

第 1 章

序論——交通混雑の経済分析

1-1 問題の所在

エンジンの発明と土木工学の結合により成立した自動車交通システムは、人や物の空間的移動に大きな自由をもたらした。好きなときに好きなところへ、戸口から戸口まで移動できることは自動車の最大の魅力である。しかし今日、アクセルさえ踏めば容易に時速100km以上で走れる自動車が実際に都市内を移動する速度は、自動車の発明される前の馬車時代とあまり変わらないともいわれている (Wright (1992))。

混雑に巻き込まれた人々は、そうでなければ有益に使えたはずの貴重な時間を浪費させられるばかりでなく、欲求不満、怒り、ストレスにより肉体的、精神的にもダメージを受けている。また混雑による速度低下は燃料効率の低下と大気汚染を通じて、資源の浪費と地球環境の悪化を加速している。

日本では2002年度における渋滞損失時間が全国で38.1億人・時間、1人当りに換算すると1年当たり30時間に達すると報告されている¹⁾。時間価値が

1) 国土交通省では、渋滞している現況と、仮にそのような渋滞がない場合の走行時間をそれぞれ求め、2者の差を集計して「渋滞損失時間」という指標値を計算して公表している。詳しくは <http://www.mlit.go.jp/road/ir/data/jutai/index-d.html> を参照されたい。

2000円/時とすれば、その額は全国で7兆6200億円、1人当たり6万円になる²⁾。米国の85大都市圏では2002年に混雑により浪費された時間は1人当たり46時間(人口300万人以上の大都市圏では62時間)になるが、その数値は1982年の16時間に比べると3倍に増加している³⁾。なおこれらの数字は、速度低下による旅行時間の増大のみを表しており、上に書いたような他の費用は含まれていない。以上は限られた例であるが、世界中で数億人の人々が混雑の影響を毎日のように繰り返し受けている点も重視すべきである。

混雑を緩和するために政府は巨額の投資によって道路の整備を進めたが、その割に混雑の緩和は遅々として進まなかった。道路を整備すると、確かに一時的に交通条件が改善されるものの、それを知ると、改善前は自動車を利用していなかった人々も新たに自動車を利用するようになるので、整備による効果を相殺してしまうのである。その一方で、公共交通の利用者数は減少し、その経営を圧迫している。多くの交通企業は、利用者が減少すると運行頻度の減少と運賃の値上げを行い、それがさらなる利用者減少を招くという悪循環に陥っている。公共交通サービスの低下は効率性の観点から問題であるばかりでなく、自動車を持たず公共交通に依存する人々の生活により深刻な影響を及ぼす。自動車を持たない人々は所得が低い場合が多いので、所得分配上も問題である。

交通混雑はきわめて複雑な現象であり、上記のように政策の意図と反する結果をもたらすことがしばしば起きる。交通混雑の問題に限らず、あらゆる政策分析においては、問題となる現象のメカニズムを解明することが第一歩である。さまざまな政策手段がどのように効果を及ぼしてゆくかを正しく評価することによって、はじめて有効な政策手段を見いだすことができる。

道路混雑の場合、まずは道路上の車両の動きを支配する物理的法則を知る必要がある。道路の幅や勾配、曲線の形状と、個々の車両の加減速性能、そして前後左右を走る車両間の相互作用の結果として、混雑の状態が決定される。道

2) 時間価値とは、個人が交通に要する時間を1時間節約するために支払ってもよいと考える金額である。国土交通省は就業者の1時間当たり平均賃金を用いているが、交通行動に基づく計量分析によれば賃金の1/2から2/3だといわれている。ここでは日本で行われた実証研究(日本交通政策研究会(1988))の結果を参考にして2000円/時としている。

3) David Schrank and Tim Lomax, 2004 URBAN MOBILITY REPORT による推計値。なお <http://mobility.tamu.edu> からダウンロードできる。

路上の交通流に関する理論や実証分析は、主として交通工学の分野で研究されてきた。そしてこれらの知見は道路の設計に用いられたり、円滑な交通流を達成するため街路網における信号制御や高速道路における流入制限などの施策の検討に応用されてきた。

一方、個々の車両は人間が運転するものであることを忘れてはならない。観察される交通現象の背後には、各個人の意思決定が決定的な役割を果たしている。有効な混雑対策とは、このような個人の意思決定のもとになるインセンティブに働きかけるものでなければならない。交通混雑の問題に対しては、自然科学と社会科学の知見を動員した学際的アプローチが不可欠といえる。

交通混雑は交通に関して個人が行うあらゆる選択が関係している。すなわち、交通を行うかどうか、どこからどこに行くか、いつ出かけるか、どのような交通手段（車かバスか電車か徒歩か）を利用するか、どの経路を通るか、等々。ある道路におけるある時刻の交通混雑の状況は、無数の個人による、上記のような多次元の選択行動が集計された結果として実現する。その結果として、交通混雑の状況は時と場所により大きく変化する。

本書では、「時間」と「空間」という2つの側面に着目して交通混雑の問題にアプローチする。道路はいつでもどこでも混んでいるわけではない。交通量の空間的分布や時間的変動を制御することが混雑による経済損失を減少させる上で有効である。従来の混雑対策は道路の建設や交通流の規制による制御などのような工学的手法が中心であった。本書では混雑料金をはじめとする経済学的手段が、交通混雑の時間的および空間的変動に及ぼす効果を分析することを主たる目的としている。

1990年代以降、交通工学と経済学の融合が進展した。交通工学の論文で経済学の専門用語が多用されるようになり、混雑料金を取り扱った論文が飛躍的に増加した。経済学の専門誌でも交通流理論に基づいて交通混雑を分析した論文が掲載されるようになった。それに伴い時間と空間を明示的に考慮した交通混雑の経済学的研究が新たな段階で進められている。本書は基本的には経済学の研究書であるが、交通工学における研究成果を積極的に取り入れている。

本章は序論なので、まずは次の節で交通経済学における交通混雑の基本モデルについて説明しておく。これは Pigou (1920) 以降、Walters (1961)、

Vickrey (1963), Mohring (1976) をはじめとする多くの研究者により彫琢を経てきた伝統的理論である。後の各章においても、ここで紹介する基本的概念を頻繁に引用することになる。

1-2 交通混雑の基本モデル

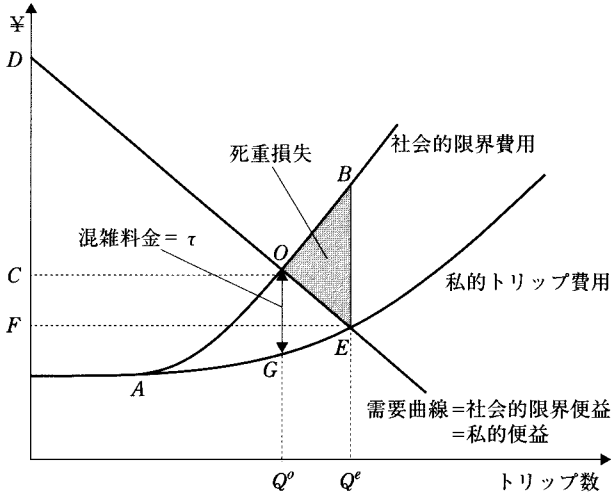
1-2-1 混雑する交通システムの均衡と最適

交通経済学における標準的な混雑の理論は、単一の交通施設（たとえば1本の道路）を対象とした静学分析である。交通混雑は、道路、鉄道、航空などあらゆる種類の交通手段について生じるが、経済全体について見ると、自動車が引き起こす道路混雑が最も広範かつ重大である。以下に述べる基本モデルも道路混雑を想定しているが、混雑現象の定式化が抽象的なので、他の交通手段についても通用する。

2つの地点を結ぶ1本の道路を想定する。この道路は起点から終点まで均一であり、したがって交通容量も一定であると仮定される。交通容量とは一定時間に通過できる交通量の最大値のことである。たとえば道路であれば、車線の幅が広く、勾配が平坦で、カーブがなく直線に近いほど交通容量は大きい。この道路を使って2地点間を移動する（トリップと呼ぶ）ために要する費用には、燃料費、道路料金などの金銭的費用と、トリップ所要時間を金銭換算した時間費用が含まれる。金銭的費用と時間費用の和を「一般化交通費用」とも呼ぶ。交通混雑は交通容量に比べて大きな交通量が流入することによる速度の低下が原因である。混雑による経済損失には、燃費の悪化による費用の増大や環境への悪影響が含まれるが、圧倒的に大きな割合を占めるのは所要時間の増大による損失である。個人がこの道路を使って1回トリップするのに要する費用（以下私的トリップ費用）は、交通量 Q と交通容量 W の関数であり、 $C(Q, W)$ のように表される。ここで $C_Q > 0$ 、 $C_W < 0$ が仮定される⁴⁾。 $C_Q > 0$ は、交通容量一定のもとで交通量が増加するとトリップ費用が増加することを意味するが、これが交通混雑を表している。また $C_W < 0$ は、交通量一定のもとで交通容量

4) C_Q 、 C_W は、それぞれ、 $C(Q, W)$ の Q 、 W に関する偏導関数、 $\partial C/\partial Q$ 、 $\partial C/\partial W$ のことである。

図 1-1 混雑する交通システムの均衡と最適



が増大すると混雑が緩和されトリップ費用が低下することを表している。

伝統的理論において、需要サイドは集計的需要関数によって簡単に表される。トリップ費用が上がると、人々はトリップを行う回数を減らしたり、他の交通手段を用いたりする。このような選択行動は、個人の効用最大化あるいは企業の利潤最大化行動から導くことができるが、いずれにしても注目する道路に対する交通需要はトリップ費用の減少関数となる。逆需要関数を $P(Q)$ と表そう。逆需要関数の値はトリップの私的限界便益を表すと同時に社会的限界便益も表している。

各個人はトリップの私的限界便益が私的トリップ費用を上回る限りトリップを行う。したがって、均衡が達成されるとき交通量は次の関係を満たすように決定される。

$$P(Q) = C(Q, W) \tag{1-1}$$

図1-1において、需要曲線とトリップ費用の交わる点 E に対応する横軸の値 Q^e が均衡交通量である。

上のよう決定される交通量は社会的に望ましい水準であろうか。この点について検討するため、社会的に最適な交通量を求める問題を次のように定式化する。

$$\max_Q \int_0^{Q^0} P(q) dq - C(Q, W) Q \quad (1-2)$$

上の目的関数は社会的余剰であり、第1項はトリップを行うことによる総便益、第2項は1人当たりのトリップ費用にトリップ数を乗じたものなので社会的総トリップ費用である。したがって、ここでは資源配分の効率性という観点から最適性を論ずることになる。

トリップ数 Q に関する最適条件より次の式が得られる。

$$P(Q) = C(Q, W) + C_Q Q \quad (1-3)$$

上の式の右辺は、交通量がわずかに増加したときの社会的総トリップ費用の増分なので、社会的限界費用と解釈することができる。したがって上の条件式は、社会的限界便益と社会的限界費用とが等しくなるように交通量が決まるとき、社会的に効率的な道路利用が実現する、ということ述べている。各個人の自由な選択により実現する均衡の条件である(1-1)式と比べてみると、(1-3)式には右辺第2項が加わっている。この項は、交通量がわずかに増加したときの個人のトリップ費用の増加 C_Q に交通量 (=道路利用者数) Q を乗じたものである。1台の交通量増加は、他の道路利用者のトリップ費用を少しだけ増加させるが、それをすべての利用者について集計したものが $C_Q Q$ である。これは**混雑の外部効果**と呼ばれているが、個人が道路利用を選択することによって混雑の加害者となることを意味している。

$C_Q > 0$ の仮定により、社会的限界費用は私的トリップ費用よりも大きな値を持ち、両者の差は交通量とともに拡大するので、図1-1のように描かれる。図より明らかなように、社会的に効率的なトリップ数 Q^0 は、 Q^e よりも小さい。すなわち個人が自由にトリップの意思決定を行う場合、交通量は過大となり、混雑による経済損失が生じる。

混雑の経済損失とは、過大な交通量 Q^e のために、社会的に効率的な交通量 Q^0 の場合よりも低い水準の社会的余剰しか達成できないことである。したがって、下のように交通量が Q^e のときと Q^0 のときの社会的余剰の差として混雑の経済損失が計算される。

$$\left[\int_0^{Q^0} P(q) dq - C(Q^0, W) Q^0 \right] - \left[\int_0^{Q^e} P(q) dq - C(Q^e, W) Q^e \right]$$

部分積分を適用すると、上式は下のよう書き換えられる。

$$\int_{Q^0}^{Q^e} (C(q, W) + C_q q - P(q)) dq \quad (1-4)$$

(1-4) 式の被積分関数内の第1項と第2項の和は社会的限界費用関数、第3項は需要関数なので、経済損失の値は図1-1において点 *OBE* で囲まれた（影をつけている）部分の面積に等しく、これは死重損失（dead weight loss）と呼ばれる⁵⁾。

1-2-2 混雑料金

各個人は利用しようとする道路の混雑状況を考慮してトリップを行うべきかどうかを選ぶが、そのとき他の利用者に与える効果を考慮しないので、私的トリップ費用と社会的限界費用が乖離する。このとき各個人の選ぶトリップ数は過大となり、これが混雑による損失の原因である。社会的に効率的な道路利用を分権的に達成するための手段として、経済学者は混雑料金の徴収を提案してきた。混雑料金は、図1-1における社会的限界費用曲線と私的トリップ費用曲線の差に等しい。このような料金制のもとで、道路利用者の被る費用は社会的限界費用に等しくなるので、私的動機に基づく均衡解として、効率的な交通量 Q^0 が実現するのである。このとき最適な混雑料金は図における点 *OG* 間の距離（= τ ）に等しい。このような料金政策を通じて社会的に効率的な資源配分を達成することを、一般に「外部効果の内部化」と呼ぶ。

混雑料金は混雑の程度が激しい道路ほど高額になる。図1-2には、2通りの需要曲線のもとでの均衡解と最適解をそれぞれ示している。需要水準が高い場合（需要曲線 d_1 に相当する）、低い場合（需要曲線 d_2 ）よりも大きな交通量に対応する点で、需要曲線がトリップ費用曲線と交わる（ $Q_1^e > Q_2^e$ ）。したがって、均衡におけるトリップ費用は前者の方が高い（混雑が激しい）。一方、混雑料金を課した場合、図より、需要水準が高いほど、混雑料金の額が大きくなる（ $\tau_1 > \tau_2$ ）。

図1-3には、2通りの交通容量に対する均衡解と最適解を示している。交通

5) 本章の冒頭では、日本および米国において推計された混雑の経済損失額を紹介したが、それらの値はここで述べた経済学的な定義に基づいて計算したものではない。

図 1-2 需要水準と混雑料金

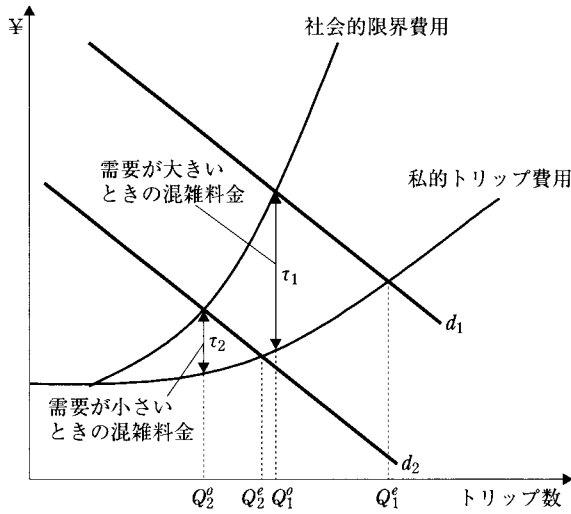
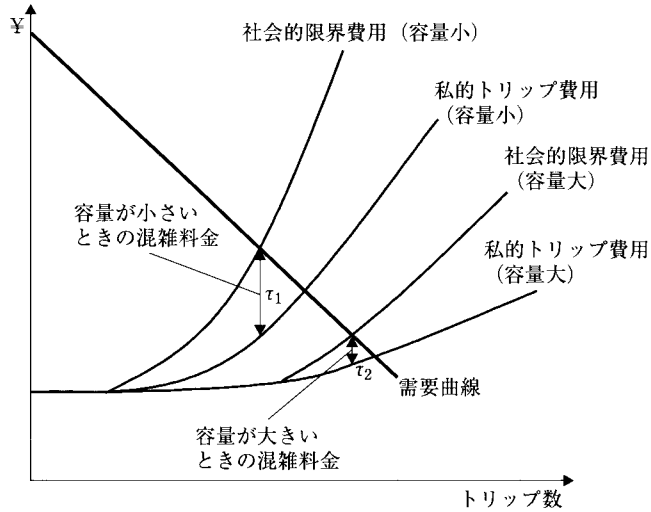


図 1-3 交通容量と混雑料金



容量は道路の幅や線形（坂道やカーブのきつさ）に依存する。ここで交通容量の大小は、自由走行時（交通量がゼロのとき）の費用に影響を与えないものと仮定する。交通容量の小さい道路においては、小さな交通量の水準から混雑が生じ始める。したがって、道路に対する需要関数が同じであっても、容量の小さな道路においては、均衡におけるトリップ費用が高く、混雑料金も高くなるのが図より読み取れる。以上より、需要水準が高い場合や道路の交通容量が小さい場合は、混雑の外部費用が大きくなるので、より高い混雑料金が課されるのである。

ただでさえ混雑してサービス水準が低いのに、高い料金を課されることに利用者は不満であろう。実際、そのとおりである。混雑料金の導入は社会全体の効率性を改善する一方、道路利用者の厚生を低下させる。混雑料金が導入されない状態（無料金均衡）において利用者の消費者余剰は、図1-1の点 *DEF* で囲まれた領域の面積に等しい。ところが混雑料金が課されると消費者余剰は点 *DOC* で囲まれた領域の面積になるので、それは課されないときの面積よりも小さい。利用者にとっては、混雑料金の導入によって交通混雑は減少するものの、金銭的負担が混雑緩和効果を上回るので、厚生が低下することになる。このことは、混雑料金の導入を阻む最大の原因である。

一方、社会的観点から見れば、混雑料金は消費者余剰の減少分を上回る料金収入を生むので、全体としては経済厚生を改善する。ただし、以上の議論は短期における結果であることに注意されたい。長期においては、その料金収入を有効に用いることによって、利用者の厚生をも改善することができる。その内容については、後述する。

1-3 混雑の経済理論の展開

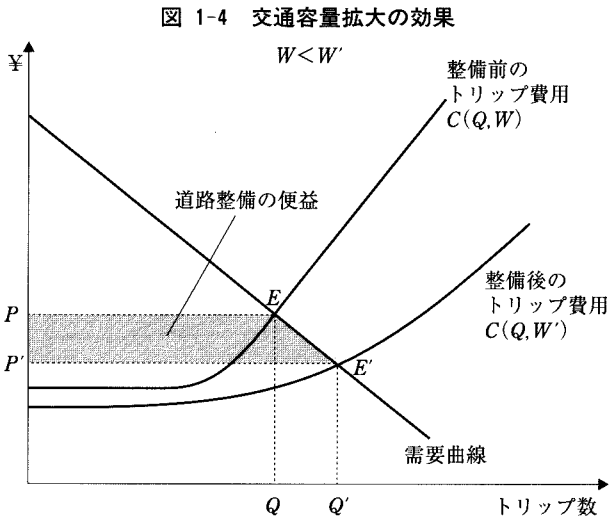
1960年代以降、交通混雑に関する研究は膨大な数になり、レビュー論文も多く出ている（Morrison (1986)、山内・竹内 (1992)、Small (1992) など）。本書の主題である「時間」と「空間」を明示的に取り扱った研究について、1990年代以前のレビュー論文では、Small (1992) を例外として、ほとんど言及されていない。本節ではまず時間と空間を捨象した伝統的な枠組みのもとで

の代表的なトピックに絞ることとし、交通容量の拡大、機関分担と公共交通の問題、そして所得分配の問題について紹介する⁶⁾。時間と空間を導入した研究については次の節で述べることにする。

1-3-1 交通容量の拡大

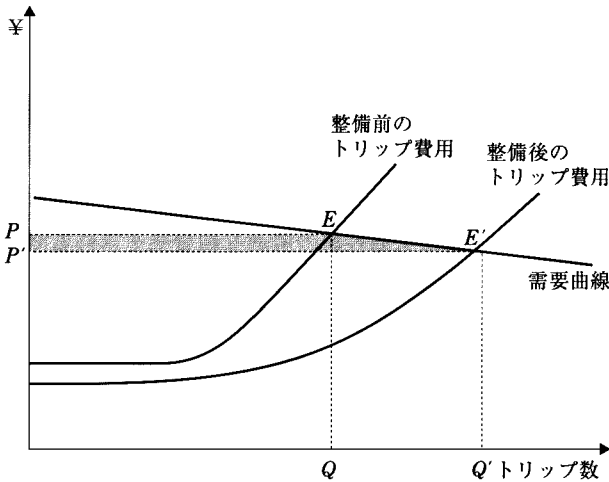
混雑の問題に対してまず最初に思いつく対策は、道路線形を改良したり道路の拡幅により交通容量を拡大することである。このような手法は従来から実施されてきたが、必ずしも有効でないことはすでに多くの経験を通じて認識されている。

図1-4には、混雑料金が徴収されない状況での交通容量拡大の効果を図示している。たとえば交通容量が W から W' ($W < W'$) のように大きくなると、トリップ費用曲線が右下の方へシフトするので、均衡点が E から E' に変化する。このとき、トリップ費用が減少するが、交通量が Q から Q' に増加する。これは以前に他の道路や交通機関を使ってきた人が新たにこの道路を利用するようになったからである。



6) これらのトピックは、すでに従来の研究で多く論じられているものであり、時間と空間の分析に焦点を当てる本書の第2章以下では取り扱わない。

図 1-5 交通容量拡大が有効でないケース



交通容量の拡大は、ほとんどの場合、公共部門による計画に基づいて行われるが、その際、個々の計画案は整備することによる社会的便益が費用を上回る場合に限って正当化される。すなわち費用便益基準である。この点について詳しく見よう。

交通容量拡大による社会的便益は、整備した場合としない場合の社会的余剰の差として評価される。社会的余剰は $\int_0^Q P(q) dq - C(Q, W)Q$ により求められるので、 W から W' への変化による社会的便益は、図1-4における $PEE'P'$ で囲まれた面積に等しい。したがって費用便益基準を満たすためには、社会的余剰増加が道路整備費用を上回らねばならない。

トリップ需要の弾力性が高い場合、単なる道路整備は混雑緩和に有効でない。図1-5には、そのようなケースを示してある。弾力性が高いとき、需要曲線は水平に近くなる。このとき、道路整備による効果は、交通量増加によってほとんど相殺されてしまう。このような場合、道路整備による対応は有効な混雑対策とはいえない。

実際に行われてきた道路整備が費用便益基準に基づいて進められてきたとは必ずしも言えないが、厳密な費用便益基準に基づいて行ったとしても、それは

社会的に効率的でない。なぜなら、図1-4や1-5に示したような変化は、非効率な均衡点から、また別の非効率な均衡点への移動にすぎないからである。また混雑料金などの対策なしに、道路整備のみを行う場合、その財源として他の税金からの収入を用いる必要がある。一般にそのような税金は資源配分を歪める上、いずれ最終的には消費者が負担することになる。

一方、混雑料金を導入し、その料金収入を用いて道路整備を行うことは有効な対策である。トリップ数と交通容量の最適な組合せを求める問題を以下のように定式化する。

$$\max_{q,w} \int_0^q P(q) dq - C(Q, W)Q - \rho W \quad (1-5)$$

上の問題は、(1-2) 式の目的関数に交通容量 W を持つ交通施設を整備するために要する費用 ρW (たとえば道路建設費用) を考慮し、交通容量を計画変数として加えたものである。なお ρ は正の定数であり、交通容量 1 単位の整備費用を表す。1-2-2項の分析が、交通容量が固定されたもとでのいわば短期の問題であったのに対し、ここでは長期の問題を取り扱っていることになる。

トリップ数に関する最適条件は式 (1-3) と同様である。交通容量に関する最適条件は以下のとおり。

$$-C_w Q - \rho = 0 \quad (1-6)$$

上式の左辺第1項は交通容量が増大したときの総トリップ費用の減少分であり、これは容量拡大による社会的便益の増加を表している。一方、第2項は交通容量を 1 単位増大させるために要する費用である。したがって上式左辺は、容量拡大による社会的純便益の変化を表している。そして (1-6) 式は、社会的純便益が増加する限り道路容量を拡大すべしという、いわゆる費用便益基準と同じことを述べている⁷⁾。すでに示したように、最適なトリップ数は混雑の外部効果に等しい混雑料金を課することにより達成できるが、このような混雑料金の収入と最適な容量を整備する費用との間には興味深い関係が成立する

7) 最適な料金に関する条件 (1-3) は道路容量がどのように決められていても影響を受けないが、最適な容量を決定する条件は料金がどのように課されているかに依存する。すなわち料金が課されていないか、課されていても最適でない場合、(1-6) 式のような単純な費用便益基準に基づいて道路整備を進めると、容量が過大になったり過小になったりする。この点については Wheaton (1978) を参照されたい。

(Mohring (1976)).

ここでトリップ費用関数 $C(Q, W)$ がゼロ次同次であると仮定する。これは規模の経済が存在しないことを意味し、トリップ費用は $C(Q/W, 1)$ のように、混雑率の関数で表される。すなわち交通容量とトリップ数を定数倍しても、トリップ費用は不変である。道路交通の場合、この仮定はほぼ満たされることが知られている。たとえば片側2車線道路が4車線に拡幅され、2車線のときの倍の交通量が流れたと想定しよう。このとき、拡幅される前後で走行速度がほぼ同じになるであろうことは直感的にも理解できるだろう。このとき、同次関数に関するオイラーの定理より次の式が成り立つ。

$$C_Q Q + C_W W = 0$$

上の式の両辺に Q を乗じ、容量に関する最適条件 (1-6) を代入すると次の式が得られる。

$$C_Q Q^2 - \rho W = 0 \quad (1-7)$$

1台当たり混雑料金は $C_Q Q$ なので、左辺第1項は混雑料金の総収入であり、第2項は交通施設整備費用である。したがって最適な混雑料金を課したとき、その料金収入は最適な容量の施設整備費用をちょうどカバーする。

料金収入を用いて道路整備を行うと、混雑料金の導入によって利用者の厚生が減少するという、前節に述べた命題は修正される。すなわち混雑料金の収入を用いて道路整備を進めれば、混雑料金を導入しない場合に比べて、長期的には個人の便益も増加するのである。このことは料金が最適な水準でなくても成立する。いま道路料金が τ に等しく、そこから得られる料金収入をすべて道路整備のために支出するものとしよう。このとき次の式が成立する。

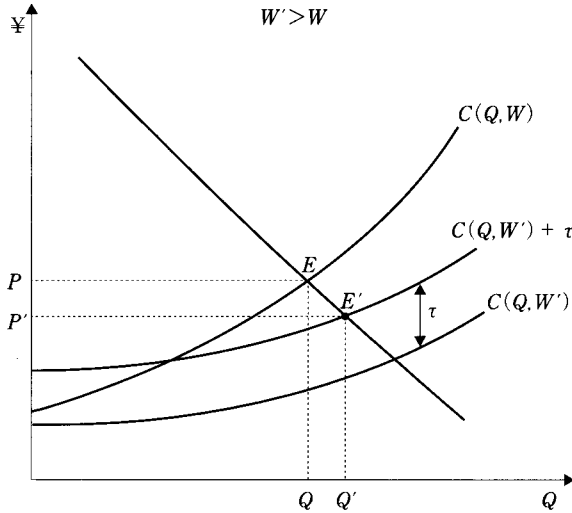
$$\tau Q = \rho W \quad (1-8)$$

交通量 Q は次の均衡条件式により決定される。

$$P(Q) = C(Q, W) + \tau \quad (1-9)$$

図1-6には、上のような政策によって利用者の厚生が増加するケースを描いている。当初は料金を徴収していないとすると、均衡は点 E で達成される。容量増加により走行費用曲線が下にシフトするが、それに料金加わるので、新たな均衡は点 E' に移る。容量増加による費用の下方シフトが十分大きく、そのために要する料金水準が十分小さい場合には利用者の厚生が増加するので

図 1-6 料金収入を用いた道路容量拡大の効果



ある。このことは道路容量への投資が効果的であることを意味する。以下この点について具体的に示そう。

(1-8) 式を (1-9) 式に代入して τ を消去した式の両辺を W で微分すると次の式が得られる。

$$\frac{dQ}{dW} = -\frac{-C_w Q - \rho}{(P_Q Q - C_Q Q + \tau)} \quad (1-10)$$

上式右辺の分母はよほどのことがない限り負である⁸⁾。したがって dQ/dW の符号は分子によって決まる。分子は (1-6) 式のところで述べたように、交通容量拡大による社会的純便益を表している。すなわち容量拡大が費用便益基準を満たす場合、分子の符号は正であり、 $dQ/dW > 0$ である。

図より明らかなように、利用者の厚生が増加することは、利用者の（料金込み）トリップ費用の低下を通じて均衡交通量が増加することと同義である⁹⁾。したがって、道路利用に対し過度に高くない料金を徴収し、その料金収入を用

8) 分母の第1項は $P_Q < 0$ なので負である。第2項は混雑の外部効果なので、分母が正になるのは料金 τ が最適混雑料金よりも十分に大きい場合に限られる。實際上、このようなケースは想定しがたい。

いて実施される容量増加が費用便益基準を満たす場合、利用者の厚生は増加する。

1-3-2 交通手段選択と公共交通の問題

道路混雑の対策として、鉄道やバスなど公共交通の利用を促進する必要性がしばしば指摘される。そのような政策手段には地下鉄の新線建設、公共交通への補助を通じて運賃の割引や本数の増加のようなサービス改善を行うことなどが含まれる。

まずは公共交通と自動車という2つの交通手段が存在する状況での個人の交通手段選択と交通システムの均衡を記述するモデルを定式化しよう。

公共交通機関として鉄道を想定する¹⁰⁾。経済には N 人の個人がおり、各個人は自動車か鉄道のいずれかをを用いて1日に必ず1回トリップを行うものとする。このとき各交通手段に対する需要は弾力的であるが、総トリップ需要は非弾力的である。この仮定は交通手段分担に焦点を絞るためのものであるが、通勤交通に関しては妥当する¹¹⁾。各個人は時間費用と金銭費用の和からなるトリップ費用の小さい交通手段を選択する。自動車および鉄道によるトリップ費用は、それぞれ以下のように書ける。

$$P_A = C_A(Q_A, W_A) + \tau_A$$

$$P_B = C_B + \tau_B$$

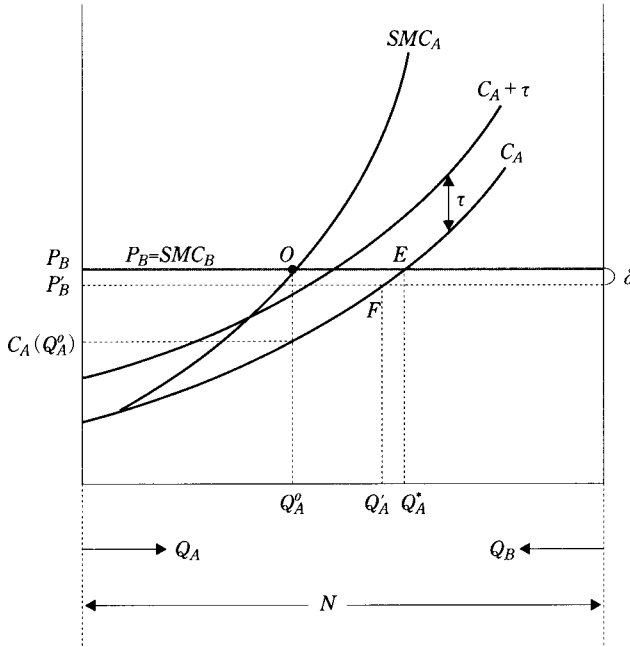
ここで Q_A は自動車によるトリップ数、 W_A は道路容量、 τ_A は道路料金である。 $C_A(Q_A, W_A)$ は自動車を用いたトリップ時間費用であり、基本モデルと同様、 $C_Q > 0$ 、 $C_W < 0$ であるものとする。 C_B は鉄道を用いた場合のトリップ時間費用であり、その値は交通量にかかわらず一定であると仮定する。 τ_B は鉄

9) $\int_0^Q P(q) dq - (C(Q, W) + \tau)Q$ で表される消費者余剰(料金込み)を W で微分したものが正になるための条件は、(1-10)式の右辺が正になることと同じである。

10) バスの場合、道路を使うのでトリップ費用が混雑の影響を受ける。混雑料金を導入すると、道路の交通混雑が減少してバスの速度も上昇する。Ahn (2005) は、このことを考慮して、バスの運賃政策を分析している。

11) Henderson (1985), Arnott and Yan (2000) は、より一般的なモデル(総トリップ需要が弾力的、手段間の代替が不完全)を用いてこの問題を分析している。

図 1-7 交通手段選択と鉄道運賃割引の効果



道の運賃である。なお鉄道の乗客1人当たりの運行費用は一定であり、運賃は運行費用に等しく設定されると仮定する。

交通手段別の均衡交通量は図1-7のように決まる。鉄道の利用者数を Q_B とすると、仮定より $Q_A + Q_B = N$ なので、横軸上の各点では、グラフの左端からその点までの距離が自動車の交通量 Q_A 、右端からの距離が鉄道の交通量 Q_B を表す。道路料金が徴収されない場合、均衡は点 E において達成される。この点において自動車と鉄道のトリップ費用は等しくなっており、各個人は交通手段を変更する誘因を持たない。この状況は、Pigou (1920) と Knight (1924) の論争で用いられた例、すなわち混雑する道路と、時間はかかるが混雑の生じない迂回道路との間の経路配分問題と同じ構造を持っている。迂回道路を鉄道に置き換えれば、彼らの議論がそのまま適用される。道路の混雑を緩和しようと道路容量を拡大すると、自動車トリップ費用曲線が右下にシフトする。新しい均衡はシフトした自動車トリップ費用曲線が P_B に等しくなった点

で達成される。

したがってトリップ費用は道路容量を拡大しても不変である。道路を整備しても混雑の水準は緩和されず自動車交通量が増え鉄道の利用は減少するのみである。そして社会は道路整備のための費用を負う¹²⁾。

社会的に最適な交通量分担は、社会的総費用 $C_A(Q_A, W_A)Q_A + P_BQ_B$ を最小化するような Q_A と Q_B の組合せである。

最適条件は $C_A(Q_A, W_A) + (\partial C_A / \partial Q_A)Q_A - P_B = 0$ なので、最適点は図における点 O で与えられる。図より明らかなように、均衡における自動車交通量は過大である。最適な交通量分担を実現するためには、道路利用に対し混雑の外部効果 $(\partial C_A / \partial Q_A)Q_A$ に等しい料金を課すればよい。

さまざまな社会的制約のために混雑料金が実施できない場合、自動車交通を鉄道に転換させるための方策として、公的補助による鉄道運賃の値下げが考えられる¹³⁾。図1-7に示すように、鉄道運賃を δ だけ値下げした場合、鉄道利用のトリップ費用は P'_B に低下し、新たな均衡における自動車交通量は Q'_A になる。このような運賃値下げにより、均衡におけるトリップ費用が低下した分、すなわち $N\delta$ に等しい社会的便益が得られる。しかしそのために $\delta Q'_B$ に等しい額の公的補助が必要なので、社会的純便益は $\delta Q'_A$ である。実証研究によると、公共交通の運賃に関する自動車トリップの交差弾力性は非常に低い¹⁴⁾。トリップ費用のうち運賃の割合が小さい（すなわち時間費用の割合が大きい）場合、運賃をゼロにしても交通混雑を大きく軽減するほどには自動車トリップから公共交通への転換は期待できない。むしろ本数の増加などサービスの改善のために公的補助を用いる方が有効である可能性がある。

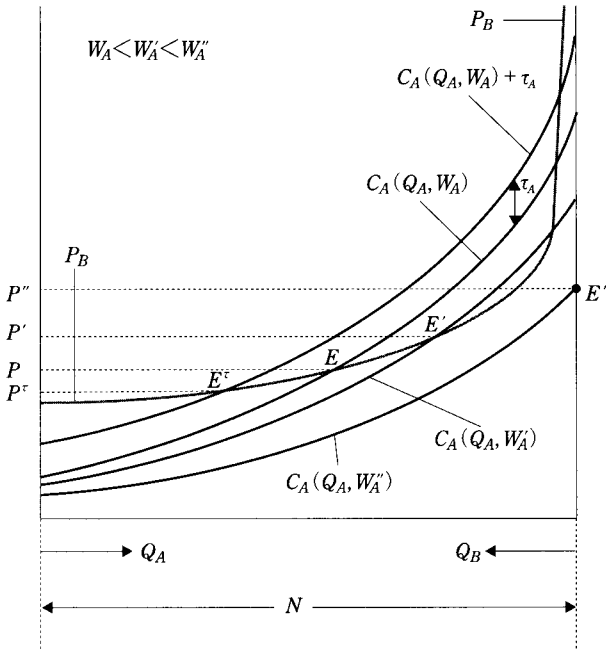
一方、道路利用に対して料金を課し、その収入を鉄道運賃値下げのための補助に用いることは有効である。このとき混雑の外部性を内部化するような最適料金より少ない額で最適な交通手段分担を達成できる。混雑料金に対する社会

12) より詳細な議論は Arnott and Small (1994) において与えられている。

13) 公的補助を施設整備や本数の増加などサービスの改善に用いても同様の効果が得られ、 P_B を下方にシフトさせる。

14) Button (1993) の p. 47 には実証分析に関するレビューとその含意について論じられている。

図 1-8 交通手段分担と道路容量の拡大



的合意を得ることが難しいことはすでに述べたが、その額が低ければ合意を得ることは相対的に容易であろう。また、単なる鉄道運賃補助の場合には別の税負担が必要であったが、この場合は不要である。

上の例では、鉄道サービスの供給費用が乗客数に比例すると仮定していたが、鉄道の場合、線路や駅の施設など、乗客数にかわりなく必要とされる大きな固定的費用が存在する。この場合、上の分析は修正を受けることになる。鉄道サービスの平均費用が乗客数とともに減少し、運賃が平均費用に等しくなるよう設定されているものと仮定しよう¹⁵⁾。このとき鉄道によるトリップ費用は図1-8の P_B 曲線のようになり、均衡における手段別トリップ数は点 E で決まる。このとき道路の整備は、混雑の問題をより悪化させる。道路容量を W_A か

15) 実は公共交通に規模の経済が存在しなくても、トリップ費用が乗客数とともに減少すると想定することができる。乗客数が増えると列車の本数が増加するので、駅で列車を待つ時間が減少するためである。

ら W_A に拡大すると自動車トリップの費用曲線が右下にシフトし、新たな均衡が点 E' に移る。この点では均衡トリップ費用が道路整備前よりも増加している。それは鉄道利用者の減少により平均費用が増加し、その平均費用と均衡するまで道路の混雑が増えるためである。これは Downs-Thomson パラドックスと呼ばれている (Arnott and Small (1994))。さらに道路容量を W_A' にまで拡大すると鉄道事業は存続できなくなり、均衡点 E'' ではすべてのトリップが自動車で行われるようになる。このとき混雑の水準は整備前よりもさらに悪化する。

一方、道路料金を課する場合、1-2-2項で述べた基本モデルの結果とは逆に、利用者の厚生も改善する。いま道路利用に対し τ_A に等しい料金が課されるとしよう。このとき図のように道路利用者が負担する私的費用は上にシフトし、均衡点は E^r に移る。この点でのトリップ費用 P^r はもとの点 E に対する P よりも小さくなる。その上社会全体としては $\tau_A Q_A^r$ に等しい料金収入を得る。この料金収入を用いて鉄道運賃割引や鉄道サービス水準の改善を行えばさらに効率性が改善されることを前の例と同様に示すことができる。

1-3-3 所得分配への影響

基本モデルは同質の個人からなる経済を暗黙に想定していたが、現実の経済では人々の間で所得や選好が大きく異なっており、このように異質な人々が同じ道路を同時に利用している。このとき混雑料金をはじめとする諸政策から受ける影響は、異質な人々の間で異なる。混雑料金が社会全体にとって好ましい政策であっても、それによって不利益を受けるグループの反対が強い場合、実行は困難である。

混雑料金に対する有力な批判として、それが高所得の人々よりも低所得の人々の厚生をより悪化させる逆進的政策であるという指摘がなされている。所得が高いことが時間当たり賃金の高いこと、そしてトリップ時間の機会費用(時間価値)が大きいことを意味するのであれば、混雑料金は逆進的な政策になる可能性が大きい。

個人のトリップ費用は時間費用と料金の和であり、無料金均衡および混雑料金賦課の場合のトリップ費用を、それぞれ、 αT^* 、 $\alpha T^0 + \tau$ と表そう。ここに

T はトリップ所要時間, τ は道路料金, そして α は時間価値である. 混雑料金の賦課によりトリップ所要時間は $T^* - T^0$ だけ減少する一方, 個人の負担は τ だけ増加する. したがって個人にとってのトリップ費用の変化は次の式で計算される.

$$-\alpha(T^* - T^0) + \tau$$

時間価値の異なる人々が同じ道路を利用する場合, τ と $T^* - T^0$ は全員にとって共通である. このとき上の式より, 時間価値 (すなわち所得) が高いほど第1項の効果が大きくなるので, トリップ費用が増加するにしてもその額は小さく, 減少する可能性もある. すなわち混雑料金の導入は低所得のグループに対して相対的に大きな損失を与え, 高所得のグループは厚生が改善される可能性もある. Small (1983) は, 仮想的にサンフランシスコ湾岸地域の幹線道路でピーク時に1ドルの料金を課した場合の帰着について詳細な分析を行った. 低所得の通勤者は0.28ドル, 中所得の通勤者は0.13ドルの損失を被る一方, 高所得の通勤者は0.08ドルの便益を得ると推定した.

しかし以上の結果は, 混雑料金の収入がどこに支出されるかを考慮していない. Richardson and Bae (1998) が述べるように, 混雑料金の実施が所得分配に与える影響は, 料金収入をどのように使うかに依存する. たとえば混雑料金を徴収する代わりにガソリン税率やそのほかの税率を下げることで, 損失を相殺することは可能である. また1-3-2項で見たように公共交通の運賃を値下げすることは, 効率性のみならず所得分配にも好ましい影響を与える. 所得の低い人ほど車を持たず公共交通に依存する割合が高いからである. 確かに混雑料金を導入すると低所得の人々ほど自動車トリップを断念することになるが, それらの人々が公共交通に転換するならば所得分配に対する負の影響を軽減することができる. 実際, 2003年からロンドンにおいて混雑料金を開始した際には, バス本数の大幅な増発を行った. その結果バス待ち時間の短縮と, 混雑の緩和によるバス交通の遅延減少が報告されている¹⁶⁾. このような変化は, もともと公共交通に依存していたグループに大きな便益をもたらすものと思われる.

16) ロンドン交通局のホームページ (<http://www.tfl.gov.uk/tfl/ccclondon/cc-monitoring.shtml>) に基づく.

しかし混雑料金と所得分配の問題は単純ではない。所得の高いことが時間価値の高いことを意味するとは限らない。急病のときなど、1分でも早く目的地に着くことに対する支払意思額は、所得が低くても（少なくとも平時における高所得者の時間価値よりも）大きなものであろう。また微視的に見れば、同じ所得階層であっても各個人の職業やその他の属性により帰着の内容は異なりうる。居住地域によっては公共交通のような代替手段が利用できない場合があり、そのような地域に住む者は混雑料金の支払いを避けることはできないので、他の地域よりも負の影響が大きくなるだろう。また公共交通への補助にしても、それによって便益を受ける人と混雑料金により道路利用を断念する人が重なっているとは限らない。

上述のような限界はあるものの、政策当局は混雑料金の導入による負の影響を防止するために料金収入が用いられるよう、政策パッケージを注意深く設計する必要がある。そしてそのような政策の確実な遂行を公約し、その遂行能力についても人々の信用を獲得することが混雑料金の実施を可能にするための重要な条件といえる。

1-4 時間、都市空間、ネットワーク

本書の第2章以降では、時間と空間を導入した交通混雑の経済分析について具体的に展開されるが、ここでは本書の構成に沿って従来の研究を概観し、本研究の位置付けを明らかにしておく。

1-4-1 時間

交通混雑の水準は時間とともに大きく変動する。たとえば朝のラッシュアワーには住宅地から業務地区への交通が集中的に発生して大きな混雑を引き起こすが、それ以外の時間帯はすいている。短期的に交通容量は不変であるのに対し、季節ごと、曜日ごと、そして1日のうちでも時間帯ごとに交通需要が変動するからである。これは生産や消費を貯蔵できないという交通サービスの特性から必然的に生ずるものである。このような問題は交通ばかりではなく他の公益事業においてもしばしば生じる。たとえば電力についても、夏は冷房のため

に需要が大きいが、春や秋は小さい。また1日のうちでも昼間と夜間では電力需要が大きく異なる。

以上のように施設の容量を更新する周期に比べて需要変動の周期が非常に短い場合に、料金と容量をいかに決めるべきかという問題はピークロード問題と呼ばれる。標準的なアプローチは、ピークとオフピークの2つの市場を想定して、最適な料金と容量を求める問題を解くというものである¹⁷⁾。

交通に関する最も重要なピークロード問題は通勤ラッシュアワーである。ピークロード問題の標準モデルでは、異時点間の代替を考慮していないか、しても上記のようにピークかオフピークかという2選択肢しかない場合が多い。ラッシュアワーの混雑を緩和するためには、ピークかオフピークかという選択よりも、ピーク時間帯内の変動を制御することの方が現実的で有用である。

Vickrey (1969) は通勤者の出発時刻選択行動を定式化し、ラッシュアワー中の交通混雑の時間変動を記述する動学モデルを構築した。このモデルは2つの点で独創的な新しい枠組みを提示した。1つは勤務先への希望到着時刻（たとえば始業時刻）からの乖離をスケジューリング費用と定義し、これと交通混雑とのトレードオフを通じて通勤者の出発時刻分布を内生化したこと。もう1つは交通混雑をボトルネック後方に伸びる待ち行列として定式化することにより、解析的に取り扱いやすい形で混雑の動学的分析を可能にしたことである。ところがVickreyの研究は、その執筆スタイルにも起因して、刊行後長い間注目されることはなかった¹⁸⁾。このモデルの重要性に注目したのは交通工学の研究者たちであった。たとえばHendrickson and Kocur (1981)、Daganzo (1985)らは、均衡の存在や一意性などに関する理論的な検討を行った¹⁹⁾。そして経済学でも、Braid (1989)、Arnott *et al.* (1990a)以降、さまざまな拡張がなされ、標準的分析ツールとして確立するに至った。

一方、Henderson (1981) は1-2節で示した伝統的静学モデルと同様の混雑

17) このタイプの研究に関する詳しい説明は松川 (2003) において与えられている。

18) この点についてArnott (1994) の pp. 274-75では「珠玉のようなアイデアにあふれているのに、それらを強調するなどの工夫もなく無造作な文体で書かれているため……」と述べている。

19) この点については桑原 (1998) が詳細な解説を与えている。

関数（交通量に関して単調増加）を用いてラッシュアワーの問題を分析した。この場合、交通混雑の時間変動パターンは、Vickrey モデルによるものとはかなり異なっている。本書の第3章では Vickrey タイプのモデルと Henderson タイプのモデルの解説とそれらの比較を行っている。

時間を考慮した動学分析は、交通渋滞の問題を取り扱う上で重要な役割を果たす。交通渋滞はきわめて非効率な状態であり、それによる経済損失も大きいので、有効な対策の立案が求められている。交通渋滞はその長さが伸びたり縮んだりすることからもわかるように、動学的分析が必要である。Lighthill and Whitham (1955) は、交通流を流体として取り扱う理論を展開し、渋滞の時間的推移を衝撃波の運動として定式化した。交通工学においては、このモデルに基づく理論・実証・応用研究が蓄積されている。なお交通混雑の基本モデルで用いられる静学的な混雑関数（フロー混雑とも呼ばれている）はこの流体モデルの定常状態に対応している。また Vickrey のボトルネック・モデルは衝撃波の理論を大胆に簡略化したものである²⁰⁾。経済学では、フロー混雑とボトルネック混雑がそれぞれまったく別の理論に基づいて構築されたモデルのように説明されることが多いが（たとえば金本 (1997)、竹内 (1999)）、それらはいずれも流体理論から導かれたものである。本書の第2章と第3章では、この点について明らかにし、流体理論に基づいた交通渋滞の動学モデルを用いて経済分析を行っている。

ところで Henderson (1981) にはもう1つ重要な貢献が含まれている。それは既存のモデルで与件とされていた、通勤者の希望到着時刻（すなわち企業の始業時刻）の分布を内生化したことである。都市に立地する企業は互いに頻繁に取引をするために集積しているので、他の多くの企業と同時刻に業務を開始することが望ましい。このような時間に関する集積のメリットと混雑とのトレードオフに直面する企業の始業時刻選択を定式化した。このようなアプローチは、ラッシュアワーの混雑を平滑化するための交通需要マネジメント政策の分析を行うために有用である。本書の第4章では、フレックスタイムに関する経済分析を行っている。

20) Arnott (1994) は、当時 Vickrey が交通工学の研究動向を把握しており、それに基づいて彼のモデルを考案したと述べている。

1-4-2 都市空間

都市空間における交通混雑の分析は、主として都市経済学者によって行われた。1970年代に Mills and de Ferranti (1971), Solow and Vickrey (1971), Kanemoto (1980) らは、1次元の連続空間において各地点の混雑水準が内生的に決まるモデルを構築し、土地利用の均衡を求めるとともに資源配分の問題を分析した。このような研究の背景には、交通混雑問題を解決するために交通施設を整備するだけでなく、土地利用の改編を含めて総合的に計画しようという考え方が有力になったことが指摘できる。

すべての生産活動が集中する都心があり、その周辺に住宅地が広がる単一中心都市を想定しよう。各地点の土地は住宅か道路に利用され、交通容量は道路面積に比例するものと仮定する。すべての住民が都心に通勤するので各地点における交通量はその地点より外側から発したトリップ数の合計である。都心に近づくほど通過交通量が増加し混雑水準が高くなるが、このことを考慮して各世帯は効用を最大化するように立地点と住宅地の広さを選択する。立地均衡では住宅の立地分布と地代、そして各地点における混雑水準が決定される。混雑料金のような政策的介入がない場合、均衡における土地利用分布は非効率である。ある地点から発するトリップは、その地点から都心までの区間で交通量を1台ずつ増加させる形で混雑の外部効果を発生させる。したがって都心から離れた所に住む者ほど大きな外部効果を発生させることになるが、それが内部化されないと立地分布が過度に分散する。最適な土地利用を達成するためには、各地点で発生させる外部効果に等しい混雑料金を徴収すればよいが、その額は都心からの距離が大きいほど高くなる。このような政策は長距離の通勤を抑制する効果があるので、最適な土地利用が達成されたとき、無政策の場合よりも高密度で都市の広さもよりコンパクトになる。

これらの研究では都市空間の各地点ごとに道路用地をどのように配分すべきか、という問題が分析された。上記のモデルによると、都心に近いほど混雑が激しいので道路容量(=道路面積)拡大の便益が大きい。しかし都心に近い場所は住宅地としても魅力的なので価値が高い。このとき立地点ごとに、道路容量拡大の便益と費用の間のトレードオフが存在する。

最適な混雑料金を課している場合、

道路容量拡大によるトリップ費用減少＝容量拡大費用

のような費用-便益基準に従って道路面積を決定することが最適である。なお容量拡大のために土地のみが用いられる場合、そのための費用は道路用地の地代に等しい。そしてその地代は住宅地の地代とも等しくなる。なお Solow and Vickrey (1971) は、単一中心とは対照的に、線形空間に立地するすべての経済活動間で互いに一定数のトリップを行うと仮定したモデルに基づいて、道路への土地配分問題を分析している。この設定は業務地区内部の土地利用を対象とするものと解釈できる。

上述のように、最適な配分を実現するためには、都市内の各地点で異なる額の混雑料金を徴収する必要があるが、そのような政策を現実適用することはきわめて困難である。このような混雑料金を課していない場合は費用-便益基準により道路整備を進めることは効率的ではない。Kanemoto (1980) は、混雑料金を課さない状況で次善の政策として、各地点の道路容量を最適に決定する問題を分析した。次善の状況では、ある地点の道路容量、すなわち道路面積の変化が他のすべての地点における土地市場に影響を与えるので、このような波及効果を考慮した複雑な分析が必要になる。

Hatta (1983) は、都市空間モデルを用いて鉄道における混雑を分析した。鉄道路線が競争的な企業により運営されており、各企業が利潤を最大化するように運賃と容量を決定する場合、混雑が内部化され社会的に最適な資源配分が達成されることを示した。

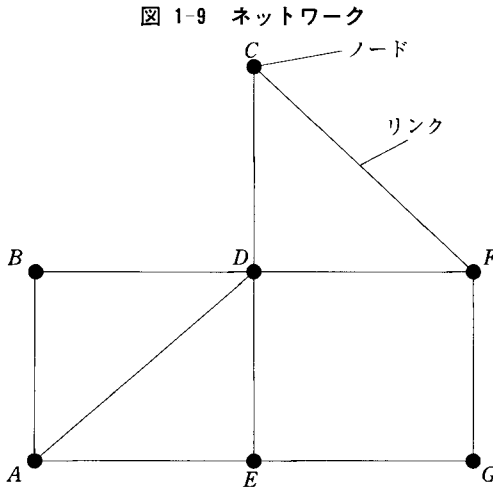
1980年代以降は、より複雑なモデルを数値シミュレーションによって分析する研究が行われるようになった。たとえば Sullivan (1983a) は住宅だけでなく業務地区 (CBD) 内における企業の土地利用も内生的に求める一般均衡モデルを用いて、シミュレーションを行った。Anas and Xu (1999) は、企業の立地が都市の中心部に限定されない、非単一中心都市モデルに基づいて交通混雑の空間分布を分析した。

以上のような都市空間モデルによる研究では、混雑料金をまったく徴収しない場合か、最善の混雑料金を徴収する場合かという、両極端のケースのみを想定していた。上述のように、次善の政策として道路容量の選択を取り扱った研

究はあるが、次善の料金政策に関する分析はほとんどなされていない²¹⁾。シンガポールやノルウェー、あるいは最近のロンドンなどで実施しているシステムは、いずれも最善ではないが実施の容易な次善の料金政策である。次善の料金政策に関する経済分析は、既存のシステムの有効性を評価すること、そして料金システムをどのように設計すべきかについて示唆を与えることができる。本書の第II部の第5章と第6章では、都市空間モデルを用いて、代表的な次善の政策であるコードン料金システム（第5章で詳述）について分析している。

1-4-3 ネットワーク

空間分析へのもう1つのアプローチは、ネットワーク空間を対象とするものである。ネットワークとは、図1-9に示すように、空間上に散在する離散的な点（ノード）とそれらを結ぶリンクから成る。トリップの発地と着地はネットワークにおけるノードで表される。トリップを行う人は、発地から着地まです



21) Sullivan (1983b) および Kraus (1989) は例外である。前者では Sullivan (1983 a) と同様のモデルを用いてガソリン税の効果を分析した。しかしガソリン税は混雑の水準に関係なく設定され、都市部や周辺部に関係なく税率も一律なので、混雑対策としては限界がある。Kraus (1989) は都市空間モデルに基づいてコードンプライシングを取り扱った最初の研究である。彼のモデルでは、混雑料金が各地点に立地する家計の交通手段選択に影響を与えるものと想定されている。

のリンクを通って行くかという、経路選択を行う。このような個々の経路選択の集計として各道路における交通量と混雑水準が決まる。発地から着地までの交通量が与えられたときに、それらが各経路（あるいは各道路リンク）をどのように流れるかを求めることを交通量配分（traffic assignment）と呼ぶ。

いま道路ネットワークに沿ってトリップを行う者が、旅行費用の最小となる経路を選ぶものと仮定しよう。道路に料金が課されていない場合、最小費用経路は最短旅行時間経路である。Wardrop (1952) は次のような交通量配分原理を提示した。

「(均衡において) 利用される経路の旅行時間はみな等しく、利用されない経路の旅行時間はそれよりも大きいかせいぜい等しい」

Beckmann *et al.* (1956) は上の原理を数学的に定式化し、均衡条件式が最適条件として得られる数理最適化問題を示した²²⁾。そして非線形計画法の理論を用いて均衡解の存在と一意性に関する検討を行った。このBeckmannのモデルは経済理論としても独創的であるが、交通工学における交通量予測にとってきわめて重要な貢献を含んでいた。しかしそれが引用されるようになったのは、Dafermos and Sparrow (1969), LeBlanc *et al.* (1975), Evans (1976) 以降である。その間にも、交通工学の分野では独立に交通量配分の研究が行われていたことから、学際的な交流の欠如が悔やまれる²³⁾。交通ネットワーク均衡に関する工学的研究では、多数のノード、リンクから成る大規模な道路網について均衡解を計算するアルゴリズム開発が最も重要な課題であり、膨大な研究が蓄積されている。現在ではソフトウェア・パッケージも数種類開発されるなど、交通計画の実務への導入も進んでいる。また交通手段分担との統合モデル、確率的利用者均衡、動学的交通量配分、ネットワーク設計など多様な拡張が行われており、交通工学における主要な研究分野の1つである²⁴⁾。

ネットワーク均衡モデルの応用研究は膨大な数になるが、料金政策を取り扱

22) 近年盛んに研究されているポテンシャル・ゲームの理論の源流とも解釈できる。Sandholm (2002) は、Beckmannと同様のモデルをポテンシャル・ゲームとして取り扱い、需要関数や走行費用のパラメータに関する情報なしに最適混雑料金を求め、それを遂行する方法を提案した。

23) Boyce (1994) はこの間の経緯を説明している。

24) 交通ネットワークに関する研究全般については土木学会 (1998) を参照されたい。

うものは相対的に少ない。その中でもほとんどの研究はシステム最適、すなわちすべてのリンクで外部効果に等しい混雑料金を徴収する状況を想定していた。都市空間の場合と同様、そのような政策は現実的ではないので、一部のリンクでのみ料金を徴収するという次善の政策を考えることが有益である。交通量配分の効率性を改善するための次善料金に関する研究が行われるようになったのは比較的最近のことである（たとえば文 (1993b), Verhoef, Nijkamp and Rietveld (1996), Small and Yan (2001), May and Milne (2000), Santos *et al.* (2001), Verhoef (2002), Zhang and Yang (2004)）。本書の第7章と8章では、1つのO-Dペアについて複数の並行する経路がある場合に関する基礎的分析を行った後、第9章においてより一般的なネットワークを対象として次善の料金政策に関するシミュレーションを行う。

付論：ロードプライシング実施の事例

世界のいくつかの都市では、混雑対策や道路財源を目的として、ロードプライシングが実際に行われたり、あるいは計画されている。これらは、上で述べたような理論どおりに実施しているわけではないが、さまざまな工夫が見られ、それらには今後の適用に向けて参考になる情報や教訓が多く含まれているので、以下に一部を紹介する。

シンガポールでは、1975年に Area License Scheme と呼ばれる方式の課金を開始した。これは、都市中心部に規制区域を設定し、朝のラッシュ時間帯にその規制区域を通行する車両に通行許可証を購入させ、それをフロントガラスなどに提示することを義務付けるものである。規制区域の境界にはゲートがあり、そこで通行許可証を提示しているかチェックするとともに、区域内では警察が徹底的な監視を行い、通行許可を持たずに通行する車を摘発することになっている。導入後に行った調査によると、ドライバーの反応は敏感で、導入前に比べて走行速度が平均で22%も増加したことが報告されている。その結果、特に時間的、空間的境界で交通パターンが激変することが明らかとなった。すなわち規制時間帯の直前に交通量が集中したり、規制区域の境界のすぐ外側に企業が立地したりする。なおシンガポールでは、1998年からフロントガラスに貼

る許可証から、スマートカードという電子システムに切り替えられ、それに伴い課金方式もコードン料金制に変更された。シンガポールの場合、混雑料金により道路利用を抑制するだけでなく、自動車の保有に対するきわめて重い税を組み合わせることによって、効果的な混雑対策を実現している。

香港では、1985年に Electronic Road Pricing (ERP) の導入が計画され、実験まで行った。その方法は、あらかじめ設定された混雑区域の境界を車が通過するとき、電子機器によってナンバープレートを読み取り、1カ月分の料金を後にまとめて請求するというものである。実験の結果、ナンバープレートの読み取り精度はきわめて良好であることが報告された。しかし課金に関連してプライバシーが侵害されるおそれがあるという導入反対論が議会において勝利を収め、結局実施されなかった。ここで得られた教訓としては、技術的障害よりも社会的合意を得ることの方が難しいので、計画の早い段階でどのような反発がありうるかを予測し、その対策を十分に行う必要が指摘されている。さらには収入がどのように有益に使われるかを明らかにし、市民の信頼を獲得することも重要である。

1995年には、米国のカリフォルニア州で新設された高速道路 (91 Express lanes) において、時間帯ごとに変動する料金が導入された。この道路は、既存の高速道路(無料)に新しく2車線を追加したものであるが、民間企業が運営している。そこでは、HOV (High Occupancy Vehicle, 2人以上乗車する車) は常に無料であるが、それ以外の車両は時間帯によって0.25~2.5ドルに料金が変動する。このような時間帯別変動料金は、トリップを行う時刻の変更を促すことを通じた混雑緩和に有効である。

韓国のソウルにおいても、中心部に流入する車のために混雑する2カ所のトンネルの通過に対して、きわめて安価ながら、1996年より料金を徴収することにした。都心に入るには、他の迂回道路を用いれば料金は徴収されないもので、この料金制実施は交通量配分に大きな影響を与えた。わずかな料金であっても、人々のトリップに関する意思決定に対する影響は大きいことが改めて示された。

混雑緩和を目的とするものではないが、1986年から91年にかけて、ノルウェーの3都市では道路整備の財源とする目的で、コードン料金制が実施されている。

英国では1964年のスミード・レポート以来、40年間、何度か混雑料金の導入が議論されてきたが、実現には至らなかった。ところが2000年、ロンドン市長にケン・リビングストン氏が混雑課金を公約に掲げ当選したことを契機として、急速に具体化することになった。導入までに数多くの調査分析と市民参加による合意形成の努力が行われた。たとえばTfL (Transport for London, ロンドン交通庁) のホームページによると、このたびの課金導入の必要性として「ロンドン中心部のドライバーは半分の時間を渋滞の中で過ごしている」「ロンドンでの過当たり混雑の損失は200~400万ポンド」であることが示されている。

ロンドンにおける混雑料金制は2003年2月17日から開始された。その内容は次のとおりである。

- ・月一金の朝7時から夕方18時までの間に都心部に流入する各車両に対し、1日当たり5ポンド(約1000円)の料金が課される(ただし課金ゾーン内の居住者は90%の割引、他にもさまざまな割引)。
- ・利用者は事前(または当日の22時まで)にナンバーをデータベースに登録し料金を払う。
- ・各種の支払方法が利用可能(インターネット、ガソリンスタンド、コンビニエンスストア、電話でクレジットカード、課金地域内の自動支払機)。
- ・課金地域の境界線や課金地域内のカメラでナンバープレートを読み取り、データベースに登録されているかチェック。
- ・違反には80ポンド(ただし14日以内に払えば40ポンド)、28日を経過したら120ポンド。

TfLは導入から3カ月、6カ月、1年、そして2年経過後に効果を評価する報告書を発表している²⁵⁾。2年経過後の報告書によると、その効果は以下のとおりである。

- ・交通パターンは安定しているが、課金地域内の交通遅延が課金前に比べ30%減少、これはTfLの予想した樂觀値に近い。
- ・課金地域に関係するトリップの所要時間が平均14%減少、信頼性が30%向上。

25) <http://www.tfl.gov.uk/tfl/cclondon/pdfs/ThirdAnnualReportFinal.pdf> からダウンロード可能。

- ・課金地域に流入する自動車の数は6万台減少した。これらのうち20～30%は周辺地域に分散、50～60%は公共交通に転換、15～20%は車の相乗り、自転車への転換、課金時間帯以外のトリップ、トリップそのものの削減など、上記以外の形態。
- ・バスは初めて乗客増（バスの本数増の効果も含む）、公共交通は車からの転換利用者をバス・ネットワーク容量の増大によってよく処理している。
- ・バス乗客の待ち時間が混雑減少とバスの本数増加により1/3以上減少。
- ・混雑課金が経済活動に弊害をもたらすという懸念は当たらなかった。ロンドン中心部を訪れる人の数は減少したが、それは他の原因によるものである。
- ・混雑課金により、2004年度は9000万ポンドの収入を得た。これらの収入は主としてバス・ネットワークの整備に使われた。

以上の結果は、導入前の予測とほぼ一致するものであり、混雑料金が有効であることを示している。この成果を受けて、市では課金地域の西への拡大と、料金を8ポンドに値上げすることを提案している。

ロンドンにおける成果は、世界中で大きな関心を呼んでおり、混雑に悩む多くの都市にとって、道路利用に対する課金は有望な政策の選択肢として現実のものとなりつつある。