

# 森林計画学入門

— 1996年版 —

田 中 和 博

森林計画学会出版局

# 森林計画学入門

－ 1996年版－

田 中 和 博

森林計画学会出版局

**Shinrin Keikakugaku Nyumon**  
**1996**

**Kazuhiro TANAKA**

**Published in June 1996**  
**by**  
**Japan Society of Forest Planning Press**

**Faculty of Agriculture,**  
**Tokyo University of Agriculture and Technology,**  
**3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu 183, Japan**

**Copyright 1996 by Kazuhiro TANAKA. All Rights Reserved.**

**Printed in Japan.**

**This book, or parts thereof, may not be reproduced**  
**in any form without permission of the author.**

**ISBN 4-915870-13-8**

# はじめに

その昔、人類はエネルギーを専ら薪炭に依存し、また、建築物をはじめ、船、馬車、家具から諸道具に至るまで、多くの物は木材で作られていた。したがって、その当時の森林資源は、現在の石油資源に匹敵するか、それ以上に重要な資源であり、その枯渇は国の命運をも左右しかねないものであった。こうした背景のもと、林学は、今から 200 年位前に、ドイツで、官房学として、資源政策学あるいはエネルギー政策学として誕生した。

森林は再生産が可能な資源である。よって、昔から、いろいろな人が、森林を持続的に利用するための方策について考えてきた。特に、封建領主は領民のために建築用材や薪炭材を毎年持続的に供給する責任があったので、森林を持続的に経営することが森林経営における最大の課題であった。林学ではsustainabilityという言葉は「保続」と訳されており、「保続原則」は森林経営における最も重要な原則とされてきた。

森林は、木材などの林産物を生産するだけでなく、国土の保全や水源のかん養など様々な公益的な機能を持っており、地域の環境を形成する重要な要素のひとつである。よって、森林を適切に維持管理していくことは、単に、林業家だけの問題ではなく、地域社会全体に関わる問題である。

一般に、森林の公益的機能を貨幣価値で表すことは難しく、そのため、森林は不当な扱いを受けてきた。いまや、森林の減少や劣化が地球的な規模で進んでいる。地域の環境や森林をどの様に整備・保全していくかは、基本的には地域住民自身が決める問題であろう。

この本は、三重大学生物資源学部森林資源学コース3年生の森林計画学の教科書として書いたものである。上記の理由により、森林を経営するための森林計画学ではなくて、地域の森林を維持管理していくための森林計画学として書いた。森林計画の考え方や手法が、少しでも多くの人に理解され、地域の森林管理に役立つことがあればよいと願っている。

もとより内容には不十分な点が多々あるが、講義内容の実態を公開することによって、自己点検の証としたい。ご批判、ご教示を賜れば幸いである。

# 森林計画学入門 1996年版

## 目 次

|                        |    |
|------------------------|----|
| はじめに .....             | 1  |
| 第1章 森林資源と私たちの暮らし ..... | 6  |
| 1. 森林の多様な機能 .....      | 6  |
| 2. 世界の森林資源 .....       | 8  |
| 3. 世界の木材消費 .....       | 10 |
| 4. 熱帯林の現状 .....        | 12 |
| 5. 酸性雨と先進国の森林 .....    | 14 |
| 6. 日本の森林資源 .....       | 16 |
| 第2章 森林計画の基礎概念 .....    | 18 |
| 1. 森林計画とは .....        | 18 |
| 2. 森林の種類と分類 .....      | 24 |
| 3. 森林計画における場所の概念 ..... | 28 |
| 4. 森林計画における時間の概念 ..... | 29 |
| 5. 森林施業 .....          | 30 |
| 6. 作業級 .....           | 31 |
| 第3章 収穫規整 .....         | 32 |
| 1. 区画輪伐法 .....         | 32 |
| 2. 材積配分法 .....         | 33 |
| 3. 平分法 .....           | 34 |
| 4. 齡級法 .....           | 36 |
| 5. 林分経済法 .....         | 37 |
| 6. 法正林 .....           | 38 |
| 7. 法正蓄積法 .....         | 40 |

|     |                       |    |
|-----|-----------------------|----|
|     | 8. 成長量法 .....         | 44 |
| 第4章 | 最適輪伐期論 .....          | 46 |
|     | 1. 生理的輪伐期 .....       | 46 |
|     | 2. 工芸的輪伐期 .....       | 46 |
|     | 3. 材積収穫量最多の輪伐期 .....  | 47 |
|     | 4. 利子計算に使われる諸公式 ..... | 48 |
|     | 5. 土地純収益最高の輪伐期 .....  | 50 |
|     | 6. 森林純収益最高の輪伐期 .....  | 52 |
|     | 7. 森林純収益率最高の輪伐期 ..... | 53 |
|     | 8. 労働生産性最高の輪伐期 .....  | 53 |
|     | 9. 森林総収益最高の輪伐期 .....  | 54 |
|     | 10. 林業利潤率最高の輪伐期 ..... | 55 |
|     | 11. 林業収益率最高の輪伐期 ..... | 55 |
|     | 12. 内部収益率最高の輪伐期 ..... | 56 |
|     | 13. プロジェクト評価基準 .....  | 58 |
|     | 14. 期待値による評価 .....    | 59 |
|     | 15. 循環型社会の評価基準 .....  | 60 |
|     | 16. 純収穫論争 .....       | 65 |
| 第5章 | 恒続林思想と照査法 .....       | 66 |
|     | 1. 大洪水と森林被害の頻発 .....  | 67 |
|     | 2. 木の育て方は木に尋ねよ .....  | 68 |
|     | 3. 自然に帰れ .....        | 69 |
|     | 4. 前更作業 .....         | 70 |
|     | 5. バイエルン式林縁画伐作業 ..... | 71 |
|     | 6. 帯状画伐作業 .....       | 72 |
|     | 7. 楔形傘伐作業 .....       | 73 |
|     | 8. 恒続林思想 .....        | 74 |
|     | 9. 照査法 .....          | 78 |
| 第6章 | ORによる森林計画 .....       | 84 |
|     | 1. ORの歴史 .....        | 84 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 2. 線形計画法            | 85  |
| 3. 目標計画法            | 92  |
| 4. 0 - 1 整数計画法      | 94  |
| 第 7 章 減反率と広義の法正林    | 96  |
| 1. 齡級ベクトル           | 97  |
| 2. 齡級遷移確率           | 98  |
| 3. 減反率と保存率          | 100 |
| 4. 減反率法             | 101 |
| 5. 減反率の推定法          | 102 |
| 6. 減反率の変動           | 106 |
| 7. 広義の法正林           | 107 |
| 8. 累積齡級分配の法正状態      | 108 |
| 第 8 章 森林の成長モデルと収穫予測 | 110 |
| 1. 収穫表              | 110 |
| 2. 密度管理図            | 112 |
| 3. システム収穫表          | 114 |
| 4. 林分表と樹高曲線         | 116 |
| 5. 成長曲線             | 118 |
| 6. 林分遷移の方程式         | 122 |
| 7. 確率微分方程式          | 123 |
| 8. 確率論的直径成長モデル      | 124 |
| 9. 確率論的樹高成長モデル      | 126 |
| 10. 直径遷移確率行列        | 127 |
| 11. システム収穫表「シルブの森」  | 128 |
| 12. 海外の収穫予測システム     | 132 |
| 第 9 章 GIS と GPS     | 134 |
| 1. GIS とは           | 134 |
| 2. ラスターとベクター        | 135 |
| 3. 属性データ            | 136 |
| 4. レイヤーと主題図         | 137 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 5. G I Sの基本機能             | 138 |
| 6. G I Sの応用可能性            | 140 |
| 7. 現場のG I Sと中央のG I S      | 142 |
| 8. 三重大学森林計画学研究室のG I S     | 143 |
| 9. G P Sとは                | 144 |
| 10. 森林地帯でのG P S受信         | 145 |
| 11. G P Sによる森林管理          | 146 |
| 12. G P Sを併用した森林調査        | 147 |
| 第10章 森林評価と住民参加            | 148 |
| 1. 林地の林業的評価               | 149 |
| 2. 林木の林業的評価               | 150 |
| 3. 機会費用法                  | 152 |
| 4. ヘドニック法                 | 153 |
| 5. トラベル・コスト法              | 154 |
| 6. C V M                  | 155 |
| 7. A H P                  | 156 |
| 8. 一対比較法                  | 158 |
| 9. 緑地人口密度                 | 159 |
| 10. 選択的目的税                | 160 |
| 11. バイオリージョン              | 162 |
| 12. 住民参加と合意形成             | 163 |
| おわりに                      | 164 |
| 参考文献                      | 166 |
| 付録1：日本の森林計画制度             | 172 |
| 付録2：関連する主な学会・研究会と雑誌       | 176 |
| 付録3：19世紀のドイツを中心とした森林經理の歴史 | 178 |
| 索引                        | 182 |



## 第1章 森林資源と私たちの暮らし

---

### 1. 森林の多様な機能

#### 1-1. 生産資源としての森林

太古より木材は、煮炊きや暖をとるための燃材、住居や家具の用材として人類に役立ってきた。また、近代以降は紙の原料としても重要な資源である。その他に、樹脂や抽出成分が工業原料や医薬品に使われている。森林は、これらの林産物を生産するだけでなく、動植物に生息地を与え、それらの動植物の一部は、狩猟や採取という形で、人間に利用されてきた。このように、森林は、人類に直接の効用をもたらしている。ここで直接という言葉を用いたのは、ここで述べたような林産物などは、市場での取り引きが可能な産物であり、貨幣価値でその生産高を計ることができるものである、という理由による。

#### 1-2. 環境資源としての森林

一方、森林には、貨幣価値で表すことが困難な機能がある。それらの機能は森林が十分に存在しているときは、あまり意識されないものであるが、地域の環境の質を左右するものであって、公益的な機能と呼ばれている。公益的な機能には、図-1に示したように、水源かん養、国土の保全、快適な環境の形成などがある。公益的な機能は、市場では取り引きされないので、経済学では、外部経済と呼ばれている。公共経済学という学問分野もあるが、一般の経済活動では、外部経済は無視されることが多い。ここに、森林が不当に取り扱われ、破壊されていった原因の一つがある。いまや、森林破壊や環境汚染は地球規模で進行しており、今までの経済価値観を早急に変える必要に迫られている。

なお、地域の環境形成について森林が果たす最も重要な役割は、土壌をつくることである、と要約することができる。森林は営々として少しずつ土壌を形成し、そのようにして形成された土壌がより豊かな森林を育むという循環を成している。

1-3. 文化資源としての森林

文明が技術的な活動の所産を表す概念であって、一般性のあるもの、普遍的なものを指向しているのに対して、文化とは、精神的な活動の所産を表す概念であって、自然との関わりの中で築いてきた生活様式などに関するものである。近年は、文化的な豊かさよりも、文明的な豊かさを追求しすぎた面があり、その歪が随所に表れてきている。

自然は多様であり、地域ごとに異なる。より豊かな生活環境を整備していくためには、まず、その地域の特性を知ることから始めなければならないが、森林は、そうした自然学習の場を提供してくれる。また、ストレスの多い現代社会においては、レクリエーションの場としても利用されている。

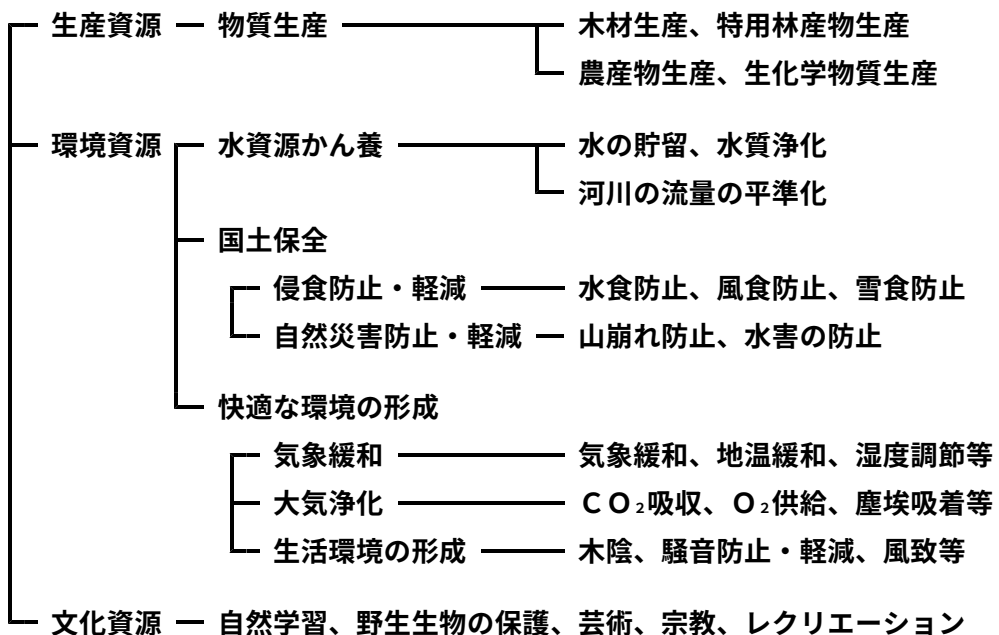


図-1 森林の多様な機能

西川匡英のみどり資源の分類（・住侑司編「日本の大都市近郊林」（1995））を参考にした。西川は、みどり資源を、生物資源、環境資源、文化資源に大別した。

## 2. 世界の森林資源

現在、地球規模の環境破壊として懸念されている問題には、熱帯林の減少、野生生物種の絶滅、砂漠化、酸性雨、廃棄物の不法投棄による汚染、地球の温暖化、オゾン層の破壊、海洋汚染などがある。これらの問題のうち、はじめの6つの問題には森林が何らかの形で関係している。まず最初に、世界の森林資源の現状と問題点について概観してみよう。

### 2-1. 世界の森林面積

地球上の陸地総面積はおよそ 130億haである。F A Oによれば、森林の面積は約30億haであり、疎林を含めた場合の森林面積は約40億haであって、陸地面積の3分の1弱を占めるものと推定されている。この統計で定義されている森林は、地表の大部分が高木（樹高7m以上）によって覆われている土地をいい、疎林とは、木がまばらに生えている森林であって、高木が地表の10%以上覆っている土地をいう。森林以外の面積の約半分は農地であり、別の半分は砂漠やツンドラなどの荒野と市街地などで占められている。すなわち、森林と農地とその他の土地は、ほぼ3分の1ずつ陸地を占めている。

森林の面積は、開墾などの理由により年々減少しており、有史以来、約20億ha減少したと推定されている。1980年から1990年の10年間に、世界の森林面積は、41.01億haから40.28億haへと7300万ha減少しており、この面積は日本の国土面積の約2倍の広さに相当する。森林の減少は熱帯林で著しく、1980年の森林面積を100とした場合の1990年の指数は、世界全体では98.2であるが、熱帯林は91.9となっている。ちなみに、先進国の森林面積は僅かながら増加しており、その指数は101.7である。

一方では、人工的に苗木を植えることによって、森林面積を増加させる努力も続けられている。以前は商業目的の人工植栽が多かったが、近年は、地域住民の生活に必要な樹木も植えられるようになってきている。しかし、年平均人工林純増加面積と年平均森林減少面積の比率は、約1：8.5 にすぎない。

## 2-2. 世界の森林蓄積

木材の容積を材積という。樹木の幹の部分の材積を幹材積（かんざいせき）というが、単に材積ということも多い。森林は立木（りゅうぼく）によって構成されているが、ある森林についての立木幹材積の和を蓄積という。蓄積は英語では growing stock といい、生きている樹木の材積和を表す概念である。一方、材積は volume であって、立木にも、伐倒木にも、製材した木材にも使われる概念である。蓄積も材積も、どちらも、 $m^3$ を基本単位としている。

森林調査には、多くの労力と時間と経費を要するので、通常の蓄積調査の場合は、サンプリング（標本調査）の手法を用いて推定している。しかし、発展途上国の天然林、たとえば熱帯林などでは、森林調査が困難であること、樹種や森林構成が多様であることなどの理由により、推定誤差も大きく、正確なところはなかなか分かっていないのが実状である。

少し古いが、1980年のFAOの資料によれば、世界の森林の面積と蓄積は表-1のように推定されている。1980年の森林面積は後で修正されているので、森林蓄積についても、何らかの修正が必要な数値であることを念頭においておく必要があるが、世界全体で約 3,000億 $m^3$ の蓄積があると推定されている。

針葉樹は温帯から寒帯にかけて多く分布し、広葉樹は熱帯から温帯にかけて多く分布している。よって、針葉樹の蓄積の90%以上が先進諸国に、広葉樹の蓄積の80%以上が発展途上国に存在している。

森林蓄積は、森林の成長に伴い増加する。十分に成長した後の森林蓄積は、樹種や土地の生産力などによって異なるが、ha当たり 1,000 $m^3$ を優に越える。それが、世界平均で 100 $m^3$ 以下であるということは、森林の劣化が進んでいること、老齢な森林が少なくなり、若い森林が多くなっていることを物語っている。

表-1 世界の森林面積と森林蓄積

FAO:1980より作成

|                      | 針 葉 樹    | 広 葉 樹    | 合 計       |
|----------------------|----------|----------|-----------|
| 面 積 (ha)             | 14億6360万 | 28億5690万 | 43億2050万* |
| 蓄 積 ( $m^3$ )        | 1,120億   | 1,890億   | 3,010億    |
| ha当たり蓄積 ( $m^3$ /ha) | 76.5     | 66.2     | 69.7      |

\* 1980年の森林面積は、後で、41億100万haに修正されている。

## 3. 世界の木材消費

### 3-1. 世界の年間木材消費量

木材に対する需要は、経済の発展や人口の増加とともに増大しており、第1次石油危機（1973）後の景気後退時に一時的な減少が見られたものの、趨勢としては増加の傾向にある。

FAOによれば、1991年の世界の丸太消費量は、34億3,000万 $\text{m}^3$ であり、このうち産業用材の消費量が約16億 $\text{m}^3$ 、薪炭材が18億3,000万 $\text{m}^3$ となっている。ここで注意を要するのは、自家用に消費している燃材の量などは、正確には把握できていないことである。よって、薪炭材の消費量はもう少し多いものと思われる。

なお、世界の木材生産量は、世界の木材消費量にほぼ等しいと考えてよい。ただし、傷が生じた丸太などが現地に野ざらしにされていることもあるので、それらの丸太が統計に入れられているかどうか、注意を要する。

### 3-2. 一人当たりの年間木材消費量

世界の木材生産量や消費量は、年々増加しているが、その増加傾向を見極めるためには、一人当たりの年間木材消費量に着目するとよい。話を簡単にするために、世界の人口を50億人とする、一人当たりの年間消費量は約0.7 $\text{m}^3$ となる。ただしこれは、先進地域も発展途上地域も一緒にした値である。先進地域での一人当たりの年間消費量は約1.2 $\text{m}^3$ である。日本は、新聞紙などの古紙の回収システムが発達しているので、1 $\text{m}^3$ 弱である。紙の消費は文化のバロメータであると言われているが、今後、発展途上地域の生活水準が向上し、また、人口もしばらくは増加傾向が続くであろうことを考えあわせると、木材の消費量がまだまだ増加することは容易に想像できる。ちなみに、1983年時点での一人当たり年間消費量は世界平均で約0.6 $\text{m}^3$ であった。

木材の消費量は、用材、燃材とも増加しているが、特に、発展途上地域での薪炭材の需要増加が著しい。これは、人口が急激に増加しているためで、現在でも、10億人以上の人が薪炭材に不足していると言われている。

### 3. 世界の木材消費

#### 3-3. 伐採強度

森林蓄積量に対する伐採量の比率のことを伐採強度という。世界の森林蓄積を3,000億 $\text{m}^3$ と見積もると、伐採強度は1.14%になる。これは、毎年、蓄積量の約87分の1を伐採していることに相当する。森林らしい森林を育てるには最低でも100年にかかるので、そのことを考えると、すでに世界の森林は質の面でも劣化していくという悪循環に陥っている。

#### 3-4. 林産物の消費に見られる南北の相違

林産物の消費内容は、先進地域と発展途上地域とで対照的である。表-2には世界の人口の4分の1しかない先進地域が、世界の総生産の82%を生産し、林産物でも、用材の80%以上を消費していることを示している。これに対して、発展途上地域では、大部分の木材が燃材として消費されている。

表-2 林産物の消費に見られる南北の相違

|            | 先 進 地 域          | 発展途上地域              |
|------------|------------------|---------------------|
| 人 口        | 26%              | 74%                 |
| 国内総生産      | 82%              | 18%                 |
| 針葉樹の蓄積     | 90%以上            | 10%以下               |
| 広葉樹の蓄積     | 20%以下            | 80%以上               |
| 一人当たり年間消費量 | 1.2 $\text{m}^3$ | 0.5 $\text{m}^3$ 以下 |
| 消費の内容      | 89%が用材           | 85%が燃材              |
| 製材品        | 80%              | 20%                 |
| 木質パネル      | 88%              | 12%                 |
| 紙・板紙       | 84%              | 16%                 |
| 燃材         | 14%              | 86%                 |

外務省・農林水産省・林野庁監修「世界の森林と緑の国際協力」(1986)の中で引用されているF.C.HUMMEL ed. "Forest Policy"(1984)より作成

## 4．熱帯林の現状

### 4－1．火入れによる熱帯林の破壊と地球の温暖化

大気中の二酸化炭素などの濃度が上昇すると温室効果により地球が温暖化する。森林は光合成により二酸化炭素を吸収するので、森林の造成は地球の温暖化の抑制につながる。しかし、現実には、森林の伐採や火入れなどにより、今まで樹木に固定されていた炭素が二酸化炭素として放出されるので、地球の温暖化を促進する原因の一つになっている。特に、農地や放牧地の造成を目的として熱帯林で大規模に行われている火入れは問題である。しかも、それらの火入れ跡地での農業や牧畜業は失敗に終わることが多く、放棄されたままの不毛な土地が増えている。

### 4－2．野生生物の生息地の破壊と遺伝子資源の消失

森林などの自然環境は、野生生物の生息地になっている。特に、熱帯林は、温度や湿度の条件に恵まれているから、生物の種類が多く、遺伝子資源の宝庫になっている。未利用な生物資源が、将来、医学や薬学、あるいは農業や工業の分野に及ぼす影響については、計り知れないものがある。熱帯林の破壊により、野生生物種が数十万種の単位で絶滅しているのではないかと推測されている。

### 4－3．土壌流亡と洪水・渇水の発生

熱帯地域は、温度や湿度などの条件に恵まれているため、土壌中の養分の大部分は植物によって利用されている。よって、森林が伐採され木材が搬出されると、養分が土に還元されなくなる。加えて、熱帯地域の厳しい日射や大粒の雨滴などが、土壌の流亡などを招き、伐採跡地や火入れ跡地での植物の生育を困難なものにし、それらの土地を痩せ地の草原に変えてしまう。その結果、森林の保水機能がなくなり、下流域では、洪水や渇水が多発するようになる。

かつてラワン（フタバガキ科の高木）の宝庫であったフィリピンは、第二次大戦後、外貨獲得のため乱伐し、森林面積を大幅に減少させた。その結果、現在では、国土の約3分の1が洪水や土砂崩れ、表土流出の危機に直面しているという。

### 4－4．薪炭の不足と砂漠化の悪循環

人口の増加と森林の減少は薪炭の不足を招き、薪炭材の過剰伐採を引き起こす。それがまた森林破壊につながる。干ばつが起こると、遊牧民は緑を求めて家畜とともに移動するが、移動先の草原や森林の葉も家畜が食い尽くしてしまうような事態になると、ますます森林破壊が進行するという悪循環に陥る。そして、最終的には砂漠地帯が拡大する結果となり、それがまた気象条件をより過酷にしている。特に、サハラ砂漠南縁では、砂漠化の進行が憂慮されている。

### 4－5．伝統的な焼畑と非循環的な焼畑

火入れが、熱帯林減少の直接の元凶であると非難されているが、伝統的な焼畑と、農地や放牧地の造成を最終目的とした一時的な焼畑とを区別する必要がある。

大昔から続いている焼畑移動耕作は、小面積の森林を燃やし、その灰を肥料にしてそこで数年間農業を行い、その後その土地を放置し、そこに森林が再生するのをまって、また焼畑を行うという循環的なものであり、自然の遷移を利用した非常に合理的な農業形態である。ただ、こうした農法で養うことができる人口は、1 ha当たり0.5人以下であるといわれている。

### 4－6．熱帯林林業の問題点

熱帯林は、一般に、樹種が多様である。しかし、多様性に富むということは、1 樹種当たりの本数が少ないということである。よって、熱帯林は、同じ種類のを大量に生産するという近代的な経営には、本来向かないものである。温帯林の林業は、スギ林のように、同一樹種の森林を人工的に育てたものが中心であるが、そうした温帯林の林業技術は、そのままでは熱帯林林業に適用できない。

### 4－7．ソーシャル・フォレストリィとアグロ・フォレストリィ

最近、熱帯地域では、商品価値のある木だけを造林するのではなく、地域住民の日常生活に必要な木を植えるソーシャル・フォレストリィや、幼樹の間は農業と複合させるアグロ・フォレストリィが広がりつつある。



## 5．酸性雨と先進国の森林

### 5－1．酸性雨とは

硫黄酸化物や窒素酸化物によって汚染され、pH5.65以下の酸性の雨を酸性雨という。雨は空気中の二酸化炭素などを吸収し、通常でも酸性であるが、二酸化炭素を満度に吸収した場合のpHが5.65であるので、それよりも強い酸性を示す雨は、二酸化炭素以外の酸化物を含んでいると考えられる。

酸性雨の原因は、主に、自動車の排気ガスや工場の排煙に含まれる硫黄酸化物や窒素酸化物であると考えられている。酸性雨の問題は、工業化社会の発達に伴い、石炭や石油などの化石燃料が大量に消費されるようになり、自然の浄化能力を超えてしまったことに由来する。

### 5－2．酸性雨による被害

酸性雨による被害としては、

- ①森林や農作物の成長減退や枯死
- ②土壌肥沃度の低下
- ③湖沼の酸性化と、魚類の減少や死滅
- ④歴史的な建造物やブロンズ像のただれ
- ⑤人体への影響

などが報告されている。

酸性雨は、まず、ヨーロッパや北米東北部で問題にされた。特に、北欧の湖沼に魚がいなくなったことは衝撃を与えた。酸性化した湖沼には石灰を加えるなど中和が試みられている。酸性雨による魚類の減少は、小動物や鳥類の減少をもたらす恐れがあり、やがて自然生態系全体へ影響が及ぶのではないかと懸念されている。FAOによると、1983年現在で、旧西ドイツの森林面積の約3分の1が、酸性雨によって何らかの被害を受けていると見積もられている。

酸性雨は、国境を越えて、広範囲の地域の様々な分野に被害を及ぼしている。汚染物質の発生地と被害地とが異なることが多いので国際的な協力が必要である。

### 5－3．酸性雨と森林被害

酸性雨と森林被害との因果関係については、まだ、分かっていないことも多い。酸性雨が植物に及ぼす影響については、アサガオの葉が黄変するなど顕著な例もあるので、何らかの影響を直接に及ぼしていることは事実であろう。しかし、樹木については、人工的に作った酸性雨を直接散布しても、特に目立った変化は観察されないようである。

樹木の成長が減退したり、枯死したりするのは、土壌が変化したからではないかと考えられている。酸性雨が降ることにより、土壌中の $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^{+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ などが溶脱するが、アルミニウムイオンが根端に作用し、根の伸長成長を阻害するので、成長が減退するという説もある。

### 5－4．関東地方におけるスギ林の成長減退

日本でも酸性雨は観測されており、平均すれば、太平洋側でpH4.2、日本海側でpH4.9という報告もある。欧米並の値を示しているが、雨の降り始めを除けば、日本は雨が多いこともあって濃度が薄くなるので、今のところ目立った森林被害はあまり報告されていない。関東地方北西部では、スギ林の成長が減退しており、酸性雨の影響であるとも考えられているが、標高100m以下に被害が分布していること、老齢大径木に被害が集中していることもあり、地下水位の低下など他の要因の影響であるという説もある。恐らく、実際は、いろいろな要因が複合的に作用しているのであろう。現実の環境問題の中には、原因を特定することが困難な問題が多い。原因を実証できなくても、事態を改善するために、総合的に対処する必要がある。

### 5－5．酸性霧

雨は、降り始めほど、小さな雨滴ほど酸性が強い。赤城山系では、標高1,000m～1,400mのシラカバの葉が一様に黄変するという被害があったが、これは霧がよく発生する地帯と一致するので、酸性霧の影響ではないかと考えられている。酸性霧によると思われる森林被害は、丹沢、乗鞍などでも報告されている。

## 6. 日本の森林資源

### 6-1. 日本の森林面積

日本の森林面積は、約2,500万haであって、国土のほぼ3分の2に相当する。このうち、人工林は約1,000万ha、天然林は約1,400万haであり、残りの約100万haは、伐採跡地や岩石地、崩壊地などである。また、国有林は約800万ha存在し、森林面積の約30%、国土面積の約20%を占めている。

一方、国民一人当たりの森林面積について見てみると、日本は人口が多いので0.2haと少なく、世界平均の0.7haの約3分の1にすぎない。

日本は、先進国で、かつ、人口密度が高い国でありながら、森林面積が国土の約3分の2を占めるという大変特異な森林国である。江戸時代の森林政策、明治以降の砂防工事などにより、日本の森林が守られてきたという歴史があり、これはこれで大いに誇りにしてよい。しかし、日本人だけが森林を守る努力をしてきたからであるというような勘違いをしてはいけない。日本の森林は、主に、山間地に存在し、傾斜が急であるとか、放牧地には適さないという理由によって、今まで開発が見送られてきたにすぎない。日本の森林は大部分が山林なのである。

### 6-2. 日本の森林蓄積

日本の森林蓄積は、1990年3月末現在で、約31億 $\text{m}^3$ である。このうち人工林の蓄積は約16億 $\text{m}^3$ 、天然林の蓄積は約15億 $\text{m}^3$ である。日本の森林蓄積は、世界の森林蓄積の約1%を占めている。

日本の森林蓄積は、人工林、天然林とも、年々増加しており、1986年から1990年までの4年間では、年平均で約7,000万 $\text{m}^3$ 増加していた。人工林は、第二次大戦後に植林した森林が成長の旺盛な時期に入っているため、過去4年間に、年平均で約6,000万 $\text{m}^3$ 増加していた。天然林は、かつての薪炭林の広葉樹林を中心として、過去4年間に、年平均で約1,000万 $\text{m}^3$ 増加していた。

人工林の年成長量は、日本の製材の年需要量にほぼ匹敵する量である。ただし、森林蓄積の増加は、帳簿上の話であり、森林が健全に育っていればの話である。

### 6－3．日本の林業の現状

戦後に植林したスギ、ヒノキの人工林が、そろそろ伐採時期に達してくるので、国産材時代が到来すると言われている。しかし、日本の森林資源の管理を担っている林業は、外材の大量輸入による産業の空洞化のため、大いに疲弊している。

現代の日本林業が抱える主な問題点は、

- ①木材価格の低迷（外材主導の価格形成、円高の影響、代替材の進出）
- ②経営コストの上昇に伴う収益性・採算性の悪化
- ③経営意欲の減退と林業生産活動の停滞
- ④不十分な森林管理（間伐・枝打ちの遅れや中止）による森林の質の低下
- ⑤他産業分野との所得格差の拡大
- ⑥林業就業者の減少と高齢化、および後継者不足
- ⑦不在村森林所有者の増加
- ⑧山村の過疎化と地域社会崩壊の懸念

などである。これらの問題は、日本が経済大国になったことに伴う産業構造の転換の波として押し寄せてきているものであり、林業関係者の努力だけでは如何ともしがたいものが多い。木材が必要であれば、安い外材を輸入すればよいではないか、という論理は、次の二つの視点を欠いた暴論である。一つは、外材が安いのは為替レートの関係や、木材輸出国で略奪的な林業が横行しているためであり、もう一つは、森林は木材を生産するだけでなく、環境財としての公益的な役割も果たしており、環境は輸入できないということが見過ごされていることである。

### 6－4．日本の木材輸入

現在、日本の木材自給率は約25%にまで低下している。熱帯地域から輸入されるものは南洋材、北米からのものは米材、ロシアからのものは北洋材と呼ばれている。日本は世界最大の木材輸入国であり、外国からは、日本は自国の森林資源を温存して世界の森林資源を食い荒らしていると見られている向きもある。しかし、温存でないことは上述の通りである。外材の大量輸入は、木材輸出国の森林や環境を破壊しているだけでなく、日本の森林も劣化させている。

## 第2章 森林計画の基礎概念

---

### 1. 森林計画とは

第1章に示したように、森林には多様な機能がある。近年は、特に、森林の公益的な機能を高度に発揮することが求められている。森林の大切さについては、既に多くの人によって理解されていることと思う。しかし、世界の森林資源の現状を見てみると、発展途上国では森林の開発や破壊が進み、先進国では酸性雨や手入れ不足による森林の劣化が進行している。森林を破壊した結果、環境破壊の悪循環に陥ってしまっている地域もある。これらの現実、森林を計画的に持続的に利用することが、如何に難しいことであるかを物語っている。第2章からは、森林計画の考え方と技術を学ぶ。

#### 1-1. 森林計画が必要とされる理由

森林や林業には以下のような特徴があるので、森林を適切に計画的に維持管理し、その資源や機能を有効に利用する必要がある。

- ①森林は生態系の中心を成し、周辺の環境に大きな影響を及ぼしている。
- ②森林が持っている国土保全や水資源のかん養などの公益的な機能は、地域社会の生活や経済と密接に結びついている。
- ③森林が成長するまでには長い年月がかかるので、森林の取り扱いを誤ると、その影響は長期に及ぶ。
- ④森林は再生可能な資源なので、適切に取り扱うことにより、森林資源を持続的に利用することができる。
- ⑤林業では、栄養体である幹を収穫するが、幹の成熟期は自然には定まらないので、経営者が伐採時期を決定しなければならない。
- ⑥林業では、伐採してよい木と、残しておくべき木との区別が明瞭ではないので、目先の利益を優先した無秩序な伐採が行われやすい。

### 1－2. 森林計画の課題

森林計画では、森林を一から造成するための計画を作成することはまずない。既に存在する複数の森林を、どの様に利用し、どの様な形で次の世代に引き継いでいくかという計画を立てることが多い。

林業は自然の力を利用して樹木を育てる仕事なので、農業のように肥料を撒いたり灌漑したりすることはほとんど行われていない。どこにどの様な樹木を植えたらよいかということは、その土地の自然条件に応じてほぼ決まっていると言ってよい。また、どの様な森林に仕立てるのかについても、その場所が林道から遠いか近いか、傾斜が急か緩やかかといった立地条件や作業条件に応じておおそ決まってくる。したがって、育林計画については森林経営者が選択できる余地は少ない。通常、森林経営者は、それぞれの条件に即した育林計画を用意しており、それらは育林体系、または施業体系、あるいは保育形式と呼ばれている。

森林を伐採した跡地は、翌年には植林され、その後は育林体系に従って育林が行われるのが普通である。よって、伐採時期を定めてやると伐採跡地に植林する森林の育林計画の開始時期が定まり、その森林の将来の計画はほぼ決まってしまう。したがって、森林計画を作成する場合は、「いつ」、「どこを」、「どれだけ」伐採するかを決めることが要点となる。

森林計画の中心課題は、伐採を計画的に行い、森林資源を食い潰さないようにすることにある。これを「収穫規整」または「収穫予定」という。20世紀の初頭に活躍したドイツの林学者ワーグナーWagnerは、「森林経理学の任務は、森林を場所的に時間的に秩序づけることである」といっているが、この言葉に、森林計画の課題は要約されている。なお、森林経理学とは、森林計画学の昔の名称である、と取りあえず言うておこう。実は、両者の名称の間には微妙な意味の違いがあるのだが、これについては後で説明する。

#### ポイント

森林計画の中心課題は、伐採計画を立てること、すなわち「収穫規整」

## 第2章 森林計画の基礎概念

---

### 1－3．森林計画の実践

森林を管理するには、森林計画を立てるだけでは不十分である。計画は実行されなければならないし、実行可能なものでなくてはならない。そして、実行されているかどうか、適切な計画であったかどうか、定期的に点検し、見直されねばならない。この点検、見直しを「照査」という。

森林管理の実践は、調査、評価、予測、計画、実行、照査を計画期間ごとに繰り返していくことである。そして、このなかで照査が一番大切な役割を果たす。森林のように基本的に重要であり、広域かつ長期に影響が及ぶものの取り扱いには慎重の上にも慎重を期さねばならない。少しずつ実行し、経験を積み重ねていくことが大切である。なお、調査とは、Forest Inventoryと呼ばれるものであり、森林資源の現況調査のことである。Inventoryとは棚卸しという意味である。また、計画期間の長さは、5年が一般的である。

### 1－4．森林計画の階層構造と計画期間

国家百年の大計という言葉がある。森林計画の場合も、森林の成長が遅いことと、森林の重要性を考えると、百年、あるいはそれ以上の大計である必要がある。しかし、百年の大計を百年間忠実に実行するのかというとそうではない。森林計画は、定期的に見直され、修正されていくものである。

森林計画では、計画を、長期、中期、短期の3段階に分けている。

長期計画は、100年後、200年後といった長期的な見通しを与えるものであって、100年後なら100年後の目標状態を設定し、それを実現するための伐採面積や伐採量の大きさを定めるものである。中期計画は、長期計画で定めた伐採面積や伐採量を基準にして、伐採箇所を具体的に定めるものである。中期計画の計画期間は、次の照査が行われるまでの期間であって、通常5年間である。短期計画は、業務計画や労務計画に関する詳細な計画であって、実行者を具体的に定めるものである。週あるいは旬単位の計画が毎年作成される。

長期計画と中期計画は、一定期間（通常5年）ごとに、照査や森林調査の結果をふまえて作成される。短期計画の作成は、現場に一任するのが一般的である。

### 1－5. 森林計画の指導原則

長期計画の目標は、森林経営の目的や、時代や地域社会の要請に応じて変わってくる。特に、森林には各種の機能があるので、どの機能に重点をおくかによって異ってくる。しかし、森林計画を作成するにあたっては、考慮すべき幾つかの原則があり、それらは指導原則と呼ばれている。代表的なものは、保続原則と収益性原則である。

【保続原則】林学では以前からsustainabilityを保続と訳してきた。保続原則とは、一言で言うと、森林を持続的に利用するべしという原則である。保続の思想は既に16世紀のドイツの森林令に見られ、18世紀初頭には保続という用語が用いられるようになった。保続原則は、林業経営では、毎年の収穫量をほぼ均等にし、これを永久に保ち続けることと理解されてきた。近年は、木材収穫以外の社会的な効用についても、将来にわたり持続的にかつ最適に利用できるようにすることと解釈されている。

【収益性原則】林業経営も経営である以上、他の経営体と同様、利潤の最大化を志向するべきであるという原則である。一般に、資本を有効に使っているかどうかの尺度である資本利益率で評価される。なお、収益と利益を混同しないこと。

$$\text{総資本経常利益率} = \frac{\text{経常利益}}{\text{総資本}} = \frac{\text{収益(売上高)} - \text{費用}}{\text{総資本}}$$

【経済性原則】林業では、林地や生育途上の森林の評価が難しいので総資本をきちんと把握することが困難である。よって、資本利益率の代わりに費用収益率を使うことがある。総資本回転率＝費用／総資本が一定の場合は、費用収益率の極大は資本利益率の極大に一致する。〔練習問題〕このことを証明しなさい。

$$\text{費用収益率} = \frac{\text{収益(売上高)}}{\text{費用}}$$

【その他の原則】その他の指導原則としては、労働生産性原則、土地生産性原則、公共性原則、合自然性原則などがある。公共性原則とは、国民経済学の立場に立ち、国民または地元住民の経済的福祉の増進を最大限度に達成しようとする原則である。



《ちょっと考えてみよう》

## 差と比

資本利益率や費用収益率、あるいは労働生産性などは、いずれも比の値の極大化を志向しているが、なぜ、比なのであろうか。差ではいけないのだろうか。以下の例で、少し考えてみよう。

費用収益率で考えることにする。いま、2種類の経営があったとしよう。それらを経営A、経営Bとし、その内容は次の表の通りであるとする。

| 経営体 | 費用      | 収益       | 利益      | 費用収益率 |
|-----|---------|----------|---------|-------|
| A   | 10万円    | 1,000万円  | 990万円   | 100倍  |
| B   | 1,000万円 | 10,000万円 | 9,000万円 | 10倍   |

経営Bは、経営Aと比較すると、費用収益率は小さいが、実際の利益は大きい。どちらの経営の方が望ましいのであろうか。費用収益率だけで判断すると、経営Aの方が望ましいことになる。本当にこれでいいのであろうか。

実は、この例では、費用が異なるので、単純に比較する訳にはいかない。いま、経営者の立場になったとして、費用に最大1,000万円までつぎ込めることができるとしよう。経営Aを選択した場合、残りの990万円をどう使うかがキーポイントとなる。仮に、残金990万円が8,010万円以上の利益をあげられないのなら、経営Bを選択する方が有利となる。

資本利益率や費用収益率は、資本や費用を効率的に使うための指標にすぎず、絶対的なものではない。また、これらの比率は、生産活動における金銭の入力と出力だけに関するものであり、いわゆるフローを解析することができても、ストックについては無力である。森林はその存在自体に多大の価値がある。そのストックを評価することなく、フローだけで経営方針を選択するのは、全体への配慮や慎重さを欠いた意思決定であるといえる。

### 1-6. 森林経理学と森林計画学

森林経理学とはForsteinrichtungの訳語である。ドイツ語の辞書を見るとEinrichtungは、処理、手配、配置、整理、家具の備え付け、組織すること、調整などの意味がのっている。つまり、部屋に家具や調度をしつらえるように、生活や仕事の、環境やファンダメンタルズを最適な状態に調整したり、組織化することである。一方、経理という言葉为国語辞典で引いてみると、おさめ整えること、特に、金銭・財産の事務処理や管理、とのっている。よって、森林経理学という訳語は、森林をおさめ整えることという意味を表しており、真に、適切な訳であったといえる。

しかし、経理という言葉は、現代では、もっぱら、金銭・財産の事務処理や管理という意味で使われており、森林経理学という名称では、その実体が伝わらず、誤解を招きかねないというのも事実である。その理由によるのであろうか、幾つかの大学では、昨今の機構改革で、森林経理学という講座名が、森林計画学などに変更になっている。仕方がないと思う反面、残念である。

森林経理学と森林計画学とでは、その意味するところが微妙に違う。既に述べたように、森林管理の実践は、調査、評価、予測、計画、実行、照査を計画期間ごとに繰り返すことであって、計画だけでは、成り立たない。ところが、森林計画学という名称では、森林計画を作成するための技術的な側面ばかりが強調されるような気がして心配している。最初の森林計画をしっかりと立てることも大切であるが、計画の対象となる森林は生物であり絶えず変化しているので、アフターケアが一層重要である。やはり、照査まで含んだものでなくてはならない。

林学は、もともと、官房学として始まった。つまり、王様や封建領主の森林を守り、管理するためのものであった。当時は、森林は日常生活と密接に結びついていたので、殿様は領民の生活を安定させるためには、森林を適切に管理しなければならなかった。保続原則が生まれたのも、当然のことであった。森林経理学というのは、まさに、森林をおさめ整えるための理論と技術を追求めるもので、総合的なものであり、典型的な実学である。本書の題名は、森林計画学入門であるが、中身は、森林経理学入門のつもりで書いている。

## 2. 森林の種類と分類

一口に森林と言っても、森林には実に様々な種類がある。それは、森林を構成する樹木に多くの種類があり、また、それらの種の組み合わせ方が多様であるとともに、森林の育林方法や伐採方法、さらに、森林の利用目的と利用方法などが多様であるからである。この節では、森林計画の基礎として、森林の種類とその名称の代表的なものを紹介する。以下、各種の基準にしたがって、日本の森林を分類してみよう。

### 2-1. 森林の生物学的分類

【針葉樹林、広葉樹林】森林は、針葉樹林と広葉樹林に大きく二分されるが、進化の歴史では、針葉樹が先に出現し、広葉樹が後である。針葉樹と広葉樹とでは、枝葉の展開の仕方に大きな違いがあり、針葉樹が幹や枝を愚直にまっすぐに伸ばしていくのに対して、広葉樹は空いている空間に向かって臨機応変に枝を伸ばしていく。よって、まっすぐな丸太を生産するには針葉樹の方が都合がよい。また、一般に、材質は、針葉樹は軟らかく、広葉樹は硬い。針葉樹と広葉樹がまざりあって生育している森林は針広混交林と呼ばれている。

【照葉樹林、夏緑樹林】気候帯で区分すると、日本の森林は、亜熱帯林、暖帯林、温帯林、亜寒帯林に分けられるが、温度条件ばかりでなく水分条件も考慮にいて、亜熱帯多雨林、照葉樹林、夏緑樹林、針葉樹林の4つの群系に区分するのが一般的である。照葉樹林はタブノキ、スダジイ、アカガシなどの常緑広葉樹林を優占種とする森林であり、夏緑樹林はブナ、ミズナラなどの落葉広葉樹を優占種とする森林である。

【常緑広葉樹林、落葉広葉樹林】広葉樹林は常緑広葉樹林と落葉広葉樹林に二分されるが、常緑広葉樹林には、熱帯雨林、照葉樹林、硬葉樹林がある。気候は大陸の東側と西側とでは異なり、大陸の東側には照葉樹林が、西側には硬葉樹林が分布する。落葉広葉樹林は、温度条件の良い夏に葉をつける夏緑樹林と、水分条件の良い雨期に葉をつける雨緑樹林に類別される。

### 2-2. 森林の林学的分類

つぎに、人為の影響や林業と関連させて、森林を分類する。

【人工林、天然林】森林は、成立の仕方によって、人工林と天然林に大きく二分される。人工林は、植林したり、種を蒔いたり、挿し木をしたりして、人工的に成立させた森林である。一方、天然の力を利用して後継樹を成立させることを天然更新というが、天然更新によって成立した森林を天然林という。天然更新には、自然に落下した種から発芽する天然下種（てんねんかしゅ）更新、切株から芽が出る萌芽（ぼうが）更新などがある。なお、天然林を手入れしたものは育成天然林と呼ばれ、人工林とはしない。

【原生林、天然生林】天然林は、原生林と天然生林に分かれる。天然生林とは、一部の樹木が伐採、利用されたあと、自然の力で回復した森林のことであって、大部分の天然林はこれに分類される。二次林とは、伐採や火災などで一度森林が破壊されたあとに、自然に再生し、二次遷移の過程にある森林のことをいう。

【単純林、混交林】森林を樹種構成に応じて分類すると、同一の樹種だけから構成される単純林と、複数の樹種によって構成される混交林に分けられる。

【同齡林、異齡林】樹齡の構成に応じて、同齡林と異齡林に分けられる。

【若齡林、高齡林】森林の年齢を林齡というが、これは森林が成立してからの経過年数を表す。植栽林の場合は植栽した年を1年として数え始めるので、苗木の年齢（苗齡）と林齡との和が樹齡となる。幼齡林、若齡林、壯齡林、高齡林、老齡林などの言葉もあるが、林齡によって分類するのではなく、成長の旺盛さによって区分している。山火事のあとに一斉に再生した森林（山火再生林）や植栽林では林齡は明確であるが、天然生林などでは林齡という概念は存在しない。

【単層林、複層林】樹木の上部に広がる枝葉の集まりを樹冠というが、樹冠は光合成が行われる大切な部分なので、その階層構造の違いに基づいて森林を分類することがある。単一の樹冠層を持つ森林は単層林と呼ばれ、複数の樹冠層から構成されている森林は複層林と呼ばれる。複層林は二段林や多段林の総称である。

【一斉林、不斉林】一斉林は、樹冠の高さに大きな差がなく林冠がほぼ一様である森林のことをいう。そうでない森林は不斉林と呼ばれている。

## 第2章 森林計画の基礎概念

---

【皆伐林、漸伐林、択伐林】森林を伐採方法で分類した場合は、一般に、皆伐林、漸伐林、択伐林の3通りに区分される。

皆伐とは、森林内のすべての樹木を一度に伐採して収穫する方法であり、伐採跡地が直ちに更新されることを前提としている。更新は人工植栽するのが一般的である。経済的には最も効率がよい伐採方法であり、大部分の林業では、この方法で伐採が行われている。ただし、大面積の皆伐は、環境への影響が大きい。

漸伐とは、成熟木を数回に分けて伐採して収穫する方法であって、その間に天然下種更新を図り、母樹の庇護下で稚樹を育て、稚樹がある程度大きくなった段階ですべての母樹を伐採する。日本では、ほとんど例を見ない。

択伐は、つねに、森林内の一部の樹木のみを伐採して収穫する方法であって、高度な技術と集約な管理を必要とし、伐出経費もかさむが、環境への影響が小さい方法である。一般に、天然林や複層林で用いられる伐採方法である。

【高林、低林】森林を育林目標、あるいは、その具体的な内容である育林作業法でわけた場合は、高林、中林、低林、および竹林に分類される。

高林は、柱や板などに使われる用材の生産を目的とした森林である。背の高くなる木で構成され、高齢になってから伐採される。喬林（きょうりん）ともいう。

低林は、萌芽更新による森林のことで、矮林（わいりん）ともいう。一般には、薪や炭に使われる燃材の生産を目的とする森林であって、背の低い木で構成され、20年から30年という短い周期で皆伐が繰り返される。

中林は、高林と低林を組み合わせた森林であるが、ほとんど例を見ない。

竹林は、地下茎更新によるものであり、成長が早いという特徴を有する。

【同齢単純林、異齢混交林】スギやヒノキの人工林は同齢単純林であり、一斉林で単層林であって、普通は皆伐高林である。北海道にあるような天然林は異齢混交林であることが多く、複層林であって、一般には、択伐高林である。

里山や都市近郊林の中には、昔の薪炭林が放置されたままになっているものが多いが、それらの森林は同齢の天然林であって広葉樹の混交林である。しかし、長い間利用されていないので、実態としては、異齢林へ、複層林へと、少しずつ植生の遷移が進んでいる。

### 2-3. 森林の社会的分類

最後に、人間社会との関係で森林を分類する。

【国有林、民有林】所有形態の違いによる区分では、国有林と民有林に大きく二分される。民有林は、都道府県有林や市町村有林などの公有林や、個人や会社、各種団体、組合などが所有する私有林などからなる。よって、民有林と私有林は区別して使う必要がある。

【制限林、普通林】森林法や都市計画法などの法令により立木の伐採が制限されている森林を制限林という。民有林では、制限林に指定されていない森林を普通林という。

【国土保全林、木材生産林】国有林では、森林を、その機能によって、国土保全林、自然維持林、森林空間利用林、木材生産林の4つに区分しており、水源かん養機能はすべての森林が保持するものとしている。

【自然休養林】国有林のレクリエーションの森には、自然休養林などがある。

【保安林】公益的機能に関連する森林の名称としては、水源かん養保安林や土砂流出防備保安林など17種類の保安林があげられるが、水源林や防風林といった言葉も一般によく使われている。

【分収林】森林経営において、土地所有者と造林者および費用の負担者が異なる場合があり、関係者の間で将来の収益を分かちあう契約を結ぶことがあるが、そのような森林を分収林という。分収契約では収益の分配率を定めるが、その理由は、森林の成長には長い年月を要するので前もって収益の分配額を確定しておくことは実際問題としては難しいからである。

【入会林】入会（いりあい）林野とは、一定地域の住民の間で林野を共同利用する権利、すなわち入会権が認められている特定の山林原野のことである。入会権は昔からの慣習であるので、近代化の名のもとに、所有権等の権利関係を整備するための法律が定められている。

【里山林、都市近郊林】第四次全国総合開発計画（四全総）の中では、森林は人間生活との関わりによって、奥山天然林、人工林、里山林、都市近郊林の4種類に分類されている。

### 3. 森林計画における場所の概念

【森林】森林は樹木が集団で生育している所と理解されているが、厳密な定義は以外に難しい。樹木がまばらに生えている場所を疎林というが、疎林を森林に含めるかどうかで森林資源量なども大きく変わってくる。

森林法では、林地と林木を合わせて森林と定義している。なお、林木とは、森林内に生育する樹木のことであって、立木（りゅうぼく）ともいう。林地のみの場合でも、伐採跡地のように森林として利用される予定の土地は森林に含める。しかし、岩石地、崩壊地、林道敷などは除地といい、森林に含めない。

【林地】林地は、立木地と無立木地に大きく二分され、無立木地は、さらに、伐採跡地と未立木地に分けられる。未立木地とは、樹木がまばらにはえている土地であって、樹冠を地面に投影したときの面積割合が30%未満の土地である。

なお、樹冠が隙間なく地面を覆っている状態をうっ閉（べい）しているという。

【林相】森林の形態や様相を林相という。

【林分】林相がほぼ一様であって、周囲の森林と区別される森林を林分（りんぶん）という。林分は森林を管理する場合の基本単位となる。

【事業区】森林計画では、森林は、事業区、林班（りんぱん）、小班（しょうはん）に区画される。事業区は独立して事業を営む区域であり、森林計画は事業区ごとに作成される。

【林班】林班は森林を半永久的に固定的に区分するときの区画であり、一般に、尾根や沢などの天然の地形線や道路などを境界とする。

【小班】小班は林班の内部を一時的に区分するときの区画である。本来は林分ごとに小班を割り当てるべきであるが、小班の内部をさらに区分して枝番号を割り振り、それを林分と対応させていることも多い。小班は一時的な林相区分なので、細分や合併も可能である。一般に、皆伐の時の伐採の単位とする。

【伐区】伐採している、あるいは、伐採しようとしている区域。

【伐採列区】森林を風害から保護するために、一連の伐区や林分を主風の方に林齢の勾配をつけて配列させたもの。風上に、より若い林分を配置させる。

## 4．森林計画における時間の概念

【林齢】森林の年齢。植栽林の場合は植栽した年を1年として数え始める。

【齢級】森林の寿命は長いので、林齢をある一定の年齢階ごとにまとめた齢級が使われることも多い。齢級の幅は普通は5年である。齢級はローマ数字で表示し、1年生から5年生までをⅠ齢級とする。

【分期】森林計画は長期の計画なので、全計画期間をいくつかの期間に分けて、その期間ごとに伐採量などの数量を定める。この分割された期間を分期という。分期の長さは、齢級の幅と一致させるので、普通は5年である。

【伐期齢】林業では幹などの栄養体を収穫するので、種子を収穫する米作などと異なり、自然の収穫期というものがない。よって、皆伐作業や漸伐作業の場合、森林経営者は、伐採時期を経営者自身の責任において決定しなければならない。林木が順調に成長している場合の、伐採が予定されている林齢を伐期齢という。

【伐採齢】実際に伐採されたときの林齢を伐採齢という。

【輪伐期】皆伐あるいは漸伐された森林が更新され、再度伐採されるまでの期間をいう。普通は、同じ種類の森林の平均値で表す。分期の倍数にすると計画を立てやすい。皆伐高林作業では、伐期齢と更新期間の和が輪伐期となるが、一般に、伐採の翌年には植林されるので、輪伐期と伐期齢は一致することが多い。

【回帰年】択伐林において、同一の森林区画が再度択伐されるまでの期間をいう。択伐された林分が、択伐直前と同程度の状態に回復するまでの期間の平均値を基準とする。回帰年の長さは、択伐の内容に応じて変わる。

伐期齢の決め方については、様々な考え方がある。代表的なものの名前をあげると、生理的伐期齢、工芸的伐期齢、材積収穫量最多の伐期齢、土地純収益最高の伐期齢、森林純収益最高の伐期齢、収益率最高の伐期齢、労働生産性最高の伐期齢などがある。それぞれの伐期齢は、後述するように、森林経営の目標や経営者の立場の違いに応じて適切に使い分ける必要がある。



## 5．森林施業

### 5－1．森林施業の内容

【施業】（せぎょう）。森林を育てたり管理するために、保育や伐採などの人手を加えることを施業という。その作業や、森林の取り扱いそのものを、施業ということもある。林業は自然の力を利用して樹木を育成しているので、自然への働きかけという意味で、施業という言葉が使われている。

【保育】森林が成林するように育てることを保育という。保育には、地拵え、植栽、補植、下刈り、蔓切り、除伐、枝打ち、間伐などがある。以下に、皆伐高林の場合について概説する。

【地拵え】（じごしらえ）。これは植栽の下準備であって、雑木や雑草を刈り払い、植栽や下刈りなどの邪魔になるものを整理する作業である。

【植栽】春または秋に行う。スギやヒノキの場合は、一般に3年生の苗を植える。植栽密度は育林目的によって異なるが、普通は、ha当たり3,000本～6,000本。

【補植】一般に、植栽の翌年に行われるもので、枯れた苗や、兎や鹿にかじられてしまった苗を植え替える。

【下刈り】（したがり）。幼木への日当たりと風通しをよくするために、また、幼木の根曲がりを防ぐために、下草などを刈り取ること。通常、夏に2回行われる。植栽後の数年間にわたって、苗木の高さが草丈より高くなるまで実施される。全刈り、条刈り（すじかり）、坪刈り（つばかり）などの方法がある。

【蔓切り】（つるきり）。葛などの蔓性の植物が絡まっているのを取り除く。

【除伐】（じょばつ）。形質の悪い木や侵入木など、不用な木を取り除く作業。

【枝打ち】（えだうち）下枝や枯枝を切り落とす作業。節のない付加価値の高い材を得るために行われる。立木当たりの葉量を減少させることになるので、年輪幅を狭くする効果もある。

【間伐】（かんばつ）。いわゆる間引きであって、立木密度を疎にすることによって、成長競争を緩和し、残存木の成長を促すものである。立木当たりの生育面積が増加するので、年輪幅を広くする効果がある。

【主伐】（しゅばつ）。伐期に達した森林を伐採し、収穫すること。

【育林体系】施業方針に対応して、一定の保育形式が採用されるが、それを体系的のまとめあげたもの。施業体系ともいう。

### 5－2．優良材の条件

優良材の条件は、丸太の径級によって、若干異なるが、①完満（かんまん）、②通直（つうちょく）、③真円（しんえん）、④無節（むぶし）、⑤均一な年輪幅（2～3mm）、⑥色・つや、である。なお、完満とは、丸太の元口と末口で直径の差があまりないものをいい、小径の柱材生産では、通直や真円とともに重要視される条件である。大径材になるにしたがい、通直性などの重要度は小さくなる。

## 6．作業級

【作業法】森林の伐採、更新、保育などに関する森林の取り扱い方法、ならびに、その体系を作業法という。大別すると、伐採方法には、皆伐、漸伐、択伐の3種類があり、更新方法には、人工更新と天然更新がある。

【作業種】伐採方法や更新方法などの作業の組み合わせに対応して森林の形態が異なるので、林型によって作業法を分類したものを作業種という。作業種には、大別すると、高林作業、中林作業、低林作業の3種類があるが、これを伐採方法によって細分し、皆伐高林作業、択伐高林作業、皆伐低林作業などと表現する。

【作業級】樹種、作業法、輪伐期の3要素がほぼ等しく、森林を管理するときに同一の取り扱いができる林分の集団を作業級という。作業級は、森林施業の基礎単位であり、作業級ごとに森林を保続するのが原則である。

#### ポイント

作業級とは、樹種、作業法、輪伐期の3要素がほぼ等しく、施業上同一の取り扱いができる林分群のこと。保続の単位。

## 第3章 収穫規整

---

前章で述べたように、森林計画の中心課題は、伐採を計画的に行い、森林資源を食い潰さないようにすることにあった。これを収穫規整または収穫予定という。林学における持続の概念、および、その具体的な実行方法である収穫規整法は、過去 200 年余りの林学の歴史の中で、失敗を繰り返しながらも、より実行可能なものへ、より確実なものへと変化してきた。本章は、その流れを整理して、林学における持続の概念ならびに収穫規整法の発展経過を紹介する。

なお、最適な育林体系や輪伐期は既に求めているものとして話を進める。育林体系については、後で、成長予測に関連して概説し、輪伐期論は次章で展開する。

### 1. 区画輪伐法

区画輪伐法は、最も単純で、最も古い収穫規整法である。すでに14世紀の古文書には記録されており、18世紀の半ばまで広く行われていたという。この方法は、森林面積  $F$  ha を、森林が伐採されてから再び成林し伐採されるまでの年数、すなわち、輪伐期の年数  $u$  年に等分し、毎年一区画 ( $F/u$  ha) ずつ順番に伐採していく方法である。おもに薪炭林などの広葉樹林に対して適用された。広葉樹は根株から萌芽更新をするので、伐採跡地は自然の力で数十年後には森林に回復した。

区画輪伐法の特徴は、1 年間に利用する森林の場所と面積を厳格に定めて固定化したことと、萌芽更新を利用していたために、森林の再生がほぼ確実であったことにある。また、伐採が許されている森林の所在が誰の目にも明らかであったので、違法な伐採を発見しやすいという利点もあった。しかし、土地の地味などの条件の違いにより、毎年の収穫量は一定ではなかったし、また、数十年先の伐採箇所が予め定められているという硬直的な計画であったため、人口の増加に伴う需要の増大に対応することは到底不可能であった。

区画輪伐法と同様の考え方は世界各地にあり、日本には番山制度などがあった。

## 2. 材積配分法

中世の頃までは、まだ身近に天然林が残っており、森の中から有用な木を伐り出してくるという林業が主であった。森林には大小様々な大きさの木が生えており、燃材として利用する場合は、立木の径級の違いはほとんど気にならないが、用材として利用する場合は、一定の大きさ以上の立木がどのくらいあって、毎年、どれだけの量を伐採してよいか問題となった。有用な大径木は森の中に散在しているので、区画輪伐法のような伐採箇所の指定だけでは、適切な伐採割り当てを行うことは難しかった。また、そのような大径木は数が少なく、たちまち過伐になるという傾向があった。

ベックマン（Beckmann）は、林木を、収穫可能な成木と、そうでない未成木とに分け、少なくとも、現在の未成木が成木に成長するまでの期間は、現在の成木を伐り尽くさないようにしなければならないと考え、次のような「材積配分法」

（1759）を提案した。いま、現在の成木の蓄積を  $V \text{ m}^3$  とし、これが毎年一定の成長率  $p$  で成長するものと仮定する。現在の成木を一定期間（ $u$  年）内に毎年均等な量（ $E \text{ m}^3$ ）ずつ収穫するとすれば、毎年の収穫量は

$$E = \frac{V \cdot p \cdot (1+p)^u}{(1+p)^u - 1}$$

で与えられる。この方法では、現在の成木はちょうど  $u$  年後に伐採され尽くしてしまうが、その後には、現在の未成木の一部が成木に達していると考えている。

材積配分法は、成長率  $p$  を一定にし、数列の和の公式を適用しているなど、形式的な面もあるが、毎年の許容伐採量に理論的な根拠を与えたという点で、高く評価できる。実際の年標準伐採量は、この数値を参考にして、経営者が決める。

|           |                                  |                                                             |
|-----------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>証明</b> | 1 年目の終わりの蓄積は                     | $V(1+p) - E$                                                |
|           | 2 年目の終わりの蓄積は                     | $(V(1+p) - E)(1+p) - E$                                     |
|           | .....                            | .....                                                       |
|           | <b><math>u</math> 年目の終わりの蓄積は</b> | <b><math>V(1+p)^u - \frac{E((1+p)^u - 1)}{p} = 0</math></b> |

## 3．平分法

### 3－1．分期

産業革命の進展により、製鉄所や製塩所、ガラス製造所等で、石炭が燃料として使われるようになると、薪や木炭といった燃材の需要が減り、替わりに炭坑の坑木や鉄道の枕木等に使われる用材の需要が増大した。燃材の場合は量が問題にされるが、用材の場合は丸太の長さや太さが問題になる。しかし、各々の森林から収穫される用材の質や量は、森林によって、さらに、森林の成長段階によって、大きく異なるので、用材の収穫量を毎年均等にすることは非常に困難であった。よって、収穫量の年変動はやむを得ないものとし、ある一定期間内の用材の収穫量を一定にしようとした。この一定期間は「分期」と呼ばれた。分期の期間の長さは、当初は20年であったが、現在では5年が普通である。

また、伐採箇所についても、区画輪伐法のように固定的に機械的に指定するのではなく、各々の森林を森林資源の内容に応じて各分期に割り当てた。

持続の概念は、この時代以降、毎年の量を均等にするという考え方から、分期ごとの量を均等にするという「平分法」の考え方に変化したのである。

### 3－2．材積平分法

各分期の材積収穫量を均等にすることというのは、実際には、なかなかの難問であった。なぜなら、用材の量は林齢によって異なるので、その林分をいつ伐採するかで収穫量が変わってくるし、また、森林を伐採せずに残しておいた場合と、伐採跡地に植林した場合とでは成長量も変わってくるからである。

1795年に、ハルティッヒ（Hartig）は、それまで試みられていた方法を体系化し、「材積平分法」と呼ばれる収穫規整法を発表した。この方法は、以下のような方法で、分期ごとの収穫量を均等にしようとしたものである。

まず、各林分を適正な伐期齢で伐採することにし、現在の林齢に応じて各分期に割り振る。つぎに、各林分の成長量を加味して、各分期の収穫量を計算する。当然、各分期の収穫量は異なるので、一部の林分の伐採分期を繰り上げたり繰り

下げたりすることによって調整し、分期ごとの収穫量が出来る限り均等になるようにする。この場合、各林分の成長を予測する必要があるが、いずれも分期の中央で伐採されるものと仮定して計算する。これらの計算を試行錯誤的に行うのであるが、年標準伐採量  $E \text{ m}^3/\text{yr}$  の目安を、

$$E = \frac{V}{u} + \frac{Z}{2}$$

とした。ただし、 $V$  は蓄積の合計量、 $u$  は輪伐期、 $Z$  は成長量の合計量である。この式の誘導については、後で、法正蓄積法のところで説明する。

1819年、プロシア国国有林は材積平分法を採用した。

### 3-3. 面積平分法

材積平分法は、計算が面倒であったばかりでなく、成長量をどの様に査定するかで、年標準伐採量も大きく変化した。ザクセン州のコッタ (Cotta) は、面積を基礎にした収穫規整法の方が、より実践的で、保続もより確実であると考え、1804年に「面積平分法」を提唱した。この方法は、老齢な林分から順に伐採するという方針のもとに、分期ごとの伐採面積を均等にしようとしたものである。

面積平分法は、最初の輪伐期間は収穫量が必ずしも均等にはならないという欠点があったものの、計算は簡単であり、また、1輪伐期後には、常に伐期齢で伐採されることになるので分期ごとの収穫量が安定するという長所があった。

### 3-4. 折衷平分法

なお、19世紀に広く用いられた方法は「折衷平分法」であり、この方法は、面積平分法を用いて各分期の伐採面積を定めた上で、第1分期と第2分期の収穫量が均等になるように調整したものであった。

ハルティッヒの考え方はあまりに理想的であり、その方法は実行可能性に欠けるものであった。一方、コッタは、収穫量を持続させる代わりに伐採面積を持続させるという割り切った考え方を示した。そのため面積平分法は実践性に富み、多くの支持を得て折衷平分法へと引き継がれていったのである。

## 4. 齡級法

面積平分法や折衷平分法では、高齢な森林から順に伐採に割り当てることが多かった。よって、計画立案者の関心は、各々の森林を各分期に機械的に割り当てる長期計画よりも、第1分期の伐採計画等を具体的に定める中期計画に注がれた。保続の確保については森林の年齢構成などに関して将来の見通しがついていればよしとし、むしろ、森林の現況を考慮に入れて中期計画を主体とする森林計画を分期ごとに作り直すことの方が重要であると考えたのである。このような考え方に基づく収穫規整法は「齡級法」と呼ばれた。

齡級法は、1811年、コッタ自身によって提唱されたことに始まる。中期計画では、林分の適正配置に特に注意が払われた。というのも、対象となった森林はトウヒの針葉樹高林であって、風害を受けやすかったからである。森林を場所的に秩序付けることが目標に加えられ、伐採列区を作るための伐採が優先された。

齡級法の登場により、森林計画は、実践的な中期計画を分期ごとに作り直していくという考え方に変わっていった。その時代背景としては、産業革命の進行に伴い、長期計画を策定した前提条件が著しく変化していったことにあってと思われる。折衷平分法も、こうした流れに沿って登場してきたものであろう。

### 《区画輪伐法・面積平分法・齡級法の比較》

いま、全森林面積を  $F$  ha、輪伐期を  $u$  年とすると、年標準伐採面積は、区画輪伐法、面積平分法、齡級法、いずれの場合も  $F/u$  ha となる。では、これら3つの方法の違いはどこにあるのであろうか。区画輪伐法では、遠い将来に至るまで、どの森林を伐採するかが決められており、伐採箇所の面積は  $F/u$  ha である。面積平分法では1輪伐期間の伐採箇所が指定されているが、伐採箇所は分散しており、1分期間の伐採面積の和は、分期の長さを  $n$  とすると、 $n \cdot F/u$  ha である。齡級法では1分期間の伐採箇所だけが指定されており、それらの伐採面積の和は  $n \cdot F/u$  ha である。

## 5. 林分経済法

19世紀も後半になると、資本主義の発達に伴い、林業においても収益性が重視されるようになった。老齢林が多い森林に齡級法を適用すると、一部の老齢林は第2分期まで伐採されずに残る。老齢林は成長が衰えているので、そのような森林はなるべく早く伐採して、成長の旺盛な若い森林に置き換えた方が、経済的には有利である。1871年に、ユーダイヒ（Judeich）は、個々の森林を経済的に最も有利な時期に伐採することを原則とする「林分経済法」を発表した。

林分経済法では、伐採の優先順位を次のように定めている。

- ①離伐：ある林分の風上に、より高齢な林分がある場合は、その高齢林の風下側の一部を伐採し、跡地に幼齢林を成立させる。こうした目的のための伐採を「離伐」という。離伐が行われ幼齢林が成立した後であれば、高齢林の残りを全部伐採しても、風が、風下の林分に直接吹き込むことは軽減される。
- ②明らかに成熟期に達している林分
- ③森林の場所的秩序付けのために必要な伐採。たとえば、伐採列区の造成。
- ④成熟しているかどうかははっきりしない林分。指率で判定する。

ここで、「指率」とは、林分の伐採時期の判定に使われる指標であって、その考え方は、その林分をそのまま成長させたときの利回りが、経営者が念頭に置いている利回りよりも小さい場合は伐採するというものである。いま、林齢  $t$  年の時の立木価格を  $A_t$ 、 $t+n$  年の時の立木価格を  $A_{t+n}$ 、林地の価格を  $B$ 、管理資本を  $V$  とすれば、 $n$  年間の複利による利回り  $w$  は、次式で与えられる。

$$w = \sqrt[n]{\frac{A_{t+n} + B + V}{A_t + B + V}} - 1$$

林分経済法では、伐採跡地が再造林してあれば森林の保続は守られていると見なしていた。ユーダイヒは、小面積の私有林経営には林分経済法を適用して構わないが、大面積の場合は木材市場や労務を配慮する必要があると述べている。



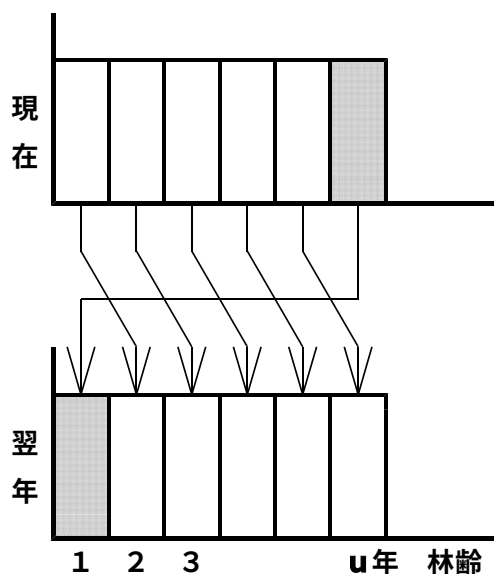
## 6. 法正林

森林計画を作成する場合、目標となる森林を設定する必要があるが、当時の人々が考えていた理想的な森林は、法正林と呼ばれるものであった。この節では、法正林の概念について説明し、次の節では、現実の森林を法正林に近づけるための収穫規整法について説明する。

### 6-1. 法正林

森林資源は再生可能な資源であるので、上手に維持管理すれば、持続的に利用することができる。毎年、一定量の木材を永久に供給し続けることができる森林は「法正林」と呼ばれている。法正林は理想像であって、現実には、ほとんど存在しないものであるが、19世紀のドイツを中心とした林学者達は、法正林の性質や、現実の森林を法正林に誘導するための方法について、いろいろと研究した。

森林面積ha

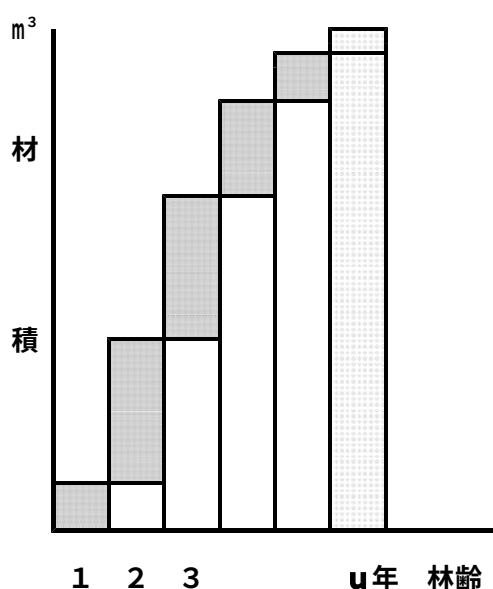


19世紀に考えられていた法正林は、伐期に至るまでの各林齢の林分が等面積ずつ存在する森林であった。この条件を法正齢級分配という。左の図に示したように、伐期 $u$ 年で皆伐された林分は直ちに植栽されて翌年には1年生の林分となり、その他の林分は1年間に一つずつ歳を取るの、1年生であった林分は2年生になり、2年生であった林分は3年生に、そして $u-1$ 年生であった林分は $u$ 年生になるので、1年後も法正林が実現することになる。これを永久に繰り返せば、毎年一定量の木材を永久に収穫できることになる。

## 6-2. 法正林の条件

法正林の内容を具体的に表す条件として、以下のようなものが考えられていた。

- ①法正齡級分配：伐期に至るまでの各林齡の林分が等面積ずつ存在すること。
- ②法正林分配置：各林分の位置関係が適切であること。特に、伐出、更新、保護（風害、寒害）等の面で、適正に配置されていること。
- ③法正蓄積：各林分がその林齡に相応する正常な蓄積を持っていること。
- ④法正成長量：各林分がその林齡に相応する正常な成長をしていること。



こうした条件を満たしている森林は法正状態にあると呼ばれていた。左の図に示したように、法正状態では、各林分の成長量を合計したものは、最高齡（ $u$ 年）の蓄積量に等しく、それはすなわち、毎年の収穫量に等しいことになる。よって、毎年成長量だけを収穫し、これを永久に繰り返すことができる。

## 6-3. 法正林思想

法正林の条件のうち、法正齡級分配は、区画輪伐法や、面積平分法、そして、齡級法で1輪伐期が経過した後に一応達成されるものである。よって、法正林の概念は、持続的な林業経営をするための目標状態として、古くから念頭に置かれていたものであった。1826年、フンデスハーゲン（Hundeshagen）は法正林について理論的な基礎研究を発表し、1841年、カール・ハイエル（Carl Heyer）は法正林の概念を明確にし、法正林思想を完成させた。

## 7. 法正蓄積法

### 7-1. 法正蓄積法とは

区画輪伐法、材積平分法、面積平分法、折衷平分法、齡級法、林分経済法など、これまで説明してきた収穫規整法の多くは、収穫時期と収穫量ならびに伐採箇所を指定するものであった。しかし、一方では、これらの収穫規整法とは全く別系統の収穫規整法として、法正蓄積法があった。

法正蓄積法は、法正林の蓄積および成長量と、現実林の蓄積および成長量との関係を表す公式を想定し、現実林を法正林に導くよう毎年の標準伐採量を定める収穫規整法の総称である。

法正蓄積法を今までの収穫規整法と比較してみると、次の二つの特徴をあげることができる。一つは、森林の現有蓄積と法正蓄積とを比較することによって年標準伐採量を定めていることであり、このことは、現有蓄積が予想外の変化をすれば年標準伐採量を見直すということであって、森林経営は経営環境の変動に対してより柔軟に対応できるようになっていた。もう一つの特徴は、伐採の対象となる森林の選定を現場に任せた点にある。森林は多様で一律に取り扱えないものであるから、現場の判断を重視したのである。

法正林が実現すれば持続的な林業経営ができるということが、理論や計算では示されたが、実際に、現実の森林を法正林に改造しようとする、長い年月を要し、また、その途中で、災害や病虫害によって森林が破壊されるであろうことは容易に想像されたので、法正林を築くことは、実際には不可能なことであった。また、森林の齡級構成が著しく偏っている場合、老齡林を伐採しないとか、あるいは、若齡林を伐採するといった経済的な犠牲も大きかった。そこで、現実林の蓄積を、法正林の蓄積に近付けることが森林経営の目標にされたのである。

法正蓄積法は、多くの人によって、いろいろな方法が提唱されてきたが、法正林と現実林とを比較する方法で分類すると、差で比較する方法と、比で比較する方法との、2系統に大別することができる。本書では、それぞれの代表的な方法について、その基本的な考え方を説明する。

### 7-2. 法正蓄積の定義

法正林が持っていると考えられる理想的な蓄積を法正蓄積という。いま、輪伐期  $u$  年の法正林が  $u$  ha あるとする。すなわち、各林齢の森林が 1 ha ずつあるとする。林齢  $t$  年の蓄積が  $v_t \text{ m}^3/\text{ha}$  であるとすれば、この法正林の法正蓄積  $V_N \text{ m}^3$  は、

$$V_N = v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_{u-1} + v_u$$

で与えられる。ただし、これは  $u$  ha の法正林の場合である。この様に、法正蓄積は輪伐期の長さによって異なる。上の式は、 $u$  年目の成長が終了している場合なので、秋の法正蓄積と呼ばれている。 $u$  年目の蓄積  $v_u$  を入れない場合を春の法正蓄積という。普通は、春と秋の平均値である夏の法正蓄積を用いる。

### 7-3. 法正蓄積の求め方

法正蓄積の求め方としては、次の3つの方法がある。

#### ① ha 当たりの伐期収穫による方法

法正蓄積は、材積成長曲線を原点から林齢  $u$  年まで積分した場合の面積に相当するが、これを、横  $u$  年、縦  $v_u \text{ m}^3/\text{ha}$  の三角形の面積で近似した推定法である。すなわち、 $u$  ha の法正蓄積  $V_N = u \cdot v_u / 2$

#### ② ha 当たり伐期平均成長量 $z$ による方法

ha 当たり伐期平均成長量  $z$  が推定できていれば、それを  $u$  倍したものが、ha 当たりの伐期収穫になるので、上記①の方法を適用する。

#### ③ 収穫表による方法

収穫表とは、森林の成長経過を表に示したものである。間伐の時に間伐される木を副林木、残される木を主林木というが、いま、収穫表が  $n$  年毎に記載されているとし、 $i$  年階の主林木材積を  $v_{in}$ 、副林木材積を  $d_{in}$ 、主副林木材積合計を  $m_{in}$  とすれば、 $u$  ha の夏の法正蓄積  $V_{NS}$  は、次式で表される。

$$\begin{aligned} V_{NS} &= n \left( v_{1n} + v_{2n} + \dots + v_{u-n} + \frac{v_u}{2} + \frac{d_{1n} + d_{2n} + \dots + d_u}{2} \right) \\ &= n \left( m_{1n} + m_{2n} + \dots + m_{u-n} + \frac{m_u}{2} - \frac{d_{1n} + d_{2n} + \dots + d_{u-n}}{2} \right) \end{aligned}$$

### 第3章 収穫規整

#### 7-4. カメラルタキセ法

林学は、もともと、官房学として始まったが、1788年には、オーストリア皇室法の中に、森林の評価基準として、カメラルタキセ法が制定された。この方法は、その後、収穫規整法としてドイツに紹介され、広く応用されるようになった。

カメラルタキセ法の年標準伐採量  $E_m^3$  / 年は

$$E = Z + \frac{V_w - V_n}{a}$$

で与えられる。ここで、 $Z$ は年当たりの成長量を全森林について合計したものであり、 $V_w$ は現実林の蓄積の合計、 $V_n$ は法正蓄積である。また、 $a$ は改良期と呼ばれ、 $a$ 年後に現実林の蓄積の合計が法正蓄積になることを目指している。

全森林の年当たりの成長量  $Z$  については、当初は、伐期平均成長量の和とされていたが、現在では、伐期平均成長量の和とする説と、毎年の成長量（連年成長量という）の和とする説の2説がある。伐期平均成長量は伐期収穫を伐採年で割ることによって得られるので、比較的簡単に、実績に基づいて直接的に推定できる。一方、連年成長量は林齢によって変化するので推定は難しい。通常、連年成長量は収穫表から推定されるが、収穫表を使うという点で間接的であり、また、収穫表そのものの精度もあまり高くないので、計算が面倒な割には、推定精度が高いとは言えない。連年成長量を用いる方法を採用すると、若齢林が多い場合は、伐期平均成長量を用いる方法よりも伐採量が多くなり、老齢林が多い場合は、より少なくなるので、年標準伐採量の変動は大きくなる。どちらが正しいとは言えないが、どちらを使うにせよ、法正蓄積を伐期平均成長量から推定したのであれば、成長量も伐期平均成長量を使うというように、統一をとるべきである。

#### 7-5. 数式平分法

伐期平均成長量を使うカメラルタキセ法で、改良期  $a$  を輪伐期  $u$  に等しくすると次式の数式平分法が導かれる。〔練習問題〕このことを証明しなさい。

$$E = \frac{V_w}{u} + \frac{Z}{2}$$

### 7-6. フンデスハーゲン法

1826年、法正林を研究していたフンデスハーゲン（Hundeshagen）は、以下の様な公式を発表した。

$$E = V_w \times \frac{E_N}{V_N}$$

ここで、 $V_w$ は現実林の蓄積の合計、 $V_N$ は収穫表から求めた法正蓄積、 $E_N$ は収穫表の伐期林分材積から求めた、法正林の毎年の収穫量である。なお、法正林の特性により、 $E_N$ は法正成長量に等しい。この式は、現実林の利用率（ $E$ の $V_w$ に対する比）を、法正林の利用率（ $E_N$ の $V_N$ に対する比）に等しくするという仮定から導き出される。

フンデスハーゲン法は、現実林の成長量を予測する必要がないので、きわめて簡単な収穫規整法である。しかし、法正状態にいつ到達するかは明らかでない。この方法は、理論上の興味の対象として有名になったが、実地に応用されることはほとんどなかったようである。

なお、この方法は既に1787年に パウルゼン（Paulsen）によって発表されていたが、フンデスハーゲンはそのことを知らずに発表したようである。

### 7-7. マンテル法

1852年、マンテル（Mantel）は、フンデスハーゲン法の法正蓄積や法正収穫量に、伐期平均成長量から求めた推定式を代入し、次式を得た。

$$E = \frac{V_w}{\frac{u}{2}}$$

この方法によれば、毎年の標準伐採量は、現存蓄積を輪伐期の半分の長さで割ったものとして与えられる。フンデスハーゲン法と同様、現実林の成長量を査定する必要がないこと、ならびに、法正蓄積などが式に表れてこないのが収穫表がない場合でも適用できるという利点があり、簡便さもあって、広く応用されたようである。〔練習問題〕 マンテル法の式を誘導しなさい。

## 8. 成長量法

カメラルタキセ法では、毎年の標準伐採量は、全森林の年当たりの成長量と、現実林の蓄積合計を法正蓄積に誘導するための修正項との和として表されていた。ここで、現実林の蓄積合計が法正蓄積にほぼ等しい場合を考えてみると、毎年の標準伐採量は、全森林の年当たりの成長量にほぼ等しいことになる。よって、森林の齢級構成が著しく不正でない場合は、成長量を、収穫量の基準に据えることができる。

成長量法とは、森林の現状にほぼ満足しており、その状態を維持しながら森林を持続的に利用したい場合の収穫規整法であって、成長量に見合った量を伐採しようとするものである。

### 8-1. マルティン法

マルティン (Martin) は、1836年、以下のような年齢平均成長量法を発表した。いま、各林分の現在の材積を  $v_i$ 、各林分の林齢を  $t_i$ 、各林分のその年齢における平均成長量を  $z_i$  とすると、森林全体の年齢平均成長量  $Z$  は、

$$\begin{aligned} Z &= \frac{v_1}{t_1} + \frac{v_2}{t_2} + \frac{v_3}{t_3} + \dots\dots\dots \\ &= z_1 + z_2 + z_3 + \dots\dots\dots \end{aligned}$$

で与えられるので、これを毎年の標準伐採量とするものである。

この方法は、輪伐期や法正蓄積を必要とせず、計算も簡単であるが、各林分の現存調査を必要とする。したがって、各林分の蓄積調査がきちんと実行してあれば、それぞれの林分の成長状況を反映した結果になるので、有効な収穫規整法になりうる。しかし、収穫表の値を用いて算定したとするならば、求めた結果は机上のものであり、他の法正蓄積法よりも特に優れている訳ではない。

年齢平均成長量は、老齢林が多い場合は、実際の連年成長量の和よりも大きくなり、逆に、若齢林が多い場合は、小さくなるので、現実林の蓄積合計は、どちらの場合も、法正蓄積に近づいていくことになる。

## 8－2．成長率法

この方法は、現実林の蓄積合計  $V_w$  に成長率  $p$  をかけたものを成長量  $Z$  とし、これを標準伐採量とするものである。すなわち、

$$Z = V_w \times p$$

である。成長率法は、択伐林や複層林によく適用されている。

ここで、成長率は、標準的な立木の年輪幅をサンプル調査し、その結果から立木の枯損率などを差し引くことによって査定される。年輪幅の解析方法としては、樹幹解析法や成長錐を用いる査定法などがある。

この方法も、輪伐期や法正蓄積などを必要とせず、計算も簡単であり、皆伐林にも択伐林にも適用できるという利点があるので、幅広く応用されている。しかし、年輪幅の解析は、立木の破壊や損傷を伴うものであるため、そう度々は実行できない。よって、どうしても、以前に求めた成長率を流用しがちである。したがって、この方法も、成長率の採用が恣意的になりやすく、そういう意味では安全弁がなく、机上の空論に陥りやすい。

また、成長率は、成長段階や成育環境に応じて変化するものであるから、一般的に言って、その査定は難しい。

## 8－3．照査法

この方法は、1880年に、ビオレイ（Biolly）がスイスの択伐林に適用した方法であって、定期的な森林調査とそこから得られた経験に基づいて、個々の林分の伐採量を定めるものである。いま、ある林分の期首の蓄積を  $V_B$ 、期末の蓄積を  $V_E$ 、その期間内に伐採された材積を  $N$  とすれば、その期間の実際の成長量は

$$Z = V_E - V_B + N$$

で与えられるが、この実績をもとに、次期の伐採量を決定する。

従来の収穫規整法が、伐期平均成長量や収穫表などから予想される見込みの成長量をもとに、毎年の標準伐採量を決めていたのに対して、照査法は、その林分の過去における成長の実績を重視しており、この点が、いままでの収穫規整法と決定的に異なる。なお、照査法は重要なので、第5章で詳しく説明する。



## 第4章 最適輪伐期論

---

前章の収穫規整法では、輪伐期  $u$  は既知のものとして取り扱ってきた。しかし、輪伐期にどのような値を採用するかによって、毎年の標準伐採量や伐採面積あるいは法正蓄積は大きく変わってくる。輪伐期の決定はそれほど重要な問題である。

輪伐期には、幾つかの種類があり、それぞれの経営目的や考え方がある。特に問題になるのは、経済的に合理的な最適輪伐期の決め方である。これについては、約150年にも渡り、論争が続いており、未だに決着はついていない。その理由は価値観に関わる問題であるからである。

### 1. 生理的輪伐期

自然的輪伐期ともいう。林木の寿命が生理的につきる直前の年齢を伐期齢とするものである。個々の林木の寿命にはばらつきがあり、それを正確に予測することは不可能であるが、種レベルでは、およそその平均寿命が知られているので、これを参考にして、平均寿命よりも短めの、区切りの良い数字を伐期齢とする。

また、別の考え方として、天然更新に最適な林齢を伐期齢とする場合もある。すなわち、発芽力が旺盛な種子が生産される林齢や、萌芽力が旺盛な林齢を、伐期齢とするものである。

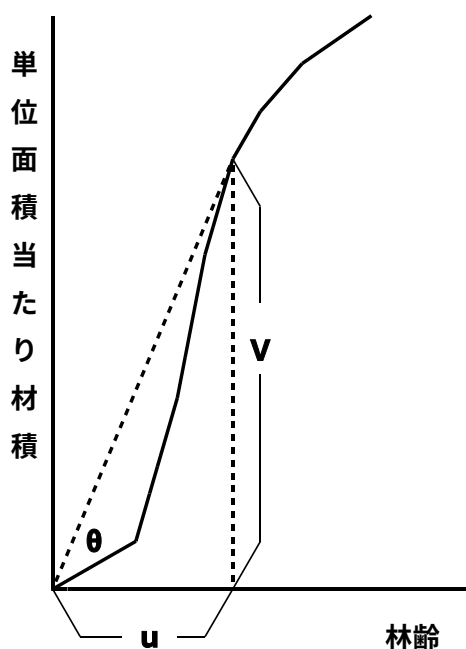
### 2. 工芸的輪伐期

利用的輪伐期ともいう。目的とする用途に対して、最も適当な大きさあるいは材質に達する林齢を伐期齢とするものである。ただし、林木の成長にはどうしてもばらつきが生じ、挿し木苗のように同じ遺伝子を持つ場合でも、個々の林木に優劣が生じるので、全体のうちの何パーセントの林木が基準の大きさに達した時点用工芸的輪伐期にするのかという問題が常につきまとう。

### 3. 材積収穫量最多の輪伐期

一定の林地から供給される木材の総収穫量を最多にする林齢を輪伐期とするものである。これは、単位面積当たりの、年当たりの平均成長量を最大にする林齢に等しい。なぜならば、その林地で、その樹種で、その作業法で、永久に育林と収穫を繰り返していく場合、総収穫量を最多にすることは、単位面積当たりの平均成長量を最大に保つことと等しいからである。

材積収穫量最多の輪伐期を求めるための図解法は以下の通りである。すなわち、



横軸に林齢、縦軸に単位面積当たりの材積をとった平面に、材積成長曲線を描き、原点から材積成長曲線に接線を引く。接点のx座標を表す林齢が、求める伐期齢である。なぜなら、平均成長量は、単位面積当たりの材積Vを林齢uで割ったものであるから、これを $\tan \theta$ で表すことにすれば、

$$\tan \theta = \frac{V}{u}$$

となり、平均成長量 $\tan \theta$ の大小は、原点からの角度 $\theta$ の大小と対応するので、角度 $\theta$ が最大になる林齢が、平均成長量最大の林齢になる。すなわち、原点から材積成長曲線に接線を引いたときの角度が最大になるからである。

材積収穫量最多の輪伐期は、木材を持続的にできる限り最大に供給しようとするものであり、国民経済的な立場に立つ輪伐期である。日本の林野庁は、この輪伐期を採用しており、良質な木材を安価に大量に供給することを目的としている。

## 4. 利子計算に使われる諸公式

純収益などの経済的な指標を最大にする輪伐期について考察する場合には、利子計算や割引率に関する基礎知識が必要になる。ここでは、利子計算に使われる諸公式について説明する。

### 4-1. 単利算と複利算

最初の元金に対してだけ利子を計算し、その利子に対しては利子をつけない場合を単利算、一定期間ごとに利子を元金に繰り入れ、その元利合計に対して利子を計算する場合を複利算という。いま、最初の元金が $V$ 円、利子率 $p$ 、期間を $n$ 、元利合計を $N$ 円とすると、それぞれ次の式で表される。

$$\text{単利算の元利合計} \quad N = V (1 + n \times p)$$

$$\text{複利算の元利合計} \quad N = V (1 + p)^n$$

### 4-2. 後価式と前価式

資金を一定期間複利で運用した場合の元利合計 $N$ を後価といい、その時の最初の資金 $V$ を前価という。上記の複利算の公式そのままであるが、

$$\text{後価式} \quad N = V (1 + p)^n$$

$$\text{前価式} \quad V = N / (1 + p)^n$$

### 4-3. 有限定期利子の後価合計と前価合計

現在から $m$ 年毎に $R$ の利子があり、それが $n$ 回続いたときの後価合計 $S_n$ は、級数の公式より、

$$S_n = \frac{R ( (1+p)^{m \cdot n} - 1 )}{(1+p)^m - 1}$$

となり、その前価合計 $S_v$ は、利率 $p$ で $m \times n$ 年割り引いた次式となる。

$$S_v = \frac{R ( (1+p)^{m \cdot n} - 1 )}{(1+p)^{m \cdot n} ( (1+p)^m - 1 )} = \frac{S_n}{(1+p)^{m \cdot n}}$$

4-4. 有限連年利子の後価合計と前価合計

毎年の終わりに  $r$  の利子があり、それが  $n$  年間続いたときの後価合計  $S_n$  は、上記の有限定期利子の式で  $m=1$  とおいた場合である。

$$S_n = \frac{r \left( (1+p)^n - 1 \right)}{p}$$

また、その前価合計  $S_v$  も同様に次式で表される。

$$S_v = \frac{r \left( (1+p)^n - 1 \right)}{(1+p)^n \times p}$$

4-5. 無限連年利子の前価合計

毎年の終わりに  $r$  の利子が永久にある場合の前価合計  $S_v$  は、つぎの様に考える。前価合計  $S_v$  を年利率  $p$  で1年間運用したときの利子が  $r$  であり、その利子  $r$  を受け取ってしまい、元金に繰り入れないとすると、毎年  $r$  の利子を永久に受け取ることができるから、

$$S_v \times p = r$$

よって、

$$S_v = \frac{r}{p}$$

この式は、毎年一定の収益が得られる資本価を求めるものであるから、資本価式あるいは還元価式と呼ばれ、大変重要な式である。

4-6. 無限定期利子の前価合計

$m$  年毎に  $R$  の利子が永久にある場合の前価合計  $S_v$  は、前価合計  $S_v$  を年利率  $p$  で  $m$  年間運用したときの利子が  $R$  であるから、

$$S_v \times \left( (1+p)^m - 1 \right) = R$$

よって、

$$S_v = \frac{R}{(1+p)^m - 1}$$

## 5．土地純収益最高の輪伐期

### 5－1．土地純収益説誕生までの歴史

産業革命が進行し、燃料源が木炭から石炭に替わるにつれ、森林經理の目的も、燃材の保続生産から、用材販売による収益の追求へと変化していった。燃材生産の場合は、萌芽更新による低林作業が主であったので、造林費を必要としなかったし、封建制度の下では、植林する場合でも、領民に夫役（ぶやく）として植えさせることができたので、造林費はほとんど問題にならなかった。しかし、用材需要の高まりから針葉樹の一斉造林が盛になると、貨幣経済や市場経済が発達してきたこともあって、造林費を無視することができなくなってきた。

林業の収益性については、まず、コッタが1804年に簡単な複利計算を導入して基礎を築いた。ハルティッヒは1812年に将来の収穫に対する前価を単利計算によって求めている。1813年、ケーニヒ（Konig）は土地収穫価を発表し、「林価算法」と呼ばれる理論の創始者となった。1819年、コッタは前価計算に複利計算を用いた。1830年頃から、複利計算が一般に用いられるようになり、1842年にはケーニヒによって数学書が発行された。1849年にはファウストマン（Faustmann）によって、ケーニヒの土地収穫価を改正した土地期望価の理論が発表されるにいたった。1858年にはグスタフ・ハイエル（Gustav Heyer）が論文の中で、1859年にはプレスラー（Pressler）が著書の中で、土地からの純収益が最大になるように経営すべきであるという土地純収益説を唱え、ファウストマンの土地期望価を最大にするような輪伐期が最も合理的であると主張した。

### 5－2．土地期望価

林業は造林と伐採を繰り返すものである。伐期までに得た総収入から生産費の総額を差し引いたものは、その期間にその土地から得られた純収益であり、これは輪伐期ごとに得られる。この純収益をもとに複利計算によって前価を算出したものが土地期望価である。いま、林齢  $u$  年における主伐収入を  $A_u$ 、林齢  $a$  年における間伐収入を  $D_a$ 、造林費の前価合計を  $C$ 、年管理費を  $v$ 、年利率を  $p$  とす

## 5. 土地純収益最高の輪伐期

ると、土地期望価  $B_u$  は次のような数式で表される。

すなわち、林齢  $u$  年時点での純収益を求め、これを無定期利子とみなして、その前価合計を求める。

$$B_u = \frac{Au + \sum Da(1+p)^{u-a} - C(1+p)^u - \frac{v((1+p)^u - 1)}{p}}{(1+p)^u - 1}$$

$$= \frac{Au + \sum Da(1+p)^{u-a} - C(1+p)^u}{(1+p)^u - 1} - \frac{v}{p}$$

### 5-3. 土地純収益説

土地純収益説は、林地から最大の純収益をあげるように経営すべきであるという説であり、言い換えれば、林地に帰属すると考えられる純収益の前価、すなわち、土地期望価が最大になるように経営しなければならないという説である。土地純収獲説ともいう。この様にして求められた伐期齢は理財的伐期齢ともいう。

上の式に示されている通り、土地期望価  $B_u$  は年利率  $p$  の影響を大きく受け、年利率が大きくなるにしたがい、土地期望価が最大となる輪伐期  $u$  は短くなる。よって、森林経営者は、輪伐期を決める前に、年利率を決める必要に迫られることになる。しかし、どのような年利率が適切であるかの判断は難しい。この年利率は、正しくは割引率と呼ばれるもので、林学では特に林業利率と言っている。林業利率の決め方については後で詳しく検討するが、一般には林業利率が恣意的に決められる恐れがあり、この点が第一に問題となる。

第二の問題は、林業利率を常識的な値に定めたとしても、一般に、土地純収益説による輪伐期は常識的な輪伐期よりも短伐期になるという点である。

1865年のドイツ農林業者大会で、ユーダイヒ (Judeich) は プレスラーの土地純収益説を支持する演説をしたが、会場の賛同はほとんど得られなかったという。土地純収益説は、純粋な理論としては高く評価されたが、現実に応用しようとすると、あまりに短伐期になりすぎ、その結果として伐採量が増えすぎるので、支持されなかったのである。その後、森林純収益説との間で、純収獲論争が 100 年以上の長きにわたって展開することになる。

## 6. 森林純収益最高の輪伐期

森林純収益説は、森林純収穫説とも呼ばれ、次式で示される値を最大にするような林齢を輪伐期とする説である。ただし、記号は、土地純収益説と同じである。

$$\frac{Au + \sum Da - C - u \times v}{u}$$

土地純収益説と比較すると、利子計算が含まれていないのが特徴である。この式の内容は極めて素朴なので、実際のところ、この式がいつの時代から使い始められたのかは不明であるが、19世紀後半には、この簡素な式が、意識的にボルクグレーヴェ（Borggreve, 1878）らによって提唱された。その理由は、法正林ではこの式が経済的にも合理的であるからである。

すなわち、いま、輪伐期  $u$  年の法正林が  $u$  ha あるとする。法正林からの毎年の収入は、主伐収入の  $Au$  と、間伐収入の和  $\sum Da$  である。一方、毎年の支出は、造林費  $C$  と  $u$  ha の年管理費  $u \times v$  である。これだけの収入と支出が  $u$  ha の法正林に対して生じるので、単位面積当たりの純収益は上の式で与えられることになる。法正林では、毎年、収入と支出があるので、年利率による利子を考慮する必要がない。以上が、森林純収益説の論拠である。

森林純収益説では、林業利率が使われていないので、輪伐期が客観的に定まるという利点がある。森林純収益説の輪伐期は、一般に長伐期であって、100年以上になる。現実採用されている輪伐期よりも長くなる傾向があるが、理想とする法正林の輪伐期であるので、概ね好意的に受け取られ、現場の森林官や林業家から多数の支持を得た。

以上見てきた通り、土地純収益説、森林純収益説の両説とも、十分に納得がいき、合理的なものである。しかしながら、最適な輪伐期は、前者が極端な短伐期になり、後者が極端な長伐期になるという大きな違いがあった。よって、妥協することもできずに、論争がずっと続き、なかなか決着がつかないでいる。土地純収益説は、裸地に造林したものを収穫するという、林分を単位とした説であり、森林純収益説は、法正林という森林を想定した説であるので、本来土俵が異なる。

## 7. 森林純収益率最高の輪伐期

これは、法正林の森林資本に対する、法正林からの純収益の比率を最高にする輪伐期である。単に、収益率最高の輪伐期とも呼ばれる。いま、輪伐期が  $u$  年で、 $u$  ha からなる法正林があるとする。ha 当たりの地価を  $B$  とすると、 $u$  ha の地価は  $u \times B$  となり、これに法正蓄積の価格  $N$  を加えたものが、法正林の森林資本となる。一方、法正林からの純収益は、森林純収益説と同様に考えればよい。よって、

$$\frac{Au + \sum Da - C - u \times v}{u \times B + N}$$

を最大にするような輪伐期が収益率最高の輪伐期となる。なお、一般の森林についても同様に考えることができるが、実際には森林価の評価が難しい。

資本に対する純収益の比を大きくするには、分子の純収益を大きくするように努力するのが正当な経営であるが、分母の資本を小さくすることで達成しようとする場合があるので注意を要する。この輪伐期は、一般に、短伐期になる。

## 8. 労働生産性最高の輪伐期

シュパイデル (Speidel, 1967) は、投入労働量当たりの純収益が最大となる年齢を伐期齢とする説を唱えた。これは、次式を最大にするような輪伐期である。

$$\frac{Au' + \sum Da' - V - A}{u \times \sum t}$$

ただし、 $Au'$  は市場価で表した主伐収益、 $\sum Da'$  は市場価で表した間伐収益の合計、 $V$  は物財費で、材料など他産業から購入した品の価格、 $A$  は機械・設備の減価償却費、 $\sum t$  は ha 当たりで表した純労働時間の伐期までの総和、 $u$  は輪伐期である。

林業では、投入労働力は幼齢時に多く壮齢期以降は少ないので、この輪伐期は一般に高伐期になる。労働生産性という新しい尺度を導入した点は高く評価できるが、機械・設備の進歩に伴い労働生産性も変化するので、なお検討を要する。



## 9. 森林総収益最高の輪伐期

### 9-1. 金員総収益最高の輪伐期

総収益額、すなわち、総粗収益を最高にする輪伐期である。造林費が不要であったり、夫役や自家労働で造林した場合の式である。いま、林齢  $u$  年における主伐収入を  $A_u$ 、林齢  $a$  年における間伐収入を  $D_a$  とすると、

$$\frac{A_u + \sum D_a}{u}$$

を最大にするような輪伐期である。これは、材積収穫量最多の輪伐期において、材積量を販売額、すなわち、材積量×材積単価に置き換えた場合の式に相当する。

### 9-2. 国民経済的輪伐期

金員総収益最高の輪伐期では、費用が考慮されていないという問題がある。しかし、費用は、それを支払う立場からすれば支出であるが、受け取る立場からすれば収入であり、販売額であるので、全生産過程を通しての純収益は、最終製品の粗収益に一致する。林業の場合は、最終製品は木材市場で取引される丸太であると考えられるので、いま、市場価で表した主伐収益を  $A_u'$ 、市場価で表した間伐収益の合計を  $\sum D_a'$  とすれば、

$$\frac{A_u' + \sum D_a'}{u}$$

を最大にするような輪伐期は、国民経済的に意味のある輪伐期となる。このようにして求めた輪伐期を、レンメル (Lemmel, 1925) は、国民経済的輪伐期と呼び、シュパイデル (Speidel, 1967) は、社会経済的輪伐期と呼んだ。

### 9-3. 森林総収益最高の輪伐期

金員総収益最高の輪伐期と国民経済的輪伐期は、数式としての表現は形式的に同じであり、ともに、森林総収益最高の輪伐期と呼ばれている。前者は封建制度等のもとで、後者は丸太の市場価で考えた場合に、初めて経済学的な意味をもつ。

## 10．林業利潤率最高の輪伐期

平田種男は「林業とは、森林において、計画的・連年的に丸太を伐出（販売）し、立木を育成するわれわれの営みである。」（1983）ととらえ、輪伐期を、丸太販売の過程までも含めて考えるべきであると主張している。

従来の森林純収益説は、立木売りの林業経営の場合の式であるので、これを丸太売りの場合に直すと次式のように表される。

$$\frac{Eu + \sum Ea - C - u \times v - t}{u}$$

ただし、 $Eu$ は林齢  $u$  年における主伐による丸太収入、 $Ea$ は林齢  $a$  年における間伐による丸太収入、 $C$ は造林費の前価合計、 $v$ は年管理費、 $t$ は伐出費である。

ところで、 $uha$ の法正林を経営するには、毎年、 $C + u \times v + t$ の費用を要するが、これを  $k$  で表すことにする。そして、毎年の純収益の、毎年の費用に対する比率を求め、これを単位面積当たりの値で示すと、

$$\frac{Eu + \sum Ea - k}{u \cdot k}$$

と表される。これを最大にする輪伐期は、林業利潤率最高の輪伐期と呼ばれ、林業利潤の土地生産性および資本生産性を意味するものである（平田種男，1964）。

## 11．林業収益率最高の輪伐期

林業利潤率の式において、国民経済的な理由から、分子の費用  $k$  を削除すると、単位面積当たりの費用収益率の式、

$$\frac{Eu + \sum Ea}{u \cdot k}$$

が得られる。これを最大にする輪伐期は、林業収益率最高の輪伐期と呼ばれる。この輪伐期は、地域全体の利益についての土地生産性および資本生産性を表しているので、地域林業の輪伐期を示すものである（平田種男，1964）。

## 1 2．内部収益率最高の輪伐期

### 1 2－1．内部収益率

内部収益率とは、便益と費用の現在価値を等しくするような投資の収益率である。Internal Rate of Returnの訳であり、頭文字を取ってIRRと略されることが多い。いま、 $u$ 年後まで続くプロジェクトにおいて、 $t$ 年後の便益を $B_t$ 、費用を $C_t$ とし、割引率を $r$ とすると、内部収益率は、

$$\sum_{t=1}^u \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^u \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

の関係を満たすような割引率のことである。

内部収益率は、プロジェクトの純現在価値をゼロにするような割引率であるとも言える。また、内部収益率は純現在価値を非負にする割引率の中で最大の割引率である。

内部収益率を求めるには、割引率 $r$ を少しずつ変化させては計算してみるという試行錯誤的な方法を行うしかないが、コンピュータを利用すれば容易に求めることができる。

### 1 2－2．内部収益率最高の輪伐期

裸地に造林する林業に内部収益率を適用すると、プロジェクトの期間 $u$ 年が輪伐期に相当し、便益は主伐収入と間伐収入、費用は、造林費 $C$ と、年管理費 $v$ 、毎年の地代 $b$ になる。よって、

$$\frac{Au + \sum D a (1+r)^{u-a}}{(1+r)^u} = \frac{C (1+r)^u + \frac{(v+b)((1+r)^u - 1)}{r}}{(1+r)^u}$$

の関係を満たす割引率のうち、最大の割引率を与える輪伐期が、内部収益率最高の輪伐期となる。

内部収益率最高の輪伐期は、費用として投入した資金を最も高い利回りで運用する場合の輪伐期である。これで求めた輪伐期は非常に短伐期になる。

## 12．内部収益率最高の輪伐期

### 12－3．造林利回り最高の輪伐期

多くの場合、林業家は自分が所有する土地で林業経営をしているので、林地の価格や地代を客観的に査定することが困難である。よって、林地や地代を省略した内部収益率が用いられることが多い。これを造林利回りという。すなわち、造林利回りとは、

$$\frac{Au + \sum Da (1+r)^{u-a}}{(1+r)^u} = \frac{C (1+r)^u + \frac{v((1+r)^u - 1)}{r}}{(1+r)^u}$$

の関係を満たす割引率である。この割引率のうち最大の割引率を与える輪伐期が、造林利回り最高の輪伐期となる。

### 12－4．内部収益率の問題点

内部収益率が最大ということは、費用として投入した資金を最も高い利回りで運用しているということなので、一見最も合理的であるような気がするが、実は問題点を含んでいる。利回りが最高ということは、投資期間が同じ場合は、投資した費用に対する収益の倍率が最も大きいということであって、費用収益率が最大ということに等しい。よって、内部収益率は、以前に指摘したような費用収益率の問題点をそのまま含んでいる。簡単な例を使って、もう一度説明しよう。

林業は土地産業である。事業規模を拡大しようとしても、条件の良い土地は簡単には手に入らないし、遠くの土地を手に入れても管理が大変で新たな出費を必要とする。よって、結局は、ある一定の土地面積のもとで林業経営をすることになる。いま、仮に1haの林地を持っている林業家がいて、同じ輪伐期で粗放林業にするか集約林業するか迷っているとしよう。下の表は、費用収益率が高い林業が、必ずしも利益が大きい林業に一致するとは限らないことを示している。

| 施 業  | 費 用     | 収 益      | 利 益     | 費用収益率 |
|------|---------|----------|---------|-------|
| 粗放林業 | 10万円    | 1,000万円  | 990万円   | 100倍  |
| 集約林業 | 1,000万円 | 10,000万円 | 9,000万円 | 10倍   |

## 13. プロジェクト評価基準

一般によく使われているプロジェクト評価基準は、純現在価値（NPV）、内部収益率（IRR）、便益費用比率（B/C ratio）である。このうち内部収益率については、前節で説明したので、この節では、純現在価値と便益費用比率について説明する。

### 13-1. 純現在価値（NPV）

純現在価値とは、Net Present Valueの訳で、頭文字をとってNPVと略されている。これは、便益と費用を一定の割引率で現在価値に割り引き、純便益の現在価値を算出することによって、プロジェクトを評価するものである。

いま、 $u$ 年後まで続くプロジェクトにおいて、 $t$ 年後の便益を  $B_t$ 、費用を  $C_t$  とし、割引率を  $r$  とすると、NPVは、

$$NPV = \sum_{t=1}^u \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=1}^u \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

で表される。

林業を裸地から始め永久に続ける場合にNPVを適用すると、土地純収益説が導かれる。

### 13-2. 便益費用比率

これは、便益費用分析の一つとしてよく用いられているもので、benefit-cost ratioの訳であって、B/C ratioと略される。費用の現在価値に対する便益の現在価値の比をとったものであり、以下の式で表される。費用収益率と異なり、プロジェクト期間が異なる場合も比較できるが、比特有の問題点を内包している。

$$B/C \text{ ratio} = \frac{\sum_{t=1}^u \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^u \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

## 14．期待値による評価

一般に投資には安全なものと危険なものがあり、危険な投資ほど利率が高い。そこで投資家は、それぞれの投資が実現する確率を見積もり、様々な投資の組み合わせの中での期待値を算出し、最も有利な組み合わせを選択しようとする。そのような資産の組み合わせはポートフォリオportfolioと呼ばれている。ここでは、話を簡単にするために、すべての投資が安全である場合について考察しよう。

いま、ある事業家が1,000万円の資金を持っていたとする。彼は、この1,000万円を有効に運用することを願っているが、下の表の様に、投資対象はA、Bの2種類しかなく、それ以外は銀行に預けるしかないとする。銀行の利率は年3.27%とし、50年後には5倍になるものとする。適切な投資対象が無い場合でも、銀行に預けておきさえすれば50年間後には5倍になるので、銀行の年利率を基準にすることにし、現在価値を算出する割引率をこれと同じ、すなわち、年3.27%としよう。そうすると、投資Aの現在価値は200万円、銀行預金の現在価値は990万円となり、第1案の期待値は1,190万円となる。一方、第2案の投資Bの期待される現在価値は2,000万円となり、第1案よりも大きい。よって、第2案の方が有利であることが簡単に判定できる。

割引率には、相当に安全で、かつ、巨額の資金の場合にでも運用できる利子率をつかうのが普通である。資金の運用能力は個人によって異なるので、割引率も人によって異なることになる。しかし、林業経営者が有能な資金運用能力を持っていることはまれなので、この例で示されたように、銀行や郵便貯金あるいは国債の利子率が参考になる。さらに、インフレーションにも考慮する必要がある。

| 資金運用案   | 投資額     | 50年後の<br>予想収益 | 費用収益率 | 期待される<br>現在価値 |
|---------|---------|---------------|-------|---------------|
| 第1案 投資A | 10万円    | 1,000万円       | 100倍  | 200万円         |
| 銀行預金    | 990万円   | 4,950万円       | 5倍    | 990万円         |
| 第2案 投資B | 1,000万円 | 10,000万円      | 10倍   | 2,000万円       |

## 15．循環型社会の評価基準

既に述べたように、現在、プロジェクト評価基準としてよく用いられているのは、NPV（純現在価値）、IRR（内部収益率）、B/Cratio（便益費用比率）などであるが、どの評価基準も完璧ではなく、一長一短がある。しかし、現実には、経済活動そのものが、こうした考え方の影響を受けており、資本の論理により個々の資本が増大していくのと引き換えに、地域の環境が劣化したり、国内産業が空洞化したりして、全体の利益が損なわれている。

全体の利益を損なうような経済活動が続けている限り早晚破綻することは目に見えているので、地域全体の利益を評価することができるプロジェクト評価基準が必要となる。この節では、循環型社会の評価基準について考えてみよう。

### 15－1．拡大型社会から循環型社会へ

今まで人類が経験してきた社会は持続不可能な社会として位置づけられる。今までの社会の一番の特徴は、新天地があったということであろう。新天地や未開拓地がある場合は、投下資本をできるだけ早く高利回りで回収し、より有利な条件の土地に移動して行った方が得である。そうした経済活動の結果、環境は地球的な規模で破壊され、大気や水や土地は汚染されることとなったと言えよう。

持続可能な社会の一番の特徴は、新天地がないということである。もちろん、持続可能な社会においても、経済学的な意味でのフロンティアは存在し続ける。人類は、創意と工夫により新しい商品や市場を開拓していくであろうから、その意味ではフロンティアはなくなるならない。しかし、我々は、常に、現在の技術水準のもとでの持続可能な社会について考えておく必要がある。

新天地がない社会では、どのくらいのスピードで資源を食いつぶしていき、どのようなローテーションで生物資源を再生させていくかが問題になる。持続可能な社会では、もはや新天地は存在しないから、その土地や地域の付加価値を高めることに努力が注がれるであろう。よって、将来にわたってその土地に住み続け、事業を一定のローテーションで営む場合の評価基準が必要となる。

## 15－2．循環型社会の評価基準

循環型社会の評価基準は、基本的には、元金と利子との関係から導かれる。毎年一定の利子を受け取る場合の、元金と利子との関係は以下の通りである。いま、元金を $x$ 円とし、年利率を $p$ とすれば、1年後には $x \times p$ 円の利子が得られる。翌年も $x$ 円を元金として再投資すれば、1年後には $x \times p$ 円の利子が得られるので、年利率が変化しなければ、毎年、 $x \times p$ 円を永久に受け取ることができる。ローテーションの世界では、元金は永久に預けっぱなしであるから、利子の大きさをプロジェクトで評価することになる。あるいは、利子 $x \times p$ 円を年利率 $p$ で割って、元金 $x$ を推定し評価することになる。

つぎに、この考え方を一般の事業に応用してみよう。いま、ローテーションの長さを1年とし、毎年受け取る便益を $B$ 、毎年必要な費用を $C$ とすると、純便益は $B - C$ となる。純便益を一定の割引率 $r$ で割った値、 $(B - C) / r$ は純現在価値と呼ばれるものである。ところで、いま、資本を $X$ とし、資本の増加率を $P$ とすると、 $X \times P = B - C$ という関係が成り立つから、この両辺を資本増加率 $P$ で割り、割引率 $r$ を右辺の分母分子に導入すると以下のように表される。

$$X = \frac{r}{P} \times \frac{B - C}{r}$$

以上の関係は、ローテーションの長さが1年以上の場合も基本的には同じである。

## 15－3．自分の土地に自己資金で造林する場合の評価基準

つぎに、ローテーションの長さが1年よりも長い場合について考える。

いま、ローテーションの長さを $u$ 年とし、 $t$ 年目の便益を $B_t$ 、 $t$ 年目の費用を $C_t$ で表すことにする。 $u$ 年までの便益の現在価値の和は $B_0 = \sum (B_t / (1+r)^t)$ 、 $u$ 年までの費用の現在価値の和は $C_0 = \sum (C_t / (1+r)^t)$ と表される。また、土地の評価額を $L$ とする。なお、話を簡単にするために、インフレーション等については一切考えないことにする。

たとえば、ある人が、自分の土地に、自己資金で木を植え、 $u$ 年後にすべての木を伐採したとしよう。最初に投下された資本は、土地 $L$ と造林費の現在価値合



計  $C_0$  である。 $u$  年間の間には伐採収入  $B_t$  があり、 $u$  年後には土地だけが残って、一つのローテーションが終わる。これを数式で表すと

$$(L + C_0) \times (1 + P)^u = L + B_0 \times (1 + r)^u$$

となる。両辺から初期資本  $(L + C_0)$  を引くと

$$(L + C_0) \times ((1 + P)^u - 1) = L + B_0 \times (1 + r)^u - L - C_0$$

となり右辺からは  $L$  が消える。両辺を  $u$  年間の資本の増加率  $((1 + P)^u - 1)$  で割り、右辺の分母分子に  $u$  年間の割引率  $((1 + r)^u - 1)$  を掛けると

$$(L + C_0) = \frac{(1 + r)^u - 1}{(1 + P)^u - 1} \times \frac{B_0 \times (1 + r)^u - C_0}{(1 + r)^u - 1}$$

となる。右辺の第2項の分子は、伐採収入を  $u$  年後まで保持した場合の価値の合計から造林費用の現在価値合計  $C_0$  を引いた値を示しており、分母は  $u$  年間の割引率を示している。分子の  $C_0$  は次のローテーションの費用を示していると解釈できるから、結局、この第2項は、将来期待される純収益の現在価値を示している。

#### 15-4. 自分の土地に借金で造林する場合の評価基準

つぎに、自分の土地に、借金で植林した場合について考えてみよう。話を簡単にするために、借金の利率と割引率が等しいと仮定する。今度は最初に投下された資本は土地のみであり、 $u$  年後には借金に利息をつけて返すことになるから、

$$L \times (1 + P)^u = L + B_0 \times (1 + r)^u - C_0 \times (1 + r)^u$$

ように表される。これを、先ほどと同じように変形すると、

$$L = \frac{(1 + r)^u - 1}{(1 + P)^u - 1} \times \frac{(1 + r)^u \times (B_0 - C_0)}{(1 + r)^u - 1}$$

となる。右辺の第2項の分子は、伐採収入の  $u$  年後の価値合計から造林費用の  $u$  年後の価値合計を引いた値を示しており、先ほどの場合と違っている。このように循環型社会における評価基準は初期資本の所有形態の違いに応じて変化する。

$B_0 - C_0$  は純現在価値であるから、他人資本の場合は、NPVによる評価と同じ結果をもたらす。すなわち、土地純収益説が誘導される。

## 15-5. 法正林の評価基準

循環型の評価基準を法正林に適用すると以下の様に表される。

たとえば、ある人が、 $u$ haの法正林を取得し、法正林経営を始めるものとしよう。最初に投下された資本は、土地 $L_N$ 、法正蓄積の価格 $V_N$ 、造林費 $C_N$ 、 $u$ haの管理費 $u \times v$ で構成されることになる。1年後には土地と法正蓄積がそのまま残り、主伐収入 $Au$ と間伐収入 $\Sigma Da$ が得られて、一つのローテーションが終わる。これをhaあたりに直した数式で表すと

$$\frac{L_N + V_N + C_N + u \times v}{u} \times (1 + P) = \frac{L_N + V_N + Au + \Sigma Da}{u}$$

となる。両辺からha当たりの初期資本 $(L_N + V_N + C_N + u \times v) / u$ を引くと

$$\frac{L_N + V_N + C_N + u \times v}{u} \times P = \frac{Au + \Sigma Da - C_N - u \times v}{u}$$

となり右辺からは $L_N + V_N$ が消える。両辺を資本の増加率 $P$ で割り、右辺の分母分子に割引率 $r$ を掛けると

$$\frac{L_N + V_N + C_N + u \times v}{u} = \frac{r}{P} \times \frac{Au + \Sigma Da - C_N - u \times v}{u \times r}$$

となる。右辺の第2項は、森林純収益説の式を割引率 $r$ で割った値を示している。ここで、割引率 $r$ はある値に固定されているので、右辺の第2項を最大にする輪伐期は、森林純収益説の輪伐期に一致する。

## 15-6. 将来期待される純収益の現在価値 (PVFP)

以上見てきたように、循環型社会の評価基準を使えば、土地純収益説も森林純収益説も統一的に説明できる。また、新たに、自分の土地に自己資金で造林する場合の評価基準を示すことができた。

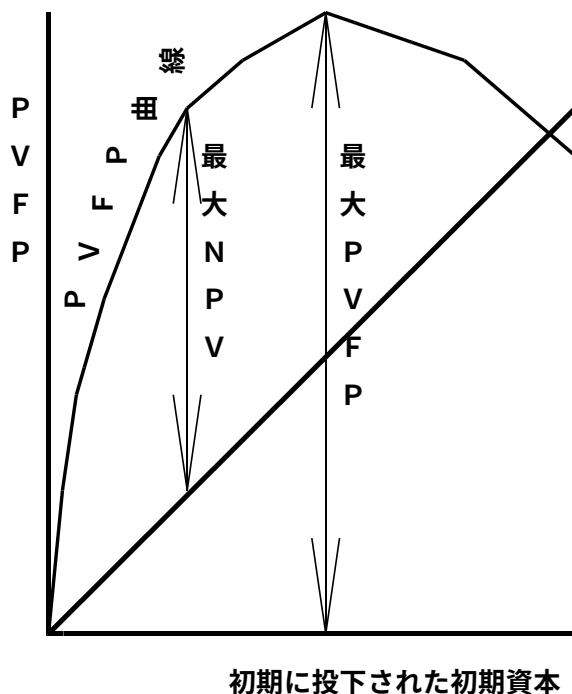
ここで示した評価基準は、いずれの場合も、右辺の第2項は将来期待される純収益の現在価値を示しており、この値の大小によって評価されている。よって、この評価基準をPresent Value of Future Profitsの頭文字をとって、PVFPと呼ぶことにする (TANAKA 1991)。

### 15-7. PVFPとNPVの比較

PVFPとNPVの間には、理論的には、 $PVFP = NPV + (\text{初期に投下された自己資本})$ という関係が成り立つ。よって、PVFPは自己資本がどれだけあるかによって値が変わってくる。

下の図は、PVFPとNPVとの関係を示したものである。横軸は初期に投下された自己資本の額、縦軸はPVFPの値を示している。PVFPの曲線と原点を通る45度の直線との差がNPVを表す。図から明らかなように、NPVを最大にする初期自己資本とPVFPを最大にする初期自己資本は異なる。また、容易に類推できるが、便益費用比率を最大にする場合とも異なる。

PVFPでは、自己資本と他人資本とを区別しているが、地域全体や国全体で考えるときは、すべての投下資本を自己資本とみなしてPVFPで判断するのが合理的であると思われる。なぜなら、PVFPを用いることによって、社会全体が受け取る純便益を推定することができるからである。



## 16．純収穫論争

以上見てきたように、経済的に合理的な輪伐期といっても、立場や価値観の相違により、最適な輪伐期は異なってくる。19世紀の中頃から、最適な輪伐期に関する論争が150年近くも続いており、純収穫論争と呼ばれている。

第2次世界大戦後、アメリカの林学者達は、この問題に決着を付けようと、著名な経済学者に依頼して、経済学的に見てどの説が最も合理的かを判定してもらった。その結果、サミュエルソンは、土地純収益説が最も理解できると回答した。土地純収益説は、基本的にはNPVと同じであるので、サミュエルソンにとって一番馴染みのある説であったと思われる。それに反して、森林純収益説は、数式を見る限り非常に素朴な式なので、その点で不利であったのではないかと思う。はたして、林学者達は、法正林のことをきちんと説明した上で判定を依頼したのであろうか。前にも述べたように、土地純収益説に対抗する説として、森林純収益説が唱えられたという経緯を忘れてはいけない。

思うに、NPVなどの評価基準は、地球規模での環境問題がまだ話題にならない頃に出てきた理論であり、人類社会の発展段階においては有効であったと思う。また、NPVは資金を提供する側の論理、たとえば、銀行家の論理であると思う。

日本の伝統的な林業地で行われている高伐期な林業は、利回りが低すぎるので、外国の林業関係者の多くにとっては、なかなか理解できないもののようである。

PVFPは、永久に続くローテーションを考えた場合に出てきた概念である。一般に行われている事業では、多くの場合、技術革新や経済環境の変動が激しいので、永久のローテーションを考えるようなことはしない。しかし、PVFPは私たちが現在取るべき行動に対して一つの指針を与えてくれるであろう。

持続可能な社会を考えるということは、循環型の社会を考えるということであり、循環型の社会とは、何らかのローテーションを念頭においた社会である。PVFPは一定のローテーションで投資を永久に繰り返す場合のプロジェクト評価基準の一つである。PVFPを上手に用いることにより、持続可能な社会における地域全体の富について考察することが可能ではないかと考えている。

## 第5章 恒続林思想と照査法

---

18世紀末から19世紀のはじめは、資本主義社会の黎明期であり、政治、経済、宗教、思想などのあらゆる面で改革が行われた時期であった。その時代の流れとは、一つは、ルネサンス、宗教改革、フランス革命等の流れを組むもので、人間性の尊重、特に個人の解放を願うもので、硬直した旧体制（アンシャンレジーム）を打破しようとするものであった。もう一つは、産業革命に代表されるように、科学技術の進歩に支えられた近代化への道であった。

そのような時代背景のもと、林学も官房学から脱皮し、ハルティッヒ、コッタによって体系化され、フンデスハーゲン、カール・ハイエルによって法正林思想が作られた。それは、戦争や濫伐で荒廃した森林を復旧・整備するとともに、森林を持続的に利用するための規範を確立しようとするものであった。また、造林技術の発達は大面積の人工植栽を可能にし、計画的な森林経営への道を開いた。

しかし、資本主義の発達に伴い木材が商品価値を持つようになると、森林経営の目的に変化が生じた。新しい農学の影響を受け、農業的な考え方で林業を行おうとした。1798年、近代農学の基礎を築いたとされるテアは、「農業とは貨幣獲得を目的とするひとつの営業であり、合理的な農業とは最高の純収益をあげる農業である」と述べたが、その考え方はグスタフ・ハイエル、プレスラーの土地純収益説やユーダイヒの林分経済法に反映された。当時、資本主義の発達により結果として大地主が出現し、特に、プロイセンではユンカー（地主貴族）が新興勢力として台頭したが、彼らは営利主義的な森林経営を大規模に行ったのである。

1830年頃から始まる営利主義的な森林経営は、トウヒやモミの同齢単純林の大規模な造林と皆伐を内容とするものであり、農作物を育てるような育林法が合理的であると思われていた。しかし、単純な林相からなる大面積人工林の出現は、大規模な病虫害や風水害の頻発を招いた。今日的な解釈をすれば、当時の森林計画には生態学的な配慮がなされていなかったと言えよう。こうした状況の中で登場したのが、天然更新による混交林の造成、そして、恒続林思想と照査法である。

# 1. 大洪水と森林被害の頻発

収益の獲得を目的とした農業や林業は、下の表に抜粋したように、各地で様々な問題を引き起こした。フランスの事例が多いのは、ミシェル・ドヴェーズ著の「森林の歴史」（猪俣禮二訳、白水社、1973）からの引用が多いためである。

資本主義的農業経営の影響により、山岳地の森林は開墾され、牧草地に変わっていったが、このことが相次ぐ河川の大氾濫をもたらした。保安林が設定され、国家事業として大造林が行われるようになったのもこの頃からである。

また、同齢単純林ばかりが大規模に造成されたため、地域の生態系に歪みが生じ、各地で木食い虫や毒蛾が大発生し、せっかく植えた森林も壊滅的な被害を受けることがあった。

## 19世紀のヨーロッパでの大洪水と森林被害の一例

|      |                                |
|------|--------------------------------|
| 1834 | スイスで大洪水                        |
| 1839 | スイスで大洪水                        |
| 1840 | フランスで大洪水                       |
| 1843 | フランスで大洪水                       |
| 1852 | オーストリアとバイエルンで保安林設定のための法律案議決    |
| 1853 | ナポレオン三世の大造林 600ha              |
| 1856 | フランスで大洪水                       |
| 1859 | フランスで大洪水                       |
| 1859 | ナポレオン三世の大造林（～1863） 7654ha      |
| 1867 | スイスで大洪水                        |
| 1875 | ボヘミヤ地方で木食い虫の大発生 360万haの森林が壊滅   |
| 1882 | フランス山岳地帯の大造林（～1940） 20万ha以上    |
| 1888 | スイスで大洪水                        |
| 1895 | ニュルンベルク周辺の松林4万ha以上が毒蛾の大発生により被害 |
| 1899 | プロイセンで保安林設定のための法律案議決           |

## 2. 木の育て方は木に尋ねよ

「林木にいかに育成されたいか問え、林木はそれについて、書物が教えるよりも、あなたがたによく教えるであろう」。この言葉は、パイル（Pfeil）が林学者としての心構えを述べたものであると言われている。森林という複雑な生態系を対象とする林学では、自然観察がとりわけ重要であることを示す名言である。

パイルは、営林署で修行しながら林学を苦学し、後にベルリン大学の教授、そしてエーベルスワルデの高等山林専門学校の校長になった人である。林業の現場をよく知っており、実地に応用できる林学を構築しようとした人であった。

当時は、収穫規整法や林価算法に見られるように、数学を応用した理論の展開はさかんであったが、自然科学に対する認識はまだ低く、森林の更新や成長に関する知識は乏しかった。パイルは、森林土壌学や森林立地学、そして森林植物学の重要性を認め、これらを林学に取り入れた。また、彼の研究は、多くの個々の現象を一つ一つ解明していくという帰納的な方法で進められた。パイルの森林に対する謙虚な姿勢が、上記の言葉に要約されている。

ところでパイルは、「国民経済学と国家財政学に関する林業の原則」（1822）という著書の中で、林業経営の目的は最高の土地純収益の獲得にあると述べている。当時の針葉樹の輪伐期は100～120年であったが、パイルはもう少し短縮した方がよいと考えていた。これは、テアに始まる近代農学の影響を受けたためであると考えられる。しかし、グスタフ・ハイエルが1858年に土地純収益説を発表したとき、パイルはいち早く反論を発表し、土地純収益説は守銭奴的な教義であって、ただ金銭のみで森林を観察し、その他を全く閑却したところに誤りがあると指摘した。パイルは、落枝落葉の堆積と地力の維持との関係に関心を持っており、そうした生物学的な知見を考慮に入れない輪伐期の決め方には反対していた。

パイルが研究対象としていた森林経営は、恐らく、同齢単純林の皆伐高林であったと思われる。そういう意味では法正林思想の枠組みから抜け出すものではなかったが、自然観察の重要性を認識し、帰納法的な研究手法を林学に取り入れた功績は大きい。

## 3. 自然に帰れ

既に述べたように、19世紀の森林計画では、主に、折衷平分法が用いられ、これに法正蓄積法、齡級法、林分経済法の考え方が加味されていた。しかも、森林計画の手法は、国や州ごとに、森林法の中に規程として定められていたので、その作業は画一的なものになりがちであった。しかし、19世紀後半には、人工林に病虫害が多発したり、風倒害が相次いだことにより、人工林一辺倒の森林政策に対して反省する気運が生まれ、自然に即した混交林の造成法の研究が各地で行われるようになった。

1878年に、ミュンヘン大学の教授になったガイヤー（Gayer）は、人工植栽による針葉樹の同齡単純林の造成に反対し、天然更新による混交林の造成を主張した。ガイヤーも営林署で修行しながら林学を苦学した経験を持ち、現場ではモミやブナの天然更新について研究をしていた。その研究成果は、彼の二つの代表的な著書である「森林利用」（1863）と「造林」（1880）にまとめられているが、両著とも版を重ね、前者は第9版まで、後者は第4版まで出版されている。

ガイヤーの思想は、あえて一言で言えば、「森林施業は自然に帰るべきであり、自然の法則に従って自然の総ての生産力を利用すべきである」というものである。当時は、森林の造林法や育成法は、森林經理の思想や施業命令による形式的な規程に縛られていたが、ガイヤーは、「造林学は、自然科学を基礎とすべきであり、自然を素直に観察することによって得られた経験を正しく理解するようにすべきである」と主張した。ガイヤーは特に天然下種更新について研究し、後述の画伐作業について、その基礎を築いた。その研究は、特に、地元バイエルンとスイスに多くの影響を与えた。

ガイヤーは、「造林は現場職員の仕事である」という名言も残している。この言葉は、当時の画一的で権威主義的な森林計画制度を批判したものであり、よりよい森林施業を行うには、現場の実状を一番よく知っている現場職員が、自らの責任において判断し実行する方がよいというものである。複雑で多様な森林を取り扱う場合の心構えとして、耳を傾けるべき言葉である。



## 4. 前更作業

風害に対してとられた対策は、一つは風上により若齢の林分を配置すること、もう一つは伐採列区の周囲に防風林帯を設けることであった。前者の対策は離伐によって行われるが、これについては林分経済法のところで既に述べた。後者の対策は、林縁樹に下枝を繁茂させていわゆる「林套」を作ったり、広葉樹の防風林帯を作るものであるが、そのために必要な上木の伐採は開放伐と呼ばれた。

成育不良や病虫害に対しては、天然下種更新によって、その土地の条件に応じた混交林を造成することが試みられた。以下、天然下種更新について説明する。

天然下種更新には、上木を伐りすかすことにより母樹の傘下に稚樹を発生させる上方天然下種更新と、更新面を伐開し周辺の母樹から飛んでくる種子を発芽させる側方天然下種更新がある。種子が重くて飛散しにくい樹種の場合は上方天然下種更新となる。林縁（Saum）での側方天然下種更新では、日当たり具合に応じて陽樹と陰樹の両方が発生するので、この作業法を特に林縁天然下種更新という。

天然下種更新を利用して一定の期間内に伐採と更新を行う方法を漸伐という。漸伐では、主伐を数回に分けて行うが、これは、上木を段階的に疎開することによって、稚樹の発生と成育を安全確実にするために行うものである。上木が全部伐採される前に、前もって更新させるので前更作業とも呼ばれている。

前更作業は、通常、予備伐、下種伐、後伐の3段階からなる。予備伐では、林冠の閉鎖を弱度に破ることにより、林木に種子の結実を促すとともに、林床に光を入れ、地表を稚樹の発生に適した状態にする。つぎに、種子の豊作年に下種伐を強度に行い、十分に疎開させて稚樹を発生させる。残存する上木は、後継稚樹を風害、乾燥害、および、霜害から守るためのものであり、更新が確実になった時点で後伐する。後伐は、稚樹の成育に応じて数回に分けて行うこともある。

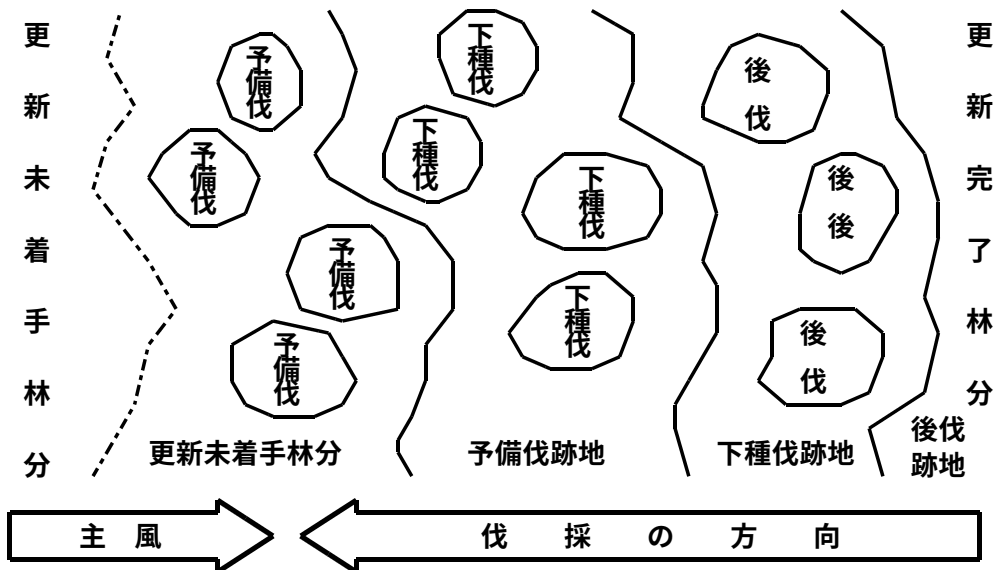
漸伐には、1回の結実年を利用して短期間に更新する傘伐（さんばつ Schirmschlag）と、数回の結実年を利用して比較的長期間にわたって更新する画伐（かくばつ Femelschlag）がある。したがって、更新面には、傘伐の場合にはほぼ同齢の、画伐の場合には林齢にある程度の幅がある一斉林が造成されることになる。

## 5. バイエルン式林縁画伐作業

中部ヨーロッパでは、モミ、トウヒ、マツ、ブナの天然下種更新は比較的容易である。バイエルンの国有林では、漸伐作業によって、ブナなどの広葉樹が少量混交する針葉樹の一斉林を造成しようとした。その作業法は、林縁を利用する側方天然下種更新の画伐であって、バイエルン法あるいは林縁画伐作業と呼ばれた。

具体的には、まず、林内に複数の孔状の更新地を作る目的で、予備伐、下種伐、後伐を行い、そこに林縁画伐作業で稚樹を発生させる。つぎに、そのようにして形成され、林内に島状に分布する孔状更新地を、前更作業によって、順次、周辺に拡大していく。最終的に、前更作業が林分全体に及び、更新が完了する。

なお、伐採の方向は、暴風の主方向に向かって進める。すなわち、暴風は西、南西、及び北西から吹くことが多いので、更新は東から西、または、北東から南西に向かって進める。風害の恐れが少ないところでは、更新を北から南に向かって進めるのがよいとしている。その理由は、北側の林縁は日陰になることが多いため乾燥し難く、稚樹の発生や成長に良好なためである。

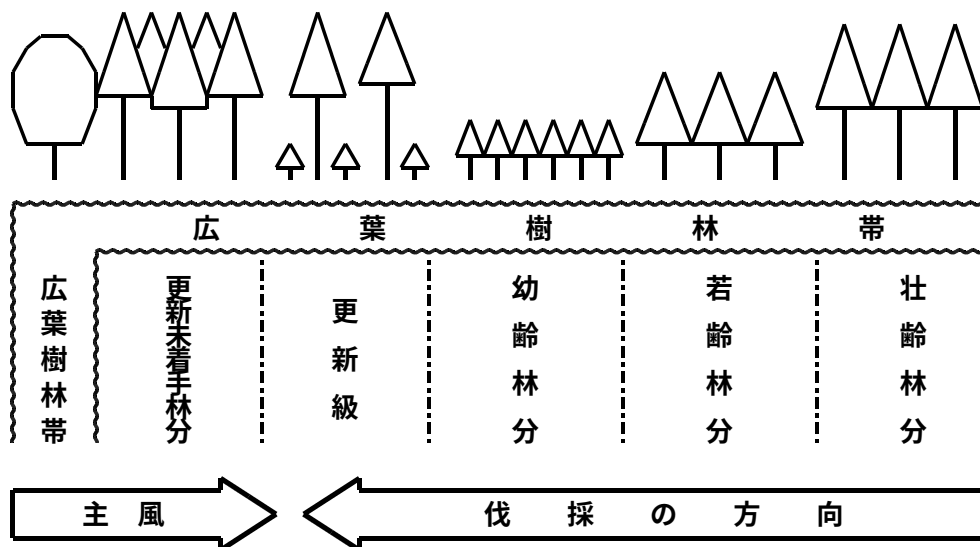


バイエルン式林縁画伐作業（井上(1974)を参考にした）

## 6. 帯状画伐作業

バーデン国フライブルク大学の森林経理学の教授であったワグナー（Wagner）は、ヴュルテンベルク国のガイルドルフの森林管理に携わっていたが、そこでの研究の結果、1902年に林縁画伐作業に択伐作業を取り入れた Blendersaumschlagを始め、1912年には「Der Blendersaumschlag und sein System」を出版した。Blenderとは、Plenterと同義語であって、択伐のことであるので、直訳すれば択伐林縁作業となるが、帯状（たいじょう）画伐作業と意識されている。

この作業法は、下の図に示したように、主風の方角に向かって、帯状の更新面を持つ林縁画伐作業を進めていくものであり、風上から風下に向かって、幼齡林、若齡林、壮齡林、高齡林を整然と配列させ、しかも、それらの森林の周囲を広葉樹の防風林帯で取り囲むようにするものである。このように森林を配列させたものを伐採列区という。ワグナーはこれを法正状態とし、森林経営の目標とした。また、伐採列区の中に輪伐期までのすべての林齡の林分が整然と配列した状態を理想状態と呼び、法正状態と区別した。

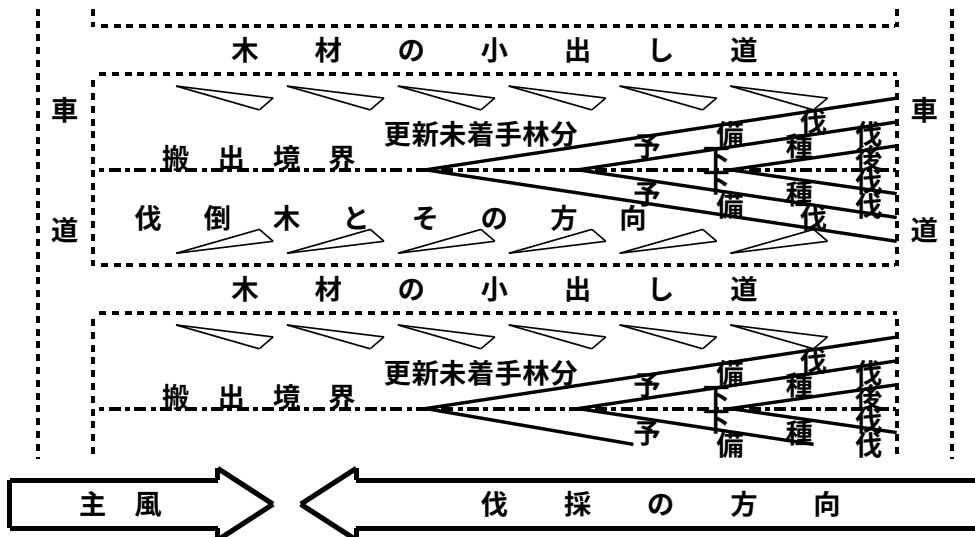


ワグナーの帯状画伐作業（片山・田中(1954)を参考にした）

## 7. 楔形傘伐作業

林縁天然下種更新では、林縁に沿って更新が行われるので、林縁の総延長が長いほど更新も多く行われることになる。また、天然下種更新では稚樹を風害などから守る必要があるが、主風の方角には変動があるため、主な風上に上木を配置することが望ましい。このような条件を兼ね備えた作業法が、1903年にヴェルテンベルク国のラーゲンブラント営林署長のエーベルハルト（Eberhard）によって考案された楔形（くさびがた）傘伐作業（Keilshirmschlag）である。この方法は、上方更新と側方更新の両方を利用しているが、主として上方更新で楔を進めていくので、楔形傘伐作業と名前が付けられている。バーデン国で広く行われた。

楔形傘伐作業の更新面は、下の図のように、主風の方角に配置する。楔の角度は、風害の多いところでは広く、陰樹を多く発生させたい場合は狭くするが、概ね、楔の底辺を楔の中心線の長さの2分の1から3分の1にする。中心線の間隔は約100mである。なお、この方法では、上木を更新面と反対の方向に伐倒するため、稚樹を傷つけることがない。



楔形傘伐作業（片山・田中(1954)を参考にした）

## 8．恒続林思想

天然下種更新に基づく森林の造成は、当初は、漸伐を前提としたものであって、広葉樹が混交していたり、異齡林であったりしたが、基本的には一斉林の造成を目指したものであった。しかし、森林の観察に基づく、より良い森林施業法への研究は、森林を有機体として認識することと、皆伐の否定へと発展していった。そうした研究の一つの到達点が、植物学者メーラーの恒続林思想である。

### 8－1．森林は一個の生命体である

メーラー（Moller）はベルリン生まれの都会っ子であった。高校生の時に森林家になりたいという希望を父に伝えたところ、父からクリスマスプレゼントとしてロスメスラー著の「森林」を贈られ、その本に書かれていた「森林は一個の生命体である」という記述に深く感銘し、植物学への志を強くしてエーベルスワルデ高等山林専門学校に進学した。

専門学校での講義には失望するところが多かったようであるが、土壌学や植物学からは多くを学んだ。また、ダーウィンの「種の起源」を読み、特に第3章からは、生命有機体の相互関係について多くの啓発を受けたという。その後、ボルクグレーヴェの講義と実習を受ける機会があり、自然科学的知識を基礎とする植物生態地理学を教わった。ボルクグレーヴェは、著書の「荒野と森林：植物社会のいわゆる自然的植生形の形成および維持に関する特殊的研究と一般的結論」と「樹木育成論」の中で、植生の形成には人間の行為が最重要な役割をはたすこと、表土の除去ならびに皆伐による裸地化は森林の生産力を低下させることなどを記しているが、それらの内容は、メーラーに多大の影響を与えた。

専門学校卒業後は研究室に残り、助手として研究生生活を送ったが、27歳の頃にブラジルにあるドイツの植民地ブルーメナウに赴任し、3年間熱帯林について研究する機会を得た。また、帰途、北アメリカの森林を視察した。熱帯林では植物の受光競争の激しさを目の当たりにし、そうした観察を通して、メーラーは、林業家の役割は間伐によって林木相互間の受光競争や生存競争を仲裁することであ

ると考えるようになった。また、ドイツの森林は、一般概念である「森林」の単なる一つの特別な場合にすぎないことも知った。

帰国後しばらくして営林署長になったが、立派な森林が皆伐高林作業によって不成績造林地へと置き換わっていくのを見るにつけ、皆伐は否定されるべきであるという気持ちをますます強くしていった。

36歳の時に母校エーベルスフルデ高等山林専門学校の教師になり、植物学の正教授を経て、1906年、46歳の時に同校の校長兼森林監督官になった。メーラーの講義は、一方では従来の造林学を教え、他方では、メーラー自身がずっと研究してきた内容、すなわち、森林を一個の生命体と見なして森林を取り扱う方法を教えるものであった。しかし、メーラーの考えを実践に移す具体的な作業法を確立するまでには至らなかった。

当時は、天然下種更新に基づく森林の造成法に関して多くの研究が成されており、代表的な文献としては、ワグナーの「森林における場所的秩序付けの基礎」（1907）、マイヤー（Mayr）の「自然法則を基礎とする造林」（1908）などが発刊されていた。それらの著書はいずれもガイヤーの考え方を基礎にしていたが、メーラーにとってはどの作業法も納得のいくものではなかった。それは、森林という一つの生命体を取り扱う以上、一つの作業法に定式化するのは行き過ぎではないかという思いがあったからである。ガイヤーの精神に立ち返るべきであり、森林有機体を連続させること、恒常性をもたせることが、何よりも重要であると考えていたからである。メーラーは、森林を恒続させるためには択伐林でなければならないと考えていたが、その内容については各々の森林の状況を鑑みて個々に対応すべきだと考えていた。そして、理想と現実との間に実践的な妥協点を見いだそうと模索を続けていたのである。

1911年の春、一つの出会いが転機をもたらした。学生のフォン・カリッチュから、彼の叔父が、メーラーの理想とする森林施業と同じ様な森林経営を行っていることを教えられたのである。その年の秋、ベーレントレーンにあるフリードリッヒ・フォン・カリッチュの森林を見学したメーラーは、そこで、長年理想としていた森林経営に出会うのである。

### 8-2. フォン・カリツチュの森林施業

フォン・カリツチュ (von Kalitsch) は、ベーレントーレンにある約900haのアカマツ林で、1883年から独自の森林施業をしていた。地味は痩せていて地位は低かったが、蓄積量、収穫量ともに多く、また、天然下種更新による稚樹も順調に生育していた。このような森林が出来上がった理由は、フォン・カリツチュが、皆伐を行わなかったこと、毎年、自分自身で伐採木の印付けをして、全体を間伐したこと、および、落枝落葉を採取しなかったことにあった。

メーラーは、ベーレントーレンでの施業例を世間に公表するとともに、これを一般化しようと試みたが、残念ながら、第一次世界大戦（1914～1918）のために中断せざるをえなかったのである。

### 8-3. 農業と林業の違い

当時、近代農業の発達に伴い、多くの人々は、林業も農業をお手本にして近代的な経営へと脱皮すべきであると考えていた。農業と林業の違いは、単なる成育期間の長さの違いであって、農業が日単位で、林業は年単位で経営されるものであるという認識が一般的であった。よって、ハルティッヒやコッタに始まる林学は、森林を林小班に区分し、林分ごとに同齢単純林を造林し、伐期に達したら皆伐し、林地を一度更地にして、また次の同齢単純林を植栽するという森林経営の体系を築いていった。その発想は、畑に農作物を植えるのと同じであった。その後の法正林思想も純収益論争も、すべて皆伐高林作業を前提とした論議であった。しかし、農業と林業との間には、決定的な違いが一つある。すなわち、農業では、一般に種子を収穫するので、栽培植物の成熟期が収穫期となり、その後、栽培植物の寿命は一斉につきるが、林業では、樹木の栄養体である幹を収穫するので、自然の収穫期というものではなく、さらに、個々の樹木には寿命があるが、樹木の集合体である森林には本来寿命というものがないという相違である。すなわち、森林は、天然の状態では、絶えず更新が行われている有機体であり、永遠に存続することが可能な生命体なのである。メーラーは、森林の有するこの特徴を造林の指導理念として、林業独自の経営法を構築しようとしたのである。

### 8－4．恒続林思想

フォン・カリッチュの森林施業は、ベーレントーレンという土地の固有な条件に順応した施業であったが、その目指すところは、森林を健全な状態に保ち続けようとするものであった。そしてそれは正にメーラーが考えていたことと一致していた。森林の形態ならびに森林施業の内容は、土壌、気候、林分の状況等に応じて様々な様相を呈するが、森林施業の規範となるべき指導原則は、健全なる森林有機体の恒続を図ることにある。このように考えたメーラーは「恒続林施業」という新語を作り、「アカマツ恒続林施業：ベーレントーレンの侍従フォン・カリッチュの森林に関する研究」という論文を1920年に学会誌に発表し、つづいて1922年には「恒続林思想」を著した。しかし残念なことに、メーラーは同年11月に急逝してしまった。

恒続林思想（Dauerwaldgedanke）の内容は以下のように要約される。

森林は一個の生命体であり、土地も含めて有機体を形成している。この森林有機体を将来にわたって存続させ、その相互関係を健全に作用させることについて十分に配慮した森林施業を行うことを最高基本原則とする。経営方針としては、上記の最高基本原則の範囲内で、森林からできるだけ多くの純収入を保続的にあげることが期待し、できるだけ高蓄積で、かつ、成長量も大きく、また、価値の高い森林を造成するよう努力する。恒続林思想はその名の通り思想であって、具体的な作業法を規定したものではないが、育林技術上の要点は次の通りである。

- ① 皆伐を決して行わない
- ② 天然更新を利用して異齢混交林をつくる
- ③ 伐採は全林にわたって年々単木的に行う
- ④ 落葉落枝の採取を行わない

なお、恒続林と択伐林はよく似ているが、恒続林は一定の林分構成を要求せず、また、絶え間なく更新していることを要求していないという点において、択伐林とは根本的に異なる。

また、恒続林思想は、絶対的な自然保護を主張するものではない。森林有機体の平衡状態を破壊から防ぐためには、人為を加えることも認めるものである。



## 9. 照査法

恒続林思想は多方面に多大な影響を及ぼしたが、思想であって作業法論ではなかったもので、具体例が少なく、実地には応用しにくい面があった。

一方、スイスでは、恒続林思想とは全く別個に、照査法という新しい森林施業法がビオレイによって確立された。その基本的な考え方は恒続林思想と重複するところが多いが、具体的な森林管理法についても提言したところに特徴があった。

照査法は、その名が示す通り、定期的に調査を繰り返すことによって、森林構造の推移、ならびに、蓄積や成長量の変化を査定しようとするものである。照査法は、確かに集約な施業であって、一部の森林にしか適用できないものであるが、その考え方と実践的な方法論については、今日でも、学ぶべきことが多い。

まず、はじめに、ビオレイに影響を与えたとされるギュルノーの考え方について簡単に触れておこう。

### 9-1. ギュルノーの「経理手帳」

フランス人ギュルノー (Gurnaud) は、フランスのナンシー林業専門学校の卒業生である。フランス東部のジュラ地方の町村有林の経営に携わり、メーラーとは別個に、森林は林地と林木の有機体であると考え、天然下種更新による異齡混交林の造成について研究をした。ギュルノーは、伐採を保育の一種と考え、残存木の成長に配慮した択伐を主張し、彼独自の成長量計算法を発案した。1878年のパリ万国博覧会では、「エペロンの森林で行われた、面積法実施のための経理手帳」という論文を発表したが、その内容は、森林の生産性を経験的な方法に基づいて高めようとするものであり、新しい森林施業法の基礎を与えるものであった。

ギュルノーの考えは、次の一節に要約される。「森林生産の諸要素、すなわち、それらに関与する成長物質と自然力が、いずれの林区、および林区の上に横たわる空気柱の中に、絶えず供給され、造林の効果は、土壌と空気圏が、永続的に、完全に、利用される状態にあるかどうか、また活用すべく用意された諸力を、把握するか否か、にかかっている。」(山畑一善訳「照査法」都市文化社刊より)

### 9-2. ビオレイの「照査法」

スイス西部のヌーシャテル州の森林官であったビオレイ (Biolley) は、収穫表や各種の公式法に基づく従来の森林施業法でなく、正確な観察に基づいた新しい森林施業法を適用することを、講演や論文で主張し続けていた。1878年に発表されたギュルノーの「経理手帳」は、ビオレイを勇気づけたとともに、それまでのビオレイの方法の欠点を補うものであった。1890年に、ビオレイは自分が考案した方法をヌーシャテル州全域に導入し、実地のなかで改良を重ねていった。第一次世界大戦が終わるのを待って、1920年に、長年の研究を取りまとめた「経験法に基づく森林経理、特に照査法」を出版した。照査法という名称は、Kontroll methode の意識であるが、この方法の本質を上手くとらえた名訳である。

### 9-3. 照査法の森林調査法

照査法では、以下のような独特な森林調査法を採用している。

#### ①森林を定期的に調査する

森林調査の間隔は成長の速度に応じて決めるものであるが、スイスでは経験的に6年置きとされている。よって、森林を6地区に分け、毎年その一地区を調査する。

#### ②森林は林班によって半永久的に固定的に区画され、これが照査の単位となる

よって、小班という概念は存在しない。

#### ③照査では、胸高直径が一定の太さ以上の立木の直径が、一定の括約幅で全林にわたって毎木調査される

#### ④樹高は測定しない

このことは、調査精度の点で問題であり、照査法の欠点であると思うかもしれないが、一般に樹高の測定は困難であるので、樹高測定を省き調査能率の向上をはかる方がはるかに実用的なのである。

#### ⑤直径しか計測しないので、材積計算には一変数材積表が使われる。

一変数材積表は「タリフ」とも呼ばれるが、照査法では特に「経理表」と呼んでいる。

## 第5章 恒続林思想と照査法

### 9-4. シルブ

森林の成長量を正確に計算するため、成長量計算では、伐採木の材積にも経理表を用いる。すなわち、通常、売却することが予定されている伐採木は、伐倒後、より正確に計測されるが、照査法で成長量計算を行う場合は、伐採木の材積を、森林調査の結果から現有蓄積を計算する際に用いた材積単位と同じ単位で査定することにするのである。そのため、立木の材積計算に用いる材積の単位をシルブ(SV)と呼び、伐採木の丸太材積を表す単位である立方メートルと区別する。つまり、森林調査では立木の材積を正確に計測することは困難であるので、直径から「経理表」と呼ばれる一変数材積表によって推定した材積を用いることにし、これをシルブと呼ぶのである。そして、このシルブを使って成長量計算も行う。

なお、伐採木については、シルブと立方メートルの両方の材積を求めることができるので、林班単位で、シルブと立方メートルとの換算率を求めておき、この換算率を用いて実際の収穫量を予測する。

### 照 査 法 の

| 直径階<br>および<br>直径級 |    | 期首蓄積<br>1943 |      | 期末蓄積<br>1949 |      | 伐 採<br>1943～1949 |      | 期末蓄積<br>+<br>伐採量 |      |
|-------------------|----|--------------|------|--------------|------|------------------|------|------------------|------|
| 番号                | 直径 | 本数           | S V  | 本数           | S V  | 本数               | S V  | 本数               | S V  |
| 15                | 74 |              |      | 1            | 5.6  |                  |      | 1                | 5.6  |
| V                 |    |              |      | 1            | 5.6  |                  |      | 1                | 5.6  |
| 14                | 70 | 1            | 5.0  | -            | -    | -                | -    | -                | -    |
| 13                | 66 | -            | -    | -            | -    | -                | -    | -                | -    |
| 12                | 62 | 2            | 7.8  | 5            | 19.4 | -                | -    | 5                | 19.4 |
| 11                | 58 | 5            | 16.8 | 6            | 20.2 | 2                | 6.7  | 8                | 27.0 |
| 10                | 54 | 11           | 31.7 | 7            | 20.2 | 1                | 2.9  | 8                | 23.0 |
| IV                |    | 19           | 61.3 | 18           | 59.8 | 3                | 9.6  | 21               | 69.4 |
| 9                 | 50 | 13           | 31.6 | 17           | 41.3 | 5                | 12.2 | 22               | 53.5 |

## 9. 照査法

### 9-5. 照査法の成長量計算

照査法では、定期的に森林調査を繰り返すが、個々の立木に番号を付けていないので、個々の立木の成長量を査定することはできない。樹木番号を付けない理由は、番号付けには経費と手間がかかり、また、番号が付けられている林分の調査は、番号の確認に手間がかかるので、調査の能率が低下するからである。

よって照査法では、以下に述べるような独特な方法によって成長量計算を行う。

まず、立木を主木と副木に分け、主木のみを森林調査や成長量計算の対象とする。ここで、主木とは、胸高直径が一定の太さ以上の立木のことである。

つぎに、主木を数個の直径級に分け、さらにその直径級を直径階に分ける。ここで、直径階は、森林調査の際に用いた直径の括約幅と同じにする。期首と期末の森林調査結果を取りまとめ、下に示したような直径階別の一覧表にして対比させる。伐採木についても同様に直径階別の一覧表にしておく。また、対応するシルブについても、直径階別の和を求め一覧表に併記しておく。

### 成 長 量 計 算

面積2.63ha

| 成 長 量 計 算        |      |     |     |       |     |     |       |      |
|------------------|------|-----|-----|-------|-----|-----|-------|------|
| 期首蓄積<br>+<br>成長量 |      | 進級木 |     | 成 長 量 |     |     |       |      |
|                  |      |     |     | 林 班   |     | h a | 年 h a | %    |
| 本数               | S V  | 本数  | S V | 6 年間  | 年平均 | 当たり | 当たり   |      |
| -                | -    | 1   | 5.6 |       |     |     |       |      |
| 1                | 5.6  |     |     |       |     |     |       |      |
| -                | -    |     |     |       |     |     |       |      |
| 5                | 19.4 |     |     |       |     |     |       |      |
| 8                | 27.0 |     |     |       |     |     |       |      |
| 5                | 14.4 |     |     |       |     |     |       |      |
| 19               | 66.4 | 3   | 8.6 | 5.1   | 0.9 | 1.9 | 0.3   | 1.47 |
| 3                | 8.6  |     |     |       |     |     |       |      |
| 22               | 53.5 |     |     |       |     |     |       |      |

(山畑一善訳「照査法」都市文化社刊の表21から抜粋)

## 第5章 恒続林思想と照査法

この表を用いて成長量計算を行うが、ここで、立木の成長に関して一つの仮定を設ける。すなわち、立木を直径の大きさの順に並べた場合、期首と期末で、その順位は変化しないという仮定である。この仮定が十分に妥当なものであることは測樹学的に確かめられている。この仮定を用いて、直径の大きな立木から順に直径階に割り振っていく。このようにして、直径階別立木本数分布の推移を計算し、その結果から直径級毎に成長量と成長率を求めるのである。なお、この計算によって、副木から主木に進級してきた立木の数を知ることでもでき、その値は、森林の保続を判定する上で重要な指標となる。

成長量計算の具体例を前ページの表の第IV直径級について見てみよう。期首に70cm階にいた立木は、成長の結果、期末には74cm階に進階し、第V直径級に進級している。第IV直径級の立木本数は、期首に19本、期末に18本あり、期間内に1本が進級し、3本が伐採されているので、第III直径級からは3本進級してきたことになる。すなわち、 $18 + 1 + 3 - 19 = 3$  である。いま、期首蓄積を  $V_B$ 、期末蓄積を  $V_E$ 、その期間に伐採された材積を  $N$  とすれば、その期間の実際の成長量は

$$Z = V_E + N - V_B$$

で与えられる。第IV直径級の19本の立木材積は、 $V_B = 61.3SV$ 、 $V_E + N = 66.4SV$  なので、6年間の成長量は林班当たり5.1SVとなる。よって、林班当たりの年成長量は0.85SV/年となる。表では四捨五入により0.9SV/年と表されている。成長率は、林班当たりの年成長量0.9SVを期首蓄積61.3SVで割ると1.47%となる。

### 9-6. 照査法の伐採計画

上記のような計算の結果、各直径級について、蓄積、成長量、成長率などが示される。森林官は、各直径級の値を比較し、森林の生産能力を高めることを目的として、保育的な伐採計画を立案する。すなわち、森林の生産能力が恒常的に高度に発揮される状態になるように、現在の森林を誘導していく。

伐採木の選定は、現場職員の経験と勘に頼るが、定期的に繰り返される森林調査により伐採の影響を照査できるので、大きな誤りを犯すことは少ない。

なお、照査法では、主伐と間伐の区別はない。

### 9-7. 択伐林における理想的な蓄積組成

照査法では、伐採木の選定を現場職員に任せているが、やはり、何らかの基準または指標がないと、実際にはやりにくい。

ビオレイは、ヌーシャテル州のモミ・トウヒを主体とする択伐林について、理想的な径級別蓄積比を提示している。小径木を17.5cm～32.5cm、中径木を32.5cm～52.5cm、大径木を52.5cm以上とした場合、施業目標として提示された蓄積比は、2：3：5である。この数値は、ビオレイの長年の観察と照査に基づいて、帰納的に得られたものであり、普遍的なものではない。

### 9-8. 照査法の今日的意義

学生の頃、「照査法」の本を初めて読んだとき、樹高の計測を省略していたり、シルブという仮の材積単位を使っていることを知り、随分と粗っぽい方法であると思った。しかし、その後、幾つかの森林計画の作成に携わっていくうちに、ビオレイの実践家としての偉大さを認めるようになり、いつしか傾倒していった。

森林の現況を把握することは、労力の点で、また、経費の点で、とても大変なことである。もし仮に、正確な森林調査ができたとしても、それはその時点の森林の状態を表しているにすぎず、森林は、その後も成長などにより年々変化してしまう。よって、大胆な割り切りが必要であり、森林管理体系は実行可能なものでなくてはならない。その点、ビオレイの方法は実に良く考えられている。

照査法は集約な施業であるから一般には実行できないとされている。確かに地形が急峻な場所や、交通が不便な場所では無理であろう。しかし、照査法は、今日でもなお、スイスで実行されている。このことは、照査法が実践的にも優れた方法であることを示すものである。

現在、多くの国の大部分の林業地では、相変わらず皆伐高林作業が続けられており、その弊害も表れてきている。そうした状況の中で、天然林施業が改めて見直されているが、新しい森林管理体系は、照査法に基づき、照査法を現代技術と組み合わせて再構築したものになるであろう。定期的にモニタリングを繰り返し、現状を把握することは、すべての管理において基本であるからである。

## 第6章 ORによる森林計画

---

1945年に第二次世界大戦が終了したが、戦後には、様々な科学技術が花を開き、急速に発展していった。なかでも世界を大きく変えたものは、確率的なものの考え方とコンピュータの発達であろう。この新しい波は、林学の分野にも押し寄せてきた。確率論は、当初は、森林標本調査法をはじめとして、主に、森林計測学の分野に影響をもたらした。コンピュータは、以前はとても計算できなかった膨大な量の計算を短時間で計算することを可能にした。森林計画の分野では、コンピュータを利用して、オペレーションズ・リサーチという数理計画の技法を、森林計画の作成に応用する研究が行われた。

オペレーションズ・リサーチとは、数学的・科学的方法によって、最適な実行案を選択したり、実行計画を作成する技法の総称であって、システムの運用・経営・軍事などでの意思決定に利用されている。元来の意味は「作戦研究」である。通常、operations research の頭文字をとって、OR（オーアール）と呼ばれる。

現代数理科学事典などをみれば分かるように、ORの中には各種の技法があるが、本書では、森林計画への基本的な応用例として、線形計画法、目標計画法、0-1整数計画法を概説する。

### 1. ORの歴史

ORは軍事研究の産物である。第二次世界大戦の開戦の頃、イギリスはレーダーを開発していたが、レーダーを用いた防空体制を改善することを目的として、科学者の研究チームが編成されたのが始まりである。物理学者のブラケットらは、様々な作戦研究に科学的な手法を利用して大きな成果をあげた。一方、アメリカでも同様に、物理学者のモースを中心としたORチームが編成され大きな成果をおさめた。戦後、ORチームに参加していた研究者達は、それぞれの研究室に復帰し、ORを学問として発展させていったのである。

## 2. 線形計画法

### 2-1. 線形計画法とは

線形計画法は、ORの代表的な手法の一つである。linear programmingの頭文字をとって、LPとも呼ばれている。

線形計画法とは、連立1次不等式（または等式）の制約条件のもとで、1次式の目的関数の値を最大または最小にする解を見つけ出す方法のことである。このような定義からは、非常に難解な印象を受けるが、実は、その基本的な考え方や初歩的な問題は、高校の数学にも出てくるものである。あとで簡単な応用例を示すが、変数が2つの場合は、図を使うことによって解をみつけることができる。この図のイメージを頭の中に描きながら、変数が増えていった場合の解法を考えればよい。最適解を見つける計算は非常に面倒であって、これを手計算でやるとなると途方もなく大変な作業になるが、実際にはコンピュータを利用するので、計算方法の詳細を知らなくても線形計画法を使うことが出来る。線形計画法を森林計画に応用するユーザーの立場からすれば、現実の問題を線形計画法の問題に正しく定式化する能力の方が重要である。また、求められた最適解の現実問題への実行可能性や限界について知っておくことも大切である。

### 2-2. 線形計画法の歴史

数学の世界では、特定の条件のもとでの、ある関数の最大値や最小値を求める問題については古くから研究されていた。線形計画法の形に定式化して問題を解いたのは、1936年にソビエトの数学者カントロビッチによって発表された生産計画に関する論文が最初であると言われている。その後、1941年にヒッチコックが輸送問題を、1945年にはスティグラーが栄養問題を解いている。しかし、線形計画法を一般化して体系的に研究したのは、アメリカのダンチッヒを中心とする米国空軍所属の研究者グループであった。1947年に、ダンチッヒは、線形計画法の一般的な解法であるシンプレックス法（単体法）を開発した。この解法がきっかけとなって、線形計画法は広く応用されるようになった。

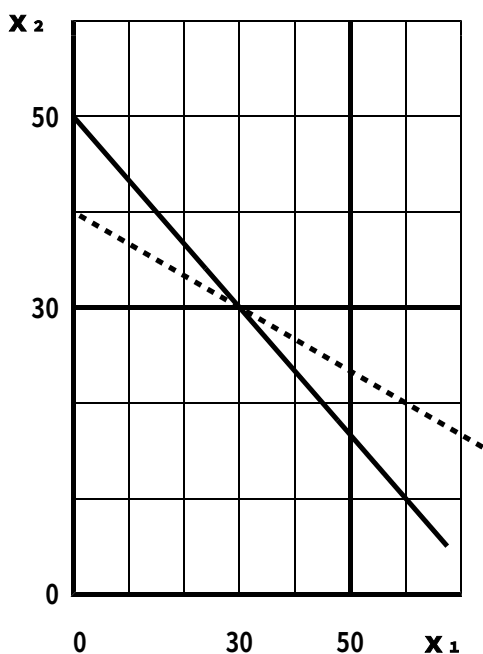


## 第6章 ORによる森林計画

### 2-3. 生産問題の応用

生産問題とは、限られた原材料や労働力などの制約条件下で、複数の種類の製品を生産しているとき、売上高を最大にするような生産計画を立てるものである。

これを林業の問題に応用してみると、例えば、次のような問題に定式化できる。いま、ある森林家が、人工林を50ha、天然林を30ha持っていたとしよう。手入れされた人工林からは毎年平均してha当たり30万円の売り上げがあり、手入れされた天然林からは毎年平均してha当たり90万円の売り上げがあるとする。しかし、一方では、1haの人工林を手入れするのに平均して4日かかり、1haの天然林を手入れするのに平均して6日かかるものとする。その森林家は年間300日しか働けないとした場合、毎年の売り上げを最大にするには、人工林と天然林を、それぞれ何ha手入れすればよいか、という問題である。



図解法による最大問題の解

毎年手入れする人工林の面積を  $x_1$  ha、毎年手入れする天然林の面積を  $x_2$  ha とすると、制約条件は以下のような不等式で表される。最後の2つの式は、負の解を認めない非負条件である。

$$x_1 \leq 50$$

$$x_2 \leq 30$$

$$4x_1 + 6x_2 \leq 300$$

$$x_1 \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

売上高を  $Z$  で表すと、目的関数は

$$\max Z = 30x_1 + 90x_2$$

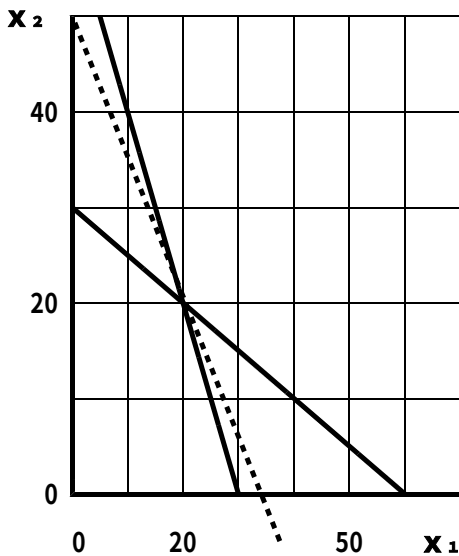
となる。

これを左の図に示した図解法で解くとこの最大問題の最適解は、 $x_1 = 30$  ha、 $x_2 = 30$  ha となる。なお、最適解は、制約条件の境界に、特に、交点に表れる。

### 2-4. 栄養問題の応用

栄養問題とは、複数の種類の食材から料理を作るときに、食材に含まれている蛋白質、脂肪、糖分などの栄養素を一定量以上摂取するという制約条件下で、材料費を最小にするような食材の組み合わせを決めるものである。

これを林業の問題に応用してみると、例えば、次のような問題に定式化できる。いま、ある森林家が、針葉樹を600ha、広葉樹を900ha持っていたとしよう。1haの針葉樹林を択伐すると水源かん養機能が年間平均で3トン低下し、広葉樹林を択伐すると2トン低下するとする。一方、毎年6000万円以上の収入をあげる必要があり、針葉樹林を1ha択伐すると平均して100万円、広葉樹林を1ha択伐すると200万円の収入があるとする。また、雇用の関係で、年間600日分以上の仕事を確保する必要があり、1haの針葉樹林の択伐は20日、1haの広葉樹林の択伐は10日分の仕事になるという。年間に失われる水源かん養機能を最小にするには、針葉樹林と広葉樹林を、それぞれ何ha択伐すればよいか、という問題である。



図解法による最小問題の解

毎年の、針葉樹林の択伐面積を  $x_1$  ha、  
広葉樹林の択伐面積を  $x_2$  ha とすると、  
制約条件は以下の不等式で表される。

$$\begin{aligned} x_1 &\leq 600 \\ x_2 &\leq 900 \\ 100x_1 + 200x_2 &\geq 6000 \\ 20x_1 + 10x_2 &\geq 600 \\ x_1 &\geq 0 \\ x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

水源かん養機能の低下を  $Z$  で表すと、  
目的関数は

$$\min Z = 3x_1 + 2x_2$$

となる。

この最小問題の最適解は、 $x_1 = 20$  ha  
 $x_2 = 20$  ha となる。

## 第6章 ORによる森林計画

### 2-5. 線形計画法による皆伐高林の収穫規整

生産問題と栄養問題の応用例は、説明のために無理矢理作った問題であるが、ここでは、現実の森林計画への応用例として、線形計画法を皆伐高林の収穫規整に適用した例を取り上げる。この方法は、鈴木太七によって考案され、1963年の科学技術庁の報告書に発表されたものである。

森林計画の作成にあたっては、まず、保続を考慮して各分期の伐採量を定め、つぎに、場所的な配置を考慮して具体的な伐採箇所を決める。ここでは、各分期の伐採量の指定に対して、線形計画法を応用する。必要な情報は、収穫表、齢級別面積表などである。

ある森林家の森林が次のような内容であったとする。

| 齢 級                 | 1     | 2     | 3     | 4   | 5 以上 |
|---------------------|-------|-------|-------|-----|------|
| 面 積 (ha)            | 3,700 | 2,800 | 1,500 | -   | -    |
| 蓄 積 (千 $m^3$ )      | 370   | 700   | 540   | -   | -    |
| 収穫表の蓄積 ( $m^3/ha$ ) | 100   | 250   | 360   | 440 | 520  |

いま、第  $i$  分期に第  $j$  齢級の森林を  $x_{i,j}$  ha伐採し、3分期後に4齢級からなる法正齢級分配を築くものとしよう。分期の長さは齢級幅に合わせるので、3分期

保 続

| 現 況 |      | 1 分 期 後                       | 2 分 期 後                                 |
|-----|------|-------------------------------|-----------------------------------------|
| 齢級  | 森林面積 | 森 林 面 積                       | 森 林 面 積                                 |
| 3   | 1500 | $1500 - x_{1,3}$              | $1500 - x_{1,3} - x_{2,4}$              |
| 2   | 2800 | $2800 - x_{1,2}$              | $2800 - x_{1,2} - x_{2,3}$              |
| 1   | 3700 | $3700 - x_{1,1}$              | $3700 - x_{1,1} - x_{2,2}$              |
|     |      | $x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3}$ | $x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} - x_{2,1}$ |
|     |      |                               | $x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} + x_{2,4}$ |

## 2. 線形計画法

後の齡級別面積は、下の表に示したようになる。ただし、伐採された森林は直ちに植林されるものとする。この表を保続面積表という。

よって、制約条件は、次のように定式化される。

$$\begin{aligned}
 x_{1,3} + x_{2,4} + x_{3,5} &= 1500 \\
 x_{1,2} + x_{2,3} + x_{3,4} &= 2800 \\
 x_{1,1} + x_{2,2} + x_{3,3} &= 1700 \\
 x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} - x_{2,1} - x_{3,2} &= 2000 \\
 x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} + x_{2,4} - x_{3,1} &= 2000 \\
 x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3} + x_{3,4} + x_{3,5} &= 2000 \\
 x_{i,j} &\geq 0
 \end{aligned}$$

さて、目的関数であるが、収穫する材積量を最大にするのであれば

$$\begin{aligned}
 \max Z = & 100x_{1,1} + 250x_{1,2} + 360x_{1,3} + 100x_{2,1} + 250x_{2,2} + 360x_{2,3} \\
 & + 440x_{2,4} + 100x_{3,1} + 250x_{3,2} + 360x_{3,3} + 440x_{3,4} + 520x_{3,5}
 \end{aligned}$$

で与えられる。また、伐採売り上げの最大を目指すのであれば、齡級別の立方当たりの単価を求めておき、それらを収穫材積と掛け合わせることで目的関数を作成すればよい。

面 積 表

| 3 分 期 後                                           | 目 標  |    |
|---------------------------------------------------|------|----|
| 森 林 面 積                                           | 森林面積 | 齡級 |
| $1500 - x_{1,3} - x_{2,4} - x_{3,5}$              | 0    | 6  |
| $2800 - x_{1,2} - x_{2,3} - x_{3,4}$              | 0    | 5  |
| $3700 - x_{1,1} - x_{2,2} - x_{3,3}$              | 2000 | 4  |
| $x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} - x_{2,1} - x_{3,2}$ | 2000 | 3  |
| $x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} + x_{2,4} - x_{3,1}$ | 2000 | 2  |
| $x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3} + x_{3,4} + x_{3,5}$ | 2000 | 1  |

## 2-6. 線形計画法による面積平分法と材積平分法

前ページでは線形計画法を皆伐高林の収穫規整に適用する場合の基本について説明したが、現実の森林計画に適用する場合は、さらに幾つかの制約条件が付け加わる。特に、労働力に関する制約条件が付け加わることが多い。森林の伐採量を増やすことは比較的簡単であるので、仮に、最適解が大面積を皆伐するような結果になっても対応できなくはないが、植林や育林の仕事は、ほとんどが人力によってまかなわれるものであり、特に下刈りは何年も続くものであるから、一定量以上の仕事を行うことは無理である。したがって、雇用の面から言えば、毎年の仕事量がほぼ均等になるように制約条件をつけることが望ましい。つまり、保続経営が理想である。

保続経営といえば、面積平分法と材積平分法が基本であるが、両平分法とも線形計画の制約条件に組み込むことができる。前ページの例を使って具体的に示すと以下ようになる。

まず、面積平分法の場合は、各分期の伐採面積を均等にするということなので、

$$\begin{aligned} x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} &= x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} + x_{2,4} \\ &= x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3} + x_{3,4} + x_{3,5} \end{aligned}$$

という制約条件になる。線形計画法の書き方に従うと、

$$x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} - x_{2,1} - x_{2,2} - x_{2,3} - x_{2,4} = 0$$

といった表現になる。

つぎに、材積平分法の場合は、各分期の収穫材積を均等にするので、

$$\begin{aligned} 100x_{1,1} + 250x_{1,2} + 360x_{1,3} &= 100x_{2,1} + 250x_{2,2} + 360x_{2,3} + 440x_{2,4} \\ &= 100x_{3,1} + 250x_{3,2} + 360x_{3,3} + 440x_{3,4} + 520x_{3,5} \end{aligned}$$

という制約条件になる。

このように、平分法による収穫規整法は、実は、線形計画法に帰着する問題であったのである。ハルティヒが提唱した材積平分法は、計算が面倒なことから、あまり普及せず、実際には、計算が簡単な折衷平分法が使われていたが、現代では、数百ha程度の森林であれば、パソコン版の線形計画法のプログラムを使って収穫規整法の問題を簡単に解くことができる。

### 2-7. 感度分析

線形計画法は、森林計画の手法に革命的な変化をもたらし、様々な問題に応用されるようになった。しかし、この方法にも幾つかの弱点があることがわかってきた。最も代表的な弱点は、最適解の安定性に関する問題である。

線形計画法は、制約条件に無理な設定がなければ、最適解を与えてくれる。しかし、現実の問題では、経営環境の変化により、特に、市況や金利の変化により、制約条件の中身や目的関数の係数が絶えず変化するので、それに応じて、最適解も変化してしまうことが多い。この場合、最適解の変化の度合いが小さく、安定していれば問題はないが、そうでない場合は、当初の計画を全面的に変更しなければならないというときもある。特に、林業の場合は、育林に非常に長い年月がかかるので、その影響は大きい。したがって、線形計画法の問題を解いた場合は、必ず、係数の変化に伴う最適解の安定性について分析しておく必要がある。この分析を感度分析 (sensitivity analysis) と呼んでいる。

### 2-8. 線形計画法の応用上の問題点

線形計画法を適用する場合に、実行者が悩む点としては、適用の範囲をどこまでにするかという問題がある。

たとえば、皆伐高林の収穫規整の問題では、3 齢級後までの例を示したが、実際問題、50年間の計画を立てた場合と、100年間の計画を立てた場合とでは、解は異なってくる。一応の目安は、一輪伐期後まで考えるというものであろう。

また、複数の事業区からなる森林経営の場合は、個々の事業区について立てた計画と、全体について立てた計画とでは、最適解が異なってくる。各部門の最適と全体の最適が異なるのは当然のことであるが、この問題を全体の最適解を採用することで解決しようとする、線形計画の規模が、次から次へと大きくなっていき、最終的には、プログラム上の制限を超えて対応できなくなってしまう。

もう一つ、将来の目標状態を、どうやって決めるかという問題もある。これは線形計画法を適用する以前の問題であるが、目標状態の違いによって最適解が大きく異なるので悩むのである。

### 3. 目標計画法

線形計画法は、目的関数を最大、あるいは、最小にするような最適解を見つけた手法であった。しかし、現実の問題では、経営目的が一つとは限らない。たとえば、森林経営者には、収益の確保、収穫量の保続、雇用の安定、公益的な機能による地域社会への貢献など、いろいろな目的がある。線形計画法では、それらの目的のうちの一つを目的関数とし、それ以外を制約条件として取り扱ってきた。しかし、どれを目的関数にするかによって、最適解も微妙に変化してしまう。また、制約条件についても、実際にはそれほど厳密に指定する必要がないことも多いが、線形計画法では上限あるいは下限を厳密に指定することになり、その限界値に、最適解が表れてくることが多い。そこで、多目的な問題を取り扱う手法として考え出されたのが目標計画法 (goal programming) である。目標計画法は、線形計画法に、ちょっとした工夫を加えることによって編み出されたものである。

#### 3-1. 目標計画法の考え方

目標計画法では、すべての経営目的を、制約条件の中に取り込む。このことを前節2-4の水源かん養機能の低下の問題を例にして説明しよう。

森林経営の目的は、6000万円以上の年収、年間600日以上雇用、水源かん養機能の低下の最小化であった。しかし、年収や雇用の条件は下限であり、実際には、7000万円と700日位を適当と考えているとしよう。また、水源かん養機能の低下についても120トン位を適当と考えているとしよう。

目標計画法では、上記の7000万円、700日、120トンを目標にして、制約条件を次のように定式化する。

$$\begin{aligned}
 100x_1 + 200x_2 + L^- - L^+ &= 7000 \\
 20x_1 + 10x_2 + R^- - R^+ &= 700 \\
 3x_1 + 2x_2 + P^- - P^+ &= 120 \\
 0 \leq x_1 &\leq 600 \\
 0 \leq x_2 &\leq 900
 \end{aligned}$$

ここで、変数  $L^-$ 、 $L^+$ 、 $R^-$ 、 $R^+$ 、 $P^-$ 、 $P^+$  は、目標変数と呼ばれる非負の変数であり、 $L^-$ 、 $R^-$ 、 $P^-$  は、目標値に達しない場合の不足量を、 $L^+$ 、 $R^+$ 、 $P^+$  は、目標値を超えた場合の超過量を表している。

### 3-2. 目標計画法の目的関数

経営計画の目的は、それぞれの目標値に出来る限り近づけることにある。したがって、各目標からの偏差、すなわち、目標変数  $L^-$ 、 $L^+$ 、 $R^-$ 、 $R^+$ 、 $P^-$ 、 $P^+$  を、できるだけ小さくすることが目的となる。目標変数がすべて同じ単位で表されている場合は、目標変数は非負であったので、それらの和を目的関数にし、それが最小になるような解を見つければよい。たとえば、上述の例では、雇用も水源かん養機能もすべて貨幣単位に直してしまう、というのも一つの手である。

しかしながら、実際には、それぞれの目標変数の単位は異なっているのが普通であるので、簡単に和を求めることはできない。そこで、単位変換のための重みをつけて、つぎのように表す。

$$\min Z = w_L^- L^- + w_L^+ L^+ + w_R^- R^- + w_R^+ R^+ + w_P^- P^- + w_P^+ P^+$$

ただし、 $w_L^-$ 、 $w_L^+$ 、 $w_R^-$ 、 $w_R^+$ 、 $w_P^-$ 、 $w_P^+$  は重みである。

現実に適用する場合は、不足量か超過量のどちらか一方だけを考察の対象にすればよいこともある。たとえば、収入の超過量  $L^+$  や水源かん養機能低下の未達成量  $P^-$  を小さくする必要はないので、目的関数は以下ようになる。

$$\min Z = w_L^- L^- + w_R^- R^- + w_R^+ R^+ + w_P^+ P^+$$

### 3-3. 目標計画法を適用する場合の問題点

目標計画法の一番の問題点は、やはり、目標の決め方と、重みの決め方にある。これは目標計画法を適用する以前の問題であるが、そのような下準備が必要なことと、その下準備が最適解に大きく影響することから、実務の立場からすれば、目標計画法の問題点と言えるであろう。地域の森林計画を作成する場合のように、利害が対立することが予想される場合、たとえば、開発か保全かといった対立がある場合には、目標と重みを客観的に決めることが何よりも大切なことになる。



## 4. 0－1整数計画法

線形計画法や目標計画法では最適解は実数であった。しかし、現実の問題によっては、解は整数でなければならない場合もある。たとえば、人数を小数で表した最適解は実行しようがなく、それを四捨五入した値が必ずしも最適ではないからである。解を整数に限った数理計画法を整数計画法といい、特に、変数が0または1の2つの値しかとらない場合を、0－1整数計画法という。ここでは、皆伐高林の収穫規整に、0－1整数計画法を応用した例を紹介する。

### 4－1. 0－1整数計画法による皆伐高林の収穫規整

0－1整数計画法を収穫規整に応用したのは、ルーマニアのバラス（Balas）が最初であり、1963年のことである。日本では、1974年に、南雲秀次郎が林道の開設問題と絡めた研究を発表している。

0－1整数計画法による収穫規整問題は、以下のように定式化する。

いま、 $m$ 個の林分からなる森林があり、各林分は、 $n$ 分期後までに必ず1回伐採されるという内容の計画を立てるものとする。変数 $x_{i,j}$ を、 $i$ 林分の $j$ 分期における伐採に対応させることにし、伐採されたら1、伐採されなかったら0という値をとるものとする。この定義により、 $m$ 個の林分について、以下のような制約条件をつくることができる。

$$x_{1,1} + x_{1,2} + \cdots + x_{1,n} = 1, \quad \text{ただし } x_{i,j} \text{ は } 0 \text{ または } 1$$

0－1整数計画法によって求めた、各林分の最適な伐採時期

| 林分<br>番号 | 分 期 |     |     |     |     |     |     |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|          | 1   | 2   | 3   | 4   | ... | ... | n   |
| 1        | 0   | 0   | 0   | 1   | ... | ... | 0   |
| 2        | 1   | 0   | 0   | 0   | ... | ... | 0   |
| ...      | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| ...      | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| m        | 0   | 0   | 1   | 0   | ... | ... | 0   |

なお、その他の制約条件は適宜つけるものとする。たとえば、 $k$  分期の収穫量合計を一定量 ( $Y_k$ ) 以上にするといった条件は、 $i$  林分の  $k$  分期における収穫量を  $c_{i,k}$  と表すことにすれば、次のように表される。

$$\sum c_{i,k} x_{i,k} \geq Y_k \quad \text{ただし、} i \text{ は } 1 \text{ から } m \text{ まで}$$

また、目的関数は、その目的によって異なるが、たとえば、収穫量の最大化を図るのであれば、次のように表される。

$$\max Z = \sum c_{i,j} x_{i,j} \quad \text{ただし、} i \text{ は } 1 \text{ から } m \text{ まで、} j \text{ は } 1 \text{ から } n \text{ まで}$$

#### 4-2. 枚挙法による解法

0-1 整数計画法の実用的な解法は見いだされていない。そこで、一つの方法として、枚挙法による解法がある。この方法は、大型計算機を使ってすべての場合を計算させて比較するというものであり、悉皆列挙法ともいう。しかし、この方法では、各林分に対して  $n$  通りの伐採時期があり、林分数が  $m$  個なので、結局  $n$  の  $m$  乗通りの計算が必要になってしまい、その数が膨大なため、実際には、解けない。鈴木太七・田中和博 (1981) は、伐採時期を適時とその 1 分期後の 2 通りに絞って計算させたが、石橋整司・田中和博 (1984) によると、スーパーコンピュータをもってしても、1 時間の計算で解ける問題のサイズは、林分数にして 26 個であった。

#### 4-3. 収穫規整問題固有の性質を利用した FOA 法

枚挙法では、すべての場合を計算しているが、森林は時間の経過とともに成長していくので、このような収穫規整問題固有の性質を利用することによって、無駄な計算を省くことができる。木平勇吉は、1981年に林業向けのアルゴリズムとして、FOA (Forestry Oriented Algorithm) を開発した。石橋・田中 (1984) は、FOA についても、スーパーコンピュータで試算してみたが、15分の計算時間で解ける問題のサイズは、林分数にして 37 個程度であった。

以上、見てきたように、0-1 整数計画法を使えば、理論的には、林分を単位とした森林計画を取り扱えるのであるが、実際には、応用はごく限られている。

---

## 第7章 減反率と広義の法正林

---

「産業連関表」という言葉があるように、個々の産業は他の産業と相互に複雑に密接に関連している。林業も例外ではない。地域の森林資源の内容と動向は、森林経営者のみならず、森林組合、育林労働者、伐出業者、木材市場関係者、木材加工業者、木材流通業者をはじめ、最終的には、一般の消費者にとって、直接の関心事である。また、森林には公益的な機能があるので、森林資源の内容は、地域や流域の住民にとって、自分たちの生活に直接に関わる大切な問題である。そして、市町村、都道府県、国にとっては、地域の振興や発展、あるいは環境保全の施策を進めていく際の基礎となる重要な問題である。本章では、個々の森林経営の立場を離れ、地域の森林資源の動向を予測する手法について学ぶ。

地域の森林資源は、個々の森林経営体の森林の集合体として捉えることができる。個々の森林経営者は、経営目標に応じた森林計画を作成し、それに従って実行しようとしているので、個々の森林経営の森林資源動向を予測することは比較的簡単である。しかし、個々の森林の施業内容は様々であるので、それらの集合体としての地域全体の森林資源の動向を予測することは、非常に難しい。机上の計算では、個々の林家の森林計画を集計していけば予測できるはずであるが、膨大な面積の森林について個々に集計していくことは大変な作業である。また、森林経営も経済行為の一つであるので、市場などの経営環境の変化に対応して、森林計画の内容も絶えず変化しているということを考慮に入れる必要がある。計画経済的な手法では上手く対応できないことは、既に歴史で実証済みのことである。

そこで、地域の森林資源の動向予測には、確率論的な考え方が応用されている。1961年と1963年に、科学技術庁資源局から、木材の生産予測に関する報告書が出されたが、その中で、鈴木太七は「減反率の理論」を構築し、発展させていった。この理論は、確率過程論の中のマルコフ・プロセスを応用したものである。ここでマルコフ・プロセスとは、ある事象が起こる確率は、現在の状態のみに依存し、過去の履歴によらないというものであるが、非常に応用範囲が広い手法である。

# 1. 齡級ベクトル

## 1-1. 森林資源構成表

地域の人工林の資源状態は、通常、樹種別に作成された齡級別森林面積・蓄積表によって表される。この表のことを森林資源構成表という。資源構成表の齡級は、一般に、5年を1単位として表され、15齡級までのものが多い。

森林資源構成表の森林蓄積は、通常、森林面積に収穫表の値を乗ずることによって求められている。よって、基本的に重要な資料は、齡級別森林面積表である。ところで、森林蓄積の合計は、成長や収穫によって絶えず変化するが、森林面積の合計は、土地が転用されない限り、一定であるという特徴を持っている。

## 1-2. 齡級ベクトル

齡級別森林面積表は、齡級別の森林面積を、齡級の順番に並べたものである。よって、この順序に並べられた齡級別の森林面積を、ベクトルとして考えることができる。これを、齡級ベクトルと呼ぶことにする。

たとえば、5齡級からなる以下のような齡級別森林面積表があったとすると、

| 齡 級       | I    | II   | III  | IV   | V    |
|-----------|------|------|------|------|------|
| 森林面積 (ha) | 7000 | 6000 | 5000 | 3000 | 1000 |

齡級ベクトルは、各齡級別森林面積を成分とする5次元ベクトル

( 7000, 6000, 5000, 3000, 1000 )

で表現される。

## 1-3. 林齡空間

いま、 $n$ 齡級からなる森林資源構成表があるとすると、齡級ベクトルは、 $n$ 次元のベクトル空間の中の1点として表される。このベクトル空間を林齡空間という。地域の人工林の資源状態は、林齡空間の中の1点として表され、その時間の経過に伴う変化や、伐採による変化は、林齡空間の中の推移として表現される。

## 2. 齡級遷移確率

### 2-1. 齡級遷移確率

現在  $j$  齡級の森林によって占められている林地が、1 分期後に  $k$  齡級の森林によって占められている林地に変わる確率を  $p_{j,k}$  で表し、これを  $j$  齡級から  $k$  齡級への齡級遷移確率と呼ぶことにする。

森林の成長という特徴を考慮に入れると、現在  $j$  齡級の森林によって占められている林地の 1 分期間の推移については、次の 3 通りしかない。

① 伐採されないで 1 齡級歳をとり、 $j+1$  齡級になる場合 ……  $p_{j,j+1}$

② 伐採された後、裸地のまま放置され、0 齡級になる場合 ……  $p_{j,0}$

③ 伐採された後、翌年直ちに植林され、1 齡級になる場合 ……  $p_{j,1}$

通常、伐採跡地は翌年には植林されるので、①と③の場合だけを考えればよい。

### 2-2. 齡級遷移確率行列

各齡級の齡級遷移確率を、数学の「行列」の形式にまとめたものを、齡級遷移確率行列という（鈴木太七，1959）。この行列は、上記の①と③の場合以外の齡級遷移確率はすべてゼロであるという特徴をもっている。

たとえば、いま、5 齡級からなる齡級別森林面積表があり、各齡級において森林が伐採される確率が、 $p_{1,1}=0.10$ 、 $p_{2,1}=0.20$ 、 $p_{3,1}=0.40$ 、 $p_{4,1}=0.70$ 、 $p_{5,1}=1.00$ であるとする、齡級遷移確率行列は以下のように表される。

齡級遷移確率行列

| 期 首  | 期 末  |      |      |      |        |
|------|------|------|------|------|--------|
|      | 1 齡級 | 2 齡級 | 3 齡級 | 4 齡級 | 5 齡級以上 |
| 1 齡級 | 0.10 | 0.90 | -    | -    | -      |
| 2 齡級 | 0.20 | -    | 0.80 | -    | -      |
| 3 齡級 | 0.40 | -    | -    | 0.60 | -      |
| 4 齡級 | 0.70 | -    | -    | -    | 0.30   |
| 5 齡級 | 1.00 | -    | -    | -    | -      |

### 2-3. 年齢ベクトルの推移予測

期末の年齢ベクトル、すなわち、1 分後後の年齢ベクトルは、期首の年齢ベクトルに年齢遷移確率行列を掛けることによって予測される。

たとえば、期首の年齢ベクトルを (7000, 6000, 5000, 3000, 1000) とし、年齢遷移確率行列を前ページの表の通りであるとする、期末の年齢ベクトルは、下記のような、ベクトルと行列の積によって表される。

$$(7000, 6000, 5000, 3000, 1000) \begin{pmatrix} 0.10 & 0.90 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.20 & 0 & 0.80 & 0 & 0 & 0 \\ 0.40 & 0 & 0 & 0.60 & 0 & 0 \\ 0.70 & 0 & 0 & 0 & 0.30 & 0 \\ 1.00 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ = (7000, 6300, 4800, 3000, 900)$$

ここで、行列の掛け算では、行列を前から掛けた場合と、後ろから掛けた場合とは、解が異なるということに注意しなければならない。本書では、横ベクトルに、後ろから行列を掛けるというスタイルをとっている。

### 2-4. 年齢空間の不動点

期首の年齢ベクトルを  $\mathbf{v}$ 、年齢遷移確率行列を  $\mathbf{P}$  で表すことにすると、期末の年齢ベクトルは  $\mathbf{v} \cdot \mathbf{P}$  と表される。2 分後後の年齢ベクトルは、つぎの年齢遷移確率行列  $\mathbf{Q}$  を掛けることによって、 $\mathbf{v} \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{Q}$  で与えられる。ここで、 $\mathbf{P} = \mathbf{Q}$  の場合は、2 分後後の年齢ベクトルは  $\mathbf{v} \cdot \mathbf{P}^2$  のように表現される。

ところで、期首のベクトルの内容によっては、 $\mathbf{v} \cdot \mathbf{P} = \mathbf{v}$  となることがある。このようなベクトルは数学の用語で「固有ベクトル」と呼ばれている。また、年齢遷移確率行列は確率行列なので、その固有値は 1 であることが知られている。年齢ベクトルが年齢空間の中を推移していき、固有ベクトルに達すると、もはや動かなくなり、不動点となる。不動点は安定状態である。

年齢ベクトル (10000, 9000, 7200, 4320, 1296) は、上記の年齢遷移確率行列の固有ベクトルである。

## 3. 減反率と保存率

### 3-1. 減反率の定義

新植された林分が、ちょうど  $j$  齢級で伐採される確率を、「 $j$  齢級の減反率」と呼び  $q_j$  で表す。減反率の「反」は、田畑や山林の面積の単位であって、1町の10分の1、約10aの大きさである。ここでは、新植された森林が1あるとすると、その森林が、齢級が増加するに伴い次第に伐採されていき、だんだんと面積が減っていくという意味を込めて名前が付けられている。

### 3-2. 現在 $j$ 齢級の森林が第1分期に伐採される確率

新植された林分が  $j$  齢級まで伐採されずに残っている確率は、

$$1 - q_1 - q_2 - \cdots - q_{j-1}$$

で表される。これを「 $j$  齢級の保存率」という。

現在  $j$  齢級の森林が第1分期に伐採される確率  $q_{j,1}$  は、保存率のうちの減反率

$$q_{j,1} = q_j / (1 - q_1 - q_2 - \cdots - q_{j-1})$$

となる。これを、「すでに  $j$  齢級のものの第1分期の減反率」という。

同様に、すでに  $j$  齢級のものの第  $k$  分期の減反率  $q_{j,k}$  は、つぎの通りである。

$$q_{j,k} = q_{j+k-1} / (1 - q_1 - q_2 - \cdots - q_{j-1})$$

### 3-3. 減反率と齢級遷移確率との関係

減反率と齢級遷移確率との間には、つぎのような関係が成り立つ。

$$q_j = p_{1,2} \cdot p_{2,3} \cdot \cdots \cdot p_{j-1,j} \cdot p_{j,1}$$

$$p_{j,1} = q_{j,1} = q_j / (1 - q_1 - q_2 - \cdots - q_{j-1})$$

$$1 - q_1 - q_2 - \cdots - q_{j-1} = p_{1,2} \cdot p_{2,3} \cdot \cdots \cdot p_{j-1,j}$$

### 3-4. 換算面積

$j$  齢級の森林面積を、 $j$  齢級の保存率で割ったものを換算面積という。換算面積は、 $j$  齢級の森林と同世代の森林が、最初に何ha新植されたかを示している。

## 4. 減反率法

減反率を用いて、伐採面積表および保続面積表を計算し、これによって将来の各分期の収穫材積と森林蓄積を齡級別に予測する方法を減反率法という。減反率法は、地域の民有林の森林資源の動向予測に使われている。

伐採面積表は以下のように計算していく。ただし、説明の都合上、森林資源構成表は5齡級までとし、第2分期まで計算するものとする。そして、 $j$  齡級の減反率を  $q_j$ 、保存率を  $r_j$  とし、現在、 $j$  齡級の森林が  $a_j$  haあるとする。

- ①期首の現況森林面積を記入する
- ②換算面積を求める
- ③第1分期の伐採面積を予測する
- ④第1分期の伐採面積の和を求める
- ⑤第2分期の伐採面積を予測する
- ⑥第2分期の伐採面積の和を求める

.....

以下同様にして、必要な分期まで予測する。

なお、保続面積表は、伐採面積表から容易に計算できるものなので省略する。

減反率法によって予測された各分期の伐採面積

| 期 首 |              | 換算面積                                             | 伐 採 面 積 表                    |                                                  |
|-----|--------------|--------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------------|
| 齡 級 | 森林面積         |                                                  | 第1分期                         | 第2分期                                             |
| 計   | $\Sigma a_i$ |                                                  | $y_1$                        | $y_2$                                            |
| ⑤以上 | $a_5$        | $x_5 = a_5 / r_5$                                | ⑤ $q_5 \cdot x_5$            |                                                  |
| ④   | $a_4$        | $x_4 = a_4 / r_4$                                | ④ $q_4 \cdot x_4$            | ⑤ $q_5 \cdot x_4$                                |
| ③   | $a_3$        | $x_3 = a_3 / r_3$                                | ③ $q_3 \cdot x_3$            | ④ $q_4 \cdot x_3$                                |
| ②   | $a_2$        | $x_2 = a_2 / r_2$                                | ② $q_2 \cdot x_2$            | ③ $q_3 \cdot x_2$                                |
| ①   | $a_1$        | $x_1 = a_1 / r_1$                                | ① $q_1 \cdot x_1$            | ② $q_2 \cdot x_1$                                |
|     |              | $y_1 = \Sigma q_i \cdot x_i$                     | $y_1 = \Sigma q_i \cdot x_i$ | ① $q_1 \cdot y_1$                                |
|     |              | $y_2 = q_1 \cdot y_1 + \Sigma q_{i+1} \cdot x_i$ |                              | $y_2 = q_1 \cdot y_1 + \Sigma q_{i+1} \cdot x_i$ |



## 5. 減反率の推定法

### 5-1. $\chi^2$ 分布を用いる減反率推定法

減反率は、森林が植栽されてから伐採されるまでの、一種の待ち時間に関する確率であると考えることができる。鈴木太七（1961, 1963, 1972）は、森林が毎年平均 $m$ cmずつ太っていき、 $M$ cmになったら伐採されるという簡単なモデルを用いて、森林の寿命が時刻 $t$ となる確率

$$F_M(t) = e^{-mt} (mt)^{M-1} / (M-1) !$$

を導いた。ここで、伐採齢の平均 $E(t)$ と分散 $V(t)$ は、

$$E(t) = M/m$$

$$V(t) = M/m^2$$

と表されるので、この関係式を用いると、パラメータ $M$ 、 $m$ を推定することができる。

$j$  齢級の減反率 $q_j$ は、寿命が $j$ と $j+1$ の間になる確率であることから

$$q_j = \int_j^{j+1} F_M(t) dt$$

となり、この積分は

$$M = n/2, \quad mt = \chi^2/2$$

とおくと、自由度 $n$ の $\chi^2$ 分布に変形できる。よって、 $\chi^2$ 分布表を利用して減反率を推定することができる。

ところで、伐採齢の平均 $E(t)$ と分散 $V(t)$ の求め方であるが、各分期の植栽面積がほぼ等しい場合は、地域の齢級別の伐採面積統計を使って推定すればよい。この推定法は、日本の森林計画の実務で公式に採用されている方法である。しかし、現実には、日本では各分期の植栽面積は大きく変化しており、この推定法では誤差が大きい。減反率法による収穫予測結果が現実と乖離する理由は、いま採用されている減反率の推定法が今日の日本の現状には不適當であるからである。決して、減反率の理論そのものの欠陥ではない。しかし、一般にはそのように理解されていないというのは、減反率法にとって悲劇である。

## 5. 減反率の推定法

### 5-2. 減反率と伐採面積の関係

現在、一般に行われている減反率計算では、伐採齢の平均と分散を求めるのに、1分期間の齢級別伐採面積の値をそのまま用いている。しかしながら、このように齢級別伐採面積をそのまま使って減反率計算が行えるのは、あくまでも毎分期の植栽面積がほぼ等しい場合だけである。しかし、現実には、過去数十年間の植栽面積が毎分期ほぼ等しい訳ではないから、この方法を使う訳にはいかない。

このことを、モデルの減反率を使って、具体的に見てみよう。下の表の上段は、毎分期の植栽面積が等しい場合、つまり換算面積が等しい場合の減反率と伐採面積の関係を表したモデルである。下段は、毎分期の植栽面積が等しくない場合のモデルである。こうして見てみると、同じ減反率であっても、換算面積が異なれば伐採面積も変わってくることに気付く。ここで、齢級別伐採面積だけを用いて、減反率を推定したとしたならば、上段と下段の減反率は全く違ったものとして推定されるであろう。

減反率と伐採面積の関係

| 毎 分 期 の 植 栽 面 積 が 等 し い 場 合 |                                      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 齢 級                         | 5                                    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| 換算面積 (ha)                   | 1000                                 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 減 反 率 (%)                   | 5                                    | 10   | 15   | 20   | 20   | 15   | 10   | 5    |
| 伐採面積 (ha)                   | 50                                   | 100  | 150  | 200  | 200  | 150  | 100  | 50   |
| 伐採統計量                       | 伐採齢の平均8.50齡級、分散3.2533齡級 <sup>2</sup> |      |      |      |      |      |      |      |
| 毎 分 期 の 植 栽 面 積 が 異 な る 場 合 |                                      |      |      |      |      |      |      |      |
| 齢 級                         | 5                                    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| 換算面積 (ha)                   | 2000                                 | 1500 | 1000 | 800  | 1200 | 900  | 700  | 800  |
| 減 反 率 (%)                   | 5                                    | 10   | 15   | 20   | 20   | 15   | 10   | 5    |
| 伐採面積 (ha)                   | 100                                  | 150  | 150  | 160  | 240  | 135  | 70   | 40   |
| 伐採統計量                       | 伐採齢の平均8.12齡級、分散3.5286齡級 <sup>2</sup> |      |      |      |      |      |      |      |

## 第7章 減反率と広義の法正林

### 5-3. C方式による減反率計算

毎分期の植栽面積が異なる場合は、減反率を推定する手段として、伐採面積率を用いることが考えられる。すなわち、非伐採面積率（進級面積率）を齡級遷移確率とみなして、減反率を求めようとするものである。もちろん、この方法では、ある齡級での伐採量の大きな変動が、あとの齡級の保存率に影響を与えるという欠点があることは否めない。そして、そのような大きな変動が、現実の資料の中にしばしば見られることも事実である。その場合、実際に大きな変動があったのか、それとも、資料のミスなのかが、はっきりしない。若齡級では、1分期後の森林面積の方が大きいということもよくある。その理由の多くは、樹種の間違ひのようである。前回間違っていたものを今回訂正したということが多い。森林資源構成表等の資料では、通常、過去に遡ってまで訂正することはないので、こうした問題が起こる。下の表では、1齡級に不可解なことが起こっており、この場合は、進級面積率を 100%としている。

C方式による

| A<br>齡級 | B<br>昭和41<br>年度<br>面積<br>(ha) | C<br>昭和46<br>年度<br>面積<br>(ha) | D<br>5年間の<br>伐採面積<br>$B_i - C_{i+1}$<br>(ha) | E<br>伐採率<br>$D_i / B_i$<br>$\times 100$ | F<br>進級率<br>$100 - E_i$ | G<br>標本率<br>$G_{i-1} \times F_{i-1}$ | H<br>標本率<br>$G_i - G_{i+1}$ |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| 1       | 7549.63                       | 7572.89                       | -78.45                                       | -                                       | 100.00                  | 100.00                               | 0.00                        |
| 2       | 6506.19                       | 7628.08                       | 76.91                                        | 1.18                                    | 98.82                   | 100.00                               | 1.18                        |
| 3       | 3437.86                       | 6429.28                       | 242.09                                       | 7.04                                    | 92.96                   | 98.82                                | 6.96                        |
| 4       | 2255.58                       | 3195.77                       | 40.65                                        | 1.80                                    | 98.20                   | 91.86                                | 1.65                        |
| 5       | 2528.69                       | 2214.93                       | 7.40                                         | 0.29                                    | 99.71                   | 90.21                                | 0.26                        |
| 6       | 3625.10                       | 2521.29                       | 259.98                                       | 7.17                                    | 92.83                   | 89.95                                | 6.45                        |
| 7       | 3167.35                       | 3365.12                       | 41.27                                        | 1.30                                    | 98.70                   | 83.50                                | 1.09                        |
| 8       | 4056.90                       | 3126.08                       | 531.26                                       | 13.10                                   | 86.90                   | 82.41                                | 10.80                       |
| 9       | 2272.45                       | 3525.64                       | 192.04                                       | 8.45                                    | 91.55                   | 71.61                                | 6.05                        |
| 10      | 2566.24                       | 2080.41                       | 486.69                                       | 18.97                                   | 81.03                   | 65.56                                | 12.44                       |
| 11      | 1491.11                       | 2079.55                       | 171.36                                       | 11.49                                   | 88.51                   | 53.12                                | 6.10                        |
| 12      | 1138.58                       | 1319.75                       | 190.51                                       | 16.73                                   | 83.27                   | 47.02                                | 7.87                        |
| 13      | 233.58                        | 948.07                        | 17.76                                        | 7.60                                    | 92.40                   | 39.15                                | 2.97                        |
| 14      | 204.80                        | 215.82                        | 29.85                                        | 14.58                                   | 85.42                   | 36.18                                | 5.28                        |
| 15      | 242.41                        | 382.02                        | 35.34                                        | 14.58                                   | 85.42                   | 30.90                                | 4.51                        |
| 16      |                               |                               |                                              |                                         |                         | 26.39                                |                             |

## 5. 減反率の推定法

下の表のように、進級面積率から標本保存率を計算していくと、実は、困ったことが起きる。というのは、15齢級の標本保存率に進級面積率を掛けても、なお、約26%もの森林が保存されていることである。ここでは、これを仮に16齢級の保存率と呼んでおこう。この問題を解決するには、森林資源構成表の最高齢級をもっと引き上げればよいが、あと5齢級引き上げても解決しそうでないので、別の工夫をしなくてはならない。

統計学によれば、こうした問題は、時間打ち切り標本 (censored sample) と呼ばれている。C方式とは、標本減反率を時間打ち切り標本としてとらえて、伐採齢の平均と分散を推定する方法であり、censoredのCをとって名付けたものである(田中和博, 1979)。一般に、 $\chi^2$ 分布は、その自由度が大きくなると、ほとんど正規分布とみなすことができるので、C方式では、減反率計算に用いられる $\chi^2$ 分布がかなり正規分布に近いものと仮定して、統計学の「時間打ち切り標本からの正規分布の母数の推定方法」を応用している。

減 反 率 計 算 の 一 例

| V                                | W             | X                                                      | Y                      | Z                                                          |
|----------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------|
| C方式の<br>保 存 率<br>$i-0.5$<br>齢級の値 | C方式の<br>減 反 率 | 昭和46年度を<br>基礎にした<br>換算面積(ha)<br>$100 \times C_i / V_i$ | 昭和51年度<br>現実面積<br>(ha) | C方式による<br>昭和51年度<br>予想面積(ha)<br>$X_{i-1} \times V_i / 100$ |
| 100.0                            | 0.0           | 7572.89                                                | 5129                   | -                                                          |
| 100.0                            | 0.3           | 7628.08                                                | 7151                   | 7573                                                       |
| 99.7                             | 1.3           | 6448.63                                                | 7454                   | 7605                                                       |
| 98.4                             | 2.3           | 3247.73                                                | 6367                   | 6345                                                       |
| 96.1                             | 4.2           | 2304.82                                                | 3185                   | 3121                                                       |
| 91.9                             | 5.6           | 2743.51                                                | 2152                   | 2118                                                       |
| 86.3                             | 7.1           | 3899.33                                                | 2415                   | 2368                                                       |
| 79.2                             | 8.0           | 3947.07                                                | 3133                   | 3088                                                       |
| 71.2                             | 8.4           | 4951.74                                                | 2886                   | 2810                                                       |
| 62.8                             | 8.6           | 3312.75                                                | 3427                   | 3110                                                       |
| 54.2                             | 7.9           | 3836.81                                                | 1912                   | 1796                                                       |
| 46.3                             | 7.7           | 2850.43                                                | 1855                   | 1776                                                       |
| 38.6                             | 6.9           | 2456.14                                                | 1052                   | 1100                                                       |
| 31.7                             | 5.7           | 680.82                                                 | 988                    | 779                                                        |
| 26.0                             | 5.3           | 1469.31                                                | 521                    | 481                                                        |
| 20.7                             |               |                                                        |                        |                                                            |

## 6. 減反率の変動

### 6-1. 平均伐採齢の増大

減反率による収穫予測が現実となかなか合わないもう一つの理由は、減反率そのものが変化しているからである。高度経済成長とそれに続く円高による低成長により、外材が大量に輸入されるようになり、国産材の価格は低迷し、日本の林業は疲弊している。それに伴い森林施業の放棄や高伐期化が進んでいる。森林資源構成表を使ってC方式で計算してみると、平均伐採齢が一貫して増大傾向にあることがわかる。減反率は、森林の成長の早い遅いといった要因だけでなく、経済的・社会的な要因にも大きく支配されている。

### 6-2. 経営対象林分の減少

木材価格の低下により、林業の採算が合わない地帯が増加している。林道から遠く離れた所にある森林は、伐出経費や育林経費がかさむので、伐採が見送られる傾向にある。伐採可能な森林地帯とそうでない地帯との境界を「伐境」と呼んでいるが、伐境が経済的な要因により変化してきている。天野正博・野田 巖は、1984の論文で、林道の近くにあり減反率が適用できる森林とそうでない森林とを区別して木材の供給予測を行うことを提案している。

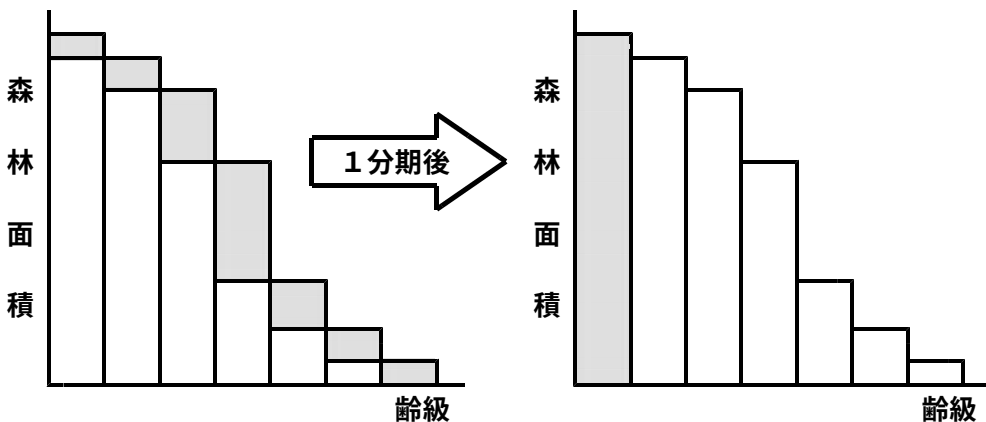
### 6-3. 経済的・社会的要因による変動

しかし、日本の産業構造の変化は、山村地域を過疎に追い込み、林業関係者の生活基盤までも変えてしまった。よって、減反率の推定に、社会的な要因をも加味する必要が生じている。イギリスの林業経済学者ブランドン（Blandon）は、日本の森林所有者の伐採行動の特異性に興味を持ち、経済学的手法を用いて、伐採確率を経済社会的な要因で説明することを試みている（1985, 1991）。彼の最近の計量経済モデルでは、住宅から森林までの距離、個々の森林区画の平均規模などの要因に加えて、森林所有者の年齢、職業、所得などの要因も説明変数に取り入れられている。

## 7. 広義の法正林

以上見てきたように、減反率は時代とともに変化している。地域森林計画の担当者は、私有林所有者の伐採行動を把握し、民有林からの木材供給が地域の振興・発展に寄与するように施策を進めていく必要がある。そのためには、現在の伐採傾向の特徴を知り、将来の森林資源がどのような構成状態になろうとしているのかを把握しておく必要がある。つまり、現在の森林資源の構成状態が、林齢空間の中でどちらの方向に動こうとしているのかを把握しておく必要がある。

鈴木太七の一連の研究によれば、減反率が不変の場合は、齢級ベクトルが、やがて一つの安定状態に収束していくことが、数学的に証明されている。その安定状態とは、前にも述べた不動点である。しかも、その場合、齢級ベクトルが、齢級に対する保存率の分布（これを減反曲線と言っている）と相似の関係になることが知られている。下の図に示したように、齢級ベクトルが減反曲線と同じ割合になっている場合は、齢級別の森林面積は分期が変わっても変化しない。このような状態にある森林を「広義の法正林」という。



広義の法正林：齢級別森林面積が、減反曲線と相似の場合は、現在  $i$  齢級の森林面積は、1分期後に現在の  $i + 1$  齢級の森林面積と等しくなり、また、各齢級の伐採面積の合計は、1 齢級の面積に等しくなるので、齢級別森林面積は変化しない。

広義の法正林は、従来の林学の常識を覆すものであった。林学関係者は、持続可能な森林経営の齢級分配は、フンデスハーゲンらによって構築された法正齢級分配以外にはないと、長い間、信じてきたからである。それが、減反率の違いに対応して、無数の法正状態が存在することが示されたのである。広義の法正林は、森林計画において、目標齢級分配の役割を果たすことになる。

## 8．累積齢級分配の法正状態

ところで、現実の森林の齢級分配は、広義の法正林の齢級分配にもほど遠いことが多い。しかし、森林によっては、長期間にわたって、かなり安定した収入をあげることができるものもある。高齢級の森林が過剰に存在する場合は、高齢級の森林がそれよりも若い森林の代替林として機能することができるからである。森林収獲の保続という観点からすれば、こうした森林も法正状態にあると解釈して差し支えない。

1982年に、南雲秀次郎は、累積齢級分配によって、上記のような拡張された法正状態を判定する方法を提案した。

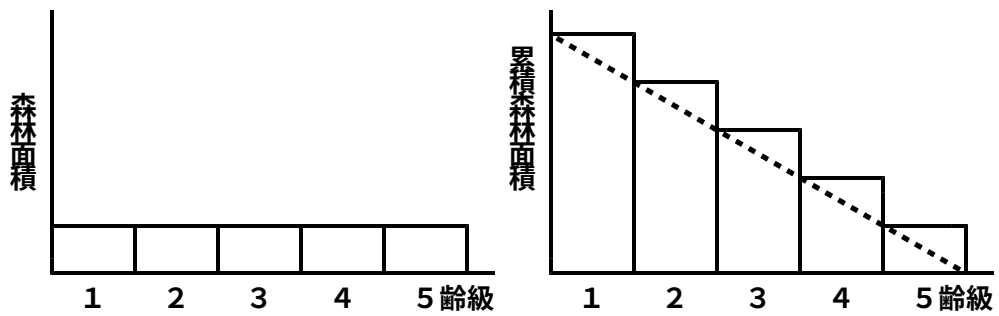
右ページの図において、例1は古典的な法正齢級分配の場合である。伐期に至るまで各齢級の面積が1単位ずつ存在している。ここで、高齢級からの累積分布を各齢級の左端で表示するものとすれば、古典的な法正齢級分配の累積分布は、点線で示したような直線で表される。

例2は、2、4齢級がなく、その部分の森林が3、5齢級に加わっている場合である。この累積分布は、例1で示した直線よりも常に上側にある。このことは、3、5齢級の森林が、2、4齢級の森林の代わりになっていることを示している。

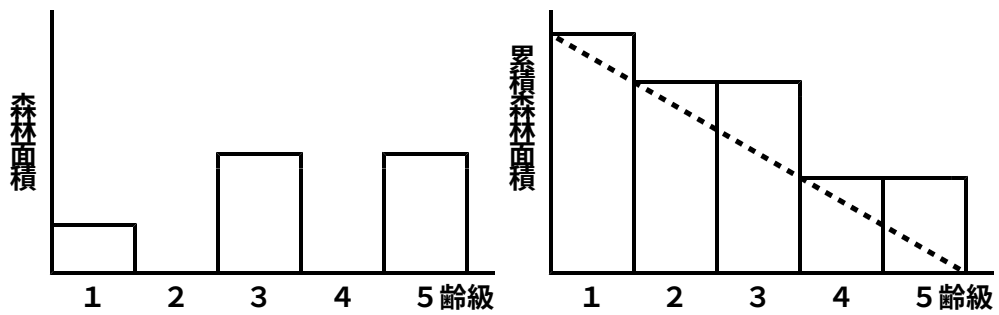
例3では、累積分布は、3齢級以上の森林が、直線よりも下側になっているので、拡張された意味でも法正状態ではない。

累積齢級分配による法正状態の判定は、直感的で分かりやすい。地域森林計画を策定する場合は、まず、森林経営の対象地について累積齢級分配図を作成し、その結果によって、その地域の森林の木材供給源としての成熟度を判定する。

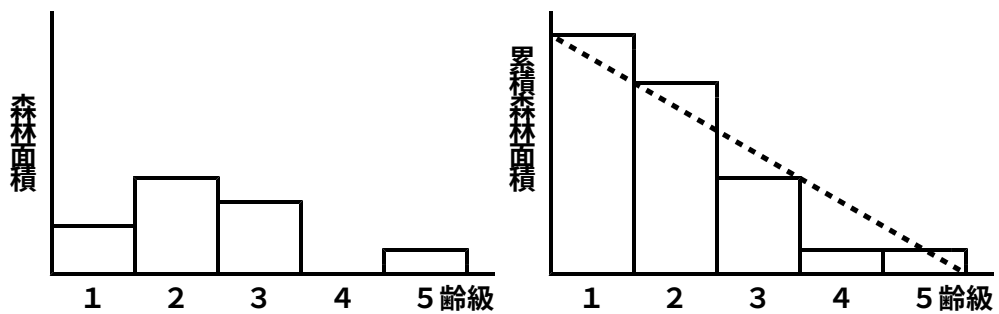
## 8. 累積齡級分配の法正状態



例1. 古典的な法正齡級分配の場合



例2. 高齡級の森林が過剰にある場合



例3. 高齡級の森林が不足する場合



## 第8章 森林の成長モデルと収穫予測

今までに紹介してきた森林計画の手法では、単位面積当たりの材積や収穫量が分かっているものとして、話を進めてきた。しかし、実際には、森林の成長量や木材の収穫量を予測することは非常に難しい。その理由は、一つには、森林が成長するには長期間を要するため、いろいろな成長試験の結果がでるまでに長い年月がかかること、もう一つは、森林の構成内容や林地の状態が多様であるため、統一的な法則性を見出すことが難しいことによる。

本章では、森林の成長モデルと収穫予測の手法について、基本的なものを概説する。なお、最近の成長モデルについては、南雲秀次郎・箕輪光博共著「測樹学」（地球社、1990）の中で箕輪が記した「第4章：林木生長論」を推薦する。

### 1. 収穫表

#### 1-1. 収穫表と収穫予想表

収穫表は、成長条件が近似している地方で、一定の作業法のもとに育成された、ある特定の樹種からなる同齢単純林分の、各成長因子の単位面積当たりの基準的数値を、主林木と副林木とに分けて、地位ごと、齢階ごとに示した表である。ここで、主林木とは間伐のときに残される木のことであり、副林木とは間伐される木のことである。また、地位とは、土地の肥沃度を表す等級の位のことである。

現在、日本で、主として用いられている収穫表は、林野庁と林業試験場（現在の森林総合研究所）が国有林を対象として調製した32種類の収穫表である。その内訳は、スギ11種類、ヒノキ10種類、アカマツ7種類、カラマツ2種類、トドマツ1種類、エゾマツ1種類である。これらの収穫表は、本多静六原著の「森林家必携」（林野弘済会、1975）などに記載されている。

収穫表は、立木密度別に調製されているものはまれである。よって、実際には、各地方の収穫表を、各地域の実情に応じて補正した「収穫予想表」を用いている。

## 1. 収穫表

### 1-2. 収穫表による収穫予測

収穫表を用いて、将来の蓄積量や収穫量を予測するには、つぎの手順による。

①地位を査定する。樹高成長は立木密度の影響をあまり受けないので、地位の査定に使われる。主林木平均樹高を求め、対応する地方の収穫表の同林齢の値と比較して、どの地位の収穫表を使うかを決める。

②地位係数を求める。地位係数は、林分の成長に関わらず安定している。

$$\text{地位係数} = \frac{\text{現実林の主林木平均樹高}}{\text{収穫表の主林木平均樹高}}$$

③立木度を求める。立木度は、林分の成長に伴い、1に近づいていく。

$$\text{立木度} = \frac{\text{現実林の主林木胸高断面面積合計}}{\text{収穫表の主林木胸高断面面積合計}}$$

④現実林の蓄積を求める。

$$\text{現実林の蓄積} = \text{収穫表の主副林木合計幹材積} \times \text{立木度} \times \text{地位係数}$$

⑤将来の蓄積を予測する。伐採する場合は収穫量となる。

$$\text{将来の蓄積} = \text{現実林の蓄積} \times \frac{\text{収穫表の将来の林齢の主副林木合計幹材積}}{\text{収穫表の現在の林齢の主副林木合計幹材積}}$$

三重大学附属平倉演習林スギ林林分収穫表（抜粋）

地位中

| 林 齢 | 主 林 木    |      |           |                |                | 副 林 木   |                | 主副林木合計  |                |
|-----|----------|------|-----------|----------------|----------------|---------|----------------|---------|----------------|
|     | 平 均      |      | h a 当 た り |                |                | h a 当たり |                | h a 当たり |                |
|     | 胸高<br>直径 | 樹高   | 本数        | 胸高<br>断面積      | 幹材積            | 本数      | 幹材積            | 本数      | 幹材積            |
| 年   | cm       | m    | 本         | m <sup>2</sup> | m <sup>3</sup> | 本       | m <sup>3</sup> | 本       | m <sup>3</sup> |
| 5   | 2.2      | 0.8  | 4524      | 2.1            | 0.8            | 232     | -              | 4756    | 0.8            |
| 10  | 5.1      | 3.8  | 4304      | 9.9            | 19.1           | 220     | 0.2            | 4524    | 19.3           |
| 15  | 7.8      | 6.3  | 3623      | 20.2           | 65.0           | 681     | 4.5            | 4304    | 69.5           |
| 20  | 10.1     | 8.4  | 2977      | 28.6           | 122.7          | 646     | 10.3           | 3623    | 133.0          |
| 25  | 12.2     | 10.1 | 2468      | 34.8           | 179.9          | 509     | 14.1           | 2977    | 194.0          |
| 30  | 14.1     | 11.6 | 2086      | 39.1           | 231.3          | 382     | 15.6           | 2468    | 246.9          |
| 35  | 15.8     | 12.8 | 1805      | 42.3           | 276.2          | 281     | 15.2           | 2086    | 291.4          |
| 40  | 17.3     | 13.8 | 1596      | 44.7           | 315.0          | 209     | 13.9           | 1805    | 328.9          |
| 45  | 18.6     | 14.6 | 1438      | 46.7           | 348.7          | 158     | 12.3           | 1596    | 361.0          |
| 50  | 19.8     | 15.3 | 1318      | 48.3           | 378.4          | 120     | 10.4           | 1438    | 388.8          |

## 2. 密度管理図

### 2-1. 密度管理図の概要

収穫表は、その地方の標準的な施業体系のもとでの森林の成長の様子を表の形にまとめたものであった。よって、育林目標や育林体系が収穫表のそれと異なる場合は、適合度はあまり良くなかった。1968年、安藤 貴は、吉良竜夫ら（1957）が求めた生態学の諸法則を林木の成長に応用することによって、植栽密度や間伐内容の違いに応じた成長予測が行える林分密度管理図を考案した。

密度管理図は、各成育段階のha当たりの立木本数とha当たりの幹材積合計との関係を両対数目盛の図に表したものである。図の左下から右上に向かって描かれている曲線群は上層木の樹高を表しており「等平均樹高曲線」と呼ばれている。図の右上の斜めの直線は「最多密度曲線」と呼ばれるもので、生態学の「2分の3乗則」を理論的な根拠としている。図の下から立ち上がり、ゆるく左に曲がっていく曲線が「自然枯死線」であり、「自然間引線」とも呼ばれる。この曲線は成長に伴いやがて最多密度曲線に吸収されていく。図の右上から左下に急に下がる曲線群は「等平均直径曲線」である。最多密度曲線と平行に走る直線群は「等収量比数曲線」（ $R_y$ ）を表しており、最多密度に対する材積比を表している。

### 2-2. 密度管理図による収穫予測

植栽本数がha当たり5000本の林分について、具体的に予測してみよう。

- ①横軸の5000本から出発して、自然枯死線にそって、図の上方に進む。
- ②上層木の平均樹高が10mに達したところで、間伐を行うものとする。

図より、間伐前の立木本数密度は、約4200本/ha

幹材積合計は、 約  $270\text{m}^3/\text{ha}$

平均直径は、 約 12cmである。

- ③間伐は、下層間伐を行い、間伐後の立木本数密度を、約2600本/haとする。

図より、間伐後の幹材積合計は、 約  $240\text{m}^3/\text{ha}$

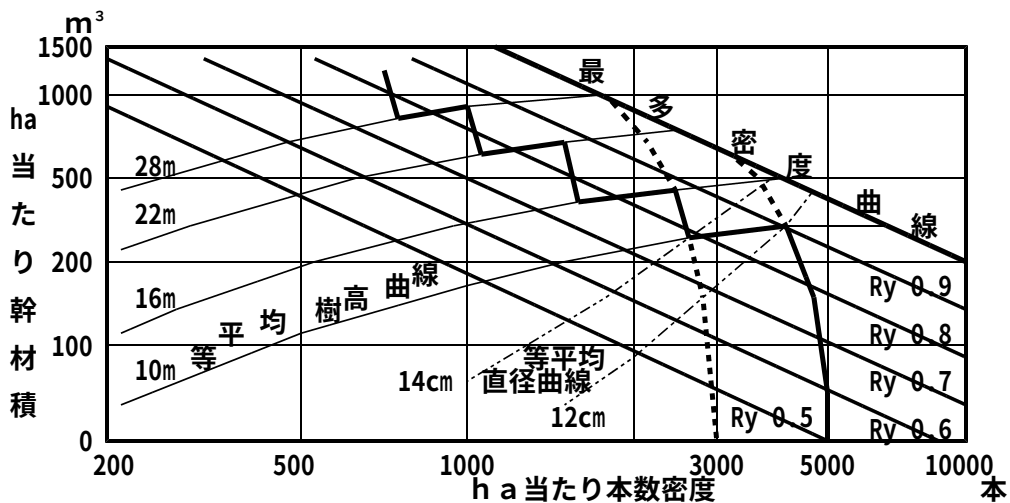
平均直径は、 約 14cmである。

## 2. 密度管理図

- ④ よって、間伐収穫は、約1600本／ha、約30m<sup>3</sup>／haとなる。
- ⑤ 間伐後の林分は、今度は植栽密度3000本／haの自然枯死線にそって、図の上方に進む。
- ⑥ 林分の上層木平均樹高が、つぎの間伐予定樹高に達したら、同様の方法で、間伐前後の林分統計量を図から読みとる。  
通常、収量比数Ryが0.8前後になるように間伐を行う。
- ⑦ このように何回かの間伐を繰り返しながら、将来の収穫量を予測する。
- ⑧ また、育林目標が定まっている場合は、目標とする林木を生産するための間伐回数と間伐率を密度管理図を使って検討することができる。

### 2-3. 密度管理図の問題点

たとえば、植栽密度5000本／haの林分を一度に3000本／haまでに間伐したとすると、その林分の成長は、植栽密度3000本／haの林分とは当然異なるはずである。なぜなら、枝張りなどが違うからである。しかし、密度管理図では同じ成長経過をたどることになる。これについては、立木度による補正法もあるが、密度管理図は、本来、弱度の下層間伐を繰り返していく場合に適用できる方法である。



林分密度管理図 (模式図)

### 3. システム収穫表

システム収穫表とは、パソコンとの会話によって、林分の成長を予測するシステムの総称である。システム収穫表の開発は、1990年度から、木平勇吉を代表とする共同研究によって始められ、現在、一応の区切りが付けられている。

下の表は、システム収穫表と従来の収穫表あるいは林分密度管理図とを比較したものである。

従来の収穫表では施業体系は固定的であり、林分の平均値や総量に関する情報のみが示されていた。

密度管理図では、下層間伐しか取り扱えないという制限があるものの、施業体系は経営目標に応じて自由に選択できるようになった。しかし、提供される情報は、従来の収穫表と同様、林分の平均値や総量に限られていた。

間伐計画を立てたり、森林を評価する場合には、少なくとも径級別の立木本数に関する情報が必要となる。システム収穫表は、様々な状態にある林分について、様々な施業が行われた場合の将来の成長過程や直径分布などの情報をコンピュータとの会話によって自在に予測することを目的として開発されたものである。

システム収穫表はつぎの基本機能を有することを目標にしている。

- ① 予測すべき施業の内容が自由である。
- ② 対象となる森林の多様な初期状態に対応できる。
- ③ 得られる成長予測情報が多種詳細である。
- ④ 利用者にとって使い易いものである。
- ⑤ 予測に用いられる成長モデルが論理的である。

システム収穫表と従来の収穫表および密度管理図との比較

| 成長予測の手法 | 表現形式     | 施業体系 | 得られる情報   |
|---------|----------|------|----------|
| 従来の収穫表  | 表        | 固定   | 平均値と総量   |
| 林分密度管理図 | 図        | 自由   | 平均値と総量   |
| システム収穫表 | パソコンとの会話 | 自由   | 分布情報と統計量 |

### 3. システム収穫表

現在、以下に示したように11種類のシステム収穫表が開発されている。

これまでに開発されたシステム収穫表の名称と開発者

| 名称（ニックネーム）                                       | 開発者（開発時の所属）                   |
|--------------------------------------------------|-------------------------------|
| ・ヒノキ人工林収穫表作成プログラム<br>全国版（ヒノキ簡単収穫表）               | 伊藤達夫（京都府立大学）                  |
| ・林分表と樹高曲線から将来の林分表と<br>樹高曲線を予測するシステム<br>（シルブの森）   | 田中和博（三重大学）                    |
| ・北海道トドマツ人工林の成長予測<br>プログラム（T O D O 2）             | 阿部信行（新潟大学）<br>石河周平（北海道立林産試験場） |
| ・林分密度管理図に基づく人工林収穫<br>予測表作成システム（くにびき1号）           | 稲田充男（島根大学）                    |
| ・人工林素材収穫表予測システム<br>（素材収穫表）                       | 龍原 哲（東京大学）                    |
| ・森林簿用成長予測システム<br>（森林簿収穫表）                        | 龍原 哲（東京大学）                    |
| ・人工林間伐指針システム収穫表<br>（L Y C S）                     | 白石則彦（森林総合研究所）                 |
| ・相対化の手法によるシステム収穫表<br>：同齢単純林、二段林、天然択伐林<br>（しらかんば） | 山本博一（東京大学）                    |
| ・信州カラマツ林システム収穫表<br>（信州カラマツ）                      | 鄭 小賢（信州大学）<br>木平勇吉（東京農工大学）    |
| ・九州におけるスギ・ヒノキのシステム<br>収穫表（九州のスギ・ヒノキ）             | 福島敏彦（福岡県森林林業技術<br>センター）       |
| ・天然林択伐施業用収穫予測システム<br>（V E N U S）                 | 石橋整司（東京農工大学）<br>田中邦宏（東京農工大学）  |

## 4. 林分表と樹高曲線

筆者が開発したシステム収穫表「シルブの森」の概要に入る前に、成長モデルに関する基本的な事項について説明する。

### 4-1. フォレストインベントリー

森林計画では、フォレストインベントリーと呼ばれる森林調査を定期的に行う。Inventory とは棚卸しのことである。通常、5年ないし10年おきに森林を調査し、森林簿と照合する。照査法では胸高直径について全林毎木調査を実施しているが、それには大変な労力を要するので、一般には、森林の中に複数の小区画を設定し標本調査法を実行する。すなわち、全体を調査するのではなく、部分を調査し、統計学的手法を用いて全体を推定する。調査用の小区画はプロットと呼ばれる。

### 4-2. 林分表

プロット内の立木は、すべての木について幹の直径が計測される。幹の直径は、輪尺と呼ばれる大きなノギスで地上高 1.2mの位置が計られるが、これが胸高直径である。なお、ヨーロッパでは 1.3mを胸高直径としている。

プロット内の立木は幅 2 cmの直径階に振り分けられ、このようにして得られた直径階別の本数分布は林分表と呼ばれる。林分表は直径分布とも呼ばれている。下の森林調査のとりまとめ表の、左の2列が林分表に相当する。

森林調査のとりまとめ表

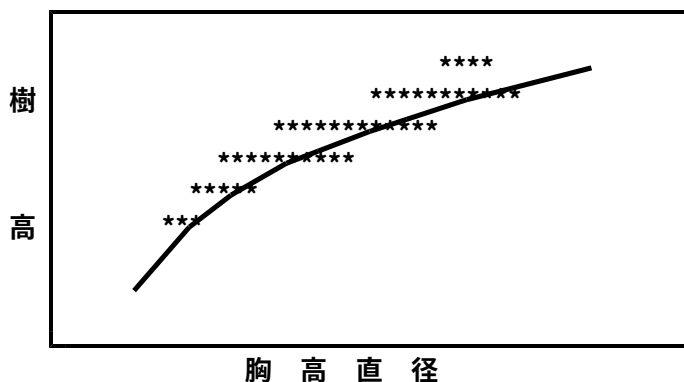
| 直径階<br>cm | 立木本数<br>本/plot | 平均樹高<br>m | 単木材積<br>m <sup>3</sup> | 材積小計<br>m <sup>3</sup> /plot |
|-----------|----------------|-----------|------------------------|------------------------------|
| ...       | ...            | ...       | ...                    | ...                          |
| 8         | 22             | 7.5       | 0.021                  | 0.462                        |
| 10        | 43             | 10.1      | 0.041                  | 1.763                        |
| 12        | 68             | 12.1      | 0.072                  | 4.896                        |
| 14        | 51             | 13.8      | 0.109                  | 5.559                        |
| ...       | ...            | ...       | ...                    | ...                          |

## 4-3. 樹高曲線

樹木の高さを樹高という。樹高の計測には時間がかかるので、普通は、何本かの標本木についてのみ樹高を計測する。樹高を計測する器具を測高器というが、ブルーメライス測高器をはじめ、幾つかの専用の器具が開発されている。

直径と樹高の関係を求めるために、標本木の樹高データを使って、下の図のように、胸高直径に対する樹高の回帰曲線を求める。この回帰曲線を樹高曲線という。樹高曲線は、ある時点における、あるひとつの林分内での、直径と樹高の関係を示している。直径に対する樹高の成長曲線とは異なるので、区別すること。

樹高曲線は、一般に、上に凸な曲線である。あてはめには実験式が用いられ、あてはめた曲線から各直径階の平均樹高を算出し前述のとりまとめ表に記入する。



樹高曲線：樹高の胸高直径に対する回帰曲線  
標本木の樹高を\*印で示した  
胸高直径から樹高を推定するために用いる

## 4-4. 森林調査結果のとりまとめ

以上見てきたように、フォレストインベントリーの結果は、林分表と樹高曲線に取りまとめられる。材積などの情報は、最終的には必要なものであるが、林分表と樹高曲線から材積表などを用いて計算される2次情報である。よって、基本的に重要なデータは、林分表と樹高曲線である。すなわち、前ページのとりまとめ表の左の3列である。



## 5. 成長曲線

### 5-1. ベルタランフィの成長方程式

成長曲線に対する生物学的な意味付けを体系的に行ったのは、おそらくフォンベルタランフィ (Von Bertalanffy) であろう。1957年と1960年に、ベルタランフィは、ある期間における生物の個体重の増加量は、同化量と異化量の差に比例するという成長方程式を提唱した。すなわち、

$$\text{個体重の成長速度} \propto (\text{同化量} - \text{異化量})$$

である。

ベルタランフィは、牛の個体重の増加について研究し、同化は腸壁を通して吸収される栄養分の量に左右されるので、同化量は腸壁の表面積に比例すると考え、また、異化は呼吸が中心であり体の隅々で行われるので、異化量は個体重そのものに比例すると考えた。いま、個体重を  $w$  とし、腸壁の表面積が個体重の  $m$  乗に比例すると仮定すると、個体重の成長速度は

$$\frac{dw}{dt} = \eta w^m - \kappa w$$

と表される。ただし、 $\eta$  と  $\kappa$  は係数である。

### 5-2. リチャーズ成長曲線

ベルタランフィの成長方程式をとくと

$$w = M (1 - L \cdot e^{-kt})^{\frac{1}{1-m}}$$

となる。ここで、 $M$ 、 $L$ 、 $k$ 、 $m$  はパラメータである。

パラメータ  $m$  の値については、ベルタランフィは3分の2から1の間にあるとしていたが、リチャーズ (Richards, 1959) はこの制限を撤廃し、植物の成長にもあてはめた。よって林学では、この成長曲線をリチャーズ成長曲線と呼んでいる。なお、リチャーズ成長曲線については、大隅眞一 (1977, 1989)、内藤健司・白石則彦 (1983a, b)、内藤健司 (1983a, b, 1984a, b) の論文を参照のこと。

## 5-3. 三つの古典的な成長曲線

リチャーズ成長曲線は、その特別な場合として、以下の古典的な成長曲線を含んでいる。すなわち、 $m$ がゼロのときはミッチャーリッヒ（Mitscherlich）曲線、 $m$ が1に漸近していくときの極限はゴンペルツ（Gompertz）曲線、 $m$ が2のときはロジスティック（logistic）曲線となる。

ゴンペルツ曲線の成長方程式において、 $\ln$ は対数を示している。ゴンペルツ式は、対数空間の中におけるミッチャーリッヒ式であると解釈できる。これについては、箕輪光博の一連の論文（1982, 1983a,b, 1984, 1985）を参照のこと。

同様に、ロジスティック式は、逆数空間の中におけるミッチャーリッヒ式であると解釈できる。

| m               | 曲 線 名    | 成 長 関 数                            | 成 長 方 程 式                      |
|-----------------|----------|------------------------------------|--------------------------------|
| 0               | ミッチャーリッヒ | $w = M(1 - L \cdot e^{-kt})$       | $dw/dt = k(M - w)$             |
| $\rightarrow 1$ | ゴンペルツ    | $w = M \cdot e^{-L \cdot e^{-kt}}$ | $dw/dt = kw(\ln M - \ln w)$    |
| 2               | ロジスティック  | $w = M / (1 + L \cdot e^{-kt})$    | $dw/dt = k / M \cdot w(M - w)$ |

## 5-4. ミッチャーリッヒ曲線の生物学的意味

いま、個体重 $w$ が体積 $v$ に比例し、さらに長さ $x$ の3乗に比例すると仮定しよう。なお、比例定数は $c$ とする。また、同化が表面積で行われるとして、パラメータ $m$ は3分の2であると仮定しよう。これらの仮定をベルタランフィの成長方程式に代入すると、

$$\frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dx} \frac{dx}{dt} = 3cx^2 \frac{dx}{dt} = \eta c^{2/3} x^2 - \kappa c x^3$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\kappa}{3} \left( \frac{\eta c^{-1/3}}{\kappa} - x \right) = k(M - x)$$

となって、ミッチャーリッヒの成長方程式を得る。このことから、ミッチャーリッヒ式は、1次元量、すなわち、直径や樹高など、長さの次元を持つ量の成長を表す方程式であると解釈できる。

## 第8章 森林の成長モデルと収穫予測

### 5-5. ミッチャーリッヒ曲線の特徴

ミッチャーリッヒ成長曲線の成長方程式は2種類ある。ミッチャーリッヒ式

$$x = M(1 - L \cdot e^{-kt}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

を時間  $t$  で微分すると

$$dx/dt = kML \cdot e^{-kt} \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。ところで、(1)式は、次のように変形できるので、

$$ML \cdot e^{-kt} = M - x$$

これを(2)式に代入すると

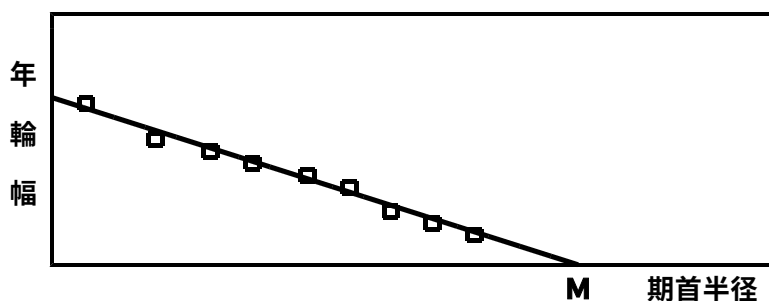
$$dx/dt = k(M - x) \quad \dots\dots\dots (3)$$

となり、(2)式と(3)式の2種類の成長方程式を得る。

(2)式は、成長速度が時間とともに指数関数的に減少することを示しており、片対数グラフに成長速度をプロットすれば、右下がりの直線になる。このことから、ミッチャーリッヒ成長曲線には変曲点がないことがわかる。

(3)式は、成長には上限値  $M$  が存在し、成長速度が上限値と現在の大きさとの差に比例することを示している。また、横軸に  $x$  をとり、縦軸に成長速度をとったグラフに(3)式を表すと、傾き  $-k$ 、 $y$  切片  $kM$ 、 $x$  切片  $M$  の直線になる。

幹の横断面に見られる年輪幅は、成長速度を表していると考えられる。横軸に成長前の半径をとり、縦軸に年輪幅をとったグラフに、各年輪幅をプロットしていくと、右下がりの直線上に並ぶ傾向がある。このことは、幹の直径などのような1次元量の成長がミッチャーリッヒ式で近似できることを示している。



年輪幅のデータに対するミッチャーリッヒ曲線のあてはめ

## 5－6．地位指数曲線

樹高成長が立木密度の影響をあまり受けないことは既に述べた。この性質を利用して、樹高は地位の査定に使われている。地位とは土地の生産力を表す概念であって、肥沃な林地を「地位上」あるいは「一等地」と呼び、痩せ地を「地位下」あるいは「三等地」と呼んでいる。しかし、これは相対的な表現であるため、絶対的な評価基準として、地位指数が導入されている。

地位指数とは、ある定められた林齢の時の上層木平均樹高のことである。たとえば、スギの場合は、林齢40年を基準林齢にしており、その時の平均樹高が20mであれば、地位指数20としている。

林齢が40年でないときは、地位指数曲線を使って査定する。地位指数曲線とは上層木平均樹高の成長曲線のことであって、林齢40年の時に平均樹高が20mとなる上層木平均樹高成長曲線を地位指数20の地位指数曲線と呼んでいる。通常、地位指数曲線は2mおきに作成され、樹種ごとに一枚の図に表されている。この図を使って、地位指数を査定する。なお、地位指数は、同じ土地でも、樹種によって異なる。たとえば、乾燥地を好む樹種とそうでない樹種とがあるからである。

樹高成長曲線も、一般の成長現象と同じく、シグモイド型（S字型）の成長曲線を描くが、同齢単純林の場合は、変曲点は成長のごく初期の段階に現れるので、実際には、ミッチャーリッヒ曲線をあてはめて差し支えない。通常、パラメータ  $k$ 、 $L$  を地域ごと樹種ごとに固定し、 $M$  を変化させて、地位指数曲線を作成する。

## 5－7．平均直径成長曲線

左の図に示したように、同齢単純林の場合は、成長の初期段階を除けば、平均直径の成長にミッチャーリッヒ曲線がよく適合する。しかし、直径成長は立木密度の影響を受け、間伐をして立木密度を低下させてやると太くなるという性質を持っているので、単純なミッチャーリッヒ成長曲線では近似できない。

システム収穫表「シルブの森」では、ミッチャーリッヒ成長曲線に改良を加え、上限値のパラメータ  $M$  が立木密度の低下に応じて大きくなるという直径成長モデルを採用している。

## 6. 林分遷移の方程式

### 6-1. 成長に伴う直径分布の変化

利用可能な径級の丸太本数や材積を計算するには、直径階別の立木本数が必要になる。6～10節では、将来の直径分布を予測するモデルについて概説する。

ところで、森林は、たとえ同齢単純林であっても、成長に伴い、林木の大きさにばらつきが生じ、直径分布が年々変化していく。この直径分布の変動を、確率過程の拡散の理論を使ってモデル化したのが、1966年に発表された、鈴木太七の林分遷移の方程式である。

### 6-2. 林分遷移の方程式

林齢  $t$  のときに直径  $x$  の林木が、林齢  $\tau$  のときに直径  $y$  になる確率を直径遷移確率  $p(t, x; \tau, y)$  と定義する。林木は、成長に伴い直径が太くなるか、あるいは、枯死するかの、どちらかである。いま、枯死を直径ゼロcmになることと定義すると、林齢  $\tau$  年のときの直径分布  $\psi(\tau, y)$  が

$$\begin{aligned} \frac{\psi(\tau, y)}{\tau} = & \frac{1}{2} \frac{d^2}{dy^2} \{ \alpha(\tau, y) \psi(\tau, y) \} \\ & - \frac{d}{dy} \{ \beta(\tau, y) \psi(\tau, y) \} \\ & - \gamma(\tau, y) \psi(\tau, y) \end{aligned}$$

を満足することを証明することができる。ただし、 $\alpha(\tau, y)$  は直径成長の分散の変化率、 $\beta(\tau, y)$  は平均直径の成長速度、 $\gamma(\tau, y)$  は枯死の確率である。これを林分遷移の方程式という。この方程式は、確率過程論の「コルモゴロフの前向きの方程式」に、枯死の項が付け加わったものである。

鈴木は、その後の一連の研究(1967a,b,c)で、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ の関数について理論的に研究し、幾つかのモデルを提唱した。林分遷移の研究は、その後も発展していき、梅村武夫・鈴木太七の吸収壁のあるモデル(1974)、スロボダ Sloboda のモデル(1976,1984)、鈴木太七・田中和博の二次元林分遷移の方程式(1981)、後述の田中和博の確率論的成長モデル(1986,1988)などが発表されている。

## 7. 確率微分方程式

### 7-1. ランジュバンの方程式

確率的に変化する外力を持つ微分方程式を確率微分方程式といい、その解は、分布を与える。線形確率微分方程式のことを、特にランジュバンの方程式という。また、この外力は揺動力と呼ばれ、まったくでたらめな揺動力は、白色雑音（ホワイトノイズ）と呼ばれる。白色雑音のみに支配されるランジュバンの方程式は、いわゆるブラウン運動を表している。いま、白色雑音を  $p(t)$  で表すことにし、1次元の場合について考えると、ブラウン運動は (1) 式で記述される。一定の流れがある場合、その流れを漂速と呼ぶが、いま漂速を  $2c$  で表せば (2) 式となる。また、原点からの距離に比例して、原点に復帰しようとする力（これを吸引力という）が働く場合は、その比例定数を  $\lambda$  とすれば、(3) 式となる。

$$\text{揺動力のみの場合} \quad dx/dt = p(t) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{漂速がある場合} \quad dx/dt = 2c + p(t) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{吸引力がある場合} \quad dx/dt = -\lambda x + p(t) \quad \dots\dots\dots (3)$$

鈴木の直径成長モデル (1967b) は、 $dx/dt = k(M-x) + p(t)$  という確率微分方程式として表現できるが、これは、漂速  $kM$  の中で、比例定数  $k$  の吸引力が働くというモデルである。

### 7-2. 平均直径がミッチャーリッヒ式に従う場合の確率微分方程式

ところで、以下の3式は、いずれもミッチャーリッヒ式の微分方程式に白色雑音が加わったものであるが、確率微分方程式の世界では、解はそれぞれ異なる。

$$\text{鈴木のモデル} \quad dx/dt = k(M-x) + p(t)$$

$$\text{田中のモデル} \quad dx/dt = MLk \cdot e^{-kt} + c \cdot e^{-kt} \cdot p(t)$$

$$\text{スロボダのモデル} \quad dx/dt = \frac{Lk \cdot e^{-kt}}{1 - L \cdot e^{-kt}} x + c \cdot e^{-kt} \cdot p(t)$$

たとえば、スロボダのモデルは、ある成長期間における、ある林木の直径成長量が、その林木の期首の直径  $x$  に比例し、それに白色雑音が加わったものである。

## 8．確率論的直径成長モデル

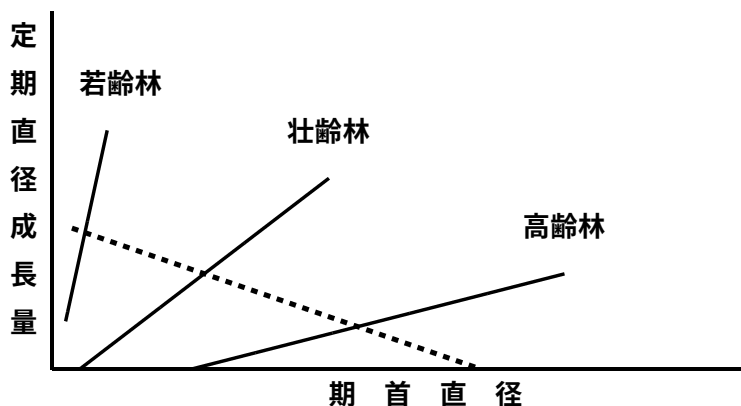
確率微分方程式を使うと、漂速や吸引力などの外力が加わる場合の拡散現象を表現することができた。林分遷移の方程式は、直径成長を拡散現象としてとらえたモデルであるので、ここでは、直径成長に作用する外力について調べてみよう。

### 8－1．定期直径成長量の期首直径に対する回帰直線

同齢単純林では、林木によってばらつきがあるものの、林齢が同じであれば、直径が太い木ほどよく成長することが認められている。すなわち、同齢単純林では、ある期間の直径成長量（これを定期直径成長量という）とその期間の期首の直径との間に明瞭な正の直線関係が認められる。

回帰直線の傾きは、若齢時は急であるが、高齢になるに従い緩やかになり、また、回帰直線のまわりの、各林木の直径成長量のばらつきは、直径の大きさに依存しないなどの性質も観察される。なお、回帰直線のx切片については、成長に伴いx軸を右に移動していくことが認められている。

以上の観察結果から、直径成長には直径の一次式で表現される外力が作用しており、その外力は、直径の大きな木に対してより大きく働いていることがわかる。



定期直径成長量の期首直径に対する回帰直線

右下がりの点線は、平均直径の推移を表しており、ミッチャーリッヒ式で近似されるものである。

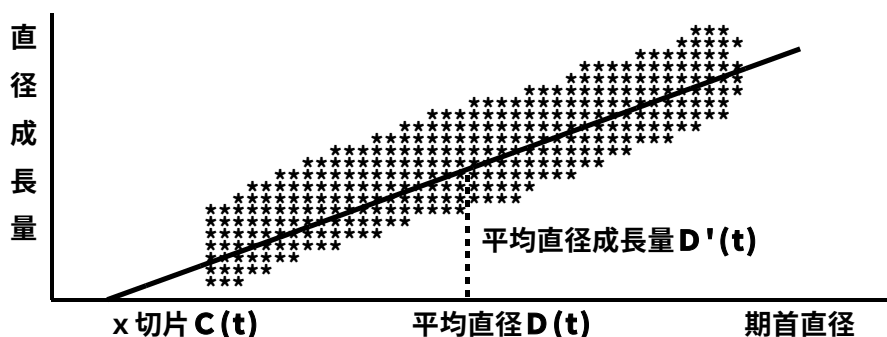
直径の成長は、実際には、樹皮のすぐ下の形成層で起こっており、胸高位置の形成層の量は、幹の周囲長にほぼ比例すると考えられるので、結局、直径にほぼ比例すると考えられる。よって、直径成長量が形成層の量に比例すると仮定すると、定期直径成長量が期首直径にほぼ比例し、期首直径の一次式として表現されることが説明できる。

## 8-2. 確率論的直径成長モデル

確率論的直径成長モデルは、上述の回帰直線のまわりのばらつきを誤差変動としてとらえたモデルである（田中和博，1986）。いま、林齢  $t$  年の時の胸高直径を  $x(t)$ 、その林齢  $t$  についての微分  $dx(t)/dt$  を直径成長量とし、平均胸高直径の成長曲線を  $D(t)$ 、その林齢  $t$  についての微分、すなわち、平均直径木の平均直径成長量を  $D'(t)$ 、直径成長量の期首直径に対する回帰直線の  $x$  切片を  $C(t)$ 、ランダム変動を表すホワイトノイズを  $p(t)$ 、比例定数を  $\gamma$  とすれば、確率論的直径成長モデルは、以下の様なランジュバンの方程式で表される。

$$\frac{dx(t)}{dt} = \frac{D'(t)}{D(t) - C(t)} x(t) - \frac{D'(t)C(t)}{D(t) - C(t)} + \gamma D'(t)p(t)$$

ここで、もし、 $x$  切片がゼロであって、すなわち  $C(t) = 0$  であって、回帰直線が常に原点を通るのであれば、直径成長量は期首直径に比例することになる。これは、スロボダのモデル（1976）である。



確率論的直径成長モデル

\*印は、各立木の直径成長量を表している



## 9. 確率論的樹高成長モデル

### 9-1. 定期樹高成長量の期首樹高に対する回帰直線

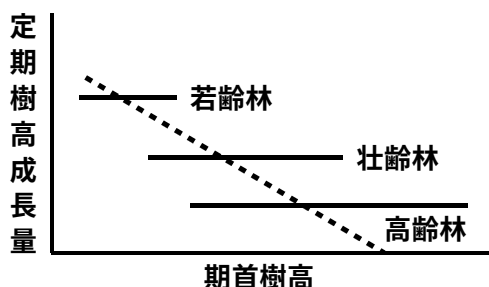
樹高成長は、直径成長とは異なる性質を持っている。立木密度が著しく高くない同齢単純林では、林木によってばらつきがあるものの、林齢が同じであれば、樹高の大小に関わらず、樹高成長量はほぼ同量である。すなわち、同齢単純林では、定期樹高成長量と期首の樹高との間には、ほとんど相関関係は認められず、回帰直線の傾きは、ほとんどゼロと見なせる。

樹高の成長は、梢の先端の頂端分裂組織で起こっており、その分裂組織の量は林木の大小に関わらずほぼ同量と考えられる。よって、樹高成長量が頂端分裂組織の量に比例すると仮定すると、定期樹高成長量が期首樹高に関係なく、ほぼ同量になることが説明できる。

### 9-2. 確率論的樹高成長モデル

林齢  $t$  年の時の樹高を  $y(t)$ 、その林齢  $t$  についての微分  $dy(t)/dt$  を樹高成長量とし、平均樹高の成長曲線を  $H(t)$ 、その林齢  $t$  についての微分、すなわち、平均樹高木の平均樹高成長量を  $H'(t)$ 、ホワイトノイズを  $p(t)$ 、比例定数を  $\gamma$  とすれば、確率論的樹高成長モデル（田中和博、1988）は、以下のようランジュバンの方程式で表される。

$$\frac{dy(t)}{dt} = H'(t) + \gamma H'(t)p(t)$$



定期樹高成長量と期首樹高の関係



確率論的樹高成長モデル

# 10．直径遷移確率行列

## 10－1．直径遷移確率の推定

確率論的直径成長モデルの関数やパラメータが具体的に決まれば、各時点の直径成長量を、直径階別に予測することができる。この場合、同じ直径階に属する林木の直径成長量の平均は、回帰直線で表される値である。実際には、この平均値よりも多く成長する林木もあれば、そうでない林木もあり、モデルでは、回帰直線のまわりに、各林木の成長量が正規分布をなしていると仮定している。よって、このランダム変動を表す正規分布のパラメータが予測できれば、各直径階の成長量の分布を予測することができ、その予測結果を離散的に表せば、直径遷移確率を推定することができる。すなわち、一定の成長期間に、同じ直径階にとどまる確率、一つ上の直径階に進級する確率、二つ上の直径階に進級する確率などを、直径階ごとに求めることができる。

## 10－2．直径遷移確率行列による直径分布の予測

林分表はベクトルと解釈することができるので、将来の直径分布は、現在の林分表に直径遷移確率行列を掛けることによって予測される。減反率の章で、齢級ベクトルの推移の予測に用いたのと同じ手法である。

たとえば、期首の林分表を(100, 300, 400, 200, 50)とし、直径遷移確率行列を以下に示した通りであるとする、期末の林分表は、ベクトルと行列の積によって、つぎのように予測される。

$$\begin{aligned}
 & (100, 300, 400, 200, 50) \begin{pmatrix} 0.8 & 0.2 & - & - & - & - & - \\ - & 0.7 & 0.3 & - & - & - & - \\ - & - & 0.6 & 0.4 & - & - & - \\ - & - & - & 0.5 & 0.4 & 0.1 & - \\ - & - & - & - & 0.4 & 0.4 & 0.2 \end{pmatrix} \\
 & = (80, 230, 330, 260, 100, 40, 10)
 \end{aligned}$$

## 11. システム収穫表「シルブの森」

### 11-1. 「シルブの森」の設計思想

森林資源管理のための森林調査の結果は、一般に、林分表と樹高曲線にまとめられる。よって、森林資源管理では、各林分の林分表と樹高曲線を基礎資料としてデータベース化することが基本となる。

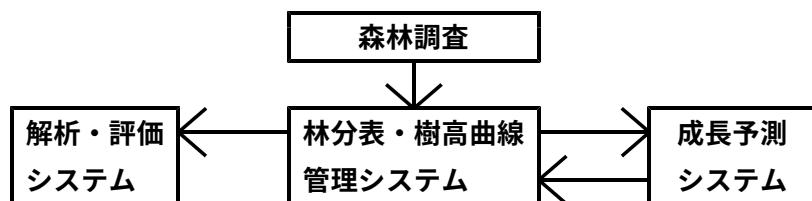
システム収穫表「シルブの森」は、現在の林分表と樹高曲線から、将来の林分表と樹高曲線を予測するシステムである。その概要は後述の通りであるが、「シルブの森」は将来の林分表と樹高曲線を1年単位で予測することができるので、それらの予測結果を、また、林分表・樹高曲線データベースで管理することになっている。この場合、実測値と予測結果の区別がつくように管理することが大切である。実測値はいつまでも保存しておかなくてはならないが、予測値は状況の変化に応じて、より適切な情報に置き換えられていくからである。

森林の状況を把握するための各種統計量や評価は、いずれも、林分表と樹高曲線から計算するものとしている。解析法や評価法は、時代の流れやニーズによって変わっていくので、柔軟に対応できるように、成長予測システムとは切り離している。

森林の現況を表す帳簿は「森林簿」と呼ばれているが、全林分のデータを集計したファイルを年次別に作れば、それが森林簿に相当する。

また、林分別にファイルを作れば、個別の林分の成長経過や将来予測を時系列的に見ることができる。

以上の設計思想は、まだ構想の域をでないものもあり、今後の研究課題である。

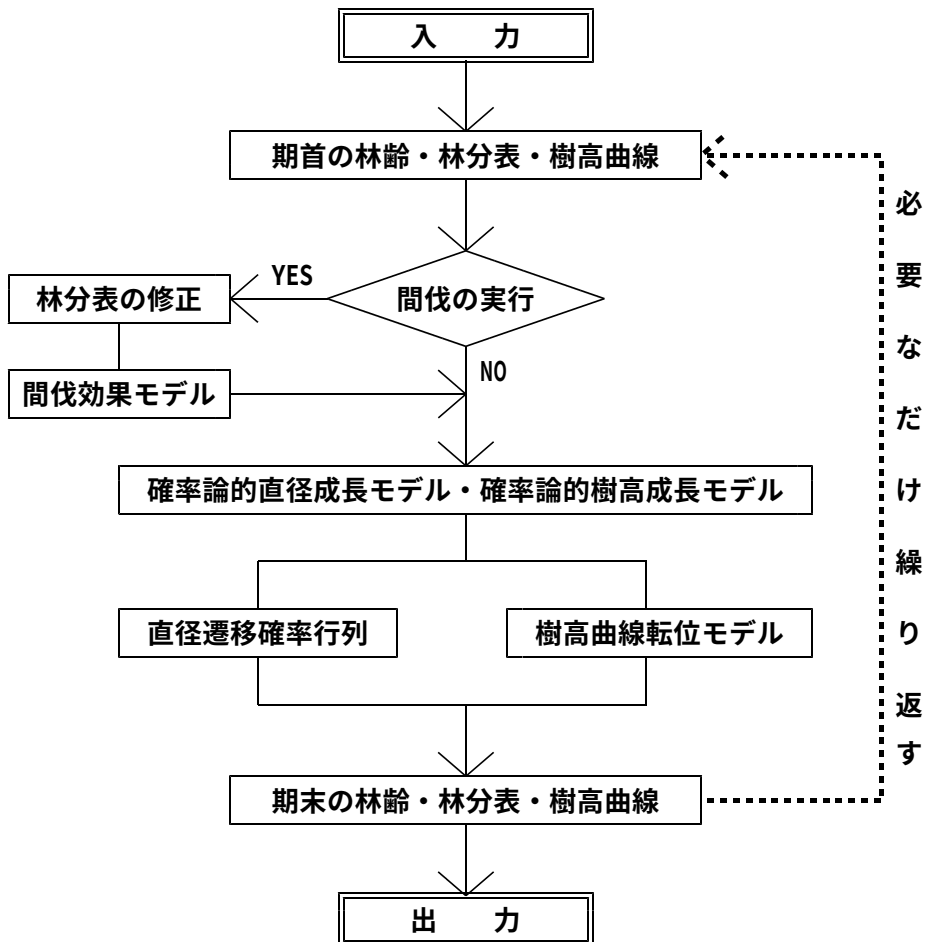


「シルブの森」の設計思想

## 11. システム収穫表「シルブの森」

### 11-2. 「シルブの森」成長予測システム

システム収穫表「シルブの森」は、地域別、樹種別に作成されるが、成長予測システムの概要は下の図の通りである。期首の林齢・林分表・樹高曲線の内容に応じて、各種の成長パラメータが決定され、間伐が実行される場合は、さらに、関連する成長パラメータが修正される。確率論的直径・樹高成長モデルの予測結果から、直径遷移確率行列などが推定され、最終的に、期末の林齢・林分表・樹高曲線が予測される。以上のような成長予測を必要なだけ繰り返すことができる。



システム収穫表「シルブの森」の成長予測システム

### 11-3. 樹高曲線の転位

同齢単純林の場合、林分の成長に伴い、樹高曲線がグラフの右上方に転位していくことが認められている。この転位は、当然、直径成長や樹高成長とは独立には論じられないものである。既に説明したように、同齢単純林の直径成長や樹高成長については、定期成長量と期首の値との間に線形関係が認められるので、それらの線形性を利用すると、ある種の樹高曲線式については、将来の樹高曲線式のパラメータを比較的簡単に予測することができる（田中和博、1991b）。

「シルブの森」では、樹高曲線式として、実験式の修正ヘンリックセン式

$$H_i = a + b \cdot \ln(D_i + c)$$

を採用している。ここで、 $H_i$ は直径階  $i$  の木の算出樹高、 $D_i$ は直径階  $i$  の中央値、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ はパラメータである。

### 11-4. 間伐の効果

間伐は林木の成長、とくに、直径成長に影響を及ぼす。間伐の効果については、篠崎吉郎・吉良竜夫の「競争密度効果の逆数式」（1956）を基礎にしている。

競争密度効果の逆数式とは、平均個体重  $w$  と植栽密度  $p$  との間に、次のような逆数式が成り立つことを示したものであり、

$$1/w = A \cdot p + B \quad \text{ただし、} A、B \text{は成長に伴い変化する定数}$$

生態学のロジスティック理論や密度管理図の基礎になっている理論である。

競争密度効果の逆数式は、林木の実占有面積と未利用面積との関係として新しく解釈し直すことができ（田中和博、1991a）、その新解釈によれば、逆数式の係数を、 $ha$ あたりの胸高断面積合計の最大値などに関連づけることができる。

間伐が林木の直径成長に及ぼす影響は、間伐の内容によって様々であり、なお検討の余地はあるが、「シルブの森」では、直径成長を表す回帰直線が、間伐によりグラフの上方に向かって平行移動すると仮定している。平行移動の移動量は、平均直径木の平均直径成長量の増加量によって表されるので、間伐の効果は、平均直径成長に及ぼす密度効果によって表現されることになり、競争密度効果の理論が適用できることになる。

### 11-5. 「シルブの森」の開発状況と今後の課題

システム収穫表が、他の一般的なソフト、例えば統計解析ソフト等と異なる点は、ソフト以外に、地域別、樹種別の成長パラメータが必要になるということである。成長パラメータの推定には固定試験地等の資料が必要になるが、森林の成長は長期にわたるので、必要なデータがすぐには収集できないという問題がある。

「シルブの森」の成長パラメータについては、現在、三重大学生物資源学部森林計画学研究室では、三重県中勢地域のスギと、紀北地域のヒノキの同齢単純林について研究をしている。また、富山県林業技術センターと共同で、タテヤマスギの成長パラメータを推定しており、近々、試験運用に入る予定である。

「シルブの森」のソフトは、MS-DOS版N88日本語BASICで開発したものに修正に修正を重ねているのが現状であって、新しい言語で全面的に作り直したいと思いつながらなかなか専念できない状況にある。

システム収穫表は、当初、収穫表作成システムとして研究が始まったが、森林は林分ごとに異なり非常に多様なので、個々の林分の成長予測にシステム収穫表を適用しようという考えに変わり、そのためには、個々の林分の林分表と樹高曲線を管理するデータベースが必要である、というように研究の内容が拡大しつつある。また、GIS（地理情報システム）との統合という課題も生じてきている。

森林管理の基本は、フォレストインベントリーなどの調査を繰り返し、現況と動向を把握することである。しかし、森林調査は大変なので、コンピュータの中で森林の成長をシミュレーションし、森林の管理に役立てようとしている。その場合、実用性を考えて、入力データは、いまのところ、地域、樹種、林齢、林分表、樹高曲線に限定している。

定期的にモニタリングを繰り返し、観測値や経験を重視するという立場は、照査法の本質そのものである。照査法は一般には天然林施業の概念とされているが、人工林の場合にもその考え方は応用できる。照査法はシルブという架空の材積概念を用いて森林を適切に管理しようとした。そのシルブに相当する世界がシステム収穫表によるコンピュータシミュレーションの世界である。そういう気持ちを込めて「シルブの森」という名前を付けた次第である。

## 12. 海外の収穫予測システム

森林の管理や森林計画の作成に際しては、膨大で、多様なデータを処理し解析する必要があるので、コンピュータによる支援が必須となる。経営情報システム (management information system, MIS) や、意思決定支援システム (decision support system, DSS) が、森林の管理に果たす役割は非常に大きい。この章の最後の節では、海外で開発され実用化されている森林計画支援システムや成長予測システムについて概説する。

### 12-1. FORPLAN

クラッター (Clutter) らが著した「Timber management」(1983) によれば、線形計画法を応用した森林計画支援システムは、アメリカを中心として、1960年頃から本格的に開発が進められた。1968年には、クラッターらのジョージア大学のチームによって、民有林を対象としたシステムである MAX-MILLIONが開発され、1971年には、アメリカ合衆国国有林のネイボン (Navon) によって西部国有林の伐採計画を対象とした Timber RAMが開発された。

その他にも幾つかのシステムが開発されているが、経済分析を取り入れたシステムとしては、ECHO:Economic Harvest Optimization Model (Walker, 1976) や、TREES:Timber Resource Economic Estimation System (Tedder et al., 1979) などがある。

1980年には、ユタ州立大学のジョンソン (Johnson) とアメリカ合衆国農務省森林局によって、Timber RAMを発展させたFORPLANが共同開発された。FORPLANは、木材収穫と土地利用計画を総合的に扱う森林管理計画ソフトであり、線形計画法を用いて森林からの各種生産物の調整を行うものである。アメリカ合衆国の国有林では、森林計画作成のための基本的解析ツールとして実際に使われている。

1983年にはFORPLANのVersion 2が開発され、現在では、パソコン版も開発されている。なお、FORPLANのVersion 2については、1986年に発行された概説書の翻訳が、森林総合研究所北海道支所から、研究資料として1993年に出されている。

### 12-2. STAND MASTER

ニュージーランドは、ラジアータ松を大量に生産し輸出している国である。また、国をあげて森林経営情報システムを作り上げ、川上から川下までの木材や林産物の流れを予測している。

ニュージーランドの森林経営支援システムは1970年代から開発が始まり、1980年には、デッドマン（Deadman）によってSRS:Stand Record Systemというデータベースシステムが開発され、1982年には、国立林業試験場のプロジェクトチームによって、成長予測システムSILMOD:Silvicultural Stand Modelが開発された。SILMODはその他のサブシステムと一緒にSTANDPAKというシステムに統合されている。1984年には、ガルシア（Garcia）によって、線形計画を応用するためのシステムである FOLPI:Forestry-Oriented Linear Programming Interpreter が開発され、1987年には、テネント（Tennent）によって、dBaseIII<sup>+</sup> を用いたパソコン版統合型森林管理データベースシステムSTAND MASTERが開発されている。

### 12-3. FRIYR

オーストラリアでは、MISとDSSを結合した統合型森林管理・収穫規整システムFRIYR:Forest Resources Information and Yield Regulation Systemが、1988年に、ビクトリア州環境保護局によって開発され、運用されている。このシステムは、SIRというデータベースを用いており、SQL等の簡易言語で記述されている。

FRIYRは、大きく分けると、次の4つのシステムからなっている。すなわち、①データ入力・検索、②データベース、③成長モデル、④シミュレーション・経営分析である。このうち、データの入力・検索に関する部分がMISを構成し、シミュレーション・経営分析に関する部分がDSSを構成している。データベースと成長モデルは、MISとDSSの両方に関係している。



## 第9章 GISとGPS

---

その昔、ワグナーは、「森林経理学の任務は、森林を場所的に時間的に秩序づけることである」といったが、1990年代に入り、地図情報をコンピュータで処理できるGIS（地理情報システム）と、カーナビゲーションにも応用されているGPS（汎地球測位システム）が身近なものとなり、森林資源管理の手法も、大きく変化し始めている。ここでは、GISとGPSの初歩的な用語を紹介し、あわせて、森林計画への今後の応用可能性について述べる。

### 1. GISとは

GISとはGeographic information system のことであり、地理情報システムと訳されている。GISは、コンピュータに地図や調査データなどの地理情報を整理して記憶させ、特定地域の状況を解析するシステムである。すなわち、GISは、文字情報だけでなく地図などの図面情報も取り扱えるデータベースの機能と、地形などについて高度な空間解析ができる機能とを合わせ持ったシステムである。GISは、単に、地図情報を検索・解析するシステムではなく、新しい地図を作り出す機能を備えたシステムでもある。CADとよく似ているが、CADは設計・製図用の機能が充実しているシステムであり、これに対して、GISは、地形を構成するそれぞれの要素に対して情報を持っており、それらの情報を使った検索・解析の機能が充実しているシステムである。

GISは、1980年代の後半から、急速に発達した分野であり、日本に地理情報システム学会が設立されたのは1991年のことである。

GISは、当初は、森林も含めた土地利用分析のツールとして応用されていたが、今日では、都市計画、農村計画、森林計画をはじめとして、ガス管や上下水道などの管理、商業圏や社会現象の分析、生物種の生息地の分析など、応用は多方面に広がっている。

## 2. ラスターとベクター

G I Sには、図面の認識の仕方に2通りの方法がある。すなわち、ラスターとベクターである。

### 2-1. ラスター

ラスターは、画像を微少な点の集まりとして認識する方法である。一つ一つの点を画素またはピクセルという。画像は縦横に規則正しく配列された画素によって構成されており、各画素はその点の色や濃度を数値に置き換えて記憶している。

スキャナーで読み込んだ情報は、ラスターデータとして記憶される。リモートセンシングの画像もラスターデータである。

G I Sでは、ラスターデータは、一般に、背景の地図として利用されている。

### 2-2. ベクター

ベクターとはベクトルのことである。ベクターとは、境界線を多数の直線でたどり、それぞれの直線の始点と終点を記憶する方法である。閉じた境界線は一つの面を表すので、ベクターは点と線と面を認識するものである。

たとえば、林班界や小班界などの境界は、ベクターデータとして認識され、河川や道路などは、閉じていないベクターとして認識される。

ベクターデータを作成すると、G I S独特のいろいろな処理や解析ができるようになる。

閉じたベクターは、ポリゴンと呼ばれることがある。ポリゴンとは多角形のことである。たとえば、一つの林分の境界線は、一つのポリゴンを形成する。

ベクターデータの作成には2通りの方法がある。一つはデジタイザーを使って、ベクターを構成する直線の端点の座標を読みとっていく方法である。もう一つの方法は、スキャナーを使って読みとったラスターデータを、専用のソフトを使って、自動的または半自動的にベクター化するものである。スキャナーを使った場合は、ベクター化の前に、不要な文字情報などを取り除く作業が必要になる。

### 3. 属性データ

GISの地理情報は、画像情報と文字情報から成り立っている。この場合、画像情報にも2種類あり、GIS本来のベクター、ラスター情報と、写真などの画像情報がある。後者の画像情報は、デジタルスチルカメラで撮影した写真や、スキャナーから取り込んだものであり、ラスター形式で記憶されているものであるが、座標を持っていないので、GIS本来の画像情報と区別する必要がある。

個々のベクターやポリゴンに対して、幾つかの文字情報や画像情報を対応させることができる。たとえば、林分界を示すポリゴンに対して、林小班名、面積、所有者名、樹種、林齢、蓄積などの文字情報と、その林分を写した写真などの画像情報を対応させることができる。最近では、音声情報も対応させることができるようになっており、たとえば、ある林分のポリゴンをクリックすると、その林分によく飛来する鳥の映像と解説文が現れ、そのさえずりが聞こえてくるといったことができる。この分野は、最近、急速にマルチメディア化している。

個々のベクターやポリゴンに対応する文字情報、映像情報、音声情報などは、そのベクターやポリゴンの属性データと呼ばれている。

GISでは、文字情報から画像やポリゴンを検索したり、また、逆に、画面上のポリゴンからその属性情報を検索したりすることができる。

GISによる森林管理では、各林分の属性データとして、当面は、森林簿のデータを入力することになるであろう。しかし、森林簿のデータは、森林の現況のみを表すものであるから、それだけでは不十分である。森林施業の履歴をはじめ、病虫害や災害の記録、といった過去の情報から、システム収獲表で予測された未来の情報までも取り込むことが理想である。

このように、GISは、各種の属性情報を地理情報と関連させた膨大なデータベースであるという側面をもっている。データベースは、日常業務で使われ、データが絶えず更新できる体制になってこそ意味がある。現在は、森林計画や森林管理の分野でも、GISを核としたデータベースの構築について、いろいろな模索が行われている段階である。

## 4. レイヤーと主題図

G I Sでは、地理情報を、複数の層構造のもとに表示、解析することが出来る。この場合、一つ一つの層をレイヤーというが、通常、一つのレイヤーごとに主題図を割り当てる。たとえば、森林管理の場合は、林小班界や林分界がポリゴンとして表されているが、林班界だけの図面を作成し、それを「林班」という主題図として一つのレイヤーに表示する。同じように、「小班」の主題図、「林分」の主題図を作成し、それぞれ別のレイヤーに表示する。そして、森林区画の現状を見たいときは、「林班」、「小班」、「林分」の三つのレイヤーを重ねて表示する。これは、ちょうど、O H Pのシートに、「林班」、「小班」、「林分」の主題図を別々に描き、3枚のシートを重ね合わせて、森林区画の現状を表示することと同じである。ただし、G I Sの場合は、それぞれの主題図は、四隅などの座標が与えられているので、必ずしも同縮尺の図面である必要はない。

主題図は、その他に、等高線、河川図、林道網図、土壌図、林相図、各種法令の適用区域図など、いろいろある。どのような主題図が必要かについては、まだ、それを判断するだけの十分な経験を持ち合わせていないが、たとえば、路網図については、一般道、林道、作業道を別々に作成しておいた方がよいであろう。ただし、このあたりのことは、使用しているG I Sソフトの機能によって異なる。

一番下のレイヤーには、通常、国土地理院の地図または森林計画図をスキャナーで読み取ったラスターデータを置き、背景の地図として利用することが多い。

前節で、画像情報を、G I S本来のラスター情報と、そうでない画像情報とに区別したが、G I S本来のラスター情報とは、座標が与えられている図面であって、レイヤーに格納することができ、他のラスター情報やベクター情報との重ね合わせができるものである。

G I Sの特徴のひとつは、複数の主題図から、新しい主題図を作ることができることにある。よって、まず、基本となる主題図を作成しておき、あとは、必要に応じて、それらの基本主題図を組み合わせることによって、目的の主題図を作成していけばよい。

## 5. GISの基本機能

GISの基本機能のうち、森林管理や森林経営で、実際に、よく使われそうなものを概説する。

### 5-1. 眺め回しと部分拡大

コンピュータの画面に、必要な地域の地図を、適切な縮尺で表示することが出来る。また、それをプリンターやプロッターに出力できる。従来の森林管理では、5000分の1の森林基本図や森林計画図を取り出してきて、それをコピーしたり、トレースしたりして図面を作成していたが、ハードディスクから地図を呼び出し、それに色塗りしたりすることが、比較的簡単に行える。特に、今まで、数枚の地図にまたがっていた地域が、一枚の地図に収まるのは便利である。なお、森林計画図とは、森林基本図に、小班界や林道等のデータが追加されているものである。

### 5-2. 検索

属性データからの検索例としては、森林を樹種別に年齢別に色分けしたり、要間伐林分を抽出して図面に表示することなどがある。

画面から属性データを検索する例としては、画面上で指定した特定の林分の樹種や年齢あるいは所有者名などを、画面に表示したり、プリンターに出力したりすることができる。たとえば、林道の路線を検討しているときなど、ここに林道を通すと、誰の山を通過することになるのかといった一覧表を出力することができる。

### 5-3. 重ね合わせ

オーバーレイともいい、幾つかの図面を重ね合わせ、地理情報を解析する機能である。単に、図面だけを重ね合わせるのではなく、重ね合わせに伴い、属性データも処理されるので、目的に応じて、新しい図面と属性データを作成することができる。

### 5－4．バッファー

点や線から一定の距離にある地域を抽出する機能である。縁取り機能ともいう。たとえば、林道の沿線 100mの領域などを抽出することができる。ただし、水平距離で計算していることに注意。タワーヤーダーによる集材範囲などを解析するには、斜距離に直す工夫が必要になる。

### 5－5．距離・面積の測定

2地点間の直線距離や道路に沿った距離を計算することができる。最短経路を計算させることもできる。

また、ポリゴンなどの面積を計算することができる。

### 5－6．メッシュ変換

地形を一定間隔の縦横の格子で区切り、その交点の標高を与えたものは、数値地形モデル（DTM：Digital Terrain Model）と呼ばれている。GISでは、等高線のデータからDTMを作成することができる。この機能をメッシュ変換という。DTMを使うと、地形を数的に処理することができるので便利である。標高の代わりに、ある特定の数値を用いることもできる。

DTMは、ある一定の間隔で画素が並んでいると解釈することができる。

### 5－7．ポテンシャル評価法

DTMを用いた地形解析の一例として、日当たり解析をあげることができる。日当たり解析は、DTMを使って、快晴の場合の日照時間を、季節別などに分けて計算する機能である。ただし、実際の日照時間は、雨や雲の影響を受けるので、日当たり解析の結果とは異なる。

DTMを使った同様の解析例としては、水の溜まりやすい場所を調べる降雨滞留量解析、展望できる領域などを抽出する景観解析などがある。

DTMなどのデータを使って、森林などが有する機能の潜在的な能力を数量化して評価する手法は、一般に、ポテンシャル評価法と呼ばれている。

## 6. GISの応用可能性

森林経営において期待されるGISの役割について考えてみると、大きく分けて、次の三つの機能があると考えられる。

### 6-1. お絵かき機能

森林の様子を地図に表すことは基本的な仕事である。しかし、あの大きな5000分の1の計画図を捜し出してきて、それを広げたり、必要な部分をコピーしたりするのは、結構面倒な作業である。しかも、目的とする地域が1枚の地図に収まらず数枚にまたがることもある。GISを使えば、図面や地図の保管、検索、修正、出力等は比較的簡単に行える。対象地域が適切な縮尺で1枚の地図に収まり、しかも作業目的に応じて色分けなどができるというのは、もうそれだけで非常に有り難い。GISはお絵かきソフトとして使うだけでも十分なメリットがある。

### 6-2. 地形解析機能

GISを使うと等高線等のデータからDTMやTIN（三角形不規則ネットワーク）を作ることができ、DTMやTINを使うと様々な地形解析ができる。

また、林道からの距離については、バッファ機能を使えば簡単に解析できる。もう数年もすると、戦後に植林した森林が伐期を迎え、国産材時代が到来するとされているが、実際に採算が合う林業対象地が何ヘクタールあり、そこからの出材量がどれだけかといったような解析には、バッファ機能が役に立つであろう。

### 6-3. 意思決定支援機能

GISは、経営責任者達の意思決定を支援するために使われて初めてその本領を発揮するといえる。現在、森林組合等では、地域の森林事情に通じた人が年々少なくなっており、対象林分を抽出し、その所有者を調べる作業に大変な手間がかかるという。こうした問題の取り扱いがGISが得意とする領域である。今後、森林組合等では、GISは必要不可欠なシステムになるであろう。

森林計画の分野での、GISの応用可能性をまとめると、以下のようなことが考えられる。

### ①森林管理

- ・各種図面、データベースの作成
- ・施業の記録、道路等の維持管理の記録
- ・不在村所有者等からの問い合わせへの対応

### ②施業対象地の抽出

- ・要間伐林分などの抽出と図面への表示
- ・作業の共同化を進める場合の、所有者の検索
- ・林道等開設時の関係者の抽出

### ③森林評価

- ・林道からの距離の分布
- ・事務所からの到達時間の分布
- ・施業履歴に応じた森林の分類と評価
- ・林業不採算地域の抽出

### ④適地の判定

- ・路網計画
- ・タワーヤーダーの作業ポイントの抽出
- ・伐出システム別の森林面積、森林蓄積
- ・地位の査定（傾斜、流水線、降雨滞留量、日照時間など）

### ⑤ハザードマップ（災害予知図）の作成

- ・崩壊地の記録
- ・風倒発生地の記録
- ・病虫害発生地の記録

### ⑥森林レクリエーション関係

- ・散策路、遊歩道の適地の抽出、展望箇所の抽出

### ⑦生態関係

- ・動植物の生息地の把握



## 7. 現場のGISと中央のGIS

ここでは、GISを森林管理に応用する場合の二つの側面、すなわち、現場のGISと中央のGISとの役割分担について私見を述べる。

### 7-1. 現場のGIS

GISは地理情報を処理・解析することができるデータベースであるが、一般的に言って、データベースには最新の情報が入っていないと意味がない。そうでないデータベースは、どんなにお金をかけて導入してもほとんど使われないであろう。データベースに常に最新の情報が入力されるためには、データベースが日常業務で使われる必要がある。よって、森林管理のGISも、まず現場で日常的に使われる必要がある。近い将来、現場ではワープロ感覚でパソコン版GISが使われるようになるであろう。それは、お絵かきソフトとして、あるいは、意思決定支援システムとして使われるであろう。

### 7-2. 中央のGIS

本庁などで使われる中央のGISは、現場のGISとは異なる性格を帯びることになる。そのGISは、公的な資料の作成や検索、照会のために使われるものであり、そのデータベースの内容は十分な審査や確認を経たものでなくてはならない。そのデータ量の多さと責任の重大さという理由により、パソコン版のGISでは到底対処できないものである。

中央のGISには、たとえば、毎月1日現在あるいは毎年4月1日現在のデータを、現場のGISから吸い上げて登録することにしたらどうか。もし、中央で最新の情報が必要になった場合は、現場に問い合わせることにし、そのデータは暫定データとして取り扱うことにすればよいであろう。

文書をワープロで作成することと文書を公式に管理することが異なるように、図面等をGISで作成することと、図面とその属性情報を公式に管理することとは異なる。公式に管理するのは中央のデータベースが担う役割である。

## 8．三重大学森林計画研究室のGIS

進学してくる学生のために、当研究室の研究のメインテーマである森林GISの研究の現状を紹介しておこう。

### 8－1．研究のあゆみ

三重大学生物資源学部森林計画学研究室は、1990年度からGISを森林管理に応用する研究について取り組み始めた。最初は、木平勇吉・川上 浩が開発したGIS Kit (1989) を用いて、演習林の森林分布の状況を解析した。1994年度には、本格的なパソコン用GISが導入されたので、それを使って、森林情報の管理や間伐計画の支援について研究を始めた。1995年度末には、下記の設備が導入され、三重大学におけるGIS研究の拠点の一つとして活動を始めている。

### 8－2．研究設備

GISの応用可能性のところで述べたGISの三つの機能にあわせて、現在、4種類のGISソフトを使っている。一つめは、CAD系のワークステーション版GISソフトで、入出力の機能やラスター／ベクター変換機能が充実している。二つめは、標準的な機能を持ったワークステーション版GISソフトで、特に、3次元の地形解析能力には定評がある。三つめは、パソコン版GISソフトで、パソコンながら、一通りの地形解析はできるという優れたものである。ただし、日本語は自由に使えない。4つめは、パソコン版簡易GISソフトで、機能は若干制限されているが、ウィンドウズ的环境下で作動し、日本語も使えるというものである。それぞれに特徴があり、それらの長所を上手く使い分けている。

### 8－3．最近の研究

戦後に植栽された森林がそろそろ伐期を迎え、国産材時代が到来すると言われているが、木材価格の低迷などにより、採算のとれる林業地は縮小の傾向にある。当研究室では、GISを用いて、森林資源を経済地理的な視点から解析している。

## 9. GPSとは

GPS (Global Positioning System : 汎地球測位システム) は、人工衛星からの電波を受信することによって現在位置を知る測位システムである。測量をはじめとして、自動車のナビゲーションシステムなどにも使われており、広範囲の分野で応用が期待されている。

GPSの電波は直進性が高く、光波とよく似た性質を持っているので、山岳地では山の地形に、林内では樹木の葉や幹に遮られると受信できなくなるという問題があり、森林経営にそのまま応用するのは難しい。ここでは、GPSの概要を述べたあと、森林地帯でのGPSの受信状況、GPSの森林管理への応用可能性について述べる。なお、GPSの原理などについては、専門の解説書に譲る。

### 9-1. C/AコードとPコード

GPSの人工衛星は、全部で24個あり、それぞれの人工衛星には正確な原子時計が搭載されており、絶えず時刻情報を発信している。地上の受信機はその信号を受け取り、受信機の時計と比較して時差を求め、それに光速を掛けることによって、人工衛星までの距離を計算している。よって、最低4個の衛星から同時に受信しないと測位計算ができない。

人工衛星からの電波は2種類あり、一般用のC/Aコードと軍事用で高精度のPコードとがある。近い将来、Pコードも民間に開放されるという情報がある。

### 9-2. 単独測位と相対測位

1台の受信機だけで、現在位置を測位する方法を単独測位という。単独測位は手軽な方法であるが、精度は低く、C/Aコードで約100m、Pコードで約16mの精度しかないので、測量の代わりにはならない。

複数の受信機を用いる方法を相対測位という。1台を既知の地点に設置し、もう1台を測位したい場所に設置して、2台の間で電波の干渉の性質を利用して2地点間の相対的な位置関係を測位する方法である。精度は1～2cmである。

## 10．森林地帯でのGPS受信

うっ閉した森林では、GPSの受信は無理である。したがって、森林地帯でGPS測位をするには、受信アンテナを樹冠の上に専用のポールで持ち上げるか、森林を伐開して障害となる立木を除去するかの二つに一つしかない。

専用ポールは、山岳地を運ぶには重いし、設営に時間が掛かるし、鉛直に持ち上げるのは難しいという問題がある。立木の伐倒には抵抗感がある。結局、間伐跡地や、林道・作業道の路上、新植地などでGPS測量を行うことになる。

確実に受信するためには、受信に先立ち、測位予定地点の森林の開空状況を魚眼レンズなどで撮影し、その画像と衛星軌道を比較して、4個以上の人工衛星が捕捉できるかどうかを確認すればよい。この場合、現地にパソコンを持ち込み画像処理ができればよいが、そうでない場合は、現地に2度足を運ぶ必要が生じる。

森林内では、たとえ、4個の衛星から電波を受信していても、その測位精度は通常の場合と比較して相当に劣る。その理由は恐らく、枝葉や幹によって、電波が断続的に遮られるためであろう。

森林内でのGPS受信の誤差は、筆者らの経験では、単独測位の場合は、平均的には数百mであり、ときには2km近くにもなることがある。干渉を応用した静的相対測位法を用いた場合は、平均的には10m前後であり、ときに数十mになる。

森林内での測位精度を高めるために、筆者らは、次のような工夫をしている。まず、相対測位法で行うことにし、基準地点には1個の受信機を、測位地点には複数の受信機を設置する。この場合、測位地点の複数の受信機の位置関係を測定しておく。たとえば、測位地点を中心として、1辺2mの正方形プロットを設営し、正方形の四隅と中心に受信機を設置するというものである。正方形の大きさは、幹の太さに応じて適宜きめる。解析にあたっては、複数の受信機の座標の単純平均を用いたり、複数の受信機の位置関係を考慮に入れて、観測座標データにプロットの形状を最小2乗法であてはめて、プロットの中心座標を求めるという工夫をしている。このような工夫により、測位精度を、通常の測位精度の半分位にまで高めることができる。すなわち、ほぼ10m以内におさえることができる。

## 11. GPSによる森林管理

現在、日本では、外材の大量輸入による林業・木材業の空洞化により、山村社会が疲弊し、森林経営意欲の減退、後継者不足等が生じており、森林の管理がなおざりになりつつある。地域の森林事情に通じた人が少なくなっており、森林を相続したものの、その森林がどこにあり、境界も分からないという事例も増えつつある。こうした傾向は今後とも増加するものと思われ、社会問題化する可能性が高い。そのためには、森林の管理・育成を代行するサービス業を育成し、そうした産業を核とした山村社会の再構築が必要になると思われる。

この場合、森林の測量が、森林管理の基本になることは言うまでもない。しかし、従来の測量法では、作業が大変であり、労力や経費のことを考えると、ほとんど不可能に近いことである。そこで、GPSによる測量と、GISによる森林管理が注目されている。

しかし、既に述べたように、森林地帯ではGPSの精度は悪く、従来の測量システムをGPS測量に置き換えるという訳にはいかない。すなわち、GPSの受信地点については、樹木に覆われておらず、谷底でない所という制約を受けるため、GPS測量では任意の地点を測量することが出来ないからであり、また、受信が可能な地点であっても、森林内での測位精度は悪く、最高の精度の受信機を複数台使ったとしても、測位座標の変動の標準偏差が10m近くもあるからである。

したがって、現状では、GPS測量と従来の測量とを併用していくしかないであろう。たとえば、皆伐跡地のように、数cmの精度でGPS測量ができる場所にGPS測量の標識杭を設置し、皆伐の度毎に、そのGPS測量標識杭を新設していく。そして、それらのGPS測量標識杭を起点と終点にして、従来の測量方法で、林地の境界などを測量していくという併用法である。

管理が放棄されている森林では、皆伐跡地などは生じないので、この方法は適用できないが、そうした場所では、GPS測量のために、森林を伐開するしか他に方法はないであろう。

世代交代のことを考えると、GPSによる森林管理を早急に進める必要がある。

## 12. GPSを併用した森林調査

ここでは、森林調査にGPS調査を応用することの可能性について述べよう。

### 12-1. ビッターリッヒ法との併用

ビッターリッヒ法とは、森林調査法の一つであって、ha当たりの胸高断面積合計などを、確率論に基づき、プロットを設定せずに、推定することができる調査法である。ビッターリッヒ法をはじめとする定角測定法の詳細については専門書に譲るが、とにかく、プロットを設定しなくてもよい分、能率がよい方法である。

ビッターリッヒ法の中にカウント木法という方法があり、この方法を用いると直径分布の推定が可能である。すなわち、林分表を推定することができる。なお、ビッターリッヒ法やカウント木法については、従来、その精度が問題にされていたが、ある立木をカウントすべきかどうかを迷うときは、実測してみれば解決する問題なので、そうすれば十分に実用可能な調査法である。

よって、前節のGPS測量標識杭を森林調査の起点と終点にして、コンパス測量をしながら、要所要所で、カウント木法を実施し、それらの結果を林分毎に集計することで、各林分の林分表を推定することができる。

### 12-2. ノンプリズム測距儀との併用

最近、ノンプリズム測距儀と呼ばれる測量機器が普及しつつある。この測距儀はレーザー光線を用いて、対象物までの距離を計測するものであるが、ノンプリズムのため、対象物の所に反射板を設置する必要がなく、山林内のように移動が不自由な場所での調査には、大変便利である。さらに、ノンプリズム測距儀は、方位角や高定角も同時に計測することができるので、立木位置の調査を簡単に行うことができる。よって、尾根付近に分布する天然林の大径木の単木管理にこの手法が適用できる。すなわち、尾根近くであるので、GPSの測位精度は高いので、その測位点から、各立木の位置をノンプリズム測距儀で確定し、他の木と識別し、樹木の管理に応用するのである。

## 第10章 森林評価と住民参加

---

森林計画の実践は、調査、評価、予測、計画、実行、照査を、計画期間ごとに繰り返すことによってなされる。このうち、実行結果の照査や森林の評価は、次期の森林計画の基本方針を定める基礎資料となるものであり、大変重要な役割を果たしている。ただし、この場合の「評価」とは、森林の取り扱いに対する評価であって、いろいろな尺度や基準によって評価されるものである。たとえば、現有蓄積と法正蓄積との差は、森林蓄積の適正水準に関する一つの評価である。

ところで、「評価」といった場合、対象物の価格を評定するという狭い意味で使われることも多い。すべてのことを金銭で評価することはできない、というのは自明の理であるが、現実には、金銭で評価され、不当な取り扱いを受けることも多い。最近では、森林の公益的な機能の評価について関心が持たれており、幾つかの評価法も提唱されているが、公益的な機能を貨幣単位に換算して評価しようとしているものが多い。それはそれで一つの考え方であるので、本書でも、代表的な手法について概観することにするが、そうした評価法が万能なものではないことに留意してもらいたい。また、一旦、貨幣単位で換算されてしまうと、森林という評価対象物とは無関係に、評価額だけが独り歩きしてしまうこともある。

貨幣単位による評価では、一つの評価対象物に対しても、各種の評価方法があり、その評価額が大きく異なることもある。たとえば、土地の価格にしても、売買価に基づく評価と、地代に基づく評価とがあり、両者の評価額が、バブル経済の頃には大きく乖離していたということは記憶に新しい。

結局、貨幣単位による評価とは、複数の評価対象物や選択肢に対して相対的な序列を与えるものであり、多次元的な内容を、貨幣単位で表された1次元軸に変換する行為である。よって、そこには、もともと無理がある。

この章では、まず、森林の木材生産機能に関する評価法について概説する。つぎに、森林の公益的な機能に対する評価法の中から代表的なものを幾つか紹介し、最後に、ORのAHP法を応用した総合評価法と、住民参加について触れる。

# 1. 林地の林業的評価

森林を林業の対象として捉えて評価する場合は、森林を林地と林木に分けて、それぞれ別個に評価する。そして、林地価と林木価の和を森林価としている。

## 1-1. 林地売買価

この方法は、評価対象の林地と類似の条件をもった林地の売買実例の価格を基準にして評価を行うものである。ただし、一般に、類似の条件を持つ林地の取引事例は少ないので、地位級や地利級、各種の法的制限などを勘案して査定する。この場合、地利級は、単に道路からの距離をいうのではない。道路と切り通しで接している場合や、近くに適当な土場が設営できないような所は評価が下がる。

## 1-2. 林地費用価

林地を取得するのに要した費用と、その林地に新たに付加価値を付加するのに要した費用との後価合計によって林地を評価する方法である。この場合、投入した費用の割には付加価値が付かなかったということもままある。たとえば、自力で橋を付け林道を通した場合、費用価法による評価では高い評価額となるが、客観的な評価では、付近にある林道沿いの同条件の林地とほぼ同じ評価額に査定される。このように、土地については、条件の悪い土地ほど、条件の改善に費用がかさむ傾向がある。こうした事情から、いわゆる「差額地代」が発生する。

## 1-3. 林地期望価

これは、収益還元価法とも呼ばれるものであり、本来は、毎年の地代を年利率で割って、査定するものである。林学では、標準的な森林施業によって、その土地から定期的に一定額の純収益が永久にわたって獲得されとした場合の現在価値合計、いわゆる「土地期望価」（第4章を参照のこと）のこととしている。なお、森林経営者の判断によって、森林施業に独自の改善を行い、純収益が増加したとすると、その増加分の純収益は、本来は、森林経営者に属するものである。



## 2. 林木の林業的評価

### 2-1. 市場価逆算法

伐期に達した林分の林木は、丸太の市場価格から伐採搬出に要する経費を差し引いて評価する。このようにして求めた評価額は立木価格と呼ばれている。

いま、 $x_i$ を施設費を計算に入れない場合の、直径級  $i$  の林木の立木単価とすると、その林分の立木価格合計  $X$ は、市場価逆算法により、次式で計算される。

$$x_i = f_i \left( \frac{A_i}{1+L \cdot r} - B_i \right), \quad X = \sum (x_i \cdot v_i) - C$$

ただし、 $A_i$ ：直径級  $i$  の林木の丸太市場単価（樹種別、材種別に求める）

$B_i$ ：直径級  $i$  の林木の伐採搬出単価（伐木造材費、集材費、  
運材費、販売経費など）

$C$ ：共通施設費

$f_i$ ：直径級  $i$  の林木の利用率（立木材積に対する丸太材積の割合）

$L$ ：資本回収期間（搬出期間の1/2～2/3の期間、月数で示す）

$r$ ：収益率（伐出事業の月利益率、月利0.016を標準とする）

$v_i$ ：直径級  $i$  の林木の立木材積計

なお、雑費は積算した事業費の10%として、加算する。

すなわち、 $B_i$ 、 $C$ の値は積算値の1割り増しとする。

### 2-2. 林木期望価

伐期に近い林分の林木は、伐期の推定立木価格を現在の価格に割り引くことによって評価され、林木期望価と呼ばれる。いま、 $m$ 年生の林分があり、伐期が  $u$  年であるとする、林木期望価  $Hem$ は次式で与えられる。

$$Hem = \frac{Au + \sum Da (1+p)^{u-a} - (B+V) \left( (1+p)^{u-m} - 1 \right)}{(1+p)^{u-m}}$$

ただし、 $Au$ ：伐期  $u$  年のときの主伐収入、 $B$ ：地価、 $V$ ：管理資本、

$Da$ ：林齢  $a$  年のときの間伐収入、 $p$ ：年利率、

### 2-3. 林木費用価

幼齡林や若齡林の林木については、林木を現在まで育成するのに要した経費の後価合計から、それまでに得られた収入の後価合計を差し引いて評価する。この方法による評価額を林木費用価という。なお、再調達原価という立場に立ち、評価時点の価格を用いる。 $m$ 年生の林分の林木費用価 $H_{km}$ は、次式で与えられる

$$H_{km} = (B + V) \left( (1 + p)^m - 1 \right) + C (1 + p)^m - \sum D_a (1 + p)^{m-a}$$

ただし、 $B$ ：地価、 $V$ ：管理資本、 $p$ ：年利率、

$C$ ：造林費（ $m$ 年生までの造林・育林費の前価合計）、

$D_a$ ：林齡  $a$  年のときの間伐収入

$m$ 年生の幼齡林については、次式が用いられる

$$H_{km} = C_1 (1 + p)^m + C_2 (1 + p)^{m-1} + \dots + C_m (1 + p)$$

ただし、 $C_i$ ：林齡  $i$  年のときの投入経費（造林費＋管理費＋地代）

一般に、地位が悪い所ほど造林費がかさむ傾向があるので、林木費用価法の適用には注意すること。

### 2-4. グラーゼル法

幼齡でも高齡でもない、中間の林齡の林木を、林木費用価と林木期望価の2通りで評価すると、一般にその評価額が異なるので、評価に困る。よって、中間の林齡の林木を評価する方法として、グラーゼル式（1912）とそれを補正したケストラー式が提案されている。いま、 $m$ 年生の林木評価額を $H_m$ とすれば、

$$H_m = (Au - C) \frac{(m-n)^2}{(u-n)^2} + C$$

の式において、 $n=0$  の場合をグラーゼル式といい、 $n=10$ の場合をグラーゼル補正式（ケストラー式）という。通常、グラーゼル補正式を用いる。

$Au$ は伐期  $u$  年の推定立木価格であり、 $C$ は10年生までの造林費であって、林木費用価の第2式による評価額を用いる。

この式の特徴は、利率を含んでいないことにあり、したがって、恣意の入り込む余地が少ないので、実用的であり、広く適用されている。

### 3. 機会費用法

機会費用 (opportunity cost) とは、平たく言えば、「犠牲にされたものの価値」のことである。いま、ある経済財が多数の用途を持っているとしよう。仮に、A、B、Cの三つの用途があり、それぞれの効用が、 $A=5000$ 円、 $B=3000$ 円、 $C=1000$ 円であったとしよう。経済性の原則に従って選択をすれば、最も効用の高いAを選択することになる。しかし、この場合、B、Cは選択されないので、BまたはCを選択した場合の効用は、犠牲になっている。経済学では、次善の用途からの効用を、最善の用途から得られる効用の機会費用と呼んでいる。すなわち、Bの効用3000円は、Aの効用の機会費用である。

なお、費用・便益分析では、費用の概念が、会計的な意味での費用とは異なり、このように犠牲にされるものの価値を費用として捉えている。よって、機会費用という名前が付けられている。

機会費用法による森林の公益的な機能の評価とは、以下のような考え方である。

たとえば、都心近くに、まとまった雑木林があったとしよう。この雑木林の土地は市有地であり、その土地を造成すれば、いろいろな用途に使うことが出来るものとする。ビジネスとして考えられる最善の土地利用法は、そこを商業地として活用することであったとしよう。その土地は、商業地として評価すると坪当たり、毎月1万円の地代を稼ぐことができるとする。このことは、いま、年利率を2%として資本価を求めると坪当たり600万円に相当する。大雑把な計算であるが、とにかく、商業地としての土地利用は坪当たり600万円の価値があると評価されているとしよう。

さて、この土地は、最終的には、森林公園として利用されることになった。それは、市民の要望によるもので、市当局も緑を残す方がよいと判断したからである。この場合の機会費用とは、商業地として活用される場合の、毎月、坪当たり1万円である。それよりも効用が高いと判断されて、雑木林が残されたので、雑木林の効用は、毎月、坪当たり、1万円以上であると評価されたことになる。すなわち、雑木林は坪当たり600万円以上の価値があると評価されたことになる。

## 4. ヘドニック法

この方法は、環境の質の違いが地価などに反映されていると見なし、地価などを構成する因子を解析することによって、環境の質を評価する方法である。

ヘドニック法という名の由来は、1939年のコートCourtの論文で、hedonicという言葉が使われたことによる。hedonicとは「快楽の」という意味であり、哲学的な意味は別として、日常的な意味では、この評価法の内容と少し違和感があるので、あまり使いたくはないのだが、すっかり定着してしまった。資産価値比較法とも呼びたいところである。「快適さ」という意味では、アメニティという言葉があるが、居住空間や生活空間のアメニティを地価などから推定する方法といった方が適当かもしれない。

この評価法の一番分かりやすい例は、ハワイなどの観光地のホテルの部屋の値段が、海が見えるか否かで異なることから、その差額が、一泊二日の間の海の眺望権の価格を表しているという解釈である。

住宅地の地価は、いろいろな要因によって決まるものであるが、環境の質以外の要因、たとえば、交通の利便性、商店街の規模、文教施設、医療施設等の要因が類似する地域の、土地の形状等がほぼ同じ条件の住宅地の価格を比較してみると、環境の質の違いに対する評価額が推定できる。たとえば、街路樹が整備されている地域の住宅地の価格が、そうでない地域の価格よりも、平均して坪当たり1万円高いとすると、それが、街路樹が存在することに対する一つの評価になる。

実際には、重回帰分析法あるいは数量化Ⅰ類を用いて解析する。すなわち、住宅地の単位面積当たりの価格を目的変数とし、住宅地の価格に影響を及ぼす要因を説明変数として解析する。このようにして求められた関数をヘドニック価格式という。ヘドニック価格式の係数から、環境の質を表す因子が、住宅地の価格をいくら押し上げているかを推定することができる。環境の質を表す因子としては、たとえば、その住宅地の生活圏の中にある緑地の面積などが考えられる。緑地の抽出にはリモートセンシングを利用することができ、その解析にはGISを利用することができる。

## 5. トラベル・コスト法

旅行費用法と訳されている。この方法は、森林利用者が支払った旅行費用をもとに、その森林に対する需要曲線を描き、森林のレクリエーション機能を評価する方法である。1949年にホテルリングHotelling によって提案されたことに始まる。

ある有名な森林公園があるとする。入園料は無料である。その公園には、年に何度も訪れる近隣の人もいれば、遠く離れた場所から電車賃などの旅行費用を掛けて訪問する人もいる。多額の旅行費用を掛けても訪問する人は、それだけの価値をその公園に認めていると解釈できる。逆に、歩いて来れるような所に住んでいる人でも、全然関心を示さないこともある。森林公園のように多面的な性質を持つものに対しては、その評価は、人によって分かれる。そこで、もし、森林公園に対する需要曲線を求めることができれば、その便益を客観的に評価することができると考えられる。

旅行費用法では、まず、来訪者を、地域などによって幾つかのグループに分け、それぞれのグループについて、1訪問当たりのコストと、訪問率、たとえば、人口1000人当たりの訪問者数を調べる。つぎに、旅行費用に対する訪問率の関係を求め、旅行費用の増加に伴う訪問率の減少を予測する。最後に、森林公園の利用者から入園料を徴収すると仮定して、入園料が付加されることによる旅行費用の増加に伴い来訪者数がどのくらいにまで減少するかを予測し、入園料を縦軸に、訪問者数を横軸にとった図面に、その森林公園に対する需要曲線を描く。この図において、需要曲線よりも下の部分の面積が森林公園の評価額となる。

いまの説明では、入園料を取っていないとしたが、入園料を取っている場合も、入園料を下げることによる来訪者数を予測することで同様に解析できる。

経済学では、「それなしで済ますくらいなら支払ってもよいと考える価格が、実際に支払う価格を超過している分」のことを、消費者余剰と呼んでいるが、旅行費用法は、消費者余剰も考察の対象に入れて、評価を行うものである。

実際の解析では、その公園への来訪が旅行の主目的かどうかとか、車で来ている場合は何人で来たかで一人当たりの旅行費用が変わってくるなどの問題が残る。

## 6. CVM

CVMとは、contingent valuation methodsの略であり、不確定評価技法とか擬制市場評価法という訳もあるが、どうもしっくりいかないようであり、そのまま訳さずに、CVMとかコンティンジェント法と呼ばれている。contingentには、いろいろな意味があるが、分担とか分担額という意味もあり、またcontingencyは臨時の出費を意味し、contingency planとは、万一の場合の計画のことであるので、それらを総合すると、「万が一の場合の、臨時の分担額」という意味ではなかろうかと思っている。

さて、この方法の内容であるが、CVMは、森林の公益的価値などのように計測が困難なものの価値を、関係者に直接アンケート調査や聞き取り調査をして評価する方法の総称であって、支払い意思額(willingness to pay, WTP)を尋ねる方法と補償受容額(willingness to accept compensation, WTAC)を尋ねる方法とに、大きく二分される。

たとえば、ある森林が開発されようとしているとする。開発計画は、地域の自然環境を破壊するものであり、住民にとって相当に不快なものであるとしよう。たとえば、水源林の近くに産業廃棄物処理施設ができるといった内容である。この計画を中止させる一つの解決策として、その森林を買い取ることが考えられる。そこで、地域の住民の支払い意思額を調査するのである。

あるいは、森林が開発されようとしているとき、開発に伴う環境の劣化の代償として、いくら補償額であれば、その計画を受容するかを調査するのである。

こうした調査では、支払い意思額や補償受容額の値を直接問い合わせるのはあまり好ましくない。誰しも、支払額はなるべく少なく、受取額はなるべく多くしたいからである。そこで、たとえば、支払い意思額の調査の場合は、調査者が一定額を提示し、それを支払う意思があるかを尋ねる。こうしたサンプル調査を、提示額と調査対象者を変えながら複数回行うなどの工夫をしている。

また、補償受容額を調べるときは、関係者の範囲をどこまでにするかといった問題もある。

## 7. AHP

これまで紹介した評価法は、森林が有する機能の一部を評価するものであった。ここでは、1993年に箕輪光博が用いた総合評価法、すなわち、森林が有する個々の機能に対して重み付けをし、AHPを用いて、森林を総合的に評価する手法について概説する。

### 7-1. AHPとは

AHP (analytic hierarchy process) は、ORの意思決定法の一つであって、サッティSaatyが1979年に提唱したものである。この方法は、まず、評価因子を幾つかの階層に分類し、つぎに、それぞれの階層の評価因子の相対的な重みを、一対比較法という方法で決定するものである。

### 7-2. AHPによる森林の総合評価

たとえば、森林の総合評価を例にして説明すると以下の通りである。下の表に示したように、森林の機能には、大きく分けて、木材生産機能、環境保全機能、保健文化機能の3つの機能があるとする。木材生産機能は、樹種、成長量、地利級、施業内容の4因子について評価され、環境保全機能は、水源かん養機能、土砂流出防備機能、防風機能の3因子について評価され、そして、保健文化機能は、

| レベル1          | レベル2   |            | レベル3                    |     | スコア（評点） |      |
|---------------|--------|------------|-------------------------|-----|---------|------|
| 機 能           | 機 能    | 重み         | 機 能                     | 重み  | A 林分    | B 林分 |
| 森 林 の<br>総合評価 | 木材生産機能 | 0.5        | 樹種<br>成長<br>地利<br>施業内容  | 0.3 | 8       | 7    |
|               |        |            |                         | 0.2 | 7       | 8    |
|               |        |            |                         | 0.1 | 5       | 6    |
|               |        |            |                         | 0.4 | 7       | 5    |
|               | 環境保全機能 | 0.3        | 水源かん養<br>土砂流出防備<br>防風機能 | 0.5 | 4       | 9    |
|               |        |            |                         | 0.3 | 7       | 8    |
| 保健文化機能        | 0.2    | 風致<br>保健休養 | 0.7                     | 3   | 8       |      |
|               |        |            | 0.3                     | 2   | 7       |      |
| 評 価 結 果       |        |            |                         |     | 5.62    | 7.12 |

風致と保健休養施設の2因子について評価されるものとする。各評価因子の重みは、後で説明する一対比較法により求められているものとする。

さて、いま、A、B、二つの森林があるとし、それらの森林の総合評価を行い比較することにする。A、Bそれぞれの森林について、各評価因子の評点を10点満点でつけたとしよう。

各評価因子の重みと、A、B両林分の評点を、前ページの表に示しておいた。

レベル2の重みの和は1である。また、レベル3のうち、木材生産機能に属するものの重みの和は1である。以下、同様にして、各階層の評価因子の重みの和は1である。なぜなら、それら毎に、一対比較法で重みを割り振ったからである。

一番下の階層の評価因子の、全体の中での重みは、各レベルの重みを掛け合わせることで求められる。すなわち、樹種の重みは0.15となり、保健休養の重みは0.06となる。このようにして求めた、全体の中での重みを、各林分の評点に掛け、林分毎に、重み付き評点の合計を求めると、それぞれの森林の総合評価を得ることができる。この例では、A林分のスコア5.62に対し、B林分のスコアは7.12となっており、Bの林分の方が高く査定されている。

### 7-3. 異なる評価結果のAHPによる調整

AHPでは、重みと評点が与えられれば、あとは機械的に計算処理をしていけば総合評価を得ることができる。この場合、評点については、計量可能な指標や基準に基づいて、点を与えることにしておけば、対立する当事者同士の間でも、比較的合意が得られやすい。しかし、前ページの表のレベル2の重みについては、当事者の立場により、意見が分かれるであろう。

こうした場合の一つの工夫としては、レベル1とレベル2の間にもう一つ「評価者」という階層を作ることが考えられる。すなわち、たとえば、評価者として、施業担当者、地元住民、都市住民、学識経験者の4グループを考え、それぞれの重みを、たとえば、0.4、0.3、0.15、0.15とするといったような工夫である。重みは、当然、そこで生活をしている人に多くを配分する必要がある。こうした評価法はまだ不十分な点が多いが、少なくとも、意思決定の過程はより透明になる。



## 8. 一対比較法

一対比較法 method of paired comparisons とは、 $n$ 個の対象を比較する場合に、2個ずつのあらゆる組み合わせについて比較を行い、それらの結果をもとに、 $n$ 個の対象物に対してスコアを与える評価法であり、心理学的尺度構成法の一つである。一対比較法の特徴は、一対ずつ比較するということで、被験者に対して最小限度の判断のみを課している点にある。一対比較法には各種の方法があるが、ここでは、平均倍率によって比較し、その分散は無視するという、もっとも簡単な例を用いて、その概念を説明しよう。

いま、森林の代表的な3つの機能、すなわち、木材生産機能、環境保全機能、保健文化機能について、その重みが分かっているものとして、それぞれ $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$ であったとしよう。一対比較を行うと、環境保全機能は木材生産機能よりも $w_2/w_1$ 倍重要であると評価される。同様に、保健文化機能は木材生産機能よりも $w_3/w_1$ 倍重要であると評価される。これをまとめると表-1のように表される。この表を行列 $A$ とし、重みのベクトル $w = (w_1, w_2, w_3)$ を掛けると、

$$w \cdot A = n \cdot w \quad \text{ただし、この場合は } n = 3$$

が成立することが容易に確かめられる。よって、重みを求めることは、行列 $A$ の固有ベクトルを求める問題に帰着する。

ところで、現実の場合は、たとえば、被験者を100人選び、一対比較により、一方の機能が他方の機能よりも何倍重要であるかについて答えてもらうことにすると、100人の単純平均は表-2のようになり、一般には、相互の倍率の間には整合性のない結果が得られる。よって、AHPでは、表-2の最大固有値を求め、それに対応する固有ベクトルを、求める重みとみなしている。

表-1

| 機能   | 木材<br>生産  | 環境<br>保全  | 保健<br>文化  |
|------|-----------|-----------|-----------|
| 木材生産 | 1         | $w_2/w_1$ | $w_3/w_1$ |
| 環境保全 | $w_1/w_2$ | 1         | $w_3/w_2$ |
| 保健文化 | $w_1/w_3$ | $w_2/w_3$ | 1         |

表-2

| 機能   | 木材<br>生産 | 環境<br>保全 | 保健<br>文化 |
|------|----------|----------|----------|
| 木材生産 | 1        | 1/2      | 1/5      |
| 環境保全 | 2        | 1        | 1/2      |
| 保健文化 | 5        | 2        | 1        |

## 9. 緑地人口密度

以上、代表的な森林評価法を概観してきたが、そのようにして求められた評価結果は、決して不変のものではない。むしろ、人々の価値観が変化していくのと同様、時の流れや、時代の流れに応じて変化していくものである。評価結果に影響を及ぼす要因は様々であるが、ここでは、特に、「他の類似の森林の消失に伴う相対的な価値の高まり」について考察してみよう。

いま、ある地域に、ある種類の森林があったとしよう。この森林は、その地域にはごく有り触れたもので、地域の住民は特に意識もしていなかった森林である。しかし、その地域にも宅地化や工業団地化の波、ゴルフ場開発の波が押し寄せ、そうした森林が次々と開発されていき、気が付いてみると、その森林の面積はごく僅かしか残っていなかったとしよう。この間、住民の間に、郷土の自然を残そうと言う気運が次第に高まっていったとしたら、その森林の単位面積当たりの価値が、森林の開発と反比例するように上昇していったことになる。この価値の高まりをきちんと査定しようとする大変な調査になるが、そのような調査をしなくても、残りの森林面積が元の森林面積の10分の1になったとすれば、その森林の単位面積当たりの価値が10倍になったという概算で十分であろう。

同じ様なことは、緑地についても言える。ある緑地公園が、その地域の人口増加に比例するように利用者也増加していったとしたら、その緑地公園の面積は変化しなくても、その価値は高まったと考えてよい。

そこで、ここでは、緑地人口密度という指標を提案する。これは、単位緑地面積当たりの人口数のことである。よく、一人当たり緑地面積という指標が使われるが、その逆数である。逆数ではピンとこないこともあるので、実際に、その森林に何人の人が依存しているのかを示そうとしたものである。

緑地人口密度に属する指標としては、たとえば、単位水源林面積当たり人口数などが分かりやすいのではないかと考えている。

緑地人口密度という指標の長所は、近隣での森林開発に連動して指標値が変化し、また、簡単に計算できて、理解しやすいという点にある。

## 10．選択的目的税

### 10－1．定期的に重み付けを行うための社会システムを

森林は公益的な機能を備えているので、森林をどの様に取り扱うかは、地域社会と深い関わりを持つ。とくに近年は、事実上放棄されている人工林や都市近郊林が増加しており、これらの森林の管理について、地域住民や近隣の都市住民の理解と協力、さらには森林管理への参加が必要になっている。

ところで、すでに見てきたように、ORの手法として、目標計画法やAHPなどがあり、これらの手法は、様々な意見に対して、それぞれに重みを付け、それらの重みをもとに最適解を求めるというものであった。しかし、誰が、どのような根拠をもって、どの様な重み付けをするのか。重み付けの仕方一つにしても、まだまだ検討の余地がある。地域や流域の住民によって定期的に重み付けが行われる社会システムが構築され、地域や流域の住民のニーズが、地域や流域の政策や森林管理に反映される必要がある。

### 10－2．資本のオフサイトな性質が環境破壊をもたらす

環境政策では、地域住民の意見や要望を取り入れる必要がある。その理由は、一口で言えば、資本のオフサイトな性質が環境破壊をもたらすからである。

歴史をみれば明らかなように、資本活動は、好むと好まざるとに拘わらず、結果として、より有利な場所に移動していくものである。そして、ほとんどの場合、今まで利用していた土地や環境を劣悪なもの不毛なものにして去っていく。

これに反して、将来にわたってその地域に住み続ける人々は、一般的にいて、その土地や地域の付加価値を高めるために努力を続けることが多い。

このように、その土地に住み続ける人と、一時的に利用する人との価値観は異なり、しばしば利害さえも衝突する。そうであれば、その地域を食い物にしない人々、将来にわたってその地域の付加価値を高めることに努力している人々の、意見を尊重すべきである。ゆえに、環境政策では、地域住民の意見や要望を定期的に取り入れる社会システムが必要なのである。

## 10－3．選択的目的税

地域の環境整備や森林管理に、地域住民の意見や要望を取り入れる社会システムとして、選択的目的税を提案する。環境整備のための選択的目的税とは、自分が支払う税金の一部について、その使い道を、確定申告の時に、いくつかのオプションの中から選択するシステムである。

たとえば、地域の環境整備・保全のための目的税として、納税者一人当たり年1000円を納めてもらうことにする。この税金は、そのまま、住民が属する地域の環境整備・保全のために使われるが、その内容は、予め5項目なら5項目に分けられているとする。たとえば、①河川の水質浄化、②水源林の整備、③都市近郊林の整備、④鳥獣の保護・管理、⑤野外レクリエーション施設の整備、の5項目があったとする。各住民は、確定申告のときに、このうちの二つを選ぶ、というような選択法が考えられる。もちろん、地域の環境整備・保全に関する予算は、議会の審議を経た予算をメインとする。

一般に、大衆消費社会では、消費者のニーズは市場を通して把握される。それは、実際にお金を払うという行為がシビアな選択を行わせるためである。この市場原理の長所を、地域の環境整備・保全のための予算配分（これは一種の重み付けに相当する）に導入しようというのが、選択的目的税を提案する理由である。

選択的目的税は、まだ、構想の段階であって、具体的な方法については考えていない。この構想は、地域レベルの環境整備・保全など、地域住民の生活に密着したものに限定しており、新規大型プロジェクト等の採否については対象としていない。また、選択項目の内容については、各層の代表者や専門家を交えた委員会等で毎年見直すものとする。

なにがとも、ともすれば、総論賛成、各論反対になりがちである。縦割り行政の縄張り意識がある限り、各省庁や各局が自分のところの予算を自ら削減することは到底不可能であろう。選択的目的税であれば、地域住民の意向によって予算が増減するので、予算の減少は担当行政官の責任ではなくなる。より多くの予算を獲得するためには、地域住民の理解を得る必要があり、そのために各種の報告書も地域住民を対象とした書き方に改められるであろう、と期待している。

## 11. バイオリージョン

バイオリージョンbioregion とは、「生命地域」と訳されているが、気候、地形、流域、土壌、野生植物、野生動物など、独特の自然の特徴によって決まってくる地域の生命圏のことであり、それらの自然環境に順応し、調和した形で営まれている生活様式や都市の機能までも含めた概念である。

現在、地球の生命圏は危機的な状況に直面しつつあるが、地球全体を守るためには部分を守る必要があるとの認識から、1973年、アメリカのバーグ Berg は、プラネット・ドラム財団を設立し、バイオリージョンの概念を掲げて、地域の環境問題に取り組み始めた。

バイオリージョンの考え方は、地域の生態系の機能の回復と保全をめざすものであるが、単に自然を守ろうという環境保護運動とは異なり、地域の生命圏を認識し、それとの調和を目指して、都市も含めた形で、地域を持続可能な生活の場、「生涯の場」にしようという考え方である。すなわち、人間もまたバイオリージョンの一部であり、その生活スタイルは、自然の特徴に適応しそれらと調和することが可能であるとの認識のもとに、リインハビテーションといって、自分たちが住んでいる場所に根付くこと、地域と一体化することをめざすものである。

バイオリージョンの活動は、最初は、カリフォルニア州北部のマートル川流域での生態系回復運動として始まった。マートル川溪谷は、森林の大量伐採と牛や羊の過放牧に起因する土壌侵食によって、砂利や汚泥で埋められてしまい、サケやマスの産卵が大幅に減少していたが、河川の流域に植林をし、サケ・マスの稚魚を放流することから始めていったという。

今では、北米を中心に、200以上もの団体がボランティアに支えられながらバイオリージョンに関わる活動をしており、相互にネットワークで結ばれているという。その活動は多岐にわたるが、野生生物の保護や、清浄な水を取り戻すといった側面ばかりでなく、都市が抱えている諸問題、たとえば、廃棄物の処理に関する問題にまで、地域ぐるみで取り組んでいこうとしている。また、各種の会議やワークショップを開催し、それぞれの地域で幾つかの提言をしている。

## 12．住民参加と合意形成

戦後の日本経済の発展は円高を引き起こし、我々は外国の製品を安く手に入れることができるようになった。しかし、どんなに経済大国になっても、環境を輸入することはできない。自分たちの生活環境は、自分たちで整備・保全するしかない。そして、地域の環境をどの様に整備していったらよいのかは、そこに住む人でないと気が付かないことが多い。そういう意味で、公共性の高い森林については、その評価や計画を、地域の住民や近隣の都市住民と共有することが大切である。森林のように非常に多面的な側面をもつ生命有機体の維持・管理には、様々な分野からの視点や提言が必要であるからである。

様々な立場からの意見は、ときには、対立するであろう。そのため、最近では、合意形成という言葉がよく使われている。この言葉からは、対立する意見を合意に導くというような手法を連想させるが、こと森林計画に関する限りそうではない。森林の取り扱いは慎重でなくてはならない。ときには、憶病であった方がよいかもしれない。そして、森林の存続に関わるような決定的なことを一度に決めることは避けた方がよい。いつも、この先の5年をどうするかという計画を立て、5年後には前回の計画を反省しながら、また、5カ年計画を作成していくのである。森林計画ではフィードバックさせながら意思を決定していくのである。そして、それは終わりのない営みの継続でもある。対立する意見のどちらがよかったかは、やがて結果として表れるであろう。そうした経験や学習を共通のものとし、相互の理解を深め、信頼関係を築いていくことが、森林計画における合意形成の過程である。

したがって、森林計画における合意形成とは、決して、交渉でもなければ、駆け引きでもない。また、1回限りの勝負ではない。ましてや、不承不承、契約書にサインをして、なくな木を伐採するといった性質のものではない。

森林評価や合意形成については、ともすれば、ビジネス社会の手法が援用されることが多い。しかし、そうしたビジネス的な手法が、必ずしも、地域の環境や日常生活の付加価値を高めることにはつながらないことに注意したい。

# おわりに

以上、森林計画学の内容を10章に分けて概説したが、ページ単位でまとめたこともあり、説明が不十分な点、やむを得ず省略した点多々ある。特に、第1章と後半の5章については、最近の研究成果を十分に取り入れることができなかった。これはもとより、筆者の怠慢であり、勉強不足の現れであるが、入門書ということで許していただきたい。

1996年版としたが、将来、機会があれば、書き直したいと願っている。森林計画は5年ごとに計画を見直していくので、それに倣って、節目節目で本書を改訂することが理想である。恐らく、今度改訂するとすれば、森林評価と住民参加の章が大幅に書き換えられるであろう。現在、それほど、この領域が重要視され、社会的にも必要とされている。

森林計画学は総合的な学問であり、その内容は多岐にわたる。それは、森林計画学が実学であるからである。実践では、常に、現実の森林をどう取り扱うかという問題に対応することが求められている。現実の森林とは、何十年も、何百年も前から、そこに存在していたものであり、それぞれに過去の施業や歴史を引きずっている。森林計画では、新たな森林を一から造成するための計画を立てることは少ない。ほとんどの場合は、前の世代から引き継いだ森林を、どのように取り扱って、どのような形で次の世代に引き継ぐかという計画である。ある意味では、現在の森林をよりよい状態に誘導するための処方箋作りであるといえる。

林学は、医学や経済学と似ているところがある。医学は人体の働きに関するものであり、経済学は人間の諸活動に関するものであり、そして、林学は人間と自然環境との相互作用の働きに関するものである。このように、立場の違いはあるが、ともに、総合的な学問であり、日常生活に深く関わっている。医学では血液の循環が重要な働きをし、経済学では貨幣の循環が重要な働きをしている。林学では、水や養分の超長期の循環が重要な役割を果たしている。3者とも「循環」がキーワードになっている。営みが繰り返され、持続していくことに意味があり、より健全な状態に推移させることに努力が払われている。終わりのない世界であり、その営みが終わるのは滅びるときである。

森林経理の歴史は、持続可能で合理的な森林経営を模索してきた歴史であったといえる。いろいろと紆余曲折もあったが、200年余の歴史からえた教訓は次の2つに集約されるであろう。ひとつは、観察あるいはモニタリングを繰り返すことの重要性であり、もうひとつは、現場の判断の重要性である。森林は非常に多様性に富み、一律には取り扱えないものであるので、定期的に照査をして現況を把握することが必要であり、その取り扱いは、森林の直接あるいは間接の受益者である現場関係者の判断に基づくものがよいとするものである。いかに有能で真面目な森林計画者がいたとしても、森林のように多様なものの管理を適切に行うには限度がある。複雑で分かり難い問題に直面した時ほど、人間は、前例に頼り、マニュアルに頼る。しかし、マニュアル通りの一律的な処置が、しばしば誤った結果をもたらすのである。また、事情を知らないということは、人をして、ときに大胆にさせるが、それもまた森林の管理を誤らせる原因の一つである。森林の取り扱いを誤ったときに困るのは、その流域の人々なのであるから、その地域や流域を生活の場としている人々の意見を取り入れて計画を立案するのがよい。彼らは、自分たちの問題として、真剣に討議するであろう。なかなか結論は出ないかもしれないが、問題の深刻さや複雑さは認識してもらえらるだろう。こうした理由から、公益的な森林の森林計画には、住民参加があった方がよいと考えている。

現在、地球環境は非常に困った状況に陥りつつある。私たちは地球規模では大したことはできないけれども、身近な自然環境や森林を保全したり改善していくことなら少しは協力できそうである。自分たちの生活環境は自分たちで守るしかない、と感じたとき、具体的な改善案が出てくるであろう。富は創意と工夫によってもたらされるものである。地域の付加価値を高めていくことが、豊かな生活環境へとつながっていく。たとえ小さな改善であっても、そこに確かな手応えがあれば、喜びとなり、自信がつく。やがて夢も生まれてくる。そして、それらの喜びや夢を分かち合える人がいるということは、貨幣価値では到底評価できないものである。本書が、森林計画への参画のきっかけになれば幸いである。

本書の出版に際し、森林計画学会出版局の東京農工大学教授 木平勇吉博士には大変お世話になった。ここに記して厚くお礼申し上げる。また、私事で申し訳ないが、妻ルミ子の理解と協力に心から感謝する。



# 参 考 文 献

日林関東支論：日本林学会関東支部大会発表論文集

日林誌：日本林学会誌

日林論：日本林学会大会発表論文集

J. Jpn. For. Soc. : Journal of the Japanese Forestry Society (日林誌)

J. PC-For. : Journal of PC-Forestry

森林計画誌：森林計画学会誌

林統研誌：林業統計研究会誌

林試研報：林業試験場研究報告

## 【第1章：森林資源と私たちの暮らし】

DEVEZE M.〔猪俣禮二：訳〕(1973) 森林の歴史. 157pp, 白水社, 東京.

外務省・農林水産省・林野庁監修(1986) 世界の森林と緑の国際協力. 276pp,  
日本林業調査会, 東京.

石 弘之(1985) 蝕まれる森林. 255pp, 朝日新聞社, 東京.

川崎寿彦(1987) 森と人間 2000年. 182pp, 日本林業技術協会, 東京.

国際林業協力研究会編(1993) '92国連環境開発会議と緑の地球経営. 388pp,  
日本林業調査会, 東京.

神足勝浩(1987) 熱帯林のゆくえ みどりの国際協力. 200pp, 築地書館, 東京.

森 巖夫(1988) 日本林業の進路を考える -NHKラジオ放送より-.  
174pp, 全国林業改良普及協会, 東京.

日本林業調査会編(1989) 地球環境問題と森林・林業. 84pp, 日本林業調査会.

林野庁(1993) 平成4年度 林業白書. 228pp+39pp, 日本林業協会, 東京.

林野庁(1994) 平成5年度 林業白書. 260pp+42pp, 日本林業協会, 東京.

魚住侑司編(1995) 日本の大都市近郊林 -歴史と展望-. 310pp,  
日本林業調査会, 東京.

WESTOBY J.〔熊崎 実：訳〕(1990) 森と人間の歴史. 275pp, 築地書館, 東京.

読売新聞環境問題取材班編(1975) 緑と人間. 198pp, 築地書館, 東京.

## 【第2章：森林計画の基礎概念】

平田種男(1983) 林業経営原論. 158pp, 地球社, 東京.

井上由扶(1974) 森林経理学. 298pp, 地球社, 東京.

片山茂樹・田中祐一(1954) 森林経理. 340pp, 林野共済会, 東京.

日本林業技術協会編(1971) 新版 林業百科事典. 1168pp, 丸善, 東京.

鈴木太七(1979) 森林経理学. 197pp, 朝倉書店, 東京.

東京農工大学農学部林学科編(1987) 林業実務必携 第三版. 607pp,  
朝倉書店, 東京.

魚住侑司編（1995）日本の大都市近郊林　－歴史と展望－．310pp，  
日本林業調査会，東京．  
財団法人林学会（1990）林学検索用語集．518pp，財団法人林学会，東京．

### 【第3章：収穫規整】

平田種男（1983）林業経営原論．158pp，地球社，東京．  
井上由扶（1974）森林経理学．298pp，地球社，東京．  
片山茂樹・田中祐一（1954）森林経理．340pp，林野共済会，東京．  
鈴木太七（1979）森林経理学．197pp，朝倉書店，東京．  
鈴木太七（1985）森林経理学における保続概念．林業経済442:6～9．  
東京農工大学農学部林学科編（1987）林業実務必携　第三版．607pp，  
朝倉書店，東京．

### 【第4章：最適輪伐期論】

DIXON, J. A., R. A. CARPENTER, L. A. FALLON, P. B. SHERMAN and  
S. MANOPIMOKE [長谷川 弘：訳]（1991）環境はいくらか  
環境の経済評価入門．142pp，築地書館，東京．  
平田種男（1983）林業経営原論．158pp，地球社，東京．  
井上由扶（1974）森林経理学．298pp，地球社，東京．  
井上由扶・石黒富美男（1976）森林評価、林業簿記．282pp，地球社，東京．  
熊崎 実（1985）転換期の林業経営　－長伐期林業への道－．79pp，  
林業科学技術振興所，東京．  
熊崎 実（1989）林業経営読本．237pp，日本林業調査会，東京．  
鈴木太七（1979）森林経理学．197pp，朝倉書店，東京．  
TANAKA, K. (1991) The form of the capital structure and optimal  
rotation. Considerations based on the present value of  
future profits. J. Jpn. For. Soc. 73:106～117.  
田中和博（1994）持続可能な社会におけるプロジェクト評価基準とは－NPV  
に替わるPVFPの考え方－．第1回サステイナブル・ソサエティ  
記念論文集，69～72，同編集委員会事務局，滋賀県志賀町．

### 【第5章：恒続林思想と照査法】

DEVEZE M. [猪俣禮二：訳]（1973）森林の歴史．157pp，白水社，東京．  
井上由扶（1974）森林経理学．298pp，地球社，東京．  
片山茂樹・田中祐一（1954）森林経理．340pp，林野共済会，東京．  
片山茂樹（1968）ドイツ林学者傳．609pp，林業経済研究所，東京．  
KNUCHEL H. [山畑一善：訳]（1986）照査法．139pp，都市文化社，東京．  
黒田迪夫（1962）ドイツ林業経営学史．239pp，林野共済会，東京．  
MOLLER A. [山畑一善：訳]（1984）恒続林思想．211pp，都市文化社，東京．  
鈴木太七（1979）森林経理学．197pp，朝倉書店，東京．

## 【第6章：ORによる森林計画】

- BUONGIORNO J. and GILLESS J. K. [岡 裕泰・黒川泰亨：監訳] (1993) 森林経営と経済学 数理的方法の基礎. 308pp, 森林総合研究所林業経営部, 筑波.
- 広中平祐代表 (1991) 現代数理科学事典. 1310pp, 大阪書籍, 大阪.
- 石橋整司・田中和博 (1984) スーパーコンピュータS-810による0-1計画法の実効性について. 36回日林関東支論, 31~32.
- 科学技術庁資源局 (1963) 木材の生産予測について (II) 林業における収穫予測の数学的研究, 54pp.
- 木平勇吉 (1981) 収穫予定のための0-1線型計画の解法 (I) 加速列挙法の開発. 日林誌63:345~353.
- 木平勇吉 (1981) 収穫予定のための0-1線型計画の解法 (II) 適用方法と処理能力. 日林誌63:392~399.
- 小山昭雄・森田道也 (1980) オペレーションズ・リサーチ. 288pp, 培風館, 東京.
- 黒川泰亨・小林藤雄 (1989) 林業経営とオペレーションズ・リサーチ, 86pp, 林業科学技術振興所, 東京.
- 森口繁一 (1957) 線形計画法入門. 161pp, 日科技連, 東京.
- 南雲秀次郎 (1974) 線型モデルによる収穫予定法の研究 (I) 0-1計画法の適用. 日林誌56:128~135.
- 鈴木太七 (1979) 森林経営学. 197pp, 朝倉書店, 東京.
- 鈴木太七・田中和博 (1981) 0-1計画法としての収穫予定. 日林誌63:94~96.

## 【第7章：減反率と広義の法正林】

- 天野正博・野田 巖 (1984) 民有林における木材供給予測 (II) 減反率を使用する上での問題点. 95回日林論, 121~122.
- BLANDON P. (1985) Forest economics and the gentan probability distribution. J. Jpn. For. Soc. 67:478~485.
- BLANDON P. (1991) Studies on gentan probability theory and the felling behaviour of Japanese private forest owners. 389pp, 筑波大学農林学系, つくば.
- 科学技術庁資源局 (1961) 木材の生産予測について.
- 科学技術庁資源局 (1963) 木材の生産予測について (II) 林業における収穫予測の数学的研究, 54pp.
- 南雲秀次郎 (1982) 民有林の施業計画策定に関する研究 (II) 森林の法正状態に関する考察. 日林誌64:346~351.
- 鈴木太七 (1959) 遷移確率行列による収穫予定. 日林関東支研発表集, 36~38.
- 鈴木太七 (1972) 林業における確率過程論の応用 (I). 日林誌54:234~243.
- 鈴木太七 (1973) 林業における確率過程論の応用 (II). 日林誌55:234~237.

- 鈴木太七 (1979) 森林経理学. 197pp, 朝倉書店, 東京.  
 田中和博 (1979) 時間打切り標本からの減反率の推定について. 90回日林論,  
 123~124

【第8章：森林の成長モデルと収穫予測】

- 安藤 貴 (1968) 同齡単純林の密度管理に関する生態学的研究.  
 林試研報210:1~153.  
 安藤 貴 (1982) 林分の密度管理. 126pp, 農林出版, 東京.  
 CLUTTER J. L., FORTSON, J. C., PIENAAR, L. V., BRISTER, G. H. and  
 BAILEY, R. L. (1983) Timber management : A quantitative  
 approach. 333pp, John Wiley & Sons, New York.  
 本多静六原著 (1975) 増補改訂 森林家必携. 814pp, 林野弘済会, 東京.  
 JOHNSON K. N., T. W. STUART and S. A. CRIM [森林総合研究所 北海道支所  
 経営部 部内研究会] (1993) FORPLAN Version 2 : アメリカ合衆国  
 国有林の森林計画システム. 124pp, 森林総合研究所北海道支所,  
 札幌.  
 嘉戸昭夫・田中和博 (1995) タテヤマスギの樹幹解析資料から推定したシステ  
 ム収穫表の成長パラメータ. 日林論106:185~188.  
 KILGOUR B. (1992) FRIYR : An integrated and computerized system for  
 forest management and yield regulation. Proc. of IUFRO Symp.  
 on integrated forest management information system 1991.  
 Jpn. Soc. For. Plann. Press, Tokyo, 57~65.  
 吉良竜夫編 (1957) 密度・競争・生産.  
 みやま8:13~24, 9:9~18, 11&12:34~45, 大阪営林局.  
 木平勇吉 (1992) システム収穫表. 138pp, 科研成果報告書No.02304022,  
 東京農工大学農学部, 東京.  
 木平勇吉 (1995) システム収穫表プログラム. 198pp,  
 科研成果報告書No.04556019, 東京農工大学農学部, 東京.  
 箕輪光博 (1982) 林木の生長に関する理論的考察 (I) log-MITSCHERLICH式  
 の理論. 日林誌64:461~467.  
 箕輪光博 (1983a) 林木の生長に関する理論的考察 (II) 自己間引モデルの検  
 討. 日林誌65:135~142.  
 箕輪光博 (1983b) 林木の生長に関する理論的考察 (III) 三次元log-MITSCHER  
 LICH式系. 日林誌65:417~426.  
 箕輪光博 (1984) 林木の生長に関する理論的考察 (IV) log-MITSCHERLICH式  
 と単木の生長およびワイブル分布の一般化と相対生長.  
 日林誌66:183~191.  
 箕輪光博 (1985) 線形システムとしての林分の生長. 林統研誌10:1~24.  
 内藤健司 (1983a) RICHARDS functionに基づいた林分生長解析 (I)  
 W-N trajectory. 日林誌65:399~407.

- 内藤健司 (1983b) 分布関数としてのRICHARDS function. 35回日林関東支論: 51~54.
- 内藤健司 (1984a) RICHARDS functionに基づいた林分生長解析 (II) 最多密度曲線. 日林誌66:10~16.
- 内藤健司 (1984b) RICHARDS functionに基づいた林分生長解析 (III) W-N曲線. 日林誌66:454~461.
- 内藤健司・白石則彦 (1983a) RICHARDS functionの分類と林分生長曲線への応用 (I) 増加型関数について. 日林誌65:248~252.
- 内藤健司・白石則彦 (1983b) RICHARDS functionの分類と林分生長曲線への応用 (II) 減少型関数について. 日林誌65:294~298.
- 南雲秀次郎・箕輪光博 (1990) 測樹学. 243pp, 地球社, 東京.
- 大隅眞一 (1977) RICHARDSの生長関数. 林統研誌2:47~58.
- 大隅眞一編 (1989) RICHARDS成長関数の応用のために. 林統研誌14:12~27.
- 坂口勝美監修 (1980) 間伐のすべて. 331pp, 日本林業調査会, 東京.
- SHINOZAKI K. and T. KIRA (1956) Intraspecific competition among higher plants VII. Logistic theory of the C-D effect. J. Inst. Polytech. Osaka City Univ. Ser. D7:35~72.
- SLOBODA, B. (1976) Mathematische und stochastische Modelle zur Beschreibung der Dynamic von Baumen und Beständen, insbesondere das bestandesspezifische Wachstum als stochastischer Prozess, Freiburg i. Br. eingereicht als Habilitation an der Forstl. Fakultät. 153~265.
- SLOBODA, B. (1984) Possibilities of mathematically predicting timber production in commercial forests. Bull. Nagoya Univ. For. 7:261~279.
- 鈴木太七 (1966) 確率過程としての林分の遷移 (I). 日林誌48:436~439.
- 鈴木太七 (1967a) 確率過程としての林分の遷移 (II). 日林誌49:17~19.
- 鈴木太七 (1967b) 確率過程としての林分の遷移 (III). 日林誌49:208~210.
- 鈴木太七 (1967c) 確率過程としての林分の遷移 (IV). 日林誌49:402~404.
- 鈴木太七 (1979) 森林経理学. 197pp, 朝倉書店, 東京.
- 鈴木太七・田中和博 (1981) 確率過程としての林分の遷移 (VI). 日林誌63:273~277.
- 田中和博 (1986a) 直径分散の増加と拡散モデル. 林統研誌11:9~21
- TANAKA, K. (1986b) A stochastic model of diameter growth in an even-aged pure forest stand. J. Jpn. For. Soc. 68:226~236.
- TANAKA, K. (1988) A stochastic model of height growth in an even-aged pure forest stand. J. Jpn. For. Soc. 70:20~29.
- 田中和博 (1991a) 各成長段階における最大林分断面積の推定. 森林計画誌16:99~124.

- 田中和博 (1991b) 林分の成長に伴う樹高曲線の転位と修正HENRICKSEN式の適用.  
日林誌73:172~177.
- 田中和博 (1991c) 森林の成長モデル. 特集: 森林の管理手法.  
森林科学 3:28~31.
- 田中和博 (1995) 森林資源管理情報システムにおける成長予測システムの役割  
と課題. 日林論106:189~192.
- TENNENT R. B. (1992) Development of the Stand Master, a database for  
forest information. Proc. of IUFRO Symp. on integrated  
forest management information system 1991.  
Jpn. Soc. For. Plann. Press, Tokyo, 76~84.
- 梅村武夫・鈴木太七 (1974) 確率過程としての林分の遷移 (V) .  
日林誌56:195~204.

#### 【第9章:GISとGPS】

- 木平勇吉・川上 浩 (1989) 地理情報システム GIS kitのガイドブック.  
信州大学農学部森林科学科.
- 日本測地学会編著 (1989) 新訂版 GPS 人工衛星による精密測位システム.  
272pp, 日本測量協会, 東京.
- STAR, J. and J. ESTES [岡部篤行・貞広幸雄・今井 修: 訳] (1992)  
入門地理情報システム. 235pp, 共立出版, 東京.
- 田中和博・藤田昌也・坪井知美 (1992) GPSとビッターリッヒ法を併用した  
森林調査法 (I) その利点と応用上の問題点. 103回日林論:  
119~120.
- 土屋 淳・辻 宏道 (1991) やさしいGPS測量. 376pp, 日本測量協会, 東京.
- 露木 聡 (1994) 森林資源調査におけるGPS利用の可能性 ディファレンシ  
ャルGPS測位精度の比較. 森林計画誌23:45~58.

#### 【第10章:森林評価と住民参加】

- 赤尾健一 (1993) 森林経済分析の基礎理論. 203pp, 京都大学農学部, 京都.
- DIXON, J. A., R. A. CARPENTER, L. A. FALLON, P. B. SHERMAN and  
S. MANOPIMOKE [長谷川 弘: 訳] (1991) 環境はいくらか  
環境の経済評価入門. 142pp, 築地書館, 東京.
- 熊崎 実 (1977) 森林の利用と環境保全. 202pp, 日本林業技術協会, 東京.
- 箕輪光博 (1993) AHPによる森林の機能評価. J.PC-For.11:123~131
- 野口悠紀雄 (1982) 公共経済学. 228pp, 日本評論社, 東京.
- PEARCE, D. W., A. MARKANDYA and E. B. BARBIER [和田憲昌: 訳] (1994)  
新しい環境経済学 持続可能な発展の理論. 206pp,  
ダイヤモンド社, 東京.
- 東京農工大学農学部林学科編 (1987) 林業実務必携 第三版. 607pp,  
朝倉書店, 東京.

# 日本の森林計画制度

主要参考図書 日本林業技術協会編：新版 林業百科事典，丸善，1971  
 森林計画研究会 会報 340・341合併号，1991  
 林野庁：平成3年度 林業白書，日本林業協会，1992  
 小澤普照：森林持続政策論，東京大学出版会，1996

日本の森林法は、明治30年（1897）に制定され、その後、明治40年（1907）の第二次森林法の制定、昭和14年（1939）の改正、昭和26年（1951）の第三次森林法の制定を経て現在に至っている。各森林法の特徴は、下の表の通りである。

第三次森林法は、その後、何度も一部改正が行われており、時代の変化にあわせて拡充されてきたが、平成3年（1991）には、大幅な改正が行われ、流域管理システムが導入された。流域管理システムの概略は次に述べる通りであるが、詳細等については上記文献を参照のこと。

日本の森林法の流れ

|                             |                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 第一次森林法<br>明治30年制定<br>(1897) | 江戸時代末期、明治維新前後の全国的な森林荒廃に対して、森林資源の保続培養と森林の国土保安・保全機能の保持を目的として作られた監督取締法規。                                                                                                                           |
| 第二次森林法<br>明治40年制定<br>(1907) | 林業を振興、助長させるための法規が追加された。<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・林道設置などのための土地使用、収用制度</li> <li>・森林組合制度</li> <li>・公有林、社寺有林の施業案制度</li> </ul> ※昭和14年（1939）の改正により、50町歩以上の私有林についても施業案制度が適用されるようになった |
| 第三次森林法<br>昭和26年制定<br>(1951) | 第二次世界大戦前後の過伐、濫伐により荒廃した森林の復旧と造林を目指した。<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・洪水、林地崩壊の防備</li> <li>・林産物の最大保続生産</li> <li>・GHQによる、「森林計画制度」への民主化</li> </ul>                                       |

平成3年4月の森林法の一部改正以前の森林計画制度の体系は、昭和37年の森林法の改正により設けられた体系を原型とするものであって、

- ①農林水産大臣が全国の森林についてたてる全国森林計画
- ②都道府県知事が民有林についてたてる地域森林計画
- ③森林整備市町村がたてる森林整備計画
- ④森林所有者がたて、都道府県知事の認定を受ける森林施業計画
- ⑤営林（支）局長が国有林についてたてる地域施業計画

等から構成されるものであった。

しかし、日本経済の成熟化に伴い、森林に対する社会的な要請が、次の二つの側面で大きく変化してきた。すなわち、一つは、森林の公益的機能、特に、水源かん養機能と保健文化機能に対する国民の要請の高まりであり、もう一つは、日本の林業・木材業の空洞化とそれに伴う山村社会の極度の疲弊である。いまや、林業・木材業の衰退、山村社会の崩壊、森林の管理不足、森林の公益的機能の低下といった心配が現実のものになりつつある。こうした状況をふまえて、平成2年12月、林政審議会は、「民有林、国有林を通じて、

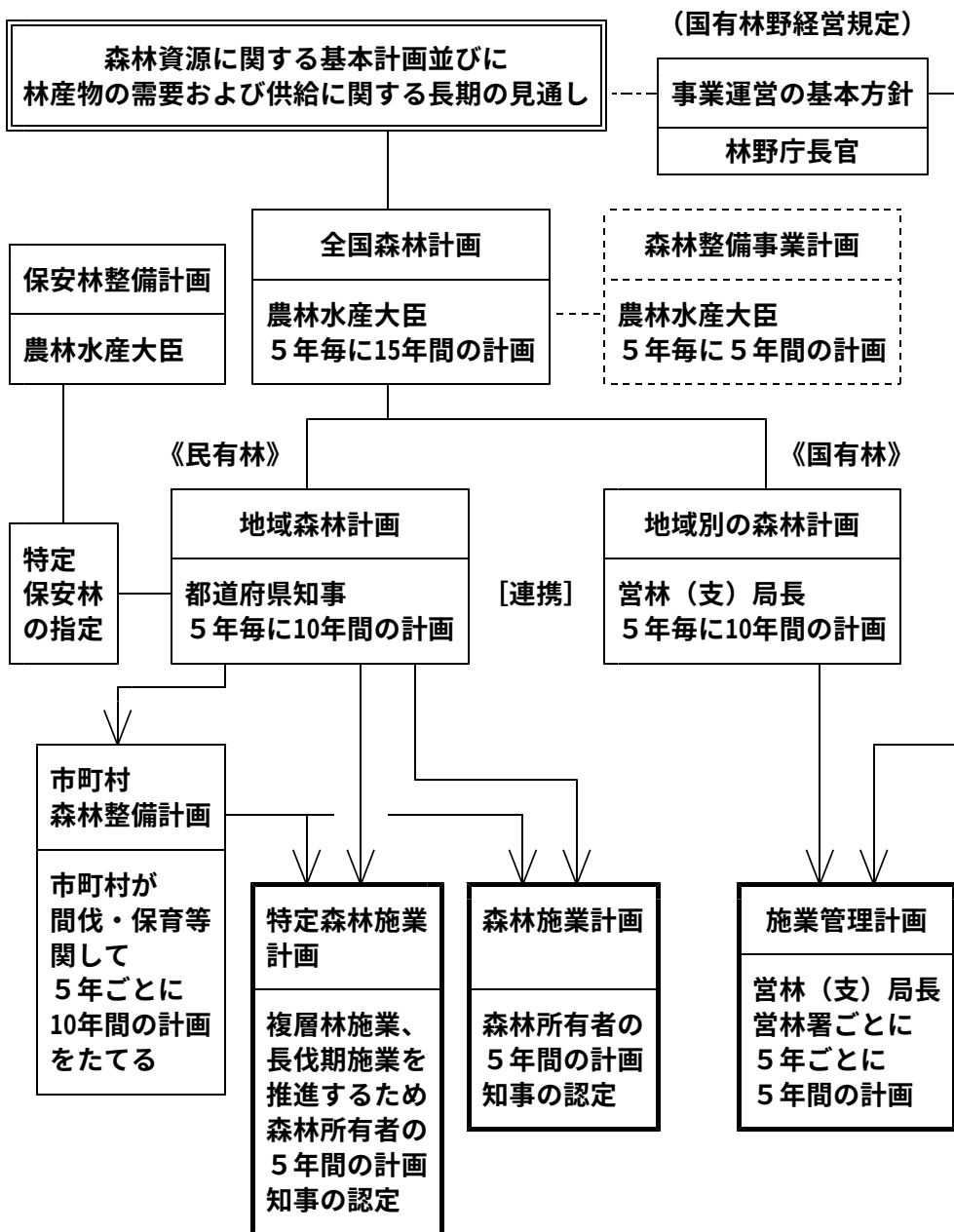
- ①緑と水の源泉である多様な森林の整備
- ②国産材時代を実現するための林業生産、流通・加工における条件整備

を林政の基本的課題とし、その達成のための諸施策の重点的な展開を図ることが必要である」という内容の答申を行った。それを受けて、平成3年4月に森林法の一部改正が行われたのである。主な改正点は、以下の通りである。

- ①民有林・国有林を通じ流域を基本単位とした森林計画制度の再編
- ②造林、林道投資計画制度の導入
- ③市町村森林整備計画の計画事項の拡充
- ④流域上下流間の森林整備に係わる協定締結の促進
- ⑤複層林、長伐期施業を促進するための特定森林施業計画の創設
- ⑥森林・林地の保全管理の適正化を図るための林地開発許可制度の改善

今回の改正は、森林計画制度を、従来の資源管理的な制度から、地域森林資源に対する総合的な政策制度に脱皮させようとするものであろう。そこには、森林管理の基本思想として、地域や流域を単位とする森林の管理、市町村の役割強化、複層林施業や長伐期施業への移行などの流れが見られる。





## 日本の森林計画制度の体系

平成3年(1991)4月9日国会成立

森林計画研究会 会報340・341合併号(1991)より抜粋

- 【全国森林計画】森林法第4条の規定に基づき、森林資源に関する基本計画並びに重要な林産物の需要および供給に関する長期の見通しに即し、農林水産大臣が閣議決定を経て5年ごとにたてる15年間の計画。
- 【森林整備事業計画】森林法第4条の規定に基づき造林、林道等の事業量等に関し、農林水産大臣が閣議決定を経て5年ごとにたてる5年間の計画。
- 【保安林整備計画】保安林整備臨時措置法第2条の規定に基づき農林水産大臣がたてる計画。特定保安林につき地域森林計画の変更等がある。
- 【国有林野の事業運営の基本方針】基本計画・長期見通しを勘案し、随時たてる。
- 【地域別の森林計画】国有林を対象とした計画。全国で158計画区。森林法第7条の2の規定に基づき、営林（支）局長が、全国森林計画に即し、森林計画区域内のその管理経営する国有林について5年ごとにたてる10年間の計画。今回の改正により、同一森林計画区の民有林の地域森林計画と、同一時期にたてることになった。
- 【施業管理計画】地域別の森林計画等に基づき、国有林野につき、営林署ごとに、5年ごとにたてる5年間の計画
- 【地域森林計画】民有林を対象とした計画。全国で158計画区。森林法第5条の規定に基づき、都道府県知事が、全国森林計画に即し、毎年ほぼ1／5の森林計画区域内の民有林について5年ごとにたてる10年間の計画。
- 【市町村森林整備計画】都道府県知事によって指定された市町村が森林法第10条の8の規定に基づき、当該市町村内の民有林の間伐、保育等に関し、5年ごとにたてる10年間の計画。地域森林計画に適合すること。
- 【特定森林施業計画】森林法第18条の2の規定に基づき、特定施業森林区域内に存する森林の森林所有者が、当該森林の全部又は一部につき、複層林施業又は長伐期施業を推進するため5年を一期として作成し、都道府県知事の認定を受ける計画。地域森林計画並びに市町村森林整備計画に照らして適当と認められること。
- 【森林施業計画】森林法第11条又は第18条の規定に基づき、森林所有者が自発的にその所有に係る森林（特定森林施業計画の認定に係る森林を除く）につき5年を一期として作成し、都道府県知事の認定を受ける計画。地域森林計画並びに市町村森林整備計画に照らして適当と認められること。

## 関連する主な学会・研究会と雑誌

---

五十音順

森林計画学会 「森林計画学会誌」「Journal of Forest Planning」  
〒606 京都市左京区下鴨半木町1 京都府立大学農学部林学科内  
TEL 075-781-3131 内線263 FAX 075-722-8277

森林計画研究会 「森林計画研究会 会報」  
〒100 東京都千代田区霞ヶ関1-2-1 林野庁指導部計画課内  
TEL 03-3502-8111 内線6201

森林GISフォーラム 「森林GISフォーラム ニュースレター」  
〒106 東京都港区南麻布4-6-7 統計数理研究所内  
TEL 03-5421-8743 FAX 03-5421-8796

森林文化協会 「グリーン・パワー」「森林文化研究」  
〒104-11 東京都中央区築地5-3-2 朝日新聞東京本社内  
TEL 03-5540-7686 FAX 03-5540-7662

森林立地学会 「森林立地」  
〒305 茨城県稲敷郡茎崎町松の里1 森林総合研究所森林環境部内  
TEL 0298-73-3211 内線358

森林利用学会 「森林利用学会誌」  
〒113 東京都文京区弥生1-1-1  
東京大学農学部林学科 森林利用研究室内  
TEL 03-3812-2111 内線5205 FAX 03-5800-6994

全国林業改良普及協会 「GR現代林業」  
〒107 東京都港区赤坂1-9-13 三会堂ビル  
TEL 03-3583-8461 FAX 03-3583-8465

大日本山林会 「山林」  
〒107 東京都港区赤坂1-9-13 三会堂ビル 7階  
TEL 03-3587-2551 FAX 03-3587-2553

地理情報システム学会 「GIS－理論と応用」

〒113 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学工学部都市工学科（気付）  
TEL/FAX 03-5800-6964

日本生態学会 「日本生態学会誌」「Ecological Research」

〒603 京都市北区小山西花池町1-8 土倉事務所・日本生態学会係  
TEL 075-451-4844 FAX 075-441-0436

日本林学会 「日本林学会誌」「森林科学」「Journal of Forest Research」

〒102 東京都千代田区六番町7 日本林業技術協会別館内  
TEL/FAX 03-3261-2766

日本林業技術協会 「林業技術」「森林航測」

〒102 東京都千代田区六番町7  
TEL 03-3261-5281 FAX 03-3261-5393

日本林業経営者協会 「林経協月報」

〒107 東京都港区赤坂1-9-13 三会堂ビル 9階  
TEL 03-3584-7657 FAX 03-3585-7857

PC林学友の会 「Journal of PC-Forestry」

〒113 東京都文京区弥生1-1-1  
東京大学農学部林学科 森林経理学研究室内  
TEL 03-3812-2111 内線5201 FAX 03-5689-7253

林業科学技術振興所 森林・林業関係の図書の出版

〒102 東京都千代田区六番町7 日本林業技術協会別館内  
TEL 03-3264-3005 FAX 03-3222-0797

林業経済学会 「林業経済研究」

〒114 東京都北区田端2-7-26-201  
TEL 03-3828-6602

林業経済研究所 「林業経済」

〒114 東京都北区田端2-7-26-201  
TEL 03-3828-6602

林木の成長機構研究会 「林木の成長機構」

〒305 茨城県稲敷郡莚崎町松の里1 森林総合研究所森林環境部内  
TEL 0298-73-3211 内線354

## 19世紀のドイツを中心とした森林經理の歴史

主要参考図書 黒田迪夫：ドイツ林業経営学史．林野共済会，1962  
 片山茂樹：ドイツ林学者傳．林業経済研究所，1968  
 ドヴェーズ（猪俣禮二訳）：森林の歴史．白水社，1973

| 林 学 史                                                                    | 一 般 史                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 1359 エルフルト市有林で区画輪伐法                                                      | 14～16世紀 ルネサンス<br>16世紀 ドイツ（特にザクセン国）はヨーロッパ随一の金属生産国<br>大量の燃材を消費<br>1517 ルター 宗教改革 |
| 1561 ノエ・モイラー「狩獵および森林法」<br>ヨーロッパ最初の林学の専門書。                                |                                                                               |
| 1597 ヨハネス・コレルス「森林について」<br>針葉樹の植栽法、ナラ林の伐採法等。                              | 1618 30年戦争（～1648）<br>1701 プロイセン王国成立                                           |
| 1713 カルロヴィッツ「経済的育林法」<br>ザクセン国の鉱山王<br>林業のみを論じた最初の本。<br>鉱山備林の荒廃を復旧させようとした。 |                                                                               |
| 1734 ステッセル、イエーナ大学で官房財政学の一部として林学の講義を始める。                                  |                                                                               |
| 1757 モーゼル「林業経済原論」。官房学者<br>林業とは、森林の利用と維持にかかわる業務である。                       |                                                                               |
| 1759 ベックマン、材積配分法                                                         | 1765 この頃、イギリスで、産業革命始まる                                                        |
| 1767 フィーレンクレー<br>「林業技術者用の数学の基礎」                                          | 1769 ワット、本格的な蒸気機関発明                                                           |

| 林 学 史                                                                                                      | 一 般 史                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                            | 1776 アメリカ独立宣言<br>1783 石炭を利用する製鉄法完成                                     |
| 1787 フライブルク大学に林学講座創設<br>初代教授はトルンク                                                                          |                                                                        |
| 1788 カメラルタキセ法がオーストリア皇室令に採用される<br>トルンク「新完全林学教科書、すなわち、森林法、森林警察、林業経済の体系的基礎、理論と実践」<br>林業は国家及び公共社会のために利用を考慮すべき。 |                                                                        |
|                                                                                                            | 1789 フランス革命                                                            |
| 1791 ハルティッヒ「森林官のための林木育成指針」<br>1795 ハルティッヒ「森林経理指針」、材積平分法<br>コッタ、チルバッハに私立森林学校創設                              |                                                                        |
|                                                                                                            | 1798 テーア、農業も収益を追求するひとつの営業であるという趣旨の著書を著す                                |
| 1804 コッタ「森林経理の体系的入門」<br>面積平分法、簡単な複利計算を使用。                                                                  | 1804 ナポレオン、フランス皇帝に即位<br>1806 神聖ローマ帝国解体<br>1807 シュタインの改革始まる<br>農奴・職人の解放 |
| 1808 ハルティッヒ「森林官ならびに森林官を目指す人のための教科書」                                                                        |                                                                        |
| 1811 コッタ、齢級法を提唱<br>1812 ハルティッヒ、前価計算に単利計算を使用<br>1813 ケーニッヒ、土地収穫価を発表                                         | 1811 ドイツ農業改革                                                           |
|                                                                                                            | 1814 ナポレオン退位<br>ウィーン会議<br>ドイツ連邦成立                                      |
| 1816 コッタ、ターラントに高等山林学校開校<br>1817 コッタ「造林指針」<br>1819 コッタ、前価計算に複利計算を使用<br>1820 コッタ「森林経理と森林評価の指針」               |                                                                        |

| 林 学 史 |                                                           |        | 一 般 史 |                              |  |
|-------|-----------------------------------------------------------|--------|-------|------------------------------|--|
| 1822  | パイル「国民経済学と国家財政学に関する<br>林業の原則」                             |        |       |                              |  |
| 1824  | ナンシー林業専門学校創立（フランス）                                        |        |       |                              |  |
| 1826  | フンデスハーゲン「新しい科学的基礎に基づく<br>森林の収穫査定」。フンデスハーゲン法。              |        |       |                              |  |
| 1828  | フンデスハーゲン「林業百科事典」<br>林業学が森林生産学と森林経営学の<br>2大柱からなると体系づけた。    |        |       |                              |  |
| 1830  | エーベルスワルデ林科大学設立                                            |        | 1830  | イギリスで鉄道正式<br>に開業             |  |
| 1831  | コッタ「林学概論」<br>ハルティッヒ「林学全書」                                 |        |       |                              |  |
|       |                                                           |        | 1835  | ドイツで鉄道開始                     |  |
| 1836  | マルティン、マルティン法                                              |        |       |                              |  |
|       |                                                           |        | 1837  | モールス符号による<br>電信通信開始          |  |
| 1841  | カール・ハイエル「森林収穫規整」                                          |        |       |                              |  |
| 1842  | ケーニヒ、林価算法の理論を発表                                           |        |       |                              |  |
| 1849  | ファウストマン、土地期望価を発表                                          |        |       |                              |  |
| 1852  | オーストリアとバイエルンで保安林設定法議決<br>マンテル、マンテル法                       |        |       |                              |  |
| 1853  | ナポレオン三世の大造林 600ha                                         |        |       |                              |  |
| 1858  | グスタフ・ハイエル「林業の純収益」<br>土地純収益説。<br>パイル、これを批判<br>プレスラー、指率法発表。 |        |       |                              |  |
| 1859  | ナポレオン三世の大造林（～1863）                                        | 7654ha | 1859  | ダーウィン<br>「種の起源」              |  |
|       | プレスラー、土地純収益説                                              |        |       |                              |  |
|       |                                                           |        | 1861  | アメリカで南北戦争<br>（～1865）         |  |
|       |                                                           |        | 1862  | ビスマルク<br>プロイセンの首相<br>（～1890） |  |
| 1863  | ガイヤー「森林利用」                                                |        |       |                              |  |
| 1865  | ドイツ農林業者大会、<br>ユーダイヒ、プレスラーの土地純収益説支持                        |        |       |                              |  |
|       |                                                           |        | 1868  | 明治維新                         |  |
| 1871  | ユーダイヒ「森林経理学」。林分経済法                                        |        | 1871  | ドイツ第二帝国成立<br>（～1918）         |  |

| 林 学 史 |                                                          | 一 般 史 |                                       |
|-------|----------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------|
| 1875  | ボヘミヤ地方で木食い虫大発生                                           |       |                                       |
| 1878  | ボルクグレーヴェ、森林純収益説<br>ギュルノー「面積法実施のための経理手帳」<br>ガイヤー、自然に帰れと主張 | 1878  | パリ万国博覧会                               |
| 1880  | ガイヤー「造林」                                                 |       |                                       |
| 1882  | フランスで山岳地帯の大造林はじまる<br>(～1940) のべ20万ha以上                   | 1882  | ドイツ・オーストリア・イタリア三国同盟成立                 |
| 1890  | ビオレイ、照査法をヌーシャテル全州に導入                                     |       |                                       |
| 1895  | ニュルンベルク周辺の松林に毒蛾大発生                                       |       |                                       |
| 1899  | プロイセンで保安林設定法案を議決                                         |       |                                       |
| 1902  | ワグナー、帯状画伐作業                                              |       |                                       |
| 1903  | エーベルハルト、楔形傘伐作業                                           |       |                                       |
|       |                                                          | 1904  | ウェーバー<br>「プロテスタントの<br>倫理と資本主義の<br>精神」 |
| 1907  | ワグナー「森林における場所的秩序付け<br>の基礎」                               |       |                                       |
| 1908  | マイヤー「自然法則を基礎とする造林」                                       |       |                                       |
|       |                                                          | 1914  | 第一次世界大戦<br>(～1918)                    |
| 1919  | ビオレイ、照査法を発表                                              | 1919  | ヴェルサイユ条約                              |
| 1920  | ビオレイ「経験法に基づく森林経理、<br>特に照査法」                              |       |                                       |
| 1922  | メラー、恒続林思想                                                |       |                                       |
| 1928  | ワグナー「理論森林経理学教本」。<br>法正林批判                                |       |                                       |
|       |                                                          | 1929  | 世界恐慌起こる                               |
|       |                                                          | 1939  | 第二次世界大戦<br>(～1945)                    |
|       |                                                          | 1949  | 東西ドイツ成立                               |
|       |                                                          | 1989  | ベルリンの壁崩壊                              |
|       |                                                          | 1990  | 統一ドイツ誕生                               |
|       |                                                          | 1992  | 国連環境開発会議<br>(地球サミット)                  |



森林計画学入門  
1996年版

索引

【あ】

秋の法正蓄積 41  
アグロ・フォレストリィ 13  
アメニティ 153  
アンケート調査 155  
安定状態 99,107

【い】

異化量 118  
育成天然林 25  
育林体系 19,31  
育林目標 113  
意思決定支援機能 140  
意思決定支援システム 132  
一変数材積表 79,80  
一斉林 25,74  
一対比較法 156,158  
入会林 27  
異齡混交林 26,77,78  
異齡林 25  
陰樹 70

【う】

うっ閉 28,145  
雨緑樹林 24

【え】

映像情報 136  
栄養問題 85,87  
枝打ち 30  
枝番号 28  
FOA法 95

【お】

お絵かき機能 140  
OR 84  
ORの歴史 84  
オーバーレイ 138  
奥山天然林 27  
オペレーションズ・リサーチ 84  
重み 93,156,157,158,160  
重み付け 161  
重み付き評点 157  
終わりのない営み 163  
終わりのない世界 164  
音声情報 136  
温帯林 24

【か】

海外の収穫予測システム 132  
回帰年 29  
 $\chi^2$ 分布を用いる減反率推定法 102  
皆伐 26,66,74,75,76,77,146  
皆伐高林作業 75,76,83  
外部経済 6  
開放伐 70  
改良期 42  
外力 123,124  
カウント木法 147  
拡散の理論 122  
画伐 70,71  
画伐作業 69  
確率過程 96,122  
確率微分方程式 123  
確率論的樹高成長モデル 126,129  
確率論的直径成長モデル 124,125,127,  
129  
重ね合わせ 138  
下種伐 70  
画素 135,139  
下層間伐 112  
画像情報 136  
貨幣価値 165

貨幣単位 148  
カメラルタキセ法 42  
夏緑樹林 24  
環境政策 160  
環境整備 161  
環境破壊 160  
環境は輸入できない 163  
環境保全機能 156,158  
還元価式 49  
幹材積 9  
観察 165  
換算面積 100,101,103  
感度分析 91  
間伐 30,74,110,129,130  
間伐回数 113  
間伐計画 114  
間伐効果モデル 129  
間伐の効果 130  
間伐率 113  
官房学 23,42,66  
完満 31

#### 【き】

機会費用 152  
機会費用法 152  
聞き取り調査 155  
期首樹高 126  
期首直径 124  
基準林齢 121  
擬制市場評価法 155  
期待値による評価 59  
木の育て方は木に尋ねよ 68  
基本計画 174,175  
吸引力 123  
吸収壁のあるモデル 122  
胸高直径 116,125  
競争密度効果の逆数式 130  
共通施設費 150  
喬林 26  
切り通し 149

金員総収益最高の輪伐期 54

#### 【く】

空間解析 134  
区画輪伐法 32,36  
楔型傘伐作業 73  
工夫 165  
グラーゼル式 151  
グラーゼル法 151  
グラーゼル補正式 151  
群系 24

#### 【け】

経営情報システム 132  
経営目標 114  
景観解析 139  
径級別蓄積比 83  
経済性原則 21  
形成層 125  
経理手帳 78,79  
経理表 79,80  
計量経済モデル 106  
ケストラー式 151  
現在価値 56  
検索 138  
現実林の蓄積 111  
原生林 25  
減反曲線 107  
減反率 96,100,101,102,103,104,106  
減反率計算 103,105  
減反率の推定法 102  
減反率の変動 106  
減反率の理論 96  
減反率法 101,102  
現場のGIS 142  
現場の判断 165

#### 【こ】

合意形成 163  
降雨滞留量解析 139,141

公益的機能 6  
公益的な森林 165  
後価 48  
後価式 48  
広義の法正林 107,108  
公共性原則 21  
工芸的輪伐期 46  
孔状更新地 71  
恒続林思想 66,74,77  
恒続林施業 77  
高定角 147  
後伐 70  
高伐期化 106  
公有林 27  
広葉樹 9  
広葉樹林 24  
硬葉樹林 24  
高林 26  
高齢林 25  
国産材時代 140,143,173  
国土保全林 27  
国民経済的輪伐期 54  
国有林 27  
国有林野の事業運営の基本方針 175  
個体重 118  
固有値 99  
固有ベクトル 99,158  
コルモゴロフの前向きの方程式 122  
混交林 25,66,69,70  
コンティンジェント法 155  
ゴンペルツ曲線 119  
ゴンペルツ式 119

#### 【さ】

災害予知図 141  
材積 9  
材積収穫量最多の輪伐期 47  
材積配分法 33  
材積表 117  
材積平分法 34,90

最大固有値 158  
最多密度曲線 112  
最短経路 139  
再調達原価 151  
最適解 85,91,92  
差額地代 149  
作業級 31  
作業種 31  
作業法 31,110  
里山林 27  
山火再生林 25  
産業廃棄物処理施設 155  
酸性雨 14  
酸性霧 15  
傘伐 70

#### 【し】

G I Sの応用可能性 140  
G I Sの基本機能 138  
C/Aコード 144  
G P S測量標識杭 146,147  
G P Sによる森林管理 146  
G P Sを併用した森林調査 147  
C方式 105  
C方式による減反率計算 104  
j 齢級の減反率 100,102  
j 齢級の保存率 100  
時間打ち切り標本 105  
事業区 28  
シグモイド型成長曲線 121  
地拵え 30  
市場 161  
市場価逆算法 150  
市場原理 161  
システム収穫表 114,115,128,131,136  
自然維持林 27  
自然環境 165  
自然休養林 27  
自然枯死線 112  
自然的輪伐期 46

自然に帰れ 69  
自然間引線 112  
持続可能な社会 60,65  
下刈り 30,90  
市町村森林整備計画 173,174,175  
悉皆列挙法 95  
実学 164  
支払い意思額 155  
資本価 152  
資本回収期間 150  
資本価式 49  
資本の増加率 61  
資本利益率 21  
社会経済的輪伐期 54  
若齢林 25  
収益還元価 149  
収益性原則 21  
収益率 150  
収益率最高の輪伐期 53  
重回帰分析 153  
収穫規整 19,32,88  
収穫規整法 32,68  
収穫表 41,110,114  
収穫表による収穫予測 111  
収穫予想表 110  
収穫予測 106,110  
収穫予測システム 132  
収穫予定 19,32  
修正ヘンリックセン式 130  
住民参加 148,163,164,165  
収量比数 113  
私有林 27  
樹冠 25  
樹高 117  
受光競争 74  
樹高曲線 117,128,129,131  
樹高曲線式 130  
樹高曲線転位モデル 129  
樹高曲線の転位 130  
樹高成長 121,126  
樹高成長曲線 121  
主題図 137  
主伐 31  
主木 81  
需要曲線 154  
主林木 41,110  
主林木胸高断面積合計 111  
主林木平均樹高 111  
樹齢 25  
循環 164  
循環型社会 60,65  
循環型社会の評価基準 60,61  
純現在価値 58  
純収穫論争 65  
生涯の場 162  
上限値 120,121  
照査 20,79  
照査法 45,66,78,79,116,131  
照査法の森林調査法 79  
照査法の成長量計算 81  
照査法の伐採計画 82  
上層木平均樹高 121  
小班 28  
小班枝番号 28  
小班界 135  
消費者のニーズ 161  
消費者余剰 154  
上方天然下種更新 70  
照葉樹林 24  
将来期待される純収益の現在価値 63  
将来の蓄積 111  
常緑広葉樹林 24  
植栽 30  
植栽密度 113  
植物生態地理学 74  
除地 28  
除伐 30  
指率 37  
シルブ 80,83,131  
シルブの森 115,121,128,129,130,131

シルブの森の設計思想 128  
 進級面積率 104,105  
 針広混交林 24  
 人工林 25,27,69  
 シンプレックス法 85  
 針葉樹 9  
 針葉樹林 24  
 心理学的尺度構成法 158  
 森林 8,28,76,149  
 森林価 149  
 森林管理 160,161  
 森林基本図 138  
 森林空間利用林 27  
 森林計画 18,164,165  
 森林計画学 23,164  
 森林計画支援システム 132  
 森林計画図 137,138,140  
 森林計画制度 172,173  
 森林計画の階層構造 20  
 森林計画の課題 19  
 森林計画の計画期間 20  
 森林計画の実践 20,148  
 森林計画の指導原則 21  
 森林計画の必要性 18  
 森林経理学 23  
 森林資源管理 128,134  
 森林資源構成表 97,101,104  
 森林資源に関する基本計画 174,175  
 森林純収益最高の輪伐期 52  
 森林純収益説 52,63,65  
 森林純収益率最高の輪伐期 53  
 森林純収穫説 52  
 森林整備計画 173  
 森林整備事業計画 174,175  
 森林施業 30,69,75,76,77,78  
 森林施業計画 173,174,175  
 森林総収益最高の輪伐期 54  
 森林蓄積 97  
 森林地帯でのGPS受信 145  
 森林調査 116,128  
 森林調査法 147  
 森林の公益的な機能 148,160,173  
 森林の成長モデル 110  
 森林のレクリエーション機能 154  
 森林は一個の生命体である 74  
 森林評価 148,163,164  
 森林標本調査法 84  
 森林簿 116,128,136  
 森林法 172,173  
 森林有機体 75,77  
  
 【す】  
 水源かん養機能 27,173  
 水源林 27,155  
 数式平分法 42  
 数値地形モデル 139  
 数量化Ⅰ類 153  
 スキャナー 135  
 スコア 156,158  
 鈴木の直径成長モデル 123  
 すでにj 年齢のものの第1分期の減反率 100  
 スロボダのモデル 122,123,125  
  
 【せ】  
 生活環境 163,165  
 生活の場 165  
 制限林 27  
 生産問題 86  
 生産予測 96  
 整数計画法 94  
 生態系回復運動 162  
 成長関数 119  
 成長曲線 118  
 成長速度 118,120  
 成長パラメータ 131  
 成長方程式 118,119  
 成長モデル 110,114  
 成長予測システム 132  
 成長率法 45

成長量計算 80  
成長量法 44  
静的相対測位法 145  
成木 33  
生命圏 162  
生命地域 162  
生命有機体 163  
制約条件 85,90,95  
生理的輪伐期 46  
施業 30  
施業案制度 172  
施業管理計画 174,175  
施業体系 19,31,114  
折衷平分法 35,69,90  
説明変数 153  
0-1 整数計画法 84,94  
0-1 整数計画法による  
皆伐高林の収穫規整 94  
前価 48  
前価式 48  
線形確率微分方程式 123  
線形計画法 84,85,90,132  
線形計画法による皆伐高林の収穫規整 88  
線形計画法の歴史 85  
前更作業 70,71  
全国森林計画 173,174,175  
選択的目的税 160,161  
漸伐 26,70,71,74  
全林毎木調査 116  
【そ】  
創意 165  
総資本回転率 21  
総資本経常利益率 21  
相対測位 144,145  
造林利回り 57  
造林利回り最高の輪伐期 57  
壮齡林 25  
ソーシャル・フォレストリィ 13

属性情報 136  
属性データ 136  
側方天然下種更新 70,71  
測高器 117  
疎林 8,28

#### 【た】

大衆消費社会 161  
带状画伐作業 72  
択伐 26  
択伐作業 72  
択伐林 26,75  
多段林 25  
縦割り行政 161  
タリフ 79  
タワーヤーダーの作業ポイント 141  
単位水源林面積当たり人口数 159  
単位緑地面積当たり人口数 159  
短期計画 20  
単純林 25  
単層林 25  
単体法 85  
暖帯林 24  
単独測位 144,145  
単利算 48

#### 【ち】

地位 110,111,121  
地域 165  
地域住民 160,161  
地域森林計画 107,108,173,174,175  
地域施業計画 173  
地域の森林資源 96  
地域の生態系 162  
地域の生命圏 162  
地域別の森林計画 174,175  
地位級 149  
地位係数 111  
地位指数 121  
地位指数曲線 121

地位の査定 111  
地球環境 165  
蓄積 9  
蓄積組成 83  
竹林 26  
地形解析 139,140  
地形解析機能 140  
稚樹 26,70  
地代に基づく評価 148  
中央のGIS 142  
中期計画 20  
中林 26  
長期計画 20  
頂端分裂組織 126  
直径階 81,116  
直径階別立木本数分布 82  
直径級 81  
直径成長 124  
直径成長モデル 121,124  
直径遷移確率 122,127  
直径遷移確率行列 127,129  
直径分布 114,116,122,127,147  
直径分布の予測 127  
地理情報システム 131,134  
地利級 149

【つ】

蔓切り 30

【て】

定角測定法 147  
定期樹高成長量 126  
定期直径成長量 124  
低林 26  
データベース 128,131,136,141,142  
デジタイザー 135  
デジタルスチルカメラ 136  
天然下種更新 25,69,70,71,76,78  
天然更新 25,66,69  
天然生林 25

天然林 25  
天然林施業 83

【と】

同化量 118  
等収量比数曲線 112  
等平均樹高曲線 112  
等平均直径曲線 112  
同齡單純林 26,66,67,68,69,76,110,  
121,122,124,126  
同齡林 25  
特定森林施業計画 173,174,175  
都市近郊林 27,160  
土地期望価 50,51,149  
土地収穫価 50  
土地純収益最高の輪伐期 50  
土地純収益説 50,51,52,58,62,65,66,  
68  
土地純収穫説 51  
土場 149  
富 165  
トラベル・コスト法 154

【な】

内部収益率 56  
内部収益率最高の輪伐期 56  
眺め回し 138  
夏の法正蓄積 41  
縄張り意識 161  
南洋材 17

【に】

二次元林分遷移の方程式 122  
二次林 25  
二段林 25  
2分の3乗則 112  
日本の森林計画制度 172,174

【ね】

燃材 6,34

年輪幅 120

【の】

農業と林業の違い 76

ノンプリズム測距儀 147

【は】

バイエルン式林縁画伐作業 71

バイオリージョン 162

廃棄物の処理 162

背景の地図 135,137

売買価に基づく評価 148

白色雑音 123

ハザードマップ 141

伐期平均成長量 42

伐境 106

伐期齢 29

伐区 28

伐採跡地 28

伐採強度 11

伐採傾向 107

伐採行動 106,107

伐採搬出単価 150

伐採面積 103

伐採面積表 101

伐採面積率 104

伐採齢 29

伐採齢の平均と分散 102,105

伐採列区 28,70,72

バッファー 139,140

春の法正蓄積 41

汎地球測位システム 134,144

番山制度 32

【ひ】

日当たり解析 139

Pコード 144

火入れ 12,13

ピクセル 135

ビッターリッヒ法 147

一人当たり緑地面積 159

評価 148

評価者 157

費用収益率 21,55,57

漂速 123

評点 156,157

費用・便益分析 152

標本減反率 105

標本調査法 116

標本保存率 105

【ふ】

風害 70

フォレストインベントリー 116

付加価値 160,165

不確定評価技法 155

複層林 25

複利算 48

副林木 41,110

不在村所有者 141

不成績造林地 75

不斉林 25

縁取り機能 139

普通林 27

不動点 99,107

部分拡大 138

ブラウン運動 123

プラネット・ドラム財団 162

ブルーメライス測高器 117

プロジェクト評価基準 58

プロット 116

文化 7

分期 29,34

分収林 27

フンデスハーゲン法 43

文明 7

【へ】

平均直径がミッチャーリッヒ式に従う  
場合の確率微分方程式 123



平均直径成長曲線 121  
平均伐採齢 106  
米材 17  
平分法 34  
ベクター 135,136,137  
ha当たり胸高断面積合計 147  
ベクトル 135  
ヘドニック法 153  
ヘドニック価格式 153  
ベルタランフィの成長方程式 118,119  
便益費用比率 58

【ほ】

保安林 27,67  
保安林整備計画 174,175  
保育 30  
保育形式 19  
方位角 147  
萌芽更新 25  
法正状態 39,72,108  
法正成長量 39  
法正蓄積 39  
法正蓄積法 40,69  
法正林 38,52,53,63,107  
法正林思想 39,66,68  
法正林分配置 39  
法正齢級分配 38,39,88,108  
防風林 27  
ポートフォリオ 59  
北洋材 17  
保健文化機能 156,158,173  
母樹 26,70  
補償受容額 155  
補植 30  
保続 1,21,31,37,108  
保続経営 90  
保続原則 21  
保続面積表 89,101  
保存率 100,101,104  
ポテンシャル評価法 139

ポリゴン 135  
ホワイトノイズ 123,125

【ま】

枚挙法 95  
マルコフ・プロセス 96  
丸太市場単価 150  
マルチメディア 136  
マルティン法 44  
マンテル法 43

【み】

未成木 33  
ミッチャーリッヒ曲線 119,120,121  
ミッチャーリッヒ曲線の生物学的意味 119  
ミッチャーリッヒ式 119,120,123,124  
ミッチャーリッヒの成長方程式 119  
密度管理図 112,114,130  
緑と水の源泉 173  
未立木地 28  
民有林 27

【む】

無定期利子の前価合計 49  
無限連年利子の前価合計 49  
無立木地 28

【め】

メッシュ変換 139  
面積平分法 35,36,90

【も】

木材生産機能 156,158  
木材生産林 27  
目的関数 85,89,95  
目的変数 153  
目標 89,91,93  
目標計画法 84,92,160  
目標計画法の目的関数 93

目標変数 93  
目標齡級分配 108  
文字情報 136  
モニタリング 83,165

【や】

焼畑移動耕作 13

【ゆ】

有限定期利子の後価合計 48  
有限定期利子の前価合計 48  
有限連年利子の後価合計 49  
有限連年利子の前価合計 49  
ユンカー 66

【よ】

要間伐林分 138,141  
用材 6,34  
陽樹 70  
揺動力 123  
幼齡林 25  
予算配分 161  
予備伐 70

【ら】

落葉広葉樹林 24  
ラスター 135,136,137  
ランジュバンの方程式 123,125,126

【り】

ラインハビテーション 162  
理財的伐期齡 51  
理想状態 72  
リチャーズ成長曲線 118,119  
離伐 37,70  
リモートセンシング 135,153  
流域 165  
流域管理システム 172  
立木 9,28  
立木価格 150

立木地 28  
立木度 111,113  
立木本数密度 112  
立木密度 121  
利用的輪伐期 46  
利用率 150  
緑地人口密度 159  
旅行費用法 154  
林縁 70  
林縁画伐作業 71,72  
林縁天然下種更新 70,73  
林価算法 50,68  
林業 19  
林業収益率最高の輪伐期 55  
林業・木材業の空洞化 146,173  
林業利潤率最高の輪伐期 55  
林業利率 51  
林産物の需要および供給に関する長期  
の見通し 174,175

輪尺 116  
林相 28  
林地 28,149  
林地価 149  
林地開発許可制度 173  
林地期望価 149  
林地売買価 149  
林地費用価 149  
林套 70  
輪伐期 29,46,68  
林班 28,79  
林班界 135  
林分 28  
林分経済法 37,66,69  
林分遷移の方程式 122,124  
林分表 116,117,127,128,129,131,147  
林分密度管理図 112,114  
林木 28,149  
林木価 149  
林木期望価 150  
林木生長論 110

林木費用価 151  
林齢 25,29,129  
林齢空間 97

【る】

累積齢級分配 108  
累積齢級分配の法正状態 108

【れ】

齢級 29  
齢級遷移確率 98,100  
齢級遷移確率行列 98,99  
齢級ベクトル 97,99,107  
齢級別森林面積 97,107  
齢級別伐採面積 103  
齢級法 36,69  
レイヤー 137  
連年成長量 42

【ろ】

労働生産性最高の輪伐期 53  
老齢林 25  
ロジスティック曲線 119  
ロジスティック式 119  
ロジスティック理論 130  
路網計画 141

【わ】

矮林 26  
割引率 51,56,59

【アルファベット】

AHP 148,156,160  
AHPによる森林の総合評価 156  
bioregion 162  
C/Aコード 144  
CAD 134  
censored sample 105  
contingent 155  
CVM 155

DSS 132,133  
DTM 139  
ECHO 132  
FOA法 95  
FOLPI 133  
forest inventory 20,116  
FORPLAN 132  
FRIYR 133  
GIS 131,134,139,146,153  
GIS Kit 143  
GISの応用可能性 140  
GISの基本機能 138  
GPS 134,144,146  
GPSによる森林管理 146  
GPS測量標識杭 146,147  
GPSを併用した森林調査 147  
growing stock 9  
hedonic 153  
IRR 56  
LP 85  
MAX-MILLION 132  
MIS 132,133  
NPV 58,64,65  
opportunity cost 152  
OR 84  
Pコード 144  
PVFP 63,64,65  
Ry 112,113  
SILMOD 133  
SRS 133  
STAND MASTER 133  
STANDPAK 133  
sustainability 1,21  
Timber RAM 132  
TIN 140  
TREES 132  
volume 9  
WTAC 155  
WTP 155

著者略歴 田中和博（たなか かずひろ）  
1953年 生まれる  
1976年 名古屋大学農学部林学科卒業  
1981年 名古屋大学大学院農学研究科林学専攻博士課程修了  
1996年 森林計画学賞を受賞

現 在 三重大学生物資源学部助教授 農学博士

著 書 「森林の許容伐採量 ―世界18カ国の考え方―」  
（共訳 日本林業調査会 1989）  
「日本の大都市近郊林 ―歴史と展望―」  
（共著 日本林業調査会 1995）

森林計画学入門 ―1996年版―

定価1236円

1996年 6月25日 印刷

1996年 6月28日 発行

|       |                                                                   |
|-------|-------------------------------------------------------------------|
| 著 者   | 田 中 和 博                                                           |
| 発 行 者 | 木 平 勇 吉                                                           |
| 発 行 所 | 森林計画学会出版局<br>〒183 東京都府中市幸町3-5-8<br>東京農工大学農学部内<br>電話 (0423)67-5752 |
| 印刷製本  | 光出版印刷株式会社<br>〒515 三重県松阪市久保町1885-1<br>電話 (0598)29-1234(代)          |

Copyright 1996 Kazuhiro TANAKA

Printed in Japan

ISBN 4-915870-13-8

ISBN 4-915870-13-8

定価1236円（本体1200円）

ISBN 4-915870-13-8

定価1236円（本体1200円）