分する見直し案は、上阿多古フィールド全体を、持続生産が可能で生産性の高い「生産の森」と、自然性の回復を目指しつつ、将来の優良大径材生産にも含みを持たせた「原始の森」、大学らしい情報を発信しうる「情報の森」に再整備し、その森林景観の総体を管理して行こうとする管理・整備指針の見直しを意図して考えられたものといえ、これら 3 つは、林種区分的なものであると同時に、管理・整備指針の 3 本柱でもあることになると考えられる（図 8）。また、従来の上阿多古フィールド全林を、木材生産を目的とし、皆伐、伐期齢 80 年、用材林施業を基本作業種とする「普通林」(84%)と、保安林などからなる「制限林」(13%)に区分し、森林施業を展開しようとする経営案は、生産偏重の嫌いがあり、大学の森本来の目的からも逸脱している。

すなわち、今後の大学演習林の管理・経営計画は、生産・施業計画のみに偏重することなく、自然性復元計画、教育研究計画、地域貢献計画等を含む、多面的な情報発信計画とする必要があり、上阿多古フィールドのような針葉樹人工林率が極めて高い演習林にあっても、例外ではない。今後の木材生産を考える場合は、持続的生産を可能にし、かつ純収益をプラスにする生産計画とする必要があり、その意味からも、生産対象林分の厳選が必要となると考えられる。今後の里山城のあり方を考える場合でも同様で、生産偏重や自然性復元偏重のどちらにも陥ることなく、多面的な情報発信計画を志向していく必要がある。全国大学演習林の現行の経営案は、全体としては、必ずしも、以上のような多面的な情報発信計画案を志向しているとはいえず、一律に伐期齢を設定し、皆伐を基本作業種とする形態にとどまるものが少なくない。しかし、その一方で、信州大学、山形大学のように、伐期を定めず択伐を基本作業種と考える演習林もあり、このようなところでは、経営案の名称も、例えば、教育研究計画や森林計画等に変更しており、多面的な情報発信計画案の形態を示している。すなわち、静岡大学上阿多古フィールドにあっても、このような進んだ方向性に組して、地域の森林景観管理の手本となるような森林計画を立案し、次世代に寄与しうる森林経営を展開して行く必要があるといえる。

5. 文 献

- 赤羽元(2002)：平成14年度 森林・林業関係予算(案)の概要. 林業技術 720, 30-33.
- 網野善彦 (1990)；日本論の視座. 小学館.
- 青木宏一郎(1996)：森に蘇る日本文化. 三一書房.
- 有高泰行(1999)：暖温帯域里山林の群落構造とその整備—上阿多古演習林での事例研究—. 1998年度静岡大学農学部卒業論文.
- Forman,R.T.T. & M. Godron (1986):Landscape Ecology. Wiley & Sons.619-620 .
- 藤本征司(1998-a)：高木類の生育更新・樹形特性から見た森林景観の基本構造の把握. 平成7～9年科学研究費補助金(基礎研究C)研究成果報告書.
- 藤本征司(1998-b)：森林学講義ノート(1998年度版).
- 藤本征司(2000)：環境保全の考え方と演習林経営—静大上阿多古演習林での試みから—.
- 深町加津枝・井本郁子・倉本宣 (1998)：「里山と人・新たな関係の構築を目指して」特集にあたって. ランドスケープ研究,61,275.
- 深町加津枝・佐久間大輔 (1998)：里山研究の系譜—人と自然の接点を扱う計画論を模索する中で—. ランドスケープ研究, 61, 276-280
- 岐阜大学農学部附属演習林(1995)：第8期経営計画書 (H8～H12).
- 日浦勉・藤戸永志 (1998)；北海道苫小牧演習林における大面積調査区データにもとづいた落葉広葉樹林の群落構造. 北海道農学部演習林研究報告,55,1-10.
- 日浦勉・藤原晃一郎・北條元・岡田穰一・有働裕幸・奥山悟・守田英明・福田仁士・藤戸永志・福井富三・高島守・有倉清美・杉山弘・竹田哲二 (1995)：北海道大学中川地方演習林における原生保存林の森林構造とその長期動態. 北海道大学農学部演習林研究報告, 52, 85-94.
- 井手 任・加藤和弘(1995)：ランドスケープ・エコロジー. ランドスケープ研究, 58(3), 302-309.
- 井本郁子・草町加津枝・倉本宣(1998)：里山研究の系譜—人と自然の接点を扱う計画論を模索する中で—, ランドスケープ研究 61 (4), 275-280.
- 岩瀬明子(2000)：暖温帯里山城における「原始の森」の復元に関する事例研究—特に沢沿いの自然景観に着目して—. 1999年度静大農学部卒業論文.
- 岩槻邦男(1994)：植物からの警告 生物多様性の自然史. 日本放送協会.
- 香川隆英(1999)：森林景観設備のトレンドーフォレストスケープ創りの実践—. 森林科学, 27, 26-31.
- 河原輝彦(2001)：多様な森林の育成と管理. 東京農大出版会.
- 菊沢喜八郎(1994)：北海道の森林と景観. ランドスケープ研究, 58 (3), 35-38.
- 木村経三(2002)：地域材の活用に向けて—もっと・WOOD・県産材を—. 林業技術, 723, 14-17.
- 鬼頭秀一(1996)：自然保護を問い直す. 筑摩書房.
- 高知大学農学部附属演習林 (1997)：高知大学農学部附属演習林第8次施業計画書 (1997/4～2002/3).
- 木平勇吉・西川匡英・田中和博・龍原哲 (1998)：森林 GIS 入門—これからの森林管理のために—. 日

本林業技術協会.

松田裕之(1995):「共生」とはなにか. 現代書館.

松田裕之(2000):環境生態学序説. 共立出版.

松村仁実(1996):暖温帯域の森林景観の構造とその長期観察について—上阿多古演習林での事例. 1995年度静岡大学農学部卒業論文.

松村仁実(1998):暖温帯域における自然景観モデル林の造成に関する生態学的研究. 1997年度静岡大学農学部修士論文.

三重大学農学部附属演習林(1998):教育研究計画書(H10~H14).

守山弘(1988):自然を守るとはどういうことか. 農村漁村文化協会.

長池卓男(2000):人工林生態系における植物多様性. 日林誌, 82(4), 407-416.

日本林業協会(2001):森林の多面的機能の持続的な発揮に向けた設備と保全. 林業白書, 林野庁, 50.

沼田眞(1996):景相生態学—ランドスケープ・エコロジー入門—. 朝倉書房.

大辻希代美(2001):「原始の森」復元試見地の設備と長期モニタリング体制の確立について. 2001年度静岡大学農学部卒業論文.

オギュスタン・ベルク(1992):日本の風景・西欧の景観. 講談社.

奥敬一, 田中伸彦(1999):森林景観. 森林科学, 27, 2-9.

奥富清(1998):自然環境保全地域に関する提言. 自然ハンドブック, 朝倉書店.

佐野淳之・大塚次郎(1998):鳥取大学蒜山演習林における落葉性広葉樹二次林の樹種構成と種多様性—攪乱履歴の異なる2つのサイトの比較—. 鳥取大学演習林研究報告, 25, 1-10.

四手井綱英(2000):森林Ⅲ. 法政大学出版局.

信州大学農学部附属演習林(1998):信州大学農学部演習林教育研究計画(1998~2002).

静岡大学農学部附属演習林(1992):1992年度上阿多古演習林森林元簿.

菅原聡(1989):人間にとって森林とは何か. 講談社.

菅原聡(1996):森林—日本文化としての—. 地人書館.

杉村乾(1993):ランドスケープエコロジーの見方・考え方. 林業技術, 617, 34-36

鈴木善郎・野上啓一郎(1990):静岡県スギ及びヒノキ人工林システム 収穫表の作成—長伐期施業に対応する密度管理と収穫予測システムの開発—. 静岡県林業技術センター報告, 26, 15-49.

鈴木和次郎(2001):聖域なき構造改革の時代の極私的森林施業論. 林業技術, 715, 2-6.

鈴木和次郎・池田伸(2002):針葉樹人工林における「生態学的管理」を目指して. 森林科学, 36, 16

- 24

田端英雄(1997):里山の自然. 保育社.

武内和彦(1991-a):自然と人工景観の生態学—ランドスケープ・エコロジーとその応用—. 遺伝.

武内和彦(1991-b):地域の生態学. 朝倉書店.

天竜市・天竜市育林研究会(1993):育林のてびき—天竜市における優良材生産技術指針(改訂版)—.

鳥越ひろ之(1999):川の景観 人間と環境. (4), 昭和堂.

筑波大学農林技術センター演習林業務部(1995):井川演習林経営案(H5~H14).

対馬俊之(1999):森林生態系を重視した森林管理を紹介する遊歩道の設置. 日林学術講, 378-379.

内山節(1989):<森林社会学>宣言. 有斐閣.

植田明浩(2002):里地里山の全国分布と特性について. 国立公園, 600, 32.

宇都宮大学農学部附属演習林(1999):第6次編成経営計画説明書(H12~H21).

若生謙二(1999):自然観・動物観とランドスケープ. ランドスケープエコロジー大系5, 技報堂.

鷺谷いづみ(1999):里山を護る. 植物の自然誌プラント, 66, 9-18.

鷺谷いづみ(2001):生態系を蘇らせる. 日本放送出版協会.

鷺谷いづみ・矢原徹一(1996):保全生態学入門—遺伝子から景観まで—. 総合出版

山形大学農学部附属演習林(1995):第6次森林計画(H6~H15).

山縣睦子(1999):林業の現場・森林の中でおもうこと—美林は環境になじまないか—. 森林科学, 27, 58-60.

安田善憲・三好教夫(1998):図説日本列島植生史. 朝倉書店

横山秀司(2002):景観の分析と保護のための—地生態学入門—. 古今書院.

<付 録>

関連する調査結果を示す以下の図表を付録として掲載した。

1. 「原始の森」復元試験地の調査結果（概略）：表—1 参照。
2. 広葉樹二次林試験地の調査結果（概略）：表—2 参照。
3. 「原始の森」復元試験地の種数面積曲線と上阿多古フィールド全域の推定種数：図—1 参照。
4. 上阿多古フィールド全域の種多様度指数(H')：表—3 参照。
5. 上阿多古フィールド全域における出現樹種とその最大胸高直径：表—4 参照。

また、見開きに綴じ込んだ『野外ミュージアム「賑わいの森」—森で何に会えるか?』に盛り込まれた文章も、文字が小さく読みづらいと考えられたので、その主要部分を付録として再掲した。併せて、参照されたい。

表一1a 「原始の森」復元試験地大面積固定
試験区樹種別胸高直径階別本数表(へ小班側)

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 50~ | 合計 | BA(㎡/ha) | BA(㎡) | BA(㎡/ha) |
|------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|----------|----------|-------------|
| アオダモ | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.002 | 0.00385 | 0.001718008 |
| アオハダ | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.002 | 0.00554 | 0.002474107 |
| アカガシ | 30 | | 15 | 9 | 2 | | | | | | 55 | 0.25 | 0.55177 | 0.249328008 |
| アカシデ | 109 | | 76 | 22 | 4 | | | | | | 211 | 0.88 | 1.97187 | 0.880207979 |
| アカマツ | | | 6 | 9 | 18 | 21 | 15 | 16 | 12 | 5 | 104 | 3.88 | 8.24928 | 3.88271208 |
| アサダ | | | | 2 | 2 | | | | | | 4 | 0.05 | 0.11427 | 0.051012811 |
| アセビ | 6 | | | | | | | | | | 6 | 0.01 | 0.01497 | 0.006880647 |
| アラカシ | 13 | 3 | | | | | | | | | 16 | 0.04 | 0.08174 | 0.036488434 |
| アワブキ | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.002 | 0.00503 | 0.002243823 |
| イヌガヤ | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.002 | 0.00385 | 0.001621283 |
| イヌシデ | 12 | 9 | 9 | | 2 | 3 | | | | | 35 | 0.29 | 0.63932 | 0.285879104 |
| イヌツゲ | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.003 | 0.00724 | 0.003231257 |
| イロハカエデ | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.001 | 0.00238 | 0.001060807 |
| ウラジロガシ | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.002 | 0.00528 | 0.002357527 |
| ウリハダカエデ | 18 | 4 | | | | | | | | | 22 | 0.04 | 0.10018 | 0.044723851 |
| エゴノキ | 1 | | | | | | | | | | 2 | 0.008 | 0.01851 | 0.008328283 |
| エンコウカエデ | 19 | 13 | 6 | 2 | | | | | | | 40 | 0.20 | 0.45831 | 0.203708448 |
| カゴノキ | | | 1 | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.02011 | 0.008875714 |
| カナクノキ | | 2 | | | | | | | | | 2 | 0.01 | 0.02579 | 0.011514288 |
| カヤ | 2 | | | | | | | | | | 2 | 0.002 | 0.00408 | 0.001824504 |
| カラスザンショウ | | | | 1 | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.02488 | 0.011108849 |
| クマノミズキ | 3 | 4 | 3 | 1 | 1 | | | | | | 12 | 0.09 | 0.20428 | 0.091194309 |
| クリ | 1 | 1 | 1 | 2 | | | | | | | 5 | 0.05 | 0.11809 | 0.052888887 |
| コナラ | 173 | 379 | 277 | 123 | 30 | 4 | 1 | | | | 987 | 8.48 | 18.98010 | 8.484330878 |
| ゴズイ | 13 | 4 | | | | | | | | | 17 | 0.04 | 0.10577 | 0.047220321 |
| サカキ | 15 | | | | | | | | | | 15 | 0.02 | 0.04210 | 0.018783252 |
| シキミ | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.001 | 0.00212 | 0.000948805 |
| シラカシ | 24 | 3 | | | | | | | | | 27 | 0.06 | 0.12454 | 0.055507187 |
| シラカ | 7 | | | | | | | | | | 7 | 0.01 | 0.02242 | 0.010008823 |
| スギ | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 | | | 1 | 12 | 0.33 | 0.74550 | 0.332814227 |
| ソヨゴ | 38 | 6 | 1 | | | | | | | | 45 | 0.08 | 0.18533 | 0.087200118 |
| タカノツメ | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.002 | 0.00385 | 0.001718008 |
| ツグ | 2 | | | | | | | | | | 2 | 0.003 | 0.00687 | 0.003058787 |
| ツブラジイ | 8 | 11 | 15 | | 1 | | | | | | 35 | 0.23 | 0.57450 | 0.258472072 |
| スルデ | 2 | | | | | | | | | | 2 | 0.003 | 0.00638 | 0.002839872 |
| ネズミモチ | 3 | 1 | | | | | | | | | 4 | 0.01 | 0.02030 | 0.009081615 |
| ネムノキ | 3 | 24 | 20 | 7 | 3 | | | | | | 57 | 0.55 | 1.23948 | 0.55333245 |
| ハリギリ | | 2 | 1 | | | | | | | | 3 | 0.02 | 0.04525 | 0.020198883 |
| ヒサカキ | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.001 | 0.00198 | 0.000878535 |
| ヒノキ | 555 | 962 | 824 | 410 | 102 | 31 | 5 | 1 | | | 112 | 0.14 | 0.31288 | 0.139388888 |
| ヒメシャラ | 10 | 7 | | | | | | | | | 17 | 0.05 | 0.11800 | 0.05044887 |
| ホオノキ | 3 | 3 | 1 | 1 | | | | | | | 8 | 0.05 | 0.10284 | 0.045810428 |
| モミ | 70 | 34 | 11 | 12 | 6 | 3 | 2 | 1 | | | 139 | 1.08 | 2.38477 | 1.055701075 |
| ヤブツバキ | 31 | 2 | | | | | | | | | 33 | 0.05 | 0.11538 | 0.051514288 |
| ヤブツバキ | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.001 | 0.00186 | 0.000878535 |
| ヤマザクラ | 17 | 16 | 12 | 8 | 2 | 2 | 1 | | | | 58 | 0.55 | 1.23487 | 0.551328838 |
| ヤマナラシ | | | | 1 | | | | | | | 1 | 0.02 | 0.04337 | 0.019828849 |
| ヤマボウシ | 2 | | | 1 | | | | | | | 3 | 0.02 | 0.03808 | 0.017448875 |
| ヤマモモ | 13 | 9 | 1 | | | | | | | | 23 | 0.08 | 0.17184 | 0.078718412 |
| リュウキュウマメガキ | 1 | | 1 | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.02888 | 0.011896554 |
| リュウブ | | | | | | | | | | | 1 | 0.003 | 0.00724 | 0.003231257 |
| 合計 | 1327 | 1599 | 1228 | 598 | 170 | 58 | 26 | 14 | 6 | 2 | 5028 | 43.91 | 99.19899 | 43.77121276 |

表一1b 「原始の森」復元試験地大面積固定
試験区樹種別胸高直径階別本数表(る小班側)

| 樹種(DBH<5cm) | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 45~ | 50~ | 本数 | BA(m ² /ha) | BA(m ²) | BA(m ² /ha) |
|-------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------------------------|---------------------|------------------------|
| アオダモ | | 10 | | 1 | | | | | | | 11 | 0.05 | 0.09 | 0.052325581 |
| アオハダ | | | 1 | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.01 | 0.005813953 |
| アカガシ | 30 | 23 | 9 | 3 | 1 | | | | | | 66 | 0.45 | 0.77 | 0.447674419 |
| アカシデ | 50 | 23 | 10 | 4 | 1 | | | | | | 88 | 0.54 | 0.93 | 0.540697674 |
| アカマツ | 0 | 11 | 23 | 32 | 26 | 24 | 13 | 15 | | 5 | 149 | 5.87 | 10.1 | 5.872093023 |
| アカメカシワ | 1 | 6 | 5 | 1 | | | | | | | 13 | 0.13 | 0.23 | 0.13372093 |
| アサダ | | | 2 | | | | | | | | 2 | 0.04 | 0.07 | 0.040697674 |
| アセビ | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.001 | 0.002 | 0.001162791 |
| アラカシ | 119 | 16 | 4 | | | | | | | | 139 | 0.42 | 0.72 | 0.418604651 |
| アワブキ | 7 | | | | | | | | | | 7 | 0.02 | 0.03 | 0.01744186 |
| イタエンジュ | | 3 | 1 | | | | | | | | 4 | 0.03 | 0.06 | 0.034883721 |
| イヌガヤ | 3 | | | | | | | | | | 3 | 0.01 | 0.01 | 0.005813953 |
| イヌシデ | 3 | 9 | 7 | 4 | 1 | | | | | | 24 | 0.28 | 0.49 | 0.284883721 |
| イヌツゲ | 2 | 1 | | | | | | | | | 3 | 0.01 | 0.01 | 0.005813953 |
| イロハカエデ | 3 | | | | | | | | | | 4 | 0.01 | 0.02 | 0.011627907 |
| ウラジロガシ | 5 | 3 | 2 | | | | | | | | 10 | 0.06 | 0.1 | 0.058139535 |
| ウラジロノキ | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.01 | 0.005813953 |
| ウリハダカエデ | 8 | 1 | | | | 1 | | | | | 9 | 0.02 | 0.04 | 0.023255814 |
| ウツミズザクラ | | | 1 | | | | | | | | 2 | 0.05 | 0.08 | 0.046511628 |
| エゴノキ | 7 | 2 | | | | | | | | | 9 | 0.03 | 0.05 | 0.029069767 |
| エノキ | | | 1 | | | | | | | | 1 | 0.02 | 0.03 | 0.01744186 |
| エンコウカエデ | 19 | 10 | 6 | 3 | | | | | | | 38 | 0.23 | 0.4 | 0.23255814 |
| オオウラジロノキ | 10 | 6 | | | | | | | | | 16 | 0.05 | 0.09 | 0.052325581 |
| オオバアサガラ | | 8 | | | | | | | | | 8 | 0.06 | 0.1 | 0.058139535 |
| カキ | 6 | | | | | | | | | | 6 | 0.01 | 0.02 | 0.011627907 |
| カゴノキ | 4 | 3 | 1 | | | | | | | | 8 | 0.03 | 0.05 | 0.029069767 |
| カヤ | 24 | | 1 | | | | | | | | 25 | 0.06 | 0.1 | 0.058139535 |
| カラスザンショウ | 1 | | 1 | | | | | | | | 2 | 0.02 | 0.03 | 0.01744186 |
| キブシ | 2 | | | | | | | | | | 2 | 0.003 | 0.005 | 0.002906977 |
| クスノキ | | | 1 | | | | | | | | 1 | 0.02 | 0.03 | 0.01744186 |
| クマシデ | 1 | | 1 | | | | | | | | 2 | 0.03 | 0.06 | 0.034883721 |
| クマノミズキ | 5 | 12 | 1 | 2 | | | | | | | 20 | 0.16 | 0.27 | 0.158976744 |
| ケケンボナシ | 3 | 5 | 3 | 1 | | | | | | | 12 | 0.1 | 0.17 | 0.089837209 |
| コナラ | 102 | 217 | 144 | 73 | 39 | 9 | | | | | 584 | 7.27 | 12.5 | 7.2744186 |
| ゴズイ | 12 | 2 | | | | | | | | | 14 | 0.03 | 0.06 | 0.034883721 |
| サカキ | 48 | | | | | | | | | | 48 | 0.08 | 0.14 | 0.081395349 |
| シキミ | 16 | | | | | | | | | | 16 | 0.03 | 0.06 | 0.034883721 |
| シラカシ | 27 | 4 | 3 | | | | | | | | 34 | 0.12 | 0.21 | 0.122093023 |
| シラカ | 48 | | | | | | | | | | 48 | 0.1 | 0.16 | 0.093023256 |
| スギ | 2 | 1 | 4 | 4 | 2 | 3 | 1 | | | | 17 | 0.55 | 0.95 | 0.552325581 |
| ソヨゴ | 49 | 6 | | | | | | | | | 55 | 0.14 | 0.24 | 0.139534884 |
| タカノツメ | 3 | 1 | | | | | | | | | 4 | 0.01 | 0.02 | 0.011627907 |
| タブノキ | 7 | 2 | | | | | | | | | 9 | 0.02 | 0.04 | 0.023255814 |
| ツブツジイ | 47 | 55 | 14 | 4 | 1 | | | | | | 121 | 0.8 | 1.41 | 0.819767442 |
| ツバキ | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0.01 | 0.01 | 0.005813953 |
| ネズミモチ | 12 | | | | | | | | | | 12 | 0.02 | 0.04 | 0.023255814 |
| ネムノキ | 3 | 6 | 5 | 6 | | | | | | | 20 | 0.26 | 0.44 | 0.255813953 |
| ハリギリ | | | 2 | | | | | | | | 2 | 0.13 | 0.23 | 0.13372093 |
| ヒサカキ | 107 | | | | | | | | | | 107 | 0.16 | 0.28 | 0.162790698 |
| ヒノキ | 297 | 510 | 389 | 346 | 112 | 24 | 4 | | | | 1682 | 24.1 | 41.4 | 24.06976744 |
| ヒメシャラ | 7 | 8 | 2 | | | | | | | | 17 | 0.1 | 0.17 | 0.099837209 |
| フジ | 1 | | | | | | | | | | 1 | 0 | 0 | 0 |
| ホオノキ | 3 | 2 | 2 | | | | | | | | 7 | 0.06 | 0.1 | 0.058139535 |
| モミ | 8 | 6 | 1 | 1 | 2 | | | | | | 18 | 0.17 | 0.29 | 0.168604651 |
| ヤブツバシ | | | 4 | | | 1 | | | | | 6 | 0.14 | 0.24 | 0.139534884 |
| ヤブツバキ | 52 | 2 | | | | | | | | | 54 | 0.12 | 0.2 | 0.11627907 |
| ヤブツバキ×サザンカ | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | |
| ヤブツバキ | 9 | 3 | 2 | | | | | | | | 14 | 0.09 | 0.15 | 0.093023256 |
| ヤマウルシ | 2 | | | | | | | | | | 2 | 0.01 | 0.01 | 0.005813953 |
| ヤマザクラ | 26 | 39 | 13 | 10 | 2 | | | | | | 90 | 1.78 | 3.07 | 1.784883721 |
| ヤマボウシ | 11 | | | | | | | | | | 11 | 0.15 | 0.26 | 0.151162791 |
| ヤマモモ | 6 | 2 | 1 | | | | | | | | 9 | 0.05 | 0.08 | 0.046511628 |
| ユズリハ | 1 | | 2 | 1 | | | | | | | 1 | 0.06 | 0.13 | 0.073581398 |
| リュウブ | 3 | 2 | | | | | | | | | 5 | 0.02 | 0.03 | 0.01744186 |
| 合計 | 1236 | 1015 | 669 | 495 | 189 | 61 | 18 | 15 | 5 | | 3703 | 45.414 | 78.107 | 45.41104651 |

表-1c 結果の概要

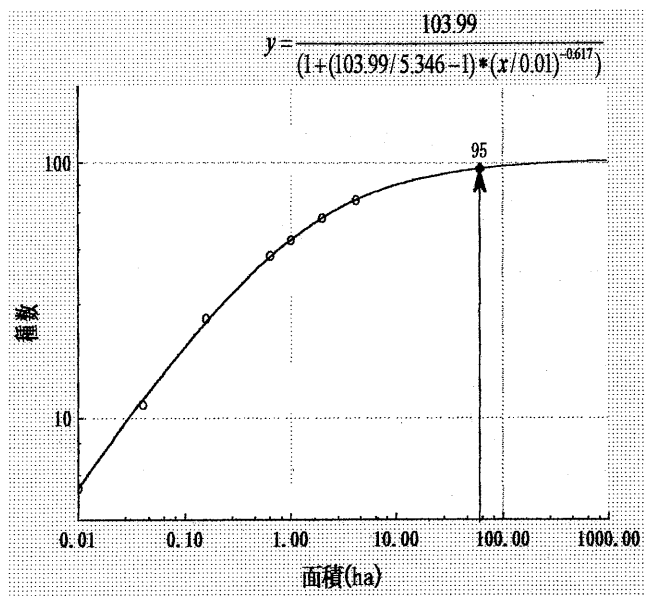
| 面積(ha) | 種数 | 個体数 | haあたり個体数 | H' |
|--------|----|------|----------|------|
| 0.79 | 46 | 1792 | 2268 | 3.28 |

表-2a 樹種別胸高直径階別本数表
(広葉樹二次試験地 2-ヨ小班全体)

| | 5~ | 10~ | 15~ | 20~ | 25~ | 30~ | 35~ | 40~ | 合計 | 材積量 | BA(m ² /ha) | BA(m ²) |
|---------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|---------|------------------------|---------------------|
| アカマツ | | | 12 | 22 | 16 | 19 | 12 | 4 | 85 | 42.716 | 6.891 | 5.444 |
| コナラ | 26 | 88 | 94 | 77 | 31 | 9 | | 1 | 326 | 63.423 | 11.579 | 9.147 |
| スギ | 29 | 7 | 4 | 6 | 3 | 2 | | 1 | 52 | 8.256 | 1.249 | 0.986 |
| ヤマザクラ | 16 | 17 | 8 | 13 | 5 | | | 1 | 60 | 9.545 | 1.749 | 1.382 |
| アカガシ | 53 | 61 | 39 | 45 | 24 | 10 | 1 | | 233 | 42.903 | 7.495 | 5.921 |
| アカシデ | 31 | 34 | 9 | 3 | 2 | | | | 79 | 6.549 | 1.228 | 0.970 |
| ツブラジイ | 2 | | 2 | 2 | 2 | | | | 8 | 1.963 | 0.352 | 0.278 |
| ヒノキ | 4 | 2 | | | 1 | | | | 7 | 0.678 | 0.128 | 0.101 |
| クリ | | | | | 1 | | | | 1 | 0.351 | 0.062 | 0.049 |
| ヒメシヤラ | 27 | 19 | 6 | 2 | | | | | 54 | 3.591 | 0.712 | 0.563 |
| モミ | 20 | 6 | 3 | 2 | | | | | 31 | 1.291 | 0.360 | 0.284 |
| ヤシャブシ | | | 1 | 2 | | | | | 3 | 0.694 | 0.127 | 0.100 |
| イヌシデ | 23 | 29 | 11 | 1 | | | | | 64 | 4.034 | 0.809 | 0.639 |
| アオハダ | 2 | 2 | 1 | 1 | | | | | 6 | 0.662 | 0.121 | 0.095 |
| ソヨゴ | 84 | 4 | 2 | | | | | | 90 | 2.261 | 0.491 | 0.388 |
| エゴノキ | 4 | 3 | 2 | | | | | | 9 | 0.733 | 0.144 | 0.114 |
| ユズリハ | 7 | | 2 | | | | | | 9 | 0.555 | 0.111 | 0.088 |
| リョウブ | 136 | 36 | 1 | | | | | | 173 | 5.885 | 1.255 | 0.991 |
| ヤブツバキ | 526 | 4 | 1 | | | | | | 531 | 9.653 | 2.188 | 1.728 |
| ヒサカキ | 146 | 2 | 1 | | | | | | 149 | 3.152 | 0.702 | 0.554 |
| ハリギリ | | | 1 | | | | | | 1 | 0.140 | 0.027 | 0.021 |
| イヌザクラ | | | 1 | | | | | | 1 | 0.211 | 0.039 | 0.031 |
| ヤブニツケイ | 7 | 7 | | | | | | | 14 | 0.560 | 0.118 | 0.093 |
| ウラジロガシ | 4 | 5 | | | | | | | 9 | 0.454 | 0.093 | 0.073 |
| イヌガシ | 19 | 3 | | | | | | | 22 | 0.567 | 0.124 | 0.098 |
| ホオノキ | 13 | 2 | | | | | | | 15 | 0.512 | 0.110 | 0.087 |
| ツガ | | 2 | | | | | | | 2 | 0.127 | 0.023 | 0.018 |
| ゴンズイ | 4 | 1 | | | | | | | 5 | 0.181 | 0.039 | 0.030 |
| ヤマボウシ | 3 | 1 | | | | | | | 4 | 0.115 | 0.025 | 0.020 |
| エノキ | 1 | 1 | | | | | | | 2 | 0.062 | 0.013 | 0.010 |
| イタヤカエデ | | 1 | | | | | | | 1 | 0.048 | 0.010 | 0.008 |
| エンコウカエデ | | 1 | | | | | | | 1 | 0.056 | 0.012 | 0.009 |
| サカキ | 27 | | | | | | | | 27 | 0.577 | 0.129 | 0.102 |
| シラキ | 23 | | | | | | | | 23 | 0.414 | 0.094 | 0.074 |
| シキミ | 19 | | | | | | | | 19 | 0.360 | 0.081 | 0.064 |
| カゴノキ | 11 | | | | | | | | 11 | 0.254 | 0.057 | 0.045 |
| アセビ | 9 | | | | | | | | 9 | 0.132 | 0.031 | 0.024 |
| アオダモ | 3 | | | | | | | | 3 | 0.051 | 0.011 | 0.009 |
| イヌエンジュ | 3 | | | | | | | | 3 | 0.104 | 0.022 | 0.018 |
| イヌツゲ | 3 | | | | | | | | 3 | 0.001 | 0.011 | 0.009 |
| ウリカエデ | 2 | | | | | | | | 2 | 0.062 | 0.014 | 0.011 |
| タブノキ | 2 | | | | | | | | 2 | 0.025 | 0.006 | 0.005 |
| ミヤマシキミ | 2 | | | | | | | | 2 | 0.040 | 0.009 | 0.007 |
| クマノミズキ | 1 | | | | | | | | 1 | 0.017 | 0.004 | 0.003 |
| ヤマウルシ | 1 | | | | | | | | 1 | 0.015 | 0.003 | 0.003 |
| ヤマモミジ | 1 | | | | | | | | 1 | 0.020 | 0.005 | 0.004 |
| 不明 | 5 | | | | | | | | 5 | 0.097 | 0.021 | 0.017 |
| 合計 | 1299 | 338 | 201 | 176 | 85 | 40 | 13 | 7 | 2154 | 214.000 | 38.859 | 30.699 |

表-2b 全体の概要
(広葉樹二次林試験地 2-ヨ小班全体)

| 面積(ha) | 種数 | 個体数 | haあたり個体数 | H' |
|--------|----|------|----------|------|
| 0.79 | 46 | 1792 | 2268 | 3.28 |



図一 「原始の森」復元試験地大面積固定試験区
の種数面積曲線とフィールド全域の推定樹種数

表-3 フィールド全域の種多様度指数(H')

| 1林班 | | 2林班 | |
|---------|-------|------|------|
| 全体 | 1.79 | 全体 | 1.49 |
| い | 1.06 | い | 0 |
| ろ | 1.34 | ろ | 0 |
| は | 0.12 | は | 0 |
| に | 0.51 | に | 2.09 |
| ほ | 0.003 | ほ | 2.27 |
| へ | 2.05 | へ | 0 |
| と | 0.80 | と | 0 |
| ち | 2.56 | ち | 1.41 |
| り | 0.10 | り | 0.30 |
| ぬ | 0 | ぬ | 1.32 |
| る | 2.51 | る | 0.05 |
| を | 3.21 | を | 0 |
| わ | 1.35 | わ | 0.53 |
| か | 1.93 | か | 1.22 |
| ヨ | 3.28 | よ | 0.17 |
| タ | 5.75 | た | 2.08 |
| レ | 3.92 | れ | 0.76 |
| | | そ | 1.57 |
| フィールド全域 | | 1.70 | |

表-4 フィールド全域における出現樹種とその最大胸高直径(最大直径が5cm以上の樹種のみ)

| < 自生種 > 101種 | | < 自生種 > 101種 | | < 自生種 > 101種 | |
|--------------|------|--------------|------|--------------|------|
| 樹種 | 最大直径 | 樹種 | 最大直径 | 樹種 | 最大直径 |
| ヒノキ | 80.0 | カクレミノ | 21.9 | スダジイ | 13.0 |
| アカマツ | 66.0 | ユズリハ | 20.6 | ネズミモチ | 13.0 |
| スギ | 61.0 | ヤブニツケイ | 20.5 | ゴンズイ | 12.8 |
| コナラ | 57.2 | ヤマボウシ | 20.0 | イヌツゲ | 12.2 |
| クスノキ | 52.4 | ヤマモミジ | 20.0 | タラノキ | 12.2 |
| モミ | 52.4 | イヌザクラ | 19.8 | シロダモ | 12.0 |
| クロマツ | 52.2 | ヌルデ | 19.4 | アズキナシ | 11.4 |
| ツブラジイ | 50.2 | ウラジロガシ | 19.2 | ウリハダカエデ | 11.3 |
| ヤマザクラ | 48.0 | ヒサカキ | 19.2 | オオウラジロノキ | 11.2 |
| ネムノキ | 47.0 | イヌエンジュ | 18.6 | イヌガヤ | 10.6 |
| ホオノキ | 43.6 | リュウキユウマメガキ | 18.5 | サカキ | 10.4 |
| アカガシ | 41.0 | カナクギノキ | 18.4 | イヌビワ | 10.0 |
| ハリギリ | 38.4 | ヤマモモ | 18.3 | タカノツメ | 10.0 |
| イイギリ | 37.4 | エノキ | 18.2 | ヤマハンノキ | 9.8 |
| クリ | 36.5 | ヒメシャラ | 17.6 | シラキ | 9.5 |
| アラカシ | 36.4 | シラカシ | 17.4 | シキミ | 9.4 |
| イヌシデ | 35.4 | アオハダ | 17.2 | フジ | 8.8 |
| クヌギ | 33.7 | カゴノキ | 17.2 | ニガキ | 8.6 |
| アカメガシワ | 32.4 | リョウブ | 17.2 | ケヤキ | 8.1 |
| エゴノキ | 32.0 | カヤ | 17.2 | ミヤマシキミ | 8.0 |
| ヤシャブシ | 31.8 | ヤブツバキ | 16.8 | ニツケイ | 7.8 |
| ツガ | 30.4 | カキ | 16.2 | ヤマウルシ | 7.6 |
| エンコウカエデ | 30.0 | クマシデ | 16.1 | アセビ | 7.4 |
| アカシデ | 29.0 | マテバシイ | 15.8 | ガンピ | 7.0 |
| ケンボナシ | 28.0 | サワシバ | 15.5 | アオキ | 6.8 |
| アサダ | 26.4 | ソヨゴ | 15.5 | トチノキ | 6.6 |
| ウワミズザクラ | 26.4 | アオダモ | 15.0 | クサギ | 6.0 |
| カラスザンショウ | 26.2 | コハウチハカエデ | 14.6 | テイカカズラ | 6.0 |
| クマノミズキ | 25.2 | イヌガシ | 14.1 | ミズナラ | 6.0 |
| ケケンボナシ | 24.4 | シュロ | 13.8 | ビワ | 5.8 |
| ヤマナラシ | 23.5 | アワブキ | 13.6 | キブシ | 5.7 |
| タブノキ | 23.4 | バリバリノキ | 13.5 | ヒイラギ | 5.2 |
| オオバアサガラ | 22.5 | イチイガシ | 13.4 | モチノキ | 5.2 |
| フサザクラ | 22.0 | ウリカエデ | 13.2 | | |

| < 導入種 > 12種 | | < 導入種 > 12種 | |
|-------------|------|-------------|------|
| 樹種 | 最大直径 | 樹種 | 最大直径 |
| テーダマツ | 60.2 | ラクウショウ | 15.8 |
| スラッシュマツ | 54.8 | アベマキ | 12.2 |
| サワラ | 34.4 | ウバメガシ | 12.0 |
| コウヨウザン | 29.9 | シリブカガシ | 11.0 |
| メタセコイア | ? | ツクバネガシ | 8.4 |
| ヒバ | 19.0 | カシワ | 8.2 |

『野外ミュージアム「賑わいの森」—森で何に出会えるか?』

森は静か? それとも賑やか?

何の気配もない「もの」の集まりが森なのではない。
もちろんそれは頭の中にしかないイメージでもない。
そうではなくて、森は、
そんな静かな「もの」やイメージに先立ってある、
様々な「出会いの連続」!

どこからともなく出没した××との出会い、○○との別れ、
様々なざわめき、楽しい出会い、かなしい出来事、
そんな出来事が、時を置かず交響して、
私たちを包む。
そんな賑やかな「出来事の集合」、
それが本当の森の姿!

森はいったい誰の「もの」?
Xの「もの」? Yの「もの」? Zの「もの」?
それともみんなの「もの」?
みんな違う!
森は「もの」の集まりではないのだから、
空や海や冥界と同じ、
誰の「もの」でもない世界!
誰のものでもないがゆえに、
都市のように賑やかな世界!

そんな賑わいを感じよう、考えよう、見つめ直そう、
そしてそんな賑やかな出会いの果てに、
甦らせよう!
私たちの豊かな環境世界と、
そして私たち自身を、

レンピ(老婆心)

- ◎ 川や沢が流れ、雑木林(広葉樹天然生二次林)がけっこう広がる森林景観全体に目をつけ、川下に収容規模の大きな「賑わい広場」を配す。「広場」は都市と森の境界であり、人間と自然が互いに出会いあうお祭り広場となる。
- ◎ 「賑わい広場」の一角に「賑わいの森」情報館を配す。機能重視のモダンな建築物とし、周辺には十分な緑を残す。
- ◎ 広場の川上側に位置する森林景観を左右に二分割し、より自然性の高い方を「原始の森」、田んぼなどがある方を「豊饒の森」に見立てて、それぞれに若干の修景を施す。「原始の森」入口に配す磐境は、それを置くだけで、単なる二次林主体の森が「原始の森」に見えてくるほどの巨石でなければならない。それに対置させる「豊饒の森」の山の神も同様で、それだけで、将来の豊饒が完璧に保証されそうなほど立派なものをこしらえる。ただし、ともに自然豊かなエコパークなので、さりげない演出が大切。
- ◎ 言換えると、修景後も、二つの森には実質的差異が殆どないことになる。それでは何故、さして違いのない空間が敢えて二分されているのか? 違いは名ばかりで、しかも、それぞれが、「原始の森」、「豊饒の森」と呼ば

れるには程遠い空間であってみれば、当然来場者からの非難や疑問が殺到し、論争を呼ぶ。従って、それは、論争を呼び寄せるための仕掛けに過ぎないと考えてもよい。また、人間と人間、自然と人間が和解し合えず、深く対立しあっている様子を暗に示そうとしているだけと解釈することもできる。以上のように考える場合は、二つの森のネーシングにはさしたる意味はないことになる。それに対して、来るべき時代の「自然—人間」共生系において、その甦生と融合が期待されているが、現状では、互いに引き合いつつも、相対立せざるをえない二つの目論見（自然自体の本来性の回復と人間にとっての豊かさの？）の象徴のようなものと読み取ることも可能である。そう解釈すると、将来、この二つの森が成熟しつつ融合しあう時、新時代の森林風景がおのずから浮び上がってくることになる？

- ◎ 二つの森が出会う「海上の丘」は、山頂など見晴らしのよいところに設ける。二つの森は単なるネーシングの差に過ぎないか、共に今だ未熟な状態にあるので、当面は、出会い合っても何も生み出せず、矛盾ばかりが露呈する。ここで出会うのは、奇石群、「ザクザク山」など、正体不明のオブジェばかりのようである。
- ◎ つまり、境界領域に位置する「海上の丘」では、事物の持つ意味の両義化や希薄化が生じ、例えば、二つの森の中では確実に「お宝」もしくは「ゴミ」であったものが、「お宝」かつ「ゴミ」、もしくは、「お宝」か「ゴミ」かさね不明のものへと転化する。すると事物は、結果的に、捨てても惜しくない「お宝」、もしくは捨てても構わない「ゴミ」となって、ここに放置される？ここに、来場記念石をポイ捨てできる「ザクザク山」と「ゴロゴロ山」が設けられるのもそのためらしい。
- ◎ モデルマッシュルーム「空海」もまたこのような両義的もしくは意味不明な構築物として配される。確かに、山頂から、地上の森、都市や空や海、さらには冥界までも見まわす「空海」は、すでに地上の矛盾を丸のみにするだけの力量を持っているのかもしれない。頭のテッペンに備え付けられたスグレもののモデルマッシュルーム群は、例えば、いま問題になっている「絶滅が危惧される種」の生活なども詳細に見守ってゆくことになる。自然保護は彼の最も得意とする分野のひとつであり、さらに森林を取り巻く地球環境のグローバルな保全にも多分重要な役割を果たしていくことになる。しかし、もちろんそれだけで、人間と自然の真の和解がもたらされるわけでは決してない。そればかりか、「空海」のこれ見よがしの面相と、近代科学を地でゆくような仕切りたがり屋の性格は、真の和解の最大の障壁ともなりかねない。もちろんエライ「空海」は、そんな危険も充分察知している。その高い能力にも関わらず、彼が、単なるキノコ、単なる「粗大ゴミ」とも取られかねない異形のオブジェ、さらには「賑わいの森」情報館の単なるセナーに甘んじているのもそのためらしい。しかしそんな己を知る「空海」をもってしても、たぶん、自然と人間の真の和解が遠い道であることに変わりはないわけだ。
- ◎ しかし、森での雑多な出会いと際限ないお祭りの果てに、時代の担う思考パターンがリフレッシュされはじめ、さらには、二つの森がしだいに成熟してゆくに連れ、やがて円環が閉じはじめる？二つの森、そして自然と人間の総体が本当の意味で和解しあう、そんな時代がやがてやってくるに違いない。すなわち、そんな時代への期待をこめて設けられるモニュメントが、賑わい広場の一角を占めるストーン「石舞台」である。「石舞台」は、単純な石組に過ぎないが、実は「賑わいの森」全体の隠れたシンボルであるらしく、文字通りお祭りの中心舞台となる。
- ◎ 森はスグレモデルマッシュルーム空間なので、そこには、いかなる不法侵入も阻止しようとするような、強力なバリアがあらかじめ張り巡らされていることになる。けっこうな入館料を徴収されたうえに、きつい山道を歩かされる。磐境は完全なバリアであり、山の神もまたバリアとして機能する。しかしスグレモデルマッシュルーム空間であることは、誰もが出入り可能なバリアフリーの空間でもあることも同時に意味する。従って、このようなバリア—バリアフリーの裏腹の関係に充分留意して、修景やバリアフリー対策に工夫をこらす必要がある。賑わい広場や情報館は出きる限りバリアフリーとするが、二つの森の中には、ことさらバリアフリーのための設備は設けない。「原始の森」では、部分的にはかなり歩きにくい箇所も残される。また、小型乗用モジュール（身障者専用）を情報館から「空海」まで敷設するが、このモジュールには、二つの森を分断するバリアとしての役割も持たせることにする。これは、モジュールがバリアフリーのシンボルであると同時に、バリアのシンボルでもあることを意味する（バリアフリーの問題は、さけて通れないのなら、この際開けっぴろげに議論してはどうだろうか？）。
- ◎ 森は究極的には出入り自由な賑やかな世界であり、それは「原始の森」でも同様である。従って、例えば「原始の森」に針葉樹の人工林がかなり存在していても、なんら問題はない。本物の「原始の森」とは、人間の庇護下におかれ、人間の影響を極力制限・排除する方向で管理されていくようなやな森では決してない。人間からの

影響を強く受けているにもかかわらず、それをものともしないほど逞しい森のことなのだ。本来その空間にとって無縁なものも自由に受け入れてしまうほど寛容な自然が本来の自然なのだといいてもよい。極論すると、本来「原始の森」とは、人間にとって略奪自由、ゴミのポイ捨て自由の空間だったはずなのである。このような観点に従うと、人間の庇護下にあるいわゆる「原始林」などよりも、略奪され放置されながらも力強く甦りはじめた雑木林や、略奪空間として造成されながらも人間のお荷物となり、粗大ゴミ同然の取り扱いを受けながらも黒々とその存在を顕示し続けてきた針葉樹人工林などからなる里山域の森林風景の方が、はるかに「原始の森」に近い存在だったのかもしれないということにもなる。以上のように考えていって、例えば針葉樹人工林を眺めていると、針葉樹林の方が広葉樹林よりも、地質学的にずっと古いタイプの森林なのであり、その意味では、針葉樹を含む森はそれだけで由緒正しい「原始の森」なのだという思いにも至りつく。

- ◎ しかし、こんな森林風景が、「原始の森」と呼ぶには、森があまりにも未熟に過ぎるということも明らかである。だから、森を永年に渡り慈しみ育ててゆく努力が是非必要となる。とにかく巨木の森に育てていこう。広葉樹も大切だが、針葉樹も大切だ。針葉樹あつての「原始の森」なのだから？ だから針葉樹も慈しみ育て、もうほんとうに恐竜にさえ出会えそうな程の鬱蒼とした森に育ててゆこう。それから、「豊饒の森」の森だって同じことだ。針葉樹の巨木が林立してこそ「豊饒の森」と呼べるはずだ。「豊饒の森」の針葉樹は手入れを万全に、枝打ちもぬかりなく進めておこう。そんな試みから、たぶん新時代の「原始の森」と「豊饒の森」の一端が浮び上がってくるに違いない！ これが「賑わいの森」作りの最後の処方箋である。

「賑わいの森」情報館

森林を巡る情報、特に森林とそれを取り巻く地球環境の総体の長期にわたる情報の収集と発信を効率的に行なえる恒久施設。各種展示ホール、講演ホール、情報検索室、研修室、研究室、情報処理室、標本室などを設ける。目玉となる公開展示は、

① 超大型モニターによる「森の賑わい」のビジュアル展示

「空海」や林内に設けたビデオカメラ群が撮影した映像のリアルタイム中継や、夜の様子や何かが出没した時の録画放映。生きた土壌動物やキノコなどの展示（画面いっぱい拡大され動き回るおどろおどろしい土壌動物の群れ。キノコの傘が開いていく様子などを早送り画像で）。

② 「森林風景の変遷」のパネル展示

森のはじまり（石炭紀の森）、裸子植物の森から被子植物の森へ、人間がまだ夜行性の小動物であったころ、森からの流離、森と人間の闘争と共生、殺風景な現代の森。誰のものでもない世界から所有化された空間へ。

③ 「これが新時代の森林風景（里山）だ！」

多くの人に、「来るべき森林風景」をメディア自由で描いてもらう。