

林道密度に関する研究（第2報）

林道の経済効果とキャパシティ・コスト

有 水 彊⁽¹⁾

1. 接 近 方 法

林道密度の経済的与件の考察にあたり、ここでは林道密度の増加によって受ける林業地帯の影響を通じて、その具体的なしかもダイナミックな構造をみていくことにする。

そこで取り上げられる問題は次の4点である。

- (1) 林道密度の社会経済的效果
- (2) 林道投資基準と林道使用料
- (3) 道路密度と林道密度との斉合性
- (4) 林道密度と地域社会の長期的発展

この4点は個々別々に独立しているものでは決してない。たとえば林道計画を策定するにあたって、まず投資効果を測定し、それに基づいて投資基準を設定するといういき方が一般に行なわれているようであるが、後で述べるようにこのいき方は静態的な、しかも短期的な林道密度の決定方法といわなければならない。ところで林道には有料道路があるので、林道の使用料の徴収という問題を1つ加えてみると、それは上に取り上げた4点と直接的な関連をもち、従来簡単に採用されてきた原価主義をもってしては解決しえない問題を生ずることになる。ここではこの種のきわめて新しく、しかも国際的規模で現在討議されている限界費用価格形成原理の問題に林道密度の決定という具体的な問題を通じ¹⁾、より現実的な接近を試みる予定である。

2. 林道密度の社会経済効果

まず林道開設による経済効果については、林野庁水野伴鋪技官の報告によれば、一般につきのような効果があるとされている²⁾。

- (1) 生産コストの減少
- (2) 生産歩止りの向上
- (3) 品質の向上
- (4) 事業期間の短縮
- (5) 奥地林の開発
- (6) 里山における過伐の緩和
- (7) 地価の上昇
- (8) 経営意欲の増大
- (9) 造林コストの低減

(1) 経営部経営科経営研究室・主任研究官

- (10) 作業条件の向上
- (11) 災害コストの減少
- (12) 作業能率の向上
- (13) 森林の保護・管理の強化
- (14) 地元山村の社会的・文化的な向上
- (15) 地域産業の発展
- (16) 国民の健康・福祉の増大

この16項目にわたる効果は水野技官もことわっておられるように直接効果、間接効果および波及効果を区別されていないのであるが、もしそうした効果別の区別をするならばつぎのような区分が考えられる。

(a) 直接効果

- 1. 生産コストの減少
- 2. 品質の向上
- 3. 災害コストの減少
- 4. 作業条件の向上
- 5. 作業能率の向上
- 6. 造林コストの低減

(b) 間接効果

- 1. 奥地林の開発
- 2. 地価の上昇
- 3. 里山における過伐の緩和
- 4. 経営意欲の増大
- 5. 歩止りの向上
- 6. 事業期間の短縮
- 7. 森林の保護・管理の強化

(c) 波及効果

- 1. 地元山村の社会的・文化的な向上
- 2. 地域産業の発展
- 3. 国民の健康・福祉の増大

ところで、交通工学の分野では高速道路の経済効果の区分を直接効果、間接効果（以上便益）および不便益の3つに分けているので、参考までに掲げてみることにしたい³⁾⁴⁾。

(a) 直接効果

- 1. 走行費の節減
- 2. 走行時間の短縮
- 3. 交通事故の減少
- 4. 荷傷みの減少と梱包費の節約
- 5. 運転者の疲労軽減
- 6. 走行快適度の増加

(b) 間接効果

1. 生産計画・輸送計画および在庫計画の合理化
2. 工業開発効果
3. 未利用資源の開発促進
4. 都市人口の分散効果
5. 流通過程の合理化
6. 市場圏の拡大効果
7. 他道路の混雑緩和
8. 土地利用の変化と地価騰貴
9. 保健・教育水準の向上

(c) 不利益

1. 農地の道路用地への転用と農地の分断による農産物の減少
2. 新工場の進出による既存工場の生産量の減少
3. 財貨の流動パターンの変化によって供給できなくなった従来の供給地の損失
4. 道路の建設による文化財および観光資源の破壊による社会的損失
5. 道路を利用する自動車によって生ずる騒音、排気ガスなどの公害の増大
6. 宅地が道路用地となったための住宅移転の際の苦痛

水野技官の分類と日本道路公団の研究者の分類とを比較すると、一方は林道であり他方は高速道路であるが不利益を除いて効果に共通している点が非常に多い。もっとも林道は車道であるから、その意味では従来歩道あるいは歩道さえなかった林業地域では、高速道路と共通した役割を果たしていると考えられるわけである。

この経済効果の分類において注意すべきことは、林道の経済効果においては林道開設によって失われる林地・農地と流通過程の変化による市場の損失を除いて不利益は考えられないということである。もちろん、林道の間接効果はそうした不利益を相殺することが多いと思われるが、従来道路経済学者によって、後進地域での道路効果は先進地域のそれに比して各種の比率をとると著しく大きいことが指摘されているのは、このような関係に基づくものと考えられる⁵⁾。そこで両者を総合すると、林道の経済効果としてはつぎのような項目があげられる。

林道の経済効果

(a) 直接効果

1. 伐出費の節減
2. 伐出時間の節減
3. 伐出事故の減少
4. 作業員の疲労軽減
5. 品質の向上

(b) 間接効果

1. 生産計画・輸送計画および在庫計画の合理化による事業期間の短縮
2. 土地利用の改善と地価の上昇

3. 奥地林を含む未利用資源の開発促進
4. 歩止りの向上
5. 里山における過伐の緩和
6. 森林保護・管理の強化
7. 流通過程の合理化
8. 市場圏の拡大効果

(c) 波及効果

1. 地元山村の生活水準の向上
2. 地域産業の発展
3. 観光資源の開発

(d) 不便益

1. 林地および農地の林道開設による道路用役への転用
2. 流通過程の変化による市場の損失

ここでの直接効果は技術的外部経済、間接効果は貨幣的外部経済と考えてよい。

ところで、林道のみならず道路投資の効果を測定することは容易ではない。たとえば、社会的・文化的な向上という項目のなかに含まれている社会的効果は、それを貨幣価値に換算することが容易ではないために除外し、もっぱら道路効果を経済効果に限定している。そこで、こうした測定方法をここでも採用することにしたい。

3. 従来の林道の経済効果の測定方法

林道の経済効果の測定、および林道システムとしての林道密度の測定方法が、この研究のひとつの中心であるが、それにはいる前に道路の経済効果の測定方法にふれることにしたい。

さきに道路効果のなかから経済効果だけを抽象し、それを測定上の便宜から対象として取り上げたのであるが、道路は他の生産物と異なり、それ自体では物を生産することなく、むしろ他の生産物が、自由に道路を利用することによって効果を産み出しているために、投資の評価規準としての価格をもっていない。そこで、効果についてはもっぱら間接的な手法によって測定が行なわれている。そうした道路効果の測定方法を紹介することも林道密度の問題を考えるうえに役だつ点がすくなくないので、つぎに簡単にふれることにする。

- (a) 個別的分析方法： 影響を受けた⁶⁷⁾と思われる個々の道路効果を、貨幣タームによって調査分析のうえ測定し、その結果を積み上げていく方法である。これには費用・便益分析、インパクト・スタディ (Impact study) およびこの両者の手法を併用した経済効果分析がある。
- (b) 総合的分析方法： 道路建設の効果を統括的に、しかも巨視的に把握しようとするもので、通常は道路建設による輸送費の通減が、その地域の経済にどのような影響を与えたかについて、二次的效果および波及効果をも含めた経済効果全体を分析する方法である。これには地域産業連関分析による接近と、比較静学による接近とがある。前者には L. H. Moses のそれがあり⁶⁾、それは地域産業連関分析と線型計画法とを結合させ、地域別需要供給の均衡、地域別生産能力および生産要素の供給の限界、生産技術の地域的特性などを制約条件として、生産、輸送に要する投入量を最小にする財の最適

地域間取引のパターンを決定しようとするものである。後者はオランダの TINBERGEN の開発したものであるが⁹⁾ 道路建設後の経済状態は建設前のそれと同じく静態的であると仮定する比較静学的手法により、道路建設前と建設後の国民所得を比較し、その増加分が道路建設により生じた効果であるとしている。この方法はのちに Bos-Koyck によりかなり改善され、よりいっそう現実的な後進地域の開発模型に発展したが、静学的な性格を脱却するに至っていない¹⁰⁾。

ここであげた分析方法のなかで、林道の経済効果測定法には主として費用・便益分析に分類される方法が用いられてきた。その場合、費用としては林道開設のために投下される固定資本額をとり、便益としてはその林道施設によって開発された対象森林の立木と、林地の騰貴額をとり、償却、年経費、減少便益等を考慮のうえ年平均額として経済効果の測定を行なっている¹¹⁾。

元来、費用・便益分析はその社会的価値を正確に反映した市場価格が存在しない場合、あるいは道路のように財の不可分性のゆえに社会的限界生産物の社会的評価を、客観的に表示する証拠を測定する市場がないときに、公益的な行動を指導する基礎として私的および社会的生産物の間の差異を測定するために、便宜的に考えられてきた方法である。しかしながら、この方法の目ざしているところは私企業の決定理論が利潤極大を目ざしているように、費用・便益分析は責任の所在する地域のうちで、公共の便益あるいは一般の福祉の極大の追求にある。そこに費用・便益分析に規範的な性格があたえられている根拠がある¹²⁾。しかしながら、費用・便益分析をこの原則に完全に従って行なうことは現実において非常な困難があり、そのために厚生経済学の立場から多くの接近が試みられてはいるものの、結果において恣意的な性格をややもするとたざるをえない状態にある¹³⁾。

林道の費用・便益分析においては、林業の特質である長期性のために固定資本というストック (stock) を費用項目に導入しているが、道路の費用・便益分析はそれとは全く対照的に、もっぱらフロー (flow) に費用項目を限定していることは注目されてよいであろう¹⁴⁾。しかしストックの分析手法が、償却という手段を除くと全く欠除している現状において、林道の費用・便益分析では後で述べるように長期性を取り扱うことが不可能になってくるのである。したがって、林業の長期性とストックとを中心にした分析方法が考えられなくてはならない。

ここであげた種々の分析方法について、およびそうした測定方法の有用性の評価については、すでにいろいろな型で説明がなされているのでここでは省略させていただきたい。ただ結論に相当する部分だけを取り上げるならば¹⁵⁾、経済効果の個別的測定方法は、(1)一般の人々に対する説得力がある点において有用性が認められるが、(2)二重計算のおそれがある。(3)二次効果つまり波及効果およびハネ返し効果の測定が困難で、(4)効果の測定に市場価格を用いているが市場価格が均衡価格から乖離している場合には、市場価格による道路建設計画の経済的評価が不適切なものとなる。(5)経済効果の測定は需要、供給の両面からチェックされていないという致命的な欠陥をもつほか、(6)長期的な測定がなされていないという欠陥をもつことが指摘されている。

また総合的測定方法については、前の個別的測定方法において問題となった需給関係からのチェック、ならびに二次効果はこの方法により測定は可能になるが、(1)所得にあらわれない効果は測定できない。(2)輸送費以外の諸効果はこの方法で測定できない。(3)この測定方法が比較静学的方法に立脚しているために技術投入一定、収益不変の仮定があり、そのために、経済が発展する際に生じる規模の経済の有利性に関する、外部経済効果を測定できないことがこの分析方法の限定とされ、したがって、個別的方法がこの総

合的方法と補完性をもっていることから両者の併用が望まれるとしている¹⁶⁾。

つまり、総合的方法といえども発展した型での費用・便益分析であるが、前にのべた費用・便益分析の社会的責任ともいうべきものを追求していく過程において、個別的分析方法においてもインパクト・スタディを生み、さらに総合的分析方法が考えられるに至ったものである。

ところで、総合的分析方法が道路効果の測定上十分なものであるのかというと、決してそうではない。総合的分析方法は計量経済学的接近と、産業連関分析にみられる投入・産出分析に分かれるのであるが、前者については統計資料が模型の推定に十分なだけ用意されていることが必要条件になっていること、後者については現代経済機構の複雑さを、道路の経済効果についてこの方法で追求することに無理があると、行政機構が確立し、統計資料を必要なだけ備えている比較の後進的な地域の道路効果の測定には、この方法が適合していると評価していることから、いずれもより正確であって、より現実に対応した手法が要求されている¹⁷⁾。

つまり両者とも、過去の経済構造が前提となるのであって、林道密度の増加はむしろそのような既存の経済構造から離れて、より高度の自足経済を実現できる経済構造の建設を目指している場合には、分析方法としての欠陥がみつめられるのである。ここにより強力な分析方法の待望されるゆえんがある。

そこで暫定的な方法としてであるが、英国の道路研究所ではつぎの3項目で効果の測定を行なっているという¹⁸⁾。

- (1) 交通量改善効果 (benefit of improved traffic flow)
- (2) 事故減少効果 (reduction in accidents)
- (3) 交通量成長効果 (growth of newly generated traffic)

このような効果測定方法が、後進地域開発のための道路投資の際に世界開発銀行によって用いられた例がある¹⁹⁾。

ところで、経済効果に考察を限定してきたのであるが、道路の効果は経済効果だけに限られるものではないことは当然であって、社会的効果、政治的效果あるいは美的効果も考えられる。しかしなぜこうした効果が取り上げられなかったかという理由は、上述したように定量的測定が困難であったことに基づいている。しかもその効果は長期的に持続されるので、適当な指標を選び長期的な接近を理論的に試みる必要がある。

4. 林道投資基準

前にものべたように投資基準の決定のためには、まず投資効果を測定し、それを基礎にして投資基準を設定する方法が考えられてきた²⁰⁾。

林道の投資基準の決定もその例外ではなく、超過便益、国民所得増加額、投資回転率、費用便益比率、投資所得比率等の経済効果を測定し、過伐緩和率等の間接効果を算定し、限られた資金の効率的な運用が図られてきたのである²¹⁾。

その点においては一般の道路投資基準と同工異曲である。道路投資基準についての従来の接近方法をみると、つぎの4方法にまとめられるようである。

1. 費用便益分析²²⁾²³⁾²⁴⁾²⁵⁾
2. 道路斉合性分析²⁶⁾²⁷⁾

3. 投資基準分析²⁸⁾²⁹⁾³⁰⁾4. プログラミング・モデル³¹⁾³²⁾³³⁾

等がそれである。

これらの接近方法についてはすでに解説が試みられているので、ここでは省略する³⁴⁾。そのなかで注目すべきことは、道路の経済効果の測定および投資基準への接近において、道路投資の諸問題が長期的性質をもっていることから、そこで採用すべき接近は地域間交通量を主体とした地域的な模型から出発する、地域間産業連関模型の動学化を提唱していることである³⁵⁾。この方向への接近は、拙著で取り扱っている方法によりその模型化は必ずしも困難ではないであろう³⁶⁾。つぎに従来の接近で用いられてきた機会費用の性格を規定するものは目的関数であるから、その目的関数を社会的厚生を最大化にくみかえるべきであると示唆されておられることも同様に重要な見方といわなければならない³⁷⁾。このような接近は従来あまりとられたことがないために、今後の課題として取り上げられていることは注意さるべきである。

しかしながら、動学模型への途は静学模型のように容易ではないが、その場合に動学化の方法がまず問題となる。つぎに、目的関数を社会的厚生を最大化にとるとしても、その場合の厚生の内容が吟味されなければならないが、さらに重要な事はらは後で取り上げるように、動学模型のプログラミングにおける機会費用が静学模型とは異なった内容をもつことである。

ところで林道投資基準についての研究では、費用便益分析のみが用いられてきたが、その接近については林道の経済効果における費用便益分析のところで取り上げた批判が、ふたたび適用されてくるのである³⁸⁾。そこで、ここでは動学模型を社会厚生を最大化という目的関数の下で考察することにしたい。それは限界費用価格形成原理 (Marginal cost pricing principle) の名称で短期理論として発達した接近³⁹⁾の動学化を試みようとするもので⁴⁰⁾、それはキャパシティ・コストの理解に始まるのである⁴¹⁾⁴²⁾⁴³⁾。

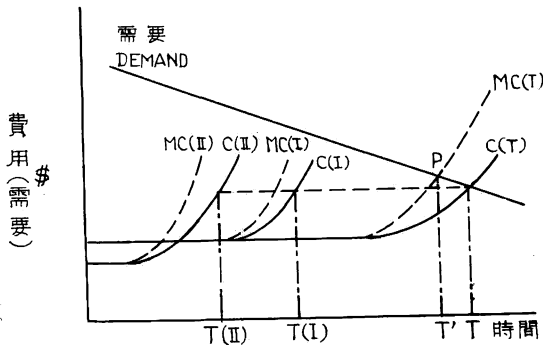
5. キャパシティ・コスト

林道密度の最適化を使用料との関連で考えるための基本的な問題の一つは、キャパシティ・コストである。キャパシティ・コストは序説で述べたように、最近会計学の分野でも取り上げられてきた⁴⁴⁾。この概念は長期計画の管理対象になるものであって、具体的な手段としては資本支出予算があげられる。

このキャパシティ・コストを経済学の立場からみると、それは物理的生産能力の有効な利用を可能にする適切な価格政策を求めるための基礎をなすものであるが、その結果として、利用された資源の社会的総費用が回収されなければならないことが必要条件になっている。林道密度でキャパシティ・コストが問題になるのは、つぎの2つの状態のいずれか1つが生ずる場合であるが、実際には両者が同時に生ずる場合が多い。

- (1) 費用通減の場合：限界費用ないし、その近傍にある費用が平均費用を下回っている場合
 - (2) 時間的に交通量のピークがあっても全体としての交通量が低い場合
- がそれである。

ここで問題になるのは(2)の場合であって、この場合をもうすこし考えてみることにしたい⁴⁵⁾。ここにA地点とB地点を結ぶ2本の道路があり、道路1を用いるときの車両の単位費用を第1図のようにC(I)で示すことにしよう。この単位費用は最初は水平であるが、車両数が増加すると混雑 (congestion) が生じて単位費用は上向きになる。同様な状態が道路2についても明らかに生ずる。道路2を走る車両の単位費用

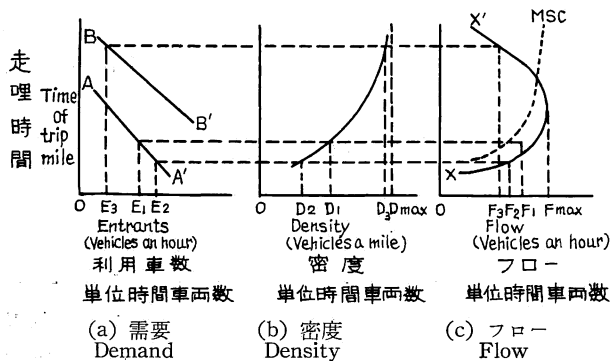


第1図 単位時間あたり車両数
Number of vehicles per hour.

曲線は交通量が低いときには道路1のそれよりも低い、交通量が多くなると道路1を上回ることにする。道路2の単位費用曲線を $C(II)$ で示すことにしよう。ここで2つの道路が完全に代替的であって、AからBに向かうときいずれの路線を選ぶことも自由にできるものとする、ここに2つの道路の用役に対して1つの需要曲線を求めることができる。もし運転者がいずれの道路をえらぶかを決めるときに、第1回の関係を考えただけで決定を下し、そのときいずれの路線にも多数の運転者がいるものとする、運転者は自分の車が他の車両に対して与える混乱から生ずる費用を考えることはなくなる。そうすると第1図の単位費用曲線 $C(I)$ および $C(II)$ は私的限界費用をあらわすことになり、均衡交通量は単位費用曲線を水平に加算すれば求められ、それは $C(T)$ で示される。そうすると OT が2つの道路の総交通量で、 $OT(I)$ が道路1の、 $OT(II)$ が道路2の交通量となる。総交通量 OT が所与のものであるときには $T(I)$ および $T(II)$ で、 $MC(I)$ および $MC(II)$ で示される社会的限界費用が等しいときに限り、2つの道路における交通量の分配は有効になる。その結果、一般には有効性を求めるとき総交通量は T から T' というように減少するものであり、そのときの社会的限界費用はいずれの道路についても等しくなり PT' になる。

以上の議論では道路が2本あって交通量は需要が増加すればそれにとまって増加するものと仮定したが、道路が1本となると事情がちがってくる。つまり、道路需要が非常に多くなると逆に交通量が減少し、それは道路需要が小さいときの交通量を下回ることになるという事態が生ずる。こうした関係が林道密度と単線の林道の間に生ずる道路用役の需給関係に生ずる基本的な相異点になっている。

つまり、このときの通行時間は交通密度によって決まる。交通密度を「ある瞬間に単位長の道路区間に存在する車の台数」と定義し⁴⁶⁾、それに対して交通量を「道路上のある1点を単位時間に通過する車の数」と定義することにしよう⁴⁷⁾。そうするとある道路の通行時間が余計かかるほど、交通量は減少しても交通密度は増加する。この関係を第2図(b)で示すことにする⁴⁸⁾。最大密度 D_{max} で走哩時間 (time of trip mile)



第2図 道路容量
Road capacity

は無限大になる。一方密度が小さいと、車頭時間は正值の常数になる。さて単位費用は走行時間に比例するものと考え、その道路の時間当たりの利用車数と走哩時間との関係を示した需要曲線を第2図(a)でうるができる。この密度の調節は実際にはダイナミックに行なわれるものであるが、それをめぐる複雑な関係を簡単にするために、

その道路の全延長にわたり密度が同一であり、調節は瞬間的に行なわれるものと仮定してみる。こうした大胆な仮定によって路上の交通フローを密度と速度の積、あるいは密度と走哩時間の逆数の積で書くことができる。その結果えた値を第2図(c)で示してある。

そうすると交通密度を D_1 とすると、そのときの需要が AA' で示されているときには、利用車数は OE_1 で、この道路から出ていくフローの量は OF_1 で与えられる。そこで OF_1 が OE_1 より大きいときには密度は減少し、走哩時間も減少し、その結果利用車数も減少することになる。走哩時間が小さいときに密度が減少すると、速度が増加しフローは減少するものであるが、密度が D_2 に減少し、利用車が E_2 に増加しても、出ていくフローは OF_2 に減少することがありうる。しかし、この調節の過程は OE_2 と OF_2 が等しくなったときに停止し、そのときの値は入力と出力との均衡フローの値を示すことになるのである。

さて今度は需要が BB' に増加した場合を考えてみる。そうすると密度は増加し、均衡はたとえば D_3 に達し、そこでは $OE_3=OF_3$ が成立している。ここでは密度の増加が速度を非常に減殺しているので、実際にはフローも減少している。そこで需要が BB' 以上に増加すると、フローはさらに減少するわけであるが、フローと走哩時間との関係は第2図(c)の XX' 曲線で示されている。そこでこの曲線を、密度を考慮に入れたフローと、単位費用との均衡関係を示すものとして解釈することにした。

ところで均衡フローは F_{max} で極大値に到達する。この極大値の水準をもってその道路のキャパシティ(capacity)と呼ぶことにする。この F_{max} は一つの需要曲線に対応しているものであり、需要がそれより増加するとフローの水準は F_{max} より下がり、単位費用は増加する。

一方、社会的限界費用は第2図(c)の破線 MSC で示され、それは単位費用曲線を上回っているが、フローが F_{max} に到達すると無限大になる。

ここでは道路のキャパシティは F_{max} を意味するのであるが、そのときをもって交通量のピークを示すことにしたい。このように、キャパシティの概念は元来フロー(flow)とストック(stock)の両概念を連結するものであるが、この考え方はフローの貯蔵が経済的に不可能な場合に用いられる。その例としては電力、水、あるいは市内と市外との交通のように生産物ないしサービスを技術的に貯蔵できない場合に限られているが、そのほかに原油のパイプラインによる輸送のように、生産物の容積その他の性格から代替的な貯蔵費が著しく高い場合があげられる。このような問題に共通した性格をもつものであるが、ここではキャパシティの費用価格理論を展開し、道路の経済効果と投資基準とを長期的に、しかも使用料との関連においてダイナミックに考察しようとするものである。

この費用価格理論は最初フランス国有電力会社理事 Marcel Boiteux によって接近が始められたが⁴⁹⁾、その後全く独立にアメリカで Hendrik Houthakker, Peter O. Steiner, J. Hirschleifer らによって研究が行なわれた結果、全く同一の結論に到達したという歴史をもっている⁵⁰⁾。この理論は一種のダイナミック・プログラミングであるから、DP によって接近することも可能である。しかしここで注意すべきことは、以上の研究はいずれも一次元の多段配分過程を取り扱っており、次元性の点で現実と合致しない。そこで多次元への道を開拓するとなると DP によるほかはないのであって、その他線型性の仮定、およびそれらがいずれも決定的過程を取り扱っているという欠陥をもっているのをより現実と合致させるためにも、DP の導入にまたなければならない。しかし、ここでは主として P. O. Steiner の考え方⁵¹⁾を用いてその中心的な考え方を示すことにするとともに、現在なお国際的な規模で研究がさかに行なわれてい

るこの分野の研究の進むべき方向を明示しようと考えている。

まず問題を簡単にするために、変動費は産出量の1次関数で、キャパシティ・コストは単位キャパシティの1次関数で固定費として示されるものと仮定する。そしてつぎのような簡単な場合を考えてみることにしよう。

ここにある林道が2期間にわたり利用されており、上述した2種類の費用だけを要すると仮定してみる。 b で期間あたりの単位変動費（ここでは定数をとるものとする）を示し、 β で単位キャパシティあたりの費用とし、必要とするキャパシティ・コストから独立しているものとする。

長期計画の立場からみると、単位を林道の利用回数にとると、林道を1回利用したときの限界費用はキャパシティが過剰のときには b であるが、不足のときで新しいキャパシティ1単位を必要とするときには $b+\beta$ となる。さて各期の林道利用に対する需要曲線が既知であって、たとえば第2図(a)のごとく利用車数に関し減少曲線をなし、異なる2期間のそれぞれの需要曲線は相互に異なっており、そのうえお互いに独立であって、最初の期間の需要曲線はつぎの期間のそのうえに必ずあるものと仮定してみる。

元来、林道は林産物の搬出を目的としているので、それが多目的な性格を与えられていたとしても、林道が開設されると相当期間林産物の輸送に利用されるのが普通にみられる現象であるから、ここで取り上げたモデルは林道にかなり適用されるものと思われる。しかし、このようにいろいろな制限を仮定したのは説明の便宜のためだけであって、推論の結論になら影響を与えることにならないことをお断りしておきたい。

このような仮定を設けたうえで、各期の最適林道容量を決め、その投資額が全額回収されるような使用料の決定を考えることにしよう。ただし、必要とするキャパシティはいずれの期においても、最大交通フローに見合うものであることが仮定されている。

6. 短期的価格

キャパシティ・コストを考えなければならない問題が生ずるのは、使用料が同一であるのに道路用役の需要が大きく異なっている場合である。

元来、道路の経済的効果について研究された論文および著書の全部は、短期的な見地に立っているのであって、そこである種の数学計画法が用いられていてもその目的関数は輸送費用の最小化がとりあげられ、その意味で支払う価格よりも満足を大きくし、しかもその満足を最大にするという私的企業に共通した目的が採用されている。そのために機会費用の理論的性格が弱くなるために、公共道路としては目的関数を社会的厚生を最大化に変えるべきであるという考え方も示されるに至っている。ここでは社会的に最適結果をもたらす限界費用によって使用料を形成する方法を考えようとするものであるから、ここで取り上げられている社会的目標は、満足が原価を越える部分（消費者余剰）を最大にする私的目標とは異なり、生産に用いられた資源の費用より消費者の満足の方を大きくし、しかもそれ（消費者余剰＋生産者余剰）を最大にすることにおかれていることに注意すべきである。つまりここでの問題は、各期において社会的最適性の実現をもたらす交通量を、林道の利用者が購入するような価格の集合を決める方法を求めることである。

ところで林道の需要量が価格の関数でなければ問題はきわめて簡単である。たとえば、需要が価格に対してまったく非弾力であると、価格に変化が生じて利用車数には影響がない。そうではなくて需要量が

価格の関数になっているとき、交通量がキャパシティを上回る期間と逆に、下回る期間のおおののフローに賦課する価格をどのようにすればよいのであろうか。第3図は前にのべたように2期間の場合を示しているのであるが、

$$P_1 = b + \beta \quad (\text{キャパシティを上回る場合})$$

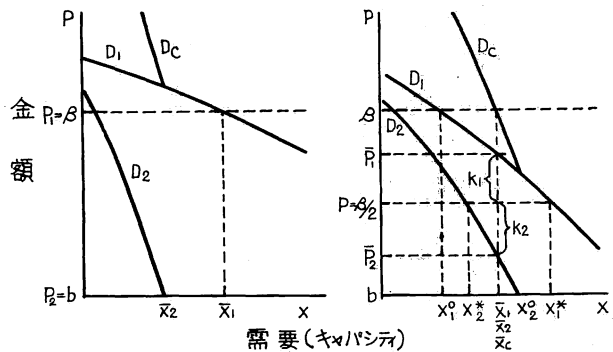
$$P_2 = b \quad (\text{キャパシティを下回る場合})$$

とすればよい。

このような価格政策をとれば総費用は回収され、林道の改良あるいは開設に要した総限界費用を支払うことになり過不足はなくなる。第3図で取り扱っている問題はいわゆるピーク・ロード（需要がキャパシティを越える場合）の問題で、それにはピークが固定している場合と、ピークが変動する場合の2つのケースが考えられる。第3図(a)はこの関係を図示したものである。

D_1 および D_2 曲線は第1期および第2期の道路用役に対する需要曲線であって、定数を仮定した単位変動費（比例費）を控除した使用料で示されている。

ここでの需要はキャパシティに対する有効需要をあらわしており、このキャパシティの決定がここでの問題になっている。 D_1 と D_2 とを合計したものを D_c 曲線で示すと、 D_c はキャパシティに対する総有効需要を示すものと解釈できるし、上記の



(a) 固定ピークの場合
Fixed peak

(b) 変動ピークの場合
Fluctuating peak

第3図 ピーク・ロード
Peak-loads

場合は林道の需要がピークになった場合の問題を示しているわけである。

左側の「固定ピーク」の場合をみると、正当なキャパシティは $\bar{X}_1$ であって、キャパシティに対する需要はそのキャパシティを確保する限界費用に等しくなり、限界キャパシティ需要は第1期の需要者のそれであるから、第1期の適正な使用料は、

$$P_1 = b + \beta$$

となる。

そこで第2期の需要者は、林道の維持に要する変動費に見合った使用料で林道を利用すればよいのである。そのときの適正な利用車数は $\bar{X}_2$ であって、

$$P_2 = b$$

となる。この場合の限界費用価格は、

$$P_1 = b + \beta \quad (\text{限界キャパシティの費用を含んだ限界費用})$$

$$P_2 = b \quad (\text{限界変動費})$$

であって、それで過不足はなくなり十分満足できることになる。これらの価格は期間によって異なっているが、原価の差異のみに基準をおいているので、差別料金とはいえない。

ところがこの方法を右側の「変動ピーク」の場合に適用すると、 X_1^0 と X_2^0 となり、 X_1^0 が X_2^0 よ

り小さく、 X_1^0 単位だけのキャパシティはコストは回収されても、事實は X_2^0 単位だけのキャパシティを必要としているのである。また平均料金を P^* とすると、平均料金も満足すべきではない。というのは、

$$P^* = b + \beta/2$$

としたのでは、利用車数 (X_1^* , X_2^*) について、 X_1^* 単位だけのキャパシティを設けておいて、 $(X_1^* + X_2^*)/2$ 単位分だけの料金を賦課することになるからである。ここでも X_1^* 単位だけのキャパシティを第2期では十分に利用していない。

正しい解を求めるために D_c 曲線を考えてみよう。総キャパシティを $\bar{X}_c$ に等しくすることは、両方の需要をいっしょに考えたときに正当化される。この規模まで各期の利用車数を増加すると、それは変動費 b がその使用料を超えることになり、最適利用車数は

$$\bar{X}_c = \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

となる。使用料は図に示されているように、 $\bar{P}_1$ および $\bar{P}_2$ となる。

以上の考察を一般化すると、キャパシティ1単位の増設が正当化されるのはつぎの場合に限ることがわかる。

(1) 任意の期間だけの需要

および

(2) 2期以上の需要を総合した場合

がこれである。

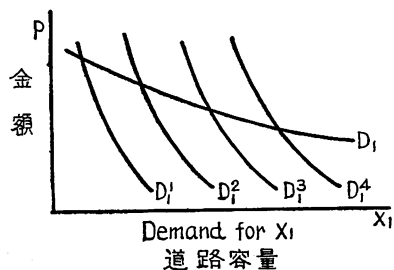
一度あるキャパシティが決定されると、変動費の回収に失敗しないかぎり、そのキャパシティまで各期の利用車数を増加することになる。かくして各期の最適利用車数と需要曲線とが与えられると、最適使用料の決定は容易である。この「変動ピーク」の解の最も重要な点は、最適利用車数は各期において等しくても、価格が異なるということである。これが差別価格の意味である。

この結果は容易に n 期の場合に拡張することができる。その場合にある期間のグループに対しては「変動ピーク」の理論が適用されるが、これらのグループと他の期間との間では「固定ピーク」の関係の成立することがある。

この解の中心的な考え方は2期間の場合と同じである。つまりキャパシティに対して、ピークの需要を生ずる期間に、いいかえるとその需要によってキャパシティの限界単位が総合的に正当化される期間に、そのキャパシティ・コストの全部を負担させようということである。しかしその負担額は期間によって異

なり、それはキャパシティに対する有効需要の強さに比例する。

ここで問題になるのが需要曲線の性質であって、価格変化に対する需要の対応の仕方が遅くて、タイム・ラグ（時間遅れ）を生ずるときには、即時的な需要変動を考えることは誤りである。その場合には第4図に示されているように、一連の即時的な需要曲線上の適当な点をつらねた長期的な曲線を用いることになる。



第4図 X_1 の需要

Demand for X_1 .

第5図は「変動ピーク」と「固定ピーク」の場合が混合し

たケースを3期間の場合について示したものであるが、このような原価主義にもとづいた価格が一般的な場合に最適結果に導くことが保証されるものなのか、について考察を試みよう。

7. 長期的価格

b と β だけを知っておれば、最適結果に導く料金制度を工夫することができるといえる。というのは価格を限界費用に等しくさせると、私的費用と社会的限界費用とが等しくなり、需要関係に示されたそれぞれの場合の目的は、費用をこえて消費者の満足する余剰を最大ならしめることになるからである。

しかし「固定ピーク」の場合の簡単な方式 ($P_1 = b + \beta$; $P_2 = b$) はそれを事前に発表しておくで消費者がその価格に対して購入の選択を行なうので、ピークが前の型とは異なったものになり失敗することがある。同様な関係は「変動ピーク」の場合にも生ずるのであって、それは単に私的な最適性と社会的なそれとの相違に基づくものばかりではない。

そこでつぎの料金制度が決められたと仮定しよう。

$$\text{ピーク時の料金} = b + \beta/m$$

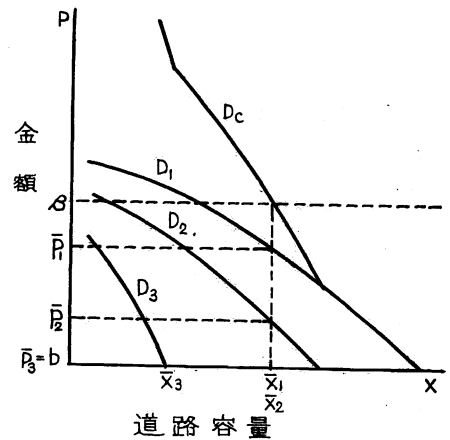
$$\text{ピーク以外の料金} = b$$

ここで m は最大需要をとまなう期間の数である。このような料金は実際の利用高に基づいて各会計期間の終わりに賦課されるのが安全であって、それは事前的な料金の推定というよりは事後的にそれを決めるのに役立つと思われる。しかしそれを別としても、この制度はつぎに述べる利点をもっている。

- (1) この方式によって料金決定担当者が費用に注意を払い、利用車数を記録するようになる。
- (2) 費用一定という仮定のもとでも、費消した総原価を回収することができる。
- (3) m が1より大であっても、任意の会計期間について2種類の料金を設定するだけで足りる。

しかしこの方式により最適利用車数と最適キャパシティが実現するのは、利用者がその集团的福祉の最大を自ら選択するときに限られるのである。そうした選択を利用者が選択しない場合の問題については、ゲームの理論によってかなり説明ができるのであるが、ここでは省略する。

このように理論的に最適な考え方が政策決定にそのまま使えるのは、問題となる資源の配分が行政機関によって直接行なわれる場合だけに限られるわけであるが、そうなると林道開設はその典型的なものといえよう。しかし、事後的な料金制度は利用者に不確実性という負担をかけることになるので、その効果は限られたものになると思われるが、利用者の数が伐出業者が主体であって小数で、その利用回数が大きなときには実行の可能性がある。しかし一般的には、この方式の成功は料金改訂の可能性に結局関係するのであって、経済がダイナミックな発展を行なう場合、たとえば地域開発を計画するような場合には、この料金決定の問題が特に重要になるので、つぎに取り上げることにする。



第5図 3期間の混合した場合
Three periods, mixed case.

8. 短期限界費用と長期限界費用（投資基準）

前節までは主として P. O. STEINER の論文によって、短期限界費用と有効価格との関係を林道の場合についてみてきたのであるが、地域開発を目的とした林道密度の増加を考えると、長期限界費用の立場が当然必要になってくる。もっとも STEINER もこの問題を取り上げないわけではなかったのであるが、これをさらに明確に説明するとつぎのような結論がえられる⁵²⁾。

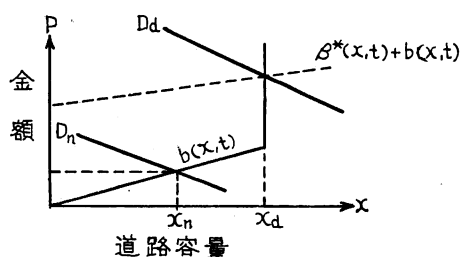
- (1) その料金で需要に見合う利用回数について短期限界費用を賦課する。
- (2) その利用回数で短期限界費用が長期限界費用より大であればキャパシティを増加し、その逆であればそれを縮小すること。

が理想的な投資基準であって、そうなると長期の均衡では、使用料は短期および長期の限界費用に等しくなる。

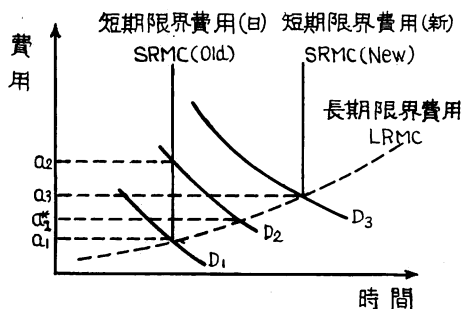
林道開発では予測不可能な事象をも含めると、建設費は長期的には通増するものであり、とくに今後十数年間における 20 兆円以上に及ぶと推定されている道路投資を考えると、やがて取り上げる予定である道路密度と林道密度との斉合性との関係からそれは増加すると思われる。一方、その短期限界費用はピークにおいても一定と考えられるので、そうした関係を第 6 図に示してみる。

つまり、需要曲線は古いキャパシティの下では上方にシフトするが、シフト以前には使用料が短期限界費用と長期限界費用の両者に等しい時期がある。この関係をつぎに第 7 図で示してみる。キャパシティは需要曲線の増大に応じて増加させなければならないが、ふたたび短期限界費用と長期限界費用との均等がもたらされるのは、需要曲線 D_3 が実現しそのときに新しいキャパシティが完成するときである。そうすると、この場合にとるべき料金政策はつぎのようになる。

料金を各期の短期限界費用に等しく決めてはならない。というのは、もしそうすると価格が a_1, a_2, a_3 といったフラついた系列になるからである。それよりはむしろ徐々に増加する料金の系列で等間隔をほぼ保つ a_1, a_2^*, a_3 を課したほうがよいのであるが、これはキャパシティが需要にいつも完全に適応するときには現わされる系列である。第 7 図のようにキャパシティの限界が固定されているときには、料金の系列は一時的には客観的な価格だけによって決めなくても、長期的には十分その困難が解決されるような方法を考えることが必要になる。このような手続は現実の料金改訂を考えるときには避けられないことが理解されるであろう。



第 6 図 短期限界費用と長期限界費用 (1)
Short and long run marginal
capacity.



第 7 図 限界費用と価格
Marginal costs and price.

つぎに長期的な立場から短期限界費用をみると、変動費はもはや定数ではなくなる。それは利用車数 X と時間の関数となるので、したがって短期限界費用は $b(X, t)$ であらわされ、同様にキャパシティ・コストも $\beta(X, t)$ となるのは当然である。そうした各期の需要と費用との関係を第6図は示している。

このような体系を実施するうえで、実際に生ずる最大の困難は各期の需要曲線の推定であって、それは短期のみならず長期の場合にも妥当することがらである。しかし需要曲線の推定については最近 DP を含めた OR の分野で長足の進歩を遂げており、その成果をこの接近に試みる予定である。

さて、以上で取り上げた接近方法は、前にものべた限界費用価格形成原理の研究者たちによって到達した結論であり、それを林道問題に適用したのにすぎなかった。しかしそれは一種のダイナミック・プログラミングであることから、R. BELLMAN のダイナミック・プログラミングの立場からつぎに考察を試みることにする⁵³⁾。

9. ダイナミック・プログラミングによる接近

林道開発の問題は DP の隘路問題として考察を試みるができる。A. A. WALTERS の説明をまづまでもなく⁵⁴⁾、一方に豊富な森林資源があつて、他方にキャパシティの大きな高速道路があつても、両者を結ぶ林道のキャパシティによって林産物の搬出ばかりでなく、高速道路から森林への乗り入れも規制されるわけであるから、林道は文字どおりの隘路に相当するわけである。

ここでは BOITEUX および STEINER を含む従来の限界費用価格形成原理の研究で取り上げた模型より現実に近い模型について考察してみる。しかしこの模型も DP による接近としては最も簡単なものである。

$X_1(t) = t$ 期における林業用車両の最大フロー

$X_2(t) = t$ 期における既設林道密度のキャパシティ

と定義する。

キャパシティの測度として X_2 で示されるキャパシティの単位は単位期間内に1単位の交通フローを利用可能にするものであつて、1単位のキャパシティの増加によって1単位の交通フローが単位期間中に増加することになる。

さて $Z_i(t)$ で t 期における X_i の増加の速度を示すことにし、タイム・ラグがないものとする、林道開発のシステムとしてつぎの連立微分方程式をうる⁵⁵⁾⁵⁶⁾⁵⁷⁾⁵⁸⁾⁵⁹⁾。

$$dX_1/dt = Z_1(t) - a(t)Z_2(t), \quad X_1(0) = C_1$$

$$dX_2/dt = Z_2(t), \quad X_2(0) = C_2$$

制約条件として

$$Z_i(t) \geq 0, \quad (i=1, 2)$$

$$X_1(t) \geq 0,$$

$$Z_1(t) \leq X_2(t)$$

をあげることができる。

ここで $a(t)$ は既設林道密度のキャパシティの中で林業以外の用途をもった車両が利用する割合を示している。この a は定数係数の場合もある。そうすると、上記の制約条件付きの連立微分方程式は、林道密度のキャパシティを示した模型を意味している。この模型の特徴は従来の研究が用途別車両を区別していないのに対して、林道は林業用車両と林業以外の用途をもった車両とを利用させるものとして区分した

こと、および最適な長期限界費用の軌跡を考察できるようになっていることである。この模型に対していろいろな目的関数を取りうるのであるがT期のおわりにおける林道密度のキャパシティを最大ならしめるように、各期において $Z_1(t)$ および $Z_2(t)$ を決めることにする。それが決められれば前節までに説明した関係によって投資基準および使用料が決定されるのであるが、なによりもまず林道の経済効果が、このような決定方法によって規定されることになるのである。

この問題は典型的な DP の隘路問題であって、そこでは需要曲線が表面に出ていないが、 $X_1(T)$ は T 期における林道の交通需要に見合うものであることは当然といわなければならない。つまり、そうした需要を T 期間に満たすための最適経路を求めることがここでの問題になっているわけである。

さて開発された林道は、林業および林業以外の目的に利用されるのであるが、 $a(t)$ によって林業以外の用途のための交通フローが決められても、林業と林業以外の車両の利用増加率が同一でないかぎり、林業用車両の方が早くその林道のキャパシティに到達することもある。そうした問題の解決方法もこの接近によって解決することができる。

つまり、これまでのべてきた接近によって、 $b_i(X, t)$ および $\beta_i(X, t)$ ($i=1, 2$) の値を知ることができる（従来の方法では $b(X)$ 、および $\beta(X)$ の値しか知ることができないことに注意すべきである。しかし、ここでは i について区別する必要はない）。そこで一応、ここで取り上げた問題は解決されたわけであるが、残っている問題が1つある。それは林業用車両とそれ以外の車両の使用料をどのように決めればよいかということである。原則論としては、林道では林業用車両が一般道路と異なり優先すべきであるから、もし交通フローが林業以外の車両によってそのキャパシティの限度まで到達する場合には、その超過額はそうした車両に賦課すべきである。しかし、一般的厚生立場からみると、負担力主義およびその他の通念によって、是正が加えられることになる。この問題については次回に譲る。

上に示した DP の計算方法については容易に解析解が求まるので、別に数値解を求める必要はない。

10. 林道密度と道路密度との斉合性および林道密度と地域社会の長期的発展

この問題は今後の問題として取り上げる予定であるが、最後に一言触れておく。

まず道路密度と林道密度との関係について考えてみると、前節で用いた $X_2(t)$ で一般道路と林道の和の道路密度、 $X_1(t)$ で一般道路密度をあらわすことにすれば両者の長期的な最適関係は求められる。つまり $a(t)Z_2(t)$ が林道密度をあらわすからである。

この場合 RAHMAN 模型によれば $a(t)=0$ の場合もありうる⁶⁰⁾。しかしここで示した模型では、 $a(t)$ は現実の道路利用の必要性から推定されなければならないのが当然と思われるのであるが、もし $a(t)=0$ とすればそれは非均衡的發展を意味するというべきである。均衡的發展と非均衡的發展との関係については R.S. SUTCLIFFE の論文⁶¹⁾の結論にもあるように、二者択一的ないき方は正しくない。しかし、両者の發展の比較を考えるためには前節の模型は有用であり、PONTYAGIN⁶²⁾ 模型と BELLMAN 模型の比較にもなり、また目的関数をめぐる価値論が必要になろう⁶³⁾。

同様な問題は林道密度と地域發展との関係にもつながるものをもっている。

11. 結 論

本報告は林業会計学の固定資産会計に相当する研究であるが、同時に技術および経済との関係を考察した。

このように林道密度の在り方によって、その地域の森林資源は大きな影響を受け、地域開発にも非常に関係してくる。そのことがまた林業密度に影響を与えることになるのである。

文 献

- 1) CLEMENS, Eli W.: Marginal Cost Pricing: A Comparison of French and American Industrial Power Rates, *Land Economics*, **XL**, 4, (1964)
- 2) 水野伴舗: 林道の経済効果及び適正密度について, 昭和39年度長期委託研修報告, 林野庁, (1965)
- 3) 佐々木恒一・河野博忠・蔵下勝行: 道路の経済効果と投資基準, 交通工学, 8, 技術書院(1965)
- 4) 太田成昭: 道路の地域社会に及ぼす影響, 地理, (1964)
- 5) BRUNNER, Christopher: The Economic Justification of Roads. Chairman, International Road Federation, *Journal of the Institution of Highway Engineers*, **IX**, 2, (1962)
- 6) 3)を参照
- 7) 4)を参照
- 8) MOSES, L. H.: A General Equilibrium Model of Production, Interregional Trade and Location of Industry. *The Review of Economics and Statistics*, **XLII**, 4, (1960)
- 9) TINBERGEN, J.: The Appraisal of Road Construction. Tow Calculation Schemes. *The Review of Economics and Statistics*, **39**, 2, (1957)
- 10) BOS, H. C. and M. KOYCK: The Appraisal of Road Construction Projects. A Practical Example. *The Review of Economics and Statistics*, **LIII**, 1, (1961)
- 11) 2)を参照
- 12) KRUTILLA, John V.: Welfare Aspects of Benefit-Cost Analysis. *The Journal of Political Economy*, (1961)
- 13) 12)を参照
- 14) 2)を参照
- 15) 3)を参照
- 16) 3)を参照
- 17) 5)を参照
- 18) 5)を参照
- 19) 5)を参照
- 20) 3)を参照
- 21) 2)を参照
- 22) American Association of State Highway Officials: Road User Benefit Analysis for Highway Improvement, (1952)
- 23) ECKSTEIN, O.: Water Resources Development. *The Economics of Project Evaluation*, (1958)
- 24) KRUTILLA, J. V. and O. ECKSTEIN: Multiple Purpose River Development. *Studies in Applied Economic Analysis*, (1958)
- 25) MARGOLIS, J.: The Economic Evaluation of Federal Water Resources Development. A Review Article. *American Economic Review*, **XLIX**, 5, (1959)
- 26) 高速道路調査会・道路効果分科会: 長期道路整備による経済効果の計測に関する研究調査, (1963)

- 27) 河野博忠：公共投資の必要性と斉合性——実証的分析——，高速道路と自動車，VII，2，(1964)
- 28) STEINER, P. O.: Choosing among Alternative Public Investments in the Water Resource Field, The American Economic Review, **XLIX**, 5, (1959)
- 29) REITER, S.: Choosing an Investment Program among Interdependent Project. The Review of Economic Studies, **XXX** (1), 82, (1963)
- 30) MARGLIN, S. A.: The Opportunity Cost of Public Investment. The Quarterly Journal of Economics, **LXXVII**, 2, (1963)
- 31) RAHMAN, Md. A.: Regional Allocation of Investment. Quarterly Journal of Economics, **LXXVII**, 1, (1963)
- 32) DORFMAN, Robert: Regional Allocation of Investment; Comment. Quarterly Journal of Economics, **LXXVII**, 1, (1963)
- 33) INTRILIGATOR, Michael D.: Regional Allocation of Investment; Comment, The Quarterly Journal of Economics, **LXXVIII**, 4, (1964)
- 34) 3)を参照
- 35) 31)32)33)を参照
- 36) 有水 疆：林道密度に関する研究（第1報）序説，林試研報，173，pp. 81～91，(1965)
- 37) 3)を参照
- 38) 12)を参照
- 39) 大石泰彦：「経済厚生・租税および公益事業の料金，理論と統計（有沢教授還歴記念論文集(1)経済学論集 24，3，4，東京大学経済学部，(1956)
- 40) NELSON, Edited by J. R.: Marginal Cost Pricing in Practice, Prentice-Hall, Inc., (1964)
- 41) STEINER, Peter O.: "Peak Loads and Efficient Pricing", The Quarterly Journal of Economics, **LXXI**, pp. 585～610, (1957),
- 42) 有水 疆：水資源開発とダイナミック・プログラミング，オペレーションズ，リサーチ，日本科学技術連盟 **10**，4，(1965)
- 43) 有水 疆：水資源開発と原水価格政策，水利科学，46，(1965)
- 44) 第1報文献13参照
- 45) WALTERS, A. A.: The Theory and Measurement of Private and Social Cost of Highway Congestion, Econometrica, **29**, 4, (1961)
- 46) 高田 弘：交通容量，技術書院，(1965，40. 4)
- 47) 同上
- 48) 45)参照
- 49) 40)参照
- 50) HIRSHLEIFER, J.: Peak Loads and Efficient Pricing, Comment, The Quarterly Journal of Economics, **LXXII**, 3, (1958)
- 51) 41)参照
- 52) MARSCHAK, Thomas: Capital Budgeting and Pricing in the French Nationalized Industries, Journal of Business, **XXXIII**, 2, (1960)
- 53) 第1報文献(4)(5)(6)(7)(8)
- 54) 45)参照
- 55) BELLMAN, Richard: Dynamic Programming, Princeton University Press, (1957)
- 56) BELLMAN, Richard: Adaptive Control Processes, Guided Tour-Princeton University Press, (1960)
- 57) BELLMAN, Richard: Applied Dynamic Programming, Princeton University Press, (1962)
- 58) BELLMAN, Richard: Quasilinearization & Non-linear Boundary-Value Problems, American

Elsevier Publishing Co., Inc. (1965)

59) ARIS, Rutherford: Discrete Dynamic Programming, Blaisdell Publishing Co., (1964)

60) 文献31)32)33)参照

61) SUTCLIFFE, Robert B.: "Balanced and Unbalanced Growth", Quarterly Journal of Economics, LXXVIII, 4, (1964)

62) 34)参照

63) 12)参照

Density of Forest Road. (2)

Capacity cost.

Tsutomu ARIMIZU

(Résumé)

Justification of the forest road system, which we call forest road density, has been made on the basis of conventional cost control or ambiguous benefit-cost analysis with static nature lacking welfare concept sometimes¹²⁾, although it is long-range and dynamic consideration that is essential for forestry.

In this paper an approach is made for economic justification of forest road density⁵⁾ from the aspect of dynamic programming on the basis of capacity cost of the well-known marginal cost pricing theory¹⁾⁴⁰⁾ which has been developed by Marcel BOITEUX⁴⁰⁾, H. S. HOUTHAKKER, Peter O. STEINER⁴¹⁾, J. HIRSHLEIFER and so on⁴⁰⁾.

For instance, Dr. STEINER wrote in his paper⁴¹⁾ that to generalize the argument it is essential to recognize that a unit of capacity is justified if and only if (1) it is justified by the demand in any period alone or (2) it is justified by the combined demands in two or more periods. This way of thinking is nothing but an eloquent expression of the principle of optimality in his approach to marginal cost pricing on the basis of which Dr. Richard BELLMAN, RAND Corporation, developed for the first time the so-called dynamic programming and adaptive control processes⁵⁵⁾⁵⁶⁾, if in that above sentence referred to "or" was replaced by "and": this is right.

In this way marginal cost pricing is one of the problems of dynamic programming. According to the language of dynamic programming⁵⁵⁾, marginal cost pricing theory up to recent times has been attacking one-dimensional deterministic multi-stage allocation processes. In this paper the writer showed for pedagogical purposes the two-dimensional case with the two variables $X_1(t)$ and $X_2(t)$, which represents the maximum⁴⁵⁾ flow of log-loading trucks at time t and the capacity of forest road density already developed, respectively⁵⁵⁾⁵⁶⁾⁵⁷⁾.

Let $a(t)$ be the ratio occupied by vehicles not for forestry activities, and $z_i(t)$ the speed of $x_i(t)$, then the following simple system of differential equations with the constraints can be obtained.

$$\begin{aligned} dX_1/dt &= z_1(t) - a(t)z_2(t), & cX_1(0) &= c_1 \\ dx_2/dt &= z_2(t), & X_2(0) &= c_2 \\ z_i(t) &\geq 0 \\ X_i(t) &\geq 0 \\ z_1(t) &\leq X_2(t), \end{aligned}$$

This is the typical example of bottleneck problems of dynamic programming if the objective function of it were chosen, for instance, as maximizing $X_1(T)$, and solution of the marginal

cost pricing in the two-dimensional case is straightforward, because operating cost $b_i(X, t)$ and cost of providing a unit of capacity $\beta_i(X, t)$ ⁵²⁾ can be determined accordingly once optimal path of $X_1(t)$ and $X_2(t)$ were determined by this dynamic programming; It is not difficult to expand the technique to the N-dimensional case.

As the result of this approach, interdependence between economic benefits of forest roads including forestry, investment criteria, road charges and forest road density were clarified in a dynamic vision. This is the merit of this approach under not only deterministic but also stochastic and adaptive cases⁵⁶⁾⁵⁷⁾⁵⁸⁾⁵⁹⁾, irrespective of the curve of long-range marginal cost.

The feature of this model is aiming at balanced growth of forest road that is different from Rahman's approach⁸¹⁾⁸²⁾ and it will show a difference between Pontryagin's model⁸³⁾ and Bellman's model which can be said to represent unbalanced and balanced growth⁶¹⁾ respectively, although the mathematical model is somewhat different and in the long run during which we have to estimate in order to compare the benefit between these two kinds of growth, balanced growth would be realized eventually.