森林所有者の経営意思決定と森林資源の社会的最適利用に関する研究

赤尾健一

1993

森林所有者の経営意思決定と森林資源の社会的最適利用に関する研究

赤尾　健一

１９９３

－ 目 次 －

森林所有者の経営意思決定と森林資源の社会的最適利用に関する研究

序章　課題と方法

1．公共財としての森林と私的財としての木材

森林は、伐採されることによって木材等の財を社会に供給する。また存在することによって、土砂の流出を防ぎ、景観や森林レクリエーションの場を提供するなど、無形のサービスを社会に供給している。森林計画制度では、森林が社会に供給しているさまざまな財、サービスを、森林の有する機能として次の５つの機能に分類している。すなわち、水源涵養機能、山地災害防止機能、生活環境保全機能、保健文化機能、木材等生産機能、である（森林計画研究会(1987)を参照）。さらにこれらの機能は、表－１に示すように３７種類に区分されている。

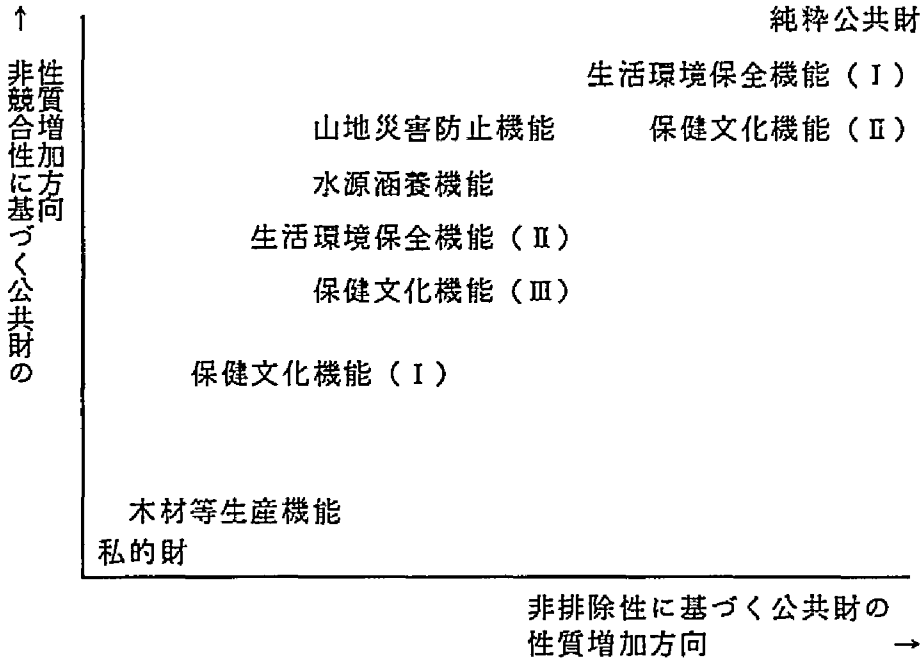
表－１　森林の有する機能

機能の区分	機能の種類
水源涵養機能	渇水緩和・洪水緩和・水質浄化
山地災害防止機能	土砂崩壊防止・土砂流出防止・なだれ防止 落石防止・侵食防止
生活環境保全機能	二酸化炭素吸収・酸素供給・気温緩和・温度維持 霧害防止・風害防止・飛砂防止・雪害防止 潮害防止・塵埃吸着・汚染物吸着・騒音防止 火災延焼防止・災害時の避難場所の提供
保健文化機能	レクリエーションの場の提供・保養の場の提供 スポーツの場の提供・芸術、創造の場の提供 自然との触れ合いの場の提供・精神安定の場の提供 景観の提供・教育の場の提供・野生鳥獣の保護 魚類の生育環境の保全・遺伝子資源の保全 学術研究の場の提供
木材等生産機能	木材生産・その他森林生産物の生産（特用林産物、薬草、動物、林間作物、昆虫等）

資料：森林計画研究会編「新たな森林・林業の長期ビジョン」pp. 93-94より

一方、経済学では、財やサービスを私的財と公共財という概念によって区別する。公共財とは、非排除性か非競合性のいずれかの性質をそなえた財をいう。一方、私的財とはこれら二つの性質のどちらも持たない財である（ここで、非排除性とは、その財がある人に供給されると他の何人もその財を消費することから排除できないか、あるいは排除するためには莫大な費用が必要とされるような財の性質をいう。また非競合性とは、複数の人々がお互いの消費する分量を削ることなく、全員が同じ量を消費できるような財の性質をいう。詳細は、例えば柴田・柴田(1988)第４章を参照のこと）。

さて、このような私的財と公共財の概念を用いると、森林が社会に供給する財、サービスはどのように整理されるだろうか。下に示した図－１は、その一つの試みである。なおここでは、財、サービスと機能とを区別することなく用いている。



図－１　森林が社会に供給する機能の公共経済学的分類

注）保健文化機能　（Ⅰ）：同機能に属する種類で「～の場の提供」とあるもの
〃　（Ⅱ）：遺伝子資源の保全・野生鳥獣の保護
〃　（Ⅲ）：景観の提供・魚類の生育環境の保全
生活環境保全機能（Ⅰ）：二酸化炭素吸収・酸素供給・気温緩和・温度維持
〃　（Ⅱ）：霧害防止・風害防止・飛砂防止・雪害防止
潮害防止・塵埃吸着・汚染物吸着・騒音防止
火災延焼防止・災害時の避難場所の提供

残念ながら、この整理は完全なものとはいい難い。しかし、ここで示されている重要な点は、森林が社会に供給する財、サービスには、私的財から純粋公共財にわたるさまざまなタイプのものが含まれていることである。この多面性こそは、森林の持つ優れた特質の一つといえるだろう。しかしまた、この特質が一つの経済問題を生み出す。それは次のようなものである。

森林はさまざまな財、サービスを社会に供給する。このうち私的財にあたる木材等（以下、単に木材と呼ぶ）は、森林が失われることによって、すなわち部分的であれ全面的であれ、伐採されることによって社会に供給される。一方、公共財に該当するサービス（以下、公益的サービスと呼ぶ）は、森林が存在することによって社会に供給される。両者の間には、森林の消失と存在という明白なトレード・オフ関係がある。また、木材は商品として市場で取り引きされるが、森林の公益的サービスには、取り引きされる市場が一般に存在せず、したがって無償で供給される。このため、森林所有者は木材の生産を重視し、公益的サービスの供給を無視ないしは軽視することになる。結果として、森林の公益的サービスは、社会が望む水準よりも低い水準でしか供給されない。すなわち森林の多面性は、森林所有者にとっての森林資源の最適利用と、社会にとっての最適利用との間の乖離をもたらすであろう。それは、公共財の過少供給問題として知られる問題の森林資源版である。

この予想から、次のような課題が導かれる。すなわち、いかにして森林所有者の森林資源の利用を、社会的に望ましい利用と一致させるか。そして、この課題を考察する前提として、森林所有者の森林資源の利用とはどのようなものか、また、社会的に最適な森林資源の利用とはいかなるものかが、明らかにされる必要がある。

2．本研究の課題と方法

本研究は、以上のような森林資源の利用に関する問題を、ミクロ経済学的なアプローチによって考察する。ミクロ経済学は、限りある資源の適切な配分について研究する学問分野であり、上述の問題は、まさに森林、林業に関するミクロ経

済学的な経済問題と言うことができる。

ミクロ経済学は、通常二つの部分から構成されている。一つは、経済主体の資源利用に関する行動を理解し、叙述する実証分析であり、もう一つは資源の社会的最適利用を明示し、それを実現するための方策を考察する規範分析である。ここで前者の分析は、後者の分析の基礎となっている。また、経済主体の行動をなんらかの最適化行動として把握する点が、ミクロ経済学の特徴である。

本研究もまた、これに準じて二つの部分から成る。すなわち第1部は、森林所有者の意思決定に関する実証分析に充てられる。第2部は規範分析であり、森林資源の社会的最適利用とその実現のための諸方策を考察する。以下では、それぞれの課題と内容を簡単に述べておこう。

第1部の課題は、森林所有者を、なんらかの最適化行動をとる経済主体と見なしたとき、その森林資源の利用に関していかなる結果が導かれるかを明らかにすることである。

森林所有者は財産保持的であり、林業の発展、森林資源の有効利用のためには、その性格を脱して企業的な経営を行うことが必要である、といった見解が、今日でもしばしば耳にされる。しかし、財産保持的とはいったい、森林所有者のどのような行動様式を指し、それはいかなる要因によって生じているのだろうか。また財産保持的という言葉と対置する、企業的経営とはいったいどのようなものを指すのだろうか。意外なことに、これらの点について明確に定義し、分析した研究成果は見あたらない。むしろ、このような見解が口にされるのは、往々にして、分析者が森林所有者の行動を理解できないとき、または行政担当者が森林所有者の行動をうまくコントロールできないときのようである。

しかし必ずしも、森林所有者がそのような責めを受ける筋合いはないだろう。また、森林所有者を財産保持的というブラック・ボックスに閉じこめておくことは、経済分析を行う上で全く不必要なことである。むしろ、森林所有者の行動を理解し、また必要に応じてコントロールするためには、ミクロ経済学的なアプローチ、すなわち、森林所有者は合理的に行動すると見なし、それによって得られた結果と、現実の行動とを比較検討することが、有用であると考えられる。本研究もまた、このような考え方を基礎とするものである。

ところで、森林所有者の森林資源の利用に関する意思決定には、さまざまな内

容が含まれている。すなわち、植栽樹種の決定から、施業の内容、伐期齢、販売方法、伐採方法、さらには造育林投資のための資金調達、経営する森林面積の決定に至るまで、その内容は実に広範にわたっている。この中で、本研究では特に伐期齢、伐採齢に関する意思決定問題に関心を集中する。その理由は、本研究を通じて明らかにされるように、この問題が森林資源の利用に関する基本問題と見なされるからである。

さて、第１部は次のように構成されている。

第１章では、伐期齢の決定問題に関するこれまでの研究成果を調査、検討する。伐期齢の決定問題が、理論的に整理されて論じられるようになったのは、それほど古いことではない。実のところ、それはここ２０年ばかりのことである。この問題は、約１世紀ほど前から合理的な経営のための経営指針として論じられてきたが、それはミクロ経済学的に考察されたものではなかった。第１章ではこのような経緯を踏まえ、まず、林業経営にとって最も適切な伐期齢決定ルールは何かという問題を論じる。ただし、ここで取り上げられるのは、１００年前から林学者の間で論じられている古い問題ではなく、ここ２０数年の間に経済学者の間で論じられた比較的新しい論争である。一方、第１章の後半は、伐期齢決定問題に関する近年の研究成果を紹介し、これを検討する。ここでは、伐期齢決定モデルのさまざまな拡張が取り上げられ、施業の選択、諸価格の変化、技術の変化、そして将来の不確実性の存在が考慮される。また、単一一斉林モデルの異齢林モデルへの拡張についても考察する。

伐期齢の決定ルールは、これまでいくつか提案されてきた。しかし、第１章で明らかになるように、今日では、適切でない決定ルールを基にした分析や考察はほとんど行われていない。これは、ミクロ経済学的思考様式では、理論的に適切な決定ルールがそのまま森林所有者の行動仮説と見なされるからである。しかし、実証分析の精神からすれば、現実に森林所有者が用いている決定ルールを検討することが必要であって、それを理論的に適切なものに限定する理由はない。現実の森林所有者は、森林経理学者や経済学者の主張に影響されて、適切でない決定ルールを用いているかもしれない。また、研究者が誤った決定ルールを思いついたのと同様に、森林所有者も適切でない決定ルールを思いつき、それにしたがっている可能性は否定できない。このため、第２章では適切な決定ルールとともに、

適切でない決定ルールも取り上げて、それらのルールから導かれる伐期齢の特質を検討する。

第３章は、日本林業の動向の分析を行う。それは第２章の結果の応用と、モデルの拡張によるものである。日本林業を取り巻く経済環境として、外材による寡占市場が形成され、木材価格が低迷するようになってから、すでに２０数年を経ている。またこの間、日本経済は着実に成長を遂げてきた。このような市場環境の変化に対して、幾人かの林業経済学者は日本林業の進むべき方向を論じている。曰く、育林生産の集約化によって外材との製品差別化を志向すべきである。曰く、大量生産を基礎に加工流通過程を合理化し価格競争力を強化すべきである。曰く、長伐期化と低コスト化を進めるべきである。

しかし、こうした規範的な議論をする前に、実際に日本林業がどのような動向を示しているかを明らかにする必要がある。このことは当然のことであって、実際、多くの調査研究が行われている。ただし、地域研究は豊富に報告されている一方で、より広域的な研究はほとんど行われていない。これに対して第３章は、森林所有者の意思決定モデルによって、普遍的な観点から、育林生産の現場でどのようなことが生じているか、あるいは今後生じるかを考察する。なお、この章で得られる結果は、単に森林資源の適切な利用というミクロ経済学的問題だけではなく、地域経済の維持、発展といった経済問題にも応用されるものである。

本研究の第２部は、森林資源に関する規範的な問題を考察する。その課題は、森林所有者の森林資源の利用と社会全体として望ましい森林資源の利用との間の一致や乖離を示し、社会的に望ましい森林資源の利用を実現するための方策を考察することにある。また、社会的に望ましい森林資源の利用を、具体的に示すためには、森林の公益的サービスを貨幣評価することが不可欠である。したがって、森林の公益的サービスの価値評価法を明らかにすることもまた、ここでの課題である。

ところで、森林所有者と社会の間で、森林資源の利用のあり方が乖離するという場合、その内容はつぎのような二つのタイプに分類することができる。一つは、森林資源として利用すること自体に関する乖離である。例えば、森林所有者は森林の一部をゴルフ場や農業用地など、他の用途に利用したいと考えることがある。しかし、社会全体としてみれば、それは望ましいことではないかも知れない。も

う一つは、森林資源としての利用を前提としたときの、利用の仕方に関する乖離である。例えば、現在、森林所有者が伐採して再造林したいと考えている森林も、社会にとっては、今しばらく伐採せずにおいておくことが適切かも知れない。実際には、これら二つの問題は密接に関係し合っており、分離できない場合も多い。しかし、本研究では理論の筋道や分析の見通しをよくするために、これを分けて考察することにする。

さて、第2部もまた三つの章から構成されている。

第4章では、森林資源のストック量の水準が、考察の対象となる。これは、林地の他用途転換や原生林伐採の問題などと直接関係するものである。すなわち、林地の他用途転換は、どの程度認められるか、また、希少な原生林を伐採することは、社会全体にとって望ましいことか、といった問題である。ただし、第2部をこの問題からはじめるのは、単に、考察で用いるモデルが簡単なものであるという理由による。ここでは森林資源の利用に関する問題は、明快に、そして一般性と理論的厳密性をもって考察される。また、資源の社会的最適利用とはいかなるものかが、平易な説明によって示される。その代わり、その応用範囲は上述のような問題や短期的な問題に限られる。ここで用いられるモデルは時間を捨象した静学モデルであり、したがって植伐を繰り返す再生可能資源としての森林資源の特質が強調される場合には、利用できない。

さてこの章では、はじめに森林所有者の最適森林利用を示した後、森林資源の社会的最適利用とはいかなるものかを明らかにする。同時に、両者の最適利用の間の乖離を示す。さらに、保安林制度や林地開発許可制度といった利用規制、そして補助金や税制が、森林資源の社会的最適利用を実現するためにどのように用いられるかを、理論および実践的な観点から考察する。

第5章は、森林資源としての利用を前提とした上で、その最適森林計画を論じる。この章は、再生可能資源としての森林を扱うものである。ただし、そのモデルは基本的に複雑な動学モデルとなる。その複雑さを回避するために、ここでは前章と比較して一般性と理論的厳密さが、ある程度犠牲となっている。

この章もまた、第4章と同様の手順により、森林所有者の最適森林利用と社会的最適森林利用が導出され、両者の乖離が示される。ここでは、それぞれの森林利用は伐期齢で代表される。したがって、両者のギャップを埋めるための方策と

しては、第1部の結果が直接応用可能である。このため、第5章では別の方策として、分収造林契約を考察する。まず、分収造林契約が、資源配分上優れた特質を持つことを理論的に明らかにする。次に現実的な観点から、その活用のための条件と契約形式を議論する。

第6章は、森林の公益的価値の計測方法を検討する。第4章と第5章で得られた理論的な結果を現実に応用するには、まず、森林が社会に供給している公益的サービスの価値を知らねばならない。この公益的価値は、第4章では補償限界支払い意志額として表され、第5章では潜在価格（森林の社会的限界効用／所得の社会的限界効用）として表される。第6章では、理論の厳密さから第4章の補償貨幣測度を基礎に議論を展開する。はじめに、集計的補償（限界）支払い意志額として、森林の公益的価値を定義する。次に、その計測に応用可能な方法を検討する。検討されるのは、補償需要関数による方法、コンティンジェント・ヴァリュエーション法、トラベル・コスト法、そしてヘドニック法である。最後に、応用研究として、実際にヘドニック法を用いた結果を示す。

最後に本研究の終章は、以上の六つの章を要約し、残された課題について言及する。

第１部　森林所有者の経営意思決定問題

第１章　最適伐期齢理論の展望と課題

１．はじめに

成長する森林をいつ伐採すべきか、あるいは森林はいつ伐採されるのかという問題に関する諸理論を、最適伐期齢理論と呼ぶことにする。伐期齢や伐採齢の決定はそれ自身興味深い問題である。しかしながら、それは単に人々の知的好奇心を満たすだけのものではない。最適伐期齢理論は森林所有者（あるいは林業経営者）に関する主体均衡モデルの集まりであり、森林、林業をめぐる経済現象を、ミクロ経済学的な方法によって分析するための基礎理論となるものである。またそれは、森林、林業に関する規範的な問題の中心である、時間を通じて森林資源をいかに適切に利用すべきか、という問題を考察するための手がかりを与える。

19世紀ドイツの純収穫論争に見られるように、伐期齢の決定問題は長い歴史を持っている。また、von Thunen (1863)（第３部第１編第６章「伐期齢に関する課題」）を初めとして、経済学者もこの問題に古くから関心を抱いてきた。しかしながら本格的な理論の展開は1960年代以降のことで、比較的新しい。それは、ミクロ経済学における投資の理論や資本の理論の発展に伴うものであった。

伐期齢の決定に関する研究は、決定論的定常性下における単一一斉林（同齢林）を対象に始まった。この問題に対して1960年代、ミクロ経済学の理論が援用されたが、その結果伐期齢の決定に関して３つの異なるルールが提示されることになる。当時の林業経済学の文献は、ある決定ルールの正当性を主張したり、あるいは並列的に述べてみたりしており、最適伐期齢理論は論争、ないしは混乱の状態にあった。何人かの経済学者及び林業経済学者は、この問題に対して理論的にみて適切な決定ルールを選択していた（例えばHirshlifer(1970)第３章）が、積極的に他の決定ルールの誤りを指摘し、混乱状態に終止符を打ったのはSamuelson (1976)である。

このような決定ルールに関する論争と並行して、そして今日に至るまで、最適伐期齢理論のさまざまな拡張が試みられている。それは決定論的定常性下におけるモデルの精緻化や定常性の仮定の緩和、単一一斉林から林齢の異なる複数の林

分（異齢林）への対象の変更、さらには将来の不確実性を考慮した確率モデルへの展開などである。

本章の課題は、以上のような最適伐期齢理論の発展を概観し、今後の理論的課題を明らかにすることにある。本章の構成は以下の通りである。

第２節では、今日理論的に適切と見なされているFaustmannの決定ルールを示し、その最適伐期齢が満たすべき条件を導出する。また1960年代に提示された他の二つの伐期齢決定ルール、すなわちBouldingの内部収益率最大ルールとFisherの１回の植伐の利潤の現在価値最大ルールについて、その支持者の意見を紹介し、彼らの問題点を論じる。

第３節はFaustmann式の拡張を企図した諸論文のサーベイに充てられる。ここではFaustmann式に付随する仮定のいくつかが緩められる。すなわち１点投入１点産出の仮定を緩めた最適間伐方策モデル、定常性の仮定を緩めて木材価格や生産関数の変化を許すモデル、そして決定論の仮定を緩めた確率モデルである。さらに、考察対象を同齢林から異齢林へと拡張したモデルにも言及する。最後に第４節では、以上の検討を踏まえて最適伐期齢理論の今後の課題を要約する。

最適伐期齢理論は一般の経済学者や林業経済学者によって研究されてきた。一方で、森林経理学の分野もまた伐期齢の問題を扱っている。前者においては多くの場合、モデルは連続型時間で表現されている。これに対して後者では離散型時間が用いられている。このため同じ伐期齢決定のモデルが、一見すると異なるものであるかのような印象を与える。本章では補論１として、連続型時間モデルと離散型時間モデルとの間の関係を明らかにする。はじめに連続型時間モデルの基礎となる瞬間的利子率を導出する。次にFaustmann式を用いて連続型時間モデルと離散型時間モデルの関係を見る。最後に応用例としてPresslerの指率を取り上げ、その連続型時間版を導くとともに、これを考察する。

補論２は、Faustmann式の比較静学分析の結果を紹介する。これは、補助金や税制等のさまざまな林業政策が最適伐期齢と林地価格に及ぼす影響を示すものである。結果の証明は、Johansson and Löfgren(1985)第４章および第５章を参照されたい。また、本論文第２章でもその一部が証明されている。

補論３は、簡単な数学注であり、本論文を通じて活用される凹関数について、その性質をまとめる。

２．最適伐期齢決定ルール

（１）　Faustmannのルール

今日、多くの林業経済学者ならびに経済学者によって、理論的に適切と見られている伐期齢は、Faustmann式によって導かれるものである。同式は、19世紀のドイツの森林官であったFaustmannによって定式化された（Faustmann(1849)）。その考え方は、一定の林地に対して植伐を繰り返すことによって得られる利潤の流列の現在価値の総和を最大にするように、伐期齢を選択せよというものである。それは、森林経理学においては土地期望価理論あるいは土地純収穫説と呼ばれている（鈴木(1979)第１章第５節を参照のこと）。

Faustmannのルールがなぜ理論的に適切な伐期齢決定ルールと見なされているのかについて考察する前に、まず同式をミクロ経済学の標準的なスタイル、すなわち最適化問題として定式化しよう。Faustmann式にはいくつもの強い仮定が置かれている。そこでSamuelson(1976)、そしてJohansson and Löfgren(1985)第４章を参考にしながら、それらの仮定をあらかじめ明記しておく。なお、これらは後述する他の決定ルールにおいても同様に採用されているものである。また、仮定のいくつかは第３節で緩められる。

［仮定］

① 完全競争市場の仮定：森林所有者の行動は生産要素と産出物の価格や、利子率に影響を及ぼさない。林地は自由に売買、貸借することができる。また、将来の諸価格、利子率及び木材の収穫量を森林所有者は知っている。

② 定常性の仮定：生産要素価格、立木価格、利子率は、現在から将来の全期間にかけて一定である。生産要素価格のうち、賃金率をｗで表わす。利子率はｒで表わす。ただしｒは連続型で表現される時間ｔに対応する瞬間的利子率である（瞬間的利子率については本章補論Ｉを参照のこと）。

③ 異時点１点投入１点産出（point-input point-output, time phased)の仮定：投入は植林時点ですべて行われる。また、収穫は一挙に行われ、間伐による収穫は考えない。

④ 単位材積当りの立木価格（ｐ）は林齢に関わらず一定である。

⑤　森林の外部性（森林の公益的機能）は存在しない。

⑥　木材の収穫量に関する仮定：森林からの収穫量は林地面積、労働投入量、林齢の関数である。生産方式は一種類だけであり、生産要素である林地と労働力の結合比率は固定的である。また、規模に関して収穫一定である。したがって、単位面積当たりの労働投入量は一定であり、またその収穫量は林齢のみの関数となる。すなわち、単位面積当たり収穫量をｆ、単位面積当たり労働投入量をＬ、そして林齢をＴとすれば、

$$f = f(L;T) = f(T) \quad (L:一定) \qquad (1)$$

⑦　関数ｆに関する仮定：（１）で示された関数ｆは、定義域を$[T_{min}, \infty)$とする上に有界で厳密な単調増加凹関数であり、必要なだけ連続微分可能であるとする。ここでT_{min}は、立木販売が可能となる最小の林齢を示す。

さて、Faustmann式とは、一定の面積の林地に対する無限回の植伐から得られる利潤の流列の現在価値の総和を表現するものである。そして既に述べたように、この利潤の総和を最大にする伐期齢を最適伐期齢とする。一般に、その最適伐期齢はその植伐が何回目かによって異なる。すなわち、第ｉ回目の植伐による最適伐期齢（T_i）と第ｊ回目の最適伐期齢（T_j，$i \neq j$）は必ずしも一致するとは限らない。しかし、上で述べた仮定の下では、その植伐が何回目のものであっても最適伐期齢は同じとなる。このことは以下の考察から理解される。

まず定常性の仮定により、任意の時点で伐期齢選択のための外的条件（諸価格と利子率）は同じである。次に、任意の第ｉ回目（$i > 1$）の伐採における最適伐期齢はそれ以前の伐期齢に影響を受けず、それ以降の植伐のみを考慮して決定されること、そして、この考慮すべき植伐回数は任意のｉに対して常に無限回であることに注意しよう。言い換えると、第ｉ回、第$i+1$回、・・・の植伐で得られる利潤を最大にする第ｉ回目の伐期齢がその回の最適伐期齢として選択される。最後に、森林の生産関数ｆは第何回目の植伐であっても同一である。以上から、第１回目の伐期齢を選択するときの条件と、任意の第ｉ回目の伐期齢を選択するときの条件は全く同一である。すなわち、第１回目の最適伐期齢と任意の第ｉ回目の最適伐期齢は同じとなる。

このようにFaustmann式は一つの伐期齢の関数として定式化される。その伐期齢

をT（$=T_i=T_j$）で表し、得られる利潤の流列の現在価値の総和を$V(T)$とすれば、それは

$$\max\ V(T)=\sum_{n=1}^{\infty}[p\,f(T)e^{-rT}-wL]e^{-r(n-1)T}$$
$$=[p\,f(T)e^{-rT}-wL]/(1-e^{-rT})$$
$$\text{subject to}\ T\geqq T_{min} \qquad (2)$$

と表される。

解が内点解の場合、最適伐期齢が満たすべき1階の条件は次のようになる。

$$p\,\dot{f}(T)-r[p\,f(T)+V(T)]=0 \qquad (3)$$

ここでドットはTによる1次微分係数を示している。1階の条件は、森林を伐採せずに置いておくときの利潤の増加分（$p\,\dot{f}(T)$）が森林自身の資本価値と林地の資本価値の和から発生する機会費用（$r[p\,\dot{f}(T)+V(T)]$）と等しくなる時点で伐採をするのが最適であることを意味している。つまりFaustmannの伐期齢とは、これ以上立木を置いておくよりは伐採して再造林するか、林地ごと販売して得られた収入を銀行に預ける方が有利となる伐期齢のことである。

2階の条件は、1階の条件を満たす伐期齢で不等式

$$p[\ddot{f}(T)-r\,\dot{f}(T)]e^{-rT}(1-e^{-rT})^{-1}<0 \qquad (4)$$

が成立することである。ここでダブルドットは2次微分係数を表している。fは厳密な凹関数なので$\ddot{f}<0$、また（狭義）単調増加の仮定により$\dot{f}>0$。以上から上の不等式が成立する。したがって（3）を満たす伐期齢は局所的な最適解である。さらに、もし（3）を満たす局所的な伐期齢が複数個あるならば、（3）を満たしてかつ$\ddot{f}-r\,\dot{f}>0$となる伐期齢が存在することになる。しかしそれは関数fの仮定と矛盾する。したがって、Faustmannの伐期齢は一意的であり、（3）は大域的な最適解の必要十分条件である。

（2） 適切な決定ルール

本章の冒頭で述べたように、最適伐期齢理論へのミクロ経済学の導入期にあっては、Faustmann以外の決定ルールもまた提示された。それはBouldingの（平均）内部収益率最大の伐期齢とFisherの1回の植伐における利潤の現在価値最大の伐期齢である（慣例的にこれら二つの決定ルールは代表的な経済学者の名を冠され

てこのように呼ばれている）。ここではまず、これらの決定ルールの支持者の見解を示そう。

Boulding の伐期齢を支持するのはGoundrey(1960)である。GoundreyはBoulding (1955)、Scitovsky(1951)に依拠して、投資問題とは所与の固定的生産要素をどのように有効に投資するかであるとする。もしなんらかの生産要素が固定的であれば、つまりある生産要素が市場で調達できず、その利用が制約されているならば、その生産要素がもたらす利潤の流列の現在価値の総和を最大化することが最適な投資政策である。一方、もしそのような制約条件がないのであれば、全ての生産要素を含めた所有資本全体が固定要素となるから、資本の増殖率、すなわち内部収益率の最大化が最適な投資政策である。この考えに従って、Goundreyは林業における固定的な生産要素とは何かを検討している。検討されているのは、企業者（能力）と林地である。まず企業者については「完全競争の下では、企業者の人的な制約は会社の規模を制約しない。企業者の仕事はいずれも数人のプロダクション・マネージャーのうちの誰かが代表して行ったり、分担したりすることができる。」というScitovskyの結論を引用して、これを固定的生産要素ではないとしている。次に林地については、もし林地が固定的生産要素ならば行われると考えられる土地集約的な経営が、カナダでは現実に行われていないこと、育林生産に利用されている林地の近くに、条件はさほど違わないのに利用されていない土地があり、政府はその土地を企業が利用することに対して制約を課そうとはしていないという二つの観察事実から、これを固定的生産要素とは見なさない。Goundreyの結論は、カナダの林業経営において固定的生産要素はないと見なしてよく、伐期齢選択の基準は資本の内部収益率であるということである。さらに彼はBouldingにならって、内部収益率を決定ルールとすることの利点は、最適伐期齢が利子率の影響を受けないことだと述べている。

一方、Fisherの伐期齢について、ここではBentley and Teeguarden(1965)の見解を紹介しよう。彼らはFaustmannやBouldingなどいくつかの決定ルールを比較しているが、いずれの決定ルールを採用するかはGoundreyと同様、林業経営においてどの生産要素が固定的であるかに依存すると考える。林地が固定的な場合にはFaustmannの伐期齢が、所有資本が固定的な場合にはBouldingの伐期齢が最適な伐期齢であるとする。Fisherの伐期齢が最適伐期齢となるのは企業者が固定的な場

合であり、Fisherの伐期齢によって得られた利潤を企業者に帰属するもの、経営者報酬と解釈している。彼らの論文の特徴は、それまで重要視されていなかった林地価格を考慮した点にあり、外生的に与えられる林地価格を考慮したFisherのルールを「一般化された現在価値モデル」と呼んでいる。また定常性の仮定の下では、何回目の植伐であってもFisherの最適伐期齢は変わらないから、「一般化された現在価値モデル」が示す最適伐期齢は無限回の植伐問題における最適伐期齢でもあると彼らは述べている。

しかし、このような「林業経営における固定的生産要素」を鍵概念に、最適伐期齢の決定ルールを選択しようとする考え方は、Samuelson(1976)によって批判されることになる。

Samuelsonは1974年ワシントン大学で行われた「保続収穫林業の経済学」というシンポジウムにおいて「発展社会における林業経済学」と題する講演を行っている。この講演の中で彼は、土地の私的所有や国有林の利用規制が全くない完全参入自由の条件の下では、森林は消滅するか、仮に残ってもその伐採齢は異常に低くなることを指摘し、それゆえ林業が行われるのは林地所有者によるか、あるいは所有者より借地をした者によることを強調する。そして自らその所有地で林業を行うものは、他の人に林地を貸したときに得られる地代収入をあきらめるという意味で機会費用が発生すること、他方、借地林業の場合は具体的に借地料を支払わねばならないことを説く。したがって完全競争市場の前提の下では、林地から得られる利潤の最大値が林地の価格（競争的林地価格）となる。そしてFaustmannの伐期齢以外はその地代を賄えない。なぜなら競争的林地価格に相当する金額を得る伐期齢、つまり最大利潤を実現する伐期齢とはFaustmannの伐期齢にほかならず、伐期齢がそれよりも長くなっても短くなっても利潤は低下するからである。Samuelsonは、競争的林地価格を考慮しないBouldingの伐期齢は短すぎ、Fisherの伐期齢では長すぎて地代を賄えないと述べている（最適伐期齢の大小関係については第２章で厳密な考察が行われる。Johansson and Löfgren(1985)第４章もまた参照されたい）。

以上のSamuelsonの主張は、GoundreyにせよBentley and Teeguardenにせよ、費用の概念を正確にとらえていないことに対する批判であるといえる。ある生産方式を採用することは、他の生産にその生産要素を投じて得られる利潤をあきらめ

ることを意味する。費用とは、他の生産の機会をあきらめるその犠牲の大きさで測られる機会費用である。ここでのモデルでは、林地の利用の仕方（すなわち1回の植伐にどの程度長く林地を利用するか）以外、生産方式は固定されている。したがって労働力の機会費用は所与のwで与えられるが、林地の機会費用は選択した伐期齢以外の伐期齢において得られる利潤の上限値で与えられる。したがって林地の機会費用とは、ストックとしては競争的林地価格のことであり、フローとしては競争的林地価格に利子率を乗じたもの、すなわち競争的地代のことである。Samuelsonが指摘するようにFaustmannの伐期齢以外はこの機会費用を賄うことができない。また、Goundreyのように林地の機会費用を無視したり、Bentley and Teeguardenのように林地価格を外生的に与えられるものと見なすのは、ともに誤りである。

ただし、彼らの誤りは林地の機会費用を考慮しなかったことにあり、その支持する決定ルールそのものは必ずしも誤りではない。事実、Faustmann、Boulding、そしてFishirの3つの決定ルールが示す最適伐期齢は、林地の機会費用を考慮すれば一致する。このことは以下のように証明される。

完全競争市場の仮定の下、Faustmann式で与えられる最適伐期齢をT_F、対応する競争的林地価格を$V(T_F)$で示す。まずBouldingの伐期齢についてみると、内部収益率をρとして、その最適伐期齢は次式(5)を最大化するものである（詳細は第2章を参照のこと）。

$$\rho = \log\{[p f(T) + V(T_F)] / [wL + V(T_F)]\} / T \qquad (5)$$

ρをTで微分すると

$$d\rho / dT = \{p \dot{f}(T) / [p f(T) + V(T_F)] - \rho\} / T \qquad (6)$$

であり、これより最適解が内点解の場合の1階の条件

$$p \dot{f}(T) - \rho [p f(T) + V(T_F)] = 0 \qquad (7)$$

が導かれる。ρの2次微分係数は

$$\begin{aligned} d^2\rho / dT^2 = \{ & p \ddot{f}(T) / [p f(T) + V(T_F)] \\ & - [p \dot{f}(T)]^2 / [p f(T) + V(T_F)]^2 \\ & - 2\dot{\rho}\} / T \end{aligned}$$

であり、fに関する仮定によって、それは$\dot{\rho} \geq 0$となる伐期齢では常に負である。したがってもし最適解が存在するならば、それは一意的である。さて、（5）を

（７）の左辺に代入してρを消去する。それに$T=T_F$を代入すると、

$$p\dot{f}(T_F)-r[pf(T_F)+V(T_F)]$$

を得る。この式の値がゼロとなることは（３）から明らかである。以上で、林地の機会費用を考慮するとき、Bouldingの伐期齢はFaustmannの伐期齢と一致することが示された。なお、$T=T_F$を（５）に代入すれば$\rho=r$を得る。したがって、競争的林地価格を考慮する場合、得られる最大の内部収益率は市場利子率に一致することがわかる。

次に競争的林地価格を考慮したFisherの伐期齢を検討する。その最適伐期齢は１回の植伐での利潤の現在価値（ＰＶ）を最大化するものである（詳しくは第２章を参照のこと）。すなわち、

$$PV=[pf(T)+V(T_F)]e^{-rT}-[wL+V(T_F)] \qquad (8)$$

その１次微分係数は、

$$d(PV)/dT=[p\dot{f}(T)-rpf(T)-rV(T_F)]e^{-rT}$$

であり、したがって最適解が満たすべき１階の条件は、内点解の場合

$$p\dot{f}(T)-r[pf(T)+V(T_F)]=0 \qquad (9)$$

である。ＰＶの２次微分係数は

$$d^2(PV)/dT^2=p[\ddot{f}(T)-r\dot{f}(T)]e^{-rT}-r[d(PV)/dT]$$

であり、それは定義域で常に負である。したがって、もし最適伐期齢が存在すれば一意的である。そして$T=T_F$を（９）の左辺に代入すれば、（３）よりその値がゼロとなることがわかる。つまり競争的林地価格を考慮したFisherの伐期齢はT_F（Faustmannの伐期齢）である。このようにBouldingのルールもFisherのルールも、林地の機会費用を考慮する限り決定ルールとして誤りではない。

以上の林地の機会費用に基づく検討は、Samuelsonの指摘にしたがうものであった。ここでGoundreyやBentley and Teeguardenが強調している「林業における固定的生産要素」についても論じておこう。

結論を先に述べれば、彼らの議論は問題設定そのものが方向違いであったといわざるを得ない。Faustmann式を導出するために上で示した諸仮定は、生産要素の投入になんら制約を与えるものではないことを確認されたい。彼らの想定している仮定もまたこれに準ずるものである。固定的な生産要素に関する議論は、これらの仮定を認める限り不要となる。

Goundreyの場合、カナダの制度的条件を検討して固定的生産要素はないとしているが、モデルそのものが固定的生産要素はないと想定している。したがって、彼の検討はモデルの妥当性を確認するものにすぎない。なお、この仮定の下で彼はFaustmannではなくBouldingのルールを選択すべきと主張している。既に示されたようにもし林地の機会費用が考慮されるならば、この主張は誤りではない（ただし林地の機会費用は利子率ｒの関数だから、利子率に最適伐期齢が左右されないという彼の主張は誤りである）。しかしながら、一般に投資決定にはBoulding流の内部収益率ルールを用いない方が無難であることには、留意しておくべきであろう。

投資決定の問題についてHirshleifer(1958)は、それは投資から得られる報酬の消費のあり方と一体的に考察すべきであると指摘している。彼は、投資とは現在から将来（無限であれ有限であれ）にかけて行われる消費をより多くするための行為であることを強調する。そして完全資本市場の仮定の下では、現在価値のより大きな投資は、現在から将来にかけての消費をより大きくすることを示している。したがって投資決定の適切なルールとは現在価値ルールであり、内部収益率ルールはこれを代用するものに過ぎない。しかし、内部収益率を最大にする投資対象が必ずしも現在価値を最大にするものであるとは限らない。特に各時点で得られる利潤が異なるような複数の投資対象から最適投資対象を選択する場合、内部収益率ルールと現在価値ルールとでは、選ばれる投資対象は異なることがある（Johansson and Löfgren(1985)第１章の明快な解説を参照されたい）。また内部収益率ルールは投資が無制限に拡大できることを前提している。当然のことながら、このような前提が満たされない投資には適切ではない。

次にBentley and Teeguardenの見解を検討しよう。まず、Faustmann式について。彼らは林地が固定的な場合にのみ、Faustmann式を適用すると主張している。しかし仮定では規模に関して収穫一定、すなわち利潤は林地面積に対して一次同次とされている。この仮定の下では、林地面積が固定的かあるいは自由に変更できるかは問題ではない。つまり、林地が固定的な場合にのみ用いられる特別な決定ルールというようなものは存在しない。反対に、林地が固定的生産要素であることが意味を持つようなケースを考えるならば、それは彼らが想像もしなかったような複雑な問題を考察することになる（この点についてはHeaps and Neher(1979)、 Heaps(1984)が参考となる）。

次に彼らの「一般化された現在価値モデル」、すなわち外生的な林地価格を考慮したFisherのルールについて。彼らはそれを企業者が固定的な場合に用いると主張している。しかし仮定から、モデルには企業者報酬が生じる余地はない。また、たとえ企業者の特別な能力が木材の収穫や木材価格に影響を与えるケースでも、その能力に対応するFaustmannの伐期齢が林地の機会費用を決定することになり、外生的に与えられる林地価格を用いることはできない。したがって、いずれにせよ「一般化された現在価値モデル」は不適切であり、Faustmannのルールが用いられねばならない。

以上の考察は、Faustmann式の理論的な適切さを示唆するものである。後に第5章で示されるように、より基礎的な森林所有者の効用最大化モデル（あるいは先述のHirshleiferの考えに基づく消費可能性を最大化するモデル）からも直接的に、Faustmann式が導かれる。一方、Bouldingの伐期齢もFisherの伐期齢も林地の機会費用を考慮する限りFaustmannの伐期齢と一致するから、これらもまた誤った決定ルールではない。しかしながら無用の複雑さを回避するという意味で、最適伐期齢理論の基本モデルとしてはFaustmann式を考えるだけで十分である。次節ではこのFaustmann式を中心として、今日、最適伐期齢理論がどのように進化しているか、すなわち既に見た諸仮定がいかに緩められるかを調べよう。

3．最適伐期齢理論の展開

（1）　最適間伐方策

施業が異時点間で行われ、その施業内容によって主伐材と間伐材の収穫量や価格が変化するのが現実の育林生産である。この点からすればFaustmann式における1点投入1点産出の仮定は、あまり現実的とは言えない。そこで、異時点間の施業の選択と間伐を含む形にFaustmann式を再定式化すると次のようになる。

$$\max\ V(T)=\left[p f(T) e^{-rT}-\int_0^T c(t) e^{-rt} dt\right]/(1-e^{-rT})$$

ここでc(t)は施業に要する費用あるいは間伐による収入である。各林齢での

施業は、主伐収入$pf(T)$や間伐収入、そして各林齢での造育林費用に影響を与える。そこでt林齢での施業の内容をベクトル$u(t)$で表すことにしよう。各成分は例えば、u_1：下刈、u_2：枝打、u_3：劣勢木の除間伐、u_4：優勢木の間伐等である。各時点において実行可能な施業の範囲は限られている（例えば枝打本数は0以上、立木本数以下となる）。施業の実行可能集合を$U(t)$で表せば、このことは

$$u(t) \in U(t) \tag{10}$$

と表現できる。

次に二つの変数$S(t)$、$C(t)$を導入する。$S(t)$は立木の現在価値を表す。すなわち$S(t)=pf(T)e^{-rT}$である。また$S(0)=0$とする。一方、$C(t)$はt林齢までの総造育林費用（間伐収入を含む）の現在価値を表す変数であり、

$$C(t)=\int_0^t c(\tau)e^{-rt}d\tau$$

である。

さて、ある林齢での立木の現在価値の増加や減少（$\dot{S}(t)$）は、その林齢での林分の状態と施業に依存する。林分の状態を立木の現在価値と林齢で表わすとすれば、$\dot{S}(t)$は次の関数関係で表わされる。

$$\dot{S}(t)=\phi^1[S(t), u(t), t] \tag{11}$$

同様に、ある林齢で投入される育林費用の現在価値（$\dot{C}(t)>0$）や得られる間伐収入の現在価値（$\dot{C}(t)<0$）も、その林齢での林分の状態と施業に依存する。したがって

$$\dot{C}(t)=\phi^2[S(t), u(t), t] \tag{12}$$

と表すことができる。これら二つの微分方程式は状態方程式と呼ばれるものである。

以上で示された問題を整理しよう。問題は次のように示される。

$$\begin{aligned}
\max\quad & V(T)=[S(T)-C(T)]/(1-e^{-rT}) \\
\text{subject to}\quad & \dot{S}(t)=\phi^1[S(t), u(t), t],\ S(0)=0 \\
& \dot{C}(t)=\phi^2[S(t), u(t), t],\ C(0)=0 \\
& u(t) \in U(t)
\end{aligned}$$

この問題は最適施業方策$\{u^*(t)\}$と最適伐期齢T^*を求める（メイヤー型の）

最適制御問題である。したがって、最適制御問題の最適解の必要条件をまとめたポントリャーギン（Pontryagin）の最大値原理を適用することにより、最適施業方策、最適伐期齢、そして最適経路$\{S^*(t), C^*(t)\}$の満たすべき必要条件を得ることができる。ここでは問題の解は存在するものとし、板垣(1985)の第４章第２節の命題１（固定始点・可動終点・自由な計画期間を持つ非自律的・確定的な最適制御問題に対する最大値原理）にしたがってその必要条件を示そう。

まず、ハミルトン関数（Hamiltonian）と呼ばれる関数Hを次のように定義する。

$$H[S(t), C(t), \lambda_1(t), \lambda_2(t), u(t), t] = \lambda_1(t)\phi^1 + \lambda_2(t)\phi^2$$

ここで、$\lambda_1(t)$、$\lambda_2(t)$は、随伴変数と呼ばれる未定乗数である。最適解におけるハミルトン関数の値を$H^*(t)$で表すと、随伴方程式

$$\dot{\lambda}_1(t) = -\partial H^*(t)/\partial S(t) \tag{13}$$

$$\dot{\lambda}_2(t) = -\partial H^*(t)/\partial C(t) = 0 \quad (\therefore \lambda_2(t) = \text{一定}) \tag{14}$$

を満足する連続関数$\lambda_1(t)$、$\lambda_2(t)$が存在し、$(\lambda_1(t), \lambda_2(t)) \neq \mathbf{0}$、かつ次の条件を満たす。

①（最大値原理）　任意の$t \in [0, T^*]$に対して、

$$H^*(t) = \max H[S^*(t), C^*(t), \lambda_1(t), \lambda_2(t), u(t), t]$$
$$\text{subject to } u(t) \in U(T)$$

したがって施業の実行可能集合$U(t)$が拘束的でないならば、

$$\partial H^*/\partial u = \lambda_1(\partial\phi^1/\partial u) + \lambda_2(\partial\phi^2/\partial u) = \mathbf{0} \tag{15}$$

②（横断性の条件）

$$\lambda_1(T^*) = \partial V(T^*)/\partial S(T^*) = 1/[1-\exp(-rT^*)] \tag{16}$$

$$\lambda_2(T^*) = \partial V(T^*)/\partial C(T^*) = -1/[1-\exp(-rT^*)] \tag{17}$$

③　最適な計画期間$[0, T^*]$にわたり、

$$H^*(t) = -\partial V^*(T^*)/\partial T + \int_{T^*}^{t}\{\lambda_1(\tau)(\partial\phi^1/\partial\tau) + \lambda_2(\tau)(\partial\phi^2/\partial\tau)\}d\tau \tag{18}$$

以上の結果より、もし主伐収入、造育林費用、そして間伐収入と実行可能な施業との関係（１０）、（１１）、（１２）が具体的に与えられれば、最適伐期齢と最適施業方策を具体的に計算することができる。他方、理論的には最適伐期齢（T^*）に関して、以下のような結果を導くことができる。

（１５）－（１７）によって、最適伐期齢で施業の実行可能集合が非拘束的ならば

$$\partial \phi^1(T^*)/\partial u_1 - \partial \phi^1(T^*)/\partial u_1 = 0$$

である。このことは最適伐期齢において、ある施業による主伐収入の限界的な増加と育林費用の限界的増加が一致し、また間伐による主伐収入の限界的減少と間伐収入の限界的増加が一致することを示している。

一方、最適伐期齢で施業の実行可能集合が拘束的なケースとして、下刈を考えよう。u_1が下刈の面積あるいは強度を示すものとし、$u_1 \geq 0$とする。立木販売時点では通常、下刈は行われない。それは下刈を行っても立木販売収入は変化しないためである。このため最大値原理

$$H^*(T^*) = \max[\phi^1 - \phi^2]/[1 - \exp(-rT^*)]$$

を満足するためには、下刈をいっさい行わないこと（$u_1 = 0$）が求められる（実際には見栄えをよくし販売価格を上げるために販売時に下刈が行われることがある。このケースでは$\partial \phi^1/\partial u_1 > 0$であり、特に$u_1 = 0$で$\partial \phi^1(T^*)/\partial u_1 - \partial \phi^2(T^*)/\partial u_1 > 0$ならば下刈は最適施業方策として認められる）。

次に（１５）－（１８）から得られる最適伐期齢の条件を示そう。（１８）で$t = T^*$を代入すると

$$H^*(T^*) = -\partial V^*/\partial T = [(S - C)re^{-rT^*}]/(1 - e^{-rT^*})^2$$
$$= V^*[re^{-rT^*}/(1 - e^{-rT^*})]$$

一方、最大値原理と横断性の条件から

$$H(T^*) = \max\ (\phi^1 - \phi^2)/(1 - e^{-rT^*})$$

したがって、最適伐期齢T^*では次の不等式が成立する。

$$0 \geq (\phi^1 - \phi^2) - rV^*e^{-rT^*}$$

ここで$\phi^1 - \phi^2$が最適伐期齢での純収入の増加分の現在価値を表していることに注意されたい。上の不等式は、（現在価値の観点で）純収入によって林地の機会費用が賄えなくなる伐期齢が最適伐期齢であることを示している。この不等式がFaustmannの１階の条件と同一のものであること、したがってFaustmannのルールを意味していることは容易に確認できる。Faustmannの１階の条件（３）は、$t = T^*$時点での現行価値の観点で表現されている。対応して$t = T^*$での現行価値純収入をＧ（$= (S - C)e^{rT^*}$）で表す。このとき、

$$\phi^1 - \phi^2 = d(Ge^{-rT^*})/dT = (\dot{G} - rG)e^{-rT^*}$$

であり、上の不等式は

$$\dot{G} - r(G + V^*) \leq 0$$

と書き改められる（Gは（3）のｐｆに対応することに気付かれたい）。

このように最適伐期齢の特質に関しては、以上のような一定の知見を得ることができる。しかし、上の定式化は問題をあまりに一般化し過ぎているので、最適施業方策や最適間伐方策の特質に関しては、ほとんどなんの知識も得ることはできない。以下ではこれを補うため、問題を収入間伐に限ったClark (1976)第８章のモデルの結果を紹介しよう。

最適間伐方策は、Clark以外にもNäslund(1969)によっても取り上げられている。ただし、Näslundのモデルは立木の価値成長と費用の関数とを一般化し過ぎていて、あまり有用な結果は得られていない。一方、Clarkのモデルは問題を少し単純化しているが、それだけ結果の経済学的な意味は明快である。

なお、彼らの解法は、上に示したような最適伐期齢と最適施業方策を同時に決定するものではない。それは伐期齢（T）が既に与えられているものとして最適間伐方策を求め、さらに最適伐期齢（T^*）を求めるというものである。このため以下でも、伐期齢は所与と見なす。したがってここでは上で導いた結果とは逆に、最適伐期齢が満たすべき条件については得ることはできない（Clarkは最適間伐方策を含む最適伐期齢については数値的には容易に求まると述べている）。

さてClarkのモデルの諸仮定を述べよう。単位材積あたりの木材価格（ｐ）は、主伐、間伐に関わらず、また林齢に関わらず一定である。森林の成長量（利用材積の変化）は次のように表わされる。

$$\dot{f}(t) = \eta(t)\xi(f) - h(t) \tag{19}$$

ここで、

$f(t)$：単位面積のｔ林齢の森林の利用材積（状態変数）。$f(t) \geq 0$。

$\eta(t)$：林齢に依存する材積成長を表わす関数。$\eta(t) > 0$、$\dot{\eta}(t) < 0$。

$\xi(f)$：材積に依存する材積成長を表わす関数。ξは極大値を持つ正の凹関数。

$h(t)$：ｔ林齢での間伐量（制御変数）。$h(t) \geq 0$。

である。すなわち森林のストック量（利用材積）の変化は、その林齢と利用材積によって規定され、そこから間伐量を差し引いたものである。

単位材積あたりの伐出費用は利用材積にのみ依存すると仮定する。単位材積あたり伐出費用関数を、間伐について$c=c(f)$、主伐について$c_T=c_T(f)$で表す。この関数は、間伐、主伐ともに利用材積の正減少関数である。すなわち単位材積あたりの伐出費用は森林の蓄積が大きいほど割安となる。また、間伐は常に主伐より割高になると考えて、すべてのfに対して$c>c_T$とする。

以上の設定の下で、ある所与の伐期齢Tに対する利潤の現在価値PVは

$$PV=e^{-rT}\{p-c_T[f(T)]\}f(T)+\int_0^T e^{-rt}\{p-c[f(t)]\}h(t)dt \qquad (20)$$

で与えられる。ここで右辺第1項は主伐の純収入の現在価値を示している。一方、第2項は間伐収入の現在価値を示している。

最適間伐方策の決定問題はこのPVを最大にすることで得られる。ただし、（20）の形式はFisherのモデルに準じており、また造育林費用が考慮されていない。このことについて次の2点を指摘しておこう。第1に伐期齢Tが所与とされているため、Faustmannのモデル（max（PV－wL)／(1－e^{-rT})）の最適間伐方策もFisherのモデル（max PV－wL）の最適間伐方策も同じとなること、第2に育林費用（wL）が造林時点ですべて支払われる1点投入モデルならば、造育林費を考慮しないモデル（max PV）の解も造育林費を考慮するモデル（max PV－wL）の解も同じとなることである。したがってここでのモデル（20）はFaustmannのルールと矛盾しない。

さて問題は、（20）を状態方程式（19）及び状態変数と制御変数に関する制約条件のもとに最大化する最適制御問題である。ここでは板垣(1985)第4章第3節の命題1（固定始点・自由終点・固定計画期間を持つ、非自律的・確定的・ボルツア型の割り引かれる場合の最適制御問題に対する最大値原理）を適用しよう。割り引かれる場合の最適制御問題では、通常のハミルトン関数の代わりに現行価値ハミルトン関数H_c（ハミルトン関数にe^{rt}を乗じたもの）を、通常の随伴変数の代わりに現行価値乗数q(t)（随伴変数にe^{rt}を乗じたもの）を用いることにより、最適解の必要条件を簡潔に示すことができる。

まず現行価値ハミルトン関数は次のように定義される。現行価値乗数をq(t)として、

$H_C[f(t), q(t), h(t), t]$
$= \{p - c[f(t)]\} h(t) + q(t)\{\eta(t)\xi[f(t)] - h(t)\}$
$= \{p - c[f(t)] - q(t)\} h(t) + q(t)\eta(t)\xi[f(t)]$ （２１）

最適間伐方策を$\{h^*(t)\}$、森林のストック量の最適経路を$\{f^*(t)\}$、そしてこれら最適解に対応する現行価値ハミルトン関数をH_C^*とする。このとき、ポントリャーギンの最大値原理から随伴方程式

$\dot{q}(t) = r q(t) - [\partial H_C^* / \partial f^*(t)]$
$= \{r - \eta(t)\xi[f^*(t)]\} q(t) + c[f^*(t)] h^*(t)$ （２２）

を満足する連続関数$q(t) \neq 0$が存在して、最適間伐方策は次の条件を満たす。

①（最大値原理）　任意の$t \in [0, T]$に対して、

$H_C^*(t) = \max H_C[f^*(t), q(t), h(t), t]$
subject to　$h_{max}(t) \geqq h(t) \geqq 0$

②（横断性の条件）$t = T$で、

$q(T) = \partial(p - c_T^*) f^* / \partial f = p - c_T[f^*(T)]$

上の最大値原理は、現行価値ハミルトン関数を最大にするように間伐量$h(t)$を決定することを要求している。（２１）で$h(t)$は$\{p - c[f(t)] - q(t)\}$の係数であり、もし$\{\cdot\}$が正の値ならば最大量の間伐を行うこと、すなわち皆伐することが最適な政策であり、負の値ならば一切の間伐を行わないことが最適な政策となる。このようなタイプの問題は線形制御問題と呼ばれる。また、上記二つの限界一杯の極端な制御（間伐方策）はバンバン制御と呼ばれる。

さて、ここで問題となるのは特異制御と呼ばれる$\{\cdot\} = 0$のケースである。このとき、最大値原理からは最適間伐方策は確定できない。この場合の最適間伐方策（特異制御）の導出は、$\{\cdot\} = 0$をtの関数とした切り換え関数$\sigma(t)$を微分することによって求めることができる（Clark(1976)第２章を参照のこと）。すなわち

$\sigma(t) = p - c[f^*(t)] - q(t) = 0$ （２３）

をtで微分して、（２１）、（２２）を考慮すれば、次の（２４）が得られる。

$r[p - c(f^*)] = \partial\{[p - c(f^*)]\eta(t)\xi(f^*)\} / \partial f$ （２４）

特異制御（２４）の意味は、単位材積の間伐から生じる利子利得（左辺）と間

伐を行わないことによって生じる立木の価値増加分（右辺）が等しくなるように各時点での間伐量を調整することが、最適な間伐方策であることを示している。（２４）はまた、特異制御における林齢と最適森林ストック量（利用材積）との関係を示している。したがって図１－１のように特異制御を示す曲線を描くことができる。ただし、この曲線がどのような形状を持つかは上の仮定だけでは特定することはできない（もしｃが一定ならば右下がりの曲線になる。なお、ある林齢ｔに対して（２４）を満たす解が、二つ存在する場合がある。このケースでは最適間伐量に不連続な変化が生じる。例えば、（２４）の一つの解が $f^{s}=0$ ならば、その時点で森林は皆伐されてしまう（インパルス制御、Clark(1976)第２章および第８章を参照）。ただしここではインパルス制御は生じないものとする）。

さて、最適間伐方策について考察しよう。ここでの間伐モデルを含めて線形制御問題では、限界一杯の制御によって、できる限り速やかに特異制御が示す曲線上に到達することが最適な制御となる。そして、いったんこの曲線に乗ってしまうと、今度はできる限り長くこの軌道上に留まり続けることが最適な制御となる（Clark(1976)第２章を参照）。以上のことは、植林してから一定の期間はいっさい間伐を行わずに、できるだけ速やかに森林の蓄積を増大して（２４）が示す特異制御の曲線に乗り、その後はこの曲線上で間伐を行うことが最適な施業方策であることを意味する。ただし終端の森林の状態を規定する横断性の条件は（２３）を満たさない（これは主伐と間伐では伐出費用関数が異なるためである）。すなわち伐期齢に到達するまで特異制御を行うことは最適間伐方策ではない。したがって最適間伐方策は、ある林齢で特異制御から離れることになる。離れる林齢をできるだけ遅らせることが最適間伐方策なので、その林齢以降は再びバンバン制御が始まる。すなわちいっさい間伐を行わず、森林の蓄積をできるだけ早く増大して主伐に備えるのである。

以上が最適間伐方策のスケッチである。図１－１にはこのような最適間伐方策の一例を示した。このようにClarkのモデルからは、最適間伐方策に関するいくつかの重要で明快な経済学的含意が得られる。またモデルが個々の経営にとっても妥当なものであれば、以上の最適間伐方策は実際の林業経営にも応用できる。

本項の最後に、Clarkのモデルから導かれる政策上の含意について述べておこう。上での説明から明らかなように、ある林齢で間伐が行われるのは、森林のストッ

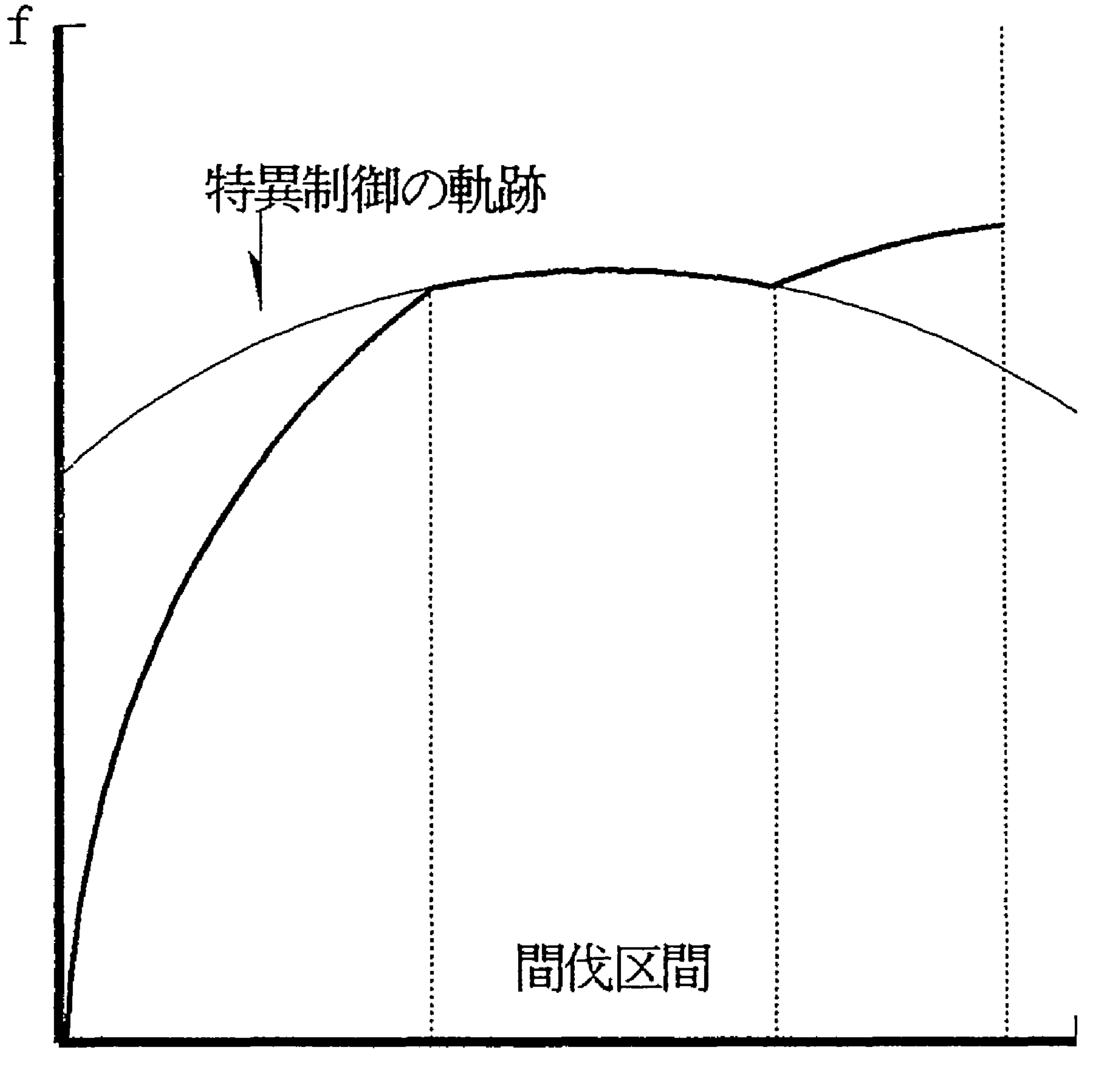


図 1−1　最適間伐方策

ク量が特異制御の曲線よりも上方にある場合である。もし、公益的機能の発揮や関連産業の維持、林業就業者の確保など（森林資源の木材としての効率的な利用以外の）何らかの理由によって間伐が必要とされており、現実に間伐が行われていないとすれば、政府は特異制御の曲線を下方にシフトさせるような政策をとる必要がある（森林の成長曲線を上方にシフトさせてもよい。しかし、自然力に多くを頼る育林生産では政策としてそれを行うことは困難であろう。特に短期的な効果を求める場合には困難である）。この場合、政策手段として利用できるのは木材価格（ｐ）と平均伐出費用（ｃ）である。しかしある仮定の下では、これらに対する政策は間伐を促進しないといういささかがっかりする結果が、Clarkのモデルからは導かれる。

その仮定とは、間伐の平均伐出費用を一定とすることである。この仮定は、現実の伐出費用を考えてもさほど非現実的ではないであろう。また、厳密に一定でなくてもほぼ一定であればよい。さて、この仮定の下で特異制御を示す（２４）を再び見よう。このとき両辺からｐ－ｃが消去されることがわかる。したがって、特異制御の曲線は、利子率と森林の成長によってのみ決定されることになる。それは、間伐に補助金（厳密には材積当り一定の補助金）を与えるといったｐやｃを変化させる政策は、何ら間伐を促進しないことを意味している

ただし、この結果をもって現実の間伐促進政策を否定することは早計である。まず、Clarkのモデルの現実妥当性がチェックされねばならない。一方実証面では、補助金政策が実際に間伐を促進したかどうかを検証する必要がある。また、枚田(1990,1991,1992)が示すように、間伐促進政策の効果は、森林所有者の意思決定のみならず実行組織である森林組合の経営方針によって大きく左右される。したがって、このような政策の受け皿となる組織体の意向もまた無視することはできない。ただし残念ながら、これらを包括する総合的な研究は現在のところ公表されていない。またここで強調すべきことは、森林所有者の意思決定モデルによる分析は、このような議論や考察の単なる一部分に過ぎない、ということである。

（２）　価格の変化を許すモデル

Faustmann式の拡張は定常性の仮定にも向けられている。すでにみたモデルでは立木価格、賃金率、利子率及び生産関数は時間を通じて一定であると仮定してい

る。この仮定がかなり非現実的なものであることは明らかである。そして1980年代に入ってから、これらのパラメーターの変化を許すモデルが見られるようになっている。ここでは最近の論文から、立木価格の変化を取り入れたNewman他(1985)のモデルを見る。また、生産関数の変化（バイオテクノロジーの進歩)について考察したJohansson and Löfgren(1985)のモデルを紹介する。

Newman他はMcConell他(1983)のモデルを改良して、立木価格が指数関数的に上昇するという条件の下での最適伐期齢を検討している。そのモデルは次のように表わされる。

$$\max\ PV = -wL + \sum_{i=1}^{N}\{[p(D_i)f(T_i) - wL]\exp(-rD_i)\}$$

$$\text{subject to}\quad D_i = D_{i-1} + T_i = \sum_{j=1}^{i} T_j \quad (i = 1, \cdots, N)$$

ここで、T_i：第 i 期の伐期齢、D_i：T_iに対応する暦上の日付、$p(D_i)$：D_i時点における立木価格である。

上で示された問題は等号制約条件つき最適化問題である。したがって第 i 期の純収入を

$$\phi_i = p(D_i)f(T_i) - wL$$

で表し、ラグランジュ乗数（Lagurange multipliers）をλ_i（$i = 1, \cdots, N$）とすると、最適伐期齢は以下の１階の条件を満たす。

$$\partial\phi_i / \partial T_i - \lambda_i = 0, \quad i = 1, \cdots, N \qquad (25)$$

$$[\partial\phi_i / \partial D_i - r\phi_i + \lambda_i]\exp(-rD_i) - \lambda_{i+1}\exp(-rD_{i+1}) = 0, \quad i = 1, \cdots, N \qquad (26)$$

（２６）の i からNまでの和をとると、

$$\lambda_i = -\sum_{j=i}^{N}[\partial\phi_j / \partial D^j - r\phi_j]\exp[-r(T_j - T_i)] + \lambda_{N+1}\exp[-r(T_{N+1} - T_i)]$$

これを（２５）に代入すれば、

$$\partial\phi_i / \partial T_i + \sum_{j=i}^{N}\partial\phi_j / \partial D_j\exp[-r(D_j - D_i)] = \sum_{j=i}^{N} r\phi_j\exp[-r(D_j - D_i)]$$

上の等式の左辺は、i ＋１期以降の最適伐期齢を固定して、第 i 期の伐期齢を微小時間ΔＴだけ延長することによる第 i 期の利潤の変化と、将来の伐採が日付の点でΔＤ（＝ΔＴ）だけ遅れることによる将来の利潤の変化との和（D_i時点での現在価値）を表わしている。一方、右辺はD_i時点での競争地代（林地の機会費

用）であり、これらが等しくなる伐期齢が第ｉ期の最適伐期齢であることを示している。

最適解の１階の条件は次のようにも変形できる。（２５）より（２６）のλ_i、λ_{i+1}を消去し、$\phi_i = p(D_i)f(T_i) - wL$を代入して、整理すれば、

$$rp(D_i)f(T_i) = [p(D_i)\dot{f}(T_i) + \dot{p}(D_i)f(T_i) + rwL] - p(D_{i+1})\dot{f}(T_{i+1})\exp(-rT_{i+1}) \qquad (27)$$

（２７）の左辺は、D_i時点で即座に伐採することによって得られる利潤の利子分を表している。一方、右辺は、第ｉ期の最適伐期齢を微小期間ΔＴだけ遅らせ、第ｉ＋１期の伐期齢をΔＴだけ早めた場合の利潤の変化分を示している（第ｉ期の伐採時点以外は日付は変化しないことに注意されたい）。そして上の等式は、最適伐期齢において両者が等しくなることを示している。実際、右辺が大きければ第ｉ期の伐採は遅らせる方がよいし、左辺が大きければ反対に早めるべきである。

Newman他は、（２７）を利用して、立木価格が指数関数的に上昇するケース（$\dot{p}/p = \alpha$，α：一定）の最適伐期齢について検討している。その結果は以下の通りである。すなわち、

① $\alpha > 0$において、最適伐期齢は次第に短くなる。

② $\alpha > r > 0$かつ$\alpha \fallingdotseq r$の場合には、その伐期齢は森林純収穫最大（ＮＭＳＹ：net maximum sustainable yield）の伐期齢を最初上回り、やがてＮＭＳＹの伐期齢に収束する（$\alpha \fallingdotseq r$はＰＶが収束するための条件である。なおＮＭＳＹについては第２章を参照のこと）。

③ $r > \alpha > 0$の場合は、最適伐期齢は$r - \alpha$を利子率とし、造林費用を０としたときのFaustmannの伐期齢に収束する。

次にJohansson and Löfgren(1985)第５章第４節のモデルを見よう。Newman他のモデルでは立木価格の変化が考察されたが、彼らはこれとは異なった観点から定常性の仮定を拡張しており、その関心はバイオテクノロジーの進歩が最適伐期齢にどのような影響を及ぼすかにある。また彼らのモデルは無限計画期間モデルであり、その点でFaustmann式の厳密な拡張となっている。

彼らのモデルは、技術進歩によって品種改良が進み、新たな造林時点ではより

大きな収穫を約束する品種を植林することができるというものである。ただし、技術進歩は元の生産関数に数値Φを乗じることで表現され、どの時点で収穫しても以前の品種よりはΦ倍だけ収穫量が増えることが想定されている。したがって生産関数の形状が全く異なる品種が採用されるということは考慮されていない。また技術進歩には上限が与えられており、収穫量が無限に大きくなることはない。

以上のモデルを数式の形で表現すると、生産関数 $f(T)$ は、第1期 $f(T_1)$、第2期 $\Phi_1(T_1)f(T_2)$、第3期 $\Phi_1(T_1)\Phi_2(T_2)f(T_3)$、・・・と乗数的に変化し、一般に第 i 期の生産関数は

$$\Pi_{j=1}^{i-1}\Phi_j(T_j)f(T_i)$$

で示される。ただし仮定として

$$\lim_{N\to\infty}\Pi_{i=1}^{N}\Phi_i(T_i)<\infty$$

と生産関数の変化には上限が与えられている。また、すべての i について $\Phi_i \geqq 1$ であり、生産関数が以前より悪くなることはない。なお、彼らはモデルを簡略化するために、造林費用を0、木材価格を1と仮定している。前者の仮定は造林投資を伐採の結合生産と見なすものと解釈できる。後者については、収穫材積の単位を造林投資の費用を差し引いた純立木価格1円あたり材積（m^3／p）とするものである。

さて、Johansson and Löfgrenの最適伐期齢の導出は次のようなものである。決定論的世界では任意の第 i 期の競争的林地価格（V_i^*）は既知であるとして、まず、第2期の競争的林地価格と第1期の生産関数から第1期の最適伐期齢の必要条件を求める。次にこの結果を第 i 期の最適伐期齢に一般化する。

ベルマン（Bellman）の最適性原理によって、最適経路（第1期から第∞期までの最適伐期齢）の部分経路（第 i 期の最適伐期齢）は過去の最適伐期齢に影響されることなく、やはり最適である（同定理については例えば西村清彦(1990)第3章を参照されたい）。したがって第 i 期の植栽時点での林地の機会費用（0時点での現在価値）を

$$\Pi_{j=1}^{i-1}\Phi_j(T_j)V_i\exp(-r\Sigma_{j=1}^{i-1}T_j)$$

と表せば、ベルマン方程式と呼ばれる次の等式が成立する。すなわち、

$$V_i=\max\ [f(T_i)+\Phi_i(T_i)V_{i+1}]\exp(-rT_i)$$

である。これより、第 i 期の最適伐期齢 T_i^* は次の1階の条件を満たす。

$$\dot{f}(T_i^*)/f(T_i^*)=r+[r\Phi_i(T_i^*)-\dot{\Phi}_i(T_i^*)][V_{i+1}^*/f(T_i^*)]$$

この１階の条件を用いて彼らが得た結果は以下の通りである。

① モデルの仮定により $i\to\infty$ で Φ_i は１に収束し、$\dot{\Phi}_i$ はゼロとなる。したがって上の１階の条件はFaustmannのルールの１階の条件と一致する。すなわち $i\to\infty$ で最適伐期齢はFaustmannの伐期齢に収束する。

② 全ての i について $r\Phi_i(T_i^*)-\dot{\Phi}_i(T_i^*)\geq r$ を仮定すると、全ての伐期齢はFaustmannの伐期齢よりも短くなる。

③ さらに $\dot{\Phi}_i=0$ の仮定をおくと、$\Phi_i V_i^*-\Phi_{i-1}V_{i-1}^*>$（$<$）0では、伐期齢はその前期の伐期齢よりも短く（長く）なる。

ここで以上の二つのモデルに関して若干のコメントをしておこう。まずNewman他のモデルについて。彼らのモデルの問題は、それが有限計画期間問題として定式化されている点である。Faustmann式は無限計画期間モデルなので、彼らのモデルは厳密にはFaustmann式の拡張とはいえない。もし植伐回数Ｎを十分に大きくすることによって、彼らの利潤ＰＶとFaustmannの利潤Ｖとの差を好きなだけ小さくすることができるならば、有限計画期間問題で無限計画期間問題を近似することが許される（Johansson and Löfgren(1985)第６章第３節の議論を参照されたい）。しかしこの点に関して彼らはなんら議論していない。

次にJohansson and Löfgrenのモデルについて。彼らはベルマンの最適性原理から最適伐期齢を導出しており、このため問題を無限計画期間問題として定式化することができている。また、そのモデルは生産関数の変化を扱うものだが、生産関数を一定として純立木価格が $\{1, \Phi_1(T_1), \Phi_1(T_1)\Phi_2(T_2), \cdots\}$ と変化するものと見なせば、立木価格が変化するモデルとしても解釈できる。これらの点で、彼らのモデルはNewman他のモデルよりも優れているといえるだろう。ただし彼らのモデルにも短所がある。第１に、暦上の日付が考慮されていないこと、第２に造林投資を立木販売の結合生産と見なしているため、立木価格と賃金率等の変化を別々に扱うことができないこと、である。これらによって、彼らのモデルでは、想定できる価格変化の経路が限定されることになる。

本項の最後に一つの疑問を提示しておこう。

以上のような問題設定、すなわち定常性の仮定を緩めたときに最適伐期齢の流

列がどのような特質を示すかを明らかにすることは、現実の森林、林業の経済分析にどのような意味を持っているのだろうか。非現実的な定常性の仮定を緩めるということは興味深く、また重要である。しかし、各植伐における最適伐期齢の大小に関する考察はそれほど有用なものとは考えられない。例えば第3回目の植伐の最適伐期齢が第1回目の最適伐期齢よりも長くなる（あるいは短くなる）という理論的な結果から、森林政策上のいかなる含意を汲み取ることができるだろうか。考察すべき問題は数百年先の伐期齢ではなく、むしろ現在成長している森林がいつ伐採されるか、あるいは伐採されるべきかという点にあるように思われる。例えば、森林所有者が木材価格に対して強気の予想をしている場合と弱気の予想をしている場合では、現在存在する森林の最適伐期齢がどのように異なるかを、定常性の仮定に頼らずに明らかにすることが重要と考えられる（定常性の仮定の下での結果は第2章で示される）。Faustmann式の拡張はこのような問題に向けられるべきではないだろうか。

ただし、このような問題に答えることはそれほど難しいことではないかもしれない。一つの例として、将来の木材価格に対する森林所有者の予想が以前よりも弱気になるケースを検討しよう。

Faustmannのルールとは、立木の成長による立木販売収入の増加が立木と林地の機会費用を賄えなくなれば伐採せよというものであった。したがって価格の変化を許す、より一般的なFaustmannの伐期齢が満たすべき1階の条件は

$$d[p(t)f(T)]/dt-r[p(t)f(T)+V(t)]=0$$

と表される（（3）式と比較されたい）。ここで t は時点を表す。また T は林齢であり、f は現在生育している森林の生産関数である。将来の木材価格に対する予想は、林地の機会費用を示す $V(t)$ に表現されている。ここでは定常性を仮定していないので、V はもはや一つの伐期齢の関数ではなく無限の将来にわたるすべての伐期齢の関数となることに注意されたい。

さて、現時点（$t=0$）で今まさに林齢 T^* の林分を販売しようとしている森林所有者を想定しよう。この林分では1階の条件

$$d[p(0)f(T^*)]/dt-r[p(0)f(T^*)+V(0)]=0$$

が成立している。問題は、将来の価格経路に関する彼の予想が強気から弱気に変わったり、弱気がさらに弱気になったりするケースで、最適伐期齢 T^* がどのよう

に変化するかである。

この場合、予想価格経路の変化は、

$p_{OLD}(t) \geq p_{NEW}(t)$ for $\forall t > 0$, $p_{OLD}(t) > p_{NEW}(t)$ for $\exists t > 0$

と表現することができる。ここでp_{OLD}は以前の予想価格経路を示し、p_{NEW}は新しい予想価格経路を示す。同様に、以前の予想価格経路に対応する林地の機会費用をV_{OLD}、新しい予想価格経路に対応するものをV_{NEW}、そして以前の予想価格経路の下で、新しい予想価格経路に対応する最適伐期齢を採用する場合に得られる利潤の流列の現在価値を$V^{\sim}$で表そう。このとき、

$V_{OLD} \geq V^{\sim} > V_{NEW}$

が成立する。2番目の不等式は上の価格に関する条件から成立する。一方、最初の不等式は、$V^{\sim}$を得るための伐期齢が必ずしも以前の予想価格経路での最適伐期齢とは一致しないことから導かれる。この不等式は将来の予想価格経路がどのようなかたちであれ成立することに注意しよう。

以上から、新しい予想価格経路の下では林地の機会費用が小さくなり、上でみた1階の条件は満たされなくなる。すなわち、

$d[p(0)f(T^*)]/dt - r[p(0)f(T^*) + V_{NEW}] > 0$

この不等式は、その時点で立木を置いておくことによる利潤は、伐採して得られる利潤（立木と林地の機会費用）よりも大きいことを示している。したがって将来の木材価格に対する予想が以前よりも弱気になるケースでは、販売は延長されることになる。すなわち最適伐期齢は以前よりも長くなることがわかる。

（3）　確率的最適伐期齢決定モデル

当然のことだが、育林投資を含めてあらゆる投資行為は、不確実な将来に対する経済主体の選択行為である。したがって現実の森林、林業の経済分析において最適伐期齢理論を説得力のあるものにするには、不確実性に対する配慮が必要である。本項では、このような不確実性を明示的に取り入れた確率モデルを取り上げる。

不確実性下の経済主体は理論的には次の3つのタイプに分類される。それは、不確実性をいっさい考慮しない危険中立者、不確実性を嫌う危険回避者、そして不確実性を好ましいものと見なす危険愛好者である。危険中立者を対象とするモ

デルでは、その最適化問題は単に利潤の期待値を最大化するものである。この場合、確定的な利潤と不確実な利潤とは、期待値が等しい限り同じように望ましいものと見なされる。一方、危険回避者や危険愛好者では最大化されるのは効用の期待値（期待効用）であり、この場合には利潤の期待値のみならず、その分散やさらに高次のモーメントが期待効用の水準に影響を与える。例えば危険回避者の場合には、確定的な利潤と不確実な利潤の期待値が一致しても、確定的な利潤の方が好ましいものと見なされる。危険愛好者の場合には反対である（危険及び不確実性下の経済主体に関するより詳細な解説は酒井(1982)、あるいは桐谷(1986)を参照されたい）。

これら3つのタイプの経済主体のうち、現実の経済主体として最も妥当と思われるものは危険回避者であろう。しかし現在のところ、最適伐期齢の決定モデルとして適切なものは、危険中立者に関するモデルに限られている。したがってここでは、この危険中立者を対象とする二つのモデルについて解説し、不確実性を導入することによって喚起される重要な問題について論じる。なお、危険中立者のモデルを危険回避者のモデルに変更するには、利潤πに対して凹効用関数uを設定し、E(π)の代わりにE[u(π)]を最大化する問題を考えればよい（ここでEは期待値をとる演算子である）。ただし、このような変更によってモデルはかなり複雑なものとなり、今日まで危険回避者を対象とする適切なモデルは発表されていない。

ここで取り上げる二つのモデルは、これまでのモデルと異なり、いずれも離散型時間によるモデルである。理論的に適切な連続型モデルもいくつか発表されている（Miller and Voltair(1980)、Miller and Voltair(1983)）が、不確実性を連続型モデルで取り扱うには伊藤の変換公式を中心とする確率変数の微積分に関する演算が必要であり、そのためにかなりの数学的準備が要求される（伊藤の変換公式については例えばKamien and Schwartz(1981)、森島・木島(1991)などを参照されたい）。その一方で、問題の本質的な部分は離散型モデルでも十分表現されるため、ここでは連続型モデルには言及しないこととする。

さて最近、不確実性下における危険中立者のためのFaustmann式を定式化した最適立木販売モデルが、Brazee and Mendelsohn(1988)によって発表された。彼らのモデルは立木価格を確率変数としており、それは時間を通じて不変、かつ異時点

間で独立な正規分布と仮定されている（i.i.d.の仮定。正規分布の仮定はアメリカ合衆国の現実の木材価格の変動を調査した結果取り入れられた）。また立木はいつかは枯死する、すなわち選択可能な伐期齢は有界であると仮定されている。

Brazee and Mendelsohnの基本的な考え方は次のようなものである。今、仮にある林齢（t）で販売が決定されるならば、それは将来予想される利潤よりもその林齢で得られる利潤の方が大きいためと考えられる（ここで販売の意味は、立木および林地を売り払うことである。もし林地を含めないと、モデルはFaustmannのルールの厳密な拡張ではなくなる）。そしてt林齢における利潤は、その時点で実現した立木価格に依存するから、意思決定のためのある一定の基準となる価格が存在して、もしそれよりも現実の立木価格が高ければ販売するだろうし、もし低ければ販売を見合わせるだろう。このような販売の基準となる立木価格を、彼らはt林齢における留保価格（reservation prices）と呼んでいる。

この彼らの考え方を定式化すると以下のようになる。無立木地から始めるとして、もしt林齢（t年後）の留保価格P_tが与えられると、t年における販売収入の期待値は、

$$R_t = \int_{P_t}^{\infty} [p f(t) + E(W)] \zeta(p) dp$$

で表わされる。ここでE(W)は林地の機会費用の期待値であり、$\zeta(p)$は立木価格pの確率密度関数である。t林齢で販売が行われるためには、それ以前に販売が行われてはならないことに注意しよう。また、確率過程の独立性の仮定に注意すると、無立木地から始まる全期間にわたる利潤の期待値の現在価値、すなわち林地の機会費用の期待値は、次式のように表わされる。

$$E(W) = -wL + R_1\beta + \Gamma(1)R_2\beta^2 + \Gamma(1)\Gamma(2)R_3\beta^3 + \cdots + \Pi_{i=1}^{Z-1}\Gamma(i)R_Z\beta^Z \qquad (28)$$

ここで、

Z：立木が枯死する林齢。

$\beta = (1+\iota)^{-1}$：割引要因（ιは離散型モデルに対応する年利子率）。

$\Gamma(i) = \int_{-\infty}^{P_i} \zeta(p) dp$：i林齢で販売が行われない確率。

である。

Faustmann式の考え方に従えば、（28）で表わされるE(W)を最大にすることが要求される。言い換えれば、林地の機会費用の期待値を最大にするようなZ個

の留保価格を求めることがここでの問題である。この問題に対して、Brazee and Mendelsohnは次のように考える。任意のｋ林齢において留保価格（販売を決意する最低の価格）で販売した際に得られる利潤の現在価値は、それ以降のｋ＋１からＺまでの林齢で得られる利潤の期待現在価値に等しくなるはずである。すなわち、

$$[P_k f(k)+E(W)]\beta^k = R_{k+1}\beta^{k+1}+\Gamma(k+1)R_{k+2}\beta^{k+2}+\cdots$$
$$+\Pi_{i=k+1}^{Z-1}\Gamma(i)R_Z\beta^Z \qquad (29)$$

ベルマンの最適性原理により、１年目からＺ年目までの最適立木販売政策の部分経路であるＺ－１年目からＺ年目における立木販売政策もまた、それ自身最適立木販売政策でなければならない。言い換えると、上式にＫ＝Ｚ－１を代入して得られる留保価格P_{Z-1}は、無立木地から始まる立木販売政策においても最適な留保価格である。さらにＺ林齢においては、どのような価格であろうとも販売することに気付けば、Ｚ－１林齢の留保価格は次の等式を満たすことがわかる。

$$P_{Z-1}=\{[E(p)f(Z)+E(W)]\beta-E(W)\}/f(Z-1) \qquad (30)$$

（３０）で得られたP_{Z-1}からR_{Z-1}を得ることができる。これを（２９）に代入すれば、次にP_{Z-2}を得ることができる。以下、同様に順次後戻りして、各林齢に対する留保価格が求められる。

ただし留保価格はＥ(Ｗ)の関数である。したがって留保価格を求めるには(２８)と（２９）からなる連立方程式を解かねばならない。Brazee and Mendelsohnはこれを代数的に解くことを諦めて、代わりにその数値解を示している。数値解から得られた結果は次の通りである。

① 林地の価値は立木価格の期待値を素朴にFaustmann式に代入して得られるものよりも高くなる。

② 留保価格は林齢に対して単調減少し、次第に立木価格の期待値に近づく。

③ 販売が行われる確率の最も高い林齢は、平均価格を用いたFaustmannの伐期齢よりわずかに高くなる。

以上の彼らのモデルは、危険中立者と確率過程に関する仮定を認めれば、不確実性下におけるFaustmann式の忠実な拡張となっている。不確実性下では最適伐期齢そのものが確率的なものになるということは興味深い事実である。

ところで彼らのモデルにしたがえば、立木価格の短期的な上昇は木材の供給量を増やすことになる。しかし、木材価格の上昇は果して木材の供給量を増やすことにつながるのだろうか。むしろさらに価格が上昇することを森林所有者は予想して、販売を手控えるかも知れない。このような行動は、価格変動にある種のマルコフ性が観察される場合に生じるだろう。一方、彼らが仮定しているように、立木価格の短期的な変動が現在の価格とは独立であれば、このような行動はとられない。しかし彼ら自身、独立性の仮定はアメリカ合衆国における木材価格の動向を見ると非現実的であると述べている。そこで次に確率過程を独立ではなく、マルコフ過程としているJohansson and Löfgren(1985)第１２章第２節のモデルを紹介する。ただし、残念ながらそのモデルはFaustmann式の拡張ではなくFisherのルール（競争的林地価格を考慮しない）を基礎としたものである。また、計画期間も暗黙のうちに有限（ｎ期間）と見なされている。

さて、彼らのモデルを示そう。$V_0, V_1, \cdots, V_t$は、各時点の立木の価値を示すものとする。ε_tは確率的な価値の成長を表し、$V_t = x$のときのε_tの条件付確率分布は、時間に依存しない定常遷移確率$\zeta(\cdot \mid x)$に従うものと考える。さらに、立木価値水準ｘに対する価値成長の期待値を

$$\mu(x) = E(\varepsilon_t \mid V_t = x)$$

で表わす。$\mu(x)$は厳密に凹であるとする。次に伐採の期待値を最大にする期待最適利得関数を$H(x)$で表わす。すなわち

$$H(x) = \sup_{t \in N} E(V_t \beta^t \mid V_0 = x), \quad N = 0, 1, 2, \cdots$$

ここでβは上述のBrazee and Mendelsohnのモデルの中で定義されている割引要因である。この最適利得関数は、ｘそれ自身か来期における確率的な最適利得関数の期待値をβで割り引いたもののいずれかになるはずである。したがって$H(x)$は次の等式を満たす。

$$H(x) = \max[x, \beta \int H(y) \zeta(dy \mid x)]$$

さらに、$H(x, n)$をｎ期間問題に関する最適利得関数とし、

$$\lim_{n \to \infty} H(x, n) = H(x)$$

で表わす。

以上のモデルによって、初めに立木の価値成長が少なくとも負にはならないという仮定を置いた時の最適伐採方策を求める。この仮定は、すべてのｘについて

$\zeta[(-\infty, x)\mid x]=0$を意味する。まずn期間問題を考察する準備として、1期間問題を考えよう。現在の伐採による利得が、来期の伐採の期待利得よりも少なくとも小さくならない、言い換えれば、現在の伐採が1期間問題における最適伐採であるような立木価値水準の集合をBで表わす。Bは、

$$B=\{x : x \geqq \beta \int y \zeta(dy \mid x)\}$$

である。この式と次式

$$\int y \zeta(dy \mid x)=x+\int(y-x)\zeta(dy \mid x)=x+\mu(x)$$

より、もし$x(1-\beta) \geqq \beta\mu(x)$ならば、$x \geqq \beta \int y \zeta(dy \mid x)$である。横軸に立木価値水準、縦軸に$Y_1=x(1-\beta)$および$Y_2=\beta\mu(x)$をとると、$Y_1$は傾き$1-\beta$の直線で表わされ、また$\mu(x)$が凹関数であることから$Y_2$は上に凸の曲線で表わされる。したがって最初$Y_1<Y_2$とすると、ある$x^*$で必ず$Y_1$と$Y_2$は交わり、$x>x^*$では常に$Y_1>Y_2$となる。以上から$B=\{x : x \geqq x^*\}$であることは明らかである。

次に問題をn期間に拡張する。すべての$x \in B$に対して、$H(x, 1)=x$が成り立っている。仮定により、立木価値水準xは少なくとも減少することはないから、いったん立木が成長してその立木価値がBの要素となると、それ以降も常にBの要素であり続ける（1期間問題としては常にその時点で伐採することが最適となる)。さて、問題は次のように表わすことができる。

$$H(x_0, n)=\max[x_0, \beta \int H(x_1, n-1)\zeta(dx_1 \mid x_0)]$$

$$H(x_1, n-1)=\max[x_1, \beta \int H(x_2, n-2)\zeta(dx_2 \mid x_1)]$$

$$\vdots$$

$$H(x_{n-2}, 2)=\max[x_{n-2}, \beta \int H(x_{n-1}, 1)\zeta(dx_{n-1} \mid x_{n-2})]$$

$$H(x_{n-1}, 1)=\max[x_{n-1}, \beta \int x_n \zeta(dx_n \mid x_{n-1})]=x_{n-1}$$

以上の連立方程式は、最後の行の式からその結果をその前の式に代入することで、次々と1期間問題に還元することができる。したがってx^*はn期間問題においても最適な立木価値水準を表している。一方、$x \in B^C$については、少なくとも来期に伐採を延長することが最適伐採方策となる。以上から、最適立木価値水準を示す最適利得関数は、

$x \geqq x^*$の時、$H(x)=x$,

$x < x^*$の時、$H(x) > x$
となる。

次に最適立木価値水準x^*について考察しよう。無立木地（あるいは$x \in B^C$の任意の立木価値水準に対応する林齢の森林）から始めるとすると、その最適立木価値水準は$V_T^*(1-\beta) = \beta\mu(V_T^*)$を満たす。$\beta = (1+\iota)^{-1}$を代入して、これを整理すれば、$\iota = \mu(V_T^*) / V_T^*$である。この最適立木価値水準の等式は、林地の機会費用を考慮しないFisherの伐期齢の１階の条件と一致する（１階の条件は第２章を参照のこと）。したがって、来期の価値成長が現在の立木価値水準の条件付確率で表わされるが、決して現在の水準を下回ることはないという条件の下で、危険中立者の最適立木価値水準は決定論的なFisherの伐期齢が示す最適立木価値水準に一致する。

以上の結果は、すべてのxについて$\zeta[(-\infty, x) \mid x] = 0$というあまり現実的とはいえない仮定の下でのものである。この仮定を拡張して、

$\zeta[(-\infty, x) \mid x] \neq 0$

とする。すなわち、立木価値が来期に減少する可能性があることを認めるとしよう。この場合、最適利得関数が常に$H(x) \geq x$を満たしていることに注意すれば、Bに含まれないすべてのxについて、

$x \in B^C = \{x : x < x^*\} = \{x : x < \beta \int y \zeta(dy \mid x)\}$

である。したがって、

$\beta \int H(y) \zeta(dy \mid x) \geq \int y \zeta(dy \mid x) > x$

となり、１期間問題における最適立木価値水準x^*を下回るようなxにおいては、伐採を来期以降に延長することが最適政策となる。このように、確率分布の仮定を拡張しても、その最適伐採方策を示す立木価値水準は決定論的最適立木価値水準を下回らない。

以上がJohansson and Löfgrenのモデルと結果である。Brazee and Mendelsohnと同じように、彼らのモデルにおいても最適伐期齢は確率的、陰伏的に表される に過ぎない。すなわち不確実性が導入されると、伐期齢はもはや最適伐期齢という確定的な値をとることはできず、世界の状態（木材価格や立木価値水準）に依存して決定される条件付きの変数になる。このことこそ、決定論的世界から確率的世界へとモデルを拡張するときに生じる最も重要な変更である。

伐期齢が確率的なものとなることは、実際の意思決定を考えても納得のいくものである。造林時に伐期齢を30年と決めたからといって、実際に30年後に伐採することは必ずしも賢明な行動とはいえない。現実には森林所有者は、各時点時点で臨機応変に対応するだろうし、また収穫期の選択幅の広い育林生産ではそうすることが可能である。もしそれ以前に木材価格が一時的に高騰すれば、この立木は30年を待たずに販売されるかもしれない。一方、今日のように木材価格が低迷している状況では、伐期齢はさらに数十年も延長されるかもしれない。

一方、不確実性の導入にともなって最適伐期齢が確率的伐期齢へ変更されることを見落とすと、モデルは不適切なものとなる。例えばCaulfield(1988)は森林火災の不確実性を考慮したモデル（Fisherのルールによる）を定式化し、確率的効率アプローチ（例えば桐谷(1986)第8章や酒井(1982)第6章第2節を参照のこと）から造林投資時点での最適伐期齢を数値的に求めている。また、Bhattacharyya and Snyder(1988)は、立木価格の不確実性を取り上げ、Faustmann式に危険回避者の効用関数を組み込んだモデルで、造林投資時点における最適伐期齢を定式化している。これら二つのモデルの共通点は、最適伐期齢は造林投資時点で決定され、その後の世界の状態変化に関わりなく、その伐期齢に至れば森林は伐採されるとみなしていることにある。しかし、この想定が非現実的であることはすでに明らかであろう。彼らの誤りは、最適伐期齢という概念を確率的世界にそのまま持ち込んでいることにある。極端な言い方をすれば、最適伐期齢は決定論的世界でのみ有効な概念であって、確率的世界では最適伐期齢という概念は存在しない。

しかしこのことから次のような重大な疑問が生じる。現実の世界ではほとんどの事象が不確実性を帯びている。このため決定論的世界での考察、なかでも最適伐期齢を中心とする考察は、現実の森林、林業の経済分析には役立たないのではないだろうか。残念ながら、この疑問に対する明快な答えは現在のところない。

不確実性が導入されるとモデルはきわめて複雑となる。したがって導かれる結果も決定論的世界の結果に比べれば貧弱なものとならざるを得ない。できることならば、決定論的世界での結果が確率的世界でもなんらかの意味を持つことが望まれる。例えば、もし決定論的世界での最適伐期齢が、確率的世界での伐期齢の平均値を意味するとすれば、決定論的世界の結果は確率的世界での経済現象の分析に利用することができる。Brazee and Mendelsohnの数値解は、これに類する関

係の存在を暗示するものである。しかし疑問を解消するためには、決定論的最適伐期齢が不確実な世界の確率的な伐期齢とどのような関係にあるかを、理論的に明らかにしなければならない。

Johansson and Löfgrenのモデルでは、決定論的世界と確率的世界をつなぐ共通の概念は最適立木価値水準であった。こうした共通の概念があれば、それによって決定論的世界での結果と確率的世界での結果の関係を知ることができる。ただし条件として、このような概念は確率的世界でも確定的な変数でなければならない。このため残念ながら、最適伐期齢は共通の概念となることはできない。また、Brazee and Mendelsohnの留保価格は必ずしも決定論的世界での対応物が明確ではない（ここでは潜在価格との関係が検討されねばならないだろう）。

おそらく多くのモデルにおいて有用な概念は、最適立木価値水準である。ある立木価値の水準が存在して、それを超えたときに森林は伐採される。このような理論的結果は、Miller and Voltair(1983)においても"a varrier strategy"として得られている。したがって不確実性下での最適伐期齢理論の重要な課題の一つは、この最適立木価値水準（あるいはvarrier strategy）の有用性の検討にある。もしこの概念が有用であれば、次は決定論的最適立木価値水準との大小関係が検討されることになる。また（確率的）最適立木価値水準からは確率的伐期齢を得ることができるから、平均値をはじめとするそのモーメントと決定論的最適伐期齢の関係が検討されるだろう。しかし、これらはいずれも今後明らかにすべき課題である。

（４）　異齢林モデル

これまで見てきたFaustmann式とその拡張モデルは、いずれも単一一斉林（同齢林）を対象とするものであった。しかし現実の森林所有者は、しばしば林齢の異なる複数の林分を所有している。また、規範的な観点から一国の森林をいかに利用すべきかと考えるとき、その対象となる森林は異なる林齢の林分から構成される異齢林である。したがって、Faustmann式の一つの拡張方向として異齢林モデルが考察される必要がある。

異齢林モデルは、木材供給に関する研究においてしばしば定式化されている（例えばLyon and Sedjo(1983)）。しかしながら、それらはいずれも数値解を計算

するにとどまっている。数値解の計算に先だって必要とされる理論的な考察、すなわち解の定性的な性質を検討した研究は少なく、Heaps(1984)とMitra and Wan(1985)の二つしかないようである。はじめに、この二つの論文について簡単に解説しよう。

Heapsは伐採純収入の現在価値の総和の最大化を目的とする連続型無限計画期間モデルを定式化し、最適伐採政策が満たすべき必要条件を導出した（彼はそれを林業最大値原理"the forestry maximum principle"と名付けている）。また、定常解の存在証明とそれへの収束条件に関する考察を試みている。

彼の定常解の概念は通常のものとは異なり、一定のインターバルをおいて同じ異齢林の資源構成が繰り返される状態を指している。このような概念の拡張は興味深いが、彼の得た結果の適用範囲は極めて限られたものである。すなわち彼はその定式化の段階において、各時点でただ一つの林齢の森林のみが伐採されることを想定しており、複数の林齢の森林が伐採される可能性を無視している。しかも彼は、その想定がどのような仮定の下で有効となるのかについては明らかにしていない。このため林業最大値原理は、一つの林齢の森林を伐採することが、常に最適となるような特殊な資源構成にある異齢林に対してのみ、有効な定理であるといわざるを得ない。Heapsの論文を見る限り、連続型モデルで異齢林を取り扱うことはかなり困難な作業を要するものと考えられる。

一方、Mitra and Wanは、伐採純収入から得られる効用の現在価値の総和の最大化を目的にした離散型無限計画期間モデルを定式化し、定常解の存在とそれへの収束について考察している。彼らの定常解の概念は通常のものであり、それはもし、異齢林の資源構成がその状態となると、それ以降はその資源構成を続けることが最適伐採政策となる状態を指す。彼らはこの状態が、Faustmannの伐期齢で構成された法正林であることを明らかにした。また彼らは線形及び凹効用関数のケースについて定常解への収束に関する考察を行っており、収束が必ずしも生じないことを数値例を用いて示している。

Mitra and Wanの研究は、法正林に関するミクロ経済学的考察とでもいうべきものであり、森林経理学者には十分に興味を引くものとなっている。古典的な法正林思想の支持者にとっては、法正林が最適解（定常解）であることは望ましい結果であり、一方、必ずしもそれに収束しないという結果は彼らを落胆させるもの

である。また現代的な森林経理学者に対しては、広義の法正林（鈴木(1979)第4章を参照）が、ミクロ経済学的に必ずしも基礎付けられないという問題を提示している。一方、林業経済学者にとっては彼らの結果はそれほど興味を引くものではない。なぜなら現実に法正林を所有する森林所有者はまれであり、日本の森林資源構成もまた法正状態にはない。そのうえ長期的にも法正林が形成される保証がないからである。

以上から明らかなように、現在のところ異齢林モデルに関しては森林、林業の経済分析のために有用な結果はあまり得られていない。以下では、異齢林モデルによる分析の今後の方向を展望するために、モデルを一般的な形で定式化し、その検討に有効と見られる定理に言及する。なおモデルは離散型無限計画期間モデルであり、森林の外部性についてはこれまでと同様、捨象することにする。本章のFaustmann式からの自然な拡張としては連続型時間を用いるべきだが、Heapsのモデルが示しているようにこれを扱うことは必ずしも容易ではない。また、計画期間および森林の外部性については表現の簡略化のためのものであり、有限計画期間モデルあるいは森林の外部性を考慮したモデルを定式化することは容易である（詳しくは赤尾(1992b)を参照されたい）。

まず、森林資源とその遷移を表現しよう。時点を非負の整数$t=0,1,2,\cdots$で表す。次にt時点での、林齢i以上$i+1$未満の森林の面積を非負の実数x_{it}で表す。林齢はそれを無限のものと考えるか有限とするかという問題があるが、ここでは有限とし、$i=0,1,\cdots,N$とする。ここで$i=0$は造林したての森林の林齢である。他方、Nは次のような性質を持つ十分に大きな林齢である。すなわち、林齢N以上の森林は林齢に関わらず同じだけ育林投入しか必要とせず、またその利用材積も等しい。このときN林齢の森林と$N+1$林齢以上の森林を区別する必要はなく、N以上の林齢をすべてN林齢として扱ってよい。

以上からt時点の異齢林の資源状態は$N+1$次非負列ベクトル

$$x_t={}^t(x_{0t},x_{1t},x_{2t},\cdots,x_{Nt})$$

で表される（上式右辺の右肩のtは転置記号である）。また、計画時点（$t=0$）の資源状態を所与として$x_0=x_0^{\#}$で表す。

t時点で林齢iの森林を伐採するとき、その面積をc_{it}で表現することにする。するとt時点でのさまざまな林齢の森林の伐採は$N+1$次非負列ベクトル

$c_t = {}^t(0, c_{1t}, c_{2t}, \cdots, c_{Nt})$

で表される。ここでc_{0t}が0となっているのは、伐採して再造林したての森林をまたその時点で伐採することはないということを表す。

森林は伐採されることも放棄されることもなければ、単位期間が一つ過ぎると一つ年をとる。このことは次のようなN＋1次正方行列Aをx_tに左から掛けることで表すことができる。

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & & 0 \\ 1 & \ddots & \mathbf{0} & \vdots \\ & \ddots & \ddots & 0 \\ \mathbf{0} & & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

さらにN＋1次正方行列Bを

$$B = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & & 0 \\ \vdots & 1 & & \mathbf{0} \\ \vdots & & \ddots & \\ 0 & \mathbf{0} & & 1 \end{bmatrix}$$

と定義する。以上の行列Ａ、Ｂを用いると次の不等式を得る。

$$A x_{t-1} - B x_t \geqq c_t \geqq \mathbf{0}, \quad t = 1, 2, \cdots$$

ここで$A x_{t-1}$は、もしｔ時点で伐採も放棄も行わなければそうなるｔ時点の資源構成を表し、$B x_t$は伐採等が行われた結果生じる実際のｔ時点の資源構成を表す（ただし造林面積x_{0t}は０に置き換えられている）。したがって上の不等式は両者の差よりも伐採面積が大きくならないことを示している。

上の不等式では造林面積に関する制約が表されていない。造林面積に関してはN＋1次行ベクトル$d = (1, 1, \cdots, 1)$を用いて不等式

$$d x_{t-1} - d x_t \geqq 0, \quad t = 1, 2, \cdots$$

によってその上限が表現される。この不等式は、もし伐採あるいは放棄した森林を全て再造林するとしても、森林の総面積は一つ前の時点の森林の総面積を超えることはないことを示している。なお、上の二つの不等式を等式にすると森林を放棄する可能性を考慮しないモデルとなる（Mitra and Wan(1985)のモデル）。

次に森林の植伐から得られる t 時点での利潤の現在価値（あるいは利潤から得られる現在効用）をπ_tで表す。利潤は立木販売収入から育林費用を差し引いたものである。収入は伐採面積の関数であり、育林費用はその時点での森林資源構成の関数となる。したがって利潤関数は

$$\pi_t = \pi_t(c_t, x_t)$$

で表される。さらに伐採面積が森林資源構成の変化から一意的に定まるとすれば、

$$\pi_t = \pi_t(c_t(x_{t-1}, x_t), x_t) = \pi_t(x_{t-1}, x_t)$$

と表すこともできる。いずれの形式をとるにせよ利潤関数には添え字 t がつけられていることに注意されたい。このことは定常性の仮定がここでは特に想定されていないことを意味している。

以上で、異齢林モデルを定式化する準備が整った。上の二つの利潤関数のうち、ここでは後者の形式を採用するとすれば、問題は次のように表される。

$$\max \sum_{t=1}^{\infty} \pi_t(x_{t-1},\ x_t)$$

$$\text{subject to } x_0 = x_0^*,\ x_t \geqq \mathbf{0},\ Ax_{t-1} - Bx_t \geqq \mathbf{0},$$
$$dx_{t-1} - dx_t \geqq 0 \quad \text{for } t = 1, 2, \cdots$$

このように定式化された問題は動的最適化問題と呼ばれ、それは計画期間の全ての時点における最適な森林資源の状態と最適な伐採・放棄政策を求める複雑な問題である。その複雑さは、ある時点での森林資源の利用はそれ以降の森林の資源状態に影響を与えるため、その利用にはそれ以降の全ての森林利用のあり方を考慮したものでなければならないという点にある。このため一般に動的最適化問題を直接解くことは困難である（特に無限計画期間問題の場合）。しかしながら、この動的最適化問題は、Weitzmanによって証明された無限計画期間凸計画の双対定理を用いることにより、より簡単な静学最適化問題に変換することができる（同定理は離散型時間に対応する一種の最大値原理である）。ただしそのためには、利潤関数の凹性を仮定する必要があり、またWeitzmanの設定した仮定を一部緩めなければならない。ここではこれらの数学上の課題には言及せずどのように変換されるかだけを述べよう。

双対定理によれば、上の問題に対して各時点で森林資源の潜在価格を表す非負N＋1次行ベクトル（双対価格）p_tが存在し、異齢林問題は各時点で次の双対問題を解くことと同値となる。

$$\max \ \pi_t + p_t x_t - p_{t-1} x_{t-1}, \quad t = 1, 2, \cdots$$

ここでx_{t-1}、x_tは計画時点での異齢林の資源構成（初期条件）から遷移可能な$t-1$及びt時点での異齢林の資源構成を示す。この双対問題を基に双対価格の特質を検討することによって、異齢林の最適な利用のあり方に関するいくつかの特質を導くことができるであろう。ただしそのような研究は未だ公表されておらず、それは今後の課題である。

さて本項の最後に、異齢林問題を個々の同齢林の問題に分解できる条件について考察しておこう。もし分解が可能であれば、異齢林に関する複雑な動的最適化問題を解く必要はなくなり、単一一斉林モデルの結果をそのまま利用することができる。

今、異齢林を単位面積で分割してn個の一斉林に分けることができるとする。そして個々の一斉林iにおける利潤の現在価値の総和を$\pi_i(\phi_i)$で表す。ここでϕ_iは第i林分でとられる政策を表している。すべての一斉林から得られる総利潤をΠで表せば、$\Pi = \Sigma_{i=1}^{n} \pi_i$である。このとき、もし

$$\partial \pi_i / \partial \phi_j = 0 \quad \text{for all} \ \ i, j \ \ (i \neq j)$$

ならば、異齢林は個々の一斉林に分解して考察することができ、

$$\max \ \Pi(\phi_1, \cdots, \phi_n) = \Sigma_{i=1}^{n} [\max \ \pi_i(\phi_i)]$$

である。この条件は、ある林分に対する政策が他の林分に対して影響を及ぼさないということを表現している。そしてそれが成立するのは、先に定式化した異齢林モデルが線形制御問題となる場合である（有限計画期間問題に関しては、このことはJohansson and Löfgren(1985)第6章で証明されている）。すなわち利潤関数が$\pi_t = \alpha_t x_{t-1} + \beta_t x_t + \gamma_t$と表されるならば、異齢林問題は個々の単一一斉林問題に分解して考察することができる。この条件はより具体的には、各時点での木材価格や賃金率、そして利子率などが、木材の生産量や労働の投入量、資金の需要量によって変化しない場合である（ここでは定常性の仮定は要求されていないことに注意されたい）。

しかしながら、そのような線形性の想定は現実には必ずしも妥当とはいえない。例えば累進的な所得税の存在は非線形要因である。同様に伐出費用関数が非線形ならば、問題を線形モデルによって定式化することはできない。また、森林の外部性が導入される場合には、線形制御モデルは現実をかなり抽象化したものとな

るだろう。また、線形制御モデルが分析に用いられると、次のような極端な政策が最適政策として示されることになる。すなわちある時点での最適伐期齢がＴであれば、それ以上の林齢の森林は直ちに伐採されることが最適とされ、能力の許す限り森林は伐採される。反対にもしその伐期齢に達する森林がなければ、その時点では森林はできる限り伐採されないことが最適となる。線形制御モデルはこのような極端な伐採政策（バンバン制御）を指示する性質を持っている。

以上の考察から、単一一斉林モデルは線形異齢林モデルであり、したがってそれはさまざまな線形性を明示的にあるいは暗黙のうちに仮定していることがわかる。そしてそのモデルから得られる結果は、現実と比較すると極端なものとなっている可能性があることが指摘できる。しかしこの指摘は、単一一斉林モデルによる考察や分析の現実妥当性を否定するものではなく、一つの注意を与えるものと理解すべきである。なぜなら線形モデルの結果は、極端な強調があるかもしれないが、その指示する方向は誤りではないからである。アナロガスな言い方をすれば、非線形性とは線形モデルに働く摩擦のようなものである。例えば、単一一斉林モデルから最適伐期齢T^*が得られれば、それはT^*以上の森林のうちいくらかは伐採されることが適切であり、T^*以下の森林は事情が許す限り伐採されない方が適切であることを示している。多くの場合、単一一斉林モデルから得られる結果は、この点が留意されて解釈される限り有用である（線形制御モデルと非線形制御モデルの関係に関する議論として、Clark(1976)第４章２節も参照されたい）。

４．最適伐期齢理論の課題

以上、さまざまな仮定を持つFaustmann式がどのように拡張されるかを調査し、理論あるいは現実世界の観点からいくつかの点を論じた。これらを総合すると、課題としては次のようにいうことができるだろう。

森林所有者（あるいは林業経営者）の主体均衡モデルとして現実を最もよく表現するのは、異齢林を対象とする確率モデルである。したがって最適伐期齢理論の第１の課題は、今後そのようなモデルを定式化し、解の定性的な検討を行うことである。このことは、本章でも用いた最適制御理論と確率過程に関する諸理論

との接合（確率的制御理論）によって可能となるであろう。
ただし、そのモデルはきわめて複雑なものとなることが予想され、そのため得られる結果もまた限られたものとなることが予想される。したがってより単純なモデル（最も単純なモデルはFaustmann式である）と理想的な確率的異齢林モデルとの関係を明らかにすることもまた重要となる。これが第２の課題である。
この課題について、本章によって明らかとなった点を述べれば、次のようになるだろう。

① モデルを最適施業方策や最適間伐方策を含むモデルに拡張しても、最適伐期齢の満たすべき条件は、Faustmannの伐期齢の１階の条件と同じである。
② Faustmannの伐期齢の１階の条件は、その中の競争的林地価格（V）を各時点に依存するものと見なせば、定常性の過程を緩めた場合の最適伐期齢が満たすべき条件となる。
③ 異齢林モデルへの応用には、Faustmann式が線形異齢林モデルであることに気付くことが重要である。すなわち、Faustmann式から得られる結果が、極端なものとなっている可能性があることに留意し、それは単に方向を示しているものであると解釈する限り、非線形異齢林を対象にする場合も、Faustmann式から有用な結果を得ることができる。

以上のように、単純なFaustmann式だけでも、かなりの分析が可能である。ただし、それはあくまでも決定論的枠組みの中でのことであることに注意しなければならない。前節でも述べたように、決定論的世界から確率的世界への変更によって、最適伐期齢理論やその基本モデルであるFaustmann式が、どのように修正されるべきかについては、未だ明らかではない。この点こそ、今後明らかにすべき最も重要な課題である。
ところで最適伐期齢理論は、ミクロ経済学的な方法による森林所有者（あるいは林業経営者）の主体均衡モデルに関する諸理論から成る。この定義からすれば、その課題はおそらく上で述べたことで尽くされている。しかし、森林、林業の経済分析（実証分析）のために必要とされる考察としてはそれだけでは不十分である。以下では、その課題についても述べておこう。

第２節で明らかにしたように理論的に適切な伐期齢決定ルール（あるいは主体均衡モデル）はFaustmann式である。また利潤の現在価値の最大化（あるいは現在効用最大化）を目的とした、より基礎的な主体均衡モデルから得られる最適解の条件は、Faustmannの伐期齢の１階の条件と一致する（Heaps(1984)、Mitra and Wan(1985)、本論文第５章を参照のこと）。したがって、３節でみたさまざまなモデルが、Faustmannの考え方を考察の基礎とすることは全く自然なことである。

しかしながら森林、林業の経済分析を行う場合、ミクロ経済学的に適切なモデルが現実をうまく描写するとは限らない。

その理由は、その他の伐期齢決定ルールが、用いるべき投資規準として現実に存在しているからである。ある森林所有者は内部収益率規準で林業経営を行い、別の人は森林純収穫説に則って経営を行っている。Fisherのルールを投資規準としている経営者もまた存在する。これらの人々に、それらの投資規準は誤っているからFaustmannのルールを用いなさいと進言するのは、実証分析者の仕事ではない。むしろ必要なことは、Faustmann以外の伐期齢決定ルールに対しても、同じように検討や考察を行っていくことであろう。さらに望まれるのは、決定ルールの違いによらない頑健な結果を得ることである。

以上のことは、厳密には最適伐期齢理論の課題とはいえないが、森林、林業に関する実証分析を行う上で必要とされる重要な課題である。本論文の第一部の残りの二つの章は、この課題に関する考察とその応用が行われる。

［補論］

1．連続型時間モデルと離散型時間モデル

（1） 瞬間的利子率

瞬間的利子率は、単位時間を無限小としたときの利子率の極限として与えられる。このことを示すと次のようになる。離散的な時間を例えば1年を単位として考え、その利子率をιとする。t年後にある投資プロジェクトからR円の利潤が得られるとすれば、その現在価値PVは

$$PV=R(1+\iota)^{-t}$$

である。ここでι（＞0）は1年あたり利子率である。さて、時間の単位を1／m年とし、対応する利子率をr／mで表すことにする。すなわち、

$$PV=R(1+\iota)^{-t}=R(1+r/m)^{-mt}$$

である。ここで単位時間を無限小にするm→∞を考える。$r/m=(1+\iota)^{1/m}-1$よりm→∞ではr／m→0となることに注意すると、

$$PV=\lim_{m\to\infty}R(1+r/m)^{-mt}=\lim_{m/r\to\infty}R[(1+r/m)^{m/r}]^{-rt}$$
$$=Re^{-rt}$$

を得る（ここではeの定義式$e=\lim_{n\to\infty}(1+1/n)^n$を用いている）。このようにして得られたrが連続型時間における利子率であり、離散的時間における利子率ιと区別するときには特にこれを瞬間的利子率と呼ぶ。なお、ιとrの関係は$r=\log(1+\iota)$である。

（2） 離散型時間モデルと連続型時間モデル

ここではFaustmann式を題材に、離散型時間モデルと連続型時間モデルとの関係を示す。森林経理学の教科書ではFaustmann式（土地期望価）を次のように表現している（鈴木(1979)第1章第5節より）。

$$B_u=\frac{A_u+D_a1.0P^{u-a}+\cdots-c\,1.0P^u}{1.0P^u-1}-V$$

ここで、B_u：土地期望価、A_u：主伐収入、D_a：a林齢における間伐収入、c：造林費、V：管理資本、0.0P：利子率である。

一方、本章第2節ではFaustmann式は次のように定式化されていた。

$$V(T)=[pf(T)e^{-rT}-wL]/(1-e^{-rT})$$

まず両式の記号を対応させると$u=T$、$A_u=pf(T)$、$c=wL$、$1.0P^u=e^{rT}$となる。本章のモデルでは仮定により、間伐収入と管理費を捨象している（あるいは、割引率で割り引いて前者は主伐収入に、後者は造林費に繰り込んでいる）ことに注意して、離散型モデルに連続型モデルの記号を代入すれば、

$$B(T)=[pf(T)-wLe^{rT}]/(e^{rT}-1)$$
$$=[pf(T)e^{-rT}-wL]/(1-e^{-rT})=V(T)$$

と、両式が一致することがわかる。

（3） Presslerの指率

Presllerとは19世紀ドイツのターラント高等農林専門学校の教授の名前である。彼は合理的林業とは土地期望価を最大にするような経営であると主張し、森林が最適伐期齢（Faustmannの伐期齢T_F）に至っているかどうかを判断するために、ある指標を提案した。これがPresslerの指率である。この指率は、離散型時間モデルでは次のような恒等式によって表される（鈴木(1979)第1章第5節による。また以下の指率の解説も鈴木を基にしている）。

$$1.0q^n=(A_{T+n}+B_u+V)/(A_T+B_u+V)$$

ここで0.0qが指率である。Tは現在の森林の林齢を示し、$T+n$は伐期齢を示す。

森林が最適伐期齢に至っているかどうかを判断するために、指率は市場利子率（ι）と比較される。すなわち、もし$\iota \geqq 0.0q$ならばただちに伐採すべきであり、$\iota<0.0q$ならば森林は存続されるべきである。

ところでこの説明ではnに関しては何も述べられていないことに注意されたい。したがってnは一見任意であるかのように思われる。ところが鈴木は暗黙のうちに$n=T_F-T$としており、この限られたケースについてのみ、Presslerの指率を考察している。まずこの曖昧な点を連続型モデルを用いることで明らかにしよう。

連続型モデルでのPresslerの指率をwとすると、上の恒等式は、

$$[pf(T+n)+V(T_F)]/[pf(T)+V(T_F)]=e^{nw}$$

と表される。上式の両辺に対数をとれば、その指率は

$$w=\{\log[pf(T+n)+V(T^*)]-\log[pf(T)+V(T^*)]\}/n$$

と定義される。ここで横軸に林齢、縦軸に対数目盛りで純収入をとり、

$$W=\log[p\,f(T)+V(T')]$$

を描こう。Wの1次微分係数は

$$\dot{W}=p\,\dot{f}(T)/[p\,f(T)+V(T_F)]>0$$

であり、$T=T_F$では$\dot{W}=r$（Faustmann式の1階の条件より）。また、2次微分係数は

$$\ddot{W}=p\,\ddot{f}(T)/[p\,f(T)+V(T_F)]-\{p\,\dot{f}(T)/[p\,f(T)+V(T_F)]\}^2<0$$

である。したがってWは、図1－2の実線のように描かれる。wの定義式によりPresslerの指率はW上の2点を結ぶ直線の傾きで表される。したがってPresslerの指率は次のような指示を森林所有者に与えるものといえる。すなわち、

もし、あるn（>0）でw>rとなるならば森林は伐採されるべきではない。一方、いかなるn（>0）でもw≦rとなるならば森林は伐採されるべきである。

これがPresslerの指率の厳密な意味である。この結果は曲線Wの一部が下に凸であっても成立する。したがってそれは生産関数に関する繊細な仮定に依存しない頑健な指率といえる。他方、Wが凹関数ならば、指率に必要とされる情報はn＝0での局所的情報だけで十分になる。この場合のPresslerの指率は、

$$w=\dot{W}=p\,\dot{f}(T)/[p\,f(T)+V(T_F)]$$

と表され、もし$\dot{W}>(\leq)\ r$ならば森林は存続すべき（ただちに伐採されるべき）である。

残念ながら以上で考察したPresslerの指率は、あまり役に立つものではない。なぜならそれは最適伐期齢T_Fを知っていることを前提としているからである（上の式では$V(T_F)$が用いられていることに気付かれたい）。最適伐期齢がわかっていれば、わざわざ指率の計算を行う必要はない。したがって、上で定式化された指率は全く無意味なものである（Pressler(1860)が手元にないために、この定式化がPressler本人によるものか鈴木によるものかは不明である）。本来ならば、Faustmannの最適伐期齢T_Fを前提にしないPresslerの指率が考えられねばならない。ここではwの自然な変形として

$$\omega=\{\log[p\,f(T+n)+V(T)]-\log[p\,f(T)+V(T)]\}/n$$

を考えよう。対応する曲線は

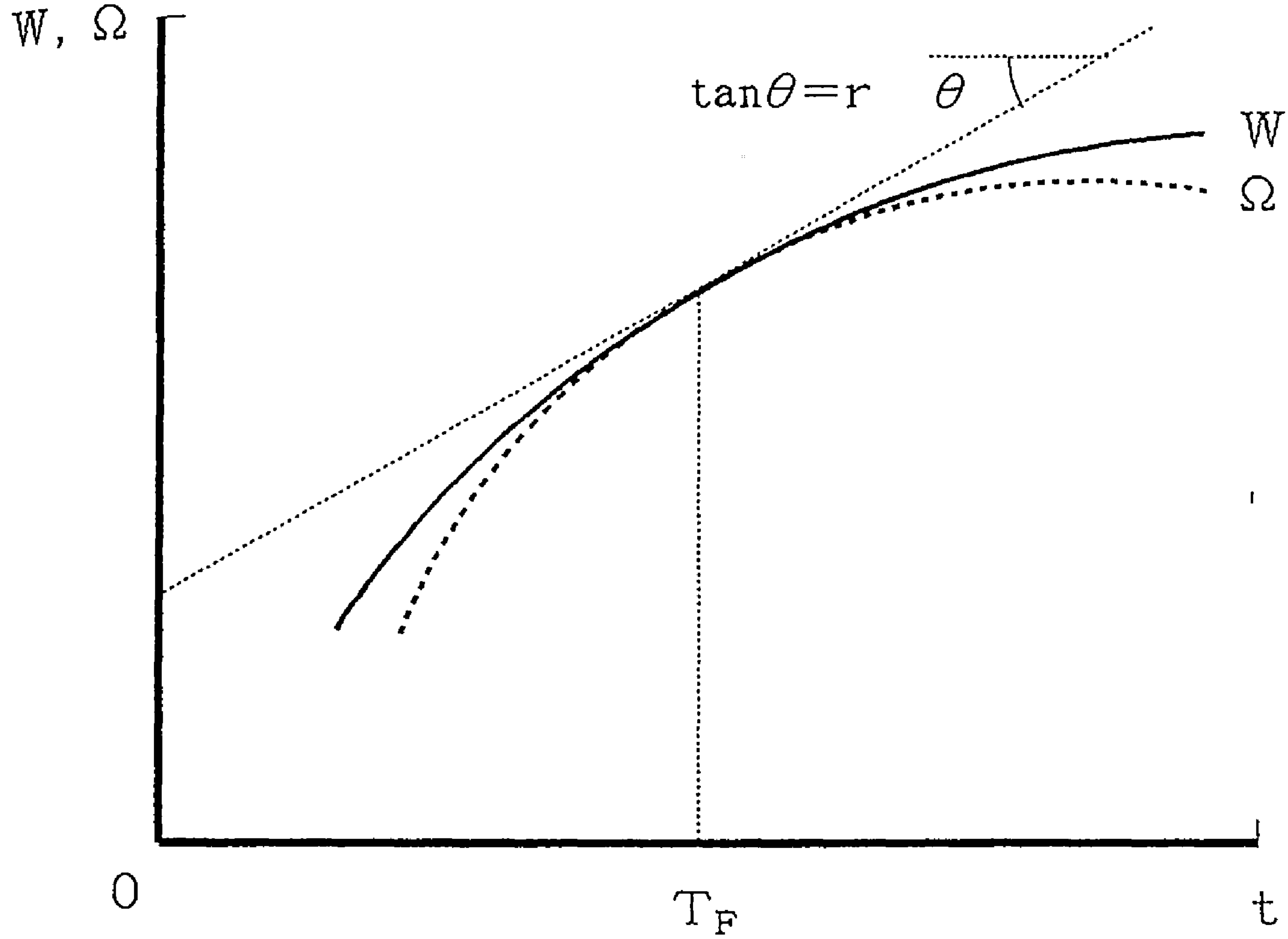


図 1－2　Presslerの指率とFaustmannの伐期齢

$\Omega = \log[p f(T) + V(T)]$

である。$V(T) \leqq V(T_F)$に注意すれば、その曲線は図1－2の破線のように描かれるであろう。このωのPresslerの指率としての利用は上に準ずるものである。そして、もし曲線が最初増加する凹関数で表されるならば、局所的情報だけで伐採するかどうかを判断することができる。すなわち

$\omega = \dot{\Omega} = \dot{f}(T) / [f(T) - wL] - r / (e^{rT} - 1)$

を利用して、$\dot{\Omega} >$（$\leqq$）rならば森林は存続すべき（ただちに伐採されるべき）である。ただし、残念ながらこの曲線の性質として厳密に明かにすることができるのは

$\Omega \leqq W \quad \text{for } T \geqq T_{min}$（等号は$T = T_F$）

$\dot{\Omega}(T_F) = \dot{W}(T_F) = r$

に過ぎない。このため新しいPresslerの指率ωが、常に適切な指率かどうかについては曖昧さが残っていることに注意されたい。

最後にPresslerの指率から離れて、本章の仮定の下でFaustmann式から自然に導かれる指率を示すことにしよう。

本章第2節では、Faustmannの式の1階の条件を満たす伐期齢が大域的な最適解であることを示した。このことは林地の機会費用$V(T)$は最初単調増加し、$T = T_F$で最大値をとり、やがて単調減少することを意味している。したがってその1次微分係数

$\dot{V}(T) = \{p \dot{f} - r[p f(T) + V(T)]\} \cdot [e^{-rT} / 1 - e^{-rT}]$

は、

$\dot{V}(T) > 0 \quad \text{if } T_{min} \leqq T < T_F$

$\dot{V}(T) = 0 \quad \text{if } T = T_F$

$\dot{V}(T) < 0 \quad \text{if } T_F < T$

である。したがって、次式で定義される指率$\kappa(T)$が導かれる。すなわち、

$\kappa(T) = p \dot{f} / (p f + V) = p \dot{f}(T) / \{[p f(T) - wL] / (1 - e^{-rT})\}$

であり、$\kappa \leqq r$ならば伐採されるべきであり、$\kappa > r$ならば伐採されるべきではない。この指率には、本章の仮定を認める限りいっさいの曖昧さはない。

2. Faustmann式の比較静学分析

Faustmann式の比較静学分析は、Johansson and Löfgren(1985)第4章および第5章によってまとめられている。その内容は、最適伐期齢に対する影響と競争的林地価格に対する影響とに分けられている。ここではその結果に本研究第2章で得られる結果を付加して紹介しておこう。

伐期齢に対する影響は、次のようなものである。

① 立木価格の上昇は最適伐期齢を短くする。

② 賃金率の上昇は最適伐期齢を長くする。

③ 利子率の上昇は最適伐期齢を短くする。

④ 立木販売に課せられた税（sales tax）は、最適伐期齢を長くする。

⑤ 賃金支払いに課せられた税（payroll tax）は、最適伐期齢を長くする。

⑥ 実現主義の資本利得税（capital gains tax on a realization basis）は、最適伐期齢に影響を与えない。

⑦ 発生主義の資本利得税（capital gains tax on an accrual basis）は、最適伐期齢を短くする。

⑧ 一括税（annual lump sum tax：収入の多寡にかかわらず、経営体に課せられる定額税）は、最適伐期齢に影響を与えない。

競争的林地価格に対する影響は次の通りである。

⑨ 木材価格の上昇は競争的林地価格の上昇をもたらす。

⑩ 賃金率の上昇は競争的林地価格価値の下落をもたらす。

⑪ 利子率の上昇は競争的林地価格を減少させる。

⑫ あらゆる税は林地の価値を減少させる。

これらの結果のうち、①と④、②と⑤は形式的には同じことを言っているに過ぎない。また、①は伐出条件の違いが伐期齢に及ぼす影響としても解釈することができる。すなわち他の条件を一定として、伐出条件の悪いところでは立木価格が低くなるから最適伐期齢は相対的に長くなる。税の影響については、これは負の補助金だから、比較静学の結果を反対に読み変えることで、ただちに補助金が伐期齢及び競争的林地価格に及ぼす影響を知ることができる。

3．凹関数の定義と性質

以下の定義と性質の証明は西村和雄(1982)第3章と西村清彦(1990)第1章を参考にした。

（凹関数の定義：1）

任意の$x \in R^n$、$x^- \in R^n$及び$0 < \lambda < 1$であるすべてのλに対して、

$$f[\lambda x + (1-\lambda)x^-] \geq \lambda f(x) + (1-\lambda) f(x^-)$$

であるなら関数fはR^n上で凹関数であるという。また、厳密な不等式が成立する場合、厳密な凹関数と呼ばれる。

（凹関数の定義：2）

$x \in R^n$上で定義された1回偏微分可能な関数$f(x)$は、

$$f(x) \leq f(x^0) + (\partial f(x^0)/\partial x)(x - x_0) \quad \text{for any } x = x^0$$

ならば、関数fはR^n上で凹関数であるという。また、厳密な不等式が成立する場合、厳密な凹関数と呼ばれる。

（厳密な凹関数の性質：1）

$f(x)$は凸集合X上で定義された厳密な凹関数であるとする。このとき$f(x^*)$がXでの極大値ならば、$f(x^*)$は一意な最大値である。

証明：

x^*が最大をもたらさないとする。このときあるx：$x \neq x_*$、$x \in X$が存在して$f(x) > f(x^*)$である。したがって任意の$0 < \lambda < 1$に対して、

$$f[\lambda x^* + (1-\lambda)x] > \lambda f(x^*) + (1-\lambda) f(x) > f(x^*)$$

が成立する。ここでλを1に近づけると、上式が$f(x^*)$が極大値であることに矛盾していることがわかる。また、x（$\neq x^*$）もまた最大値をとるとし、$f(x) = f(x^*)$とすると、

$$f[\lambda x^* + (1-\lambda)x] > \lambda f(x^*) + (1-\lambda) f(x) = f(x^*)$$

となり、$f(x^*)$が最大値であることに矛盾する。

（厳密な凹関数の性質：２）

ｆ（ｘ）は凸集合Ｘ上で定義された２回連続微分可能で厳密な凹関数であるとする。このとき、ｆのヘッセ行列H_f（２次偏微分係数の行列）は負値定符号行列である。

証明：

ｆは１回偏微分可能で厳密な凹関数なので、次の不等式が成立する。

$f(x_0+\Delta x)<f(x^0)+(\partial f(x^0)/\partial x)\Delta x$

一方、ｆ（ｘ）をx^0の近傍でテーラー展開すれば

$f(x_0+\Delta x)=f(x_0)+(\partial f(x_0)/\partial x)\Delta x+(1/2)\,{}^t\Delta x H_f \Delta x$

したがって、${}^t\Delta x H_f \Delta x<0$。すなわち、$H_f$は負値定符号行列である。特にｆが一変数Ｔの関数ならば、$H_f=\ddot{f}(T)<0$である。

第2章　決定論的最適伐期齢に関する基礎的考察

1．はじめに

第1章ではミクロ経済学の考え方に沿って、最適伐期齢理論を展望した。そこで明らかとなったように、経済理論上（正確にはミクロ経済学的思考様式において）適切な伐期齢決定ルールは、Faustmann式である。また規範分析、すなわち国民経済や世界全体といった視点からみて、望ましい森林資源の利用とはどのようなものであるかを明らかにするときには、やはりFaustmannの考え方が基礎となる。言い換えれば、森林利用の適切さの評価の指標としては、無限の計画期間において得られる利潤（あるいは木材と森林の環境財としてのサービスの両者を考慮して数量化した効用水準）の現在価値の総和や総和の期待値が用いられるべきである。

しかし森林、林業の経済分析の中心的課題は、個々の森林所有者の行動が社会的に望ましい森林資源の利用と一致するように、補助・税制など制度のあり方について考察することである。ここでは規範分析の結果（望ましい森林資源の利用）と実証分析の結果（実際の森林資源の利用）との間にみられる差異や一致についての考察が不可欠であり、実証分析の重要性は規範分析に比肩する。そして前章の最後にも述べたように、実証的な観点から森林所有者の行動を分析するならば、Faustmannのルールにこだわる理由はない。したがって、もし現実にFaustmann以外の決定ルールが採用されているならば、それらについて十分な考察をしておくことは重要な課題である。

本章は、このような森林、林業の実証分析で必要とされる知識のうち、最も基礎的な部分を明らかにする。すなわちここでは、決定論的定常性の仮定の下に、さまざまな決定ルールから導かれる最適伐期齢の大小関係とその性質を考察する。検討する最適伐期齢は、材積最大の伐期齢（T_A）、最大持続収穫の伐期齢（T_G）、森林純収穫の伐期齢（T_N）、Faustmannの伐期齢（T_F）、Bouldingの伐期齢（T_B）、そしてFisherの伐期齢（T_H）である（T_BとT_Hに関しては林地の機会費用や林地の市場価格を考慮しない最適伐期齢である）。

これらの最適伐期齢の大小比較は、部分的には半田(1957)第6章や鈴木(1979)第1章第5節が行っている。また、Johansson and Löfgren(1985)第4章がかなり網羅的な検討を行っている。本章ではJohansson and Löfgrenの得た結果に加えて、Bouldingの伐期齢とFaustmannの伐期齢の大小関係を明らかにする。また、利子率及び相対立木価格（立木価格／賃金率）の変化に対する最適伐期齢の比較静学分析の結果を示す。本章で企図されているのは、各決定ルールの関係とその基礎的な性質に関して、完全な解答を提示することである。

以下、次節ではそれぞれの決定ルールの定式化と最適伐期齢の満たすべき1階の条件を示す。第3節では各最適伐期齢の大小比較を行う。第4節では、最適伐期齢の比較静学分析が行われる。ここでは利子率及び相対立木価格の変化によって、最適伐期齢がどのような影響を受けるかが明らかにされる。最後に第5節で本章の結果を要約する。

ところで本章では森林純収穫の決定ルールもまた考察される。その関係上、いわゆる純収穫論争について触れておいた方がよいかも知れない。ただしこの論争は、規範的な観点から土地純収益説と森林純収穫説のいずれが適切な決定ルールかを論じるものであり、実証分析のために用意された本章とは直接の関係はない。このためここでは補論としてこの論争に関する若干のコメントを行うこととする。

なお、ここで本章の仮定についてあらかじめ述べておこう。本章で用いている仮定は前章第2節に準ずるものであり、変更は次の点のみである。すなわち、

⑦´　森林の生産関数 f に関する仮定：森林の生産関数 $f = f(T)$は、定義域を$[T_{min}, T_{max}]$としT_Aで最大値を持つ非負で厳密な凹関数であり、必要なだけ連続微分可能とする。ここでT_{min}は、立木販売が可能となる最小の林齢を示す。

この仮定の変更は材積最大の伐期齢が存在するために必要とされる。しかし、その他の最適伐期齢に関しては、第1章の仮定⑦を用いても本章の⑦´を用いても結果は変わらない。これは本章で証明されるように、それ以外の最適伐期齢はすべて材積最大の伐期齢よりも小さくなるためである。このためここでは$T \leqq T_A$での生産関数 f の形状が問題となるが、⑦´のそれは第1章の仮定と同じ（厳密な単調増加凹関数）である。つまり2つの仮定の違いはなんら影響を及ぼさない。

2．決定ルールの定式化と最適伐期齢の１階の条件

本節ではさまざまな決定ルールを定式化し、その最適解が内点解の場合に満たすべき１階の条件を示す。

① 材積最大の伐期齢（T_A）

材積最大の伐期齢とは、収穫できる木材の量を最大にする伐期齢である。したがって問題は

$\max\ f(T)\quad \text{subject to}\ T \geqq T_{min}$

であり、最適伐期齢が満たすべき１階の条件は、

$$\dot{f}(T)=0 \tag{1}$$

である（ここでドットはＴによる１次微分係数を示す。以下同じ）。すなわち、森林の成長量が正である限り森林は伐採せずに置いておくことをこの条件は示している。

② 最大持続収穫の伐期齢（T_G）

最大持続収穫（ＭＳＹ：maximum sustainable yield）のルールでは、森林から得られる物的な平均生産量を最大にする伐期齢を最適伐期齢とする。最適伐期齢をT_Gとすると、

$\max\ f(T)/T\quad \text{subject to}\ T \geqq T_{min}$

であり、これより１階の条件は

$$T\cdot\dot{f}(T)-f(T)=0 \tag{2}$$

である。この条件は森林の成長量が平均成長量と一致する林齢で森林を伐採することを指示している。

③ 森林純収穫の伐期齢（T_N）

森林純収穫（ＮＭＳＹ：net maximum sustainable yield）のルールでは、森林から得られる収入から費用（ただし利子率で複利計算しないそれ）を差し引いたものの平均値、すなわち森林賃租（ＦＲ：forest rent）を最大にする伐期齢を最適伐期齢とする。定式化すると、

$\max\{FR=[pf(T)-wL]/T;\ \text{subject to}\ T\geqq T_{min}\}$

であり、FRをTで微分すると

$\dot{FR}=(p/T^2)\{T\dot{f}(T)-[f(T)-(W/p)L]\}$

である。したがって1階の条件は、

$$T\dot{f}(T)-f(T)+(W/p)L=0 \qquad (3)$$

と表される。この条件を

$p\dot{f}(T)-[pf(T)-wL]/T=0$

と変形すれば、それが、森林を伐採せずにおくことで得られる収入の増加分と単純平均利潤の一致する林齢で伐採することを指示するものであることがわかる。

④ Faustmannの伐期齢（T_F）

Faustmannのルールは、現在から無限の将来にわたって得られる利潤の現在価値の総和を最大にする伐期齢を最適伐期齢とする。完全競争市場の仮定の下では、得られた利潤の現在価値の総和は、林地の機会費用（競争的林地価格）を表すことになる。利潤の現在価値の総和をVで表すとその最適伐期齢を求める問題は

$\max\{V=[pf(T)e^{-rT}-wL]/(1-e^{-rT});\ \text{subject to}\ T\geqq T_{min}\}$

と表される（第1章を参照のこと）。VをTで微分すると

$\dot{V}=(e^{-rT}/1-e^{-rT})[p\dot{f}(T)-rpf(T)-rV]$

であり、したがってその最適伐期齢（T_F）が満たすべき1階の条件は、

$$p\dot{f}(T)-r[pf(T)+rV]=0 \qquad (4)$$

である。この条件は森林を伐採せずに置いておくことによって得られる収入の増加分が、立木と林地を置いておくことで発生する機会費用と一致する林齢で、森林を伐採することを指示するものである（詳細は第1章を参照のこと）。

⑤ Bouldingの伐期齢（T_B）

Bouldingのルールは、次の恒等式で定義される内部収益率（ρ）を最大化する伐期齢を最適伐期齢とする。

$pf(T)\exp(-\rho T)=wL$

上式をρについて解くと問題は

$\max\{\rho=[\log pf(T)-\log wL]/T;\ \text{subject to}\ T\geqq T_{min}\}$

と表される。ρの１次微分は

$$\dot{\rho}=\{\dot{f}(T)/f(T)-[\log p f(T)-\log wL]\}/T$$
$$=[\dot{f}(T)/f(T)-\rho]/T$$

である。したがって、１階の条件は

$$\dot{f}(T)-\rho f(T)=0 \qquad (5)$$

である。この条件は森林を伐採せずに置いておくことで得られる収入の増加分と、森林を置いておくことで発生する機会費用（ただし内部収益率で評価した機会費用）が一致する点で、森林を伐採することが最適であることを表している（上式では立木価格pが消去されていることに注意されたい）。

⑥　Fisherの伐期齢（T_H）

Fisherのルールは、１回の収穫における利潤の現在価値を最大にする伐期齢を最適伐期齢とする。利潤の現在価値をＰＶで表すと、問題は

$$\max\{PV=pf(T)e^{-rT}-wL;\ \text{subject to } T\geqq T_{min}\}$$

と定式化される。１階の条件は、

$$dPV/dT=p[\dot{f}(T)-rf(T)]e^{-rT}$$

より、

$$\dot{f}(T)-rf(T)=0 \qquad (6)$$

である。この条件は森林を伐採せずに置いておくことで得られる収入の増加分と、森林を置いておくことで発生する機会費用が一致する点で、森林を伐採することが最適であることを表している（１階の条件では立木価格pが消去されていることに注意されたい）。

以上、本章で取り上げる最適伐期齢決定の諸ルールを定式化し、それぞれの最適伐期齢の１階の条件について示した。以下の考察に先立って、ここで次の点を指摘しておこう。

最適伐期齢の１階の条件を見ると、材積最大の伐期齢（T_A）、最大持続収穫の伐期齢（T_G）、Fisherの伐期齢（T_H）は、立木価格と賃金率が変化してもその影響を受けないことがわかる。一方、森林純収穫の伐期齢（T_N）、Faustmannの伐期齢（T_F）、そしてBouldingの伐期齢（T_B）は立木価格と賃金率の水準に応

じてその最適伐期齢が変化する。しかし、λを任意の正定数として（３）、（４）、（５）にλp、λwを代入しても、これらの最適伐期齢は変化しない。すなわち、T_N、T_F、T_Bはp、wに関して０次同次関数となっている（このことは各決定ルールの目的関数にオイラーの定理を適用しても示すことができる。最大化される目的関数がそれぞれp、wに関して１次同次関数となっていることに注意されたい。なお同定理については例えば西村和雄(1982)第３章を参照のこと）。つまり立木価格が変化しても、同時に賃金率が変化して相対立木価格（立木価格／賃金率）が変わらないのであれば、最適伐期齢はいずれの決定ルールでも変化しない。このことは、労働をニュメレール（価値基準財）と見なして賃金率$w=1$とし、立木価格pを相対立木価格P（$=p/w$）に置き換えても、上述の決定ルールの目的関数及び１階の条件にはなんら問題を生じないことを意味する。したがって以下の考察においては表現を簡略化するために、$w=1$とし、pの代わりに相対立木価格Pを用いて分析を行うこととする。

３．最適伐期齢の大小比較

（１）　材積最大、最大持続収穫、森林純収穫の最適伐期齢の比較

森林純収穫の伐期齢の１階の条件（３）をPを用いて再記すれば

$$T\dot{f}(T)-f(T)+L/P=0 \tag{7}$$

である。これを最適伐期齢T_NとPとの陰関数と見なして全微分すると、

$$[\dot{f}_N+T_N\ddot{f}_N-\dot{f}_N]dT_N+(-L/P^2)dP=0$$

である（ここで$f_N=f(T_N)$。また、ダブルドットは２次微分係数を表す。以下同じ）。変形して

$$dT_N/dP=L/[T_N\ddot{f}_NP^2]=(+)/(-)<0 \tag{8}$$

を得る。これよりT_Nは相対立木価格Pの単調減少関数であることがわかる。さらに$P\to\infty$を考えれば、（７）が（２）に一致することがわかる。以上から$P<\infty$では$T_N>T_G$であり、$P\to\infty$でT_NはT_Gに収束する。

ところで、最大化された森林貢租を

$$FR_N=FR[T_N(P),P]$$

とし、相対立木価格で微分すると包絡線定理より（同定理については例えば西村和雄(1982)第４章を参照のこと）

$dFR_N/dP = \partial FR_N/\partial P = f_N/T_N > 0$

を得る。この式は相対立木価格が下落すると、FR_Nが減少することを示している。したがって、$FR_N = 0$となるある相対立木価格P^N_{min}が存在する。$P < P^N_{min}$では最大化された森林貢租はマイナスとなり、いかなる伐期齢でも（複利計算しない）造育林費用を賄えなくなることに気付かれたい。したがって、$P < P^N_{min}$では、森林純収穫を決定ルールとする森林所有者は、造育林投資を行わなくなる。さらに$FR^N = 0$を相対立木価格について解けば

$P^N_{min} = \min[L/f_N]$

であり、この等式を１階の条件（７）に代入すれば$\dot{f}(T_N) = 0$。したがって$P = P^N_{min}$で、T_NはT_A（利用材積最大の伐期齢）に一致する。以上をまとめると、

$$T_G < T_N \leqq T_A \quad \text{for} \quad P^N_{min} \leqq P < \infty \qquad (9)$$

となる。

（２）　Faustmann、Boulding、Fisherの最適伐期齢の比較

前章では、Bouldingの伐期齢もFisherの伐期齢も、林地の機会費用（競争的林地価格）を考慮する限りFaustmannの伐期齢と一致することを示した。ここではこの結果を利用して、Bouldingの伐期齢はFaustmannの伐期齢よりも小さく、また、Fisherの伐期齢はFaustmannの伐期齢より大きいことを示す。

方法として、まず可変的な林地価格（V_0）を含めた形でBouldingとFisherの伐期齢が満たすべき１階の条件を導き、次にこれを最適伐期齢と林地価格の陰関数と見なして全微分して、$dT_B/dV_0 > 0$、$dT_H/dV_0 < 0$となることを証明する。なお相対立木価格Ｐに対応して、ここではV_0は労働を単位として表されていることに注意されたい。

さて林地価格を含めた場合の内部収益率（ρ）は、

$$[Pf(T) + V_0]\exp(-\rho T) = L + V_0 \qquad (10)$$

を満たし、Bouldingの伐期齢は次のように定式化される。

$$\max(\rho = \{\log[Pf(T) + V_0] - \log(L + V_0)\}/T) \qquad (11)$$

その１階の条件は

$$P\dot{f}(T)-\rho[Pf(T)+V_0]=0 \qquad (12)$$

である。（１２）をT_BとV_0の陰関数と見なして全微分すれば

$$0=\{P\ddot{f}_B-(\partial\rho/\partial T_B)[Pf_B+V_0]-\rho P\dot{f}_B\}dT_B$$
$$-[(\partial\rho/\partial V_0)(Pf_B+V_0)+\rho]dV_0$$

ここで$f_B=f(T_B)$である。

（１２）より$\partial\rho/\partial T_B=0$。また（１０）、（１１）より

$$\partial\rho/\partial V_0=[(Pf_B+V_0)^{-1}-(L+V_0)^{-1}]/T_B$$
$$=[1-(Pf_B+V_0)/(L+V_0)]/[T_B(Pf_B+V_0)]$$
$$=[1-\exp(\rho T_B)]/[T_B(Pf_B+V_0)]$$

であることに注意すると

$$dT_B/dV_0=[\rho T_B+1-\exp(\rho T_B)]/[T_BP(\ddot{f}_B-\rho\dot{f}_B)]$$

を得る。ここで分母に注目すると$T_B\leqq T_A$では、成長関数fの仮定により負である（後に$T_B\leqq T_F\leqq T_N\leqq T_A$であることが証明される）。一方、分子については$\exp(\rho T_B)$をマクローリン展開すると、

$$\exp(\rho T_B)=1+\rho T_B+(\rho T_B)^2/2+\cdots+(\rho T_B)^n/(n!)+\cdots$$
$$>1+\rho T_B$$

であり、したがって分子は負である（厳密な不等式は$\rho\geqq r>0$で成立する。内部収益率が少なくとも利子率と等しくなければ、Bouldingのルールにしたがう森林所有者は造育林投資を行わなくなることに気付かれたい）。以上から、

$$dT_B/dV_0=(-)/(-)>0$$

である。すなわちV_0の減少にともなってT_Bは減少する。

さてV_FをFaustmannの伐期齢（T_F）に対応する林地の機会費用とする。はじめに$V_F\geqq 0$とする。第１章で明らかにしたように$V_0=V_F$ならば$T_B=T_F$である。一方、Bouldingのルールでは林地価格は考慮されないから$V_0=0$（$\leqq V_F$）である。T_BはV_0の単調増加関数だから、$T_B\leqq T_F$を得る。すなわちBouldingの伐期齢はFaustmannの伐期齢より小さくなる。

次に$V_F<0$の場合について考えよう。このとき

$$\max[Pf(T)e^{-rT}-L]<0 \qquad (13)$$

あるいは

$$\max[Pf(T)e^{-rT}]<L$$

が成立する。（5）より$L=Pf(T)\exp(-\rho T)$であり、したがって

$$Pf(T)e^{-rT}<Pf(T)\exp(-\rho T) \quad \text{for any } T$$

である。整理すると$\rho<r$。すなわち$V_F<0$の場合には、いかなる伐期齢を選択しても得られる内部収益率は利子率より小さくなり、Bouldingのルールにしたがう森林所有者は造育林投資を行わなくなる。以上によって、造育林投資が行われる限り、Bouldingの伐期齢はFaustmannの伐期齢以下であることが証明された。

次にFisherの伐期齢について検討しよう。林地価格を考慮したFisherの伐期齢は次のように定式化される。

$$\max\ \{PV=[Pf(T)+V_0]e^{-rT}-(L+V_0)\}$$

最適伐期齢の1階の条件は

$$P\dot{f}(T)-r[Pf(T)+V_0]=0$$

である。上式をV_0とT_Hの陰関数と考えて全微分すると

$$(P\ddot{f}_H-rP\dot{f}_H)dT_H-r\,dV_0=0$$

ここで$f_H=f(T_H)$である。したがって、

$$dT_H/dV_0=r/(P\ddot{f}_H-rP\dot{f}_H)=(+)/(-)<0$$

である。これよりV_0が減少するのにともなってT_Hは大きくなることがわかる。（13）に示されているように$V_F<0$では$\max PV<0$であり、Fisherのルールにしたがう森林所有者は造育林投資を行わない。したがって、造育林投資が行われる限り$V_F\geqq 0$である。もし$V_0=V_F$ならば前章で証明したようにFisherの伐期齢とFaustmannの伐期齢は一致する。そして林地価格が下落するとFisherの伐期齢は長くなるから、林地価格がゼロ、すなわち林地価格を考慮しない場合には$T_H\geqq T_F$が成立することがわかる。すなわちFisherの伐期齢は、Faustmannの伐期齢以上である。

ここで二つの結果をまとめれば、

$$T_B\leqq T_F\leqq T_H \quad \text{for } (P,r)\in\{P,r \mid V_F(P,r)\geqq 0\} \qquad (14)$$

と表される（等号は$V_F=0$のとき）。

以上、これまで（9）および（14）によって、2つの系列の大小関係を表す不等式を示した。さらにこれらを統合し全ての伐期齢の大小関係を示すためには、最適伐期齢の性質に関するさらなる検討が必要である。次節ではこの検討を行うことにする。

4．比較静学分析

ここでは第２節で得られた各１階の条件を用いて比較静学分析を行う。すなわち経済パラメータ（相対立木価格および利子率）と最適解（最適伐期齢）との関係の考察である。

まず、材積最大、最大持続収穫の伐期齢については、これらはともに森林の生産関数によって決定され、経済パラメータの影響を受けない（このことは１階の条件（１）、（２）から明らかである）。森林純収穫の伐期齢については、相対立木価格の上昇によってT_Nは小さくなることが、既に示されている（（８）を参照のこと）。また、１階の条件（３）からわかるように、T_Nは利子率の影響を受けない。

Faustmannの伐期齢は、１階の条件（４）より利子率の影響も相対立木価格の影響も受けることがわかる。はじめにまず利子率の影響を検討しよう。

１階の条件（４）をT_Fとrの関数と見なして全微分すると

$$0 = [P\ddot{f}_F + r(P\dot{f}_F + \partial V_F/\partial T_F)]dT_F - (Pf_F + V_F + r\partial V_F/\partial r)dr$$

である（f_Fは$f(T_F)$を表す）。

$T=T_F$では$\partial V_F/\partial T_F = 0$であり、したがって$T_F \leqq T_A$を仮定すると（後に$T_F \leqq T_N \leqq T_A$であることが証明される）、生産関数$f$についての仮定から$dT_F$の係数部分は負となることがわかる。一方、$dr$の係数部分については、

$$\partial V_F/\partial r = -(Pf_F + V_F)\{T_F\exp(-rT_F)/[1-\exp(-rT_F)]\}$$

を利用して、

$$Pf_F + V_F + r\partial V_F/\partial r = (Pf_F + V_F)\frac{\exp(rT_F) - (1 + rT_F)}{\exp(rT_F) - 1} \qquad (15)$$

と変形できる。$rT_F > 0$で、$\exp(rT_F) - 1 > 0$。また、マクローリン展開を利用すると

$$\exp(rT_F) = 1 + rT_F + (rT_F)^2/2 + \cdots + (rT_F)^n/(n!) + \cdots > 1 + rT_F$$

だから、$\exp(rT_F) - (1 + rT_F) > 0$である。したがって$dr$の係数部分は正となる。以上から、

$$dT_F/dr = (+)/(-) < 0 \qquad (16)$$

となり、利子率の上昇はT_Fを小さくすることがわかる。

ところで包絡線定理と（15）より、

$$dV_F/dr = \partial V_F/\partial r$$
$$= -T_F(Pf_F + V_F)\exp(-rT_F)/[1 - \exp(-rT_F)]$$
$$< 0 \qquad (17)$$

であることがわかる。このことは、無限の将来にわたり林地から得られる利潤の現在価値の総和（V_F）がrの上昇に伴って減少することを示す。したがって$V_F = 0$となる利子率（r^F_{max}）が存在し、$r > r^F_{max}$ではV_Fはマイナスとなる。つまりr^F_{max}は、Faustmannの決定ルールにしたがって造育林投資が行われる最大の利子率である。

前章で示したように、林地の機会費用を考慮する限りBouldingとFisherの最適伐期齢はFaustmannの最適伐期齢に一致する。その特殊なケースとして$V_F = 0$を考えれば、$r = r^F_{max}$ではT_B、T_HそしてT_Fの3つの最適伐期齢は一致することがわかる。また、この場合の内部収益率は$\rho = r^F_{max}$である（前章を参照のこと）。すなわちr^F_{max}は得られる最大の内部収益率を表している。

Bouldingの伐期齢の1階の条件（5）は、利子率の変化が伐期齢T_Bに影響を及ぼさないことを表している。しかし、もし$r > r^F_{max}$（$= \rho$）ならば、Bouldingのルールにしたがう森林所有者もまた造育林投資を行わない。なぜなら、労働投入Lを他の投資対象に投じることでより高い収益率r（$> \rho$）を実現することができるからである。

一方、Fisherのルールに関してみると、$V_F = 0$ならば$PV \leqq 0$である。ここで最大化されたPVを

$$PV_H = PV[T_H(r), r]$$

とし、rで微分すると

$$dPV_H/dr = \partial PV_H/\partial r = -T_H P f_H \exp(-rT_H) < 0$$

となる（ここで$f_H = f(T_H)$である）。すなわちPV_Hはrの減少関数である。したがって$r > r_F$のとき、PV_Hはマイナスとなるから、r^F_{max}はFisherのルールにしたがって造育林投資が行われる最大の利子率でもあることがわかる。

以上をまとめると、$r = r^F_{max}$で$T_F = T_B = T_H$であり、$r > r^F_{max}$のとき、こ

れら3つのルールにしたがう森林所有者はいずれも造育林投資を行わない。そしてこのr^F_{max}は、Bouldingの伐期齢で得られる最大内部収益率と一致する。すなわち、

$$r^F_{max}=[\log P\, f(T_B)-\log L]/T_B$$

である。

さて今度は利子率が小さくなる場合について検討しよう。(16)よりrが小さくなるとFaustmannの伐期齢T_Fは大きくなる。そこで$r\to 0$の時、T_Fはどのようになるかを検討しよう。

T_Fの1階の条件(4)を変形して次式を得る。

$$\dot{f}_F=r\{[1-\exp(-rT_F)]f_F+f_F\exp(-rT_F)\}/[1-\exp(-rT_F)]$$
$$=r(f_F-L/P)/[1-\exp(-rT_F)]$$

上式右辺に$r=0$を代入すると分子分母が0となる(不定形)から、ロピタルの定理(l'Hospital's rule)を適用する。すなわち、

$$\lim_{r\to 0}\dot{f}_F=\lim_{r\to 0}(f_F-L/P)/[T_F\exp(-rT_F)]$$
$$=(f_F-L/P)/T_F$$

したがって、$r\to 0$で

$$T_F\dot{f}_F-f_F+L/P=0 \qquad (18)$$

である。得られた(18)と森林純収穫の伐期齢の1階の条件(2)を比較すると、$r\to 0$でT_FはT_Nに収束することがわかる。さらに、T_Fがrの単調減少関数であることと第3節での結果を思い出せば、$r>0$では

$$T_F<T_N \qquad (19)$$

であり、Faustmannの伐期齢は森林純収穫の伐期齢より小さいことがわかる。

次に相対立木価格の変化がFaustmannの伐期齢に及ぼす影響を検討する。1階の条件(4)をT_FとPの陰関数と見なして全微分すると、

$$0=[P\ddot{f}_F-r(P\dot{f}_F+\partial V_F/\partial T_F)]dT_F$$
$$+\{f_F-r[f_F\exp(-rT_F)]/[1-\exp(-rT_F)]\}dP$$

したがって

$$\frac{dT_F}{dP}=-\frac{\dot{f}_F-r\left[f_F+\dfrac{f_F\exp(-rT_F)-L}{1-\exp(-rT_F)}\right]-\dfrac{rL}{1-\exp(-rT_F)}}{P\ddot{f}_F-rP\dot{f}_F}$$

$= rL[1-\exp(-rT_F)]^{-1}/[P\ddot{f}_F - rP\dot{f}_F] = (+)/(-) < 0$

であり、相対立木価格の上昇はT_Fを小さくする。Pの上昇にともなってT_Fは次第に小さくなるが、販売可能な最小の伐期齢T_{min}に至ると、もはやそれ以上伐期齢を小さくすることはできない。

一方、Pの下落に伴ってT_Fは次第に大きくなる。ここでdV_F/dPを考えると、

$$dV_F/dP = \partial V_F/\partial P = f_F\exp(-rT_F)/[1-\exp(-rT_F)] > 0$$

となり、Pの下落はV_Fを小さくすることがわかる。つまり、$V_F=0$となる最小の相対立木価格P^F_{min}が存在し、$P<P^F_{min}$では、Faustmannのルールにしたがう森林所有者は造育林投資を行わなくなる。すなわち、P^F_{min}はFaustmannのルールにしたがって造育林投資が行われる最小の相対立木価格である。

$P=P^F_{min}$では$V_F=0$となるので、$r=r^F_{max}$の場合について行った考察がここでもあてはまる。すなわち$P=P^F_{min}$では、$V_F=V_B=V_H$である。また、このとき$PV_H=0$である。ここでPV_HをT_HとPの関数と見なすと

$$PV_H = PV[T_H(P), P]$$

であり、Pで微分すれば

$$dPV_H/dP = \partial PV_H/\partial P = f_H\exp(-rT_H) > 0$$

となる。すなわちPV_HはPの増加関数であり、$P<P^F_{min}$の時$PV_H<0$となる。Fisherの伐期齢は、1階の条件（6）からわかるようにPの水準には依存しないが、$P<P^F_{min}$では利潤の現在価値はマイナスとなるので、この決定ルールにしたがう森林所有者は造育林投資を行わなくなる。P^F_{min}はFisherのルールにしたがって造育林投資が行われる最小の相対立木価格であるといえる。

ところで$P=P^F_{min}$では林地の機会費用がゼロであり、$T_F=T_B$、そして$\rho=r$である（第1章を参照のこと）。ここで、Bouldingの伐期齢に対応する最大内部収益率をρ_Bで表し、これをT_BとPの関数と見なす。すなわち

$$\rho_B = \rho[T_B(P), P]$$

これをPで微分すると、

$$d\rho_B/dP = \partial\rho_B/\partial P = 1/(T_BP) > 0$$

であり、ρ_BはPの単調増加関数であることがわかる。$P=P^F_{min}$で$\rho=r$だから、$P<P^F_{min}$では$\rho<r$となる。すなわち、相対立木価格がP^F_{min}より小さくなる

ならば、Bouldingの決定ルールにしたがう森林所有者は造育林投資を行わない。なぜなら造育林投資Lを銀行に預けることで、より大きな収益率r（$>\rho_B$）を実現することができるからである。したがって、P^F_{min}はBouldingのルールにしたがって造育林投資が行われる最小の相対立木価格でもあることがわかる。

以上をまとめれば$P=P^F_{min}$で$T_F=T_B=T_H$であり、$P<P^F_{min}$のとき、これら3つの決定ルールにしたがう森林所有者はいずれも造育林投資を行わない。なおP^F_{min}は、Fisherの伐期齢を用いて、$PV_H=0$より、

$$P^F_{min}=L/[f_H\exp(-rT_H)]$$

と表される。

最後にBouldingの伐期齢とFisherの伐期齢に関して、残された比較静学分析の結果を示そう。

Bouldingの伐期齢の1階の条件（5）をT_BとPの陰関数と見なして全微分すると、

$$(\ddot{f}_B-\rho\dot{f}_B)dT_B+(-\dot{f}_B/PT_B)dP=0$$

よって、

$$dT_B/dP=\dot{f}_B/[PT_B(\ddot{f}_B-\rho\dot{f}_B)]=(+)/(-)<0$$

となる。したがって、T_Bは相対立木価格の単調減少関数である。相対立木価格の上昇によってT_Bは小さくなるが、$T_B=T_{min}$に至るともはや最適伐期齢を小さくすることはできなくなる。一方、相対立木価格が下落して$P<P^F_{min}$となると、造育林投資は行われなくなる。このときの伐期齢がT_FそしてT_Hに等しいことは、すでに見たとおりである。

次にFisherの伐期齢の1階の条件（6）をT_Hとrの陰関数と見なして全微分すると

$$(\ddot{f}_H-r\dot{f}_H)dT_H-\dot{f}_Hdr=0$$

であり、

$$dT_H/dr=\dot{f}_H/(\ddot{f}_H-r\dot{f}_H)=(+)/(-)<0$$

となる。すなわちT_Hは利子率の単調減少関数である。利子率の上昇にともなってT_Hは小さくなるが、$r>r^F_{max}$では造育林投資が行われず$r=r^F_{max}$に対応する最適伐期齢がとりうる最小の伐期齢となる。また$r=0$を（6）に代入すると、

$$\dot{f}_H=0=\dot{f}(T_A)$$

である。すなわち$f_H \leqq f_A$であり、$r=0$のときFisherの伐期齢は材積最大の林齢T_Aと一致する。

5．諸結果の要約

再び最適伐期齢の大小関係に戻ろう。前節での考察によって得られた新たな伐期齢の大小関係は、$T_F \leqq T_N$、$T_H \leqq T_A$である。ここでFaustmannの伐期齢についてみると、最大持続収穫の伐期齢との大小関係は、相対立木価格と利子率の水準によって変化する。同様にBouldingの伐期齢もまた、相対立木価格の変化によって最大持続収穫の伐期齢との関係が変化する。また、Fisherの伐期齢の場合、最大持続収穫、森林純収穫の伐期齢との大小関係が利子率の水準によって変化する。ここではこれらの複雑な関係が直観的に理解できるように、図示することにする。

図２－１は利子率を所与とし、相対立木価格を縦軸にとって各最適伐期齢の大小関係を示したものである。ただし最大持続収穫の伐期齢とFisherの伐期齢との関係は、$T_H > T_G$としている。１階の条件（２）、（６）よりこの不等式が成立するのは$r < T_G^{-1}$の場合であり、ここでは利子率の水準をそのように仮定している（例えば$T_G=30$ならば$e^r<0.034$、$T_G=40$ならば$e^r<0.025$を想定していることになる。ここでe^rは年利子率を示す）。

なお、森林純収穫の決定ルールにしたがって造育林投資が行われる最小の相対立木価格P^N_{min}と、Faustmann、Boulding、Fisherの決定ルールにしたがって造育林投資が行われる最小の相対立木価格P^F_{min}の大小関係は、

$$P^N_{min}=\min[L/f(T)] \leqq L/f(T_H) < [L/f(T_H)]\exp(rT_H)] = P^F_{min}$$

である。またrが大きくなれば、P^F_{min}も上昇することになる。このことは、

$$\begin{aligned} dP^F_{min}/dr &= (\partial P^F_{min}/\partial T_H)(dT_H/dr)+\partial P^F_{min}/\partial r \\ &= [(rf_H-\dot{f}_H)\exp(rT_H)L/f_H^2](dT_H/dr) \\ &\quad + T_H\exp(rT_H)L/f_H \\ &= 0+T_H P^F_{min} > 0 \end{aligned}$$

によって確認される。一方、$r=0$で$T_H=T_A$であり、このときP^N_{min}とP^F_{min}は一致する。

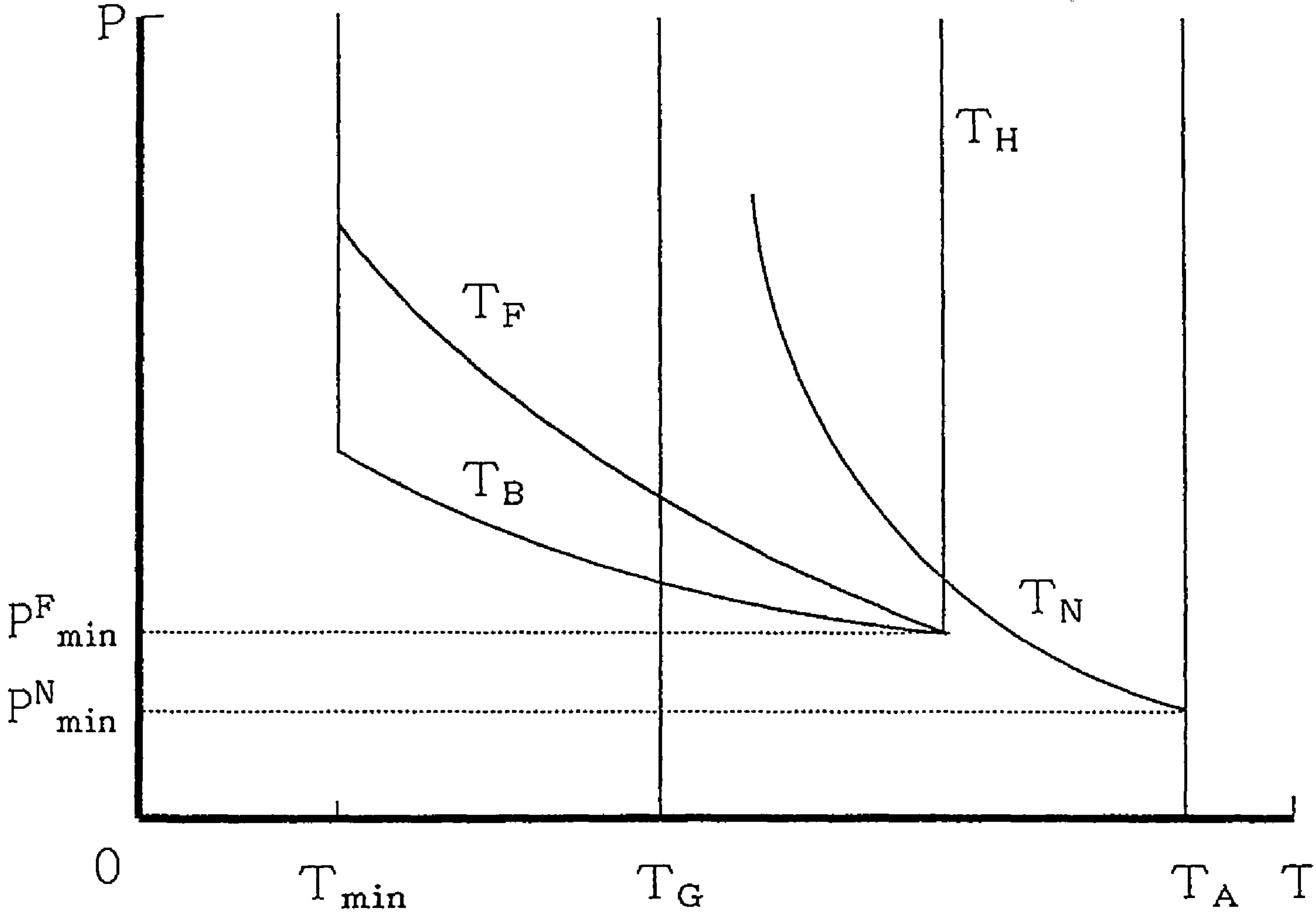


図 2−1 相対立木価格と最適伐期齢

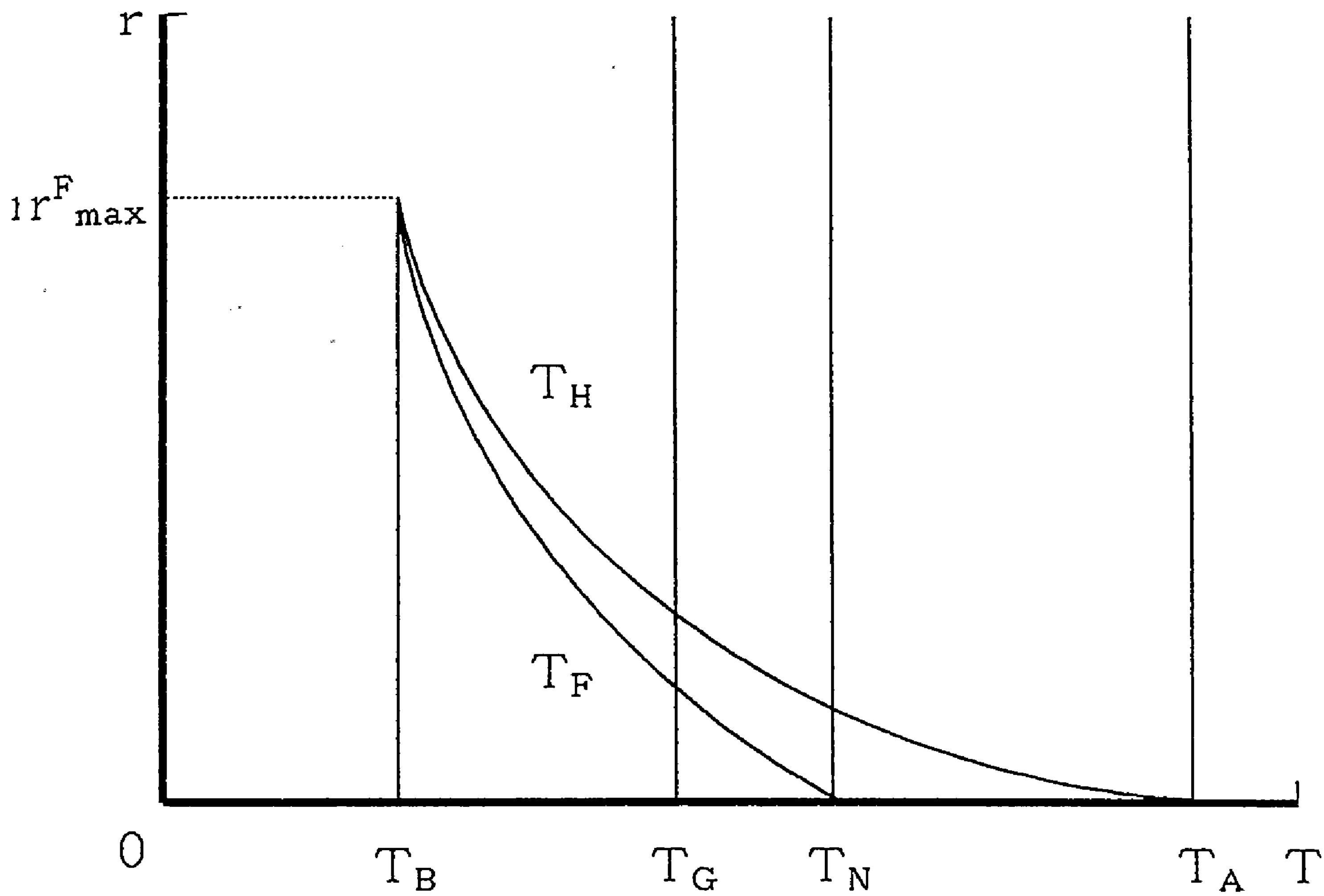


図 2−2　利子率と最適伐期齢

図２－２は相対立木価格（$\geq P^F_{min}$）を所与とし、利子率を縦軸にとって各最適伐期齢の大小関係を示したものである。Faustmann、Fisher、Bouldingの決定ルールにしたがって造育林投資が行われる最大の利子率r^F_{max}は、Bouldingの伐期齢に対応する最大内部収益率に一致する。したがって

$$dr^F_{max}/dP = d\rho/dP > 0$$

であり、相対立木価格が上昇するとr^F_{max}もまた上昇する。

次に各決定ルールから導かれる最適伐期齢の性質を要約しよう。前節で得られた結果は、表２－１のようにまとめることができる。

表２－１　比較静学分析の結果

	相対立木価格の上昇	利子率の上昇
材積最大の伐期齢	0	0
収穫量	0	0
最大持続収穫の伐期齢	0	0
持続収穫量	0	0
森林純収穫の伐期齢	－	0
森林貢租	＋	0
Faustmannの伐期齢	－	－
競争的林地価格	＋	－
Bouldingの伐期齢	－	0
最大内部収益率	＋	－
Fisherの伐期齢	0	－
１回植伐の利潤	＋	－

なお、本章で得られた結果を次のような命題としてまとめておくことも有用であろう。

[最適伐期齢に関する命題]

① Faustmannの伐期齢はBouldingの伐期齢以上森林純収穫の伐期齢以下である。

② Fisherの伐期齢はBoldingの伐期齢以上材積最大の伐期齢以下である。

③ もし最大持続収穫の伐期齢の逆数よりもｒが大きいならば（小さければ）、Fisherの伐期齢は最大持続収穫の伐期齢よりも短い（長い）。

[造育林投資決定に関する命題]

もし、Bouldingの伐期齢で得られる最大内部収益率よりもｒが大きいならば、Faustmann、BouldingおよびFisherのルールにしたがう森林所有者は造育林投資を行わない。

FaustmannあるいはFisherの伐期齢を明らかにすることが求められている場合、問題となるのはｒをどのように設定するかである。本章ではこれまでｒを利子率と呼んできた。利子率とは市場利子率のことであり、森林所有者にとって外生的に与えられるものである。しかしｒの働きは単に将来の収入を現時点で評価するものにすぎず、また現実に行われている評価は森林所有者の主観的なものである。したがって実証分析においては、ｒを外生的に与えられる市場利子率に限定する理由はない。むしろそれは森林所有者の主観的割引率と見なすことが適切であろう。ただしこのような解釈によって、困ったことが生じる。すなわち、いったんｒを主観的割引率とみなすと、FaustmannとFisherの伐期齢は各森林所有者によって異なり、とらえどころのないものになってしまう。

上述の最適伐期齢に関する命題は、このような状況に対して有用である。この命題によって少なくとも最適伐期齢の上限と下限はわかるからである。個々の森林所有者が設定する伐期齢は不明であっても、その上限と下限が得られれば、それは考察の手がかりを与えることになるであろう。

造育林投資の決定に関する命題もまた、主観的割引率の問題に対処するためのものである。Faustmann、BouldingあるいはFisherのルールにしたがう個々の森林所有者は、自らの主観的割引率に応じて造育林投資を行うかどうかを決定する。しかし主観的割引率は一般に観察不可能である。この命題は、個々の森林所有者が用いる主観的割引率そのものは不明でも、造育林投資を行うかどうかを決定す

る主観的割引率の臨界点は求められることを示している。この命題から造育林投資を行っている森林所有者は、その主観的割引率が少なくともある水準（最大内部収益率）より低いと推察することも可能である（ただし、ここでのモデルは単一一斉林モデルであることに注意しなければならない。第1章で考察したようにそれは線形異齢林モデルと同値であり、得られた結果は極端なものとなっている可能性がある。つまりもし主観的割引率が最大内部収益率よりも高かったとしても、それは森林所有者がすぐさま造育林投資をいっさい停止することを意味するのではなく、できる限り投資を控えようとすることを意味している）。

以上、本章では決定論的定常性の仮定の下に、諸最適伐期齢の大小関係とその性格を明らかにした。内容自体はきわめて形式的なものではあったが、ここに示した結果は実証分析を行う場合の基礎知識となるべきものである。また。本章の結果が直接応用可能な問題も少なくない。そのような問題の一つとして、木材価格の低迷と人件費の上昇という経済環境の下で、日本の林業はどのような方向へ進むかという問題を考えることができる。この重要な問題に関する考察は章を改め、次章で行うことにしよう。

［補論］　純収穫論争

鈴木(1979)第１章第５節によれば、純収穫論争とはFaustmannのルールと森林純収穫のルールのいずれが、林業の収益理論として適切かを論じる百数十年来の論争であり、それは今もことあるごとに論争の種となっているとのことである。しかしながら、林業経済学者（正確にはミクロ経済学的バックグラウンドを持つ林業経済学者）にはその解答は自明のものであろう。すなわち第１章で論じたように、Faustmannのルールが適切なルールである。Hirshleifer(1958)が指摘するように、全ての投資は、投資から得られる利潤の消費と一体に考察すべきであり、消費可能集合を最大にすることが最適な森林の取り扱い方といえる。そしてそのような考え方から自然に導かれる伐期齢の決定ルールが、Faustmannのルールである（その厳密な導出に関しては第５章を参照されたい）。

さてこの補論では、理論と現実妥当性の双方から森林純収穫ルールの擁護論を検討する。理論面では鈴木(1979)による森林純収穫のルールの擁護論を取り上げてこれを論じる。他方、現実妥当性の観点からは、一見すると森林純収穫のルールにしたがって行動していると見えるケースについて考察する。最後に森林の公益的機能に関連させて森林純収穫のルールの擁護論を検討する。

鈴木(1979)は、第１章第５節の中で森林純収穫のルールの擁護論を試みている。彼の主張は、もともと土地を所有している者、あるいはすでに土地を購入してしまって現在林業を営んでいる者の収入は、地代と利潤を合わせたものであり、それは森林純収穫と一致するというものである。この主張にしたがえば、土地を所有する者の目的は森林純収穫の最大化になる。なぜなら収入が多ければ多いほど、彼の消費可能集合は大きくなるからである。

彼の主張の論拠となっているのは、次の等式である。

$$
\begin{aligned}
\text{地代}+\text{利潤} &= \{(\text{立木価格})-(\text{立木価値})\}+\text{利潤}\\
&= (\text{立木価格})-(\text{投下資本}+\text{利潤})+\text{利潤}\\
&= \text{立木価格}-\text{投下資本}\\
&= \text{森林純収穫} \qquad (20)
\end{aligned}
$$

残念なことに、この等式は森林純収穫のルールそのものを擁護することにはなっていない。なぜなら森林純収穫の決定ルールは森林貢租（森林純収穫／伐期齢）

を最大にすることであり、一方（２０）は森林純収穫そのものの最大化を示唆するものだからである。したがって上の等式が仮に正しいとしても、森林純収穫のルールの擁護論としては不十分である。その上、（２０）には論ずべき問題が含まれている。以下でははじめに上の等式そのものを検討し、次に彼の主張を森林純収穫ルールの擁護論として修正し、これを検討しよう。

等式（２０）を理解するためには、鈴木の用語の正確な定義を与えておかねばならない。彼によればこれらは次のように定義される。

立木価格　：林木を売った収入

立木価値　：林木の生産に要した経費とそれに対する平均利潤の合計

投下資本　：年々の投資額を加算したもの（ただし割り引かない）

利潤　　　：立木価値から投下資本を差し引いたもの

地代　　　：立木価格から立木価値を差し引いたもの（マルクス経済学でいうところの差額地代Ｉ）

森林純収穫：粗収益から生産費（ただし割り引かない）を差し引いたもの。

以上の定義から、彼の等式には何の矛盾もないことがわかる。実際のところ問題は定義そのものにある。ここでは投下資本ならびに利潤に関する彼の定義を検討しよう。彼は第ｉ年の投下資本をc_iで表している。そして立木価値を

$$\begin{aligned}立木価値 &= \Sigma_{i=1}^{u} c_i(1+p)^{u-i+1}\\ &= \Sigma_{i=1}^{u} c_i + 利子分\\ &= 投下資本 + 利潤 \qquad (21)\end{aligned}$$

としている。ここでｐは市場利子率である。また鈴木は長期均衡状態（市場競争が十分に行われた理論上の状態）を想定しており、平均利潤率（γ）は市場利子率（ｐ）と一致するとしている。本補論もまたこの鈴木の見解にしたがっている。

（２１）は立木価値が、立木販売時点で評価されていることを示している。したがって投下資本と利潤もまた、立木販売時点で評価されている。この点にまず気付かれたい。次に投下資本とは誰かに支払われるものであることに注意しよう。ここでは単純化のために、それは育林作業に対する賃金として、すべて林業就業者に支払われるものとする。さて、（２０）では森林所有者が林業就業者に支払うのは$\Sigma_{i=1}^{u} c_i$だけであって、それ以上の金額を彼は支払わない。そして彼が定

義する利潤（あるいは利子分）はすべて森林所有者の懐に納まることになっている。

このことは次のような特殊な契約が林業就業者との間に交わされていることを意味している。すなわち、賃金の支払いは立木販売収入を得た時点で行うが、実際の労働は、それ以前のｉ時点で行ってほしい、という契約である。

しかし、このような契約に応じる林業就業者はいない。この契約を結ぶと彼は林業労働に従事しても、その時点で賃金を得ることはできない。もし立木販売時点（ｕ－ｉ年後）で得られる収入を、ｉ時点での生活に充てようとするならば、借入れをするか、あるいは前払いしてもらわねばならない。当然のことながら、その金額は利子率で割り引かれた$c_i/(1+p)^{u-i}$（$<c_i$）である。同じ労働で他の就業先では賃金c_iを即座に得ることができるので、彼はこのような契約を結ぶかわりに、ｉ時点で即座に賃金の支払いを要求するか、あるいは立木販売時点での賃金を$c_i(1+p)^{u-i}$とすることを要求するであろう。

以上から鈴木が投下資本から分離した利潤は、決して森林所有者の懐に入るものではないことが理解される。また投下資本と利潤は正確には、

投下資本$=\sum_{i=1}^{u} c_i(1+p)^{u-i}$

利潤$=p\sum_{i=1}^{u} c_i(1+p)^{u-i}$

と定義されるべきである。このように正しく定義された投下資本を用いれば、もはや（２０）の等式は成立しない。すなわち

立木価格－投下資本≠森林純収穫

である。以上が鈴木の等式の問題点である。

次に法正林モデルを想定して、鈴木の等式（２０）を検討してみよう。彼自身は法正林モデルとして（２０）を提示しているわけではないが、森林純収穫ルールの擁護論としては、このような想定を考えることは可能である。

さて、面積が一定（単位面積）で条件が一様な林地に、森林純収穫のルールにしたがって伐期齢ｕの法正林がつくられているとする。ここでｕは、森林純収穫のルールの１階の条件（３）を満たす伐期齢である（モデルは離散型なので、連続型モデルの１階の条件がある自然数で成立しているものとする。また、後述のFaustmannの伐期齢に関しても同様の想定をする。なお、これらの想定は表現の簡

略化のためであり、本質的なものではない）。次に f (T)を単位面積に対する森林の生産関数とする。また立木価格を q で表すことにしよう。このとき毎年の収入（地代＋利潤）は

立木価格：$q f(u)/u$

立木価値：$(1+p)\Sigma_{i=1}^{u} c_i/u$

利潤　　：$p\Sigma_{i=1}^{u} c_i/u$

投下資本：$\Sigma_{i=1}^{u} c_i/u$

より、等式

収入＝地代＋利潤＝$q f(u)/u - \Sigma_{i=1}^{u} c_i/u$＝森林貢租

で示される。すなわち法正林において森林から得られる年々の収入とは森林貢租のことであり、森林からの年々の収入が最大となるのは森林純収穫の伐期齢においてである。このことから森林純収穫のルールは、少なくとも森林を法正林のクラスに限れば、適切な決定ルールであるといえる。

以上は鈴木の発想をヒントにした一つの森林純収穫のルールの擁護論である。しかし残念なことに、この擁護論は簡単に論破されてしまう。ここでのポイントは、森林所有者の目的は消費可能集合をより大きくすること、いいかえれば各時点での収入をより大きくすることにあり、それは必ずしも「森林からの」収入を大きくすることに限定されないということである。もし u（森林純収穫の伐期齢）以外の伐期齢を用いて、この法正林からより大きな収入を上げることができるならば、森林純収穫のルールは伐期齢決定のための適切なルールではないことが証明される。そのような伐期齢として、ここではFaustmannの伐期齢（T_F）を取り上げよう。

さて、法正林中の任意の i 林齢林分（$i < T_F$）を考察の対象とする。この林分は予定では $u-i$ 年後に販売され、$q f(u)/u$ の収入を森林所有者は得る。この計画を原計画と呼ぶことにしよう。一方、代替的な計画としてFaustmannの伐期齢 T_F（$< u$）で森林を販売し、$u-T_F$ 年間は無立木地のまま置いておき、第2回目以降の植伐は、伐期齢を u として森林純収穫のルールにしたがって行うことを考えよう。この計画を新計画と呼ぶ。なお、単純化のために T_F 以降に必要とされる投下資本はゼロとする（この設定と、立木販売後植栽まで一定期間を置くという設定は、いずれも森林純収穫のルールを有利なものとするものであり、議論

の本質には影響を及ぼさない）。

原計画と新計画が異なる点は、新計画では $u-i$ 時点での収入がゼロで、かわりに T_F-i 時点で、$qf(u)/u$ に加えて $qf(T_F)/u$ の収入が、得られることである。この追加的な収入は、その時点で利用せずに $u-i$ 時点（$u-T_F$ 年後）で利用することにしよう。すると $u-i$ 時点でこの収入は（銀行に預けるか他の投資対象に投資されることによって）、

$$[qf(T_F)/u]\exp[r(u-T_F)]$$

となっている（ここで $r=\log(1+p)$ である）。一方、原計画では

$$qf(u)/u$$

である。

問題は両者の大小関係にある。すなわちもし

$$[qf(T_F)/u]\exp[r(u-T_F)]>qf(u)/u$$

ならば、新計画の収入の流列は $u-i$ 時点で原計画よりも大きく、他の時点で同じとなる。すなわち新計画はより大きな消費可能集合を持つことになり、したがって伐期齢 u は最適伐期齢ではないことになる。ここで上の不等式の両辺から u を消去し、対数をとれば

$$\log qf(u)<\log qf(T_F)+r(u-T_F)$$

である。一方、Faustmannの伐期齢の1階の条件（4）により $T\geqq T_F$ では、

$$d\log f(T)/dT=\dot{f}(T)/f(T)=r+V_F/q>r$$

が成立している。したがって上の不等式が成立することがわかる。

以上のように森林純収穫の伐期齢でつくられた法正林であっても、Faustmannの伐期齢を採用することによって、より大きな収入が得られる。実際のところ、この法正林の最適計画は、直ちに T_F 以上の林齢の森林をすべて伐採し、それ以降はFaustmannの伐期齢で植伐を繰り返すことである。その証明はMitra and Wan(1985)による研究の応用である。しかしながら上述の森林純収穫のルールの擁護論を批判するにはこの反例で十分であろう。

なお以上の議論で重要な役割を果たしているのは、立木販売収入は他の投資対象に投資することができるとする想定である。明らかにこの仮定には、十分な現実妥当性が認められる。また、以上の議論は森林所有者という個人を対象としていたが、一国を対象としても成立する。もしその国が自由貿易を行っているなら

ば、証明の手続きは上で述べたものと全く同じである（この点については第5章での議論を参照されたい）。もし、その国が鎖国をしている場合を想定するならば、Mitra and Wan(1985)の結果を参照されたい。彼らは凹効用関数を持つ経済主体を対象として、法正林のクラスにおける最適森林計画が、Faustmannの伐期齢による法正林であることを明らかにしている。ここで経済主体を国に読み換えれば鎖国モデルとなる。

さて、森林純収穫ルールを理論的に擁護することが困難になれば、今度はその擁護者はこのルールを用いることが許されるような条件を明らかにし、その現実妥当性を主張することを考えるかもしれない。林業経済学者によってFaustmannのルールの適切さが証明されているので、その条件とはFaustmannの伐期齢と森林純収穫の伐期齢が一致する条件ということになる。すなわち、本章で示したように$r=0$がその条件である。

そこでまず$r=0$の現実妥当性を検討しよう。はじめにrを市場利子率と見なせば、今日の社会においてこれをゼロとすることが、現実妥当性を欠くことは明らかである。一方、主観的割引率と見なしても、次のことを考えればゼロ割引率の非現実性がわかる。すなわち現在１００万円を手に入れることと来年１００万円を得ることの比較、あるいは現在クルマを手に入れることと来年クルマを入手することとの比較である。当然のことながら、人は現在の１００万円は来年の１００＋α万円に値すると考え、またもしクルマの納期が1年後に延びれば何らかの代償を要求する。このα万円あるいは代償の存在は主観的割引率が正であることを示している。

このように直接的に$r=0$を想定することは非現実的である。そこで次に結果的にゼロ割引率と同値となるような条件について考察してみよう。その簡単なケースとしては、諸価格が利子率と同じ上昇率で上昇する場合が考えられる。このケースに対しては、Löfgren(1988)の結果を応用することによって、最適伐期齢は森林純収穫の伐期齢となることを示すことができる（相対立木価格は常に同じであることに注意されたい。したがって伐期齢は同じである）。しかし、この想定もまた（少なくとも現在の日本においては）非現実的である。

もし森林所有者がFaustmannのルールよりも森林純収穫のルールに共感を覚え、これにしたがおうとするならば、おそらくそのもっともらしい説明は、次のよう

なものであろう。すなわち、森林所有者は次代の森林所有者のために高林齢の林分を残すことに特別の価値を見いだしているため、というものである。このようなケースに関する厳密な分析は、これまで行われていないが、この場合、容易に想像されるように森林所有者は可能な限り立木の販売を行わないようにする。このためFaustmannの伐期齢が短いと考えられ、消去法的に森林純収穫のルールが支持される。しかしこのことは単なる立木販売の延長であり、森林純収穫のルールが積極的に採用されてのことではない。また森林所有者の個人的な意向に考慮することは、純収穫論争の持つ規範的な性格からすれば、議論の逸脱である。

以上のように、森林純収穫のルールを擁護することは、理論的にも現実的にも、かなり難しい。ただし、これまでの議論では森林の公益的機能が無視されていた。したがって、これを考慮することで、森林純収穫のルールが望ましいことを主張できると考える人がいるかも知れない。この可能性を最後に検討しておこう。

森林の公益的機能を考慮した場合の森林純収穫ルールの擁護論として、次の二つが考えられる。

① 第５章で厳密に証明されるように、もっともらしい仮定の下で、Faustmannの伐期齢は森林の外部性（公益的機能）を考慮することによって大きくなる。もし、森林所有者が立木販売収入だけを考慮して公益的機能を看過するならば、そして経済合理的にFaustmannの伐期齢を採用するならば、そのことは社会全体としては森林が早まって切られてしまうことを意味する。もしかわりに森林所有者が森林純収穫のルールを採用すればその伐期齢は幾分長くなるから、それは社会にとってより望ましいことである。

② 今日のように木材価格が低迷していると、条件の悪い森林は管理放棄される可能性がある。そして管理放棄によって森林の公益的機能が損なわれる場合が生じる。本章でみたように、造育林投資が停止される最小の相対立木価格は、Faustmannのルールよりも森林純収穫のルールの方が小さい（$T^F_{min} \geq T^N_{min}$。図２－１を参照のこと）。すなわち森林所有者がFaustmannのルールを採用しているよりも森林純収穫のルールを採用している方が、放棄される森林面積は小さくなる。したがって森林所有者が森林純収穫のルールを採用することは社会にとって望ましいことである。

しかし残念ながら、これらの主張のいずれにも問題があることは明らかである。すなわち、これらはともに社会にとって望ましいことであるが、森林所有者自身にとってはそうではなく、収入の減少を意味する。したがって、森林所有者に対して森林純収穫のルールが適切であると説くことは、公共の利益のために個人は犠牲になってもよいと主張していることと同じである。また、森林純収穫のルールは、可能性として望ましいのであって、必ずしもFaustmannのルール（正確には森林の外部性を考慮しないそれ）よりも望ましいとは限らない。例えば、森林純収穫のルールでは社会が望む以上に伐期齢が大きくなっている可能性がある。また、社会が管理放棄することを妥当と考える森林までもが、管理されることになる可能性がある。さらに、もしそれが望ましいものであったとしても、それは次善の策に過ぎない。最善の方法とは森林の外部性を考慮して、Faustmannの伐期齢を求めることであり、森林所有者には森林の外部性の対価が支払われることによって、彼自身は経済合理的に行動しながら、自然にFaustmannの伐期齢が選択されるようにすることである（以上の主張は第5章での考察によって示唆される）。

このように、森林の公益的機能を考慮しても森林純収穫のルールを擁護することはできない。おそらくいかなる擁護論も森林純収穫のルールがFaustmannのルールよりも適切となるような理由や条件を示すことは不可能であろう。

第3章　日本林業の長伐期化と低コスト化に関する考察

1．はじめに

本章では前章の応用として日本林業の実証分析を試みる。周知のように、昭和40年代以降の木材価格の低迷と高度経済成長期以降の人件費の一貫した上昇は、わが国の素材生産量の減少をもたらした（図３－１、図３－２参照）。この間、育林生産の現場ではいかなる現象が生じていると考えられるだろうか。

赤尾(1991a)は、紀伊半島の１５の地域森林計画区を対象に昭和40年代から今日までの森林資源構成表を用いて、民有人工針葉樹林の伐採齢の変化を分析した。その結果、多くの地域森林計画区において、この期間中一貫して伐採活動の低下と伐採齢の延長が生じていることを確認している。また熊崎(1985)は、日本の森林所有者は長伐期化を志向しつつあるという現状認識を示し、さらに次のように主張している。

日本の木材価格が将来的にも上昇する可能性が小さい一方で、賃金率が他産業の発展によって今後とも上昇するという予想の下では、労働投入量をできるだけ節約して自然の力を利用する生産方式を採用することが求められる。そのような生産方式の一つが長伐期林業である。

彼の主張は今後の日本林業の進むべき方向を示唆する規範的なものである。しかしこれを実証的な観点から読み換えれば、その主張は次のような一つの予想と見なされる。すなわち、過去20数年来生じ、また今後も生じるとみられる日本林業の動向は、長伐期化と低コスト化である。

この予想は十分にもっともらしいものである。同時にそれは地域経済と国民経済の観点からきわめて興味深い。その理由は以下の通りである。

長伐期化と低コスト化は地域経済に次のような影響を及ぼすと考えられる。長伐期化によって、少なくとも数十年の期間は素材生産量は減少することが予想される（以前の伐期齢が採用される場合に比べてのことであることに注意されたい）。このことは伐出作業に対する労働需要量と製材業をはじめとする川下関連産業の労働需要量が減少することを意味している。また、低コスト化は育林作業に対す

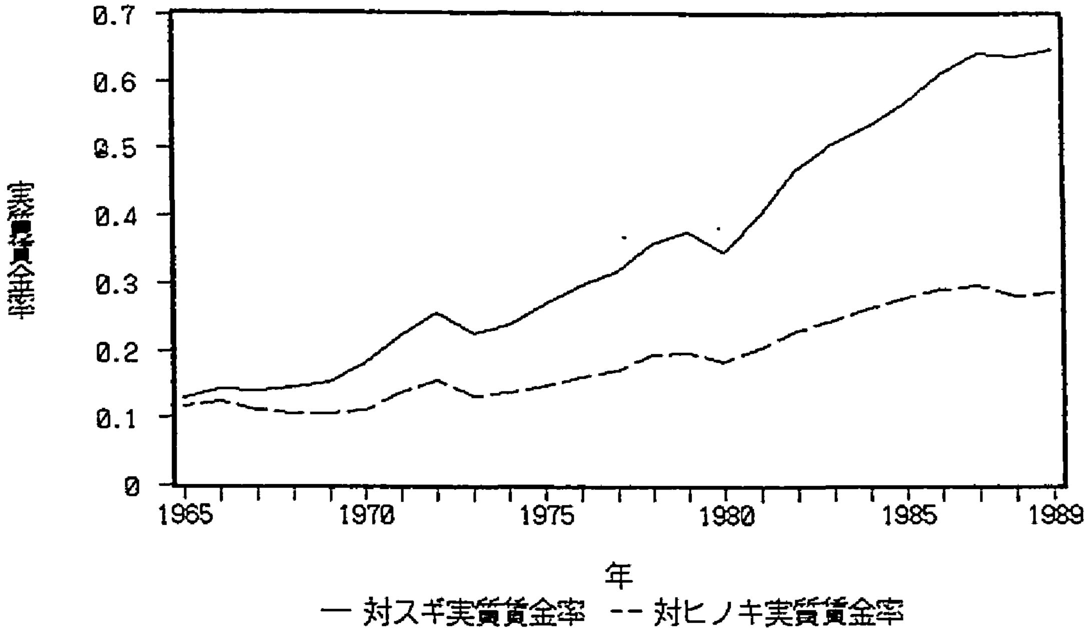


図 3－1 実質賃金率の推移

資料：山林素地および山元立木価格調，日本統計年鑑
注：利用材積１m3当たり立木価格に対する、林業労働者１日当たり現金支給額の比を、実質賃金率としている。

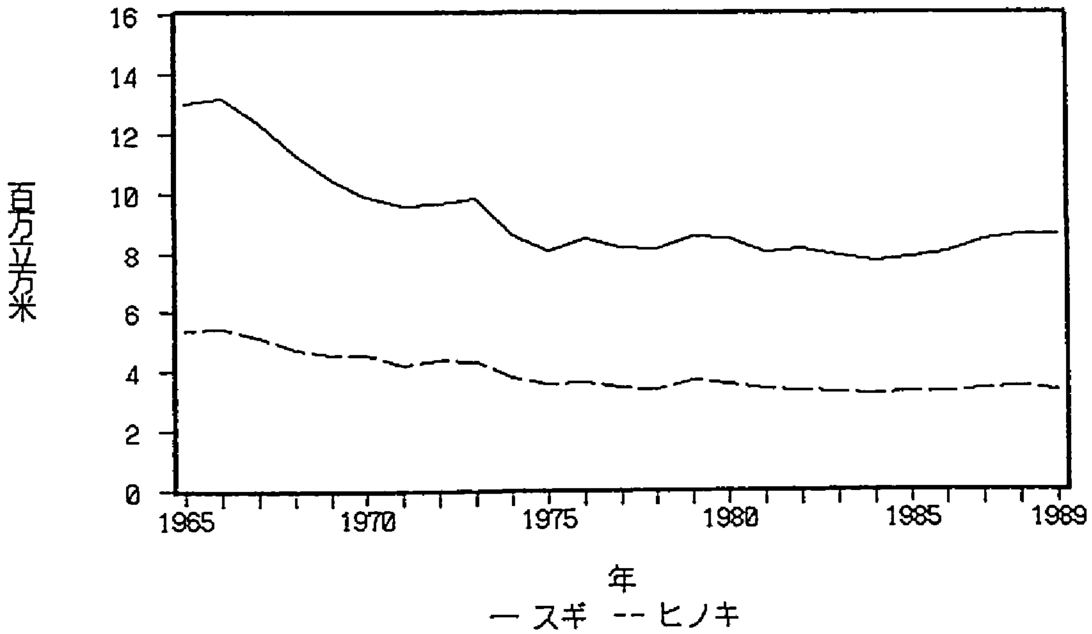


図 3－2 素材生産量の推移

資料：木材需給報告書 各年版

る労働需要量を短期的にも長期的にも減少させる。このように長伐期化と低コスト化は地域の労働需要の減少をもたらす。また、それは地域乗数効果を通じて他産業での労働需要の減少をももたらし、地域所得を減少させる。就業機会に乏しい山村地域においては、これらが地域経済の存続に深刻な影響を与える可能性は多分にあるだろう。

一方、国民経済の観点に立てば地域経済の問題は問題ではなくなる。なぜなら人々は就業機会を求めて移動することができるからである。問題は、長伐期化、低コスト化が社会的な意味での森林資源の有効利用を志向するものかどうかにある。例えば森林の公益的機能を考えれば、多くの場合長伐期化は望ましいものと考えられる（第5章を参照されたい）。一方、低コスト化によって、森林への労働投入量が公益的機能を損なうほどに節約されているならば、それは社会的に望ましいことではない。

このように長伐期化と低コスト化の予想からは、以上のような興味深い問題が生じる。ここで課題を整理すれば、第1に長伐期化と低コスト化が実際に生じているかどうかを検証することであり、第2にそれが地域経済にいかなる影響を及ぼすかを検討すること、そして、第3に国民経済の観点からその望ましい点と望ましくない点を明らかにすることである。

本章はこのうち第1の問題を考察する。ただし、この予想を統計データをもとに検証することは必ずしも容易ではない。長伐期化に関しては、赤尾(1991a)の方法を利用すればよいが、森林資源構成表の信頼性は必ずしも高くはない。他方、低コスト化を検証するデータは容易には得られるものではない。したがってここでは理論モデルによって、長伐期化、低コスト化が生じる可能性を検討することにする。

以下、続く第2節では、第3節で活用される凹関数の諸性質を命題の形で整理する。第3節では、森林純収穫のルール、Faustmannのルール、Bouldingのルール、Fisherのルールについて、実質賃金率（賃金率／立木価格。第2章で用いた相対立木価格の逆数）の上昇が伐期齢と労働投入量に及ぼす影響を導く。最後に第4節では、本章の結果と前章の結果とを合わせて、日本林業の長伐期化と低コスト化を議論する。

2．予備的考察

前章では生産量は単に伐期齢のみの関数であった。これに対して本章ではモデルを拡張し、労働投入量によってもその水準が変化することを想定する。したがって前章とは異なり、2変数の凹生産関数が用いられることになる。このためここでは予備的考察として、凹関数の諸性質を予め整理しておきたい。また本章の課題は日本林業の実証分析である。もしモデルの設定が非現実的なものであれば、得られた結果は意味のないものとなるだろう。したがって、本節で仮定の現実妥当性ついても検討しておく。

さて、時間（T）と労働（L）を生産投入要素とし、実質賃金率をパラメーターとするある利潤関数（π）を考える。πは非負の(T，L)上で定義された、連続微分可能で厳密な凹関数であるとする。

ここで所与の実質賃金率（ω）の下で利潤（π）を最大化する問題を考えよう。すなわち、

$$\max\ \pi(T, L; \omega) \quad \text{subject to } (T, L) \geq \mathbf{0}$$

最適解の1階の条件は、解を内点解に限れば、

$$\pi_T = 0, \quad \pi_L = 0$$

である（ここでπ_xは$\partial\pi/\partial x$を示す。また$\partial^2\pi/\partial x\partial y$を$\pi_{xy}$で示すこととする。以下同じ）。

最適解の2階の条件は、1階の条件を満たす（T^*，L^*)で不等式、

$$(T^*, L^*) H\pi \begin{bmatrix} T^* \\ L^* \end{bmatrix} < 0$$

が成立することである（ここで＊は1階の条件を満たすことを示し、Hπはπのヘッセ行列を示す。以下同じ）。πは厳密な凹関数であり、そのヘッセ行列は負値定符号となる（第1章補論3．を参照）から、2階の条件は常に成立している。すなわち任意の(T，L)＞$\mathbf{0}$に対して

$$(T, L) H\pi \begin{bmatrix} T \\ L \end{bmatrix} < 0$$

である。なお、このことはヘッセ行列の成分に次の不等式が成立していることと同値である。

$\pi_{TT} < 0,\ \pi_{LL} < 0,\ |H\pi| = \pi_{TT}\pi_{LL} - \pi_{TL}^2 > 0$

さて、先に得られた1階の条件を全微分すると、実質賃金率ωと最適要素投入量T^*、L^*が満たす関係を得ることができる。すなわち、

$\pi_{TT} dT^* + \pi_{TL} dL^* + \pi_{T\omega} d\omega = 0$

$\pi_{TL} dT^* + \pi_{LL} dL^* + \pi_{L\omega} d\omega = 0$

である。行列の形で表わせば、

$$H\pi \begin{pmatrix} dT^* \\ dL^* \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \pi_{T\omega} \\ \pi_{L\omega} \end{pmatrix} d\omega = \mathbf{0}$$

となる。さらにこの非斉次方程式を$dT^*/d\omega$、$dL^*/d\omega$について解けば、$|H\pi| \neq 0$より解は一意的に定まり、

$$\begin{pmatrix} dT^*/d\omega \\ dL^*/d\omega \end{pmatrix} = -H\pi^{-1} \begin{pmatrix} \pi_{T\omega} \\ \pi_{L\omega} \end{pmatrix}$$

$$= -\frac{1}{|H\pi|} \begin{pmatrix} \pi_{LL} & -\pi_{TL} \\ -\pi_{TL} & \pi_{TT} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \pi_{T\omega} \\ \pi_{L\omega} \end{pmatrix} \qquad (1)$$

ここで$|H\pi| > 0$だから$dT^*/d\omega$、$dL^*/d\omega$の符号は、

$$-\begin{pmatrix} \pi_{LL} & -\pi_{TL} \\ -\pi_{TL} & \pi_{TT} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \pi_{T\omega} \\ \pi_{L\omega} \end{pmatrix}$$

に依存する。そこで最適解T^*, L^*の関数T、Λを次のように定義しよう。

$T(T^*, L^*) = \pi_{LL}\pi_{T\omega} - \pi_{TL}\pi_{L\omega}$

$\Lambda(T^*, L^*) = \pi_{TL}\pi_{T\omega} - \pi_{TT}\pi_{L\omega}$

T、Λを用いれば$dT^*/d\omega$、$dL^*/d\omega$の符号に関して次の命題を得る。

［命題1］

$\pi(T, L; \omega)$がT, Lに関して厳密な凹関数であり、所与のωに対してπを最

大化するT^*、L^*の関数T、Λが上述のように定義されているとする。この時、もしT＜0ならば$dT^*/d\omega>0$、もしΛ＜0ならば$dL^*/d\omega<0$である。すなわち、もしT＜0ならば実質賃金率が上昇する時最適伐期齢は上昇する。また、もしΛ＜0ならば実質賃金率が上昇する時最適労働投入量は減少する。

次にπのヘッセ行列$H\pi$が負値定符号であることを思い出そう。このことから次の不等式が成立する。

$$(-\pi_{L\omega},\pi_{T\omega})H\pi\begin{pmatrix}-\pi_{L\omega}\\ \pi_{T\omega}\end{pmatrix}<0$$

左辺を展開し、T、Λを代入すると

$$\pi_{T\omega}T-\pi_{L\omega}\Lambda<0 \qquad (2)$$

を得る。この不等式より命題2が得られる。

［命題2］

命題1の条件及び定義の下で

① もし$\pi_{T\omega}>0$かつ$\pi_{L\omega}<0$ならばTとΛのうち少なくとも一方は負となる。すなわち、この符号条件の下では実質賃金率が上昇する時、最適伐期齢の上昇と最適労働投入量の減少の、少なくとも一方が生じる。

② もし$\pi_{T\omega}=0$かつ$\pi_{L\omega}<0$ならばΛは負である。すなわち実質賃金率の上昇は最適労働投入量の減少をもたらす。また、この時もし$\pi_{TL}<0$ならば、そしてその場合においてのみ、Tは負であり、最適伐期齢の上昇が生じる。

③ もし$\pi_{T\omega}>0$かつ$\pi_{L\omega}=0$ならばTは負である。すなわち実質賃金率の上昇は最適伐期齢の上昇をもたらす。また、この時もし$\pi_{TL}<0$ならば、そしてその場合においてのみ、Λは負であり、最適労働投入量の減少が生じる。

次に実質賃金率ωと最大化された利潤π^*との関係について考えよう。はじめに$d\pi^*/d\omega$を求める。πを最大化する(T^*, L^*)では、1階の条件$\pi_T=\pi_L=0$が成立していることを思い出せば、

$$d\pi^*/d\omega=\pi_T dT^*/d\omega+\pi_L dL^*/d\omega+\pi_\omega=\pi_\omega$$

である（包絡線定理）。さらに$d^2\pi^*/d\omega^2$を求める。等式（１）を考慮すると

$$\frac{d^2\pi^*}{d\omega^2}=\frac{d}{d\omega}\left(\frac{\partial\pi^*}{\partial\omega}\right)$$

$$=\pi_{T\omega}dT^*/d\omega+\pi_{L\omega}dL^*/d\omega+\pi_{\omega\omega}$$

$$=(\pi_{T\omega},\pi_{L\omega})\begin{pmatrix}dT^*/d\omega\\ dL^*/d\omega\end{pmatrix}+\pi_{\omega\omega}$$

$$=-(\pi_{T\omega},\pi_{L\omega})H\pi^{-1}\begin{pmatrix}\pi_{T\omega}\\ \pi_{L\omega}\end{pmatrix}+\pi_{\omega\omega}$$

$H\pi$は負値定符号であった。負値定符号行列の逆行列もまた負値定符号行列である（西村和雄(1982)第３章定理４．２）から、結局次の不等式が成立する。

$$d^2\pi^*/d\omega^2>\pi_{\omega\omega} \qquad (3)$$

これより命題３を得る。

［命題３］

$\pi(T,L;\omega)$がT,Lに関して厳密な凹関数であるとする。この時、所与のωに対して最大化されたπ^*に関して、もし$\pi_{\omega\omega}\geqq0$ならば$d^2\pi^*/d\omega^2>0$。すなわちπ^*はωに対して凸関数である。

次に本章で用いるモデルの仮定について述べておこう。

本章でも前章と同様、１点投入１点産出モデル、すなわち労働投入は植栽時点ですべて行われ、収穫は立木販売時点ですべて行われるモデルを採用する。下刈や間伐を思い起こせば明らかなように、育林生産における労働投入及び収穫は複数の時点で行われるから、このような設定は現実を過度に抽象化していると思われるかも知れない。他方、異時点複数の投入産出をモデルに反映させるためには制御理論を援用する必要がある。しかし、第１章で示したように最適制御モデルの最適解は、相当複雑なものとなる。このため、ここでは必要以上の複雑さを回避するために１点投入１点産出モデルを用いることとする。もし植栽時点で一括

して支払われる費用が、時間の流れの中で発生する主伐以外の収入と費用の流列の最適経路（ある伐期齢におけるある収穫量を得るための純費用最小経路）と1対1対応するならば、この設定は妥当であろう。

本章のモデルは無立木地から始まる単一一斉林モデルである。1点投入1点産出モデルの設定の下では、無立木地を想定することは既に労働投入の終わったケースを考えないことを意味している。ただし労働投入の終わった森林に関しては、第2章の結果が直接利用できる。したがってこのケースの考察は、最後の節で本章のモデルの結果と合わせて行うことにする。一方、単一一斉林の設定に関しては、第1章で述べたように線形異齢林モデルを想定していることと同じである。したがって、本章の結果を解釈する場合、線形制御問題が極端な結果を導く性質を持っていることに注意しておく必要がある。ここで非線形要因としては、次のようなことを考えることができる。例えば、立木販売収入に森林所有者の家計が強く依存している場合、伐期齢の延長によって森林を当面は一切販売しないことが最適であっても、所得を確保するための必要最低限の伐採は行われるだろう。また、自家労働による林業経営を行っている森林所有者は、本来ならば森林に一切労働投入を行わないことが最適な場合でも、他の就業先がないために、自らの労働報酬見積り額を切り下げて森林施業を行うことが十分に考えられる。ただし、第1章でも述べたように、これら非線形要因は摩擦のようなものである。線形異齢林モデルの結果があてはまらない森林所有者が、存在する可能性は十分にあるが、地域あるいは一国のレベルでの傾向としては、単一一斉林モデルの結果は妥当なものと考えてよいだろう。

本章で用いられる森林の生産関数 $f(T,L)$ は単位面積当りの「実質化された」主伐収穫量を示す。通常の林業経済学のテキストでは、f を単位面積当りの立木の利用材積とし、単位利用材積当り立木価格（あるいは木材価格）を林齢に関わらず一定と仮定している（例えばJohansson and Löfgren(1985)第4章。本論文の以前の章でもそのように仮定している）。この仮定は日本では（そしておそらく他の多くの国においても）非現実的である。したがってここでは f を次のように定義する。単位面積当り利用材積を $g(T,L)$、林齢と労働投入量に依存する単位材積当り立木価格を $p(T,L)$、一般資料として公表されている指標立木価格を $P=p(T^{\circ},L^{\circ})$ として、

$$f(T,L)=[p(T,L)/P]g(T,L)$$

である。本論文で用いる f は、いわば指標立木価格で実質化された立木の価値成長関数と呼ぶことができるだろう。また、これまで特に断わりなく用いてきた実質賃金率ωは、林業労働の名目賃金率をwとして

$$\omega=w/P$$

と定義される。指標立木価格と名目賃金率とを用いた分析と、実質賃金率を用いた分析とは、各決定ルールの価格に関する一次同次性（あるいは最適解の価格に関する0次同次性）により完全に一致する（第2章を参照のこと）から、無用な複雑さを避けるために、分析は一貫して実質賃金率を用いることとする。

なおfの定義域に関してはここでは単に非負2次元空間とする。厳密には少なくとも伐期齢に関しては立木販売が可能となる最小の伐期齢（T_{min}）を設定しておくべきだが、現在の日本林業の分析では最適伐期齢が端点解$T^{*}=T_{min}$となる可能性を無視しても問題はないと考えられる。

いくつかの決定ルールでは、市場利子率あるいは主観的割引率が最適伐期齢に影響を与える（第2章を参照のこと）が、ここでは関心を実質賃金率の影響に集中するため、これを一定とみなすことにする。ただし個々の森林所有者間で主観的割引率が異なることは認められていることに気付かれたい。

以上の設定に加えて本論文に置かれている仮定は以下の通りである。

① 森林所有者は生産関数 f に対して完全な知識を持っている。
② 生産関数 f 及び各決定ルールの利潤関数は厳密な凹関数である。

本節の最後に、現実的な観点からしばしばなされる指摘にも触れておこう。それは、計算上得られるFaustmannの伐期齢が、現実の伐期齢や伐採齢に比べて、あまりに短くなりすぎるというものである。第2章では、Faustmannの伐期齢よりもBouldingの伐期齢はさらに短いことを示した。この指摘を認めれば、これらの伐期齢はきわめて短く、森林所有者がこれらのルールを採用しているとはとうてい考えられないということになる。

しかし、結論からいえば、この批判は単なる誤解に過ぎない。Bouldingの伐期齢に関する家原・黒川(1990)の緻密な計算結果は、その一つの有力な反証となる

だろう。彼らは人工ヒノキ林に関してさまざまな地位、伐出費用、賃金等の条件の下での内部収益率を求めている。彼らの示したいくつかの表では、Bouidingの伐期齢の最小値は40年（内部収益率5.637、地位指数16、賃金単価8,000円、伐出費単価12,000円／m^3）であり、その多くは50年あるいは60年にある。また、スギに関しては熊崎(1985,p.42)の表－１０が参考となる。同表にはスギ林の内部収益率と森林貢租（熊崎は「森林純収穫」としているが書き間違いと考えられる）が林齢別に示されており、Bouldingの伐期齢は80年、森林純収穫の伐期齢は100年以上となっている。

Faustmannの伐期齢が短すぎるという批判は、おそらく立木販売収入ではなく、利用材積によってその伐期齢を算出することから生じたものと考えられる。実際のところ、林齢別の利用材積を推定することは容易だが、林齢別の立木販売収入を推定することはデータ収集に始まる大変な作業を要する。しかしながら、森林純収穫やFaustmannの伐期齢など、金銭的な指標から導かれる最適伐期齢を求めるのに、利用材積を用いることは全く意味のないことである。

３．実質賃金率と最適伐期齢、最適労働投入量

（１）森林純収穫のルール

森林純収穫のルールは、次に定義される森林貢租ＦＲを最大化することを要求する。

$$\pi = FR = (f - \omega L)/T$$

ここで$\pi_{T\omega}$、$\pi_{L\omega}$を求めれば

$$\pi_{T\omega} = L^{*}/T^{*2} > 0$$

$$\pi_{L\omega} = -1/T^{*} < 0$$

したがって命題２の①より、森林純収穫のルールにしたがう森林所有者は、実質賃金率の上昇に対して、伐期齢の上昇か労働投入量の減少のいずれか少なくとも一方の行動を採ることがわかる。

さらにΥ、Λを求めると

$$\Upsilon = (L^{*} f_{LL} + T^{*} f_{TL}) T^{-3}$$

$\Lambda = (L^{*} f_{TL} + T^{*} f_{TT}) T^{-3}$

となるが、その符号は不明であり、伐期齢の上昇と労働投入量の減少が同時に生じる（これを絶対的要素代替と呼ぶこととする）かどうかはわからない。

次に $d\pi^{*}/d\omega$ 及び $\pi_{\omega\omega}$ を求めると

$d\pi^{*}/d\omega = -L^{*}/T^{*}$

$\pi_{\omega\omega} = 0$

であり、図３－３のような ω と π^{*} の関係が得られる。この曲線を利潤－賃金フロンティアと呼ぼう。任意の各点における接線の傾きは、ある実質賃金率における最適伐期齢と最適労働投入量の比を表している。利潤－賃金フロンティアの形状から、実質賃金率が上昇するとき比の値（L^{*}/T^{*}）は次第に小さくなる。

ここである水準から実質賃金率が $\Delta\omega$ だけ上昇したとし、この時の最適伐期齢の変化を ΔT、最適労働投入量の変化を ΔL で表す。図３－３からも明らかなように

$(L^{*} + \Delta L)/(T^{*} + \Delta T) < L^{*}/T^{*}$

あるいは

$(1 + \Delta L/L^{*})/(1 + \Delta T/T^{*}) < 1$

われわれは解を内点解に限定しているから、$\Delta T > -T^{*}$ であることに注意しよう（$\Delta T = -T^{*}$ のケースは森林所有者が育林生産を行わないことを意味する）。この時上の不等式は変形されて

$\Delta L/L^{*} < \Delta T/T^{*}$

となる。すなわち、もし最適伐期齢が上昇すると同時に最適労働投入量が増加するとしても、その増加率は最適伐期齢の上昇率よりも小さい。また、最適労働投入量が減少すると同時に最適伐期齢が低下するとしても、その低下率は最適労働投入量の減少率よりも小さい。

このような要素投入量の関係を相対的要素代替と呼ぶとすれば、森林純収穫のルールでは、実質賃金率の変化に対して絶対的な要素代替が生じるかどうかは不明だが、相対的な要素代替は必ず生じるといえる。

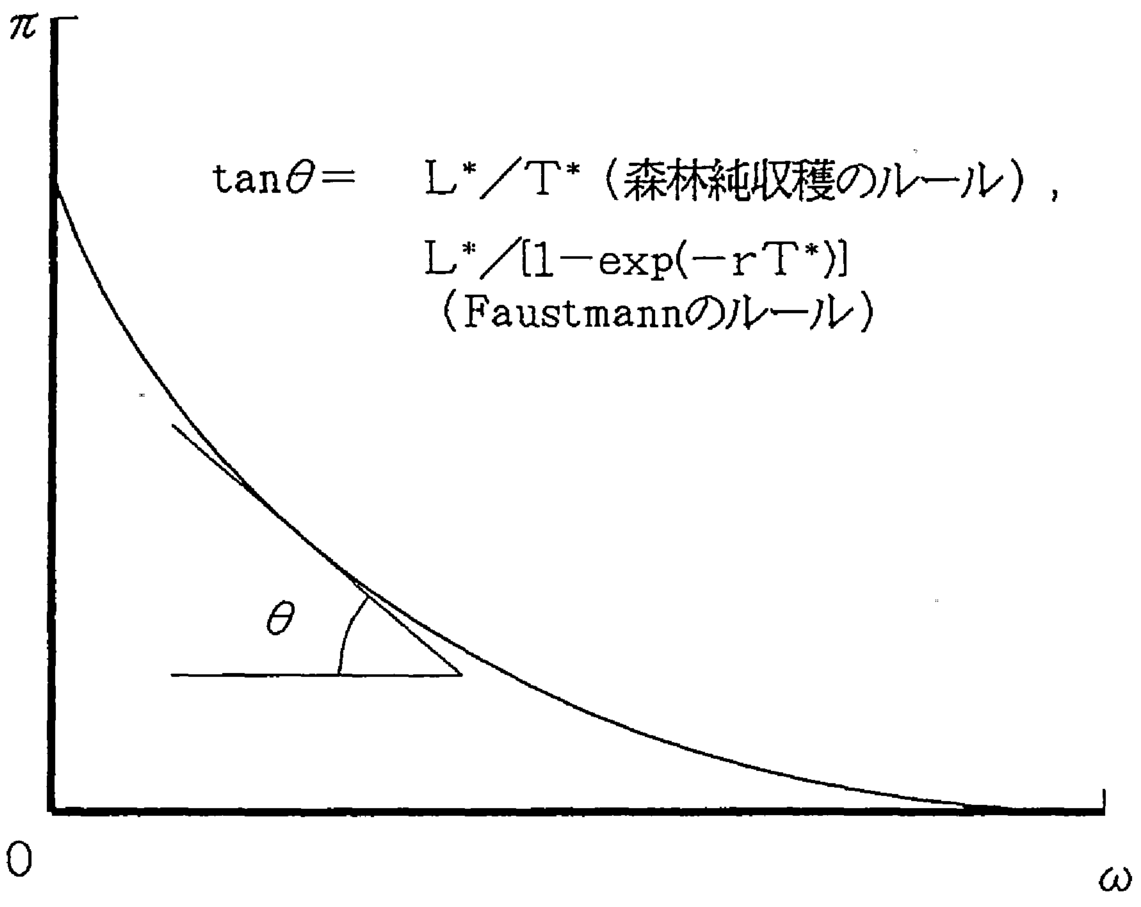


図 3−3 利潤−賃金フロンティア

(2)　Faustmannのルール

Faustmannのルールでは無限回の植伐から得られる利潤の流列の現在割引価値の総和Vを最大化する。最大化されたVは経済学では林地の機会費用と解釈される。

森林所有者の主観的割引率をrとすると、Vは次のように定義される。

$$\pi = V = \sum_{i=1}^{\infty}[(f\ e^{-rT} - \omega L)\, e^{-(i-1)rT}]$$

$$= (f\ e^{-rT} - \omega L)(1 - e^{-rT})^{-1}$$

ここで$\pi_{T\omega}$、$\pi_{L\omega}$を求めると

$$\pi_{T\omega} = r\ L\ e^{rT}(e^{rT} - 1)^{-2} > 0$$

$$\pi_{L\omega} = -(1 - e^{-rT})^{-1} < 0$$

となる（ここでは最適解を示す＊を省略している。同様に以下のT、Lは全て1階の条件を満たすT^*、L^*を示している）。したがって命題2の①が適用される。

1階の条件を考慮してT、Λを求めると

$$T = (e^{rT} - 1)^{-1}[f_{LL}\pi_{T\omega} - (f_{TL} - r\ f_L)\pi_{L\omega}]$$

$$\Lambda = (e^{rT} - 1)^{-1}[(f_{TL} - r\ f_L)\pi_{T\omega} - (f_{TT} - r\ f_T)\pi_{L\omega}]$$

となるが、$f_{TL} - r\ f_L$の符号が確定できないために、T、Λの符号は不明である。

さらに$d\pi^*/d\omega$、$\pi_{\omega\omega}$を求めると

$$d\pi/d\omega = -L/(1 - e^{-rT}) < 0$$

$$\pi_{\omega\omega} = 0$$

であり、命題3より森林純収穫のルールと同様の形状を持つ利潤－賃金フロンティアが得られる（図3－3参照）。その接線の傾きは実質賃金率の上昇とともに小さくなり、$L/(1 - e^{-rT})$はωの上昇によって減少する。このことが一つの相対的要素代替を表していることを以下示そう。

森林純収穫のルールで用いたΔω、ΔT、ΔLを利用する。ここではΔωが十分に小さい時、近似式

$$\Delta T = (dT/d\omega)\Delta\omega$$

が成立することに注意する。この時、実質賃金率の上昇Δωに対する$d\pi/d\omega$の分母の変化$\Delta(1 - e^{-rT})$は

$$\Delta(1 - e^{-rT}) = [d(1 - e^{-rT})/d\omega]\Delta\omega$$

$$= r\ e^{-rt}(dT/d\omega)\Delta\omega = r\ e^{-rT}\ \Delta T$$

となる。これより次の不等式が得られる。

$$\frac{L+\Delta L}{(1-e^{-rT})+re^{-rT}\Delta T} < \frac{L}{1-e^{-rT}}$$

変形すると

$$\frac{1+\Delta L/L}{[1+rT(e^{rT}-1)^{-1}\cdot\Delta T/T]} < 1$$

e^{rT}をマクローリン展開すれば$rT(e^{rT}-1)^{-1}<1$であることが容易にわかる。また$\Delta T>-T$だから、上の不等式の左辺分母は正であり、

$\Delta L/L<[rT/(e^{rT}-1)](\Delta T/T)$

を得る。ここで$\Delta T>0$の場合、すなわち最適伐期齢が上昇するケースを考えると不等式

$\Delta L/L<[rT/(e^{rT}-1)](\Delta T/T)<\Delta T/T$

が成立する。したがって、最適伐期齢が上昇する場合には相対的な要素代替が生じることがわかる。

以上、Faustmannのルールで得られた結果をまとめる。第1に、実質賃金率が上昇する時、Faustmannのルールにしたがう森林所有者は伐期齢の上昇か労働投入量の減少の、いずれか少なくとも一方の行動を採る。第2に実質賃金率の上昇によって、最適伐期齢の上昇と最適労働投入量の増加が同時に生じるとしても、最適労働投入量の増加率は最適伐期齢の上昇率よりも小さい。

（3） Bouldingのルール

Bouldingのルールは次の恒等式で定義される内部収益率ρの最大化を要求する。

$\pi=\rho=T^{-1}\log[f/(\omega L)]$

これより

$\pi_{T\omega}=1/(T^{*2}\omega)>0$

$\pi_{L\omega}=0$

したがって命題2の②より実質賃金率の上昇は最適伐期齢の上昇をもたらすことがわかる。最適労働投入量の変化はπ_{TL}に依存するから、これを求めると、

$\pi_{TL}=[f_{TL}-(f_T/f^*)f_L]/(T^*f^{*3})$

である。

さらに最適労働投入量の減少が生じる条件を整理すれば、1階の条件

$\pi_T = (f_T / f^* - \rho^*) T^{*-3} = 0$

を利用して、

$f_{TL} - \rho^* f_L = \partial (f_T - \rho^* f^*) / \partial L < 0$

となる。ただし、凹関数の仮定だけではこの符号を決定することはできない。したがって実質賃金率の上昇と最適労働投入量との関係は明らかではない。利潤－賃金フロンティアを用いてもこの関係は明らかではない。

（4） Fisherのルール

Fisherのルールは、1回だけの植伐において得られる利潤の現在価値ＰＶを最大化することを要求する。ＰＶは次のように定義される。

$\pi = PV = f e^{-rT} - \omega L$

これより

$\pi_{T\omega} = 0$

$\pi_{L\omega} = -1$

したがって命題２の③が適用されるから、実質賃金率が上昇すると最適労働投入量は減少することがわかる。

最適伐期齢の変化に関してπ_{TL}を求めると

$\pi_{TL} = (f_{TL} - r f_L) e^{-rT}$

となる（ここでは最適解を示す＊を省略している）が、凹関数の仮定だけではその符号を特定できない。また利潤－賃金フロンティアからも最適伐期齢に関する情報は得られない。したがって、実質賃金率の上昇が最適伐期齢に及ぼす影響は不明である。

なお、最適伐期齢が上昇するための条件を整理すると

$f_{TL} - r f_L = \partial (f_T - r f^*) / \partial L < 0$

となる。この条件はBouldingのルールにおける最適労働投入量が減少するための条件と類似のものとなっている。

4．考察

前章では、森林の生産関数が伐期齢のみを変数とするケースを分析した。このモデルは労働投入量が固定されたケース、すなわち労働投入の終わった森林に関するものと解釈できる。その分析結果は、実質賃金率の上昇に対して森林純収穫のルール、Bouldingのルール、Faustmannのルールでは、最適伐期齢は上昇する。Fisherのルールおよびその他のルールでは最適伐期齢は実質賃金率の値の影響を受けず一定となる、というものであった。

これに対して本章では、森林の生産関数が伐期齢と労働投入量の２つの変数を持つモデルに拡張した。４つの決定ルールについて得られた結論を要約すると、それぞれのルールにしたがって定式化された利潤関数が厳密な凹関数であるとき、いずれのルールでも最適伐期齢の上昇と最適労働投入量の減少の、少なくともいずれか一方が生じる。しかしながら、両者が同時に生じること、すなわち絶対的な要素代替が生じるかどうかはどのルールにおいても明らかではない。一方、相対的な要素代替に関しては、森林純収穫のルールでは必ず生じ、またFaustmannのルールでは最適伐期齢が上昇する場合に生じて、投入要素の比(L^*/T^*)は実質賃金率の上昇によって小さくなることがわかった。

実際の林業経営において、個々の森林は地位級や地利級が異なり、また植栽樹種も異なる。しかし以上の結論は利潤関数が凹関数であるという一般的な仮定から得られたものであり、この仮定が満たされている限りいかなる森林に対しても適用可能である。さらに言えば、凹関数の仮定は定義域全域で満たされている必要はない。それはただ最適伐期齢の近傍で局所的に満たされてさえいればよいのである。したがっていくつかの留意点はあるものの、これらの結果を基に、日本林業のこれまでの動向、あるいは将来の動向に関して次のように考察することができる。

第１に、林業を取り巻く市場環境が変化した昭和40年代半ばから今日、そして近い将来にかけて伐採される人工林には、前章のモデルが適用される。なぜならそのような人工林は、昭和40年代にはすでに労働投入がほとんど必要ではなくなる林齢に到達していたと考えられるからである。いくつかの決定ルールでは実質賃金率は伐期齢に影響を及ぼさないが、その上昇にともなって伐期齢が短くなる

ような決定ルールは存在しない。したがって地域あるいは一国のレベルで伐採齢を観察すれば、おそらくそれが延長されているというパターンが見いだせるはずである。それは、赤尾(1991a)の結果によっても支持されるものである。なお、長伐期化は、育林生産の労働需要量の減少をも意味することに気付かれたい。なぜなら長伐期化によって伐採が繰り延べられ、したがって造育林作業もまた、次々と繰り延べされることになるからである。

一方、昭和40年代以降に労働投入が行われた人工林に関しては、本章の結果が適用される。そこで第2に、そのような人工林の伐期齢、伐採齢について考えよう。残念ながら実質賃金率の上昇によって明らかに最適伐期齢が延長されるのはBouldingのルールだけである。しかし、ル・シャトリエ (Le Chatelier) 原理 (Samuelson(1947)第3章を参照) を考えれば、森林純収穫、そしてFaustmannの伐期齢もまた多くの場合、延長されるだろう。経済学では、ル・シャトリエ原理は制約条件の数が少ないほど最適要素需要量の変化が大きいことを示す定理として、利用されている。前章のモデルが単位面積当たり労働投入量が固定されていた (制約されていた) ケースにあたり、本章のモデルはその制約が取り払われたモデルにあたることに気付けば、上のような予想が導かれる。しかもル・シャトリエ原理は、伐期齢が労働投入量が固定されているケースよりも長くなることを示唆する。また、図3－1に示したように実質賃金率はある水準からある水準にジャンプしたのではなく、趨勢的に上昇し続けている。このため森林所有者は、現在の市場環境が続く限り、将来になればなるほどより高い実質賃金率を想定することになるだろう。これらは、将来的にも長伐期化傾向は続くことを予想するための有力な根拠となる。

第3に低コスト化を検討しよう。実質賃金率の上昇によって明らかに労働投入量が減少するのはFisherのルールだけであり、残念ながら他のルールに関しては定かではない。ただし、ここでもル・シャトリエ原理が有効であれば、低コスト化が生じる決定ルールは他にも存在することになる。

伐期齢を固定しておいて、実質賃金率の上昇に対する最適労働投入量の偏微分係数を検討しよう。第2節の利潤関数を用いれば1階の条件から

$$dL^*/d\omega = -\pi_{L\omega}/\pi_{LL}$$

であり、厳密な凹関数の仮定により$\pi_{LL}<0$。したがってもし、$\pi_{L\omega}<0$ならば

$dL^*/d\omega<0$である。ル・シャトリエ原理により、そのような決定ルールでは伐期齢が自由になるならば、実質賃金率の上昇に対してさらに大きく労働投入量が減少することになる。第3節の結果を参照すれば、該当する決定ルールは、森林純収穫、Faustmann、そしてFisherのルールであることがわかる。このことは低コスト化が生じていること、また将来的にも生じるという予想を支持するものである。

第２部　森林資源の社会的最適利用問題

第４章　森林資源の社会的最適ストック量と公的機関の役割

１．はじめに

本章および次章では、森林資源の利用に関する森林所有者と社会とのギャップを明示的に示し、両者のギャップを埋めるためにいかなる森林政策が可能かを考察する。

森林資源の利用に関して生じる問題は、大きく二つに分けることができるだろう。一つは森林としての利用そのもののを問うものである。これは主として林地の他用途開発との関連で論じられ、森林をどの程度残すか（あるいは増やすか）という最適ストック量の決定が、問題の中心となる。もう一つは森林としての利用を前提とした上で、これをどのように利用していくかという問題である。ここでは樹種、林相の選択から施業の選択、伐期齢の選択までを含む森林計画のあり方が問われる。したがってこの問題は最適森林計画問題と呼ぶことができるであろう。

ただし、森林の最適ストック量の決定問題と最適森林計画問題は、それぞれ独立した問題ではない。例えば林地の他用途開発を考える場合、他用途開発した状態と、森林として最も望ましい形で利用した状態を、比較することになる。したがって前者の問題を考える前提として、すでに後者の問題は解決されていなければならない。一方、最適森林計画を考える場合、問題が何らかの非線形要因を含んでいれば、森林ストック量の多寡によって最適計画は異なることになる。したがって、この場合には前者の問題が、すでに解決されていることが考察の前提となる。このように現実には、二つの問題の一方の解が他方の解を得るための前提となっていることや、ときには両者を同時に考察しなければならないことが少なくない。問題を二つに分けることは、単に理論化や分析の見通しをよくするための概念的な操作に過ぎない。

さて本章では、これら二つの問題のうち森林資源の最適ストック量の問題を扱い、最適森林計画に関しては次の第５章で扱うこととする。

本章で用いられるモデルはかなり単純化されており、それは時間の概念を捨象

した静学モデルである。すなわちここでは、森林の伐採は森林の消失を意味している。

森林は再生可能資源なので、伐採されても十分な時間が経過することで、元の状態に復することが可能である。このため森林資源の利用問題を考える上で、時間の要素を捨象することは、モデルの現実妥当性を著しく欠くことになると考える人がいるかも知れない。しかしながら、森林資源の最適ストック量が問題となる状況、例えば林地の他用途開発問題や原生林の保護問題を考えれば、森林は再生可能資源というよりも、むしろ枯渇性資源と見なしてよいことに気付くであろう。これらの問題に対して本章のモデルとその結果は、静学的な枠組みという限界はあるものの、直接的な示唆を与える。また森林は、いったん伐採してしまえば、元の状態に戻るまで少なくとも数十年を要す。もし、問題を十数年程度の期間に限って考察するならば、さまざまな森林資源の利用問題に、本章のモデルは応用されるであろう。

さて、本章で考察の対象とされる森林と社会に関して、ここであらかじめ明らかにしておこう。社会にはさまざまな森林が存在すると考えられるが、ここではその中の一つの森林を取り上げる。森林はそのストック量で表現されるものとみなし、これをQ^{*}で表す。森林は伐採されて木材qを産出し、それは一定の価格Pで販売される。伐採されずに残される森林のストック量Qは$Q=Q^{*}-q$で表される。

森林は、それ自身が公共財として人々に効用を与えているものと考える。社会にはこの森林から効用を得る$n+1$人の経済主体が存在するものとしよう。この中の一人の経済主体は、この森林の所有者である。社会には、この森林からいっさい効用を得ない人々も存在すると考えられるが、これらの人々はこの森林がどのように利用されても無関係であり、したがって考察の対象外となる。

次に各経済主体の満足度を表す関数として、（序数的）効用関数が存在すると仮定する。経済主体の効用関数はそれぞれ互いに異なるから、森林所有者の効用関数を

$$U=U(x,Q)$$

で表し、その他の経済主体の効用関数を

$$u^{i}=u^{i}(x,Q),\quad i=1,2,\cdots,n$$

で表す。ここでｉは経済主体を区別する添え字である。またｘは財の消費量を示すｍ次列ベクトルである。これらの諸財は、Ｑを除いて正の価格ｐ（ｍ次行ベクトル）で自由に購入できるものとする。一方、Ｑの価格は０である。効用関数の変数としてＱが含まれているのは、森林が存在することで人々に効用を与えていることを表している。森林は公共財と見なされており、存在すれば関連する全ての人々に、同じだけの量の公益的サービスを供給すると仮定されている。なお、社会にはｍ種類の財と考察の対象となっている森林以外にも、消費量が固定されている財、その他の森林、さらに森林以外の公共財などが存在するであろう。これらに関してはその消費量や賦存量は一定であると考えて、効用関数の変数として明示的に示すことはしない。

各経済主体の効用関数はさまざまであると考えられるが、共通する特質として、それらは全て厳密な単調増加準凹関数であり、必要なだけ連続微分可能であると仮定する。厳密な単調増加準凹関数の正確な定義は、本章の補論で述べるが、直観的には財の消費量が増えれば増えるほど効用水準は高まり、また効用の無差別曲線が、厚みを持たず原点に対して厳密に凸となるような関数である。ここで前者は効用関数の単調増加性を示し、後者は厳密な準凹性を示している。また、無差別曲線とは、ある一定の効用水準（例えばＵ＾）に対して、その効用水準を達成する諸財の消費量と森林のストック量の集合

$(x\hat{}, Q\hat{}) \in \{(x, Q) \mid U(x, Q) = U\hat{},\ x \geq \mathbf{0},\ Q \geq 0\}$

を指す（ここで$(x\hat{}, Q\hat{})$はｍ＋１次元非負ユークリッド空間で定義される曲面となるので正確には無差別曲面である）。

単調増加性についてイメージすることは容易だが、厳密な準凹性、したがって効用の無差別曲線が原点に厳密に凸となるということが、いったい何を意味しているのかについては若干の説明が必要であろう。図４－１は、ある個人ｉについて、ｍ－２個の財の消費量と森林のストック量を固定しておいて、第１財と第２財の消費量に関する効用の無差別曲線を描いたものである。原点に対して厳密に凸というのは、同じ効用水準上の２点Ａ、Ｂ（Ａ点は第１財に消費が片寄っており、Ｂ点は第２財に消費が片寄っている）を比べると、第１財の消費量をΔx_1だけ減少させるとき、この効用水準を保つために必要とされる第２財の消費量の増加量Δx_2がＢ点よりもＡ点の方が多くなることを意味する。すなわち厳密な準凹

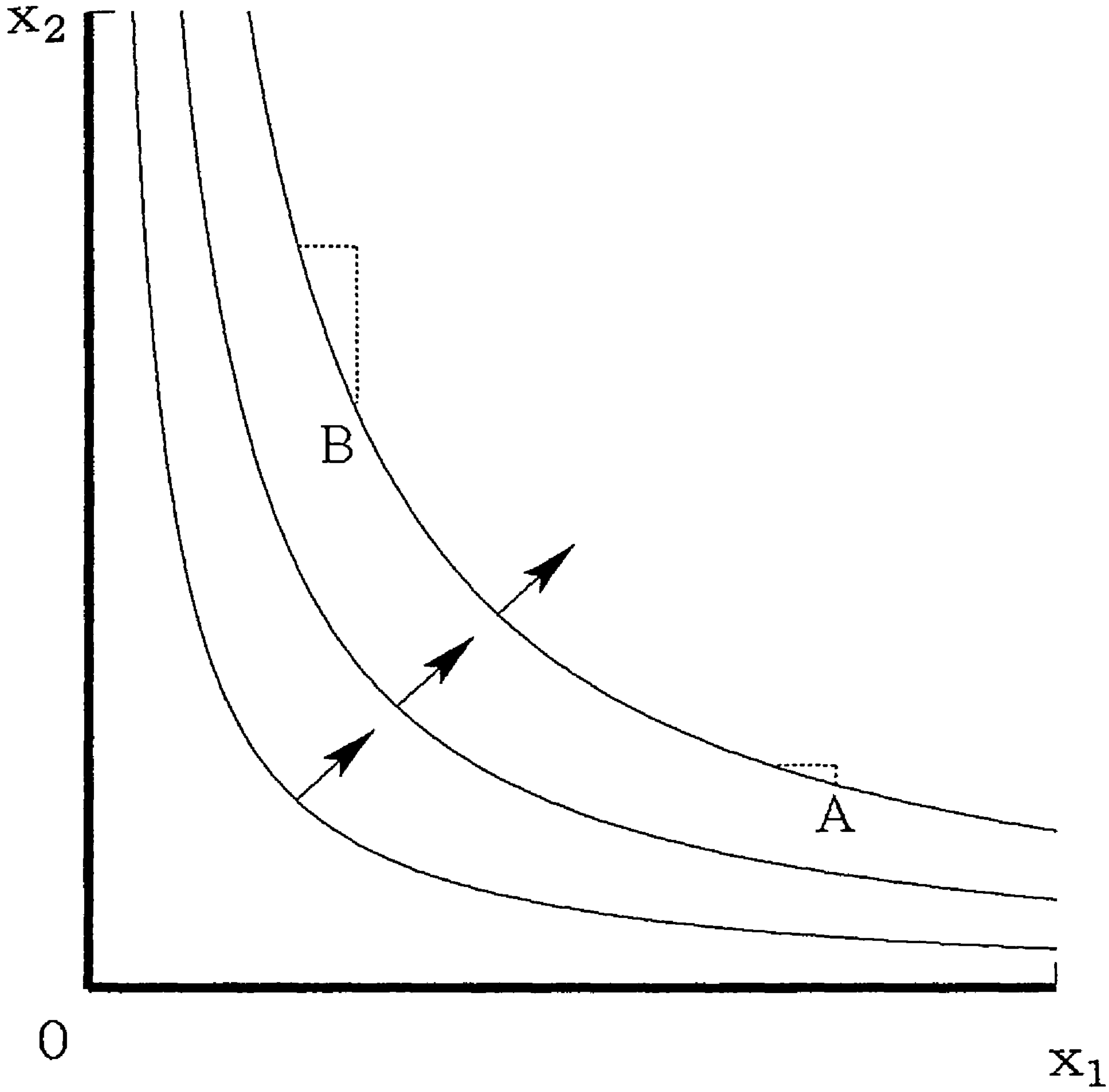


図 4−1　効用の無差別曲線

注：矢印は効用が高くなる方向を向いている。

性とは、たくさん消費できる財よりもあまり消費できない財の方が重要となるという性質のことである。人々の効用について、このような単調増加性と厳密な準凹性の仮定は、一般に妥当なものと考えても問題はないであろう。

以上の設定の下で本章では次のように考察を進める。第２節では森林所有者にとっての森林の最適利用を導出する。次に第３節では社会にとっての森林の最適利用を導出し、両者の間のギャップの存在を論じる。そして、第４節ではこのギャップを埋めるために、公的機関がいかなる政策をとることが可能かを考察する。第５章は以上を要約し、実際の森林政策に考察結果を利用するための議論が提示される。なお、本章の補論は数学注を与える。

２．森林所有者にとっての森林の最適利用

ここでは、森林所有者にとっての森林の最適利用を明らかにする。まず、森林所有者が直面する予算制約について定式化しよう。森林所有者は、所有する森林の一部を伐採することで木材収入Ｐｑを得る。この収入は、残される森林のストック量Ｑの関数として$Pq = P(Q^{\#} - Q)$で表される。森林所有者にはそれ以外にも固定的な収入があるとし、これをＲで表す。所得をＩとすれば、森林所有者が諸財の購入に利用できる金額は

$$I = R + P(Q^{\#} - Q) \qquad (1)$$

である。この等式は予算制約式と呼ばれ、図４－２に示されている線分がこれに相当する。

予算制約式は非負のＱ－Ｉ平面上に表されるので、対応して森林所有者の効用の無差別曲線を、Ｑ－Ｉ平面上に描くことを考える。ある森林のストック量Ｑと所得Ｉに対して、その所得を諸財の消費に用いて得られる、最大の効用水準を対応させることができる。つまり(Q, I)とその下での最大の効用水準の間には、ある関数関係が存在する（その存在の証明については補論を参照のこと）。この関数を$V(Q, I)$で表し、対応する諸財の消費量をx^*で表すと

$$V(Q, I) = U[x^*(Q, I), Q] = \max[U(x, Q \mid I - px = 0)]$$

である。この関数ＶはＵから間接的得られるものであり、間接効用関数と呼ばれ

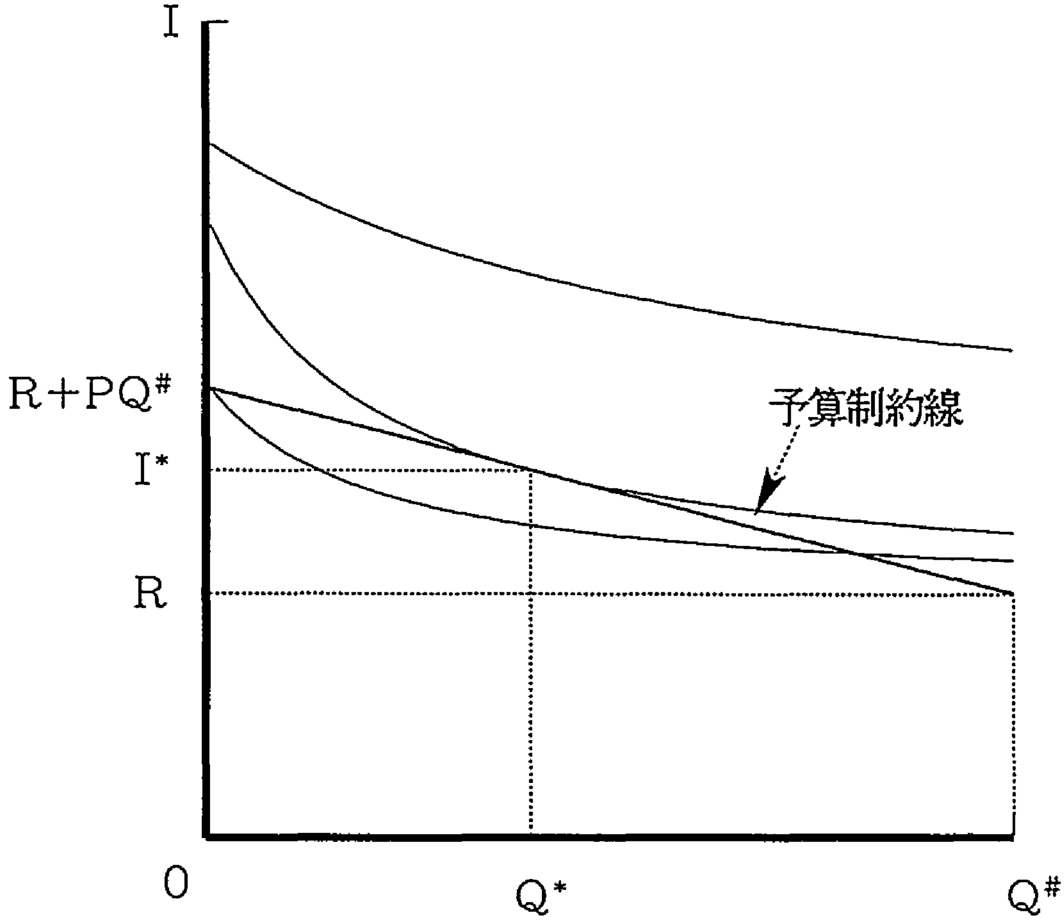


図 4−2 森林所有者の最適森林利用

るものの一種である。一方、Ｕは直接効用関数と呼ばれる。補論で示されるように、Ｕの単調増加性と厳密な準凹性から、Ｖは厳密な単調増加準凹関数となる。したがって、Ｑ－Ｉ平面上に表された効用の無差別曲線は、図４－２に示されているように原点に厳密に凸の曲線となる。

図４－２で各無差別曲線は、Ｉ軸と交わるように描かれているが、これは考察対象となっている森林が森林所有者の生活にとって、絶対必要というわけではないことを表している。言い換えると、森林のストック量が0であってもある程度の所得が得られれば、任意の効用水準を達成できる。このような財を、Willig(1978)は非本質的な財（non-essential commodity）と呼んでいる。反対に、いかなる無差別曲線もＩ軸と交わらない場合には、この森林は本質的な財（essential commodity）と呼ばれる。この場合には森林が全くなくなってしまうと、ある効用水準を保つのに必要な所得は無限大となる。つまり森林は欠くことのできない財ということになる。考察の対象となっている森林が、non-essentialかessentialかは先験的に決められることではないが、ここではnon-essentialであることを想定している。ただし、以下の考察は森林がessentialな場合に容易に変更することができる。

さて森林所有者の最適森林利用は予算制約線（１）上で最も効用の高い点で表される。これは図では(Q^*, I^*)で示されている。ここでQ^*は伐採されずに残される森林の最適なストック量であり、伐採量は$Q^\# - Q^*$で表される。一方、I^*は所得であり、その他の財の消費に用いられる支出額を表している。予算制約線は常に$(Q^\#, R)$を通り、その傾きは木材価格Ｐにマイナスを乗じたものであることに注意しよう。したがって、図４－２の予算制約線の傾きを変化させることによって、もし木材の価格が高い水準にあると森林は全て伐採される可能性があり、一方、木材の価格がある水準以下であれば森林は全て保全されることがわかる。ただし、以下では最適解がこのいずれでもない場合、すなわち$0 < Q^* < Q^\#$となるような水準に木材価格があるものとする（最適解が内点解のケース）。この想定は議論を簡単にするためのものであり、$Q^* = 0$、$Q^* = Q^\#$という２つの極端なケース（最適解が端点解のケース）を含めても、以下での考察の結果は、本質的には変わらない。なお内点解の場合には、最適解では無差別曲線の接線と予算制約線が一致しており、したがって$dI/dQ = -P$となることに注意されたい。

３．社会的に最適な森林利用

まず森林所有者以外の人々が、ある森林のストック量とある所得のもとで得る効用水準を示す。任意の第ｉ番目（ｉ＝１，２，・・・，ｎ）の経済主体の効用関数は$u^i = u^i(x, Q)$で表される。彼が消費に充てることのできる所得をI^iで表し、I^iは森林のストック量とは独立で一定であるとして、この経済主体の効用の無差別曲線をＱ－Ｉ平面上に描くことを考える。考察の対象となっている森林は森林所有者以外の全ての人々にとっても、non-essentialであるとする。u^iは、森林所有者の効用関数と同様に、厳密な単調増加準凹関数と仮定されている。したがって、その間接効用関数$v^i(Q, I)$は厳密な単調増加準凹関数となり、描かれる無差別曲線は、図４－３で示したように原点に厳密に凸となる。一方、その予算制約式は水平な半直線$I = I^i$で表される。そして第ｉ番目の経済主体が、ある森林のストック量と所得の組み合せ(Q, I^i)で得る効用水準は、この点を通る無差別曲線が示す効用水準で与えられる。

さて、図４－３を見れば明らかなように、森林のストック量が大きくなればなるほど、森林所有者以外の人々の効用水準は高まる。したがって、森林のストック量が$Q^{\#}$からQ^*に減少することは、これらの人々の効用水準を減少させることになる。言い換えると森林所有者の行動によって、それ以外の人々は不利益を蒙る。

この森林の利用権は森林所有者にあり、その他の人々は、その利用の決定について干渉することはできない。しかしながら、もし何らかの交渉が可能であれば、森林所有者の効用水準をQ^*のときよりも増大させ、他方それ以外の人々の効用水準もQ^*のときよりも増大させることが可能となるような、Q^*以外の森林のストック量が存在するかもしれない。さらにもし、このような森林のストック量が存在するならば、その中で森林所有者を含めた人々の効用を最大にするものがあるだろう。それは社会的に最適な森林利用を示すものといえる。このような予想について、以下では限界支払い意志額と限界補償受容額の概念を用いて明らかにする。

まずこれらの概念を定義し、本章で用いている記号を使ってこれらを表現しよう。限界支払い意志額とは、ある効用水準をあらかじめ設定しておいて、森林が

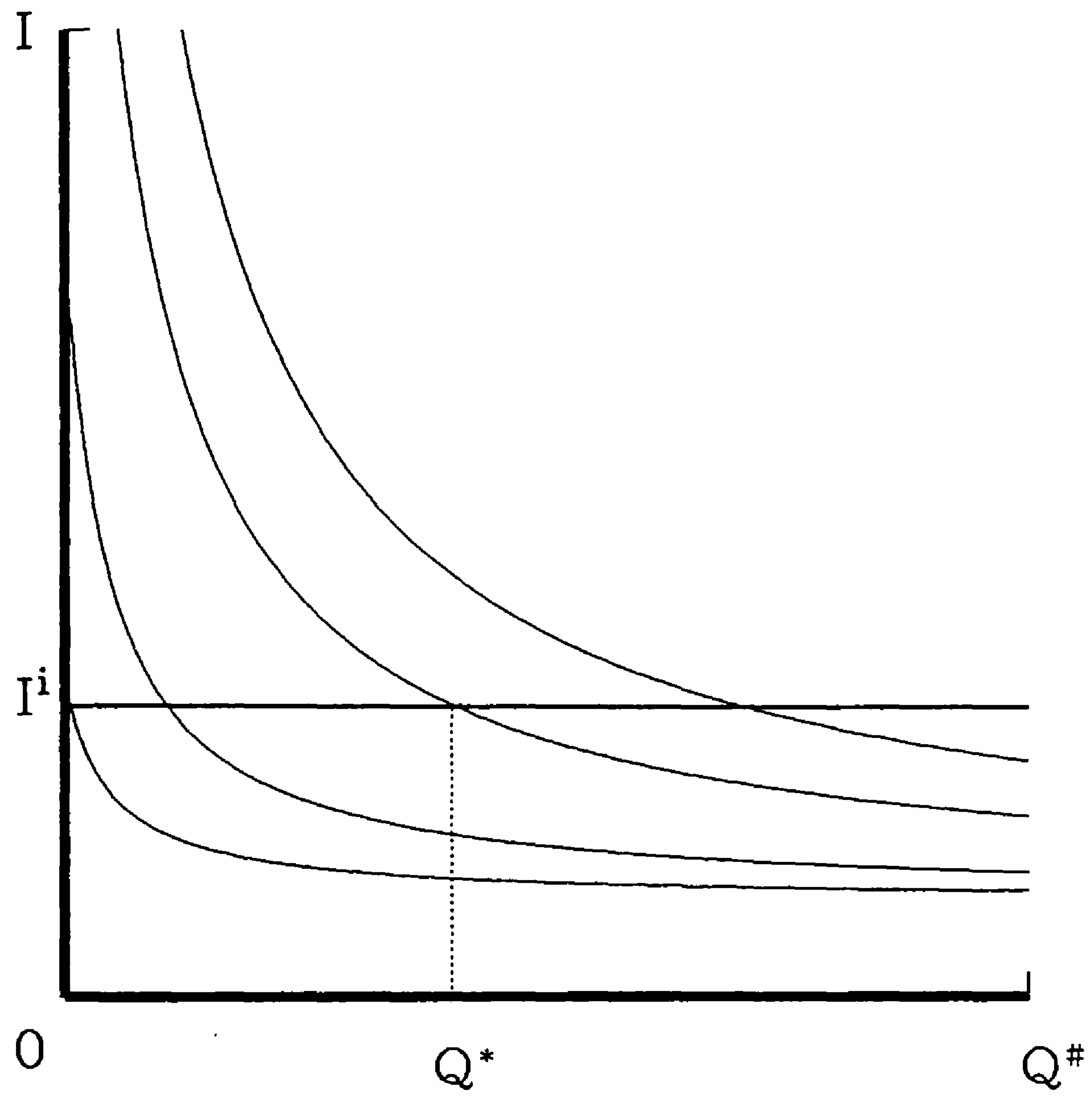


図 4－3　森林所有者以外の人々の効用の無差別曲線

限界的に１単位増加したときに、この効用水準にとどまるために、経済主体が支払ってもよいと考える最大の金額を指す（この定義は正確には補償限界支払い意志額のものである。同様に以下で述べる補償受容額もまた、正確には補償された補償受容額と呼ぶべきものである。Johansson(1987)第４章を参照のこと）。ここで任意の第ｉ番目の経済主体の効用水準を、(Q^*, I^i)で到達可能な最大の効用水準に設定し、限界支払い意志額を$MWTP^i$（margenal willingness to pay）で表す。このとき、上の定義により$MWTP^i$は次の恒等式を満たしている。

$$(du^{i*}/dQ) - MWTP^i(du^{i*}/dI) = 0 \quad \text{for } i = 1, 2, \cdots, n$$

ここでu^{i*}は上で設定した効用水準であり、正確には制約条件付き最大化問題

$$\max\ u^i(x, Q^*) \ \text{subject to}\ I^i - px \geqq 0 \quad \text{for } i = 1, 2, \cdots, n$$

を解くことで得られる効用水準を表している。この効用水準は間接効用関数を用いれば$u^{i*} = v^i(Q^*, I^i)$であり、上の恒等式は次の等式に書き直される。

$$MWTP^i = v^{i*}{}_Q / v^{i*}{}_I \quad \text{for } i = 1, 2, \cdots, n$$

さらに間接効用関数を効用水準を保ちながら全微分すると（間接効用関数が全微分可能であることは補論で証明される）

$$dv^{i*} = 0 = v^{i*}{}_Q dQ + v^{i*}{}_I dI^i$$

だから、これを上の等式に代入すれば

$$MWTP^i = -dI^i/dQ > 0 \qquad (2)$$

を得る。（２）のdI^i/dQは、効用水準u^{i*}を満たす無差別曲線上での微分であることに注意しよう。したがって、森林ストック量Ｑ（＞Q^*）における限界支払い意志額は、図４－３の(Q^*, I^i)を通る効用の無差別曲線上の、Ｑにおける接線の傾きに－１を乗じたもので表される。また（２）の右辺の不等式が成立すること、すなわち限界支払い意志額が正であることは、間接効用関数が森林のストック量と所得の単調増加関数であることから導かれる。

図４－３の効用の無差別曲線の形状に注意すると、限界支払い意志額は、森林のストック量が増えれば増えるほど減少することがわかる。すなわち、

$$dMWTP^i/dQ < 0 \quad \text{for } i = 1, 2, \cdots, n \qquad (3)$$

である。また、森林のストック量がQ^*からQ'に変化するとき第ｉ番目の経済主体が支払ってもよいと考える総金額（支払い意志額；WTP^i）は

$$WTP^i = \int_{Q^*}^{Q'} MWTP^i dQ$$

となる。この支払い意志額WTP^iは、経済学では補償変分と呼ばれるものに相当する（補償変分については、例えば奥野・鈴村(1985)第１３章およびJohansson(1987)第３章を参照のこと）。

限界支払い意志額及び支払い意志額は、森林所有者以外のｎ人の人々について導出することができるから、森林のストック量が増大するときこれらの人々が森林所有者に対して支払ってもよいと考える総限界支払い意志額（MWTP）及び総支払い意志額（WTP）を次のように表すことができる。

$$MWTP = \Sigma_{i=1}^{n} MWTP^i \qquad (4)$$

$$WTP = \Sigma_{i=1}^{n} MWTP^i = \int_{Q^*}^{Q'} [\Sigma_{i=1}^{n} MWTP^i]\, dQ \qquad (5)$$

図４－４の右下がりの曲線は、（４）で示された総限界支払い意志額を表したものである。この曲線を支払い意志額曲線と呼ぶことにする。ある森林ストック量Q'に対する総支払い意志額は、（５）の最後の辺に示された積分の式によって区間$[Q^*, Q']$におけるこの曲線の下側の領域の面積で表されることがわかる。

以上の限界支払い意志額に関する考察は、森林所有者についても当てはまる。ただし、森林所有者の所得は$I = R + P(Q^{\#} - Q)$と表されるので、森林のストック量が限界的に１単位増加すると、森林所有者の所得はＰだけ失われることになる。ここで限界補償受容額（MWTA；margenal willingness to accept）の概念を導入しよう。限界補償受容額とは、あらかじめ効用水準を設定しておいて、森林のストック量が限界的に１単位増えるとき、この効用水準を保つために森林所有者が補償してほしいと考える最小の金額を指す。この基準となる効用水準は森林所有者以外の人々の場合と同様、森林のストック量Q^*と所得$I^* = R + P(Q^{\#} - Q^*)$で到達可能な最大の効用水準$U^* = V(Q^*, I^*)$に設定する。

さてこれまでの考察から、森林所有者の限界補償受容額は直観的に

$$MWTA = P + dI/dQ$$

と表されることが予想される。この予想が正しいことを以下で導こう。

限界補償受容額の定義により次の恒等式が成立する。

$$(dU^*/dQ) + MWTA(dU^*/dI) = 0 \qquad (6)$$

ここでU^*は森林のストック量Q^*で得られる最大の効用水準を表している。間接効用関数を用いればU^*は、

$$U^* = V^*(Q^*, I) = V[Q^*, R + P(Q^{\#} - Q^*)] \qquad (7)$$

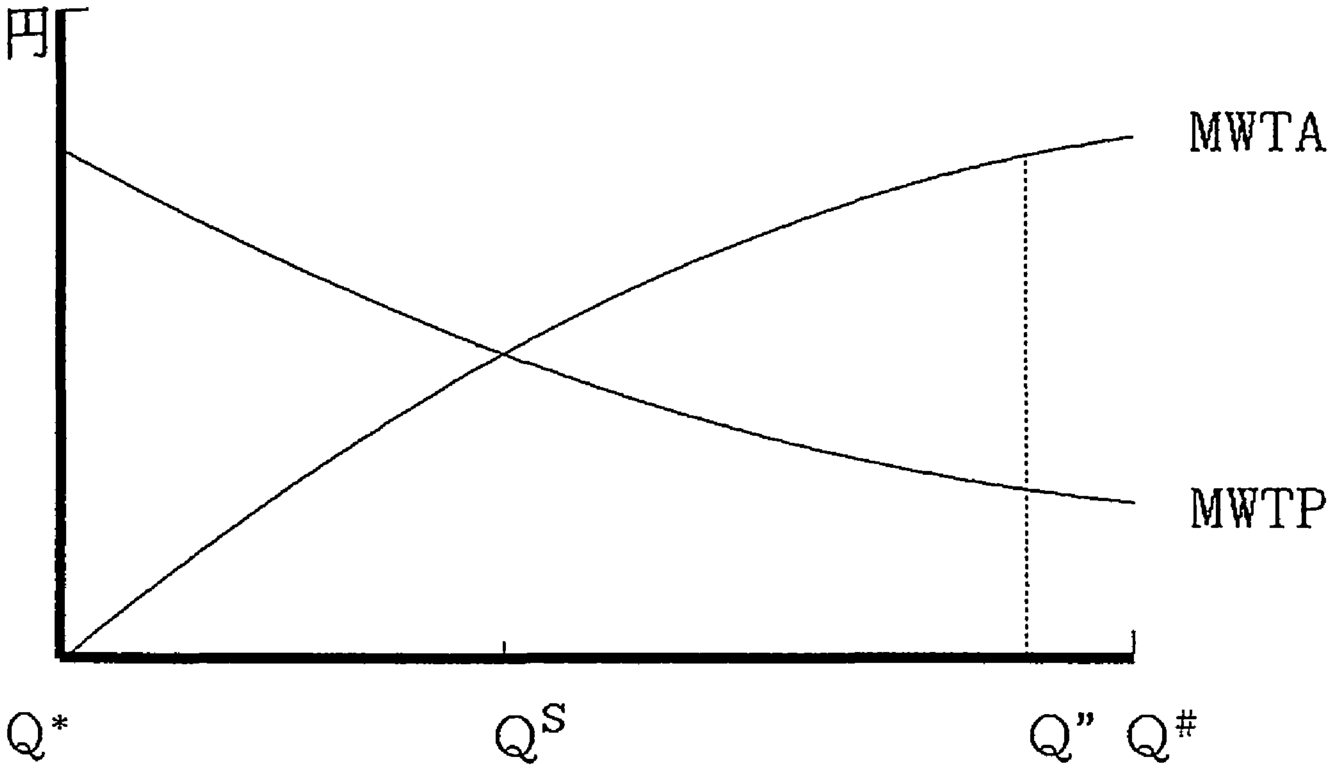


図 4－4　支払い意志額曲線と補償受容額曲線

と表される。（7）の最後の等式から

$dU^*/dQ = V^*_Q - P \cdot V^*_I,$

$dU^*/dI = V^*_I$

を得る。また（7）の2番目の等式を全微分すると

$dU^* = 0 = V^*_Q dQ + V^*_I dI$

である。以上の3つの等式を（6）に代入し、MWTAについて解けば

$MWTA = (P \cdot V^*_I - V^*_Q)/V^*_I = P - V^*_Q/V^*_I = P + dI/dQ$

を得る。

第2節での考察により、$Q = Q^*$ではMWTA＝$P + dI/dQ = 0$である。また、dI/dQは効用の無差別曲線の接線であり、無差別曲線はQの厳密な凸関数なので

$dMWTA/dQ = d^2I/dQ^2 > 0$

が成立し、したがって限界補償受容額は、Qの単調増加関数であることがわかる。また、森林のストック量がQ^*からQ'に増加するとき森林所有者が補償してほしいと考える総金額（補償受容額；WTA）は

$$WTA = \int_{Q^*}^{Q'} MWTA\, dQ \qquad (8)$$

で表される。この補償受容額もまた、支払い意志額と同じく補償変分と呼ばれるものに相当する。

図4－4の右上がりの曲線は森林所有者の限界補償受容額を描いたものである。これを補償受容額曲線と呼ぶことにする。（8）によって、ある森林ストック量Q'に対する補償受容額は、区間$[Q^*, Q']$におけるこの曲線の下側の領域の面積で表されることがわかる。

以上で森林の社会的最適利用を導出するための準備が整った。まず、森林所有者の最適森林利用、すなわち$Q = Q^*$の森林ストック量について考察する。$Q = Q^*$では森林のストック量が限界的に1単位増えるとき、人々が森林所有者に支払ってもよいと考える額と、森林所有者が補償してほしいと考える額との間には

$MWTP > 0 = MWTA$

の関係がある。したがって森林のストック量を限界的に1単位増加させることで、社会全体で

$MWTP - MWTA\ (> 0)$

の限界余剰（貨幣を単位とする）が生じる。この限界余剰を森林所有者及びその他の人々でわけ合えば、それは所得の増加を意味するから、森林のストック量の増加は、社会の全ての人々の効用水準を、$Q=Q^{*}$のときよりも上昇させる。つまり森林所有者が、自らの効用を最大にすることを目的に採用する森林のストック量Q^{*}は、社会全体からみれば人々の効用水準を改善する余地がある。すなわち、森林所有者にとって最適な森林利用は、社会全体からみれば最適な森林利用ではない。

以上の考察をさらに進めると次のことがわかる。すなわち、総支払い意志額と補償受容額（「限界」がつかないことに注意されたい）との間に、もしWTP＞WTAの関係があるならば、社会全体でWTP－WTA（＞０）だけの余剰が生じ、その森林のストック量は、社会全体の人々の効用水準を$Q=Q^{*}$のときよりも上昇させることができる。すでに見たように、総支払い意志額と補償受容額は、それぞれ支払い意志額曲線と補償受容曲線の下の部分の面積で表される。したがって、この面積の差が正となる開区間（図４－４では区間(Q^{*}, Q^{**})で表されている。）に含まれる森林のストック量は、すべて効用水準を改善するものである。

このように、$Q=Q^{*}$のときの人々の効用水準を改善する森林のストック量は、一意的ではない。したがって次に、人々の効用水準を改善する森林のストック量の区間（$Q^{*}<Q<Q^{**}$）の中で、人々の効用水準を最も大きく増加させるようなストック量を見いだすという問題が生まれる。この問題は、総支払い意志額と補償受容額の差、すなわち余剰を最大にするストック量を求めることに他ならない。なぜならより大きな余剰は、人々に分配される所得をより大きくするから、その分だけ効用水準を高めることになるためである。明らかにこの問題の解は、社会的に最適な森林利用を表すものである。

さて、問題は次のように定式化される。

$$\max\ (WTP-WTA)=\max\int_{Q^{*}}^{Q}(MWTP-MWTA)\,dQ \quad \text{subject to}\quad Q^{*}\leq Q\leq Q^{\#}$$

最適解が内点解の場合には上の式をＱで微分することで、森林の社会的最適ストック量が満たすべき条件

$$d\left[\int_{Q^{*}}^{Q}(MWTP-MWTA)\,dQ\right]/dQ=MWTP-MWTA=0 \qquad (9)$$

を得る。図４－４では、この条件を満たす森林のストック量がQ^{S}で示されている。実際のところ$Q<Q^{S}$ではMWTP＞MWTAなので、森林のストック量の限界的な増加に

対して正の限界余剰が常に生じている。一方、$Q>Q^{S}$では、限界的な増加に対しては負の限界余剰が生じる。したがって、森林のストック量をQ^{S}より増加させることも減少させることも、社会全体の余剰を減少させることになる。

ここで、場合によっては（9）の最後の等式が成立しないことがあることに注意しておこう。それは２つの曲線が$Q \leqq Q^{\#}$では交わらないケースである。この場合には、社会的に最適な森林利用は、端点解$Q^{S}=Q^{\#}$となる。このことを理解するためには、図４－４の支払い意志額曲線を上方に十分にシフトしたものを考えればよい。ただし以下では考察を簡単にするために、社会的に最適な森林のストック量Q^{S}が内点解、すなわち$Q^{S}<Q^{\#}$の場合を想定する。この想定もまた考察の結果を本質的に制約するものではない。

以上のように、森林所有者の最適な森林利用と社会にとっての最適な森林利用とは異なることが示された。本節の最後に、このような乖離は、森林が森林所有者以外の人々にも公益的なサービスを供給していること、すなわち公共財であることに起因していることを強調しておく。考察されている森林がもし公共財でなければ、すなわちｎ人の人々の効用水準に影響を与えるものでなければ、全てのiに対して$dI^{i}/dQ=0$であり、支払い意志額曲線は図４－４のＱ軸と一致する。したがって森林所有者の最適な森林利用と社会的に最適な森林利用は一致することになる。

４．公的機関の役割

これまでの考察により、森林所有者にとっての最適な森林利用（Q^{*}）と、社会全体にとっての最適な森林利用（Q^{S}）は、異なることが明らかとなった。もし、森林所有者が森林を伐採する前に、社会のｎ人の人々に彼の伐採計画を提示し、その支払い意志額を尋ねるならば、そして人々が自らの支払い意志額を正確に答えるならば、森林所有者は人々からその支払い意志額を徴収することによって、社会的に最適な森林利用を行うことができる。しかし、現実には森林所有者はそのようなことを行わない。なぜなら、ｎ人の人々に支払い意志額を尋ねることは、それだけでかなりな費用を要することであり、また人々が正確に支払い意志額を

答え、そしてそれを森林所有者に支払うという保証はないからである。一方、森林所有者以外の人々が事前に所有者の森林利用計画を知り、その支払い意志額を森林所有者に支払い、それによって計画を変更させるということは現実にしばしば見られる。例えばナショナル・トラスト運動などがその好例である。しかしながら、ナショナル・トラスト運動などの対象となる森林は、概してきわめて特殊な森林である。一方、公益的サービスを供給する森林はより普遍的、面的に存在していると考えられる。したがって人々の自発的な行動だけでは、多くの森林は社会的に最適な利用が行われない可能性が高い。

以上のような、森林所有者にとっての最適な森林利用と社会的に最適な森林利用とのギャップを埋めるために、公的機関がなんらかの役割を果たすことはできないであろうか。本節ではこの点を考察する。ここで公的機関に求められる役割を要約的に述べれば、社会の人々の効用水準を$Q=Q^*$のときよりも減少させることなく、森林のストック量を$Q=Q^S$にすることである。

第1に直接的な方法として、伐採量qを$q \leqq Q^{\#}-Q^S$に規制するということが考えられる。この方法では森林所有者は自らの効用を最大にするために規制ぎりぎりの$Q^{\#}-Q^S$に伐採量を決定することになるが、これは明らかに森林所有者の効用水準を規制前の状態よりも減少させることになる。したがって、この場合には以前の効用水準にとどまるための所得補償として

$$\int_{Q^*}^{QS} MWTA\,dQ > 0$$

が少なくとも必要となる。つまり利用規制を行うためには、同時に森林所有者に対する所得補償が組み合わされている必要がある。この所得補償額をCであらわせば、Cは次の不等式を満たさねばならない。

$$\int_{Q^*}^{QS} MWTA\,dQ \leqq C \leqq \int_{Q^*}^{QS} MWTP\,dQ$$

Cの最小値は、すでにみたように森林所有者の効用水準を少なくとも$Q=Q^*$の水準に保つものである。一方、その最大値は、森林所有者以外の人々の効用水準を、少なくとも$Q=Q^*$の水準に保つものである。公的機関はこの不等式を満たす所得補償額を森林所有者以外の人々から徴収し、森林所有者に支払うことになる。

ところである所得補償額を定めると、それは森林所有者の予算制約式（1）を上方に平行移動することになる。したがって対応する効用の無差別曲線も所得補償のない場合と異なることになる。このため効用の無差別曲線の形状によっては、

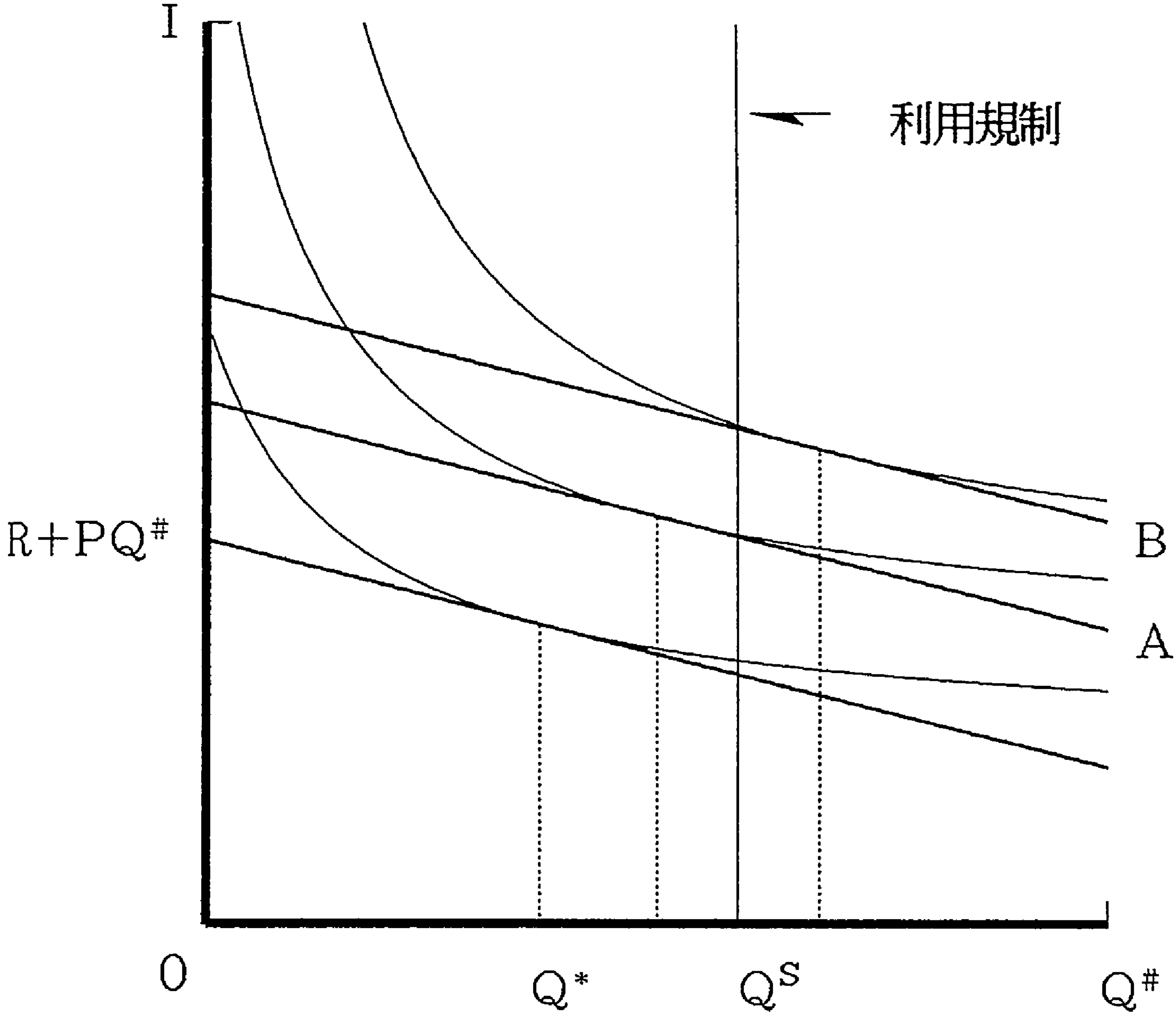


図 4−5　利用規制政策と所得補償

所得補償が与えられたときの森林所有者の最適森林利用$Q^*(C)$が、社会的最適森林利用Q^Sよりも大きくなる可能性がある。すなわち、森林所有者が必要以上に森林を残してしまうケースである。

図４－５では２つの所得補償政策を示した。このうちＡはこの政策によって社会的に最適な森林利用が実現する場合を示し、Ｂはそうではない場合を示している。所得補償がない場合の森林所有者の社会的最適利用Q^*と、ある場合の$Q^*(C)$との差$Q^*(C)-Q^*$は、所得効果と呼ばれるものである（所得効果については例えば奥野・鈴村(1985)第１１章を参照されたい）。図で示されているように森林所有者の所得効果があまりに大きい場合には、上述のような利用規制と所得補償の組み合わせでは、社会的に最適な森林利用が実現されなくなる。このようなケースではより強い利用規制、すなわち$Q=Q^S$が所得補償と組み合わされる必要がある。

以上の第１の方法は規制によるものであった。しかし、自由経済社会では、このような規制は基本的に望ましいものではないかもしれない。したがって第２の方法として、公的機関は、森林所有者が森林を伐採せずに置いておくことに対していくらかの補助金を与え、それによって森林所有者の森林利用を社会的に最適なものへと誘導するということが考えられる。

ここではこの補助金は森林のストック量に比例して与えられるとし、ストック量１単位に対するその価額をP^Sで表そう。P^Sに関しては次の２つの制約がある。第１にその水準は、それによって森林所有者が自発的に森林の社会的最適ストック量Q^Sを選択するものでなければならない。第２に、補助金の総額P^SQ^Sは、$Q=Q^S$における森林所有者以外の人々の総支払い意志額WTPを超えてはならない。なぜなら補助金総額がそれより大きくなれば、ｎ人の人々の効用水準を以前の状態より低下させることになるからである。またP^SQ^Sは、$Q=Q^S$における森林所有者の補償受容額WTAを下回ってはならない。なぜなら補助金総額がそれより小さくなれば、森林所有者の効用水準を以前の状態より低下させることになるからである。

以上の２つの制約を、Ｑ－Ｉ平面上で表現することを考えよう。まず第１の制約を満たすようなP^Sの条件を求める。

補助金P^Sが森林のストックに対して与えられるとき、森林所有者の新しい予算

制約式は次のように書き直される。

$$I = R + P(Q^{\#} - Q) + QP^{S} = R + PQ^{\#} - (P - P^{S})Q \qquad (10)$$

これを森林所有者の間接効用関数$V(Q, I)$に代入すれば

$$V(Q, I) = V[Q, R + PQ^{\#} - (P - P^{S})Q]$$

である。ここで予算制約線は、補助金の価額に関わらず、I切片$(0, R + PQ^{\#})$を通ることに注意しておこう。さて、最適解が内点解の場合、森林所有者の最適森林ストック量は上式をQで微分して0とおくことで、

$$P - P^{S} = V_{Q} / V_{I}$$

と表される。したがって、補助金P^{S}によって到達可能な最大の効用水準をV^{PS}とすると、最適な補助金価額の満たすべき条件は、$Q = Q^{S}$で

$$P - P^{S} = V^{PS}{}_{Q} / V^{PS}{}_{I} \qquad (11)$$

が成立することである。ここでV^{PS}を効用水準をとどめたまま全微分すれば、

$$dV^{PS} = 0 = V^{PS}{}_{Q}dQ + V^{PS}{}_{I}dI$$

であり、これより

$$-(P - P^{S}) = dI / dQ \quad (Q = Q^{S}) \qquad (12)$$

を得る。以上、（１０）と（１２）の２つの等式は、新しい予算制約線がI切片$(0, R + PQ^{\#})$を通り、$Q = Q^{S}$で効用の無差別曲線と接することを要求している。

次に第２の制約について考察する。この制約は$WTA / Q^{S} \leqq P^{S} \leqq WTP / Q^{S}$と変形される。$Q = Q^{S}$とし、この不等式を予算制約式（１０）に代入すると、

$$R + PQ^{\#} - PQ^{S} \leqq I(Q^{S}) \leqq R + PQ^{\#} - PQ^{S} + WTP \qquad (13)$$

である。予算制約線が常にI切片$(0, R + PQ^{\#})$を通ることを考慮すれば、第２の制約を満たす補助金政策は、（１３）の不等式を満たす点$(Q^{S}, I(Q^{S}))$とI切片を通る線分で示されることになる。

図４－６は以上の２つの制約を満たす補助金政策（以下、有効な補助金政策と呼ぶ）が実線で描かれている（C点を通る予算制約線）。ここでは第２の制約は、２つの破線で示されている。また２つの破線に対応して、森林所有者が得ることのできる最大の効用水準と最小の効用水準が、それぞれV_{max}、V_{min}で示されている。さて、この図では有効な補助金政策が存在するように（都合よく）描かれている。しかし実際には、このような補助金政策は存在しないかもしれない。なぜなら（１３）の不等式を満たす効用の無差別曲線群の中で、$Q = Q^{S}$における接

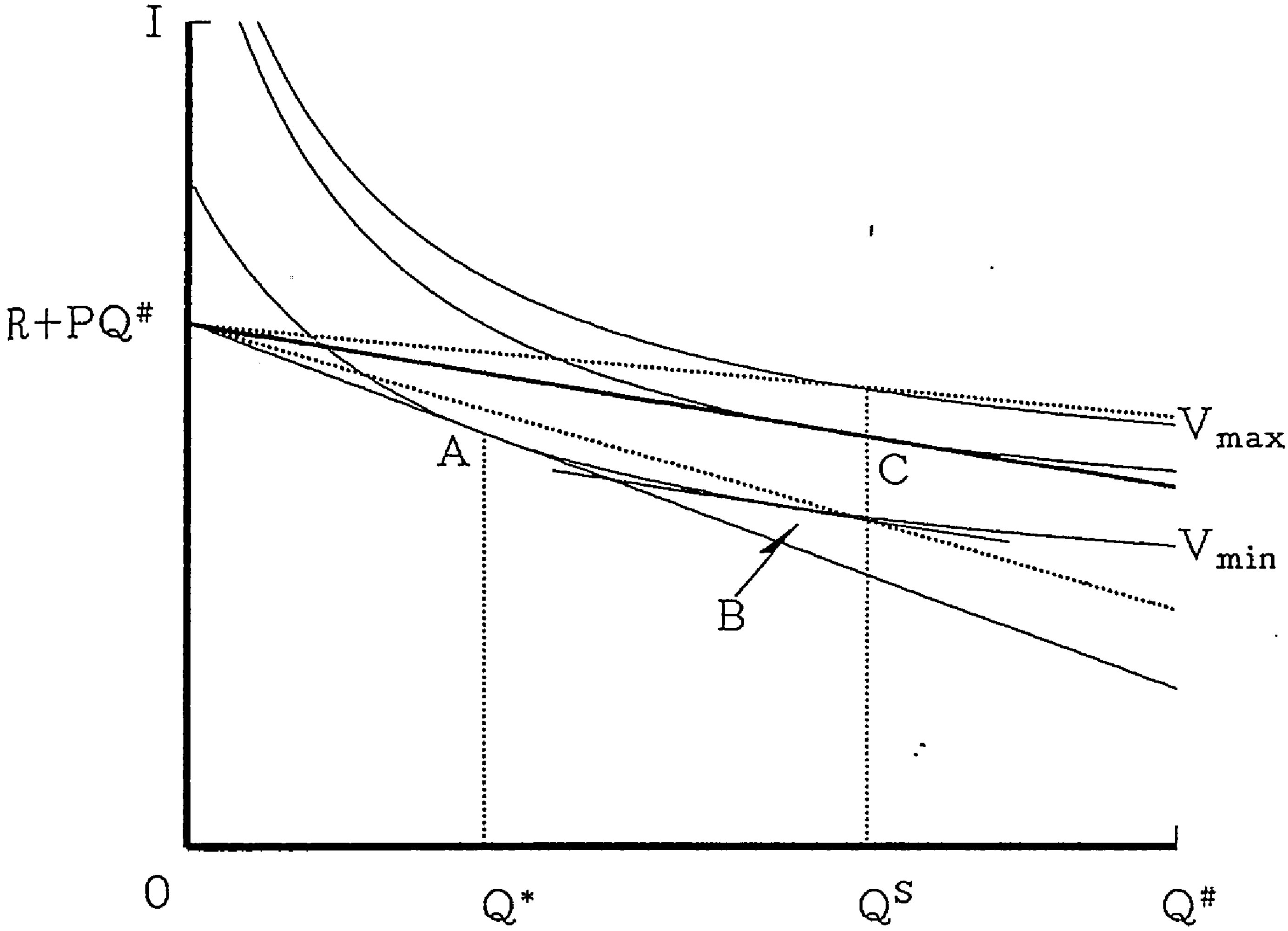


図 4−6　補助金政策

線がI切片(０，Ｒ＋Ｐ$Q^{\bar{F}}$)を通るものが存在するかどうか、あるいは逆に（１３）を満たす予算制約線が、ある効用の無差別曲線とＱ＝Q^Sで接するかどうかは、無差別曲線の形状、したがって森林所有者の効用関数に依存しているためである。このため有効な補助金政策の存在を、先験的に保証することはできない。つまり補助金政策では、社会的に最適な森林利用が達成できない可能性がある。

有効な補助金政策の存在が必ずしも保証されていないことを、別の観点から検討しよう。補助金の価額は森林のストック量の価格と見なすことができるので、補助金価額の上昇による森林所有者の最適森林ストック量の変化は、スルツキー分解と呼ばれる２つのステップで表現することができる（スルツキー分解、および後述の代替効果、ギッフェン財については例えば奥野・鈴村(1985)第１１章を参照のこと）。ここでは図４－６を用いて、補助金価額が０の状態からP^Sの状態に変化するときのＱの水準の変化を、この２つのステップで表現しよう。第１のステップはＡ点（補助金政策が行われないときの森林所有者の最適点）から、効用水準が等しく、無差別曲線の接線の傾きが－(Ｐ－P^S)となるＢ点への移動である（代替効果）。第２のステップはＢ点から補助金政策によって到達されるＣ点への移動である（これは既に利用規制のところでみた所得効果である）。

代替効果は、無差別曲線の形状からも明らかなように、必ずＢ点での森林のストック量（Q^B）を、Ａ点の森林ストック量（Q^*）よりも大きくする。ただし、代替効果による森林のストック量の増加の大きさ（$Q^B－Q^*$）は、森林所有者の効用関数に依存している。他方、所得効果については、Ｃ点の森林ストック量（Q^S）がＢ点の森林ストック量よりも必ずしも大きくなるとはいえない。所得効果とは、他の条件が一定で所得のみが増加したときに、森林所有者が森林のストック量を増加させるか（所得効果が正）、あるいはさらに伐採して、所得の増加分よりも一層多くの金額を他の諸財の購入のために用いるか（所得効果が負）、あるいは所得の増加は伐採量に影響を与えないか（所得効果が０）を示すものである。常識的には金銭的な余裕ができれば、森林の伐採を減らすように森林所有者は行動すると考えられるが、所得効果の符号は先験的に決められることではなく、やはり森林所有者の効用関数に依存している。またその大きさも同様である。

このように有効な補助金政策の存在は、代替効果の大きさと所得効果の符号および大きさに依存していると言い換えることができる。極端なケースとして補助

金価額の限界的な増加に対して、常に所得効果が負でその大きさが代替効果を上回る場合（この場合にはＱはギッフェン財と呼ばれる）には、補助金政策は森林のストック量を減少させることになる。当然ながらこのケースでは有効な補助金政策は存在しない。

以上のように、補助金政策はそれだけでは、森林の社会的最適利用を実現できない可能性がある。この問題を回避するために、ここでは木材に対する課税政策（または補助金政策）を、森林のストックに対する補助金政策に組み合わせることを考えよう。この税（補助金）は木材の生産１単位に対して課税される（与えられる）ものとし、これをT^Pで表す。T^Pが負の場合は税を表し、正の場合は補助金を表すものとする。さてT^Pが政策に組み合わされると、森林所有者の予算制約式は

$$
\begin{aligned}
I &= R + (P + T^P)(Q^{\#} - Q) + P^S Q \\
&= [R + (P + T^P) Q^{\#}] - (P + T^P - P^S) Q \\
&= \alpha - \beta Q \qquad (14)
\end{aligned}
$$

と再定式される。（１４）の最後の行のαとβは、T^P及びP^Sの値を変えることによって好きなように変えられることに注意しよう。このため、森林の社会的最適利用を実現するためには、$V_{min} \leqq V \leqq V_{max}$を満たす任意の無差別曲線に対して、そのＱ＝$Q^S$での接線と一致するように$\alpha$と$\beta$を選択すればよいことになる。

図４－７はこのことを例示している。ここでは森林所有者に全ての余剰が与えられる政策Ｄ、森林所有者とそれ以外の人々で余剰が分配される政策Ｅ、森林所有者に余剰がいっさい与えられない政策Ｆが描かれている。またこの図で、Ｄの政策は木材に対する補助金政策であり、それ以外の２つは課税政策である。以上のように、補助金政策は木材に対する課税（補助金）政策を組み合わせることで、常に、そして森林所有者の任意の効用水準に対して社会的に最適な森林利用を実現できるようになる。ただし、補助金政策か課税政策かは、選択される森林所有者の効用水準やV_{max}の水準に依存している。

本節の最後に余剰の分配問題に言及しておこう。何らかの利用規制政策あるいは補助金政策を、公的機関が採用する場合、それは森林所有者とそれ以外の人々との間で余剰を、分配することをともなう。図４－７では３つの余剰の分配のパターンが示されていたが、可能な分配のパターンは無数にある。したがってこの

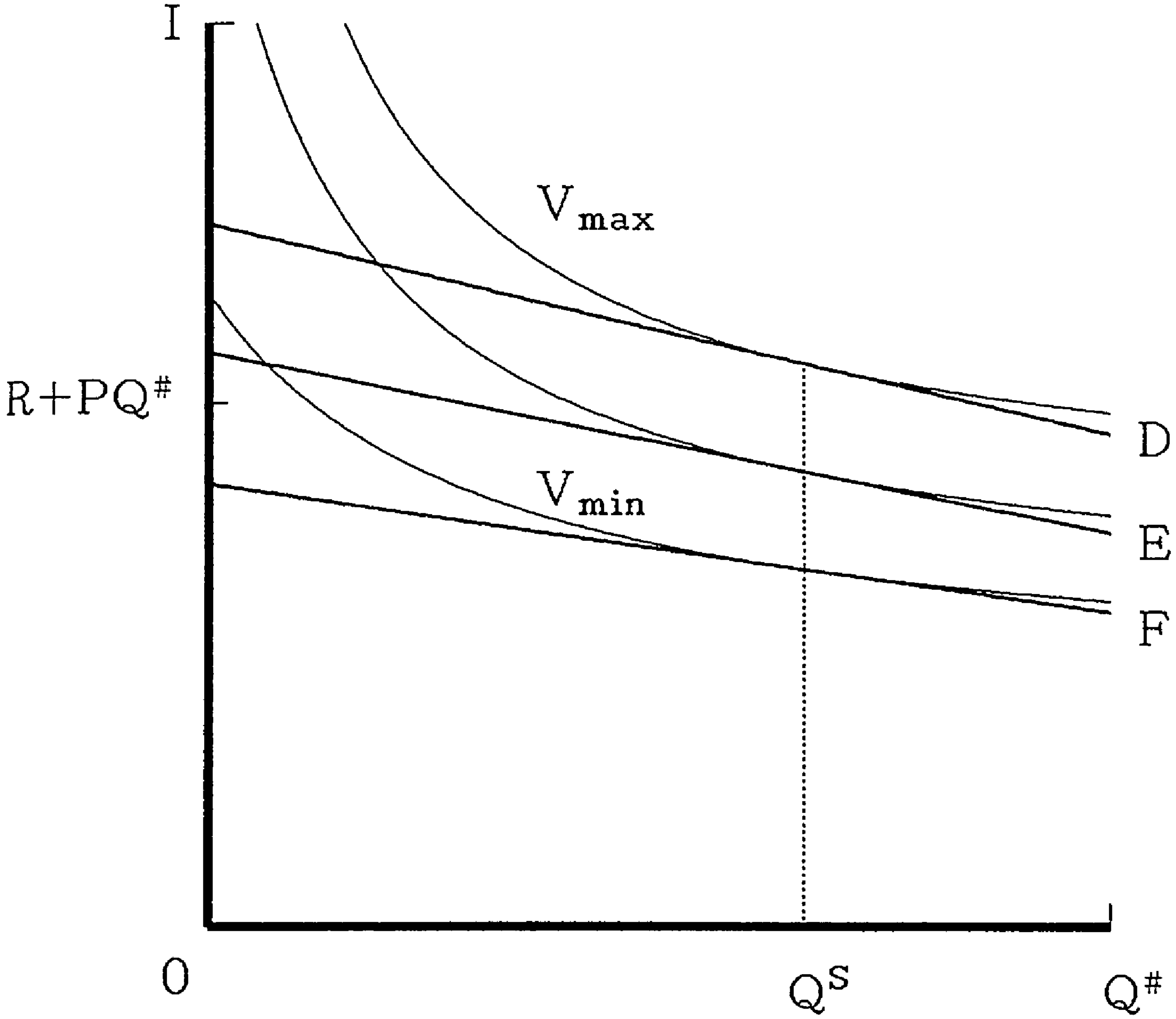


図 4−7　補助金政策と木材に対する課税（補助）政策

ような余剰を、両者の間でいかに分配することが適切かという問題が生じる。また森林所有者に対して所得補償や補助を行うために、公的機関は人々から税金を徴収しなければならない。したがって、森林所有者以外の個々の人々の間でも、余剰の分配が問題となる。しかしながら、こうした余剰の分配がいかに行われるべきかという問題は、現代の経済学上未だ解答の得られていない難問であり、残念ながらここでもこれを論ずることはできない（この問題に関する議論は奥野・鈴村(1988)第３４章および第３５章を参照されたい）。

５．要約および議論

以上の考察によって明らかとなったことを要約し、さらなる議論に移ろう。

ある森林が森林所有者以外の人々に対してなんらかの公益的なサービスを供給している場合、その森林に関して森林所有者の望む利用と社会的に望ましい利用とは乖離し、森林所有者はつねに社会的に最適な水準以上に森林を伐採することになる。もし、森林所有者以外の人々が、森林所有者が伐採を行わないことに対していくらかの金額を支払うのであれば、森林所有者とそれ以外の人々の双方にとって、より望ましい森林利用を実現することができる。そしてそのような森林利用の中には、関連する全ての人々の効用水準を、最大にする可能性を持つような利用、すなわち社会的に最適な森林利用が存在する。しかしながら、現実にはこのような交渉は多くの場合行われない。したがって両者の間の利害関係を調整するものとして、公的機関がなんらかの役割を果たすことが期待される。

公的機関のとり得る政策として、ここでは２つの政策を考察した。一つは森林の利用規制である。しかしながら単に規制するだけでは、森林所有者の効用水準は、規制が行われない状態よりも低下する。したがって利用規制政策には森林所有者に対する所得補償政策が組み合わされる必要がある。もう一つの政策は森林のストック量に比例して、一定の補助金を森林所有者に与える補助金政策である。ただし補助金政策だけでは社会的に最適な森林利用が実現できない場合がある。補助金政策を有効なものとするには、木材生産に対する課税あるいは補助金が政策に組み込まれねばならない。

さてここでは、上述の利用規制と補助金政策の二つの政策について再考する。第4節で明らかにしたように、これらはいくつかの留意点はあるものの、理論的には有効な政策手段となりうる。しかしながら、理論の世界で有効であることが現実の世界でも有効であるとは必ずしも限らない。ここでは現実的な観点からこれらの政策を議論することにする。

まずはじめに、利用規制を行う場合に必要とされる所得補償政策が、実は特別の形式を持った補助金政策であることを明らかにしよう。所得補償額をCで表せば、森林所有者の予算制約式は

$$
\begin{aligned}
I &= R + C + P(Q^{*} - Q) \\
&= [R + (P + C/Q^{*})Q^{*}] - PQ
\end{aligned}
$$

で表される。ここで森林のストック量に対する補助金を$P^{S} = C/Q^{*}$とし、木材に対する補助金を$T^{P} = C/Q^{*}$とする補助金政策を考え、（14）に代入すれば、その予算制約式は上の所得補償による予算制約式と一致する。したがって所得補償政策は$P^{S} = T^{P}$、つまり森林のストック量と木材の生産に対して同じ価額の補助金を与えるという特殊な補助金政策であることがわかる。さらに、利用規制政策と組み合わせられる補助金政策は、この特別な形式に限定されるわけではない。その政策による、森林所有者の新しい最適森林利用Q^{**}が、$Q^{**} \leqq Q^{S}$となるような補助金政策であれば、そして補助金政策の第2の制約を満たしてさえいれば、利用規制政策と組み合わせることで、社会的に最適な森林政策が実現される。

以上の考察から、問題は補助金政策とともに利用規制政策を用いることと、補助金政策（木材に対する課税あるいは補助金政策を含む）のみを用いることのいずれが、現実には有効であるかということになる。

自由経済の下では、利用規制は必ずしも望ましいことではないかもしれない。しかし、補助金政策は非常に微妙な条件の下で、森林の社会的最適利用を実現するということに注意すべきである。すなわち有効な補助金政策は、予算制約線が$Q = Q^{S}$で、ある効用の無差別曲線上と接していなければならない。一方、利用規制政策を組み合わせると、予算制約線は$Q \leqq Q^{S}$を満たす何らかのQで接していればよい。実際問題として、森林所有者という個人の効用関数やその無差別曲線を正確に計測することは困難であり、第6章で示されるように、われわれは社会全体の集計レベルでしか支払い意志額や補償受容額を知ることはできない。このこ

とを考えると、補助金政策だけで社会的に最適な森林利用を実現することは、かなり厳しいと言わざるを得ないだろう。

さらに、補助金政策のみを選択することが、有効ではない場合が存在する。本章の仮定を変更して、森林所有者が森林のストック量からいっさい効用を得ない場合を考えよう。現実に、このような森林所有者が存在する可能性は十分に有り得る。さて、この場合にはその効用の無差別曲線は、Q軸に平行な半直線で示されることになる。そして任意の右下がりの予算制約線に対して、森林所有者の最適森林利用は $Q^{*}=0$ で与えられる。一方、右上がりの予算制約線（これは森林のストック量に対する補助金価額が木材価格より大きくなる場合である）に対しては $Q^{*}=Q^{\#}$ となる。そして予算制約線が水平ならば、森林所有者がどのストック量を選択することも無差別となる。したがって社会的最適森林利用が端点解の場合を除いては、補助金政策は有効ではない。反対にこのケースでは右下がりの予算制約線をとるいかなる補助金政策と組み合わせても利用規制政策は有効な手段となることにも注意されたい。

以上のように、補助金政策のみで森林の社会的最適利用を実現するには、実践上の困難が予想される。したがって、現実の森林政策において、利用規制政策（保安林制度、林地開発許可制度等）が採用されていることはもっともなことである。ただし利用規制には、所得補償あるいは補助金制度が組み合わされる必要があることは、強調されるべきであろう。この点で補償のない林地開発許可制度は、他用途転換が認められない場合には、森林所有者に損失を与えていることになる。保安林に関しては税制面で優遇措置があるが、この優遇措置が森林所有者に最低限の補償を与えるものかは、個々の事例に即して検討しなければならない課題である。

最後に、補助金政策と同様に、利用規制政策にも繊細な調節が必要とされることを指摘しておかねばならない。それは利用規制の水準をどのように設定するかという問題である。利用規制政策を採用する場合には、社会的最適森林利用 Q^{S} をあらかじめ得ておく必要がある。そのためには公的機関は、支払い意志額曲線と補償受容額曲線を知っている必要がある。しかし、いかにしてこれらの曲線を知ることができるであろうか。この問題に関する考察は第6章で行われる。

［補論］

1．凸集合の定義および厳密な単調増加準凹関数の定義と性質

ここでの定義と証明は、主として西村和雄(1982)および西村清彦(1990)を参考とした。

（定義：凸集合）

n次元ユークリッド空間の集合Yに属する任意の2点x，yと$0 \leqq \alpha \leqq 1$なる任意のαについて、$\alpha x+(1-\alpha)y \in Y$が成り立つときYを凸集合という。

（定義：厳密な単調増加準凹関数）

n次元非負ユークリッド空間の凸部分集合Y上で定義された実数値関数$f(y)$が、厳密な単調増加準凹関数であるとは、任意のy、$y' \in Y$と実数α（$0<\alpha<1$）に対して

$y' \geqq y$ならば$f(y')>f(y)$　・・・単調増加性

$f(y') \geqq f(y)$ならば$f(\alpha y'+(1-\alpha)y)>f(y)$　・・・厳密な準凹性

であることをいう。

以上の定義は、fが定義域Yで微分可能なとき次のように表される。

$\partial f / \partial y > 0$　・・・単調増加性

$f(y') \geqq f(y)$ならば$\nabla f(y)(y'-y)>0$　・・・厳密な準凹性

ここで$\nabla f(y)$は、yにおける関数fの偏微係数よりなるn次行ベクトルであり、$\nabla f=\partial f / \partial y$である。$\nabla f$は勾配ベクトルと呼ばれる。その意味は、yにおいて最も勾配の大きな方向に、∇fは向いているためである。yの微小な変化dy（n次列ベクトル）を考え、dyと∇fとの角度をθとして、fを全微分すると

$df=\nabla f \cdot dy=|\nabla f|\,|dy|\cos\theta$

と表される。したがって、$df/|dy|$が最大となるのは$\cos\theta=1$のとき、すなわち∇fとdyの向きが一致するときである。以上から∇fが最も勾配の大き

な方向に向いていることがわかる。なお f を一定（$f = f^{\#}$）とし、そのような f を与える任意の y を $y = y^{\#}$ で表して、全微分すると

$$df^{\#} = 0 = \nabla f(y^{\#}) \cdot dy^{\#}$$

となる。$dy^{\#}$ は $f^{\#}$ の接平面と同じ方向を向いている。したがって勾配ベクトルは、その点の接平面と直角であることがわかる。

n 次元非負ユークリッド空間の凸部分集合 Y 上に定義された厳密な準凹関数 f には、次のような性質がある。

（厳密な準凹関数の性質：1）

凸集合 Y^{0}（$\subseteq Y$）において $f(y)$ に局所的な極大値が存在すれば、それは一意的な最大値である。

証明：$f(y^{*})$ が極大値であるとし、しかし y^{*} は最大値をもたらさないとする。このとき $y' \in Y^{0}$ が存在して $f(y') > f(y^{*})$ である。さらに任意の $0 < \alpha < 1$ を満たす α に対して、$f(\alpha y^{*} + (1-\alpha) y') > f(y^{*})$ が成立する。Y^{0} は凸集合なので、$\alpha y^{*} + (1-\alpha) y' \in Y^{0}$。ここで $\alpha \to 1$ とすると $f(y^{*})$ が極大値であることに矛盾する。したがってもし $f(y^{*})$ が極大値ならば、それは同時に最大値である。

次に y^{*} は最大値をもたらすが一意的ではないと仮定する。このとき $f(y^{*}) = f(y'')$ を満たす $y'' \in Y^{0}$ が存在する。しかし、厳密な準凹関数であるという仮定からは $f(\alpha y^{*} + (1-\alpha) y'') > f(y^{*})$ であり、また $\alpha y^{*} + (1-\alpha) y'' \in Y^{0}$ である。したがって $\alpha \to 1$ とすると $f(y^{*})$ が極大値であることに矛盾する。

（厳密な準凹関数の性質：2）

f は微分可能とする。また、その定義域 Y^{0}（$\subseteq Y$）を点 $(y^{0}, f(y^{0}))$ での接平面とする。すなわち、$Y^{0} = \{y \in Y \mid \nabla f(y^{0})(y - y^{0}) \leqq 0\}$ である。このとき、問題

$$\max \ f(y) \text{ subject to } y \in Y^{0}$$

は一意的な最適解y^0を持つ。逆に、任意の$y^0 \in Y$に対し上の問題が常に一意な最適解を持つならば、fは厳密な準凹関数である。

証明：$f(y) \geqq f(y^0)$となる$y \in Y$が存在すると仮定すると、厳密な準凹関数の定義から、$f(y) \geqq f(y^0)$ならば$\nabla f(y^0)(y-y^0)>0$となり、$y \in Y$に矛盾する。したがってy^0は一意的な最適解である。

逆に任意のy^0で一意な最大値をとるとき、$f(y) \geqq f(y^0)$を満たす任意のy（$\neq y^0$）について$\nabla f(y^0)(y-y^0)>0$が常に成立する。したがってfは厳密な準凹関数である。

2．間接効用関数$V(Q, I)$あるいは$v^1(Q, I^1)$の存在とその性質

ここでは森林所有者の直接効用関数$U(x, Q)$、あるいはそれ以外の人々の直接効用関数$u^1(x, Q)$をもとに、効用水準を森林のストック量と所得の関数で表した間接効用関数を導出する。以下の導出で必要とされる仮定は、直接効用関数が必要なだけ連続微分可能で、厳密な単調増加準凹関数であることである。これらの仮定は、森林所有者およびそれ以外の人々で共通なので、以下の導出は森林所有者に関するもので代表させることにする。なお、ここでの所得水準Iは、森林のストック量Qとは独立のものであり、本文中の予算制約式$I=R+P(Q^{\#}-Q)$とは定義が異なることに注意されたい。

さて、ある森林のストック量Qと、ある所得水準Iのもとで得られる効用を最大化する問題は、次のように表される。

$$\max \ U(x, Q) \ \text{subject to} \ I-px \geqq 0$$

これは最大値を求める問題なので、任意の$(Q, I) \geqq 0$に対して最大値が存在すれば、間接効用関数

$$V(Q, I)=\max \ U(x, Q \mid I-px \geqq 0)$$

が存在することになる。ここで制約条件に、xの非負性（$x \geqq \mathbf{0}$）とQが一定であることを加えると、実現可能な(x, Q)の集合は空集合でない有界閉集合となる。一方、Uは微分可能と仮定されており、したがって連続である。以上からここで

はWeierstrassの定理が適用できるから、任意の(Q, I)に対してこの問題の最大値が常に存在することがわかる。これで間接効用関数Vの存在が証明された。

なお、ここで用いたWeierstrassの定理とは、次のようなものである（その証明は例えば荷見・堀内(1989)第7章3節を参照されたい）。

（Weierstrassの定理：西村清彦(1990)による）

$f(x): R^n \to R$が連続で、R^nの部分集合Xが空集合でない有界閉集合であるとき、$f(x)$はある点$x \in X$で最大値をとる。

次に間接効用関数Vの性質を検討する。

まずVは、QとIに関して単調増加関数であることを示す。QがQ'（Q'＞Q）に増加したとする。このとき、増加前の効用水準を$V(Q, I)$で表し、変更後の諸財の消費量を変更しないで得られる効用水準を$U(x, Q')$、この増加に対応して諸財の消費量が調整されたときの効用水準を$V(Q', I)$で表す。$U(x, Q')$はUの単調増加性によって、あきらかに変更前の水準よりも高い効用水準にあり、また消費量が調整されていないので、変更後に間接効用関数で表される効用水準以下である。不等式で表せば、

$$V(Q', I) \geqq U(x, Q') > V(Q, I)$$

である。したがって、VはQの単調増加関数である。

所得についても同様に、IがI'（I＞I'）に増加した場合を考える。増加前の最大の効用水準を、$U(x, Q) = V(Q, I)$、増加分をある消費量の増加Δx（$\geqq 0$）にあてた場合の効用水準を$U(x + \Delta x, Q)$、そして所得の増加に対して最適な消費量（x^*）の下で得られる効用水準を$U(x^*, Q) = V(Q, I')$とする。Uの単調増加性と$U(x^*, Q)$が最大値であることにより、不等式

$$U(x^*, Q) \geqq U(x + \Delta x, Q) > U(x, Q)$$

が成立する。すなわち

$$V(Q, I') > V(Q, I)$$

であり、VはIの単調増加関数である。

次にVがQとIで全微分可能であることを示す。間接効用関数の定義により、

$$V(Q, I) = \max\ U(x, Q \mid I - px \geqq 0)$$

である。この等式を満たす諸財の消費量をx^*で表す。Uは単調増加関数なので、消費量x^*は、所得をすべて使った場合の消費量の集合から選ばれることになる。したがってx^*は次の等号制約条件つき最大化問題の解である。

$$\max\ U(x, Q) \text{ subject to } I - px = 0$$

任意のQとIに対して対応するx^*が、常に正であると仮定する（このことは諸財がいずれも、Willigのいうessentialな財であると想定していると言い換えることができる。）と、ラグランジュの未定乗数法によりλをラグランジュ乗数として、最適解x^*では次の連立方程式（1階の条件）が成立している。

$$U_x - \lambda p = \mathbf{0}$$

$$I - px^* = 0$$

この連立方程式をx、λ、Q、Iで全微分すると次の等式が得られる。

$$\begin{bmatrix} U_{xx} & -{}^t p \\ -p & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx^* \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -U_{xQ} & 0 \\ \mathbf{0} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dQ \\ dI \end{bmatrix} \qquad (14)$$

左辺左側のm＋1次正方行列の成分につけられたtは転値を表す。また、Uがxに関して厳密な準凹関数であるとき、この行列は正則であること（逆行列が存在すること）が知られている（この行列の行列式の値は、Uの縁付きヘッセ行列式に$\lambda^{-2} \neq 0$を乗じたものに等しくなる。Uが厳密な準凹関数であるとき、その縁付きヘッセ行列式が0とはならないことが、Arrow and Enthoven(1961)によって証明されている）。また、Uがxに関して厳密に準凹であることは、次の理由による。すなわち、UのxとQに関する準凹性によって、異なる任意の点(x, Q)、(x', Q)、そして$0 \leqq \alpha \leqq 1$なる任意のαについて、もし$U(x', Q) \geqq U(x, Q)$ならば不等式

$$U(\alpha x + (1-\alpha)x', \alpha Q + (1-\alpha)Q)$$
$$= U(\alpha x + (1-\alpha)x', Q) \geqq U(x, Q)$$

が成立するからである。

これより、（14）は

$$\begin{bmatrix} dx^* \\ d\lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{xx} & -{}^t p \\ -p & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -U_{xQ} & 0 \\ \mathbf{0} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dQ \\ dI \end{bmatrix}$$

と変形することができる。したがってx^*はQとIで全微分可能であり、

$$dx^* = x^*_Q dQ + x^*_I dI$$

と表すことができる。一方、Uは必要なだけ連続微分可能と仮定されているので、

$$dU = U_x dx + U_Q dQ$$

である。dxにdx^*を代入して、$dU = dV$とおけば

$$\begin{aligned} dV &= U_x x^*_Q dQ + U_x x^*_I dI + U_Q dQ \\ &= (U_x x^*_Q + U_Q) dQ + U_x x^*_I dI \end{aligned}$$

を得る。したがってVはQとIで全微分可能である。またVの偏微分係数は

$$V_Q = U_x x^*_Q + U_Q,\quad V_I = U_x x^*_I$$

である。

間接効用関数の性質の最後のものとして、Vは厳密な準凹関数であることを示す。Vは1回連続微分可能なので、任意の非負の(Q^0, I^0)に対して最大化問題

$$\max\ V\ \text{subject to}\ (V_Q, V_I)\cdot(Q^0 - Q, I^0 - I) \leqq 0$$

の解が、一意で(Q^0, I^0)となれば、厳密な準凹関数であるといえる（厳密な準凹関数の性質：2を参照のこと）。このことを以下で証明しよう。

まず、制約条件に注目して、これを直接効用関数Uと(x, Q)で表すことを考える。(Q^0, I^0)に対応する最適消費量$x^*(Q^0, I^0)$をx^0で表す。ここでdx^*は(dQ, dI)について解くことができるから、(Q^0, I^0)に対してx^0は局所的には一意的に定まることに注意しよう。また、$V(Q^0, I^0) = U(x^0, Q^0)$に注意しておく。

さて、制約条件の不等式は次のように変形される。

$$(U_x x^0_Q + U_Q, U_x x^0_I)\cdot(Q^0 - Q, p(x^0 - x)) \leqq 0$$

x^0は予算制約式$I^0 - px^0 = 0$を満たしているので、これをQ、Iでそれぞれ偏微分すると$px^0_Q = 0$および$px^0_I = 1$を得る。またx^0は最適解であり、1階の条件$U_x = \lambda p$を満たしている。これらの等式を上の不等式に代入すると、

$$\begin{aligned} 左辺 &= (\lambda p x^0_Q + U_Q, \lambda p x^0_I p)\cdot(Q^0 - Q, x^0 - x) \\ &= (U_Q, \lambda p)\cdot(Q^0 - Q, x^0 - x) \\ &= (U_Q, U_x)\cdot(Q^0 - Q, x^0 - x) \end{aligned}$$

したがって、間接効用関数に関する制約条件付き最大化問題

$$\max\ V\ \text{subject to}\ (V_Q, V_I)\cdot(Q^0 - Q, I^0 - I) \leqq 0$$

と、直接効用関数に関する制約条件付き最大化問題

$$\max U \text{ subject to } (U_Q, U_x)\cdot(Q^0-Q, x^0-x)\leqq 0$$

は同値であり、max V＝max U。そしてUが厳密な準凹関数であることから、直接効用関数の問題の最適解は一意で(Q^0, x^0)であり、したがって、間接効用関数の問題の最適解は$(Q^0, px^0)=(Q^0, I^0)$であり、やはり一意となる。

以上は、間接効用関数Vに関する上の問題が、任意の非負の(Q^0, I^0)に対して常に一意な最適解(Q^0, I^0)を持つことを意味する。すなわち、厳密な準凹関数の性質：2によりVは厳密な準凹関数である。

第５章　最適森林計画と分収造林契約

１．はじめに

前章において森林は、伐採されると消失するものと見なされていた。この想定は、林地が他用途転換される場合や原生林伐採の場合には妥当なものであろう。なぜなら前者では文字どおり森林は消失するし、後者の場合には再生する森林はもはや原生林ではないからである。しかしながら、多くの森林では伐採と造育林が繰り返されており、また多くの場合、適切な人為と十分な時間をかけることによって、森林を伐採する以前の状態に復するができる。本章で考察されるのは、このような再生可能資源としての森林である。すなわち、ここでは森林としての永続的な利用を前提に、これをどのように利用するかという最適森林計画の問題を考察する。

最適森林計画の問題は、植栽樹種の選択にはじまって林相の選択、施業の選択、そして伐期齢の選択に至るきわめて広範な内容を持っている。このうち本章では、考察を単一一斉林の伐期齢選択問題に限定する。なぜなら、単一一斉林の伐期齢選択問題は、最適森林計画の基本問題とみなされるからである。

第１章でみたように最適伐期齢の決定モデルに対しては、さまざまな拡張を行うことができる。すなわち最適制御モデルに拡張すれば施業問題を、また異齢林モデルに拡張すれば林相の選択問題を考察することが可能である。樹種の選択に関しては、モデルを直接利用することができる。さらに樹種の組み合わせを問題とするならば、それは林相の選択問題と形式的に同じ問題となる。このように最適森林計画の問題を考えるにあたって、まず伐期齢に関心を集中することは妥当なことであろう。

本章の課題は、森林所有者と社会のそれぞれについて、その最適な森林利用（最適森林計画）を示し、両者の関係を明らかにすること、そして両者が乖離する場合にはそのギャップを埋めるための方策を検討することである。

この課題は前章と共通のものだが、本章では森林の最適ストック量ではなく、最適伐期齢を求める点が異なっている。このためここでは時間を明示的に取り入

れた分析が必要である。別の言い方をすれば、最適森林計画問題では本質的に動学問題を扱うことが要求される。ただし、動学問題から最適解を得るには一般に複雑な手続きを要する（最適制御理論を用いた第１章の最適間伐方策を思い出されたい）。これに対して、本章では考察の筋道を明快に示すために、可能な限りその複雑さを回避することにする。

しかしそのために、前章と比較すると、本章ではいくつかの点で理論の厳密さや設定の一般性が犠牲となっている。ここで、前章との重要な相違点をあらかじめ示しておこう。

まず第１に、本章では最適性の評価指標が変更される。前章では、森林利用の最適性を補償概念に基づく貨幣測度によって評価した。すなわちある効用水準を規準として、その効用水準を維持するために取り去ったり、あるいは補償したりする貨幣額をもって最適性を考察した。これに対して本章では、より直接的に効用水準そのものを、最適性の規準とする。それにともなって用いる効用関数も序数的効用関数（準凹関数）から基数的効用関数（凹関数）へと限定されることになる。ここで限定されるというのは、関数のクラスとして凹関数は準凹関数に含まれるためであり、それは形式的にはモデルの適用範囲がそれだけ狭められることを意味するからである。

第２に、前章では森林所有者およびそれ以外の人々の効用を、それぞれ区別して考察した。一方、本章では個々の人々の効用について考えるかわりに、社会全体の（基数的）効用関数（以下、社会的効用関数と呼ぶ）を用いることにする。したがって社会全体の最適性は社会的効用関数の値によって示される。

社会的効用関数は、その基礎をBergson流の社会厚生関数（その概念は例えば奥野・鈴村(1988)第３６章を参照のこと）に置くものであり、社会厚生関数が存在すること、そして人々の所得分配が常に社会厚生関数を最大化するように行われること、という二つの条件の下で利用可能である（伊藤・大山(1985)序章を参照のこと）。したがって、本章でもこの二つの条件が成立しているものとする。さらに、対象とする森林の取り扱いを除いて、社会的効用関数が最大化されている社会を、以下では効率的な社会と呼ぶことにする。

社会的効用関数は国際貿易等の分野で一般に利用されており、本章でもこれを用いることによって、得られる結果に重大な影響が生じることはないと考えられ

る。ただし社会的効用関数あるいはBergson流の社会厚生関数を用いることは、突き詰めるとさまざまな問題がある。例えば第２の条件が成立することは、社会的厚生の評価において高所得家計は低所得家計よりも重く評価されることを意味する（Johansson(1987)第４章およびその補論を参照）。このことは社会的効用関数による最適性が、イデオロギー的に偏りを持ったものであることを示している。また、そもそも第２の条件を満たすようなメカニズムが存在するための条件と、その現実妥当性が検討される必要があるが、それについては不問にされている。さらにArrowの一般可能性定理によって、もっともらしい設定の下で社会厚生関数の存在が否定されている。そして社会厚生関数が存在するためには、個人間の厚生の比較可能性といった何らかの追加的な条件が必要であることが明らかとなっている（奥野・鈴村(1988)第３６章を参照のこと）。ただし、個人間の厚生の比較可能性の問題を回避するために、Bergson流の社会厚生関数が考え出されたという経緯があることも指摘しておかねばならない。

以上の問題は厚生経済学の歴史そのものであり、わずかな紙数でその全貌を述べることは不可能である。したがってここでは社会的効用関数を利用する場合、以上の点が留意されねばならないことを強調するにとどめる。なお、前章で用いたような補償概念に基づく貨幣測度を利用する場合には、社会厚生関数を使わずに済むことにも気付かれたい。ただし、これを最適森林計画で用いることはモデルを相当に複雑なものとすると考えられる（動学問題に補償貨幣測度を用いる試みはJohansson(1987)第９章で行われている）。

最後に第３の変更点について述べよう。本章では、森林所有者は森林の外部性（公益的機能）を考慮しないものと想定する。実際には前章のように、森林所有者の効用水準も森林の状態や量によって影響を受けると考えるのが自然である。しかし、ここでは次の二つの理由により、所有者にとって森林は、単に立木販売収入を得るためだけのものと想定する。すなわち、一つはモデルの表現を簡略化するためであり、もう一つは森林所有者の意思決定を扱った第１部の諸章との関連を明快にするためである。ただし、この想定は議論や得られる結果に本質的な影響を及ぼすものではない。表現と第１部の諸結果を再解釈する労を厭わなければ、本章のモデルを森林所有者が森林の外部性を考慮するモデルへと拡張することは容易である。

さて、本章の構成は以下の通りである。続く第2節では、森林所有者の最適森林計画と社会的最適森林計画を導き、そのギャップの存在を論じる。社会的最適森林計画については、森林が外部性を持たない場合と持つ場合がそれぞれ定式化され、その最適伐期齢が導出される。また、ギャップを埋めるための方策として税制、補助金制度、そして融資制度に言及する。ただし、これらは第1部の結果（特に第1章の補論2と第2章）が直接応用可能であり、ごく簡単に触れられるに過ぎない。かわりに第3節では、森林所有者の最適森林計画と社会的最適森林計画とのギャップを埋めるための方策として、分収造林契約を取り上げる。ここでは森林が外部性を持たない場合と、外部性を有する場合の二つのケースについて、分収造林契約の理論的な特質を明らかにする。最後に第4節は、分収造林契約に関する、より現実的な検討に充てられる。はじめに第2節および第3節の結果を拡張する。ここでは森林所有者と社会の最適森林計画が乖離するいくつかのケースを示し、その場合の分収造林契約の特質を論じる。次に、分収育林契約もまた、分収造林契約と全く同じ経済学的特性を持っていることを示す。最後に公的機関が、森林資源の有効利用のために分収造林契約や分収林契約を活用する際の留意点を述べる。

2．最適森林計画

（1） 森林所有者の最適森林計画

はじめに森林所有者の最適森林計画を導出しよう。すでに述べたように、本章では森林所有者は森林の公益的機能を考慮せず、森林は単に立木販売収入を得るためだけのものと見なしていると想定する。

さて、現在ある面積の森林を所有している森林所有者を考える（育林生産は極めて長い生産期間を有するので、ここでの森林所有者とは一人の個人及びその人の子々孫々を含んでいる。このことは森林所有者が無限の時間視野を持つと想定することにほかならない。この想定に関する議論は今井他(1972)第9章を参照のこと）。森林所有者はこの林地に造育林投資をし、立木を販売して収入を得、その収入をもとにさまざまな財を購入し消費する。ここで現在時点を0で表し、あ

る時点t（≧0）での造育林投資額をc_t、立木販売収入をR_tとする。またt時点での家計の財の消費量をa_t、その価格をp_tとする。するとt時点での収支は

$$R_t - c_t - p_t a_t$$

で表される。森林所有者の森林経営と消費活動が無限に続くものとし、t時点での利子率をr_tで表せば、次の不等式が成立する。

$$\int_0^{\infty}(R_t - c_t - p_t a_t)\exp\left(-\int_0^t r_\tau d\tau\right)dt \geqq 0$$

上式は永遠に借金し続けることはできないことを示している。この式を変形して、

$$\int_0^{\infty}(R_t - c_t)\exp\left(-\int_0^t r_\tau d\tau\right)dt \geqq \int_0^{\infty} p_t a_t \exp\left(-\int_0^t r_\tau d\tau\right)dt \qquad (1)$$

とすると（1）の左辺は消費に充てることのできる最大の金額の現在価値を示していることがわかる。森林所有者はより多くの量の消費ができることを好ましく思うと考えることができるから、森林所有者が合理的に行動するならば、その森林計画は（1）の左辺で示される利潤の流列の現在価値の総和（以下単に利潤と呼ぶ）を最大にするものとなる。

ここで利潤を具体的に定式化しよう。考察を単純化するために定常状態にある完全競争市場を想定する。すなわち利子率一定（$r_t = r$）、諸財の価格は一定で、森林所有者の行動は価格や利子率に影響を与えない。森林については1点投入1点産出モデルを採用し、造育林投資は固定的で植栽時点で全て支払われ（$c_t = c$）、また立木販売収入は伐採時点で全て支払われる。立木の伐期齢（T）に依存する立木販売収入関数を$f = f(T)$で表す。関数fは、$T \geqq T_{min} > 0$を定義域とする上に有界な厳密な単調増加凹関数であり、必要なだけ連続微分可能であると仮定する。ここでT_{min}は立木販売が可能となる最小の伐期齢である。

以上の設定の下で、利潤の最大化は、第1回目、第2回目、・・・の伐期齢を適切に選択することで達成される。ここで利潤をVで表し、第i回目の伐期齢をT_iで表せば、問題は

$$\max_{(T_i \mid i=1,2,\cdots)} V \quad \text{subject to} \quad T_i \geqq T_{min}$$

を解くことになる。考察の対象となっている森林は林齢ゼロ、すなわち無立木地であるとすると、Vは

$$V = \sum_{i=1}^{\infty}\left[(f_i e^{-rT_i} - c)\exp\left(-r\sum_{j=1}^{i-1}T_j\right)\right] \qquad (2)$$

と表される。ここでf_iは$f(T_i)$を表している。また$\sum_{j=1}^{0}T_j = 0$と約束する。

この問題を解くことによって得られるVの最大値をV_Fで表し、第1回目の最適伐期齢をT_Fで表す。すると第2回目以降の植伐によって得られる$t=T_F$時点でのVの最大値は、他の条件が一定なのでやはりV_Fとなる。そして$t=T_F$時点からの植伐における第1回目の最適伐期齢はやはりT_Fである。この最適伐期齢は$t=0$時点から見れば第2回目の最適伐期齢であり、したがって$T_1=T_2=T_F$。この論法を第3回目以降の最適伐期齢にも適用すれば、最適伐期齢は$T_i=T_F$（$i=1, 2, \cdots$）と全て同じとなる。

以上の考察から森林所有者の最適森林計画は、$T \geqq T_{min}$の制約の下で、次に示されるFaustmannの式を最大化するTを見いだすことに帰着される（Faustmann式については第1章を参照のこと）。すなわち

$$\max\ V(T)=(f\,e^{-rT}-c)/(1-e^{-rT}) \tag{3}$$

である。最適解が満たす1階の条件は解を内点解に限れば

$$\dot{f}-r(f+V_F)=0 \tag{4}$$

となる。ここでドットはTによる微分を表している。また、V_Fは最適解$T=T_F$で得られる（最大）利潤である。第1章で明らかにされたように、（4）を満たす伐期齢は一意的であり、したがって（4）は大域的な最適解の必要十分条件である。このように本章の仮定の下では、森林所有者の最適森林計画は（4）を満たす伐期齢（$T=T_F$）で森林の植伐を繰り返すことになる。

以上の結果は無立木地に対するものだが、任意の林齢の森林に対しても成立し、その森林の最適伐期齢は（4）で与えられる。このことはベルマンの最適性の原理を知る人には直観的に明らかであろう（同原理については例えば西村清彦(1990)第3章を参照のこと）。また、Johansson and Löfgren(1985)第4章に簡潔な証明が示されている。ここでは簡単な考察によってこの点を確認しておこう。

まずV_Fが無立木地から得られる最大利潤を示しており、それは完全競争市場において、この林地に対して付けられる価格（競争的林地価格。第1章を参照のこと）でもあることに注意しよう。したがって、最適森林計画を示す（4）は、存在する立木と林地をその時点で売却して、得られた収入を銀行に預けたときの利子分（$r(f+V_F)$）と、森林を伐採せずに置いておいたときの森林の販売収入の成長率（$\dot{f}$）が等しくなるところ（$T=T_F$）で森林を伐採することが最適であると主張している。fは厳密な単調増加凹関数であると仮定されている。したがっ

て、$T < T_F$では$\dot{f} - r(f + V_F) > 0$となる。この不等式は、その時点で販売して現金化し銀行に預けるよりも、森林として置いておく方が有利であることを示している。一方、$T > T_F$では$\dot{f} - r(f + V_F) < 0$となるから、森林は即座に伐採さるべきであり、林地は販売されるか再造林されるべきである。

以上の考察には森林がいつ植栽されたか、またそのときの造育林投資がいくらであったかといった議論は全く含まれていないことに注意されたい。伐採の判断のために必要なことは、各時点での森林からの収入の成長率（$\dot{f}$）、その時点で立木販売したときの収入と競争的林地価格の和（$f + V_F$）、そして利子率（r）である。このことは、森林所有者の最適伐期齢は考察される森林の林齢に関わらず、（４）で与えられることを示唆している。

（２）　外部性を有さない森林の社会的最適計画

次に社会的に最適な森林計画を導こう。ここでは社会的効用関数を想定し、社会は効率的であるとする。また、考察の対象となっている森林は、外部性を有さないものとする。

t時点の社会全体における木材の消費量をF、その他の財・サービスよりなる合成財の消費量をXとする。F及びXは一定の価格で自由に貿易されるものとし、記述を簡単にするために、その単位は１円当りの量に基準化されているとしよう。また、国際的な資本市場で成立している利子率は、rに等しいとする。次に各時点での社会の効用を現在時点で評価したもの（現在効用）を、厳密な単調増加凹関数$u_t = u_t(F, X)$で表す。また、社会が無限の将来にわたって稼得する総所得の現在価値は、上に有界であるとする。効率的な社会では、現在効用の総和（以下、総効用と呼ぶ）

$$U = \int_{t=0}^{\infty} u_t \, dt$$

が総所得の現在価値の制約の下で最大化されるように消費が行われる。そしてこのとき、異時点間の消費について

$$u_{tF} = u_{\tau F} \exp[r(\tau - t)], \quad u_{tX} = u_{\tau X} \exp[r(\tau - t)]$$

が成立している（ここでu_{tY}は$\partial u_t / \partial Y$を表す。以下同じ）。なぜなら$\tau$時点での消費を１単位あきらめることは、$t$時点での消費を$\exp[r(t - \tau)]$単位だけ増やすことになる。したがってもし等式が成立しなければ、τとtの２つの時点

での消費量を変化させることによって、総効用Uを増大させることができるからである。さらに各時点における木材とその他の財の消費量の間には、

$$u_{tF}=u_{tX}$$

の関係が成立している。なぜならもしこの等式が成立しなければ、t時点以外の効用を変化させることなく、t時点での現在効用u_tを増大させることができるからである。

以上から$u_{OF}=\xi$とすると次の等式（5）を得る。

$$u_{OF}=u_{OX}=u_{tF}e^{rt}=u_{tX}e^{rt}=\xi \qquad (5)$$

この等式を利用して社会的最適森林計画を導出しよう。ここで社会的最適森林計画とは、対象となっている森林を植伐することによって生じる総効用の変分ΔUを最大にするものである。

さて、t時点での立木販売収入1円が生み出す総効用の増分はu_{tF}であり、造育林投資1円が生み出す総効用の減分はu_{tX}であることに注意しよう。無立木地からはじまって無限に植伐を繰り返すとき、総効用の変分は

$$\Delta U=\xi\sum_{i=1}^{\infty}[(f_i e^{-rT_i}-c)\exp(-r\sum_{j=1}^{i-1}T_j)]$$

と表される。

したがってΔUの最大化問題は、ΔU／ξの最大化問題と同値となる。またξは、FあるいはXを1円消費したときの現在効用を表すので、ΔU／ξは総効用を円単位で金銭評価したもの、すなわち便益の現在価値の流列の総和（以下、単に便益と呼ぶ）を表している（ΔU／ξはMarshall流の非補償貨幣測度である。それは貨幣単位で表されているが、前章の補償貨幣測度とは概念が異なることに注意されたい）。さて、この便益の最大化問題は$T_i \geqq T_{min}$の制約の下で

$$\Delta U/\xi=\sum_{i=1}^{\infty}[(f_i e^{-rT_i}-c)\exp(-r\sum_{j=1}^{i-1}T_j)] \qquad (6)$$

を最大化する問題であり、それは先にみた森林所有者の最適森林計画問題と一致する。したがって社会的最適森林計画は、森林を伐期齢T_Fで植伐することである。なお前項での考察から、この結果は任意の林齢の森林に関して成立することもわかる。

このように、もし森林の外部性が存在しなければ、森林所有者の最適森林計画と社会的最適森林計画は一致する。ただし、この結果は森林所有者が用いる経済パラメータと社会が用いるべき経済パラメータが、同一のものであるという仮定

に拠っていることに注意しなければならない。この点については、最後の節で改めて論ずることにする。

（３）　外部性を有する森林の社会的最適計画

本項では森林の外部性が存在する場合を考察する。ここで用いるモデルは造育林投資を考慮していることを除けばHartman(1976)と同じだが、一定の条件の下で社会的最適伐期齢は外部性を考慮しない場合の最適伐期齢よりも長くなることを厳密に証明している。

さて、考察の対象となる森林が社会に供給する無形の公益的サービスを、林齢（τ）の関数として$g(\tau)$で表す。gは非負で厳密な単調増加関数であると仮定する。また前項で用いた社会的効用関数を修正し、社会は森林から発生する無形のサービスからも効用を得るとして、t時点での現在効用を

$$u_t = u_t(F, X, G)$$

で表す。ここでF、Xはそれぞれt時点での木材の消費量とその他の財からなる合成財の消費量を示し、Gはこの社会の森林が供給し人々に消費される無形のサービスの総量を示している。

FとXは一定の価格で自由に貿易されるものとし、またその単位は１円当たりの量に基準化されているとすると、前項で考察したように効率的な社会ではF及びXの限界効用に関する等式

$$u_{0F} = u_{0X} = u_{tF}e^{rt} = u_{tX}e^{rt} = \xi$$

が満たされている。一方、Gに関してはその限界的な１単位が生み出す現在効用の増分はu_{tG}で表される。ここでは分析を単純化するために

$$u_{tG} = u_{0G}e^{-rt}$$

と仮定しよう（この仮定は現行効用関数が時間を通じて同一、また効用の割引率はrに等しく、社会の森林は考察される林地を除いて法正状態にあると想定することに等しい。このような想定は明らかに非現実的だが、これらの想定を現実に近づけるようにすると分析はきわめて複雑となる。例えば法正状態の仮定をはずすとHeaps(1984) の扱ったような問題を解かねばならない。その一方で分析の本質的な結果はこの厳しい想定でも十分に表現できると考えられる）。

社会にとって最適森林計画とは、森林の取り扱いによって生じる総効用の変分

を最大にすることである。関数Γを

$$\Gamma_i = \int_0^{T_i} g\exp(-r\tau)\,d\tau$$

とし、無形の公益的サービスの潜在価格をη（＝u_{OG}／ξ）とする。さらに限界効用に関する上の二つの等式を利用すれば、無立木地からはじまって、森林を無限回植伐することによって生じる総効用の変分ΔＵは

$$\Delta U = \xi \sum_{i=1}^{\infty} \{[f_i\exp(-rT_i) + \eta\Gamma_i - c]\exp(-r\sum_{j=1}^{i-1} T_j)\}$$

で表される。したがって社会的最適森林計画の問題は以下のように定式化される。

$$\max\ \Delta U/\xi \quad \text{subject to } T \geqq T_{min}$$

さらに本節第１項での考察を思い出せば、この問題の最適伐期齢は、植伐が何回目であっても同一となる。したがって、この問題は$T \geqq T_{min}$の制約の下で

$$\Delta U/\xi = (fe^{-rT} + \eta\Gamma - c)/(1 - e^{-rT})$$

を最大化する問題と同値である。

これより社会的最適伐期齢（T_S）が満たすべき条件を求め、その性質を検討しよう。ここで

$$V = (fe^{-rT} - c)/(1 - e^{-rT}),$$

$$W = \Gamma/(1 - e^{-rT})$$

と定義すれば

$$\Delta U/\xi = V + \eta W$$

であり、社会的最適伐期齢の１階の条件は

$$\dot{V} + \eta\dot{W} = 0 \qquad (7)$$

となる。$\dot{W}$は具体的には

$$\dot{W} = [re^{-rT}/(1 - e^{-rT})^2][(1 - e^{-rT})r^{-1}g(T) - \int_0^T \dot{g}e^{-rt}dt]$$

であり、部分積分により

$$W = [re^{-rT}/(1 - e^{-rT})^2]\int_0^T \dot{g}e^{-rt}dt$$

を得る。ｇは厳密な単調増加関数なので$\dot{W} > 0$。したがって、社会的最適伐期齢が存在すれば、それは$\dot{V} < 0$のときである。すなわち森林の外部性が存在すると、社会的最適伐期齢T_Sは、森林所有者の最適伐期齢T_Fよりも長くなる。なお、この結果もまた、任意の林齢の森林に成立するものである。

以上のように森林の外部性が存在すると、森林所有者の最適森林計画は社会的最適森林計画から乖離する。すなわち、森林は社会からみれば短すぎる伐期齢で

伐採されることになる。

ここで前章と同じく、このギャップを埋めるために、公的機関がとり得る政策について考察しよう。公的機関がこのギャップを埋めるには、森林所有者の最適伐期齢を延長させて、社会的最適伐期齢と一致させればよい。第1章の補論や第2章を参照すれば、立木販売収入や造育林投資に税金を課せば森林所有者の伐期齢は上昇することがわかる。また、造育林投資の資金を低利で貸与することによっても、伐期齢が上昇することがわかる。ただし前者の場合には、税金を課すことによって利潤が減少する。したがって、課税の額や率によっては、森林の管理が放棄されてしまう可能性がある。管理放棄による森林の公益的価値の損失は、見過ごすことのできない問題である。

現実の森林政策では、一方で造育林に対する補助金政策を行い、他方では農林漁業金融公庫を通じて低利の林業融資を行っている。これらは森林の管理放棄を防ぐという点では共通しているが、伐期齢に関してはその効果は正反対である。すなわち前者は最適伐期齢を短くし、後者は長くする。したがってこれら二つの政策が組み合わされる場合、森林所有者の森林計画が、社会的最適森林計画に近づくのか、それともギャップがさらに拡大するのかは定かではない。おそらくそれは、より具体的な実証研究によって明らかにされるべきタイプの問題であろう。かわりに本章では、社会的最適森林計画を実現するための、より直接的な政策について考察しよう。それは次節で考察される分収造林契約を活用することである。

3．分収造林契約のミクロ経済分析

（1）　モデル

今日行われている分収造林契約は昭和33年に成立した分収林特別措置法（昭和58年最終改正）に従うものである。同法は第1条で「この法律は、分収方式による造林及び育林を促進し、もって林業の発展と森林の有する諸機能の維持増進とに資することを目的とする。」と述べている。ここではこの目的のうち、森林の有する諸機能の維持増進という側面に注目し、公益的機能をも考慮した森林資源の有効利用、すなわち社会的最適森林計画の実現という観点から、分収造林契約

がどのような特質を持つものであるかを検討する。

分収造林の契約当事者は、造林地所有者と造林者、造林費負担者の三者、もしくはこれら三者のうちのいずれか二者が考えられる。ここでは労働力の提供者には適切な賃金が支払われることを前提として、契約当事者を造林地所有者と造林者兼造林費負担者（以下、造林者と呼ぶ）とする。また、現実の分収造林契約のほとんど全てにおいて、造林者は森林開発公団、都道府県、森林整備法人であり、これらは公的性格を有している。この事実を反映して、ここでは造林者は社会を代表するものと仮定し、契約によって造林者となるものを公的機関と呼ぶことにする。また、契約前の林地の所有者を林地所有者と呼び、自らその林地で森林経営を行う林地所有者を森林所有者と呼んで造林地所有者と区別する。

分収造林契約の主な内容は、地上権の設定期間、施業内容、そして立木販売収入の分収率である。ここでは地上権の設定期間をｎ回の植伐に要する期間とする（ｎはある自然数）。また施業内容は分析を単純化するために伐期齢で代表されるものとする。

（２）　外部性を有さない森林の分収造林契約

まず、森林の外部性が存在しないケースを考察しよう。はじめに単純なケースとして、地上権設定が１回の植伐の期間に設定されるケースを分析する。次にこれを一般化して、ｎ回の植伐期間が設定されるケースを分析する。

今、地上権設定期間と伐期齢がＴ、分収率πの分収造林契約が、林地所有者に提示されたとする。この契約に応じるとき、林地所有者は造林地所有者と呼ばれることになる。造林地所有者が契約によって林地から得る利潤（R_O）は

$$R_O=\pi f e^{-rT}+V_F e^{-rT}$$

である。一方、この契約に応じないときの利潤は、前節でみたようにV_Fである。そして林地所有者が契約に応じるのは、$R_O \geqq V_F$、つまり契約による利潤が、自ら森林経営を行ったときに得られる利潤よりも小さくない場合である。

ここで契約に応じることと応じないことが無差別となるような伐期齢と分収率（π_O）の組み合せ、すなわち$R_O=V_F$を満たす（T, π_O）を求める。この等式を変形すれば

$$\pi_O=[f e^{-rT}/(1-e^{-rT})]^{-1}V_F \tag{8}$$

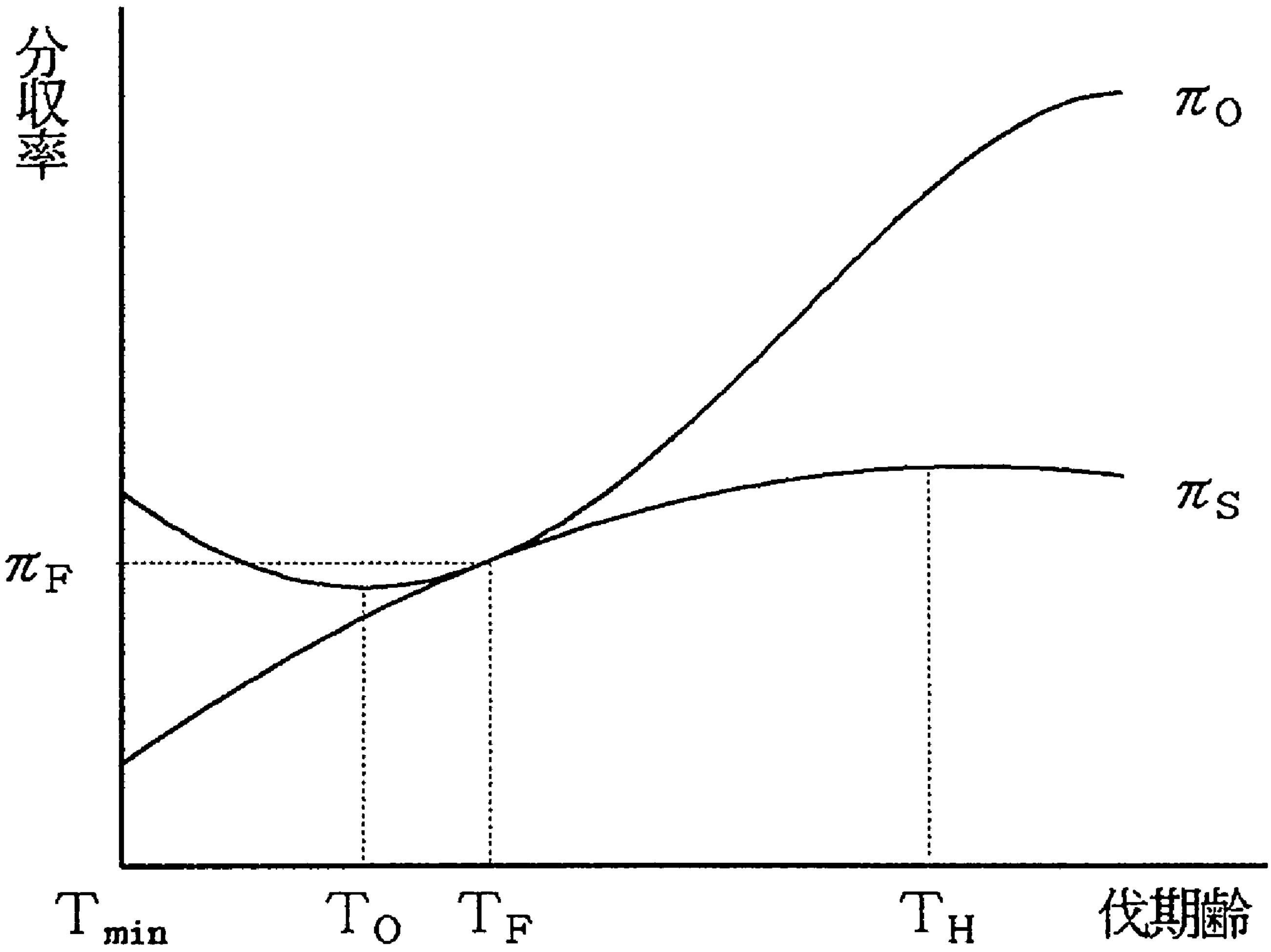


図5−1　契約フロンティア
（森林が外部性を有さない場合）

を得る。（８）によって$T-\pi$平面上に表される無差別曲線を、造林地所有者の契約フロンティアと呼ぶこととする。林地所有者が契約に応じる伐期齢と分収率の組み合せはこのフロンティアよりも上の領域（$\pi \geqq \pi_O$）である。

造林地所有者の契約フロンティアの形状は、関数

$\phi(T)=fe^{-rT}/(1-e^{-rT})$

に依存する。ここでϕは、造育林投資がゼロ（$c=0$）の場合のFaustmann式であることに気付かれたい。したがって

$d\phi/dT=\dot{f}-r(f+\phi)=0$

を満たすTをT_Oとすれば、ϕは$T_{min} \leqq T < T_O$で単調増加し、T_Oで最大となり、$T > T_O$で単調減少する（第１章での考察を参照のこと）。これより造林地所有者の契約フロンティアは、図５－１に示したような$T=T_O$で最小値を持つ曲線となる。また、図５－１では$T_O < T_F$となっているが、これは造育林投資が小さいほどFaustmannの伐期齢は小さくなるためである（第２章を参照のこと）。

次に公的機関について考える。契約が結ばれると公的機関は造林者と呼ばれ、その便益（B_S）は

$B_S=(1-\pi)fe^{-rT}-c$

で表される。ここで便益が０となる分収率π_Sと伐期齢の組み合わせが満たす条件を求めれば、

$$\pi_S=1-c/(fe^{-rT})=(fe^{-rT}-c)/(fe^{-rT}) \qquad (9)$$

となる。（９）によって$T-\pi$平面上に表される曲線を造林者の契約フロンティアと呼ぶことにする。このフロンティアの下の領域（$\pi \leqq \pi_S$）が造林者の契約可能集合である。

造林者の契約フロンティアの形状を考察するために、関数

$\phi(T)=fe^{-rT}$

について検討する。ϕは０より大きく、$\dot{f}-rf=0$を満たすFisherの最適伐期齢（$T=T_H$）で極値をとる。fが凹関数であるという仮定から、Tが大きくなるにつれて$\dot{f}$は次第に小さくなる。その一方でfが単調増加関数であることから、Tが大きくなるにつれてfは次第に大きくなる。したがってϕは$T_{min} \leqq T < T_H$で単調増加、$T_H < T$で単調減少する。以上から、造林者の契約フロンティアは図５－１に示したように描かれる。なお、図５－１では$T_H > T_F$と示されている。

これは、正の利潤（FaustmannあるいはFisherの意味での利潤）が得られる限り、Fisherの伐期齢はFaustmannの伐期齢よりも大きくなるためである（第２章を参照のこと）。

以上の２つの契約可能集合をもとに、林地所有者と造林者が契約を結ぶ伐期齢と分収率の組み合せを求める。$\pi_O=\pi_S$として（８）と（９）の連立方程式を解くと

$$(fe^{-rT}-c)/(1-e^{-rT})=V_F\ (=\max[V(T)\mid T\geq T_{min}])$$

を得る。前節でみたように、この等式を満たすのは唯一$T=T_F$のみである。したがって２つの契約可能集合の共通集合は、図５－１に示されているように、唯一(T_F,π_F)のみである。そして、この点では造林地所有者の利潤は、契約に応じない場合の利潤に等しく、造林者の便益は０となっている。したがってπ_Fは

$$\pi_F=[f(T_F)\exp(-rT_F)-c]/[f(T_F)\exp(-rT_F)] \qquad (10)$$

と表される。

次に以上の考察を、より一般的な設定において検討しよう。これまでは地上権設定期間を１回の植伐期間に限定していたが、これを一般化してその期間をｎ回の植伐期間とする。ここでは第ｉ回目の伐期齢をT_iで表す。この場合の地上権設定期間は$\sum_{i=0}^{n}T_i$である。

さて、ある伐期齢$\{T_i\mid i=1,2,\cdots,n\}$と分収率$\pi$の分収造林契約によって造林地所有者が得る利潤$R_O$は

$$R_O=\sum_{i=1}^{n}[\pi f_i\exp(-r\sum_{j=1}^{i}T_j)]+V_F\exp(-r\sum_{i=1}^{n}T_i) \qquad (11)$$

である。一方、このときの造林者の便益B_Sは

$$B_S=\sum_{i=1}^{n}\{(1-\pi)[f_i\exp(-r\sum_{j=1}^{i}T_j)]-c\exp(-r\sum_{j=1}^{i-1}T_j)\} \qquad (12)$$

と表される。

公的機関が林地所有者にある分収契約を提示することは、ある利潤を林地所有者に提示することに等しい。そして林地所有者にとって重要なのは利潤の大小であって、利潤が等しい限り、伐期齢や分収率がどのようなものであってもよい。したがって公的機関は、林地所有者にある利潤R^*を約束して、その制約条件の下で自らの便益を最大にするような分収造林契約を、林地所有者に提示するだろう。同様に林地所有者もまた、公的機関がある便益B^*を得ることを保証した上で、自

らの利潤が最大になるような分収造林契約を提示するだろう。

ここで公的機関が提示する伐期齢と分収率について考察しよう。上で述べた理由により、公的機関の提示する分収造林契約では、ラグランジュ乗数をλとして

$$L = B_S + \lambda (R_O - R^*)$$

なるラグランジュ関数が最大化されている。ラグランジュ関数Lをπで偏微分すると、最適解では

$$L_\pi = (\lambda - 1)\sum_{i=0}^{n}[f_i \exp(-r\sum_{j=1}^{i}T_j)] = 0$$

が成立しており、したがってλ＝１。これをラグランジュ関数に代入すると

$$L = B_S + R_O - R^*$$
$$= \sum_{i=1}^{n}[(f_i e^{-rTi} - c)\exp(-r\sum_{j=1}^{i-1}T_j] + V_F\exp(-r\sum_{i=1}^{n}T_i) - R^* \quad (13)$$

となる。ここで第ｎ回目の最適伐期齢T_n^*について考察すると、T_n^*は第１回目から第ｎ－１回目までの伐期齢に関わらず

$$(f_n e^{-rTn} - c)\exp(-r\sum_{j=1}^{n-1}T_j) + V_F\exp(-r\sum_{i=1}^{n}T_i)$$

を最大化している（ベルマンの最適性の原理）。そこで上式をT_nで微分して０とおけば、

$$[\dot{f}_n - r(f_n + V_F)]\exp(-r\sum_{j=1}^{n-1}T_j) = 0$$

となる。前節で見たようにこの等式を満たすのは$T_n = T_F$のときのみである。さらにこのとき

$$f_n e^{-rTn} - c = V_F[1 - \exp(-r T_F)]$$

であり、これを（１３）に代入すれば、

$$L = \sum_{i=1}^{n-1}[(f\ e^{-rTi} - c)\exp(-r\sum_{j=1}^{i-1}T_j)] + V_F\exp(-r\sum_{i=1}^{n-1}T_i) - R^*$$

を得る。この式をもとに第ｎ－１回目の最適伐期齢T_{n-1}^*について考察すると、数行前にT_n^*で行った論法を適用することで$T_{n-1}^* = T_F$を得る。以下、同じ論法を順次適用することにより、公的機関が提示する伐期齢は

$$T_i^* = T_F \quad (i = 1, 2, \cdots, n)$$

となることがわかる。

以上の考察は、公的機関が林地所有者に契約を提示するという想定の下に行われた。しかしこれを逆にして、林地所有者が公的機関に契約を提示するとしても同様の結果が得られる。この場合のラグランジュ関数は、ラグランジュ乗数をμ

とすると、

$$L=R_O+\mu(B_S-B^*)$$

である。これをπで偏微分してゼロとおけば、$\mu=1$を得る。したがって林地所有者の提示する分収造林契約は、結局（１３）を最大化していることになる。すなわち、林地所有者の提示する伐期齢も

$$T_i^*=T_F\ (i=1,2,\cdots,n)$$

である。

このようにより一般的な設定の下でも、分収造林契約が行われる伐期齢はT_Fとなる。すなわち分収造林契約によって一意的な伐期齢が得られ、その伐期齢は社会的に最適な伐期齢である。しかもこの社会的最適伐期齢は、林地所有者と公的機関のそれぞれの最適化行動から、自動的に得られる。すなわち、社会的最適伐期齢は、契約当事者の自発的な交渉によって採用される。このことは分収造林契約の優れた特質といってよいだろう。

ところで、以上の考察では分収率πの決定が触れられていないことに気付かれたい。実際のところ（１３）の最大化問題ではπは決定されない。また、分収率の決定は、森林所有者と社会との分配の問題であり、森林資源の有効利用の問題とは別の問題である。そこで次に、分収率がどのように決定されるかを明らかにしよう。

上で得られた結果から、分収造林契約はT_iとπでつくられるｎ＋１次元空間の、$T_i=T_F$という直線上で行われることがわかる。ここで、この直線を含む部分空間$T_i=T$、すなわちTとπからなる平面を考えよう。この平面上に描かれる契約のフロンティアは造林地所有者の場合、

$$0=\pi_O\Sigma_{i=1}^{n}(f\ e^{-irT})-(1-e^{-nrT})V_F$$
$$=(1-e^{-nrT})(1-e^{-rT})^{-1}[\pi_O f+(1-e^{-rT-1})V_F]$$

となり、造林者の場合

$$0=(1-\pi_S)\Sigma_{i=1}^{n}(f\ e^{-irT})-\Sigma_{i=0}^{n-1}(c\ e^{-irT})$$
$$=(1-e^{-nrT})(1-e^{-rT})^{-1}[(1-\pi_S)f\ e^{-rT}-c]$$

となる。したがって任意のｎ回の植伐の場合にも、$T-\pi$平面上での契約フロンティアは、図５－１の２つの曲線で表される。そして図から明らかなように、契約が行われる分収率は（１０）で定義されたπ_Fである。なぜなら、それよりも分

収率が高くても低くても、契約当事者のどちらか一方は損失を生じることになるからである（$T_1=T_F$と$\pi=\pi_F$を（１１）、（１２）に代入すれば、$R_O=V_F$、$B_S=0$が確認できる）。以上から、n回の植伐を契約期間とする一般的な問題でも、契約が行われる伐期齢と分収率は(T_F, π_F)となることが示された。

分収造林契約は、森林資源の有効利用のための望ましい性質を有している。すなわちこの契約は、社会的最適伐期齢を契約当事者の自発的な交渉によって自動的に実現することができる。ただし、ここで得られた結果は、分収造林契約が資源配分にゆがみをもたらすものではないことを確認するものに過ぎない。なぜなら森林の外部性が存在しなければ、森林所有者の森林計画は社会的に最適な森林計画と一致するからである。この場合、資源の有効利用という観点からは、分収造林契約は必要ではない。また、ここでは林地所有者にとって、分収造林契約を行う積極的な理由は見い出せない。なぜなら分収造林契約を行うことで得られる特別な利潤は存在しないからである。実際のところ、本項での考察は以下での考察のための準備的なものでしかない。

（３）　外部性を有する森林の分収造林契約

次に森林が外部性を有するケースを考察しよう。このような森林の社会的最適伐期齢は、前節で導かれたT_Sである。もし、造林者が伐期齢T_Sの分収造林契約を提示するならば、林地所有者はその契約を受け入れるだろうか。また、契約可能な伐期齢と分収率の組み合せとはどのようなものだろうか。ここではまず、これらの点を$T-\pi$平面上の契約フロンティアを用いて明らかにする。

$T-\pi$平面上の造林地所有者の契約フロンティア$\pi_O=\pi_O(T)$は

$$\pi_O(T)=[f e^{-rT}/(1-e^{-rT})]^{-1}V_F$$

で表される。一方、造林者の契約フロンティアを$\pi_S^*=\pi_S^*(T)$とすると、それは

$$\pi_S^*=1-c/(f e^{-rT})+\eta\Gamma/(f e^{-rT})$$

と表される。ここで森林の外部性が考慮されない場合の造林者の契約フロンティアを$\pi_S=\pi_S(T)$とすると

$$\pi_S=1-c/(f e^{-rT})$$

であり、

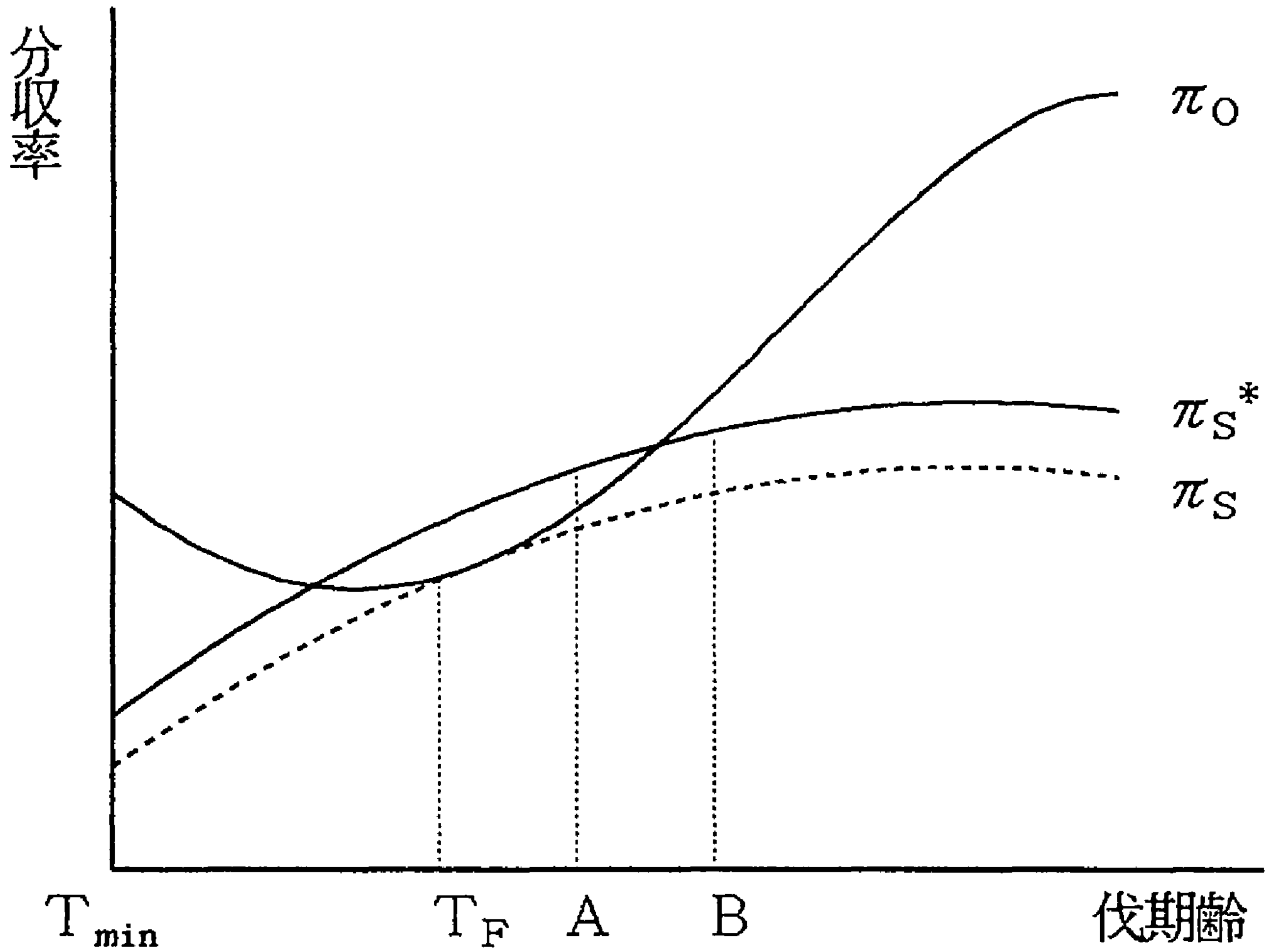


図5−2　契約フロンティア
（森林が外部性を有する場合）

$$\pi_S^* > \pi_S \text{ for } T \geq T_{min}$$

を得る。

以上のπ_O、π_S^*、π_Sの関係が図5－2に示されている。これからわかるように、森林の外部性が存在すると、契約が行われる伐期齢と分収率の組み合わせは、一意的ではなくなる。また、社会的最適伐期齢と森林所有者の最適伐期齢の間には、$T_S > T_F$の関係がある（前節を参照のこと）。このため、図中の$A = T_S$ならば社会的最適伐期齢での契約は可能だが、$B = T_S$ならばそれは不可能となる。

しかしながら実際には、後者のようなケースは生じない。その理由は以下の通りである。

$T = T_S$で林地所有者が受け入れる最小の分収率は

$$\pi_O(T_S) = \{[1 - \exp(-rT_S)] / [f\exp(-rT_S)]\} V_F$$

であり、公的機関の提示できる最大の分収率は

$$\begin{aligned}\pi_S^*(T_S) &= [f\exp(-rT_S) + \eta\Gamma - c] / [f\exp(-rT_S)] \\ &= \{[1 - \exp(-rT_S)] / [f\exp(-rT_S)]\} (V_S + \eta W_S)\end{aligned}$$

と表される。ここでV_S、W_Sは社会的最適伐期齢T_SでのV、Wの値を表している。さらに伐期齢T_Fに対応するWの値をW_Fで表せば、不等式

$$V_F < V_F + \eta W_F < V_S + \eta W_S$$

が成立している。この不等式から

$$\pi_O(T_S) < \pi_S(T_S)$$

が成立する。以上で$T_S = B$のケースが生じないことが示された。

このように森林が外部性を有する場合にも、社会的最適伐期齢での契約は可能である。すなわち、分収造林契約によって社会的最適森林計画を実現することができる。ただし契約が結ばれる伐期齢と分収率の組み合せは、もはや一意的ではない。したがって次の問題は、森林が外部性を有する場合でも、契約当事者の自発的な交渉によって、自動的に社会的最適伐期齢が選択されるかどうかである。

造林者は公的機関であり、前項で示したようにその目的は、林地所有者にある利潤を約束しておいて、自らの得る便益を最大にすることと考えることができる。ここで造林地所有者が得る利潤（R_O）と造林者が得る便益（B_S）は、それぞれ

$$R_O = \sum_{i=1}^{n} [\pi f_i \exp(-r \sum_{j=1}^{i} T_j)] + V_F \exp(-r \sum_{i=1}^{n} T_i)$$

$$B_S = \sum_{i=1}^{n} \{(1 - \pi)[f_i \exp(-r \sum_{j=1}^{i} T_j)] + (\Gamma_i - c)\exp(-r \sum_{j=1}^{i-1} T_j)\}$$

と表される。したがって公的機関が提示する分収造林契約は、ラグランジュ乗数をλとして、次のラグランジュ関数Lを最大化している。

$$L = B_S + \lambda (R_O - R^*)$$

前項と同様、最大化されたLでは、そのπに関する偏導関数はゼロとなる。したがって、$\lambda = 1$を得る。これをラグランジュ関数に代入すると

$$L = B_S + R_O - R^*$$
$$= \sum_{i=0}^{n}[(f_i e^{-rT_i} + \Gamma_i - c)\exp(-r\sum_{j=1}^{i-1}T_j)]$$
$$+ V_F\exp(-r\sum_{i=1}^{n}T_i) - R^* \qquad (14)$$

である。すなわち、公的機関は、上式を最大化するような伐期齢を林地所有者に提示する。

このときベルマンの最適性の原理により、第n回目の植伐に関して

$$K_n = (f_n e^{-rT_n} + \eta\Gamma_n - c) + V_F e^{-rT_n}$$
$$= (V + \eta W)(1 - e^{-rT_n}) + V_F e^{-rT_n}$$

が最大化されている。さらに最適解T_n^*が内点解であればその1階の条件は

$$(\dot{V} + \eta\dot{W})(1 - e^{-rT_n}) + (V + \eta W - V_F) r e^{-rT_n} = 0$$

と表される。この式に$T = T_S$を代入し、不等式

$$V_F < V_S + \eta W_S$$

に注意すれば、

$$(V_S + \eta W_S - V_F) r e^{-rT_S} > 0$$

となりT_Sは第n回目の最適伐期齢ではないことがわかる。また、この不等式からT_nがいかなる伐期齢であっても

$$K_n < (f_n e^{-rT_n} + \eta\Gamma_n - c) + (V_S + \eta W_S) e^{-rT_n} \leqq V_S + \eta W_S$$

が成立している。したがって第n回目の最適伐期齢に対応する$K_n = K_n^*$でも

$$K_n^* < V_S + \eta W_S$$

が成立している。

次にこの新しい不等式をもとに第n－1回目の植伐における最適伐期齢を求めよう。

$$K_{n-1} = (f_{n-1} e^{-rT_{n-1}} + \eta\Gamma_{n-1} - c) + K_n^* e^{-rT_{n-1}}$$
$$= (V + \eta W)(1 - e^{-rT_{n-1}}) + K_n^* e^{-rT_{n-1}}$$

とすると、最適解ではK_{n-1}が最大化されている。最適解T_{n-1}^*が内点解ならばその1階の条件は

$$(\dot{V}+\eta\dot{W})(1-e^{-rT_{n-1}})+(V+\eta W-K_n^*)re^{-rT_{n-1}}=0$$

となる。この式に$T=T_S$を代入し、

$$K_n^*<V_S+\eta W_S$$

に注意すれば、

$$(V_S+\eta W_S-K_n^*)re^{-rT_S}>0$$

となり、T_Sは第n－1回目の最適伐期齢でもないことがわかる。また

$$K_n^*<V_S+\eta W_S$$

より、いかなる伐期齢でも

$$K_{n-1}<V_S+\eta W_S$$

なので、第n－1回目の最適伐期齢に対応する$K_{n-1}=K_{n-1}^*$でも

$$K_{n-1}^*<V_S+\eta W_S$$

が成立している。

以上の論法をさらに第n－2回目の植伐、第n－3回目、・・・、第1回目まで適用すれば次のことがいえる。すなわち、公的機関の最適化行動からは社会的最適伐期齢T_Sが提示されることはない。

以上の結果は、林地所有者から提示される分収造林契約に関してもあてはまる（前項同様、林地所有者のラグランジュ関数をつくれば、林地所有者の問題も（14）の最大化であることがわかる）。したがって、契約当事者の自発的な交渉だけでは社会的最適森林計画の実現は期待できないことが結論づけられる。

以上のように森林が外部性を有する場合でも、分収造林契約は社会的最適森林計画を実現することができる。しかしながら、もはやその実現は、契約当事者の自発的な交渉からは期待できない。この点が、森林が外部性を有する場合と有さない場合の決定的な違いである。前者の場合、社会的最適森林計画を実現するためには、公的機関は社会的最適伐期齢をあらかじめ用意し、林地所有者に提示しなければならない。

４．分収林政策に関するいくつかの論点

（１）　諸結果の拡張

第２節では、森林所有者の最適森林計画と社会的最適森林計画が乖離する要因として、森林の外部性を考察した。ここではまず、このような乖離が生じるその他の要因について指摘しておく。

例えば税金の存在を考えよう。森林所有者は税引き後の立木販売収入を基に森林経営を行うが、社会全体としては税引き前の立木販売収入を用いて最適な森林の取り扱い方を考える（社会から徴収された税金は再び社会に投資されることに気付かれたい）。第２章の結果を応用すれば、このような場合、森林所有者が選択する伐期齢は社会的最適伐期齢よりも長くなる。すなわち二つの最適森林計画は乖離する。

もう一つの例として将来の不確実性の存在を指摘しておく。現実の世界にはさまざまな不確実性が存在しており、またそれによって発生する危険をうまく分散するような完全な保険市場は存在しない。後にも述べるように、Arrow and Lind (1970)は、このような条件の下では、公的機関が用いる利子率（社会的割引率）は、個々人の用いる利子率（主観的割引率）よりも低くあるべきことを主張している。彼らの主張にしたがえば、社会的最適伐期齢は、森林所有者が選択する伐期齢よりも長いということになる（第２章を参照）。すなわち、二つの最適森林計画の間にはギャップが生じることになる。

このように森林所有者と社会の森林計画の乖離は、税金や不確実性の存在によっても生じる。すなわち外部性を有しない森林でも、両者の間で用いる（あるいは用いるべき）経済パラメータが異なれば、森林所有者と社会の間にギャップが生じることになる。

次に、前節で得られた分収造林契約の特質は、税制や不確実性の存在を考える場合にはどのように修正されねばならないかを検討しよう。結論を先に述べてしまえば、前節第３項で得られた森林が外部性を有する場合の考察結果は、そのままこれら二つのケースにも適用することができる。

ここでは、税制や不確実性が存在する場合も、森林所有者の利潤よりも公的機関が行う森林経営の便益の方が、任意の伐期齢において大きくなることに気付か

れたい。このことから直ちに、社会的最適伐期齢での契約が可能であることが保証される。同時にこのことは、契約当事者の自発的な交渉からは、社会的最適伐期齢での契約は行われないこともまた示唆している。その理由は次の通りである。

分収造林契約によって提示される伐期齢は、契約期間内の社会全体の便益と契約終了後の森林所有者の利潤を最大化するものであったことに気付かれたい（ラグランジュ関数（１３）および（１４）を参照のこと）。一方、社会的最適伐期齢は社会全体の便益を最大にするものである。したがって、もし契約終了後、森林所有者が行う森林経営から得られる利潤が社会全体の便益と一致すれば、契約当事者間の自発的な交渉によって社会的最適伐期齢が選択される（前節第２項のケース）。しかし、森林が外部性を有するケースと同様、税制の存在も不確実性の存在も、森林所有者の利潤を社会全体の便益より小さなものにする。したがって、社会的最適伐期齢での契約は自発的には行われない。

本項の最後に、前節で得られた結果が、分収育林契約（公的機関が育林費負担者となる分収育林契約。長野県等で実際に行われている）にも適用可能であることを指摘しておく。このことは、分収造林契約と分収育林契約との違いが、単に分配方法の違いであることに気付けば明らかである。すなわち、一方は立木販売収入だけを分け合うのに対して、もう一方はそれのみならず育林費用をも負担し合う点のみが異なる。分配の問題は、森林資源の利用問題とは独立した問題であることに気付かれたい。

確認のため、外部性を有さない森林の分収林契約モデルを示そう。分収育林契約によって、育林地所有者が得る利潤と育林費負担者が得る便益は、それぞれ次のようになる。

$$R_O=\pi[fe^{-r(T-b)}-c_1)]+c_2+V_Fe^{-r(T-b)}$$

$$B_S=(1-\pi)[fe^{-r(T-b)}-c_1]-c_2$$

ここで、ｂは現在の森林の林齢、c_1は育林費用、そしてc_2は森林の持ち分取得対価である。上の二つの式を用いて、前節と同様の手続きによってラグランジュ関数を作成し、πで偏微分してゼロとおけば、ラグランジュ乗数が１であることが確認される。したがって、分収育林契約で両者が提示する伐期齢は同一で、それは次の問題の解である。

$$\max\ R_O+B_S=[fe^{-r(T-b)}-c_1)]+V_Fe^{-r(T-b)}$$

上式をTで微分してゼロとおけば、最適伐期齢の1階の条件(4)が得られることが確認される。したがって、分収育林契約によって選択される伐期齢は社会的最適伐期齢T_Fである。一方、森林所有者の最適森林計画は

$$\max \ f e^{-r(T-b)} - c_1 + V e^{-r(T-b)}$$

と表されることに気付かれたい。ベルマンの最適性原理により、この問題の最適伐期齢もまた、Faustmannの伐期齢の1階の条件(4)を満たす。したがって、

$$\max\{[R_O + B_S] = \max[f e^{-r(T-b)} - c_1 + V e^{-r(T-b)}]\}$$

である。このことは、外部性が存在しない場合、分収育林契約によって得られる利潤と便益の和は、高々、森林所有者の森林経営から得られる利潤と等しいことを示している。以上から、分収育林契約が行われる伐期齢はT_Fであり、その分収率は育林地所有者の利潤が自ら森林経営を行って得られる利潤に等しく、育林費負担者の便益はゼロとなる水準になる(それ以上でもそれ以下でも両者のいずれかに損失が生じる)。このことは、両者の契約フロンティアが唯一の共通点を持つこと、すなわち図5-1のように表されることを示唆する。

以上の結果を外部性が存在する場合へ拡張することも容易である。ここでは過程を省略するが、その結果は分収造林の場合と全く同じである。分収造林契約と分収育林契約が異なるのは、契約可能な分収率の水準、すなわち分配の水準のみである。なお、二者契約か三者契約かという契約形式の違いもまた、前節の結果に影響を与えない。これらもまた、分配の問題だからである。

以上、ここではこれまでの結果をいくつかの面で拡張した。これを要約すれば次のようになる。

① 森林の外部性、税制、そして不確実性等のさまざまな要因が、森林所有者の最適森林計画と社会的最適森林計画を乖離させる。

② しかし、分収造林契約によって、公的機関は社会的最適森林計画を実現することが可能である。

③ ただし、契約当事者間の交渉からは社会的最適伐期齢は選択されない。したがって公的機関は、前もって社会的最適伐期齢を得ておき、それを林地所有者に提示する必要がある。

④ 以上の分収造林契約に関する特質は分収育林契約にもすべてあてはまる。

（２）　政策上の含意

以上の考察から示唆されるのは、森林資源の社会的最適利用のために、公的機関は重要な役割を担っているということである。森林の外部性、税制、そして不確実性等が存在するために、森林所有者の森林計画は、社会的最適森林計画から乖離する。森林所有者の森林計画を分収林契約（分収造林契約と分収育林契約を併せてこのように呼ぶこととする）によって、社会的最適森林計画と一致させることは可能である。ただし、それは契約当事者の自発的な交渉からは期待できない。したがって公的機関は、予め社会的最適伐期齢を用意し、林地所有者や森林所有者に提示しなければならない。

ところで分収造林契約は単に理論上の架空の契約ではなく、現実に広く行われている。以下では、現実に分収林契約が、社会的最適森林計画の実現のために有用な政策となり得るために必要と考えられる、二つの点について考察する。すなわち、公的機関が社会的最適伐期齢を提示できるための条件、そして、望ましい契約の形式である。なお、重要な問題として、社会的最適伐期齢をいかに算出するかということがある。この問題は、前章の社会的最適ストック量の導出の場合と同様、森林の公益的価値の計測が中心的な課題であり、それは次章で考察される。

はじめに、社会的最適伐期齢を提示できるための条件について論じる。

分収林契約を結ぶ公的機関は、一般には森林開発公団や森林整備法人である。その経営は独立採算性で行われており、このため、造林のための資金の大部分は借入金で調達されている。森林の外部性が存在する場合、この借入金が立木販売収入の分収金でのみ返済されるのであれば、社会的最適伐期齢での契約はこれら法人の経営を赤字にする。そして赤字を避けるために採用される伐期齢（T_F）は社会的最適伐期齢ではない。すなわち、森林資源の有効利用のための政策手段として、分収林契約はもはや有効ではなくなる。したがって社会的最適森林計画を実現するためには、政府および地方公共団体は、これら法人に対して、森林が社会に供給する無形の公益的サービス（森林の外部性）の対価を支払う必要がある。

このことは税金に関しても全く同じである。税が徴収されるのであれば、社会的最適伐期齢での契約は、公的機関の経営に赤字をもたらすことになるだろう。ただし上記の法人は公益法人であり、おそらく立木販売は、収益事業とは見なさ

れない。このため、法人税は課税されないものと考えられる。

不確実性の存在についてはどうだろうか。先にArrow and Lindにならって、不確実性が存在し、完全な保険市場が存在しないケースでは、公的機関が用いるべき割引率は森林所有者が用いる割引率よりも低くなることを述べた。この彼らの主張は、次のような考察から導かれたものである。

将来の収益が不確実な投資対象に対して、もし保険市場が完全ならば、人々は安全資産（確定的な収益が見込まれる投資対象）に対して用いられる割引率でその投資対象の期待収益（収益の期待値）を割り引いて評価する。そしてこのことは社会をパレート最適な状態に導く。しかしながら現実には、道徳的危険（保険金詐欺などの不正が行われる危険）や保険契約に関する取引費用の存在によって、完全な保険市場は存在しない。このため個々人は危険回避的（不確実なものよりも確実なものを好む性向）に行動することになり、不確実な収益に対してはその期待収益をより大きな割引率で割り引こうとする。このことは過小投資、したがってパレート最適な状態からの乖離を意味する。このときもし政府が人々から税金の形で投資の資金を集め、その収益を人々に分配するならば、そしてそれが十分に広く薄く徴収され分配されるならば、それはこの投資対象の不確実性を人々に分散させることになり、政府自身は危険中立者（不確実な収益と確実な収益を区別しない経済主体）として、投資の期待収益を安全資産に用いられる割引率で割り引いて評価することができるようになる。したがって不確実性が存在するために、個々人にとっては投資できないような投資対象にも、政府は投資が可能となる。また投資のための資金が、政府に徴収されることによって、人々の投資機会が一部損なわれるかもしれないが、政府の投資はその機会費用を支払っても十分に採算が合う。よってこのような政府の投資行動は社会をパレート改善するものである。

以上のArrow and Lindの主張は、社会をパレートの意味で最適な状態に近づけるためには、公的機関は、安全資産に対して用いる割引率を社会的割引率として用いる必要があるというものである。そしてそのために、公的機関は危険中立者であることが前提とされている。一方、現実には、森林整備法人をはじめとする上述の法人は独立採算性をとっている。このことは、将来の立木販売収入に関する危険が、造（育）林地所有者と造林者の間にしか分散されないことを意味して

いる。すなわち、分収林契約において公的機関は、危険中立者として振舞うことはできない。このため公的機関は社会的割引率より大きな割引率を採用することになり、林地や森林に対する過小投資が生じ、また社会的最適伐期齢での契約は不可能となる可能性が生じる。

この問題を回避するためには、公的機関は必要とされる造林資金を人々から広く税の形で調達し、造（育）林地所有者には確定的な分収金を約束して、不確実性によって生じる正あるいは負の便益は広く人々に分配する必要がある（なお、現実には公的機関は、農林漁業金融公庫の低利の造林融資を利用することができる。したがって、その貸付利率が社会的割引率（安全資産の利子率）よりも低く設定されているならば、上述のような問題が生じる可能性は小さくなる。またこの場合、森林所有者も社会的割引率を用いて森林経営を行うことが可能となる。したがって重要な問題として、適切な貸出利率の水準とはどの程度かが明らかにされねばならない。ただし残念ながら、ここではこれ以上の議論をするだけの準備はない）。

次に望ましい契約の形式について、ここでは最適伐期齢の特質から導かれるいくつかの留意点を指摘しておこう。

社会的最適伐期齢が満たすべき条件は、森林の外部性が存在しない場合には $\dot{V}=0$、存在する場合には $\dot{V}+\dot{W}=0$ であった。この条件から社会的最適伐期齢は、立木販売収入関数 f の形状（あるいはその背後にある森林の成長関数と立木価格）、造育林投資 c、社会的割引率 r、そして無形の公益的サービスの供給量 g およびその潜在価格 η によって影響を受ける。このことから次の２つの指摘が導かれる。

第１に、ある時点での複数の分収林契約に対して同一の契約内容を提示することは適切ではない。例えば造林樹種が同じであっても、地位条件や地利条件の異なる林地に対して一律的な伐期齢を設定することは森林資源の有効利用の観点からは問題である。

第２の指摘は時間に関連するものである。育林生産は極めて長い期間を必要とするので、上述の諸条件は変化する可能性が高い。この変化は長期的な変化と短期的な変化に分類できる。より正確にいえば、立木販売収入の期待値を変化させるようなタイプと変化させないようなタイプの２つに分けることができる。前者は社会的最適伐期齢そのものを変化させるから、分収造林契約の内容を変更する

必要が生じる。したがってこのような変更の可能性が契約に含まれている必要がある。後者については、このような短期的な変化は社会的最適伐採齢を確率的なものとする（第1章を参照のこと）。なぜなら立木は、立木価格が上昇したときに販売すればよいのであって、それをあらかじめ決められた確定的な伐期齢で伐採することは得策ではないからである。このため分収造林契約ではその伐期齢にある程度の幅をもたせ、その期間内で有利となる伐採齢が選択されるようにする必要があるといえる。

最後に森林の外部性が存在する場合の特別なケースに触れておこう。社会的最適伐期齢の必要条件$\dot{V}+\dot{W}=0$がいかなる伐期齢でも成立しない場合がある。それは$T_S=T_{min}$あるいは$T_S=\infty$となるケースである。このうち問題となるのは後者である。例えば、非常に貴重な動植物の生息が確認されている森林は、一切の伐採を禁止することが、社会的最適森林計画かも知れない。しかし、このような森林を対象に分収契約を結んでも、所有者は永遠に分収金を得ることができない。このケースでは分収林契約は行われず、したがってそれによって社会的最適森林計画を実現することも不可能である。$T_S=\infty$の場合には、公的機関は森林の買い上げや所有者への年々の地代支払いを検討すべきであろう。

第６章　森林の公益的価値とその計測

１．はじめに

森林資源の社会的最適利用を実現するためには、公的機関は森林の社会的最適ストック量や社会的最適森林計画を知っていなければならない。しかし、これらはいかにして知ることができるだろうか。

そのために第４章では、人々の限界支払い意志額や限界補償受容額が明らかとなることが必要とされた。一方、第５章では、森林の潜在価格（森林の社会的限界効用／所得の社会的限界効用）が、社会的最適森林計画を導出するために用いられた。これらは表現を異にするものの、ともに森林の公益的サービスの貨幣価値を表している。ただし、限界支払い意志額と潜在価格は、前者がHicks流の貨幣測度であり、後者がMarshall流の貨幣測度を基礎におくものという相違点がある。ここでは理論的な厳密さを尊重して、Hicks流の貨幣測度を基に、第４章の延長として考察を進めることにしよう（Marshall流の貨幣測度は、経済厚生を測る測度として理論上、いくつかの問題点があることが知られている。Johansson(1987)第３章、第４章を参照のこと）。

さて第４章では、森林の社会的最適利用が、森林所有者以外の人々の限界支払い意志額の合計MWTPと森林所有者の限界補償受容額MWTAが一致する点で与えられることを示した（ただし内点解の場合）。ここで、限界支払い意志額と限界補償受容額を再記すれば、

$$MWTP = -\sum_{i=1}^{n} dI^{i}/dQ$$

$$MWTA = P + dI^{0}/dQ$$

である。したがって社会的最適森林利用の条件は次のように表される。

$$MWTP - MWTA = \left(-\sum_{i=0}^{n} dI/dQ\right) - P = 0 \qquad (1)$$

ここで森林所有者に対して添え字０が用いられていること、そして$-dI^{0}/dQ$は、森林所有者の森林のストック量の増加に対する限界支払い意志額を表していることに注意されたい。このことから社会的最適森林利用の条件（１）は、社会全体の人々（森林所有者を含む）の、森林のストック量に対する支払い意志額の

合計値（$MWTP^S = -\Sigma_i dI/dQ$）とPが等しくなることと言い換えられる。

第4章ではPは木材の価格であり一定とされていたが、必ずしもそうでなくてもよい。Pは森林の他用途転換（例えば宅地開発）によって得られる限界便益と考えることもできる。また、Pは伐採量や開発面積によって変化すると考えることもできる。したがって、森林の社会的最適利用は一般に、森林を残すことに対する社会全体の限界支払い意志額（$MWTP^S$。以下、集計的限界支払い意志額と呼ぶ）と開発（あるいは森林の伐採）の限界便益（P）とが一致する点で与えられるといえる。

ところで現実には森林の最適利用の水準を考える問題だけでなく、森林を残すか開発するかという二者択一の問題がしばしば生じる。例えばゴルフ場開発において、ホール数を確保するために計画が変更できない場合がある。また原生林の伐採に関して、過激な自然保護グループは、1本の木を伐採することも拒絶するかも知れない。この場合には森林ストック量の最適な水準ではなく、開発が望ましいものかそうではないかを答えることが要求される。このような状況では、集計的支払い意志額と開発の便益（ともに限界がつかないことに注意されたい）との大小関係が重要である。もし前者が後者を上回れば、森林を保全するために開発主体に人々が支払ってもよいと考える金額は、開発主体を補償して余りあるものとなる。したがって開発が行われないことは、開発が行われる場合よりも人々の効用水準を潜在的に高めることを意味する（潜在的というのは実際に開発主体に補償が支払われるかどうかについて、ここでは触れていないためである）。

以上の集計的限界支払い意志額そして集計的支払い意志額は、計画が行われた状態を基準として、人々は計画を変更することに対していくらまで支払うおうとするかを表現するものである。このような想定は、森林所有者や開発主体に計画を行う権利がある場合には妥当と見なされるであろう。しかしながら森林所有者や開発主体以外の人々の側に、森林の公益的なサービスを受ける権利がある場合も存在する。この場合には開発の便益や限界便益は、集計的補償受容額や集計的限界補償受容額と比較されることになる。すなわち、森林が限界的に1単位減少しても、人々の効用水準が開発前の状態よりも低下しないように、森林所有者や開発主体は人々に補償を行わねばならない。この額を社会全体で合計したものが集計的限界補償受容額である。またこれを伐採や開発の行われる量に対応して積

分したものが集計的補償受容額となる。

以上の考察から、森林の社会的最適利用、あるいは開発と保全の問題を考える上で重要なことは、森林のストックに対する集計的（限界）支払い意志額や集計的（限界）補償受容額を知ること、および開発の限界便益および便益を知ることであるといえる。

さて、本章の主要な課題は、集計的（限界）支払い意志額、あるいは集計的（限界）補償受容額を実際に計測するための手法を検討することにある。

集計的限界支払い意志額（あるいは集計的限界補償受容額）は、考察されている森林が社会に供給している公益的サービスの限界的な価値を表している。同様に、集計的支払い意志額（あるいは集計的補償受容額）は、開発（あるいは伐採）によって失われる森林の公益的サービスの価値を表している。したがって、これらを総称して森林の公益的（限界）価値と呼ぶこととする。また、上で述べたように（限界）支払い意志額の概念と（限界）補償受容額の概念との違いは、基準とする効用水準に依っている。したがってその数学上の表現は効用水準が異なることを除けば全く同一となる。このため以下の考察では、支払い意志額の概念を用いたもので代表することがある。また以下では、森林の公益的価値あるいは支払い意志額等の概念は、フロー、ストックの区別を特にすることなく用いる。その理由は、以下の考察がフロー概念で行われているのか、それともストック概念で行われているのかについて混乱を生じることはないと考えられるからである。ただし、両者には重大な相違があることに注意されたい。すなわち、年々発生する公益的サービスの価値や支払い意志額はフローであり、それを現在価値で評価した総和がストックである。

なお本章では、森林の最適利用や開発の是非を検討する上で重要なもう一つの要素、すなわち開発の（限界）便益については触れない。森林の伐採による便益に関しては前章を参照されたい。また、森林の他用途開発によって発生する便益の計測に関しては、土木計画学の分野に広範な研究文献が存在する。その入門的なテキストとしては、例えば吉川(1985)第６章第２節を参照されたい。

本章の構成は以下の通りである。

第２節では人々の実際の行動から、間接的にこれらの価値を導く手法について検討する。まず、第４章で定式化された（限界）支払い意志額が、支出関数を用い

て再定式化される。次に、それから直接的に導かれる森林の公益的（限界）価値の計測方法を示す。また、Mäler(1974)そしてBradford and Hildebrandt(1977)によって開発された巧妙な方法を、森林の公益的（限界）価値の計測に応用する。本節の最後は、これらの方法を実証研究に用いる際の留意点に言及する。

残念ながら、第2節で示される方法は、理論的には簡潔な形式を持つものの、あまり実践的とはいえない。そこで第3節以下ではより実践的な方法を取り上げる。

第3節は、人々に直接的に公益的（限界）価値を尋ねる手法を検討する。この方法は第2節の方法と対称的である。すなわち、一方が人々の行動から間接的に森林の公益的（限界）価値を求めようとするのに対して、他方はより直接的な手段を用いる。本節では、はじめにこの直接的な方法が簡潔に示される。次にその留意点が検討される。最後は、間接的な方法との比較に充てられる。

第4節と第5節は森林の公益的（限界）価値の限られた側面を計測する手法を検討する。第4節では、森林レクリエーションに関連する森林の公益的価値、すなわち森林のレクリエーション価値を計測する手法を取り上げる。はじめに、この手法が開発された経緯を述べる。次にそれが、第2節で述べた理論的な方法の直接的な応用であることが明らかにされる。最後は、この手法に関する問題点を検討する。

第5節は森林が人々の生活に与える効用と関連する公益的価値、すなわち森林の生活環境価値の計測手法を検討する。はじめにこの手法が素朴な推論を基に示される。次にこの方法の基礎理論が提示される。最後に、この手法に関する問題点を議論する。

本章の最後に第6節では、実際に森林の公益的価値を計測した経験的調査を提示する。滋賀県西南部および京都府南部地域を対象に、第5節で示した手法を用いて、森林の生活環境限界価値が計測される。

2．間接的な方法

（1）　支出額の変化による公益的価値の計測

本節では、市場で取り引きされる（私的）財の需要量の変化、あるいは需要曲線に注目して、森林の公益的価値を計測する方法を検討する。

第4章では、所得と森林のストック量について表された効用の無差別曲線を用いて、限界支払い意志額を表現した。ここでは支出関数を用いてこれを表現することを考えよう。支出関数とは、財の価格、森林のストック量、そしてある一定の効用水準の下での、最小支出額を表す関数である。

ある経済主体に関する次の支出最小化問題を考えよう。

$$\min\ px \quad \text{subject to} \quad u = u^{\#},\ x \geqq \mathbf{0}$$

ここで、pは諸財（自由に購入できる私的財）の価格を表すm次行ベクトル、xは諸財の消費量を示すm次列ベクトル、そしてuは直接効用関数であり、$u = u(x, Q)$と定義されている。Qは森林のストック量を示すスカラーである。uはxに関して厳密な単調増加準凹関数と仮定する。またQに関しては非減少関数であるとする。なお、ここでは表現を簡略化するため経済主体を示す添え字は省略することにする。

さて、上の問題の解をx^{*}で表す。解が内点解ならば$x = x^{*}$では1階の条件

$$p - \mu u_x = \mathbf{0},\quad u - u^{\#} = 0$$

が成立している。ここでμは制約条件に対するラグランジュ乗数である。1階の条件を全微分すると次の連立方程式を得る。

$$\begin{bmatrix} \mu u_{xx} & u_x \\ u_x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx^{*} \\ d\mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \ddots \mathbf{0} & -\mu u_{xQ} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \quad 1 & & \\ \mathbf{0} & -u_Q & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dp \\ dQ \\ du^{\#} \end{bmatrix}$$

左辺のm＋1次正方行列の行列式は、uの縁付きヘッセ行列式にμ^{m-1}を乗じたものに等しくなる。1階の条件より$\mu \neq 0$、またuが厳密な準凹関数であることからその縁付きヘッセ行列式も0ではない。したがって、左辺のm＋1次正方行列には逆行列が存在し、陰関数定理が適用できる。最適解が内点解となるような価

格－森林ストック量－効用水準のベクトルの集合をΩで表し、それが凸集合であると仮定する。このとき$(p, Q, u^{\#}) \in \Omega$では、最適消費量$x^*$とラグランジュ乗数$\mu$は、全微分可能な関数として

$$x^* = x^*(p, Q, u^{\#}), \quad \mu = \mu(p, Q, u^{\#})$$

と表すことができる。x^*は効用水準を一定に保つときに、ある価格ベクトルpとある森林のストック量Qに対して、この効用水準を実現するために必要な諸財の消費量を示すものであり、補償需要関数と呼ばれる（その概念については奥野・鈴村(1985)第１２章を参照のこと）。

以上から$(p, Q, u^{\#}) \in \Omega$上で定義される支出関数eは

$$e(p, Q, u^{\#}) = p x^*(p, Q, u^{\#})$$

と表される。なお陰関数定理により補償需要関数は全微分可能であり、したがってeもまた全微分可能である。

ここで、上でみた支出最小化問題の解x^*は、価格p、森林のストック量Q、そして所得$I = e(p, Q, u^{\#}) = p x^*$の下での効用最大化問題

$$\max\ u \quad \text{subject to} \quad I - p x = 0,\ x \geqq 0$$

の解と一致し、対応する最大化された効用水準は$u^{\#}$であることに注意されたい。このことは次のように確認される。もしx^*が効用最大化問題の解でなければ、最大化された効用水準u_{max}は$u^{\#}$と一致しない。もしu_{max}が$u^{\#}$よりも大きいとすると、支出最大化問題の解はx^*ではないことになる。なぜならより小さな消費量によって効用水準$u^{\#}$が実現できることになり、$p x^*$は最小支出額ではないからである。反対にu_{max}が$u^{\#}$よりも小さいとすると、x^*では効用水準$u^{\#}$を実現できないことになり、やはりx^*は支出最小化問題の解ではないことになる。このように支出関数は、対応するある効用最大化問題の所得を表している。

さて、支出関数を各変数で偏微分し包絡線定理（同定理については西村和雄(1982)第４章を参照のこと）を適用すると

$$\partial e / \partial p = x^* + p[\partial x^*(p, Q, u^{\#}) / \partial p] = x^*(p, Q, u^{\#}) \qquad (2)$$

$$\partial e / \partial Q = p[\partial x^*(p, Q, u^{\#}) / \partial Q] = -\mu u_Q(x^*, Q) \qquad (3)$$

$$\partial e / \partial u^{\#} = p[\partial x^*(p, Q, u^{\#}) / \partial u^{\#}] = \mu(p, Q, u^{\#}) \qquad (4)$$

である。

ここでは（３）に注目しよう。この式はQの限界的な増加に対して、ある効用

水準にとどまる場合に節約される支出額を表している。言い換えるとQの限界的な増加に対して、その効用水準にとどまるために、元の所得から限界的に取り去ってもよい金額である。したがって、もし森林が開発された状態に効用水準を設定するならば、$-\partial e / \partial Q$は限界支払い意志額を表している。一方、開発以前の状態に効用水準が設定されるならば、$-\partial e / \partial Q$は限界補償受容額である。

また、（３）の真ん中の式は、森林の公益的限界価値が私的財の需要によって表せることを示唆している。すなわち、限界支払い意志額や補償受容額は、この経済主体の私的財に対する需要量のQに関する偏微分係数を、価格で加重和してマイナスをつけたものに等しい（$-p(\partial x^{*}(p, Q, u^{\#}) / \partial Q)$）。なお、森林のストック量の変化$Q^0 \to Q^1$に対する支払い意志額（あるいは補償受容額）は、

$$-\int_{Q0}^{Q1} [\partial e / \partial Q]\, dQ = e(p, Q^0, u^{\#}) - e(p, Q^1, u^{\#})$$
$$= -p[x^{*}(p, Q^1, u^{\#}) - x^{*}(p, Q^0, u^{\#})]$$

である。上の真ん中の式は森林のストック量が変化することによるこの家計の支出額の節約分を示している。それは当然のことながら、最後の式に示されているように、消費される私的財の増減を価格で加重和して、マイナスを乗じたものに等しくなる。

このようにある経済主体（ｉ）の限界支払い意志額（$MWTP^i$）や支払い意志額（WTP^i）は、その経済主体の私的財に対する補償需要関数（x^{*i}）がわかれば計測可能である。さらに社会全体の集計的限界支払い意志額と集計的支払い意志額（それぞれ$MWTP^S$、WTP^Sとする）は、個々の経済主体の公益的（限界）価値を合計したものだから、

$$MWTP^S = \Sigma_i MWTP^i = -p\Sigma_i[\partial x^{*i}(p, Q, u^{\#i}] / \partial Q)$$
$$= -p[\partial \Sigma_i x^{*i}(p, Q, u^{\#i}] / \partial Q)$$
$$= -p[\partial X^{*}(p, Q, u^{\#}] / \partial Q) \qquad (5)$$

$$WTP^S = \Sigma_i WTP^i = -p\Sigma_i[x^{*i}(p, Q^1, u^{\#i}) - x^{*i}(p, Q^0, u^{\#i})]$$
$$= -p[\Sigma_i x^{*i}(p, Q^1, u^{\#i}) - \Sigma_i x^{*i}(p, Q^0, u^{\#i})]$$
$$= -p[X^{*}(p, Q^1, u^{\#}) - X^{*}(p, Q^0, u^{\#})] \qquad (6)$$

となる。ここでX^{*}は各経済主体の補償需要量を合計した社会全体の集計的補償需要関数である。また、その変数$u^{\#}$は各経済主体の基準となる効用水準$u^{\#i}$を成分とするベクトルである。

以上の考察から、もし集計的補償需要関数X^*が得られれば（限界）集計的支払い意志額、すなわち森林の公益的（限界）価値が計測できることになる。残念ながら、社会全体の補償需要関数を、正確にかつ全ての私的財に関して得ることは容易ではない。ただし後者の問題に関しては、特別な仮定を追加することによって回避することができ、必ずしも全ての補償需要関数を得る必要はない。この特別なケースは、Mäler(1974)、そしてBradford and Hildebrandt(1977)によって明らかにされたものである。以下では彼らの考え方を森林の公益的価値の計測のために応用しよう。

（２）　弱補完性あるいは需要の相互依存性アプローチ

再びある一人の経済主体について考察する。この経済主体の補償需要関数を２つのグループに分類して、${}^t x^* = ({}^t y, {}^t z)$と表す。ここで$y$はスカラー、$z$は$m-1$次列ベクトルとする。対応して各財の現在の価格を$p^c = (p', p^-)$で表す。第１の仮定として、$y$はその価格があまりに高くなり過ぎるとその補償需要量が０となるとする。すなわちyはnon-essential財（第１章参照）であり、

$$y(p^*, p^-, Q, u^*) = 0$$

を満たすp^*（$<\infty$）が存在する。この仮定の下で補償需要関数yの左側の面積

$$\int_{p'}^{\infty} y(P, p^-, Q, u^*)\,dP$$

を考えよう。この積分は次のように変形することができる。

$$\int_{p'}^{\infty} y\,dP = \int_{p'}^{p^*} y\,dP + \int_{p^*}^{\infty} y\,dP = \int_{p'}^{p^*} (\partial e / \partial P)\,dP + 0$$
$$= e(p^*, p^-, Q, u^*) - e(p', p^-, Q, u^*)$$

これをQで偏微分すると

$$\partial \left[\int_{p'}^{\infty} y(P, p^-, Q, u^*)\,dP\right] / \partial Q$$
$$= \partial e(p^*, p^-, Q, u^*) / \partial Q - \partial e(p^c, Q, u^*) / \partial Q \qquad (7)$$

である。ここで第２の仮定を置く。それは、森林のストック量が効用に影響を及ぼすのは、ｙ財が消費されるときのみであるという仮定である。この仮定の含意を明らかにするために一つの例を考えよう。ｙは外国製のミネラル・ウォーターの消費量を表しているとする。そしてこの特別な水の品質と海外のある森林のストック量とは密接な関係があるとする。もし、ある（日本の）家計がこの水を消費しているならば、森林の開発はこの水の品質を介してその効用に影響を与える。

しかし、この水の価格が極めて高価で、家計はそれを消費しないとすれば、海の向こうで行われる森林の開発は、この家計の効用水準に何の影響も及ぼさないであろう。これが第２の仮定の意味である。また、この仮定を数式によって表現すれば、$u_Q(0, z, Q) = 0$ である。

さてこの仮定の下では、（３）を用いることによって

$$\partial e(p^{*}, p^{-}, Q, u^{\#}) / \partial Q = -\mu u_Q(0, z, Q) = 0$$

であり、このことから（７）は

$$\partial \left[\int_{p'}^{\infty} y(P, p^{-}, Q, u^{\#}) dP \right] / \partial Q = -\partial e(p^{c}, Q, u^{\#}) / \partial Q \qquad (8)$$

となる。（８）の右辺が、この経済主体の限界支払い意志額を表していることに注意されたい。したがって上述の２つの仮定が満たされているならば、補償需要曲線ｙの区間$[p', \infty)$における左側の面積の限界的な変化は、この経済主体の限界支払い意志額を表している。ここで重要な役割を果たしている２つの仮定は、Mäler(1974)が弱補完性と名付けたものであり、またBradford and Hildebrandt (1977)が需要の相互依存性と呼ぶものである。

社会全体の森林の公益的限界価値は、各経済主体について（８）の左辺を単純に足し合わせることで得られる。それは（５）で行った操作と同様のことを（８）に施すことであり、森林の公益的限界価値（集計的限界支払い意志額）は、相互依存関係のある財の集計的補償需要曲線の、区間$[p', \infty)$の左側の面積の限界的な変化に等しい。すなわち、この財に関する集計的補償需要関数をＹで表せば、

$$MWTP^{S} = \partial \left[\int_{p'}^{\infty} Y(P, p^{-}, Q, u^{\#}) dP \right] / \partial Q \qquad (9)$$

である。ただしこの等式が成立するのは、上述の２つの仮定が社会のすべての個人について満たされている場合に限られる。

なお、森林のストック量がQ^0からQ^1に変化するときの集計的支払い意志額、すなわち森林の公益的価値は、

$$WTP^{S} = \int_{p'}^{\infty} [Y(P, p^{-}, Q^1, u^{\#}) - Y(P, p^{-}, Q^0, u^{\#})] dP \qquad (10)$$

で表される。

以上のように、ある森林に関して弱補完性あるいは需要の相互依存性の仮定が、特定の一つの財とその森林との間に成立するとき、その財の集計的補償需要関数だけで森林の公益的（限界）価値が計測できる。図６－１は（１０）を図で表したものであり、矩形Ａの面積がWTP^Sを表している。この矩形の面積は、森林のス

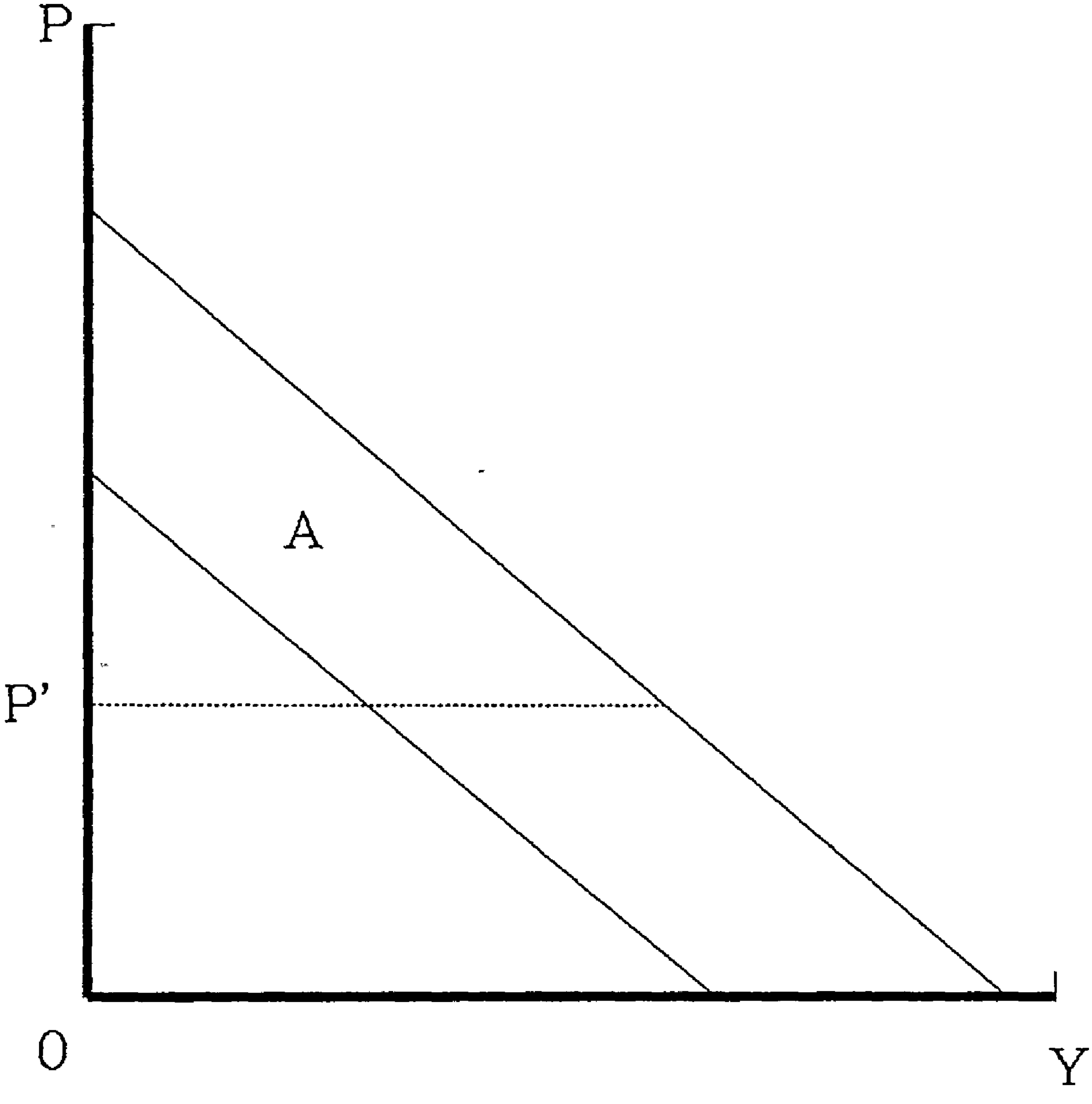


図 6−1　弱補完性による森林の公益的価値の表現

トック量の変化によって生じる、全ての財の集計的補償需要量の変化が引き起こす支出額の変化の総和（それはWTP^{S}のもう一つの表現である（６）で示されている）に等しく、こうした変化、をただ一つの財の集計的補償需要曲線のシフトによって表現している。矩形Ａの面積はまた、Ｑの変化によって生じる集計的消費者余剰の増加を示していると解釈される。したがって、森林の公益的（限界）価値に対して、この財の名を冠して呼ぶことは妥当なことだろう。例えば先ほどのミネラル・ウォーターの場合には、海外の森林が保全されることによって発生する日本社会の集計的支払い意志額は、この森林の（日本社会にとっての）水質価値を表していると見なすことができる。

さて多くの場合において、森林が人々にもたらしている公益的サービスは、１種類だけではない。以上の弱補完性あるいは需要の相互依存性の仮定に基づく考察を、ｋ種類の財に拡張しておこう。再度、ある一人の経済主体に関して考察する。その補償需要関数を２つのグループに分類し、${}^{t}x^{*}=({}^{t}y, {}^{t}z)$と表す。ここでｙは、Ｑと弱補完的な財の補償需要量を示すｋ次列ベクトル、ｚはそれ以外のｍ－ｋ次列ベクトルとする。各財の現在の価格を$p^{c}=(p', p'')$で表す。弱補完性の仮定により、

$$y(p^{\#}, p'', Q, u^{*})=\mathbf{0}$$

を満たす有限のある価格ベクトル$(p^{\#}, p'')$が存在し、もし$y=\mathbf{0}$ならば$u_{Q}=0$である。価格変化の経路$p^{c}\rightarrow(\infty, p'')$をｃで表す。さらにこの経路を２つに分けて$p^{c}\rightarrow(p^{\#}, p'')$を$c_1$、$(p^{\#}, p'')\rightarrow(\infty, p'')$を$c_2$とする。以上の設定で経路ｃに沿った次の線積分を考える。すなわち

$$\int_{c} y(P, p'', Q, u^{*})\,dP \qquad (11)$$

（１１）を変形すれば

$$\int_{c} y\,dP=\int_{c1} y\,dP+\int_{c2} y\,dP=\int_{c1}(\partial e/\partial P)\,dP+0$$
$$=e(p^{\#}, p'', Q, u^{*})-e(p', p'', Q, u^{*})$$

を得る。これをＱで偏微分し、弱補完性の仮定を利用して変形すると

$$\partial\left[\int_{c} y(P, p'', Q, u^{*})\,dP\right]/\partial Q$$
$$=-\mu\,u_{Q}(0, z, Q, u^{*})-\partial e(p^{c}, Q, u^{*})/\partial Q$$
$$=-\partial e(p^{c}, Q, u^{*})/\partial Q \qquad (12)$$

を得る。最後の式から明らかなように、線積分（１１）のＱに関する偏導関数は

この経済主体の限界支払い意志額（あるいは限界補償受容額）を表している。また、（１２）は（８）と全く類似のものであることに注意されたい。異なるのは（８）ではｙがスカラーと見なされ、１変数の積分計算が含まれているのに対して、（１２）ではｙがベクトルであり、線積分の計算が含まれている点だけである。したがって、個人の支払い意志額（あるいは補償受容額）を導出するための手続き、そして社会全体の森林の公益的（限界）価値の導出するための手続きは、先にみたｙがスカラーのケースと全く同じであり、ここでは繰り返さない。

ただし、ｙがベクトルとなるケース、すなわち、ある森林と弱補完的な関係にある私的財が複数の場合に、注意しなければならないことがある。例として、森林がミネラル・ウォーターの需要と写真集の需要に相互依存的な関係を有するものとする。この場合、この森林はその公益的（限界）価値として、水質（限界）価値とグラビア（限界）価値の２つの価値を持っている。２つの価値（あるいは限界価値）を併せたものは、（１２）の被積分関数が支出関数の完全微分形式となっていることから、価格変化の経路とは独立である。しかし森林の公益的価値を構成する個々の価値は、一般に価格変化の経路によって変化する。つまり、はじめにミネラル・ウォーターの価格を無限大にしてから写真集の価格を無限大にするのと、その反対では個々の価値は異なる。したがって、ある森林の公益的価値を個々の価値に分類する場合には、いかなる価格経路の下でのものかを明確にしなければならない。また、個々の価値を独立して計測する場合、その総和は森林の公益的価値を表すものではないことに注意しなければならない。２番目の財（例えば写真集）の公益的価値は、１番目の財（ミネラル・ウォーター）の価格が無限大、つまりミネラル・ウォーターの需要量が０であり、選択する財のベクトルがｍ－１個に退化している状況で計測されねばならないのである。

さて、弱補完性あるいは需要の相互依存性の仮定が、成立しない場合について、考察しておこう。まず、第１の仮定すなわちnon-essential財の仮定が成立しない場合について。この場合には、補償需要曲線の左側の面積が無限大となり、森林のストック量でこれを微分することはできない。したがってこの仮定をはずすとこの方法は使用できないことに注意されたい。non-essential財とは、その財が消費できなくても人が生存可能な財である。このことはミネラル・ウォーターや写真集にはあてはまるが、生活するための土地などは該当しないであろう。

次に第2の仮定、すなわち$y=0$ならば$u_Q=0$を検討する。もし、この等式が成立しなければ$u_Q>0$である（これは効用関数がQに関して非減少関数という仮定による。非減少性は森林が経済主体にとって望ましいものならば成立するから、このように想定することは、多くの場合妥当であろう）。このとき（12）は次のように変更される。

$$\partial[\int_c y(P, p^{-}, Q, u^{\#})\,dP]/\partial Q$$
$$= -\mu u_Q(0, z, Q, u^{\#}) - \partial e(p^c, Q, u^{\#})/\partial Q = -\mu u_Q + MWTP$$

支出最小化問題の1階の条件から$\mu>0$であり、したがって$\int_c y\,dP < MWTP$である。このことは第2の仮定が満たされないと、このアプローチによる森林の公益的価値の計測は、理論的に過小推定となることを示している。

ところで第2の仮定が成立しない状況とはどのようなものだろうか。Randall(1987)は、あらゆる私的財と結びつかない森林の価値を存在価値と呼び、それは何らかの利他的な意識と結びついた価値であると論じている。これは森林が他の人に利用されることで生じる満足（代理価値）、将来世代がこの森林を利用できることに対して生じる満足（遺贈価値）、森林そのものに対する共感から生じる満足（固有価値）などである。また、これまでの静学的な枠組みからは逸脱することになるが、現時点での私的財の消費とは結びつかない価値として、供給サイドのオプション価値がある。これは将来その森林から何らかの効用を得るために、現在その森林を残しておこうとして支払われる金額である（正確には、将来のために支払われる総額はオプション価格と呼ばれる。オプション価値はオプション価格から期待消費者余剰を差し引いたものである。さらに詳細は例えばBishop(1987)を参照されたい）。

これらの価値が果たして存在するものなのか、またそれは理論的にどのように定式化され、いかなる方法によって実際に計測されるのかについては、議論のあるところである。とりわけオプション価値に関しては精力的な論争があった（1980年代のLand Economics誌を参照のこと）。ともあれ、これらの価値が存在すれば第2の仮定は満たされなくなる。したがってここで少なくともいえることは、弱補完性あるいは需要の相互依存性を利用して計測された森林の公益的価値は、存在価値やオプション価値の存在によって、過小評価されたものかも知れないということである。これは重要な留意点といえる。なぜなら、それはこのアプロー

チによる公的的価値の計測から開発が認められたとしても、なおも開発は、社会的には望ましいものではない可能性があることを示唆するからである。

（３）　間接的方法の実証分析への適用について

さて本節の最後に、以上の手法の実証分析への応用について考察しよう。本節のはじめに述べた方法では、全ての私的財について集計的補償需要関数を得ることが要求される。この厳しい要求は、弱補完性アプローチが利用可能な場合には緩められる。すなわち、ここでは森林の公益的価値を計測するのに、森林と相互依存的な私的財の集計的補償需要関数だけが必要とされる。しかしながら、いずれにせよ集計的補償需要関数を求めるという問題が、残っている。一般に集計的補償需要関数は観察不可能であり、市場で観察されるのは集計的非補償需要関数（Marshallの需要関数あるいは通常の需要関数と呼ばれる）である。したがって問題の中心は、集計的補償需要関数を通常の需要関数とどのように関連づけるかにある。

はじめに通常の需要関数から支出関数を導出する方法を検討する。支出関数が得られれば、それを価格で偏微分することにより補償需要関数は簡単に得られる（（２）式を参照）。この方法は、経済学において積分可能性問題として知られているものであり、現在の価格と需要量、森林のストック量、そして家計の支出を初期条件として偏微分方程式体系を解くものである。この系は、

$$\partial e(p, Q, u^{\#}) / \partial p = x(p, Q, e(p, Q, u^{\#}))$$

$$e(p, Q, u^{\#}) = p^c \cdot x(p^c, Q, I) = p^c \cdot x^c = I$$

と表される。ここでｘは通常の需要関数を示している。添え字ｃは現在の価格、あるいは需要量を示している。

残念ながら、この方法は現在のところあまり有用とは考えられない。理由は３つある。第１にこの偏微分方程式体系を実際に解くことのできる場合は限られていること、第２に通常考察される積分可能性問題と異なり、価格が０で数量が固定的な特殊な財、すなわち森林のストックＱが系に含まれていること、そして第３に上の偏微分方程式体系は個人に関するものであり、ｘは個人の通常の需要関数であること（したがって集計的需要関数ではないこと）、である。

最後の指摘に関連して、この系を集計レベルで利用するための条件に言及して

おこう。Johansson(1987)第５章によれば、その一つの条件は個人の間接効用関数が準ホモセティックであること、そして所得効果が所得水準とは独立で、かつ社会の全ての人々に関して同じとなることである。明らかにこれは厳しい（端的に言ってしまえば非現実的な）条件である。しかしながら、すべての私的財について補償需要関数を求める方法は、この偏微分方程式体系を解く以外にはない。今後、この方法が森林の公益的価値の計測のために用いられるようになるためには、より洗練された仮説と理論が開発される必要があるだろう。

次に、弱補完性（あるいは需要の相互依存性）が利用できる場合に関連して、Willig(1976)の近似方法に言及しておく。彼は、通常の需要関数から得られる消費者余剰（Marshallの消費者余剰）で、補償需要関数の消費者余剰（補償変分あるいは等価変分）を近似する際の相対誤差を定式化している。Ｓをある価格変化によるMarshallの消費者余剰（通常の需要曲線の左側の面積）とし、Ｃを補償変分、Ｅを等価変分とする。またη_{max}、η_{min}を、それぞれ考察の対象となっている価格の領域における、需要の所得弾力性の最大値と最小値とする。さらに所得（一定）をＩで表す。このとき、もし$|\eta_{max} A / 2I| \leqq 0.05$、$|\eta_{min} A / 2I| \leqq 0.05$、そして$|A / I| \leqq 0.9$ならば、次の不等式が成立する。

$$\eta_{min} |A| / 2I \leqq (C - A) / |A| \leqq \eta_{max} |A| / 2I$$

$$\eta_{min} |A| / 2I \leqq (A - E) / |A| \leqq \eta_{max} |A| / 2I$$

Willigによれば、比率$|A| / I$は価格変化による実質所得の相対的変化の尺度であり、それは多くの場合非常に小さいと見なされる。また、通常計測される所得弾力性は1.0の付近に集中する傾向がある。したがって、上の不等式で示された相対誤差は非常に小さくなる。それはしばしば需要曲線を推定する際の誤差よりも小さい。このことから人は、補償変分や等価変分の近似として消費者余剰を弁解無しに用いることができる。

以上のWilligの近似を森林の公益的価値の計測に適用すれば、補償需要関数を得ることにまつわる困難は解消するように思われる。しかしここでもいくつかの留意点が存在する。

はじめにこの近似式は個人に関して導かれていることに注意されたい。このためJohansson(1987)第４章は、集計された段階ではその誤差は無視できないという注意を与えている。ただしこの指摘は、Willigの近似が集計レベルでは役に立た

ないことを意味しているわけではない。このことを示すために、任意の経済主体（ｉ）の通常の消費者余剰をS_iで表し、補償変分あるいは等価変分と通常の消費者余剰の差（絶対値）をs_iで表すとする。このとき、集計レベルでの相対誤差は$\Sigma_i s_i / \Sigma_i S_i$である。さらに相対誤差が最大となる個人のそれを$\kappa$とすれば、任意の個人について$s_i \leqq \kappa S_i$である。これより次の関係を得る。

$$\Sigma_i s_i / \Sigma_i S_i \leqq \Sigma_i \kappa S_i / \Sigma_i S_i = \kappa$$

この不等式は集計レベルでの消費者余剰による近似が、少なくとも個人の最大相対誤差（κ）より大きくなることはないことを示している。したがってκが十分に小さいと考えられる場合には、Willigの近似法は集計レベルでも有用である。

以上の留意点に比べれば、以下で述べることは、この近似の適用に対してより深刻な問題を与える。第１に、これは消費者余剰に関する近似であって、消費者余剰の森林ストックによる偏導関数（すなわち森林の公益的限界価値）の近似ではないことが指摘できる。消費者余剰そのものの近似は、消費者余剰の変化の近似を意味しない。森林の公益的価値は消費者余剰（需要曲線の左側の面積）ではなく、図６－１のＡの面積（２つの需要曲線に囲まれた面積）によって計測されることを確認されたい。第２に、多くのケースにおいて、森林ストックは人々にとって割当された財、すなわち個人が自由に購入できない財と見なされる。しかし、Willigは割当された財の存在を想定していない。したがってWilligの方法を適用するためには、森林のストックが市場で自由に購入できるような状況での、仮想的な需要関数が用いられねばならない。Johanssonが、Neary and Roberts(1980)の仮想価格アプローチを用いて明らかにしたように、一般に仮想的な通常の需要関数は、割当の存在する場合、（市場で観察される）通常の需要関数と一致しない（Johansson(1987)第５章第５節、特に(5.17')式を参照のこと）。以上の２点を考慮すれば、補償された消費者余剰の偏導関数あるいはシフトに注目する弱補完性（あるいは需要の相互依存性）アプローチにおいて、Willigの近似がそのままうまく利用できる状況はごく限られたものであると結論づけねばならないだろう。

最後に、市場で観察された需要曲線が補償需要曲線と一致する特殊なケースに言及しておこう。スルツキー方程式（その導出は例えば西村和雄(1982)第３章を参照のこと）

$\partial x_i / \partial p_i = \partial x^*_i / \partial p_i - (\partial x_i / \partial I) x_i$

（ここでx_iは第ｉ財の通常の需要関数を示し、x_i^*は補償需要関数を示す。ｉは財を表す添え字である。またＩは所得である。）

から明らかなように、もし所得効果（$\partial x_i / \partial I$）が０ならば、通常の需要関数と補償需要関数は一致する。このことは割当のある財が存在する、しないに関わらず成立する。またJohansson(1987)第５章第５節で示されているように、割当のある場合の通常の需要関数とない場合の通常の需要関数は、所得が調整されるか一定かの点が異なっている。したがってこの差異は所得効果が０の場合にはなくなる。

このようにもし所得効果が０ならば、割当のあるなしに関わらず通常の需要関数と補償需要関数は一致する。したがって、これまで述べてきた困難な問題は解消することになる。ただし現実の世界を省みれば、この特殊なケースは、ごく限られた財についてのみ成立するものであると考えられる。所得効果が０ということは、他の条件が一定で所得が増加したとき、その財に対する需要量が変化しないような財である。この仮定を採用するに当たっては、財がこのような性質を持つものかどうかを十分に検討しなければならない。例えばある個人が、所得の増加に対して、水道水の消費を減少させミネラル・ウォーターの消費を増加させるならば、ミネラル・ウォーターという財は正の所得効果を持っている。したがってこの仮定の採用は支持されない。

なお、この特殊なケースを生じる効用関数として、しばしば用いられるものに言及しておく。それは準線形効用関数と呼ばれるもので、$u = v(x, Q) + y$のような形式を持っている。ここでｙはニュメレールであり、諸財の価格（および所得）はこの財に対する相対価格で表されている。準線形効用関数の場合、所得がある水準を超えると、それ以上の所得はすべてｙ財の消費に充てられることになる（Varian(1984)第７章参照）。したがってｙ財以外の財には所得効果は生じない。準線形効用関数は、消費者余剰にまつわる問題を回避して理論を展開するには都合よくできている。しかし、実際にこのような効用関数を持つ個人から社会が構成されていると考えることは、非現実的な想定といわざるを得ないであろう。

以上のように、間接的な方法は理論的には明快であっても、それを実際に利用するとなればさまざまな困難がある。このため、この手法を直接援用した実証研

究は存在しないようである。かわりに用いられているのは、異なるアプローチによるもの、あるいはこのアプローチのバリエーションとして森林の公益的価値の一部を計測するものである（これらについては次節以下で検討される）。しかし、本節のアプローチが、ミクロ経済学の思考様式に最も合致したものであることを強調しておく必要があるだろう。その思考様式とは、社会を構成する諸市場での価格と数量を観察することによって、経済問題（例えば森林の最適利用や保全／開発問題）に対する答えを見いだそうとする姿勢である。このため、多くのミクロ経済学的バック・グラウンドを持つ研究者にとって、この方法の実証研究への応用は、依然魅力的であるに違いない。また、今日の進んだ理論経済学と計量経済学の諸知見の中に、諸困難を解決するヒントが隠されていないとも限らない。本節でのこの方法の問題に関するさまざまな指摘は、間接的方法が無用であることを主張するものではなく、むしろ解決すべき課題として理解されるべきである。

3．コンティンジェント・ヴァリュエーション法

森林の公益的価値を計測するための最も直接的な方法は、実際に人々に（限界）支払い意志額や（限界）補償受容額を尋ねることであろう。ただし、社会の全ての人々にこれを尋ねることは費用の面で不可能に近い。したがって何らかの抽出によって人々（回答者）を選び、これらのサンプルから得られた結果を統計的に処理して、森林の公益的価値を求めることになる。このように社会から抽出された一定の回答者に対して、直接、支払い意志額や補償受容額を尋ねる方法は、コンティンジェント・ヴァリュエーション法（contingent valuation method）、あるいは略してＣＶＭと呼ばれている。

ＣＶＭで用いられる質問事項として最も素朴なのは次のようなものである。

① 開発の支払い意志額を尋ねる場合

質問項目：　ストック量$Q^{\#}$のある森林がQ^{*}まで開発される計画がある。この計画を変更して開発量をＱにするとすれば、あなたはいくらまで最大支払ってもよいと考えるか。

（Qの値を$Q^{*}<Q\leqq Q^{\#}$の間で変更して、この質問を繰り返せば回答者の限界支払い意志額を算出することができる。なお、開発の是非が問われている場合には$Q=Q^{\#}$の場合の質問だけを行えばよい。）

② 開発の補償受容額を尋ねる場合

質問項目： ストック量$Q^{\#}$のある森林をQまで開発するとすれば、あなたは少なくともいくら補償してほしいと考えるか。

（上と同様にQの値を$Q^{*}<Q\leqq Q^{\#}$の間で変更して、この質問を繰り返せば回答者の限界補償受容額が算出することができる。なお、開発の是非を求める場合には$Q=Q^{*}$の場合の質問だけを行えばよい。）

さて、ＣＶＭによって計算される森林の公益的価値は、人々の回答を基にしている。当然のことながら、それは果たして信頼できるものなのかという疑問が生じる。ＣＶＭによって森林の公益的価値が正確に推定されるためには、少なくとも次のような条件が必要である。

すなわち、第１に回答者はこの仮設的な質問の内容を正確に理解できていること、第２に回答者は自らの支払い意志額や補償受容額を正確に算出できること、第３に回答者はこれらの貨幣評価額を正確に算出しようとすること、第４に回答者は算出された値を嘘偽ることなく表明すること、以上である。

第１の条件は、森林が開発されるとどのような状態になるかを、回答者に十分理解してもらう必要があることを述べている。そのために質問者は写真やビデオ、コンピュータ・グラフィックスなどを用いて、開発後の状態をできるだけ正確に回答者に説明しなければならない。

第２の条件はこの手法の暗黙の前提ともいえる。人々は計算機ではないから、正確な計算を行うことはできない。それゆえＣＶＭは信頼できる方法ではないとする（外在的な）批判がある。この批判に対してＣＶＭ自身は答えることはできない。なぜならそれはＣＶＭの前提となっているからである。そのためにはＣＶＭとは異なる代替的な評価方法を用いて、それによる結果とＣＶＭの結果を比較する他はない。このような評価方法の一つはすでに第２節で検討された。しかし、後に議論されるように、この手法によってＣＶＭを完全に代替できるようなケー

スはそれほど多くはないと考えられる。

第3の条件は、調査の結果がこの森林の利用および回答者の所得に影響を与えるということを、回答者に信じ込ませる必要があることを述べている。開発後の状態を十分に理解し、それに応じて自らの支払い意志額等を算出するには、ある程度の努力が要求される。もし調査結果が森林の利用と回答者の所得になんの影響も及ぼさないならば、回答者は適当に答えてしまうであろう。

Randall(1987)は、算出が不正確となる場合には支払い意志額は過小に表明され、一方、補償受容額は過大に表明されると述べている。例えば補償受容額を計算するには、現在の効用水準を開発後も維持するために必要な最小限の支出額を算出しなければならない。補償受容額とは、この支出額から現在の支出額を差し引いたものである。したがって回答者は費用最小化問題を解かねばならない。もしこの支出額の計算が不正確ならば、それは最適解（最小化された費用）よりも大きくなる。したがって不正確な回答者によって表明される補償受容額は正のバイアスを持つことになる。一方、支払い意志額に関するRandallの指摘は、必ずしもあてはまらない。第4章では開発後の最小支出額から開発変更後の最小支出額（効用水準を開発後の状態にとどめる最小支出額）を差し引いたものが、支払い意志額とされていた。したがって支払い意志額を計算するためには、回答者は2つの費用最小化問題を解かねばならない。どちらの解も不正確であれば、最終的に得られる支払い意志額が正負いずれのバイアスを持つかは決められない。支払い意志額が負のバイアスを持つといえるのは、開発か保全かの二者択一問題のときのみである。この場合には開発後の（計算された）最小支出額と現在の（実際の）支出額とを比較することになるからである。

第4の条件は、回答者が戦略的な行動とること（自らの支払い意志額を偽って表明すること）を未然に防ぐことと言い換えることができる。例として、開発が縮小されたり行われなくなった場合、人々は回答した支払い意志額に応じて比例的な金額を支払うものとしよう。この場合、回答者の戦略は、真の支払い意志額よりも少ない額を回答することになる。なぜなら実際の支払い額は、過小な回答をしたおかげで小さくなる一方で、他の人々が正確な回答をすれば、実際に採用される森林利用は真の支払い意志額を支払ってもほぼ満足のいくものとなるからである。また、もし他の回答者も過小申告すると考えられる場合にも彼は過小申

告をするであろう。なぜなら、他の人々が過小申告をすることによって、この回答者に対する負担は大きくなるからである。これは公共経済学でフリーライダー問題と呼ばれる問題である。

別の例として、回答者の表明する金額によって森林の利用は決定されるものの、社会の人々は決して支払い意志額を徴収されることはないとしよう。このケースでは回答者の戦略は過大申告をすることになる。その理由は明らかであろう。

このように質問の形式によって、回答者が表明する支払い意志額は、真の値より過小になったり過大になったりする可能性がある。したがって、回答者に真の支払い意志額を表明させるような質問方法を考えねばならない。実際のところ、バイアスを持たない質問方法の確立がＣＶＭ研究の主要な課題となっている。このような質問方法は、需要顕示誘導策と呼ばれるものであり、柴田・柴田(1988)第４章第５節ではクラーク機構を含む２つの方策が紹介されている。また、多数決方式を利用した方法が、Randall(1987)では示唆されている。ただし、Gibbardの一般可能性定理によって、何らかの特定化を伴わない限り、真の支払い意志額を表明させるような質問方法は存在しないことが、証明されている（奥野・鈴村(1988)第３６章を参照のこと）。例えばクラーク機構を用いる場合には社会の人々の効用関数に準線形性が必要とされる（奥野・鈴村(1988)第３３章）。しかしながらこのことを逆に考えれば、何らかの特定化が許される状況では、ＣＶＭによって回答者の支払い意志額を正確に知ることは可能であると言い換えることができる。

なお、戦略的行動に関するもう一つのアプローチとして、Bohm(1979)の方法を紹介しておく。彼は上述の２つの質問が、それぞれ互いに反対の方向のバイアスを持っていることに注目する。社会から２つのサンプルを取り出し、それぞれに異なる形式の質問を行うとしよう。すなわち一方は実際に支払い意志額を支払わねばならず、もう一方は支払うことは決してないという形式である。もし、２つのサンプルの平均支払い意志額が等しければ、戦略的バイアスが存在するという仮説は棄却されるだろう。また、平均支払い意志額に差があれば、それは真の支払い意志額が含まれる区間を指定するのに利用できる。Bohmの方法は回答者に戦略的行動をさせないようにするのではなく、その存在の可能性を認めた上でこれを統計的に処理しようとするものである。

以上のように、ＣＶＭを利用するためにはさまざまな注意が必要である。しかしながら、その支持者はＣＶＭはそれでもなお、公益的価値の計測のための優れた手法であると主張する。その主要な理由は、ＣＶＭだけが森林の公益的価値を総合的に評価することができるというものである（Randall(1987)）。実際のところ、現在用いられている価値評価手法はＣＶＭ、第４節で検討するトラベル・コスト法、そして第５節で検討されるヘドニック法の３つにほぼ限られている。あとの２つの手法は、森林の公益的価値の一部しか計測することができない。また、第２節でみたように、間接的な方法は、理論的にはＣＶＭと同様に総合的な価値の計測が可能だが、現在のところ実証分析に利用するにはさまざまな困難がある。

これらを考えれば、RandallのようなＣＶＭの支持者たちの主張は肯首できるものといえる。しかしながら、ＣＶＭにもさまざまな問題点がある以上、他の方法の問題点のみを挙げて、ＣＶＭの優位を説くことは必ずしも適切なことではない。おそらくＣＶＭの有用性は次の観点から主張されるべきであろう。ＣＶＭでは森林が開発される前に事前にその公益的価値を計測できる。これに対して、需要関数による間接的な方法は、事後的にしかそれを計測できない。すなわち、それは時系列データ、あるいはクロス・セクション・データを基にして、補償需要曲線のシフトを観察することによって、森林の公益的価値を計測するものである。この手法の背後にある暗黙の仮定は、検討される森林と同質の森林が過去に存在していた（時系列データの場合）か、あるいは現在存在する（クロス・セクション・データの場合）ということである。より洗練された言い方をすれば、それは森林の質を何らかの特性（林相、樹種、樹齢等）の関数として一般化できるという仮定である（これはLancaster(1966)流のとらえかたである）。したがって、もしある森林が過去および現在の他の森林とは比較できないような特性を持つものならば、失われた森林とこの森林を同じようなものと見なして、その公益的価値を計測することは意味を持たないであろう。このようなケースでは間接的な方法は無力である。ＣＶＭは特別な森林、言い換えれば森林として一般化されないような森林に関しては、現在のみならず将来的にも有用な手法であるということができる。公益的価値の評価が求められるような森林には、このような森林が多く含まれている。例えば知床の原生林の伐採のような問題に対しては、現在のところＣＶＭが唯一利用可能な価値評価方法であるといえる。

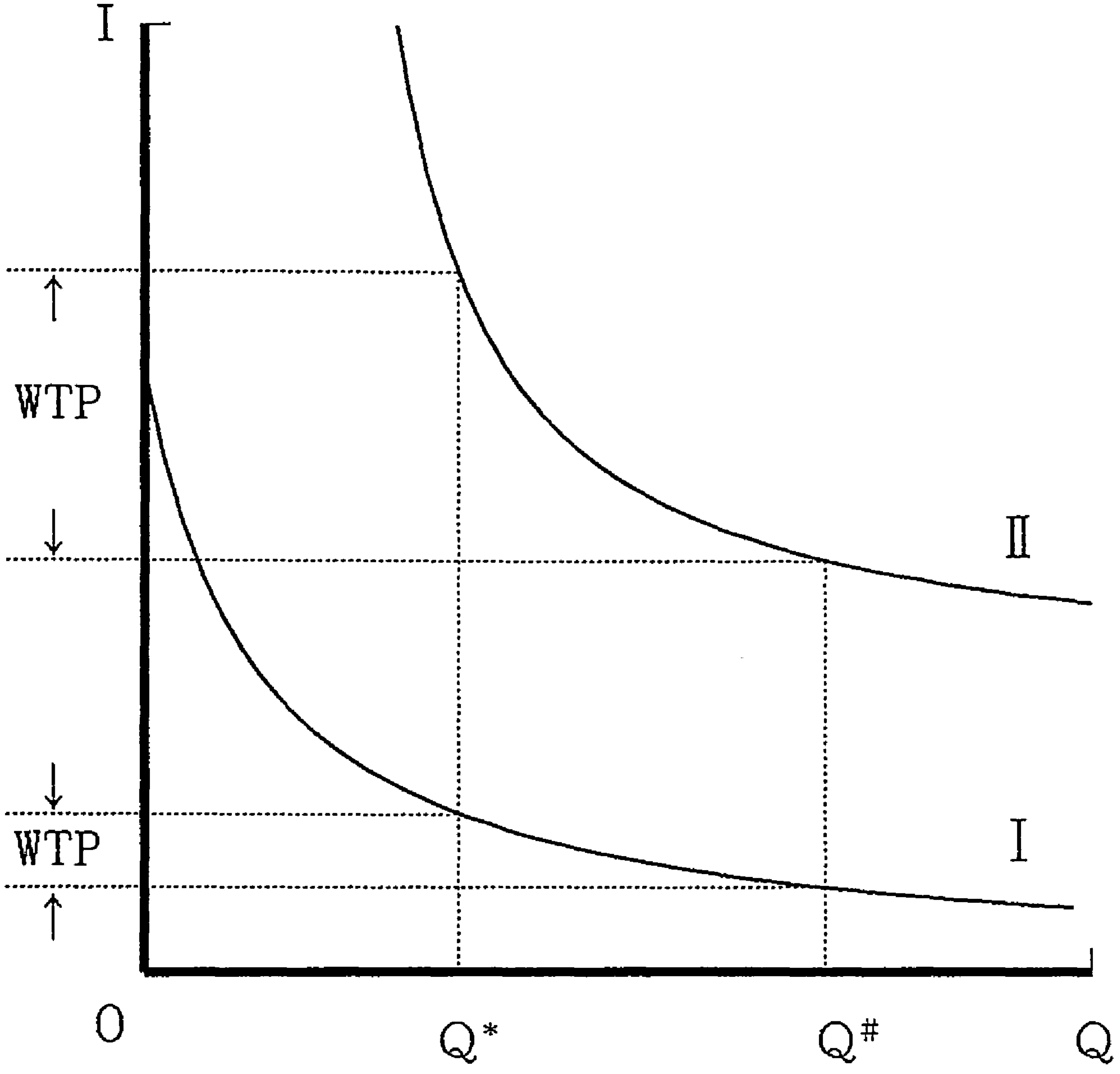


図 6－2 支払い意志額

本節の最後に次のような興味深い問題を考察しよう。ＣＶＭによって支払い意志額が計測され、ある森林（Ａ）が保全されているとする。次に別のある森林（Ｂ）に開発計画が持ち上がり、開発すべきか保全すべきかについて、ＣＶＭによって支払い意志額が尋ねられようとしている。このとき、森林Ａに対する支払い意志額が、実際に徴収されている場合とされていない場合では、森林Ｂの公益的価値は異なるであろうか。

容易に予想されるのは、徴収されない場合の方が支払い意志額は大きくなるということである。図６－２はこの予想を図化している。図の２つの曲線は、森林Ｂのストック量と所得に関するある個人の効用の無差別曲線である（仮定として、個人の効用関数は厳密な単調増加準凹関数とする。第４章参照）。ここで曲線Ⅰは森林Ａの保全のための支払い意志額が徴収されているケースを表し、曲線Ⅱはそうではないケースを表している。図からわかるように、この予想が成立するのは、森林Ｂのストック量が正の所得効果を持つ場合と言い換えることができる。すなわち、森林Ｂが正常財であればこの予想は正しい。正常財とは、ある一定の価格の下で、所得が多ければ多いほどその消費量も多くなるような財である。森林はその消費量を自由に変化させられるわけではないが、無差別曲線の形状は正常財（私的財）のそれと準ずるものであると想定することは、それほど非現実的な仮定ではない。したがって、多くの場合にこの予想は成立するものと見られる。

この予想が成立する場合、次のような結論が導かれる。すなわち、もし、ある森林の保全に対して、徴収されるべき支払い意志額が実際には徴収されないのであれば、別の森林に関する支払い意志額は過大に計測され、したがって本来開発されるべき森林が開発されなかったり、社会的に最適な水準以上に森林が残される可能性がある。

森林の公益的価値の評価がＣＶＭによって行われ、その結果開発が変更されたり行われなかったりしても、開発を断念することで発生する費用が、人々から徴収されることはほとんどない。このような状況で行われるＣＶＭの結果は、かりに理想的な計測環境におけるものであっても、過大なものとなっている可能性がある。ＣＶＭによる森林の公益的価値の計測を行い、その結果を解釈する場合には、この点が配慮されねばならない。

４．トラベル・コスト法

（１）　理論

ここでは、森林レクリエーションに関連する価値を計測する方法を検討する。それは森林レクリエーションに要する旅行費用に注目するものであり、トラベル・コスト法（travel cost method）あるいは略してＴＣＭと呼ばれる。

1949年、アメリカ合衆国の国立公園局は１０人の経済学者に次のような手紙を送った。「ある森林があってその森林を木材生産や鉱物採取に利用する場合、経済的な利益が得られるとする。にもかかわらずこの森林を国立公園として利用していくことを正当化するために、現在の森林が発生している経済的便益を測定するための方法を示唆してほしい。」

この質問に対するHotellingの回答がＴＣＭの起源となった（McConnell(1985)による）。それは、「レクリエーション施設を地図に書き入れ、その周辺に同心円あるいはゾーンを書き入れよ。同じゾーンに住む人は、その中の公園施設を訪れるのにおおよそ等しい交通費がかかるとする。より遠隔のゾーンに住む人々はより高い交通費を支払い、近くに住む人は割安の費用を払うであろう。各ゾーンの費用、距離、人口を注意深く解釈することによって、現在の森林が発生している経済的便益に関する適切な需要曲線を描くことができる。」というものである。

Hotellingの回答の背景にある考え方は、森林レクリエーション・エリア（以下、単に森林と略述する）の訪問者は、彼らが支払う費用以上の便益を得るから、そこを訪れるということである。社会を構成する個人（あるいは家計）を森林の訪問に要する旅行費用の観点から分類し、同じグループ（ｉとする）に属する個人は同じ旅行費用（C_i）を支払うとしよう。異なるグループには、異なる旅行費用と異なる延べ訪問者数が観察されるだろう。すなわち、財の価格が変化するときに異なる需要量が観察されることと類似のことが、旅行サービスについても観察される。ただし各グループは人口（あるいは家計数）が異なるから、それを規準化するために、訪問者数ではなく訪問率（延べ訪問者数／人口）が、財の需要量に相当することになる。いったん、旅行費用と訪問率の組がいくつか観察されれば、それをもとに旅行サービスに関する需要曲線が推定できる。図６－３に示されたこの需要曲線は、レクリエーション需要曲線と呼ばれている。そして、ある

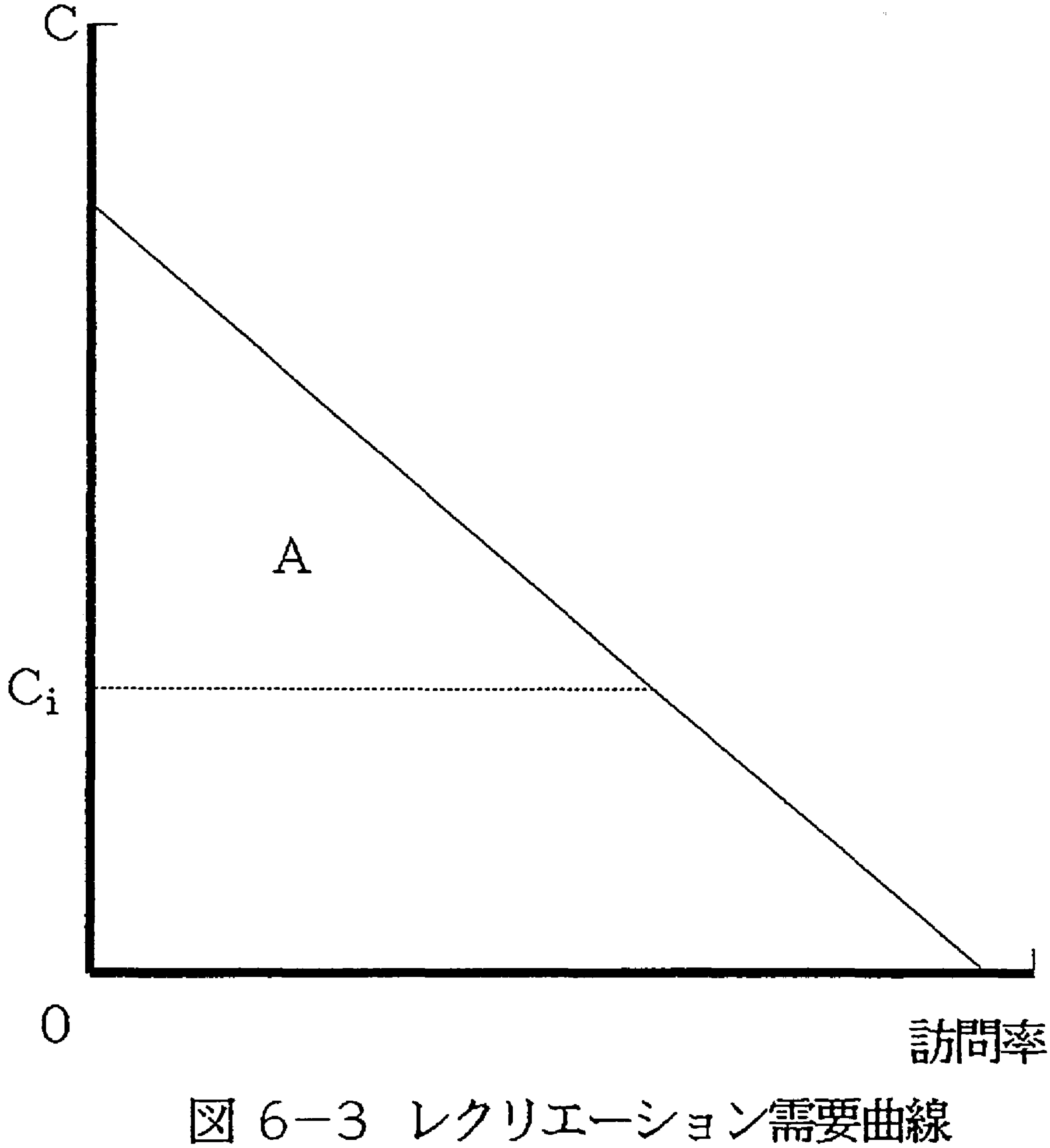


図 6−3 レクリエーション需要曲線

グループ（ｉ）の消費者余剰（Marshallの消費者余剰）は、図中の三角形Ａにその人口を乗じたものとして表される。すべてのグループについて消費者余剰を計算し、それを合計すれば、森林が社会に供給しているレクリエーション便益（フロー）を貨幣単位で評価できることになる。さらに何らかの割引率を用いて便益フローを割ってやれば、森林のストックとしての価値が得られる。

以上がＴＣＭの考え方であり、その発想は極めて単純明快で素朴である。そして興味深いことに、この方法は、第２節でみた弱補完性（あるいは需要の相互依存性）アプローチによって理論的基礎を与えることができる（このことを示したのはMäler(1974)第５章である）。

厳密さを期すために、ここでは通常の需要関数（上述のレクリエーション需要関数）と補償需要関数は一致するものと見なそう。あるいは、Willigの方法によって、通常の消費者余剰で補償変分（あるいは等価変分）が近似できるものとしよう。なお、これらの想定の背後にある仮定は、ある森林に対する訪問回数は所得とまったく（あるいはあまり）関係がないというものである。次に、森林の存在と旅行サービスの間には需要の相互依存性があるとする。すなわち、旅行サービスの価格（旅行費用）が余りに高くなると、その需要は０となる（森林は訪れられなくなる）。そして、森林を訪問しない人々の効用水準は、森林が開発されたり閉鎖されても影響を受けない。

以上の仮定の下で、この森林がレクリエーション利用されることによって生じる集計的支払い意志額（あるいは閉鎖されることによって生じる集計的補償受容額。いずれも限界がつかないことに注意されたい）は、図６－３の三角形Ａで表されることになる。なぜなら、閉鎖された状態ではレクリエーション需要関数は、旅行費用の大小に関わらず、旅行費用サービスに対する需要量が０という半直線となり、２つの需要曲線によってつくられる消費者余剰はＡと一致するからである（第２節図６－１の矩形Ａと比較されたい）。

（２）　実証分析に応用する際の留意点

このようにＴＣＭは簡単な考え方に基づいており、それは理論的にも明快である。さらにもし旅行費用を交通費と見なすことができるならば、それは訪問者の所在地から推定できる。したがって厳密さを問わなければ、レクリエーション需

要関数の計測は容易である。このためアメリカ合衆国の自然公園を対象として行われたClawson(1959)の研究以来、これまで無数の実証研究が行われてきている。そしてその一方で、この手法を実証分析に用いる際の問題点や課題もまたかなりな程度明らかになりつつある。ここではこれを経済学と統計学の2つの観点に分けて論じよう。

はじめに経済学上の問題点について指摘する。第1に旅行費用とはいったい何かという問題がある。実際に支払われる費用のみを旅行費用と考えるのは不十分であり、旅行に要する時間や森林での滞在時間の機会費用をも考慮しなければならないのではないか、というもっともな指摘がこの問題を生み出す。旅行費用を得るためには、時間の価値をまず計測しなければならない。この問題に対して、例えば賃金率に1/3を乗じたものを用いる（Cesario(1976)）、賃金率に一定の係数を乗じたものを時間の価値とし、その係数をレクリエーション需要関数のパラメータの一つとして推定する（McConnell and Strand(1981)）などの方法が提案されている。しかし、時間の価値が賃金率の線形関数であるという仮定は、理論的に支持できないことが知られている（Smith他(1983)。赤尾(1991a)も参照されたい）。

さて、いったん時間の価値に対して考慮を払わねばならないことになると、それが線形であれ非線形であれ、森林への訪問に対して同じ費用を支払うグループを見つけだすことは容易ではない。Hotellingの指示に従って地理的にゾーンを区分するだけでは、同じ費用のグループを分類したことにはならない。なぜなら、地理的なゾーンによって分類されたグループは、時間の価値の異なる人々を含んでいるからである。この問題に対して正攻法をとるならば、ゾーン区分をした後で、さらに時間の価値がグループ内では一定となるように、賃金率や所得、旅行回数などの観点から再区分を行うことになる。しかし、この方法に必要なデータを収集するには多大な労力が要求され、多くの場合、それは不可能であるといわざるを得ない。

もう一つの深刻な問題は多目的旅行である。これは訪問者が一回の旅行で複数の訪問先を持つ場合に発生する。例えばある人が森林と博物館に訪問する場合、森林のために支払った旅行費用と博物館のために支払った旅行費用とを、いかにして分離し識別できるだろうか。さらに面倒なことに、このような多目的旅行の

問題は、１つの森林への訪問でも生じる可能性がある。なぜなら、森林までの移動の間にも人々は美しい景色を見たり、クルマを走らせたりすることで、効用を得ている可能性があるからである。多くの訪問者がこうした多目的旅行を行っている場合、他の旅行先を無視してＴＣＭを行うと、その結果は森林のレクリエーション価値を過大推定することになる。

次に統計学上の問題を述べる。問題を明確にするために、まずＴＣＭによる森林の公益的価値（レクリエーション価値）計測の手順を説明しよう。単純化のために、ここでは全ての関係を線形で表現することにする。まず、社会は旅行費用の観点から$m \times n$個のグループに分類されたとしよう。任意のグループG_{ij}（$i=1,2,\cdots,m$, $j=1,2,\cdots,n$）は、地理的分類iと時間の機会費用による分類jによって他のグループから区別されている。さて、G_{ij}に属する家計の数をR_{ij}で表す。また、森林を訪れた年間延べ家計数をr_{ij}で表す。その要する交通費をc_i（既知）とする。また旅行に要する時間の機会費用を$\alpha_j t_i$で表す。ここでα_jは時間の価値を表す未知のパラメータ、t_iは旅行時間（既知）である。以上から、グループG_{ij}の旅行費用C_{ij}は$C_{ij}=c_i+\alpha_j t_i$となり、レクリエーション需要関数は

$$r_{ij}/R_{ij}=A(c_i+\alpha_j t_i)+B=A_1 c_i+A_{2j} t_i+B$$

で表される。ここでＡ、Ｂは未知のパラメータである。また被説明変数が、グループの人口で規準化されていることに注意されたい。

さて、上の推定式の説明変数はc_iとt_iであり、α_jあるいはA_{2j}を推定するための情報がない。したがってこのままでは推定は不可能である。考えられる一つの方法は、α_jあるいはA_{2j}を所得や賃金率等と関連付けた関数で表現することであり、もう一つはjを固定して（したがってα_jを定数として）、ｎ個のサブ・グループG_jのそれぞれについて推定することである。ここでは後者の方法をとることにしよう。この方法の利点としては、第１に時間の価値に対して先験的に関数型を与えなくてよいこと、第２にサブ・グループ間でA_1及びＢの値を異なるものとしても推定できること、第３にチャウ・テストを用いることによって、時間の価値に関するグループ分けが適切なものかどうかをチェックできることが挙げられる。ただし、既に述べたようにグループ分け自体が、困難な問題を含んでいる。また、サブ・グループでの推定が信頼できるものとなるだけの、十分なデータ数

を確保しなければならない。

さて、パラメータA_1、A_{2J}そしてBを推定すればレクリエーション需要関数が得られる。また、$\alpha_J = A_{2J} / A_1$の関係を利用して時間の価値が計算できる。これらが得られれば、森林の公益的価値を求めるための積分計算は容易である。

以上のモデルを基に統計学上の問題を検討しよう。なおここでの指摘は、基本的にMcConell(1985)に依っている。まず第1に挙げられるのは多重共線性の問題である。交通費と旅行時間の間に強い相関関係があることは容易に想像されるが、そのために多重共線性の問題が生じる。多重共線性が生じると上述のパラメーターA_1、A_{2J}の値は不安定なものとなる。もし、滞在時間が訪問者によってさまざまで、また移動時間と同じオーダーかそれ以上のオーダーであれば、心配されるような相関関係そのものが見られないかもしれない。また、かりに相関関係がみられても、説明変数の直交化変換が可能ならばこの問題は処理できる。ただし、いずれにも該当しない場合には、時間の価値はレクリエーション需要関数を推定する以前に別の形で推定しなければならない。

次に不均一分散の問題に移ろう。不均一分散の問題は、費用の観点から区分された個々のグループの総家計数（母集団）が異なるために、観測された訪問者数（標本）の分散を一定とみなすことはできないという問題である。これに対しては一般化最小二乗法によって推定するか、あるいは分散安定化変換のような変数変換の技法を用いることを考えておかねばならない。

最後に、関数型の特定化の問題がある。上の例では線形関数を用いているが、一般に関数型は先験的に決められるものではない。このため、Box-Cox変換等の技法の利用を考慮しておく必要がある。

以上のようにＴＣＭの考え方が明快かつ素朴ではある一方で、それを実際に適用するとなると、いくつかの困難な問題をクリアーしなければならないことがわかる。さらに、もしこれらの問題が解決されたとしても、ＴＣＭによって推定された森林の公益的価値は、真の値に比べて理論的に過小推定になる可能性がある。このことは、森林がレクリエーション価値以外の価値を持つ場合には当然だが、森林レクリエーション価値に限ってもなお、過小推定となる可能性がある。ここではこのことに触れておこう。

1964年の論文でWeisbrodは、次のような問題を提示した。「国立公園の運営に

ついて、もしそれが訪問者の消費者余剰をすべて徴収できる差別的独占者によって行われている場合でも運営費用が賄えないのならば、国立公園はその訪問者に対して森林レクリエーション・サービスの供給をやめて、木材生産や鉱石採取にその用途を転換すべきだろうか。」

差別的独占者による料金徴収とは、旅行費用アプローチで推定された森林の公益的価値が全て徴収されることを意味する。にもかかわらずその運営が赤字となっているケースを彼は考えたのである。続けて彼は次のように推論する。「しかし、将来においてこの公園を訪れるかも知れないと考えながら実際には決して訪問しない人々が存在し、彼らは将来においてこの公園を訪れることの選択権（オプション）を確保するためにいくらかの金額を進んで支払おうとするであろう。」

Weisbrodはこの支払い意志額をオプション価値と名付けた。第２節でも述べたようにオプション価値が存在すると、弱補完性（あるいは需要の相互依存性）の仮定は成立しなくなる。すなわち、（正の）オプション価値が存在すると、ＴＣＭによる森林の公益的価値の計測は過小推定となる。

本節の最後に、ＴＣＭを用いた興味深い論文をいくつか紹介しておく。一つは、ＴＣＭを森林の価値ではなく、開発の便益に用いたCicchetti他(1976)である。彼らは、森林がスキー場として開発される場合に発生する便益を、ＴＣＭによって計測している。その方法論上の特徴は、一つの森林の開発による他のスキー場に対する影響が考慮されている点である。彼らの結論は、計測結果に対する慎重な考察をしてもなお、スキー場開発の便益はその費用を上回りそうにないというものである。

注目すべきもう一つの論文として、Brown and Mendelsohn(1984)を挙げておこう。これまでの説明から、ＴＣＭは、開発か保全かという二者択一問題にのみ利用されるものと考えられる。彼らの論文はこの制約が緩められることを示唆するものである。彼らは、ワシントン州の河川における釣りのレクリエーション需要関数を、その河川の特性と関連づけて計測した。もし特性が基数的な数値で表現できるならば、ある森林の開発の程度は、その数値の変化によって表現される。そして、レクリエーション需要関数が特性の関数として計測されるのであれば、開発の程度に応じて森林の公益的価値の変化が計測できることになる。彼らの計測そのものは、必ずしも成功したものとはいい難いが、企図されているＴＣＭの

理論的拡張は、非常に興味深いものがある。

5．ヘドニック法

(1)　ヘドニック価格式とその解釈

本節では宅地価格に注目して、森林の公益的価値を計測する手法を検討する。それはヘドニック法と呼ばれる方法の森林に対する応用である。

宅地の価格は、周辺地域の公共施設の有無、通勤や通学の条件、森林や緑地といった生活環境によって決定されると考えられる。ここで宅地価格をＰで表し、生活環境を構成するこれらの個々の要素（特性あるいは属性と呼ばれる）をベクトル(Ｑ，ｚ)で表そう。Ｑは宅地の周辺の森林のストック量を示すスカラーであり、ｚはその他の環境特性を表すベクトルである。もし、宅地価格Ｐとその宅地の特性(Ｑ，ｚ)をセットとする一連のデータが得られれば、宅地価格関数Ｐ＝Ｐ（Ｑ，ｚ）が推定できる。この関数はヘドニック価格式と呼ばれ、このような関数で表現された宅地価格はヘドニック価格と呼ばれている。なお、ヘドニック（訳すと「快楽的」）という言葉は、ヘドニック価格式を最初に用いたCourt(1939)に由来するが、この言葉に特別な意味はない（太田(1980)第５章脚注を参照のこと）。

さて、ヘドニック価格式をＱで偏微分すると、森林のストック量の限界的な１単位の増加に対する宅地価格の変化がわかる。直観的に、この偏微分係数は森林の限界価値を表していると予想される。もしそうであれば、それは宅地価格に反映された森林の価値であり、おそらく森林が生活環境の面で果たしている機能を反映しているはずである。したがってそれは、森林の生活環境限界価値を表すものといえる。このような考え方に基づくものが、最も素朴なヘドニック法である。

しかし、この方法は観測値を単に機械的に処理するものに過ぎない。ヘドニック価格式の偏微分係数を森林ストック量の限界価値と見なすためには、当然のことながら一定の仮定に基づいた理論が必要である。また、その諸仮定は現実的な観点からその妥当性が検討されねばならない。そこでまず、ヘドニック価格式を市場均衡の観点から理論づけたRosen(1974)に依拠して、その偏微分係数が何を表しているのかを考察しよう。

社会にはさまざまな特性を持つ宅地が存在し、社会全体で特性の集合は凸集合であるとする。そして、その集合の任意の要素(Q, z)に対応して宅地価格が存在し、ヘドニック価格式が1回連続微分可能な関数$P=P(Q, z)$で表されるとする。Rosen(1974)はヘドニック価格式を市場均衡の結果、得られるものと見なして、市場価格線と呼んでいる。ここでもそのような考えに基づき、これを市場価格線と呼ぶことにする。さて、特性(Q^*, z^*)で表されるある宅地を、面積m^*だけ購入する個人について考えよう。この個人は市場価格線を所与として、次の効用最大化問題を解いていると考えられる。すなわち、

$$\max\ u(I, m, Q, z) \quad \text{subject to}\ I^{\#}-[I+mP(Q, z)]=0$$

ここでuは連続微分可能な効用関数である。また、Iは宅地以外の財に購入される支出額を示し、$I^{\#}$は所得を表す。この問題の最適解は(I^*, m^*, Q^*, z^*)であり、最適解が満たす1階の条件は次のようになる。

$$u_I-\lambda=0$$
$$u_m-\lambda P=0$$
$$u_Q-\lambda m P_Q=0$$
$$u_z-\lambda m P_z=0$$
$$I^{\#}-(I+mP)=0$$

次に1階の条件をPについて解くことを考えよう。この偏微分方程式を含む連立方程式は、解くことができるものとする。このとき任意の(m, Q, z)に対して$P=P(m, Q, z)$が得られる。それはある宅地(m, Q, z)をこの個人が選択するとき、彼が市場に対して提示する非補償支払い意志額を表している（正確には宅地面積1単位当り非補償支払い意志額である。ただし、宅地面積1単位当りという言葉は誤解の恐れのない場合には省略することとする）。この非補償支払い意志額は、唯一(m^*, Q^*, z^*)で市場価格線と一致するだけで、それ以外の点では市場価格線とは異なる値をとることに注意しよう。ここでは、市場価格線との混乱を避けるために、個人を示す添え字iを用いてこれを

$$P^i=P^i(m, Q, z)$$

と表すことにする。

さて、社会にはさまざまな個人が存在し、その個々人に対してP^iを考えることができる。また、ある特性(z, Q)を持つ宅地に対して、最も高い価格をつけた人

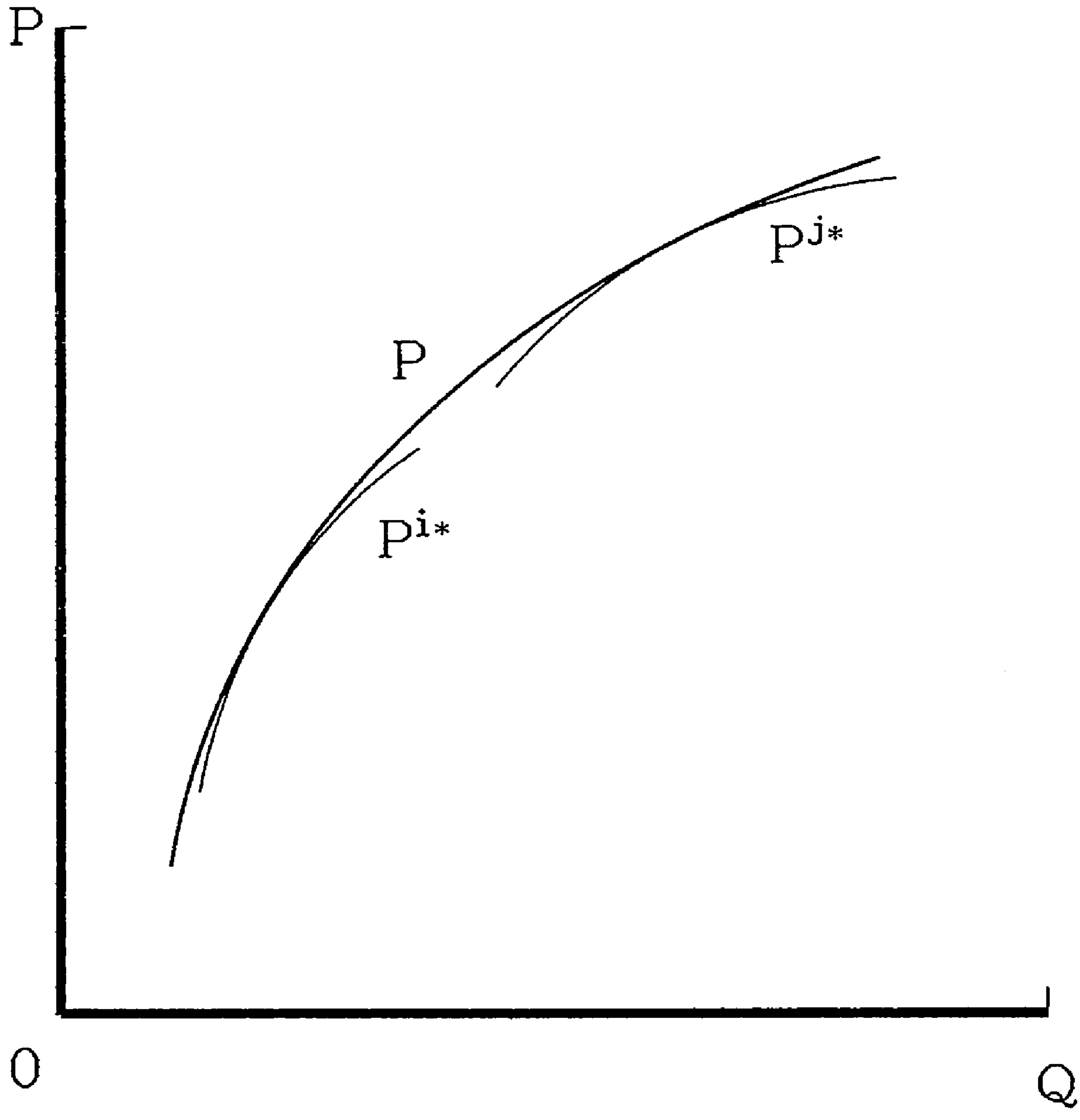


図 6－4　支払い意志額曲線と市場価格線

がこの宅地を購入することができる。そのために、個人は彼自身が提示できる最も高い価格P^{*i}を宅地(z，Q)に付けねばならない。以上から、

$$P(Q,z)=\max_i[\max_m P^i(m,Q,z)]=\max_i P^{*i}(Q,z)$$

であり、市場価格線は個々人の最大非補償支払い意志額曲面P^{*i}の上方包絡面となるはずである（P^*_iはQ－z空間の曲面を表していることに注意されたい）。この考えにしたがって、図6－4は森林のストック量Qに関して、個々人のP^{*i}と市場価格線の関係を描いている。任意の個人iに対してP^{*i}は、

$$P_Q^{*i}=(u_Q^i/\lambda)/m$$

を満たしている。図からも明らかなように、ある個人が購入する宅地において、市場価格線とその支払い意志額曲線は接することになる。すなわち、市場価格線の偏微分係数は、その宅地を購入する個人の非補償支払い意志額曲線の偏微分係数（$(u_Q^i/\lambda)/m$）と一致する。したがって宅地価格PのQに関する偏微分係数は、個人の宅地面積1単位に対する森林の（非補償）生活環境限界価値を表している。これがヘドニック価格式の偏微分係数についての一つの解釈である。

以上の見解はFreeman(1979)及びJohansson(1987)第7章に見られるものである。しかし以前の節では、支払い意志額は効用水準を一定に保った補償支払い意志額として議論されてきた。したがって、以前の節との整合性を保つために補償支払い意志額の観点から、ヘドニック価格式を解釈する必要がある。そこで、上で示された効用最大化問題を解くことによって得られる効用水準を$u^{\#}$とし、次の支出最小化問題を考える。

$$\min\ I+mP(z,Q)\quad \text{subject to}\ u=u^{\#}$$

この支出最小化問題の解は、上の効用最大化問題の解と一致する（その理由については本章第1節を参照のこと）。最適解が満たす1階の条件は、内点解の場合、

$$1-\mu u_I=0$$

$$P-\mu u_m=0$$

$$mP_Q-\mu u_Q=0$$

$$mP_z-\mu u_z=0$$

$$u^{\#}-u=0$$

と表される（ここでμはラグランジュ乗数である）。一方、効用水準を$u^{\#}$にとどめて効用関数を所得IとQで全微分すれば$du^{\#}=0=u_I dI+u_Q dQ$である。

したがって、限界支払い意志額（MWTP）は1階の条件を利用して

$$MWTP = -dI/dQ = u_Q/u_I = \mu u_Q = mP_Q$$

と表される。

この結果は、宅地価格の偏微分係数が、その宅地を購入する人の宅地面積1単位当り（補償）限界支払い意志額と一致することを示している。したがって宅地価格PのQに関する偏微分係数は、その宅地を購入する個人にとっての、森林の（補償）生活環境限界価値を表している。これがヘドニック価格式の偏微分係数に対するもう一つの解釈である。

（2）　ヘドニック法の理論的検討

以上の考察にしたがえば、ヘドニック価格式の偏微分係数は、その宅地を購入した個人の限界支払い意志額（補償された、あるいは非補償の）を表すものとして厳密に意味付けすることができる。しかし、この望ましい結果は、いくつかの明示的、あるいは暗黙の仮定の下に導かれたものであることに注意しなければならない。

その導出と解釈を支える最も重要な前提は、第1に現実の宅地価格が市場価格線と一致し、計測されたヘドニック価格式によって完全に表現されること、第2に市場価格線が連続微分可能であること、の2点である。したがって、3つの価格が一致するための条件、および連続微分可能となるための条件を、理論整合性と現実妥当性の観点から検討しなければならない。

はじめに宅地価格、ヘドニック価格式、そして市場価格線が一致することを前提として、これが連続微分可能となるための条件を検討しよう。ここでは、社会に存在する宅地が、その特性の観点から凸集合を形成しているという仮定は満たされているものとする。この仮定は、考察される社会、あるいは市場均衡が成立する社会が、地理的な意味で十分に広ければ、妥当な仮定と見なすことができる。また、個々人の支払い意志額曲線は必要なだけ連続微分可能であるとしよう。この仮定はおそらく効用関数の連続微分可能性に依存する。それは検証不可能な仮定であり、有用な経済学上の結論を得るためのpracticalな仮定として認められるであろう。

はじめに連続微分可能性が満たされない例を考察しよう。2つのタイプの個人

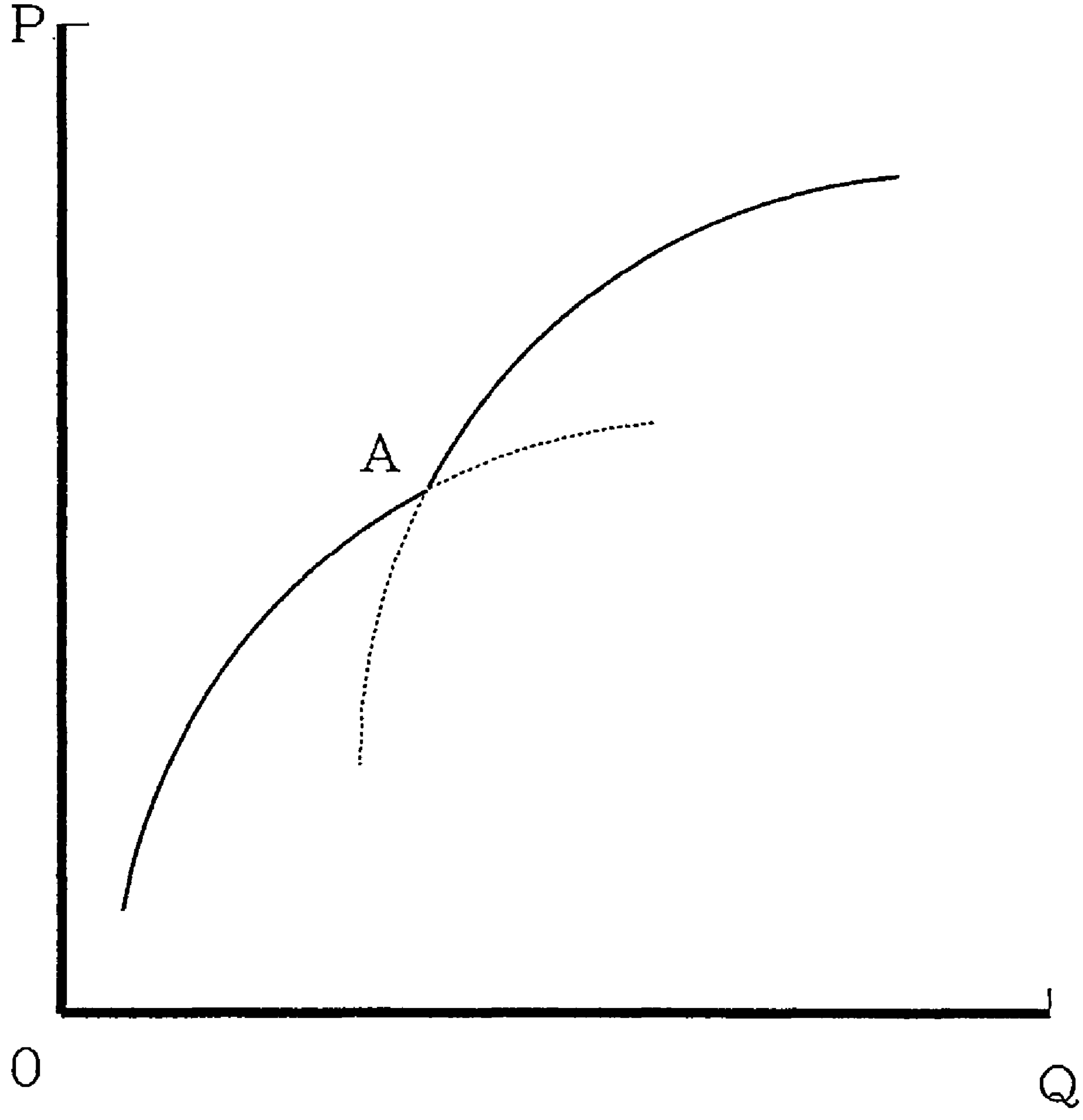


図 6−5 支払い意志額曲線と市場価格線

しか存在しない社会を考える。ここでタイプは効用関数ならびに所得水準等、効用関数のパラメータの観点から分類されている。簡単化のために宅地の特性はQのみと考えよう。市場価格線は、個人の非補償支払い意志額曲線の包絡線であることに注意すると、この社会では図6－5に示されたような区分的に連続な市場価格線が描かれる。この図から明かなように、A点では市場価格線は微分可能ではない。

以上の考察は、ヘドニック価格式を連続微分可能な関数として計測することは、一般に適切ではないことを示唆する。すなわち、社会に存在する個人は有限なのでそのタイプもまた有限である。したがって、市場価格線は有限個の不連続点をもつ区分的に連続な関数となる。そして、かりにそれを連続微分可能な関数で近似した場合、その偏微分係数が森林のストック量に対する限界支払い意志額を表しているという保証はない。もし可能ならば、ヘドニック価格式は区分的に連続な関数として計測されるべきであろう。不連続点にあたる宅地は、2つの異なるタイプの個人によって購入され、その片側微分係数がそれぞれのタイプの限界支払い意志額を表現することになる。しかし、このようなヘドニック価格式の計測はほとんど不可能である。なぜなら市場価格線がどこに不連続点を持つかを知ることはきわめて困難だからである。

この問題を回避するための一つの仮定は、社会を構成する諸個人は同質であり、全ての個人は一つのタイプと見なすことができるとするものである。このとき市場価格線は、一人の個人の非補償支払い意志額曲線と完全に一致する。したがって、上で述べたような問題は生じない。この仮定は、Roback(1982)によって採用され、都市のアメニティの評価に用いられたものである。また、Scotchmer(1985)およびKanemoto(1988)はこの仮定の下での理論を発展させている。

Robackの方法の直接的な適用は、近年日本でもしばしば行われている（例えば加藤(1989)、安達(1992)）。しかし彼女自身も述べているように、諸個人を全く同質とする仮定は、極めて非現実的なものである。このため、浦出他(1992)では個人を２つのグループに分類する計測方法が提示されている。しかし、２つのタイプが別々の市場価格線を持つならば、同じ属性の土地に２つの宅地価格が存在することになり、市場均衡モデルは矛盾に直面することになる。また、もし２つのタイプが住み分けるならば、図６－５の不連続点の問題が生じる。このように

浦出他の方法を採用すると、さらなる複雑な問題に直面するか、あるいはRoback
が回避しようとした問題に再び立ち戻ることになる。

Robackは、宅地市場とともに労働市場にもヘドニック法を適用し、２つの市場の一般均衡モデルから、宅地価格の偏微分係数に解釈を与えている。このことから、浦出他の方法によって生じる市場均衡に関する矛盾は、別の市場、例えば労働市場を考えることによって解決されると考える人がいるかも知れない。つまり、宅地市場で一物一価の均衡（１本の市場価格線）が成立するように、労働市場で調整が行われると考えるのである。ただし、このケースでは同じ特性の宅地に住む個人が異なる賃金を得ていることになる。したがってヘドニック賃金率の特性は、Robackのトリッキーな仮定（賃金率は生活環境によって決定される）とは異なり、個人の経歴や技能でなければならない。これはRobackのモデルの重要な拡張である。しかし残念ながら、そのような理論は現在のところ未だ現れていない。また、ケインズ派経済学者によってつとに強調されてきたように、労働市場がいかに制度的要因（例えば賃金の下方硬直性）に支配され、新古典派の市場均衡モデルとかけ離れたものであるかに留意すべきであろう。

以上の個人の同質性の仮定は、きわめて厳しい仮定であった。ここで、ヘドニック価格式の連続微分可能性を得るためのもう一つの仮定について述べよう。それは、個人のタイプが一種の連続体として近似できるとするものである。この仮定は、Mäler(1977)が採用しているものだが、彼自身は連続体の仮定を明確には定義していない。ここでは連続体の仮定を次のように定義しよう（ただし、この仮定はMälerの想定している仮定よりは、おそらく制約的なものである）。すなわち、

① 社会の全ての個人の非補償支払い意志額が一つの微分方程式体系によって表現され、

② 個々人の違いは解のパラメータ（効用関数のパラメータと所得からなるベクトル）の違いであり、

③ パラメータの凸集合に属する任意の点に対して常に一人以上の個人が対応するとき、

個人のタイプは連続体と見なされる（なお、パラメーターの凸集合を一つの点であると考えれば、これはRobackの仮定になる）。

さて、この連続体の仮定を採用すると、市場価格線は微分方程式の特異解とし

て得ることができ、市場価格線は連続で微分可能となる。例えばRosen(1974)は、この仮定を用いることで短期市場均衡の存在を例示している。しかし、明らかにこの仮定にも問題がある。もともと有限の人数しか存在しない個人を、連続的に変化するパラメータで表現するのは原理的に不可能だからである。ただし、もし極めて多くの個人からなる社会を分析の対象とするならば、このような近似は許されるだろう。そして、おそらくそのような社会の分析では、連続体の仮定は個人の同質性の仮定よりももっともらしい仮定と考えられる。

次に、もう一つの検討課題、すなわち現実の宅地価格、市場均衡価格（市場価格線）、そして計測されるヘドニック価格式の３つの価格が一致するための条件を検討しよう。はじめに理論的な市場価格線と実際に計測されるヘドニック価格式との関係について検討する。ここでは宅地価格は市場均衡によって形成されるもの、したがって市場価格線と一致するものとしよう。さて、宅地価格には人々の将来に対する予想が、反映されている可能性がある。例えば個人は、将来森林が消失することを想定して宅地を購入するかも知れない。この場合、市場価格線は将来の変化が織り込まれたものとなる。一方、ヘドニック価格式は現在の特性、例えば現在の森林のストック量の関数として計測される。したがって、これら３つの価格が一致するためには、各個人が現在の状態を不変のものと見なしているとする仮定を置かねばならない。しかしこの仮定は、例えば開発が進行中の宅地などに関しては、非現実的なものといわざるを得ない。もし、個人が将来の変化を予想して非補償支払い意志額P^{*1}を提示しているのであれば、計測されるヘドニック価格式は、将来の変化を表す変数を無視していることになる。この場合には、ヘドニック価格式の偏微分係数が何を表すのかは全く曖昧である。

次に現実の宅地価格と市場価格線との関係を考察しよう。ここでは、現実の宅地価格は完全にヘドニック価格式で記述されるものとする。さて、これまでの考察において、ある特性(Q, z)における市場価格線の偏微分係数は、その特性を持つ宅地に住む全ての人々の限界支払い意志額を表すものと暗に解釈されていた。これは、市場価格線が社会の全ての個人によって形成されると仮定していることを意味する。一方、具体的な宅地の販売と購入について考えると、宅地の売買は個人にとって一生のうちにせいぜい数回しかない選択である。また、ある時点で取り引きされる宅地は、全宅地面積のごく一部にしか過ぎない。したがって現実

の宅地価格は、社会の全ての個人によって形成されているというよりは、その時点で宅地を購入あるいは販売しようとしている一部の個人によって形成されていると考えるのが自然である。この点をより厳密に述べれば、次のようになる。宅地の売買にあたっては、必要な情報を得るために多大な労力と時間、そして金銭を要する。また売買後の引っ越しに際しては、金銭のみならず精神的な面でもコストが無視できない。これらの費用は経済学では取引費用と呼ばれるものである。宅地価格の形成に参加する人々が社会の一部の人々となるのは、取引費用を支払うぐらいならば、現在の宅地に住み続けることを選択する個人が存在するためである。反対に、現実の宅地価格を市場価格線（全ての個人の支払い意志額曲線の包絡線）と見なすためには、取引費用が無視できるほど小さいと仮定しなければならない。しかし、この仮定は明らかに非現実的である。

多大な取引費用の存在は、社会全体の森林のストック量に対する集計的限界支払い意志額、すなわち森林の生活環境限界価値を得ようとするときに、深刻な問題を引き起こす。森林の社会的最適利用を考えるためには、個人の限界支払い意志額ではなく、それを合計した社会全体の集計的限界支払い意志額が必要とされたことを思い出されたい。上述の指摘は、観察された宅地価格、したがってヘドニック価格式からは、社会の全ての個人の限界支払い意志額を知ることはできないことを意味する。それは単に、ある時点で売買を行う個人の限界支払い意志額についての情報を持っているに過ぎない。

以上、ヘドニック法の諸問題を、理論整合性あるいは現実妥当性の観点から検討してきた。さらなる議論はMäler(1977)によって展開されている。ヘドニック法を徹底的に批判したMälerは、ヘドニック法によって環境の質に対する支払い意志額を評価することは、現実には不可能であると結論づけている。彼の批判に対して、Freeman(1979)が部分的なヘドニック法の擁護論を提示しているが、今日に至るまでMälerの批判に全面的に、そして説得的に応える論文はないようである。その一方で、ヘドニック法はこれまで盛んに利用されてきている。その理由の一つは、ヘドニック法が現在存在する森林の公益的価値の計測方法の中で、最も容易な手法であることによる。すなわち、最小限必要とされるデータは宅地価格と宅地特性であり、これらを収集することはさほど困難なことではない。もう一つの理由は、他の方法もまたそれぞれ固有の問題を抱えており、ヘドニック法が信頼

できない方法であるのと同様に他の方法もまた信頼できないことによる。

これらの消極的な理由が、ヘドニック法の利用を正当化するものではないことは確かである。しかし理想的な価値計測法が現実に利用不可能な状況では、ヘドニック法の利用に対して上述のような問題点があることを正確に認識し、その結果を解釈する以外にはない。

（３）　付け値関数による公益的価値の計測

本節の最後に、森林の生活環境価値（限界がつかないことに注意されたい）をヘドニック法から得ることを検討する。すなわち、森林のストック量の微小でない変化に対する支払い意志額を、ヘドニック法からいかに導くかを論じよう。なお、社会の諸個人が同一の効用関数を持つとするRobackの仮定を用いれば、ヘドニック価格式は支払い意志額曲線そのものとなることに気付かれたい。したがって、この仮定の下では問題は、ヘドニック価格式を得るだけで解決する。したがって、ここではMälerの連続体の仮定を採用することにする。

まず、この課題を考察するための有用な関数として、Rosen(1974)の付け値関数を示そう。この関数は、ある効用水準に個人をとどめるために、任意の環境特性に対していくら所得を減少させねばならないか、あるいは補償しなければならないかを表すものである。付け値関数を $r(Q, z; I^{*}, u^{*})$ とすれば、r は次の恒等式を満たしている。

$$u^{*} = u(I^{*} - mr, m, Q, z)$$

ここでuは個人が宅地を購入した時の効用水準であり、I^{*}は利用可能な所得の総額を示す。付け値関数はまた、すでにみた支出最小化問題の１階の条件をＰについて解くことで得られることに注意されたい。それは、個人の効用水準を宅地購入時点に保つための最大支払い意志額（あるいは最小補償受容額）を示す。したがって問題は個々人の付け値関数を求めることに帰着する。

個々人の付け値関数は、非補償支払い意志額曲面と同様に、市場価格線とある１点で接し、市場価格線は個々の付け値関数の包絡面となることに注意されたい。すなわち市場価格線上の個々の点は、その宅地を購入する個人の付け値関数の、ある１点の情報を持っている。その情報とは、宅地の特性、支払い意志額、そして限界支払い意志額を示す勾配ベクトルである。このため、Rosen(1974)は、市場

価格線が一つ得られれば付け値関数が求められると考えた。しかし後に、Brown and Rosen(1982)は、２次関数による例を用いてこのことが誤りであることを明らかにした。また、Kanemoto and Nakamura(1986)は、より一般的な設定で彼らの結果を確認している。

実際のところ付加的な情報あるいは仮定なしには、一つの点の情報から曲面（付け値関数）を得ることは原理的に不可能である。このため、Brown and Rosen (1982)では、地理的あるいは時間的に異なる宅地市場から複数の市場価格線を計測することを示唆している。しかしこの方法では、ある市場の個人が他の市場のどの個人と対応するのかを、先験的に仮定しなければならないだろう。そのような先験的な仮定を行うならば、より直接的に個人の効用関数や付け値関数の型（連続体の仮定によりパラメーターは個々人で異なる）をあらかじめ決めておくことも考えられる。この方法は、前者がQuigly(1982)によって採用され、また後者はKanemoto and Nakamura(1986)によって採用されている。いずれにせよ、森林のストック量の微小でない変化を、ヘドニック法によって計測するためには、先験的にかなり制約的な仮定を設定しなければならない。

６．　ヘドニック法による森林の生活環境価値の計測

（１）　計測モデルとその結果

本節では、これまで考察してきた森林の公益的価値の計測方法の中では最も利用が容易なヘドニック法を用いた、実際の計測結果を示す。この計測は平成３年度および４年度の国土庁・林野庁他５省庁の共同調査である「京滋地域総合整備計画調査」の中で行われたものであり、赤尾と幡（京都大学大学院農学研究科）による共同研究の成果の一部である。同調査の全容については、林野庁指導部「京滋地域総合整備計画調査報告書」（平成３年３月および平成４年３月）を参照されたい。

まず、ヘドニック価格式を次のように定義しよう。

$P_k = P\ (X_k; Y_k)$

ここでP_k：宅地ｋの宅地価格，

X_k：宅地ｋにおける自然環境特性のベクトル。$X_k=(x_1,\cdots,x_m)$

Y_k：宅地ｋにおける社会環境特性のベクトル。$Y_k=(y_1,\cdots,y_n)$

である。用いられた特性（(　)は略記号）とその基となった資料および単位は以下のとおりである。

① 自然環境特性（Ｘ）：半径５ｋｍ以内の森林面積（HAN5F）、同田畑面積（HAN5T）、同ゴルフ場面積（HAN5G）、半径１ｋｍ以内の緑地面積*（HAN1R）、同土崖の延長（HAN1G）

＊：ここで緑地面積とは森林、農地、森林公園、ゴルフ場等、緑で覆われた緑被面積を指す。

② 社会環境特性（Ｙ）：半径１ｋｍ以内の病院数（HAN1H）、同神社仏閣数（HAN1JT）、同郵便局数（HAN1Y）、住宅密集地かどうか（JUTAKU）、上水道の有無（JOSUI）、下水道の　有無（GESUI）、都市ガスの有無（GAS）、最寄りの鉄道駅から大阪・京都・大津までの所要時間（EKICITY）、宅地から最寄り駅までの距離（KYOEKI）、小中学校までの距離（KYOGAK）

③ 宅地価格(Ｐ)：滋賀県及び京都府の地価調査（平成３年７月１日現在）より京滋地域に該当する１４１地点の価格。ここで京滋地域とは、滋賀県南東部の３市３町（大津市、守山市、草津市、栗東町、石部町、信楽町）と京都府南部の２市７町１村（宇治市、城陽市、宇治田原町、井手町、山城町、和束町、加茂町、笠置町、南山城村）を指す。

④ 資料：上記地価調査および国土地理院の５万分の１地形図。

⑤ 単位：

HAN5F, HAN5T, HAN5G, HAN1R	・・・2.5haを１単位とする。
HAN1G	・・・500m 〃
HAN1H, HAN1JT, HAN1Y	・・・個数 〃
EKICITY	・・・分 〃
KYOEKI	・・・1m 〃
KYOGAKU	・・・50m 〃
JUTAKU, JOSUI, GESUI, GAS	・・・ある 1，ない 0
P	・・・100円を１単位とする。

次に関数型について述べる。本来、関数型はあらかじめ決められるものではないが、ここでは次のような考えにしたがって、先験的に関数型を与えている。

今回の計測では、森林を中心とする自然環境特性の価値を求めることを目的としているので、社会環境特性に関してはそのあてはまりがよければよく、関数型の選択は重要ではない。したがって、社会環境特性と宅地価格の関係についてはその推定が最も容易な線形一次式を用いた。

一方、自然環境特性に関しては、次のようなことが関数型の選択の際に要求されると考えられる。第１に、２つの自然環境特性の間には、何らかの代替あるいは補完関係が存在することが予想される。例えば、森林と水田はともに緑を人々に供給するので、水田の多いところでは、森林の価値はそれほど高くないことが予想される。このことは水田と森林の間に、代替関係を予想することに他ならない。また、土砂採取などで森林が削り取られ、土がけが多くなった地域では、緑に対する価値は高いかもしれない。このことは土がけと、森林あるいは水田等の、緑に関連する特性との間に補完関係があることを予想するものである。計測に用いる関数は、このような代替あるいは補完関係が表現できる必要がある。

第２に、自然環境特性の量が多くなると、その特性の価値は低くなることが予想される。極めて森林の少ない地域と、反対に非常に森林が豊富な地域を考えよう。それぞれの宅地に住む人々にとって森林が増えることの重要性あるいは満足度は、前者の方が後者に比べて大きいと考えられる。極端な場合として、山中の一軒家に住む人にとっては、森林が増えることは全く望ましいことではないかもしれない（この場合、森林の価値はゼロあるいはマイナスである）。このような特質もまた関数型は持つことが必要とされる。

以上の２つの自然環境特性に関する要求を関数型に反映させるために、自然環境特性と宅地価格の関係を、二次形式で表すこととした。ただし、二次形式を含む式をそのまま線形回帰すると、多重共線性の問題が生じることが予想される。また今回用いたデータでは強い相関を示す自然環境特性がみられ、やはり多重共線性の問題が生じる恐れがあった。多重共線性は推定結果を不安定なものとし、推定値の正確さを低下させるものである。このためここでは自然環境特性を、相関係数行列による主成分分析によって、５つの主成分（PCA1、PCA2、PCA3、PCA4、PCA5）に直交化変換し、これら主成分の２乗を変数とした線形回帰式を最小二乗

法で推定した。計算には京都大学大型計算機センターを利用し、統計パッケージＳＰＳＳ^{X}のFACTORとREGRESSIONを用いた。

ここで主成分分析によって得られた各特性と主成分の関係を表す特性得点係数行列（M）を表６－１に示す。

表６－１　主成分得点係数（標準化された特性に対する）

主成分 自然環境特性	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4	PCA5
HAN5F	-0.01729	1.31487	-0.12736	-0.10461	0.52134
HAN5T	-0.23820	0.47052	0.00209	0.04828	1.39403
HAN5G	0.00631	-0.15580	1.07662	-0.17346	-0.00797
HAN1R	1.09736	-0.03064	0.00558	0.08492	-0.31388
HAN1G	0.08414	-0.12267	-0.16893	1.09536	0.05113

また特性の標準化に用いられた平均値と標準偏差は表６－２のとおりである。

表６－２　自然環境特性の平均値と標準偏差

	平均値	標準偏差
HAN5F	116.58511	0.01275
HAN5T	66.10638	0.02612
HAN5G	4.85816	0.26322
HAN1R	4.49645	0.44165
HAN1G	1.77305	0.48275

推定ではステップワイズ法を用いて、多重共線性が生じる可能性のある特性は回帰式からはずすようにした。それによって社会環境特性のうちのいくつかは推定式から除かれることになった。自然環境特性の主成分に関しても、ステップワイズ法によって除かれるものがあるが、以下の推定式の変形から明らかになるように、それは自然環境特性そのものを除くことを意味しない。したがってステップワイズ法を用いても、上で挙げた全ての自然環境特性の価値を測定することは保証されている。なお、あてはまりの良さという点から、説明変数には宅地価格を対数変換したものを用いた。

以上より推定に用いられた式は、

$$\ln P = a_1 + b \times \begin{bmatrix} PCA1^2 \\ PCA2^2 \\ PCA3^2 \\ PCA4^2 \\ PCA5^2 \end{bmatrix} + c \times Y$$

ここで、

a_1：定数項（スカラー）

b　：６次元行ベクトル

c　：１０次元行ベクトル

である。その推定結果は次の表６－３の通りである。

表３－３　推定結果

a_1		c			
(constant)	5.605891	HAN1H		F値	65.99558
		HAN1JT		決定係数	0.77646
b		HAN1Y	0.102721**	自由度調整済み決定係数	0.76469
		KYOGAK			
$PCA1^2$		JUTAK		有意水準	
$PCA2^2$	-0.083311*	EKICITY	-0.012877	*	：0.0148
$PCA3^2$		KYOEKI	-0.128508	**	：0.0160
$PCA4^2$	-0.039358	JOSUI	1.795352	その他	：0.001以下
$PCA5^2$		GESUI			
		GAS	0.718189		

（２）　ヘドニック価格式の導出

主成分を変数として推定された上述の結果をもとに、ヘドニック価格式を次に求める。主成分PCA1からPCA5よりなる５次元列ベクトルをＱで表し、$PCA1^2$から$PCA5^2$よりなる５次元列ベクトルをQ^2で表す。また対角要素がb_iで他の要素が０の５次元正方行列をＢとすると、$bQ^2={}^tQBQ$である。次に各自然環境特性の平均値をμ_iとし、これを並べた５次元列ベクトルをμで表す。またその標準偏差をσ_iで表す。ここで対角要素が$1/\sigma_i$で他の要素が０の５次元正方行列をΣとすると、標準化された自然環境特性の５次元列ベクトルｚは、$z=\Sigma(X-\mu)$で表される。また、標準化された自然環境特性ｚを主成分Ｑに変換するには、主成分得点係数行列Ｍを用いて、$Q={}^tMz$の関係を利用する。

これらの等式を利用すると、ヘドニック価格式は次のように導出される。

$$P=\exp[a_1+bQ^2+cY]=\exp[a_1+{}^tQBQ+cY]$$
$$=\exp[a_1+{}^tzMB{}^tMz+cY]$$
$$=\exp[a_1+{}^t(X-\mu)\Sigma MB{}^tM\Sigma(X-\mu)+cY]$$

ここで$\Sigma MB{}^tM\Sigma=\beta$（５次元正方行列）とおくと

$$P=\exp[(a_1+{}^t\mu\beta\mu)+{}^tX\beta X-2\mu\beta X+cY]$$

さらに$a_1+{}^t\mu\beta\mu=a$（スカラー）とし、$-\mu\beta=\gamma$（５次元行ベクトル）とおくと

$$P=\exp[a+{}^tX\beta X+2\gamma X+cY]$$

である。

ここでａ及びβ、２γを計算すると次のようになる。

$a=5.0993042$

$$\beta=10^{-5}\times\begin{bmatrix} -2.34847 & -1.70989 & 5.48804 & 2.08688 & 11.04681 \\ -1.70989 & -1.26462 & 4.42556 & 1.19940 & 3.43884 \\ 5.48804 & 4.42556 & -22.21602 & 2.11634 & 74.79088 \\ 2.08688 & 1.19940 & 2.11634 & -7.06176 & -84.73115 \\ 11.04681 & 3.43884 & 74.79088 & -84.73115 & -1129.71937 \end{bmatrix}$$

$$2\gamma=10^{-3}\times(\ 6.62399,\ 4.99914,\ -19.33152,\ -3.01767,\ 10.1094\ )$$

（3）　計測結果の検討

次に計測結果の現実妥当性を検討し、また計測結果の意味を考察しよう。まず宅地価格と各特性の関係からこれらの点を検討する。宅地価格と各特性の関係はヘドニック宅地価格式の偏微分係数に表現されている。すなわち、

$$\partial P / \partial X = 2P(\beta X + {}^{t}\gamma), \quad \partial P / \partial Y = P \cdot {}^{t}c$$

である。社会環境特性に関する偏微分係数の符号は、例えば、HAN1Yではプラス、KYOEKIではマイナスとなっており、他の特性の値が同じならば、半径１ｋｍ以内の郵便局数が多いところの方が宅地価格は高く、また同様に他の特性の値が同じならば、その宅地から駅までの距離が近いところの方が宅地価格は高いことを示している。以上のように、社会環境特性に関する推定結果は、常識と矛盾しないものとなっている。

一方、自然環境特性に関する偏微分係数の符号は、個々の宅地の自然環境特性の値によって変化する。他の特性の値が等しくとも、例えば半径５ｋｍ以内の森林の多いところの方が、宅地価格が高くなるとは必ずしもいえない。自然環境特性に関しては、宅地価格との関係によって、計測結果の現実妥当性を検討することはできない。そこで、かわりに自然環境特性の価値（各特性に対応する限界宅地価格）と自然環境特性の関係を検討しよう。

ある宅地（ｋ）を取りあげ、その宅地における自然環境特性の値をX_kで表す。例として、この宅地から半径５ｋｍ以内で森林面積が１単位増加し、他の特性の値は変化しないとすると、この時の宅地価格の変化（ΔP_k）は、

$$\Delta P_k = \partial P / \partial \mathrm{HAN5F} \ (X = X_k)$$

で表される。森林が１単位造成されたことによって、宅地ｋに住む人の快適さは変化するが、この変化を金銭的に表現したものがΔP_kであり、ΔP_kは森林造成に対して支払ってもよいと考える最大の金額を表現している。したがってΔP_kを、宅地ｋにおける半径５ｋｍの森林の（生活環境的な）価値と考えることができる。より一般的に宅地ｋの自然環境特性x_iの価値は、$\partial P / \partial x_i \ (X = X_k)$で表される。このように自然環境特性の価値は、ヘドニック価格式の偏微分係数で表される。

以上から、自然環境特性x_iの価値が自然環境特性x_jの１単位の増加によって受ける影響は、$(\partial P / \partial x_i) / \partial x_j = \partial^2 P / (\partial x_i \partial x_j) = 2P\beta_{ij}$で表

される（ここでβ_{ij}は５次元正方行列βのｉ行ｊ列の成分を示す）。β_{ij}の符号は

$$
\mathrm{sign}\,\beta = \begin{array}{c}
\begin{array}{ccccc} \mathrm{HAN5F} & \mathrm{HAN5T} & \mathrm{HAN5G} & \mathrm{HAN1R} & \mathrm{HAN1G} \end{array} \\
\left[\begin{array}{ccccc}
- & - & + & + & + \\
- & - & + & + & + \\
+ & + & - & + & + \\
+ & + & + & - & - \\
+ & + & + & - & -
\end{array}\right]
\end{array}
\begin{array}{l} \\ \mathrm{HAN5F} \\ \mathrm{HAN5T} \\ \mathrm{HAN5G} \\ \mathrm{HAN1R} \\ \mathrm{HAN1G} \end{array}
$$

であり、これより自然環境特性の価値と自然環境特性の関係は次のようなものであることがわかる。

① 半径５ｋｍ以内の森林の価値は、
　半径５ｋｍ以内の森林面積が大きいほど低い。
　半径５ｋｍ以内の田畑面積が大きいほど低い。
　半径５ｋｍ以内のゴルフ場面積が大きいほど高い。
　半径１ｋｍ以内の緑地面積が大きいほど高い。
　半径１ｋｍ以内の土がけ延長が長いほど高い。

② 半径５ｋｍ以内の田畑の価値は、
　半径５ｋｍ以内の森林面積が大きいほど低い。
　半径５ｋｍ以内の田畑面積が大きいほど低い。
　半径５ｋｍ以内のゴルフ場面積が大きいほど高い。
　半径１ｋｍ以内の緑地面積が大きいほど高い。
　半径１ｋｍ以内の土がけ延長が長いほど高い。

③ 半径５ｋｍ以内のゴルフ場の価値は、
　半径５ｋｍ以内の森林面積が大きいほど高い。
　半径５ｋｍ以内の田畑面積が大きいほど高い。
　半径５ｋｍ以内のゴルフ場面積が大きいほど低い。
　半径１ｋｍ以内の緑地面積が大きいほど高い。

半径１ｋｍ以内の土がけ延長が長いほど高い。

④　半径１ｋｍ以内の緑地の価値は、

半径５ｋｍ以内の森林面積が大きいほど高い。

半径５ｋｍ以内の田畑面積が大きいほど高い。

半径５ｋｍ以内のゴルフ場面積が大きいほど高い。

半径１ｋｍ以内の緑地面積が大きいほど低い。

半径１ｋｍ以内の土がけ延長が長いほど低い。

⑤　半径１ｋｍ以内の土がけの価値は、

半径５ｋｍ以内の森林面積が大きいほど高い。

半径５ｋｍ以内の田畑面積が大きいほど高い。

半径５ｋｍ以内のゴルフ場面積が大きいほど高い。

半径１ｋｍ以内の緑地面積が大きいほど低い。

半径１ｋｍ以内の土がけ延長が長いほど低い。

以上の結果は、ほとんどが一般に考えられていることと一致している。したがって、自然環境特性についても、社会環境特性の場合と同じく、その計測結果は常識と矛盾しないものとなっている。

ただし、半径１ｋｍの緑地に関しては必ずしもそうではない。これは半径５ｋｍ以内の緑（ゴルフ場を含む）が多いところほど高くなり、そうでないところほど低くなる。半径１ｋｍの緑地が豊富にあれば、より広い範囲での緑はさほど必要とされないと考えるのではなく、半径５ｋｍの範囲の緑もまた高く評価される。逆に半径１ｋｍの緑地が少ないところでは半径５ｋｍの範囲の緑が低く評価される。このことは、土がけの価値と半径１ｋｍの緑地の関係についても同様である。土がけの長さについては砕石場などの森林開発を示すものとして取りあげた特性だが、それは半径１ｋｍの緑地が少ないところほど、嫌われないことになっている。計測結果は、社会には緑を好む人とそうでない人の２つのタイプの人が存在して、それぞれが周辺（半径１ｋｍ）の緑の豊富な地域とそうでない地域に住み分けていることを示すものかも知れない。

最後に、以上で得られたヘドニック価格式を用いて、森林およびその他の自然環境特性の生活環境価値を計算した例を示そう。対象地域は京滋地域を一部含む

淀川流域のある地域である。この地域の土地利用および必要な社会環境特性の配置が、図６－６に示されている。なお上水道については、含まれる全ての地域で整備がされているものと想定した。また都市ガスについては、大阪ガス（株）東部供給部管内図（北部）（平成３年４月作成）より整備区域を推定した。また図６－６に示されている住宅地には商業地等が含まれている。このため、実際の住宅地はこのうちの半分の面積であることを仮定した。計算結果として、森林、田畑、ゴルフ場そしてすべての緑地のそれぞれの生活環境価値が図６－７、６－８、６－９、６－１０に示されている。

なお、ここで用いたヘドニック価格式は、ある宅地に対して半径５ｋｍの円内の自然環境特性と社会環境特性に関する情報が必要である。このため、図６－６から計算できる生活環境保全価値は、同図に赤線で四角く囲まれた区域の宅地からみたものである。したがって各自然環境特性の価値は、図の中心部ほど正確なものであり、周辺部では考慮されるべき宅地が計算に含まれていないため不正確なものとなっていることに注意されたい。

第５節でみたように、ヘドニック法にはさまざまな問題がある。したがって、ここで得られた結果は慎重に解釈されねばならないであろう。にもかかわらず、森林が地価に及ぼす影響は、集計するとヘクタール当たり１億円を超えるという結果は、京滋地域のような都市および都市近郊地域において、森林の生活環境価値が無視できないものであることを示唆するには十分である。

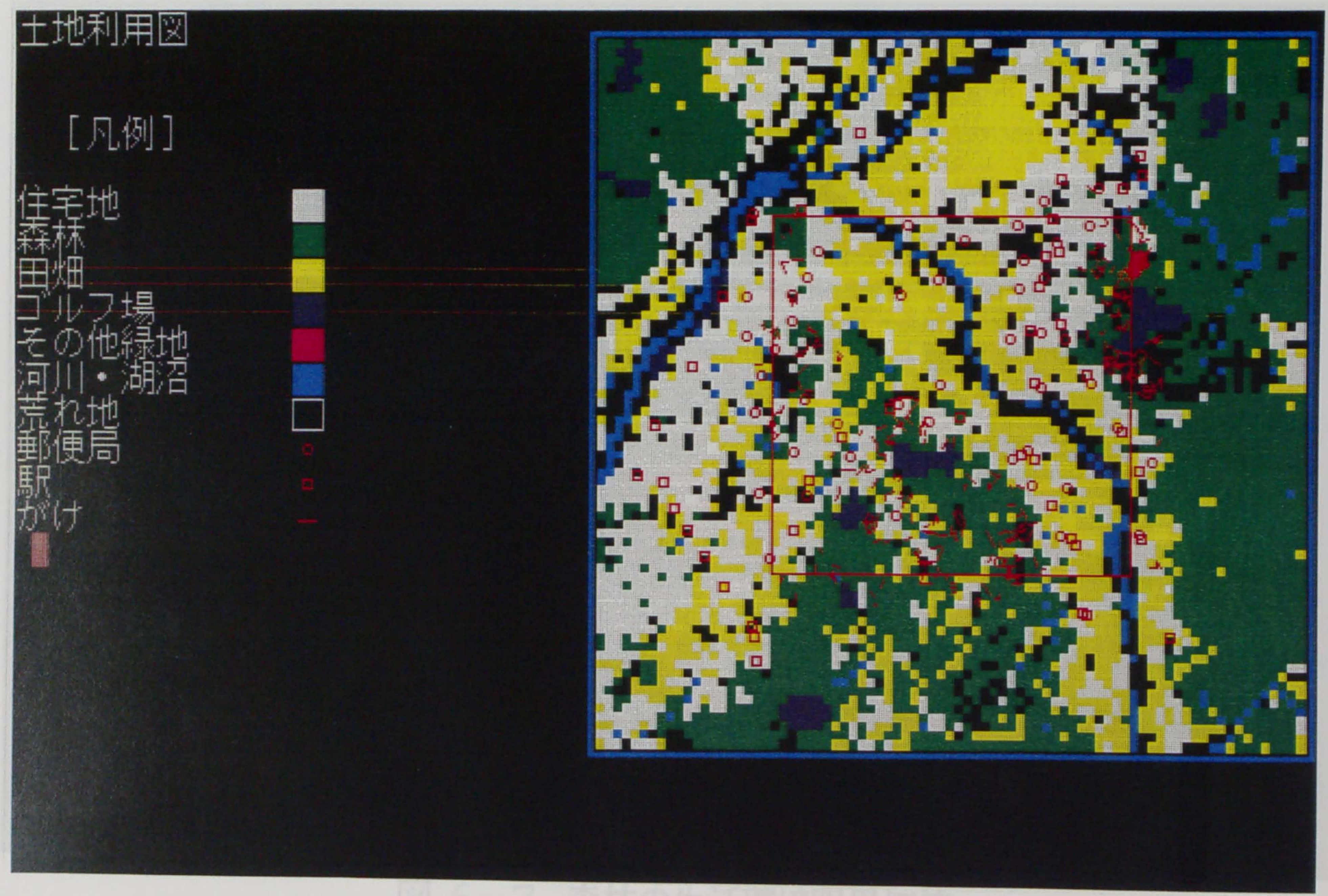


図 6−6 土地利用図

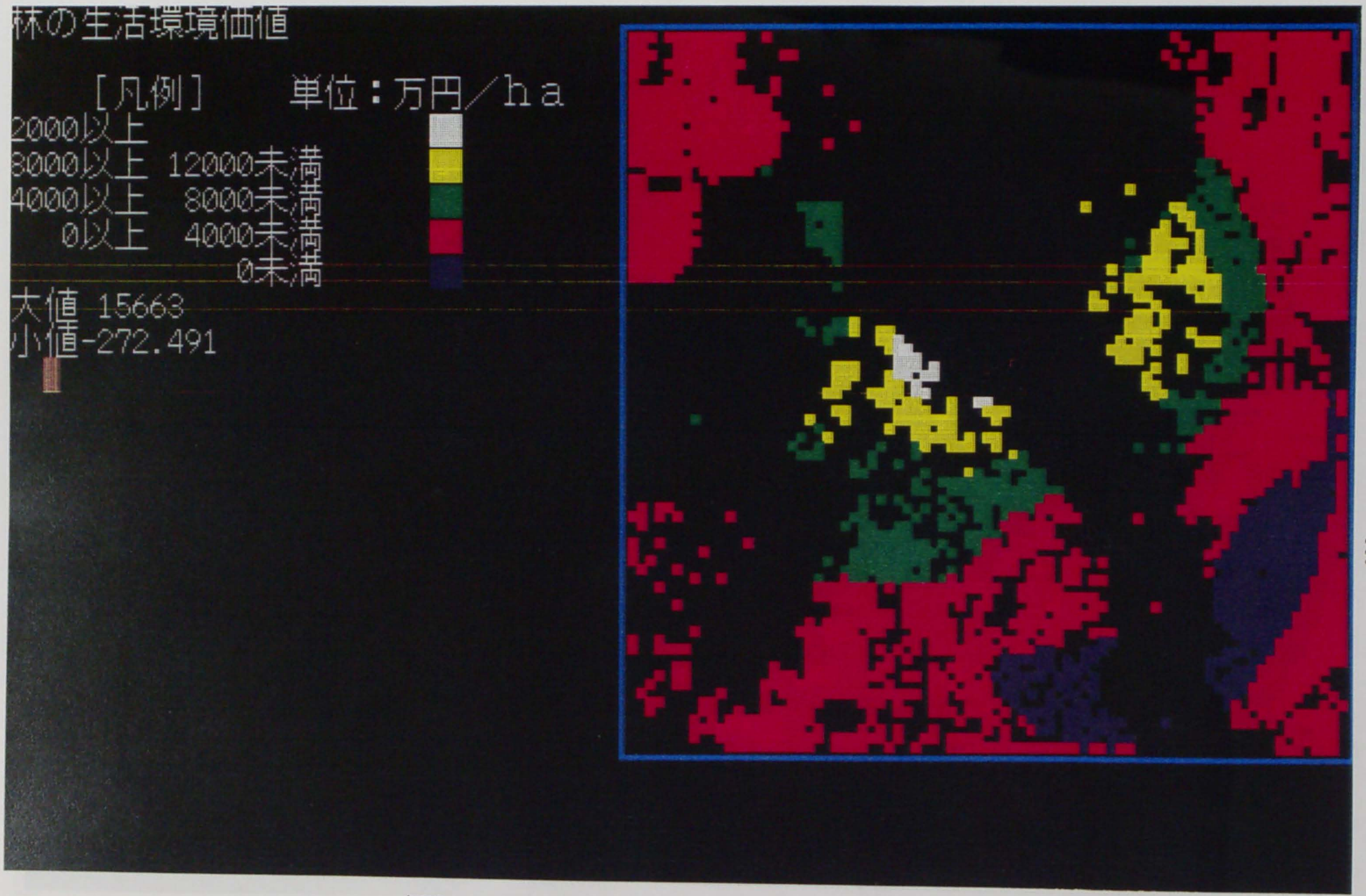


図 6－7　森林の生活環境限界価値

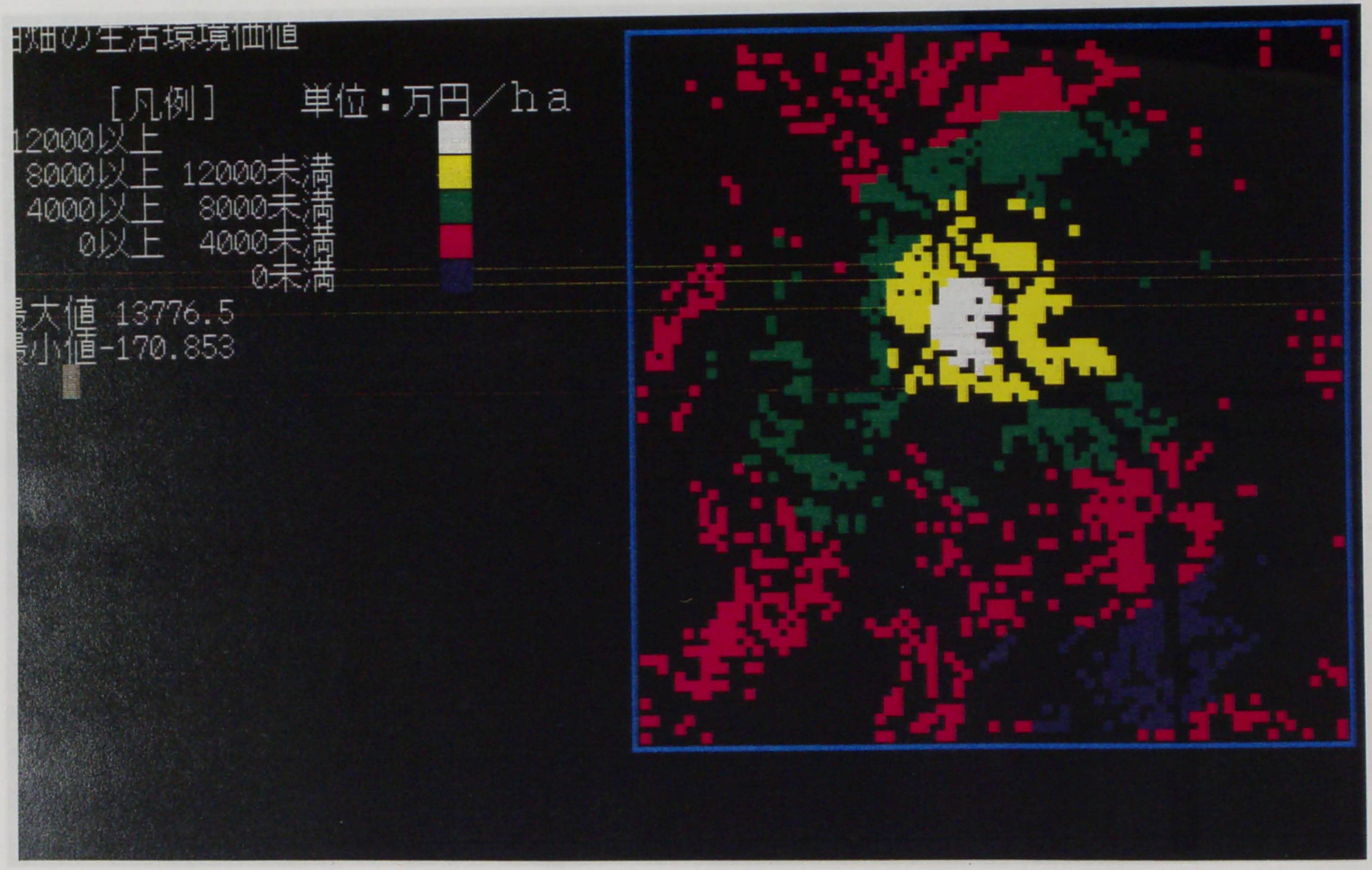


図 6−8 田畑の生活環境限界価値

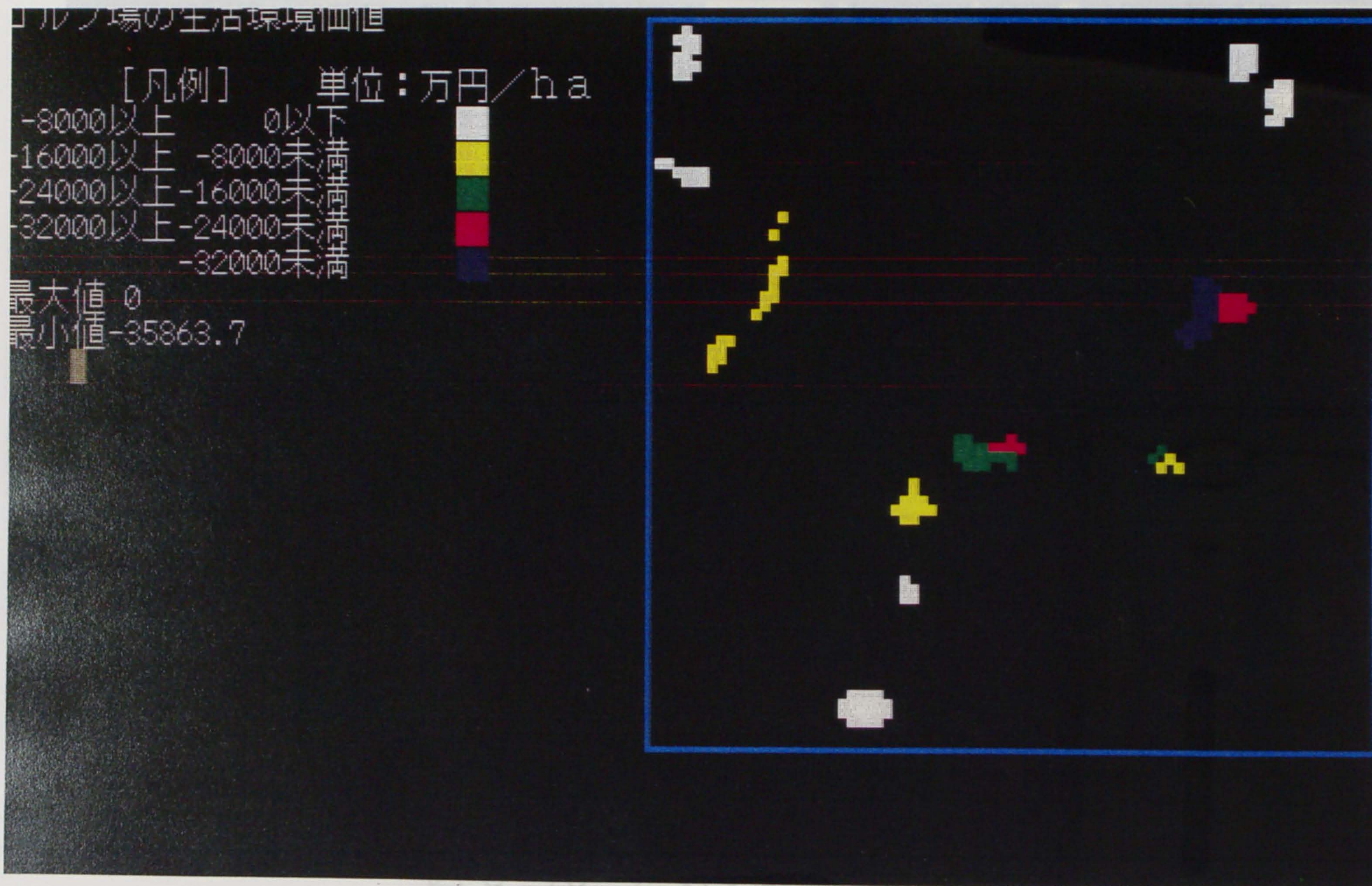


図 6－9　ゴルフ場の生活環境限界価値

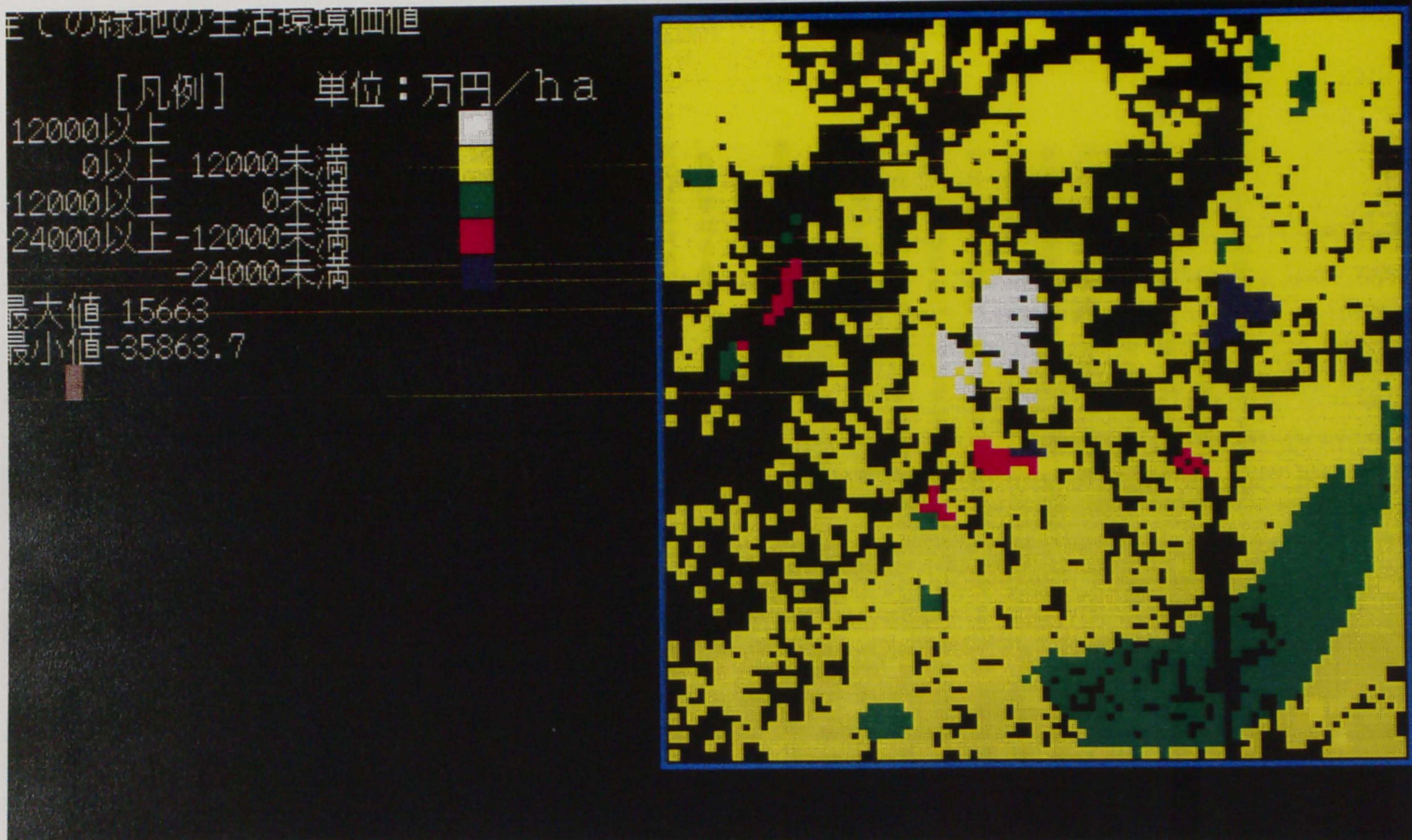


図 6−10 すべての緑地の生活環境限界価値

終章　要約と結語

最後に本研究を要約し、残された課題について明らかにしておこう。

第１部では、森林所有者の意思決定問題を、伐期齢決定問題を中心として考察した。

第１章では、この問題に関する既存の諸文献を調査し、検討した。伐期齢の決定ルールはいくつか提案されているが、ミクロ経済学的にみて適切な決定ルールは、Faustmannのルールである。すなわち、森林所有者が利潤の最大化や効用の最大化を目的として伐期齢を選択するならば、彼はFaustmannの考え方にしたがうであろう。ただしFaustmann式は、さまざまな厳しい仮定の下で得られる。このため、そうした仮定を緩めるようにモデルのさまざまな拡張が試みられている。本研究でも、施業の選択問題、価格等の変化、不確実性の存在、異齢林モデルといった拡張を試みた諸研究を取り上げ、考察した（残念ながら、不完全競争市場へモデルを拡張した文献は取り上げなかった）。結論として、Faustmann式から得られた結果は、そのままあるいは一定の解釈を施すことによって、より緩やかな仮定の下でも有効である。

Faustmannの式をはじめとする伐期齢決定の諸モデルは、決定論的定常性下の単一一斉林を対象とする１点投入１点産出モデルである。上述の結論は、それが森林所有者の意思決定を考える上での基本モデルとなることを示唆する。すなわち、森林所有者の意思決定を考える場合、いたずらに複雑なモデルを用いなくとも、単純なモデルから得られた結果を状況に応じて解釈すればよい。それによって、多くの有用な結論を導くことが可能であると考えられる。第１部の他の章での考察は、この第１章の結果によって支持されるものである。

ただし、一つの重要な、そして深刻な問題がある。それは、不確実性を考慮すると伐期齢という概念は利用できなくなることである。確率的世界では、おそらく最適立木価値水準を基礎としてさまざまな分析が行われるだろう。したがって決定論的世界での最適伐期齢が、確率的世界での最適立木価値水準といかなる関係にあるかを明らかにすることが、今後の最も重要な課題である。

第２章と第３章とは、Faustmannのルールにこだわらず、現在提示されているほ

ぼ全ての伐期齢決定ルールを取り上げて、比較静学分析によって最適伐期齢等の性質を調べた。伐期齢決定問題に関する諸文献は、今日ではほとんどすべてが、Faustmannのルールを基礎としている。しかし、実証分析を行う上では、他の決定ルールを無視する理由はないというのが、これらの章に共通する考えである。

第2章では、通常の最適伐期齢決定モデルが考察され、第3章では、その拡張として最適伐期齢と最適労働投入量を決定するモデルが考察された。いずれも凹関数の仮定を置いているが、それは、前者のモデルでは森林の生産関数に仮定され、一方、後者では各決定ルールの目的関数に仮定されている。可能ならば、後者もまた森林の生産関数のみに仮定することが望ましいと言える。森林純収穫のルールの場合は、森林の生産関数が凹ならばその目的関数も凹となる。しかし、その他のルールでは両者の関係はそれほど明快ではない。

なお、凹関数の仮定を置けば、結果は自ずと明らかではないかと考える人がいるかもしれない。しかし、各決定ルールの目的関数には要素価格が非線形で含まれていることに注意されたい（利子率も一種の価格と見なす）。期待されるような明快な結果が第3章で得られなかったことは、問題がそれほど単純ではないことを示している。

これらの二つの章で行われた比較静学分析は、第3章で日本林業の動向に関する実証分析のために応用された。結果として、現在伐採可能な森林では伐期齢の延長が生じているであろうこと、また将来的にはより長伐期化するであろうこと、さらに造育林のための労働投入量は絶対的に減少するとともに、集約度の点でも低下する（低コスト化）であろうことが示唆された。ただし、この結果の一部は厳密に導かれたものではない。第3章のモデルに対して、ル・シャトリエ原理が適用可能であることがその前提となっている。同原理を用いることは、第3章の前身となる論文（赤尾(1991b)）を書いた後で気付いたが、そのままの状態で今日に至っている。この点は、早急に明らかにすべき課題である。

第3章の実証分析に関しては、今後まず、得られた結果を統計データによって検証する必要がある。また、この結果は二つの問題に応用されると考えられる。一つは、本研究が主題としているような森林資源の有効利用の問題である。もう一つは、山村等の地域経済の維持、発展の問題である。

なお、本研究で取り上げた伐期齢決定ルールによって、森林所有者の行動様式

がすべて網羅されるわけではないことに、注意を喚起しておこう。本研究では言及しなかったものの、森林所有者の行動様式を叙述する重要なモデルと見なされるものが、いくつか考えられる。例えば、年々一定の所得を立木販売によって得ることが強制されているモデルが考えられる。このようなモデルは、専業林家の短期的な行動として観察されるであろう。また別のモデルとして、次代の所有者のために森林（特に高林齢の森林）を残すことに対して、その貨幣評価額以上の価値を森林所有者が見い出しているということが考えられる（これは第2章の補論で若干触れた）。林家に対する聞き取り調査を行うと、このような見解はしばしば聞かれるところである。さらに別のものとして、婚礼等の非恒常的な支出が発生したときに、立木を販売するというモデルもまた考えることができる。これもまた、不定期的に立木販売を行っている林家がしばしば口にするものである。

このようなモデルは、それぞれ検討される価値がある。ただし、一見するともっとらしいこれらのモデルも、森林資源の利用動向を説明する上で有力かどうかは、定かではない。例えば第1のモデルでは、木材価格が下落すれば、素材生産量は増加することになる。しかし、現実にはそのようなことは（少なくともマクロ的には）観察されていない。一方、第2、第3のモデルでは、森林所有者の立木販売行動の大部分は、確率的なものとして説明できることが導かれる。したがって、素材生産量は森林資源構成の関数として表されることになる。すなわち、減反率法の世界である。しかし、各都道府県が森林計画で用いている減反率法は、現実の木材生産をうまく叙述できていないようである。

本研究で取り上げた各決定ルールから導かれる最適伐期齢は、60年、あるいは80年から100年以上と見られている。したがって、これらの伐期齢決定ルールにしたがう森林所有者も、立木販売の予定を尋ねられれば第2、第3のモデルのような解答をするかも知れない。すなわち彼らの回答は単に、現状ではよっぽどのことがない限り、立木を販売しないということを意味しているに過ぎないかも知れない。

ともあれ森林所有者の行動様式に関しては、今後も事例に基づいた議論が必要とされている。ただし、その目的は、一国や都道府県、あるいは市町村といったマクロ的なレベルでの森林資源の利用について、その動向を理解し、分析するためである。常に例外は存在するものであり、単なる個別事例の堆積や、個別事例

に拘泥した不毛な議論に陥らないように、注意すべきである。

第2部は、森林所有者の森林資源の利用と社会全体として望ましい森林資源のとの間の乖離を、最適森林ストック量と最適森林計画という二つの観点から示した。また、森林の公益的サービスの価値評価法について調査し、検討した。残念ながら、ここで叙述されている森林所有者は、第1部ほどの多様性を持たず、ミクロ経済学が標準的に設定するような、自らの効用を最大にするように行動する経済主体である。

さて第4章では、森林の最適ストック量を論じた。これは、林地の他用途転換や原生林伐採と直接関連する問題である。また通常の森林の伐採の場合には、短期的な問題と見なされる。

この章では、森林が公共財である場合、森林所有者の最適ストック量は社会的最適ストック量よりも小さくなることが導かれた。そして、実際に森林資源の社会的最適利用を実現するためには、林地開発許可制度や保安林制度といった利用規制が有効であること、ただし、規制を受ける森林所有者にはその補償が社会から与えられねばならないことを示した。

以上の結果は、よく知られた公共財の過小供給問題である。また、用いられているモデルも、森林資源のための独自のモデルというよりは、公共経済学の入門的教科書に載っていそうな、ごくありふれたものである。さらに得られた結論もまた、常識的なものである。にもかかわらず、森林所有者に対する補償が、現行の制度では必ずしも十分ではないということは、これまで指摘されていないようである。この点は、事例に基づく実証分析を踏まえた上で、今後議論すべき課題と考えられる。

なお、この章のように、森林資源を枯渇性資源(より正確には、いったん失われると元の状態に戻ることのできない資源"irreversible resources")と見なす場合に言及すべき重要な論文がある。それはArrow and Fisher(1974)である。彼らが着目したのは、このような資源はいったん開発されてしまうと、それを保存するか開発するかという選択権が失われてしまうという点である。彼らは、将来の状態が不確実な場合、この選択権を保持しておくことに特別な価値(準オプション価値)が生じることを、簡単なモデルによって示している。そして結論として、将来の状態が不確実な場合には、そのようなタイプの資源の開発に対しては、

より慎重でなければならないことを論じている。本研究では残念ながら取り上げられなかったが、この議論は規範的な問題を扱った第2部のみならず、森林所有者の行動様式を主題とする第1部においても、重要なものといえる。準オプション価値を基とした考察は、今後の重要な課題である。

第5章では、最適森林計画について考察した。森林計画の内容は多岐にわたるが、ここでは伐期齢によってそれを代表させた。

この章で導かれた結果は、森林が公共財である場合、森林所有者の最適伐期齢は社会的最適伐期齢より短くなることである。この結果は、森林が供給する公益的サービスの量が林齢の上昇とともに多くなるという、きわめて単純でもっともらしい仮定から得られる。このことは、上の結果が現実の多くのケースで有効であることを示唆するものである。

社会的最適森林計画を実現するためには、森林所有者の最適伐期齢を長くすることが必要である。そのための方策としては、第1部の諸結果が参考となる。すなわち、立木価格の引き下げ、賃金率の上昇、そして利子率の引き下げ等である。しかし、そのような方策の中には、森林の管理放棄をもたらすようなものも含まれていることに注意すべきである。

なお、最適森林計画問題を最適伐期齢の問題に限定したことによって、いくつかの観点が見落とされる恐れがあることを述べておかねばならない。例えば、この章のモデルでは、施業内容の問題を明示的に扱うことができない。直観的には、森林の供給する公益的サービスに対して、その潜在価格で評価した報酬を森林所有者に支払うことで、社会的最適森林計画が実現しそうである。しかし、その厳密な検討は、別の機会を設けて行うことにしたい。

第4章で行ったような補助金や利用規制に関する詳細な検討をする代わりに、この章では、社会的最適森林計画を実現する、より直接的な方法を検討した。それは分収林契約である。得られた一つの結果は、分収林契約によって社会的最適森林計画を実現することは、理論上常に可能である、というものである。社会の得る便益が、森林所有者が得る利潤よりも、少なくとも小さくはならないことに気付けば、このことは直観的に理解される。しかし、ここで得られたもう一つの結果は、それほど自明ではないであろう。すなわち、契約当事者間の交渉だけでは、社会的最適森林計画は実現できない、というものである。この結果から、造

林者、育林者としての公的機関の重要性が主張される。

なお、この章では、公的機関の組織のあり方と契約のあり方にも言及している。このうち前者については、次のような結論が導かれた。公的機関（造林者）は森林の公益的サービスの対価を得るべきである。それが得られない場合には、社会的最適森林計画が実現できないか、あるいは赤字経営となるかのいずれかとなる。また、立木販売時点での不確実性による危険を、公的機関が負う必要はない。それは広く人々に分散させるべきものである。

こうした見解は、厳しい経営を強いられている森林整備法人等に対する支援を正当化するものである。しかし、それは社会的最適森林計画を実現するという責任と引き換えであることもまた、強調しておかねばならない。すでに人工林率が半分近くにまで達した今日、天然林を人工林に転換するという単純な目標は意義を失っている。公的機関は、新しい課題として、森林の公益的機能を考慮した、より複雑な社会的最適森林計画を実現しなければならない。分収林政策の現代的意義はそこに見い出されるだろう。また、もう一つの意義である山村住民の所得機会の創造のためにも、それは重要なことである。

ところで、第5章で用いた森林の公益的サービスという概念は、やや抽象的すぎるかも知れない。しかし第5章のモデルを、森林の諸機能に対応させたより具体的なモデルに拡張することは容易である。例えば、土砂崩壊防備という公益的サービスが土層の剪断強度によって計られるものとしよう。この強度に対応する土砂崩壊防備の潜在価格が得られれば、土砂崩壊防備と立木販売収入を同じ単位、すなわち貨幣単位で扱うことができる。他のさまざまな公益的機能も考慮して、公益的サービスをベクトルとみなし、それに対する潜在価格ベクトルを考えれば、モデルはより具体的なものとなる。なお、ここでは森林の公益的機能に関して、林齢によってそれぞれの公益的サービスの供給量がどのように変化するか、という知識が必要とされることを強調しておきたい。森林資源の社会的最適利用の研究とその実現のためにはこのような知識が決定的に重要であり、そのためには関連諸研究分野との連携が不可欠である。

第6章では、森林の公益的価値の計測方法に関して、考察および既存文献のサーベイを行った。ここでは5種類の計測方法が検討された。いずれも一見すると、有用な方法のように見えるが、実際はさまざまな問題点を抱えている。すなわち、

ある方法は理論的に矛盾はないが、現実に応用することがきわめて困難であり、また反対に、ある方法は結果を得ることは容易だが、その基礎となる理論が現実妥当性の点で問題を有しているといった具合いである。本研究では、こうした問題点を改善するまでに至らず、単に問題点を指摘しただけにとどまっている。また、ヘドニック法を適用した経験的調査は、統計学的な検討が必ずしも十分ではない。これらの点に関しては、今後の研究によって不備を補いたい。

なお、ここでは取り上げなかった手法として、代替法と呼ばれるものがある。これは、森林の有する機能を他のもので代替する場合に要する費用をもって、その公益的サービスの価値とするものである。この評価法はよく知られたものであり、またある局面では実用的である。その経済学的な意味や解釈については、今後明らかにしたい。

以上、本研究は一貫して主体均衡論的、あるいは部分均衡論的な枠組みで行われた。一方、より広い視野からの問題として、木材価格の形成問題や国際貿易の問題がある。これらの問題はいわゆる一般均衡論の枠組みで扱われる問題である。また、税金や補助金に関する議論もまた、一般均衡論的枠組みにおいて厳密に議論される。森林、林業に関する経済問題に対する一般均衡論的アプローチについて、ここで答える準備はないが、本研究がこれらの問題に向けての基礎的作業として位置づけられることを、最後に付しておきたい。

引用文献

赤尾健一(1991a) 民有人工林の伐採動向に関する基礎的研究. 第101回日本林学会大会論文集, 203-306

赤尾健一(1991b) 長伐期低コスト林業の経済分析（Ⅰ）. 日本林学会誌 73, 419-425

赤尾健一(1992a) 森林レクリエーション・エリアの経済価値評価法について. 林業経済 520, 28-32

赤尾健一(1992b) 林業経済学における異齢林の取扱い方について. 林業経済研究 121, 85-89

安達　修(1992) ヘドニック法による水田の公益的機能の評価について. 水と土 88, 2-8

伊藤元重・大山道広(1985) 国際貿易. 318pp, 岩波書店, 東京.

今井賢一・宇沢弘文・小宮隆太郎・根岸隆・村上泰亮(1972) 価格理論Ⅲ. 330pp, 岩波書店, 東京.

家原敏郎・黒川泰亨(1990) 低位生産林地におけるヒノキ人工林造成の経営的評価. 日本林学会誌 72, 34-35

板垣有記輔(1985) 動的最適化と経済理論. 221pp, 多賀出版, 東京

浦出俊和・浅野耕太・熊谷宏(1992) 地域農林業資源の経済評価に関する研究. 農村計画学会誌 11, 35-49

奥野正寛・鈴村興太郎(1985) ミクロ経済学Ⅰ. 308pp, 岩波書店, 東京

奥野正寛・鈴村興太郎(1988) ミクロ経済学Ⅱ. 437pp, 岩波書店, 東京

太田　誠(1980) 品質と価格. 298pp, 創文社, 東京

加藤尚志(1989) 都市生活の質の指標化. 一橋論叢 103, 690-714

桐谷　維(1986) 資産選択の現代理論. 208pp, 東洋経済新報社, 東京

熊崎　実(1985) 転換期の林業経営. 79pp, 林業科学技術振興所, 東京

酒井泰弘(1982) 不確実性の経済学. 346pp, 有斐閣, 東京

柴田弘文・柴田愛子(1988) 公共経済学. 304pp, 東洋経済新報社, 東京

森林計画研究会(1987) 新たな森林・林業の長期ビジョン. 415pp, 地球社, 東京

鈴木太七(1979) 森林経理学. 197pp, 朝倉書店, 東京

西村和雄(1982) 経済数学早わかり. 349pp, 日本評論社, 東京

西村清彦(1990) 経済学のための最適化理論入門. 181pp, 東京大学出版会, 東京.

荷見守助・堀内利郎(1989) 現代解析の基礎. 344pp, 内田老鶴圃, 東京.

半田良一(1957) 伐期令の理論. 107pp, 日本林業技術協会, 東京

枚田邦宏(1990) 森林組合による間伐事業展開の構造. 第100回日本林学会大会論文集, 71-72

枚田邦宏・濱江謙二(1991) 間伐実行メカニズムの経済分析. 第101回日本林学会大会論文集, 103-104

枚田邦宏(1992) 森林組合による間伐の組織化に関する研究. 第102回日本林学会大会論文集, 69-70

森鳥英典・木島正明(1991) ファイナンスのための確率過程. 215pp, 日科技連出版社, 東京

吉川和広編著(1985) 土木計画学演習. 351pp, 森北出版, 東京

Arrow,K.J. and A.C.Enthoven(1961) Quasi-concave programming. Econometrica 29, 779-800

Arrow,K.J. and A.C.Fisher(1974) Environmental preservation, uncertainty, and irreversibility. Quarterly Journal of Economics 88, 312-319

Arrow,K.J. and R.C.Lind(1970) Uncertainty and the evaluation of public investment decisions. American Economic Review 60, 364-378

Bentley,W.R. and D.E.Teeguarden(1965) Financial maturity: a theoretical review. Forest Science 11, 76-87

Bhattacharyya,R.N. and D.L.Snyder(1988) Stumpage price uncertainty and the optimal rotation of a forest: an application of sandomo model. Journal of Environmental Systems 17, 305-313

Bishop,R.C.(1987) Uncertainty and resource valuation: theoretical principles for empirical research.(in Peterson,G.L. and C.F.Sorg (eds), Toward the Measurement of Total Economic Value. 44pp, General Technical Report RM-148. USDA Forest Service)

Bohm,P.(1979) Estimating willingness to pay: why and how ? Scandinavian Journal of Economics 81, 142-153

Boulding,G.K.(1955) Economic Analysis, 3rd ed., Harper and Brothers. New York (邦訳:大石泰彦・宇野健吾監訳(1964) ボールディング 近代経済学. 丸善, 東京)

Bradford,D. and G.Hildebrandt(1977) Observable pubic good preferences. Journal of Public Economics 8, 111-131

Brazee,R. and R.Mendelsohn(1988) Timber harvesting with fluctuating prices. Forest Science 34, 359-372

Brown,G.Jr. and R.Mendelsohn(1984) The hedonic travel cost method. Review of Economics and Statistics 66, 427-433

Brown,J.N. and H.S.Rosen(1982) On the estimation of structual hedonic price models. Econometrica 50, 765-768

Caulfield,J.P.(1988) A stochastic efficiency approach for determining the economic rotation of a forest stand. Forest Science 34, 441-457

Cesario,F.J.(1976) Value of time in recreation benefit studies. Land Economics 52, 32-41

Cicchetti,C.J., A.C.Fisher and V.K.Smith(1976) An econometric evaluation of a generalized consumer surplus measure: the Mineral King issue, Econometrica 44, 1259-1276

Clark,C.W.(1976) Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources. John Wiley and Sons. New York (邦訳：竹内啓・柳田英二訳(1983) 生物経済学. 342pp. 啓明社. 東京)

Clawson,M.(1959) Methods of Measuring Demand for and Value of Outdoor Recreation. Reprint 10, Resources for the Future, Washington,D.C.

Court,A.T.(1939) Hedonic price indexes with automotive examples.(in The Dynamics of Automobile Demand. General Moters Corporation, New York

Faustmann,M.(1849) Calculation of the value which forest land and immature stands possess for forestry.(in Gane.M,(ed)(1968) Martin Faustmann and the Evolution of Discounted Cash Flow. Institute Paper 42, Commonwealth Forestry Institute, Oxford University)

Freeman, A.M.Ⅲ(1979) Hedonic prices, property values and measuring environmental benefits: a survey of the issues. Scandinavian Journal of Economics 81,154-173

Goundrey,G.K.(1960) Forest management and the theory of capital. Canadian Journal of Economics and Political Science 26, 439-451

Hartman,R.(1976) The harvesting decision when a standing forest has value. Economic Inquiry 14,52-58

Heaps, T. (1984) The forestry maximum principle. Journal of Economic Dynamics and Control 7, 131-151

Heaps, T. and P.A.Neher(1979) The economics of forestry when the rate of harvest is constrained. Journal of Environmental Economics and Management 6, 297-319

Hirshleifer, J. (1958) On the theory of optimal investment decision. Journal of Political Economy 66, 329-352

Hirshleifer, J. (1970) Investment, Interest and Capital. 320pp, Prentice-Hall, Englewood Cliifs

Johansson, P.O. (1987) The Economic Theory and Measurement of Environmental Benefits. 223pp, Cambridge University Press, Cambridge

Johansson, P.O. and K.G.Löfgren(1985) The Economics of Forestry and Natural Resources. 292pp, Basil Blackwell. Oxford

Kamien, M.I. and N.L.Schwartz(1981) Dynamic Optimization. 327pp, North-Holland. New York

Kanemoto, Y. (1988) Hedonic prices and the benefits of public project. Econometrica 56, 981-989

Kanemoto, Y. and R.Nakamura(1986) A new approach to the estimation of structual equations in hedonic models. Journal of Urban Economics 19, 218-233

Lancaster, K.J. (1966) A new approach to consumer theory. Journal of Political Economy 74, 132-157

Löfgren, K.G. (1988) On the economic value of genetic progress in forestry. Forest Science 34, 708-723

Lyon, K.S. and R.A.Sedjo(1983) An optimal control theory model to estimate the regional long-term supply of timber. Forest Science 29, 798-812

Mäler, K.G. (1974) Environmental Economics -A Theoretical Inquiry-. 267pp, Johns Hopkins University Press. Baltimore

Mäler, K.G. (1977) A note on the use of property values in estimating marginal willingness to pay for environmental quality. Journal of Environmental Economics and Management 4, 355-369

McConnell,K.E.(1985) Economics of outdoor recreation (in Kneese,A.V. and J.L.Sweeney(eds), Handbooks of Natural Resource and Energy Economics. 755pp, North Holland, Amsterdam)

McConell,K.E., J.N.Daberkow and I.W.Hardie(1983) Planning timber production with evolving prices and costs. Land Economics 59, 292-299

McConnell,K.E. and I.E.Strand(1981) Measuring the cost of time in recreation demand analysis: an application to sportfishing. American Journal of Agricultural Economics 63, 153-156

Miller,R.A. and K.Voltaire(1980) A sequential stochastic tree problem. Economic Letters 5, 135-140

Miller,R.A. and K.Voltaire(1983) A stochastic analysis of the tree paradigm. Journal of Economic Dynamics and Control 6, 371-86

Mitra,T. and H.Y.Wan,Jr.(1985) Some theoretical results on the economics of forestry. Review of Economic Studies 52, 263-282

Näslund,B.(1969) Optimal rotation and thinning. Forest Science 15, 446-451

Neary,J.P. and K.W.S.Roberts(1980) The theory of household behavior under rationing. European Economic Review 13, 25-42

Newman,D.H., C.B.Gilbert and W.F.Hyde(1985) The optimal rotation with evolving prices. Land Economics 61, 347-353

Pressler,M.R.(1860) Aus der Holzzuwachlehre(zweiter Artikel). Allegemeine Forst-und Jagdzeitung 36,173-191

Quigly,J.M.(1982) Nonlinear budget constrains and consumer demand: an application to public programs for residential housing. Journal of Urban Economics 12, 177-201

Randall,A.(1987) The total value dilemma (in Peterson,G.L. and C.F.Sorg (eds), Toward the Measurement of Total Economic Value. 44pp, General Technical Report RM-148. USDA Forest Service)

Roback,J.(1982) Wages,rents,and the quality of life. Journal of Political Economy 90, 1257-1278

Rosen,S.(1974) Hedonic prices and implicit markets: product differentiations in pure competiton. Journal of Political Economy 82, 34-55

Samuelson, P. A. (1947) Foundations of Economic Analysis. Harvard University Press, Cambridge, Mass. (邦訳：佐藤隆三訳(1967) 経済分析の基礎（増補版）. 634pp, 勁草書房, 東京)

Samuelson, P. A. (1976) Economics of forestry in an evolving society. Economic Inquiry 14, 466-492

Scitovsky, T. (1951) Welfare and Competition. Richard D Irwin. Chicago

Scotchmer, S. (1985) Hedonic prices and cost/benefit analysis. Journal of Economic Theory 37, 55-75

Smith, V. K., W. H. Desvousges and M. P. McGivney(1983) The opportunity cost of travel time in recreation demand models. Land Economics 59, 259-278

Thunen, J. H. von(1863) Der Isolierte Staat, vol. 3, published posthumously in 1863 by H. Schumacher (邦訳：近藤康男・熊代幸雄訳(1989) 孤立国. 669pp, 日本経済評論社, 東京)

Varian, H. R. (1984) Microeconomic Analysis 2nd edn. 348pp, W. W. Norton and Conmpany, New York (邦訳：佐藤隆三・三野和雄訳(1986) ミクロ経済分析. 388pp, 勁草書房, 東京)

Weisbrod, B. A. (1964) Collective-consumption services of individual consumption goods. Quarterly Journal of Economics 78, 471-477

Weitzman, M. L. (1973) Duality theory for infinite horizon convex models. Management Science 19, 783-789

Willig, R. D. (1976) Consumer's surplus without apology, American Economic Review 66, pp. 589-597

Willig, R. D. (1978) Incremental consumer's surplus and hedonic price adjustment. Journal of Economic Theory 17, 227-253

謝辞

本論文は、私が1986年に京都大学大学院農学研究科博士後期課程に進学して以来行ってきた諸研究をまとめたものである。その研究と論文作成にあたっては多くの人々の御指導と御協力を賜った。ここでお世話になった皆様を記して、感謝の意を表しておきたい。

私の指導教官である有木純善先生（森林経理学研究室助教授）には、一貫してあたたかい御指導と御配慮を頂いた。先生は、論理整合性が満たされる限り、いかなる研究手法、スタイルも認めるという本質的、かつ寛容な精神で私の研究を支援して下さった。また、論理整合性を尊ぶという社会科学の基本姿勢を、研究・調査のさまざまな場面でお教え頂いた。

有木先生が森林経理学研究室教授として就任された当時、森林・林業のミクロ経済学的研究は日本の林業経済学会ではほとんど行われておらず、また、未熟な私にどれだけの研究成果が出せるかも全く不明であった。このような状況にもかかわらず、先生は私の意志を尊重して下さり、私の研究のために絶大なる配慮を払って下さった。私が今日、まがりなりにも研究を続けていられるのは、先生のあたたかい御支持のおかげである。また、本論文についてもこれまでと同様に詳細で親身な御指導を頂いた。私の錯綜した論文の中にいささかなりとも理路整然と整理された部分があるとすれば、それは先生の御指導の賜である。

岩井吉彌先生（森林経理学研究室助教授）には、学部学生の頃から十年来の御指導を頂いている。研究とはいかなるものか、社会現象の構造を見いだすにはどうすればよいか、という研究者にとって最も大切なことを根気強く、また厳しく御指導下さった。時には私がいたずらに技法に走ることを戒めて頂いた。私が研究の本質を何とか見失わずにやって来れたのは先生の御指導のおかげと思う。

私の以前の指導教官である半田良一京都大学名誉教授（前森林経理学研究室教授。現中京短期大学教授）には、近代経済学の手ほどきをはじめ今日の私の研究の方向付けをして頂いた。修士課程の頃、私は甚だ不謹慎な大学院生で、趣味と実益を兼ねて斑尾高原で山村レクリエーションの研究でもしようかと考えていたが、先生は私に林業経営の研究をすることを示唆して下さった。それが本論文が扱うような分野に興味を持つきっかけとなった。林業経営への資産選択理論の応

用について８時間にわたり議論をして頂いたことは、忘れ難い経験である。

半田先生は、若き頃「伐期令の理論」を著わされた。これは当時としては林業経営に対するミクロ経済学的研究として第一級のものである。本論文が今日の経済学の進歩を取り入れて、部分的にではあれ同書を発展させることができているとすれば、先生の学恩に対してわずかなりとも報いることになるだろう。

かつての森林経理学研究室のスタッフであった川村誠先生（現鳥取大学助教授）、藤原三夫先生（現岐阜大学助教授）、松下幸司先生（現鹿児島大学講師）、枚田邦宏先生（現京都大学演習林助手）、高柳敦先生（現京都大学演習林助手）にも感謝の意を表したい。川村先生にはさまざまな研究分野を御教唆頂いた。線形計画法、産業組織論、環境経済学あるいは現象学等、ともすれば狭いところにとどまりがちであった私の関心を広げて頂いた。藤原先生には研究のみならず、私生活においてもさまざまな指導を頂いた。藤原先生の御指導は産婆術とでもいうべきものであり、対話を通じて私の興味を明確化し、それを批判的に検討するものであった。松下先生、枚田先生、高柳先生は私の大学院時代の先輩あるいは同僚であり、共同研究、計量経済分析や環境経済学の文献の輪読、時には酒杯を傾けながらの議論を通じてさまざまな指導と刺激を得た。

私は他学科の諸先生にも貴重な御指導を頂いた。森田学京都大学名誉教授（前熱帯農学科国際林業論教授。現京都文化短期大学学長）には木材価格論に関する輪読会を通じて、林業に関する多面的な御指導を頂いた。藤谷築次教授をはじめとする農林経済学科農業経営学研究室のスタッフには、論文の書き方からミクロ経済学、計量経済学にいたるまで実にさまざまなの面で鍛えて頂いた。また、嘉田良平助教授（農林経済学科農政学教室）を中心とする環境経済学の勉強会は、本論文第２部を書く上での基礎となった。とりわけ嘉田良平先生と浅野耕太氏（ロチェスター大学経済学部大学院）にはさまざまな示唆と刺激を頂いた。

有木先生の友人である藤家龍雄先生（教養部数学科教授）には、本論文の素稿を丹念にお読み頂き、適切な指摘を頂いた。学部の頃の不勉強がたたって私は経済学も数学も全く自己流である。それだけに数学の専門の先生に論文を検討して頂いたことは、望外の喜びであった。もちろんそれにも関わらず残された誤りは私に帰するものである。

本論文には現実の森林所有者の行動に関する分析は含まれていないが、研究の

バック・ボーンは、多数の森林所有者に対するヒアリング調査によって形成されたものである。とりわけ真砂典明氏、松本健氏、大江俊平氏をはじめとする和歌山県の専業林家の皆様には、貴重な時間を割いて頂き、現実の林業経営から経営哲学に至るまで実にさまざまな御指導を頂いた。

最後に私事ではあるが、全くの仕事人間で、帰宅後や休日もキィボードに向かっている私に、不平も漏らさず、私の健康を気遣い、しばしば手を貸してくれた妻かよ子に感謝の言葉を贈りたい。