

交通混雑の問題は古くて新しい問題である。この問題への主なアプローチとして、経済学からのものと、工学からのものがある。より具体的には、前者は交通経済学として、後者は土木計画学として知られている。土木計画学を中心とする分野はその巧みな数理的手法を駆使することによって複雑な交通ネットワークを解析する。そして、アルゴリズムを構築し実際の数値を求めることで、混雑現象の解明に関し一定の学術的貢献をなしている。一方、交通経済学は限界費用価格形成の考え方に基づいて混雑料金の賦課を中心とする政策的な提言を行ってきている。しかし交通経済学も土木計画学も、比較的最近まで相互に接点を持たず独立に分析が行われてきた。交通ネットワーク分析に関するこうした認識が本論文の出発点となっている。

交通混雑は主として都市で生じるが、都市においては道路だけではなく、鉄道も複雑なネットワークを構成している。本論文は都市における交通ネットワークを研究対象として、新しい政策的な含意を得ようとする。その内容は多岐にわたるが、本論文がそれらを通じて訴えようとするメッセージは筆者が指摘するように次の2つに凝縮されている。

(1) 近年においては複雑な交通ネットワークのシミュレーションが研究対象となっているが、単純なネットワークの分析によっても有益な政策的含意がある。

(2) 交通ネットワークの問題を経済学を用いて分析したときに、工学的観点からは導出できない知見が得られ有益な政策提言が可能となる。

この2つのメッセージが本論でのさまざまな分析における共通の視点となっており、論旨が展開される。

本論文の構成は次の通りである。

第1章 序論

第2章 過去の研究の概観

第3章 Wardropの原理

第4章 Wardropの原理から派生する3つのパラドックス

第5章 パラドックスの理論的解明

第6章 Downs-Thomsonパラドックスの実証分析

第7章 限界費用価格形成に基づく道路料金が代替公共交通機関へ及ぼす影響

第8章 鉄道運賃規制下における道路料金形成

第9章 仮想的シミュレーション分析

第10章 都市高速道路の最適料金格差とそのネットワークへの影響

第11章 実証的シミュレーション分析

第12章 ロードプライシング収入による鉄道補助

第13章 都市高速道路の独占企業としての行動分析

第14章 結論

第1章から第3章は第I部を構成し、第I部を通じて本論文における論理展開の基礎が提供される。

第1章においては、本論文の問題意識を明確にするために、電力や情報通信ネットワークと道路や鉄道などの交通ネットワークとの違いが、ネットワークの内部を移動する主体が自ら意思決定をする主体であるかどうかという点にあることを述べる。これにより、本論におけるネットワークの分析が前者のネットワーク分析と基本的に異なることを示す。そして本論において一貫して主張されるメッセージとして、前述の2つが指摘される。このメッセージが本論文全体を通じて透徹されることを明示し、本論文の構成が解説される。

第2章では、過去の研究が概観され、交通ネットワーク分析におけるアプローチが系統的に整理される。交通ネットワーク分析の発端としてPigou vs. Knight論争が取り上げられる。筆者はこの論争を交通ネットワーク分析の出発点として認識しており、このように交通ネットワーク分析がまず経済学の分野においてなされたにもかかわらず、比較的最近までこの分野について経済学からの分析に進展がなかったことを強調する。次に近年の交通ネットワークに関するさまざまな研究のうち、特に注目すべきアプローチを3つ取り上げて概観している。具体的には、ADLモデル、Bi-level programmingモデル、そしてVerhoefによるアプローチである。前二者はそれぞれに分析上の利点はあるものの、本論文の目的のためには直接的な利用が不可能であることが示され、Verhoefによるアプローチが本論文の分析目的に合致することから、このアプローチが活用されることが指摘される。

第3章では、交通ネットワーク分析の基礎となるWardropの原理を紹介し、それを数理最適化問題としてとらえ直すことで、理論の精緻化をはかっている。すなわち「利用される複数の経路の所要時間は皆等しい」とするWardropの原理は、所要時間の最小化を目指す目的関数を設定することで導出できることを示す。そして、需要変動型の利用者均衡モデルを提示することを通じて、筆者は土木工学的なアプローチと経済学的なアプローチの違いを明確にし、未開拓の部分が大きい経済学的なアプローチの重要性を強調する。

次の第4章から第6章までが第II部を構成し、交通ネットワーク固有の問題としてパラドックスの重要性を指摘する。

第4章では、簡単な数値例を用いることによって、交通ネットワークについて指摘されてきた3つのパラドックスについて検討する。具体的には、「大容量の代替のルートがあるとき、道路投資を行っても当該区間の交通量は減少しない」というPigou-Knight-Downsのパラドックス、「代替公共交通機関(鉄道など)があるとき、道路投資は当該道路区間の混雑をより一層激化させる」というDowns-Thomsonのパラドックス、「ある一定のネットワークの構造があるとき、バイパス的なルートの建設は当該区間の混雑をより一層激化させる」というBraess

のパラドックスである。筆者によれば、いずれのパラドックスも、交通利用者の合理的な行動を説明するWardropの原理が成立するゆえのパラドックスである。

第5章では、第4章で取り上げられた3つのパラドックスのうち、特に前二者が取り上げられ詳細に分析される。パラドックスのメカニズムが解明され、近視眼的な交通投資政策が、効果がないどころか状況をかえって悪くする可能性があることを指摘し、交通ネットワーク全体を考慮に入れた交通政策が必要であることを主張する。さらに筆者はこうしたパラドックスが最適な道路料金形成下においても生じるか、どうかを検証することを通じて、パラドックス解消のための施策を検討する。

第6章では、第5章で理論的に解明したDowns-Thomsonのパラドックスに関する問題を実証面から検討している。具体的には、鉄道利用客の一般化費用に関する社会的平均費用曲線の形状を探るために上田交通の利用客へのアンケートを行い、それに基づいてデータ分析を行っている。その結論として、鉄道利用客の一般化費用に関する社会的平均費用曲線は線形ではないが逡減することが示唆されたと指摘している。このことにより、Downs-Thomsonのパラドックスの存在が否定できないことを主張している。

次の第7章から第9章までが第Ⅲ部を構成し、鉄道と道路という異種交通機関間におけるネットワークの諸問題とその政策的含意を示す。

第7章では、ロード・プライシングの導入という外的な要因が、局所的(モード内)には望ましくても大域的(ネットワーク全体)には望ましくない状態を発生させるかどうか、が定性的に分析される。すなわち、費用逡減状態にある代替的な鉄道サービスが存在する場合、局所的な政策として最適なロード・プライシングを行っても、それがネットワーク全体に逆効果をもたらすことはないが、費用逡増状態にある代替的な鉄道サービスが存在する場合には、それがネットワーク全体に逆効果をもたらし得ることが示される。

第8章では、鉄道に運賃規制が課される場合の最適な道路料金が検討される。これにより、第1に、鉄道サービスの運賃規制が平均費用価格形成(収支均衡)であれ、限界費用価格形成であれ、次善の道路料金は最善道路料金よりも低く、道路費用を賄えずに赤字が発生すること、第2に、鉄道サービスが平均費用価格形成による運賃規制を受けている場合の道路料金水準は、限界費用価格形成による運賃規制を受けている場合のそれよりも低いこと、などが明らかにされる。

第9章では、第8章で展開された定性的な分析の結果が、仮想的な数値例によるシミュレーションによって検証される。少なくとも筆者の設定した数値例に関するかぎり、全体的に鉄道が収支均衡制約下にあるときの方が、限界費用価格形成下にあるときよりも逆需要曲線の傾き(需要の価格弾力性)の値の相違による道路料金の変動が大きい。また、これらの2つの鉄道運賃規制下において、現状の放置(課金なし)、道路のみの最適化を考える道路料金、交通ネットワーク全体を考える道路料金、の3つにおける余剰の変化が分析される。各料金設定における余剰は、道路規模の変化によってその大小関係を逆転させることがあり得ることも示される。

次の第10章から第11章までが第Ⅳ部を構成し、道路(ルート)という同一交通機関内におけるネットワークの諸問題とその政策的含意を示す。

第10章では、同一交通機関内ネットワーク(ルート間)の場合の最適料金を定性的に分析する。まず都市高速道路と代替的な無料の一般道路がそれぞれ1ルートあり、一般道路にロード・プライシングが導入される場合に、それぞれをどのような料金水準にすることが社会的に最適かを考察する。仮想的数値例によるシミュレーションにより、社会的純便益の増加のためには、現在の都市高速道路の料金はより低く設定されるべきことが示される。さらに、無料の代替的な一般道路と複数の都市高速道路が存在するとき、社会的に最適な料金格差の問題を定性的に取り扱っている。

第11章では、首都高速道路の複数路線とそれに並行する一般国道を取り上げ、第10章で行った定性的なモデル分析を実際のデータに当てはめて、最適な料金格差の導出とそれに伴う諸数値の観察を試みている。筆者は首都高速道路神奈川線の一部で行われている「大型トラックを環境負荷の少ないルートに誘導する」環境ロード・プライシング施策を念頭においている。試算された料金水準は一見、常識に反するようなものであった。すなわち、第1に、料金水準は現行の神奈川線の基本的な均一料金である600円を下回るものであり、第2に、現在行われている首都高速道路の環境ロード・プライシングの水準と最適料金水準は逆転する、という結果である。しかし筆者は、それらの理由をWardropの原理を用いた合理的な説明によって解き明かしている。

次の第12章と第13章が第Ⅴ部を構成する。これはネットワーク分析のいわば応用編となっており、筆者は第Ⅴ部において交通整備特別会計論や高速道路サービスの民営化というような問題に通じる今日的な喫緊の課題を扱っている。

第12章では、異種交通機関間におけるネットワークを考え、道路利用者から鉄道利用者へ補助を行う制度が実施された場合、最適な道路利用料金はどのように変化するか、ということが分析される。筆者は2つの補助金制度を想定する。一括固定額による補助制度のもとでは、最適な道路利用料金はつねに混雑に関する限界外部費用よりも低くなることを示される。それに比べて、従量課金による場合の補助制度の下での最適な道路利用料金は、限界外部費用の額と比べたときの大小関係が確定しないことが示される。

第13章では、これまで行ってきた同一交通機関内ネットワーク(ルート間)分析を応用し、都市高速道路が公的部門からの束縛を離れて純粋に私的部門として行動する、つまり、都市高速道路公団(公社)が民間の都市高速道路会社になった場合の料金問題がモデルを通じて分析される。明らかになったことは、民間企業としての都市高速道路会社における利潤最大化のための料金格差は、均衡交通量において社会的純便益を最大化する場合の最適料金格差とまったく同様に混雑に関する限界的な外部費用の格差となる、ということである。さらに75円程度の料金値上げが行われ、料金収入の増加を上回る社会的純便益の減少が観測されることが示される。

第14章では、これまでの知見が整理され、それらから導き出される政策的含意が整理される。最後に今後の展望と残された課題について述べられる。

も含まれ、さらに局所的な交通投資、運賃規制、料金政策など、現実的なさまざまな問題を取り込んでネットワークの問題を広範にわたって論じている。これまで述べてきたことからわかるように、筆者の分析による政策的含意は多岐にわたるので、それらを逐一評価することには膨大な紙幅を要する。それらを敢えてまとめるとするならば、本論文の評価されるべき点は、筆者がまさに本論文のメッセージとして訴えた2つの点に尽きる。

第1に、本論文で得られた知見、政策的含意が基本的に極めて単純なネットワークから生み出されているということである。学界での研究はますます複雑なネットワークを取り扱いつつあり、そのうえそうした複雑なネットワークの解析は仮想的な数値例を利用しているために、しばしば現実のデータから遊離しがちである。本論文はそうした最近の学界の研究動向に警鐘を鳴らしているともいえる。筆者は、単純なネットワークであれば政策的な含意を得ることが容易になることを定性的に明らかにし、また第10章や第13章において見られるように、現実のデータを利用して定量的に分析を行っている。この点に本論文の大きな意義を見出すことができる。このことに関連して、筆者がいみじくも次のように述べている。「コンピュータの解析能力を活用し、アルゴリズムを工夫して用いることによって導出された数値は、そのモデルにおける最適値として雄弁であっても、その数値の背後に潜む政策的なメッセージの解釈については寡黙である。」実際の政策の実施に当たっては、その数値の背後に潜む定性的な知見がより重要になろう。本論文からは、そうした政策分析の重要性を再認識させようとする筆者の意図が感じられ、その意図は筆者の構築したモデルと現実のデータに基づく定量分析によって十分に具現している。

第2に、本論文の学際的な性格を挙げることができる。これまで交通ネットワーク分析は、主として土木計画学をはじめとするエンジニアの手によるものが多く、経済学者によるものはいくつかの例外を除いてはこれまでほとんど見ることができなかった。本論文は交通ネットワーク分析に経済学の立場から新たに光を当て、多くの政策的な含意を得ている。こうした交通経済学(エコノミスト)からの新たな見方は、土木計画学(エンジニア)に大きな刺激を与えるに違いない。両分野の相互乗り入れによって期待される新たな成果の獲得は、今後の交通問題の解決に当たって必要不可欠のものとなるであろう。筆者は次のように述べている。「(工学的アプローチと経済学的アプローチの成果の共有によってこそ)分析の一般化も、そして政策的な含意の導出も、ともに可能になり、意義深い交通ネットワーク分析を実行することができるのである。」本論文はエコノミストとエンジニアの接近の意義を明確にし、交通問題を特定の分野にこだわらず分析することの重要性を指摘したという点において、先鞭をつけたものとして評価できよう。

このように本論文は交通学界に新たな光を与え、今後の研究の展開に多くの示唆を与えているといえる。しかしながら、本論文はそうした野心的な分野を取り扱ったものであるだけに、未だに不十分な点も見られる。

第1に、公正に関する分析が不十分である。最適な道路利用料金に関する分析をいろいろな観点から試みたが、そこにはつねに社会的純便益(あるいは利潤)の最大化が念頭にあり、そうした料金が実際に適用された場合に、それはどのような所得分配上の影響を与えるか、という点については十分な分析ができていない。もちろん所得分配の問題は価値判断に触れるものであり、扱いが難しいものではあるが、この点についての交通経済学の分析は少なくない。

第2に、最適料金導出は単一の料金に限られ、車種別料金に関する分析が不十分である。現実には同一の道路に多様な車種の車両が走行する。また、公共交通対私的交通として考えるならば、本論文では鉄道と道路(自動車)をその対象としたが、その一方でバス対自家用車という考え方もあるはずである。こうした分野における分析が今後必要である。

第3に、より現実に近づけるためにモデルを複雑化する方向で分析を進めた場合、さらにどれだけの政策的な含意を求めることができるかについて考えていくべきである。確かに、現実を反映するようなモデルの複雑化は、その現実性のために政策的な含意を求めることを犠牲にすることは筆者も指摘しているように理解できる。しかしながら、同一OD間におけるネットワーク分析のみで十分である、とするにはあまりにも交通ネットワーク問題は複雑で奥の深い問題であろう。

第4に、実証的なデータ解析における手法に不満が残る。たとえば筆者も認識しているように、第11章における需要曲線の推定は標本数が少ないので信頼性に乏しい。データの利用可能性の制約は理解できるが、何らかの工夫があれば望ましい。また、上田交通の社会的平均費用曲線の推定に関しては、通常最小二乗法が用いられているが、アンケート結果をデータとして用いる場合は最小二乗法による推定では統計上の問題が残る。

本論文にはこのような課題が残されており、更なる分析が進められなくてはならない。しかしながら交通ネットワークという複雑な問題から多くの知見と政策的含意を導出し、さらに交通経済学(エコノミスト)と土木計画学(エンジニア)との関係をとらえなおしたという点に本論文の先駆的意義と学界への多大なる貢献があると認められる。よって審査員一同は、所定の試験結果を合わせて考慮して、本論文の著者が一橋大学学位規則第5条第3項の規定により一橋大学博士(商学)の学位を受けるに値するものと判断する。