

「超混雑」論争の系譜：
社会的限界費用曲線の反転問題は何をもたらしたの
か

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 大阪市立大学経済学会 公開日: 2024-09-09 キーワード (Ja): 車両数, フロー, 社会的限界費用, ボトルネック混雑, 動学分析 キーワード (En): 作成者: 竹内, 健蔵 メールアドレス: 所属: 東京女子大学
URL	https://ocu-omu.repo.nii.ac.jp/records/2001590

「超混雑」論争の系譜

——社会的限界費用曲線の反転問題は何をもたらしたのか——

竹 内 健 蔵

要 約

交通経済学で長年論争の対象となった社会的限界費用曲線の反転問題を概観する。多くの論争の展開は、最終的には混雑現象を車両数（交通密度）でとらえるか、フローでとらえるかという測定単位の問題に帰着する。同じ議論は費用曲線だけではなく、需要曲線にも適用され、これは特にわが国における超混雑論争の中心的な課題となった。交通工学における混雑分析の成果から、混雑現象を静態的に扱ってきた従来の経済学の分析手法に疑義が投げかけられ、ボトルネック混雑を中心とした動態的な分析によってのみ超混雑現象は解明されることが指摘された。その点から考えると、社会的限界費用曲線の反転問題は、その問題設定自体に矛盾をはらんでいたといえる。しかし、経済学におけるこの論争は、経済学と交通工学の接近に大きく貢献し、交通経済学がより学際的に発展する機会を与えたものとして積極的に評価するべきである。

1. は じ め に

洋の東西を問わず、交通問題における筆頭格として交通混雑の問題が挙げられる。特に道路混雑はモータリゼーションの急激な進行とともに、世界各国で深刻な問題となっている。この問題に対して、経済学は不断の取り組みを行ってきた。道路混雑の緩和に向けた経済学からの回答は、混雑料金である。混雑料金の理論的な展開の発端は、主として Walters (1961) から、そして実践的な取り組みの発端はいわゆる Ministry of Transport (1964) (いわゆる「スミード・レポート」) からであることはよく知られている。それ以降、最適な道路混雑料金形成のために、多くの交通経済学者が多大な労力と時間を費やしてきた。

混雑料金の理論は、政策的に意義が深いだけではなく、その理論自体にもさまざまな興味深い論点が含まれているものであった。これゆえ、現在に至るまで数多くの研究がなされており、その中には論争に至ったテーマも少なからず存在する。たとえば、混雑料金収入の使途の問題、混雑料金の逆進性、道路設備の建設を考慮に入れた長期的な混雑料金などがその代表的なもの

〔キーワード〕

車両数, フロー, 社会的限界費用, ボトルネック混雑, 動学分析

である。そうした論点の中で、最も研究者の注目を集めたものとして、社会的限界費用曲線の反転問題、別の言い方をすれば「超混雑 (hypercongestion)」における混雑料金形成の問題がある。

本論は、この社会的限界費用曲線の反転問題に関する論争を整理し、この論争とは何であったのか、そしてこの論争がその後の交通経済学の展開に何を残したのか、ということを明らかにすることを目的とする。現在ではほぼ決着がついたと思われるこの論争は、現在忘れられつつある。再度この論争を俯瞰し、まとまった形で整理しておくことは今後の交通経済学研究に大いに資するものと期待される。

本論の構成は以下の通りである。2. では、この論争の核となった超混雑現象とは何かということ整理し、論争の理解のための準備とする。3. では、この論争の本格的な出発点となった Else vs. Nash 論争を取り上げ、何が問題となったのかを明らかにする。4. では、その後の数々の研究を概観し、超混雑論争がその後どのように展開されたかを明らかにする。5. では、超混雑論争がわが国においてはどのように受け止められ、取り組まれたのかを整理する。6. では、超混雑論争に終止符を打つことになった交通工学からの分析を紹介し、この論争の原因を解明する。7. では、この論争から交通経済学の理論研究が得たものは何であったのかを明確にし、本論の結びとする。

2. 超混雑とは何か

道路混雑は交通量の増加によって速度が低下するという形で現れる。交通量は通常フローという単位で計測され、道路上のある1点を単位時間内に通過する車両数によって定義される。一方、速度は当該道路の距離を与えれば容易に所要時間へ変換することができ、時間価値を乗ずることによって時間費用として計測することができる。この交通量（フロー） F と交通速度 V の関係は特に交通工学の分野で研究され、両者の関係を示す F - V 曲線が導出されている。 F - V 曲線に関する計量研究は経済学の分野でも若干存在し、Boardman and Lave (1977) や Fare et al. (1982) などがある。 F - V 曲線を単純化して描いたものが図 2-1a である。

当該道路上に最初の1台が流入したとき、その走行を妨げる他の車両はないので、自由にトリップをすることが可能である（このときの速度は自由走行速度と呼ばれる）。これが点 A_V に該当し、そのときの速度は V_A である。これ以降、次々と車両が流入してくる状況を考えて。初めのうち、フロー F は着実に増加する。そして車両同士が互いに干渉するようになると混雑が発生し始めるので、速度 V は低下し始める。 F はその後もある程度までは増加し続けるが、道路の処理能力 $F_{\max}$ に至ると、道路上の1点を通過できる車両数が低下を始める。つまり F は減少に転ずる（点 B_V ）。この状態は混雑がますますひどくなる状態であるから、 V は一貫して減少する。最終的には道路上が車両で一杯になり、 F は完全にゼロになり（交通麻痺）、 V

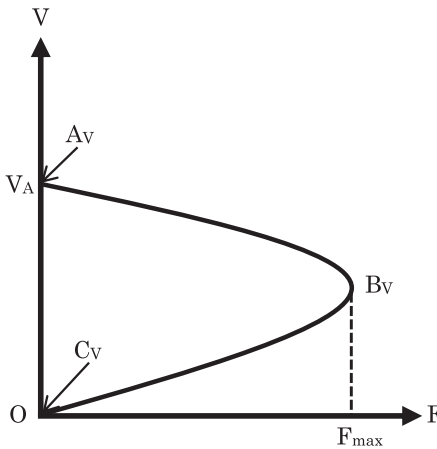


図 2-1a F-V 曲線

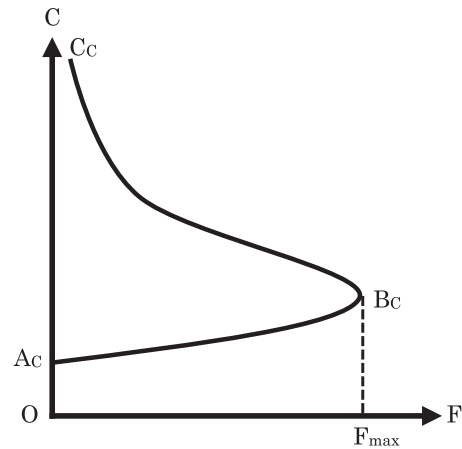


図 2-1b F-C 曲線

はゼロになる。これが点 C_v である。

前述のように、速度は容易に時間に変換できるから、F-V 曲線から、交通量 F と所要時間 C の関係を示す F-C 曲線を導出することができる(図 2-1b)。F-C 曲線の特徴は、混雑がひどくなって完全に F がゼロになったとき、 V もゼロになるので永遠に目的地に到着することができず、所要時間が無限大になるということである。したがって、F-C 曲線は縦軸と交点を持たない。なお、 A_v と A_c 、 B_v と B_c 、 C_v と C_c はそれぞれの点に対応している。この F-C 曲線は、道路利用者（ドライバー）個人が所要時間費用や使用燃料費用等の形で負担する私的な費用である。全ての車両が同じタイプであれば、利用者の数だけ合計したものが社会的総費用となるので、F-C 曲線は社会的平均費用（私的限界費用）といえる。

さて、こうした混雑現象を示した図において、超混雑とは当該道路の道路容量を超えて車両が流入している領域のことを指す。すなわち、図 2-1a においては B_v と C_v の間の F-V 曲線を指し、図 2-1b においては B_c と C_c の間の F-C 曲線を指す。本論の目的からは F-C 曲線における領域がより重要である。つまり、この区間においては社会的平均費用曲線が反転している。この領域の混雑はその程度が著しいことから、「渋滞」という言葉によって表現されることもある。しかしここでは用語の混乱を避けるために、「超混雑」という用語で統一する。

通常のミクロ経済学理論あるいは公共経済学理論においては、混雑現象のような外部不経済は市場を失敗させるので、政策介入によって最適な交通量を実現することが求められる。具体的には、社会的平均費用曲線と社会的限界費用曲線の乖離部分に当たる外部（限界）費用に相当する部分を混雑料金として課金することによって、社会的に最適な資源配分が達成される。このためには、通常の混雑部分だけではなく、超混雑の部分においても社会的限界費用曲線が定義されなくてはならず、その曲線の形状を求めることができなくては、社会的に最適な混雑料金を求めることができない。無論、超混雑の部分において社会的限界費用曲線が定義されな

いという主張も存在する。たとえば Walters (1961) はその初期のものである。

超混雑現象に関する本格的な論争は、次節で述べる Else vs. Nash 論争を待たなくてはならない。しかし、この反転部分に関して Walters (1961) ほど淡泊な判断ではないものの、何らかの違和感を持っている研究は、Else vs. Nash 論争の前にも既にいくつか出ていた。たとえば、Johnson (1964) は、F-C 曲線の反転部分での需要曲線との交点は非効率であるとして、社会的限界費用曲線を無限大に発散させたままとしているし、また Neuburger (1971) は、反転部分の均衡の不安定性について指摘している。

3. Else vs. Nash 論争

社会的限界費用曲線の反転問題をめぐって有名となった最初の論争は、Else (1981, 1982) と Nash (1982) との論争であろう。ここでは竹内 (1991) の整理に従って、この論争を概観する¹⁾。

この論争の発端となった Else (1981) の目的は、社会的限界費用曲線の反転問題を直接取り扱うことなく、道路利用者の意思決定の基準はフローではなく車両数であるべきで、車両数で定義される社会的限界費用は、フローによって定義される限界費用よりも低くなることを主張することであった。しかし、その主張を展開するプロセスにおいて、社会的限界費用曲線の反転が導出され、それが論争のきっかけとなった。Else の注目する車両数 N は交通密度 D (道路の単位面積あるいは単位距離における車両数) に容易に単純変換できる。というのは、

$$N = DL \quad \text{あるいは} \quad D = \frac{N}{L}$$

であるからである。単純化のために $L=1$ とおけば、車両数は交通密度と一致する。また、フロー F は、

$$F = D \cdot \frac{L}{T}$$

と定義することができる。ここで T は当該道路の OD のトリップに必要な所要時間である。図 3-1a の $A_D C_D$ は、交通密度で表わした社会的平均費用曲線である。交通密度で表わした社会的平均費用曲線は、交通密度が最大になる点 (道路容量) において無限大に発散する。この点においては、道路の単位面積を車両の専有面積で (あるいは道路の単位距離を車両長で) 除した車両が当該道路上に存在している (もはや当該道路に隙間がない) ことを表わしている。図 3-1a からわかるように、交通密度で表わした社会的平均費用曲線が原点を通過する直線と接するとき、フローは最大になる。なぜならば、簡単化のために $L=1$ とすれば、

1) なお、より詳しい解説が松澤 (1992) によってなされている。

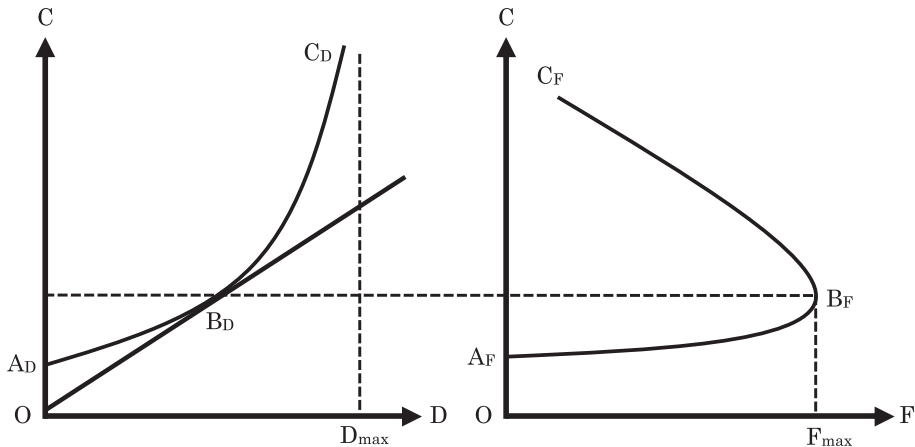


図3-1a 交通密度による社会的平均費用曲線

図3-1b F-C平面上で表わされたElseの社会的平均費用曲線

$$\frac{dF}{dT} = \frac{1}{T} \left(1 - \frac{D}{T} \cdot \frac{dT}{dD} \right) = 0$$

より,

$$\frac{dT}{dD} = \frac{T}{D}$$

となるからである (Tは時間価値によってCに容易に変換しうる)。なお2階の条件は満たされている (Jonson 1964)。つまり, Elseが依拠する車両数に基づく社会的平均費用曲線をF-C平面上で表わすとすれば, それは交通密度(車両数)に関する社会的平均費用曲線導出のプロセスを経て図3-1bのように導出されることになる。

言うまでもなく, 社会的限界費用SMCは社会的平均費用SACに外部(限界)費用が付加されたものであるから, 交通密度によって定義される社会的限界費用曲線は社会的平均費用曲線の上に位置し, 社会的平均費用曲線と同様に, 交通密度の最大値(道路容量)において無限大に発散する。そうであれば, 交通密度で表わした社会的平均費用曲線からF-C平面上で表わした社会的平均費用曲線が導出されたときと全く同様にして, 社会的限界費用曲線もF-C平面上で変換できるはずである。これを表わしたものが図3-2abである。

このことからわかるように, 交通密度による社会的限界費用曲線の導出により, フローにおいても社会的限界費用曲線が反転することがわかる。したがって, 社会的限界費用曲線の反転部分で需要曲線が交点を持てば, その交点において社会的に最適な交通量が達成されるということになる²⁾。

2) Else (1986)はこの論争の後も, 限界費用概念にさまざまな意味を持たせることで, 社会的限界費用曲線は反転するという主張を貫いている。

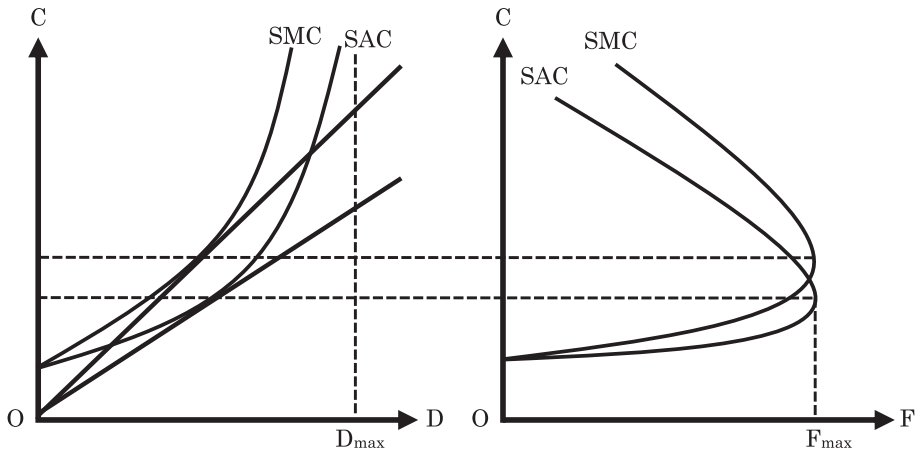


図3-2a 交通密度による社会的限界費用曲線

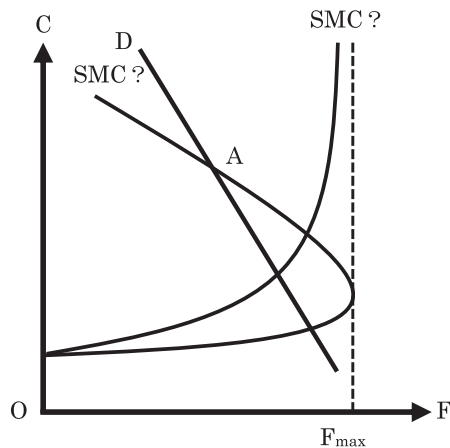
図3-2b F - C 平面上で表わされた Else の社会的限界費用曲線

図3-3 社会的限界費用曲線と需要曲線の関係

ところが、この主張に対して Nash (1982) が異議を唱えた。Nash の主張は以下の 2 点に要約できる。第 1 は、社会的限界費用曲線の反転部分で需要曲線 D が交点を持つ場合、社会的限界費用曲線の傾きの大きさが需要曲線の傾きよりも急であるために (図 3-3 の点 A)、社会的純便益の最大化のための 2 階の条件を満たさない、ということである³⁾。第 2 は、需要曲線はフローという単位に基づいて導出されるものであるから、交通密度を基準として導出された社会的限界費用曲線との交点を論じても意味はない、ということである⁴⁾。ここで重要な点は、

3) Else とは異なるフレームワークであることをことわりつつも, d'Ouville and McDonald (1990) は (厳密には平均可変費用曲線の) 反転部分でも最適点がもたらされる可能性を指摘している。

4) 同様の指摘は後になって Guria (1986) によってもなされた。Guria (1986) pp. 333-338.

社会的限界費用曲線が異なった測定単位から導出されているということであり、このことが今後の議論の中心的な論点となった。

4. その後の展開

Else vs. Nash 論争は、社会的限界費用曲線の反転問題に関して多くの研究者の注目を集めることになった。しかし、興味深いことは、Else vs. Nash 論争においても現れているように、超混雑時に社会的限界費用曲線が反転するかどうかということが直接的な論点になることは少なく、むしろ、混雑現象をどのようにとらえ、どのように計測するか（計測単位の問題も含む）という点が重要であったということである。それはこの後に起こった Evans vs. Hills 論争においても現れている。

Evans (1992b) は、社会的限界費用曲線の反転とは直接関係のない目的から書かれていながら、そのプロセスにおいて、混雑費用関数に言及せざるを得ず、その議論の途上でこの問題に触れている。しかし、Evans (1992b) は図 3-1b に示されたような F-C 曲線における反転部分については、論理的な必然性が存在しない (no logical requirement) という理由から無視する立場をとり、経験的にも Newbery (1988) や Harrison et al. (1986) がそれを支持していると主張する⁵⁾。事実、Evans (1992a) においては、社会的限界費用曲線は $F_{\max}$ において無限大に発散している。

これに対して Hills は、Evans (1992b) の論文の趣旨（特に後半部分）については同意するものの、この反転問題については厳しく反論している。Hills (1992) は Evans (1992b) がこの理論を避けて通っていると批判する。そして、この反転問題はフローに基づくもの (flow-based measure) からトリップに基づくもの (trips-based measure) に横軸を変換すれば、反転曲線は存在しなくなると主張する。この点において、反転問題は Else vs. Nash 論争と同様に、交通量の測定単位の問題に帰着されている。さらに Hills (1992) は、反転する混雑費用曲線は交通サービス供給を決定する部分的なものであっても、供給曲線そのものではないとしている。これに対して Evans (1993) は、Hills と自分との混雑現象に対する理解が異なることを主張し、Hills のいう供給曲線は理解できないのでコメントできないとしている。

いずれにしてもこの議論からわかることは、両者の間においては混雑現象に対する見方が基本的に異なっており、土俵が異なる以上、両者の間で論理的に整合性をもった決着は得られないであろうということである。この論争で出てくる Evans の “throughput”（フローに該当するものと思われる）の考え方や、Hills の “flow-based measure” や “trips-based measure” は両者の

5) Yang and Huang (1998) も全く同じ表現 (no logical requirement) を用いて反転部分の分析を意味のないものとしている。ただし、Yang and Huang (1998) は Mun (1994) の分析に依拠しており、その意味は Evans (1992b) とは異なる。

考え方の相違を象徴的に表わしているといえるであろう⁶⁾。この点で、Else vs. Nash 論争との類似点を見ることができ、混雑という現象を観察するときの視点がぶれていることを読み取ることができる。無論、Morrison (1986) のように、Johnson (1964) を踏襲して、反転部分においてより低いコストで同じ交通量が達成できるので最適点は反転部分には現れないという単純な主張も、Else vs. Nash 論争以降に存在する。さらにいえば、Thomson (1998) は、これまでの交通混雑の経済学を回顧した中で、この両者の対立概念の指摘を等閑視し、単に反転部分是非効率で不安定であるという指摘に留めているという事実もある。しかしながら、全体的な趨勢としては、計測単位による費用曲線の理解の相違が問題をもたらしめているという論調が多いといえる。

こうした状況下において、問題を打開するヒントとして2つの方向性を指摘することができる。1つは、混雑現象の計測単位をどのようにするかが問題になっている一方で、需要曲線は、以前として伝統的な理論の枠組みのなかでフローとしてとらえられているので、需要曲線を従来の右下がりの線としてそのまま受け入れて良いのかどうかという問題が指摘される。確かに、車両数（交通密度）に由来する、あるいは Hills (1992) のいう trip-based measure で社会的限界費用曲線を考察する一方で、需要曲線が相変わらず flow-based measure で記述され、その交点が効率的かあるいは非効率的か、安定かあるいは不安定であるかを論ずることは意味をなさないように見える。実際、Evans (1992a) は再生可能性資源の所有権に関する分析の事例として道路を取り上げた De Meza and Gould (1987) の主張に反論する形でこの方面への探究を進めている。それによれば、社会的限界費用曲線が交通密度からフローに変換されたのと同様の手続きで需要曲線を変換すると、需要曲線もまた同様に反転することが図によって示されている。これは Evans (1992a) によって“derived demand curve”と名付けられている。

もう1つのアプローチは、道路混雑をこれまでのような静態的なものではなく、動態的なものとしてとらえようとするものである。このことが経済学者から提示されるのは、Vickery (1969) を除けば古いことではなく、Verhoef (1999) にその萌芽が見られる。しかし、Verhoef (1999) は道路混雑の分析に本格的に動学分析を導入し、決定的に静学分析と訣別したものではない。動学的な均衡分析が必要であることを指摘しつつも、それを何とかして静学的な枠組みの図で説明しようとしている。また、その延長線上として、Verhoef (2001) は、超混雑時における均衡は動学的に不安定であると主張している。

5. わが国における展開

前節の最後に述べた前者のアプローチを直接的に取り扱ったものに、Kawashima (1988,

6) 同様の考え方の対立を Verhoef (1999) は“flow-based”と“stock-based”という言葉で表現している。

1990) がある。そこでは限界費用曲線のとらえ方にも工夫がなされている。Kawashima (1988, 1990) の認識の要諦は、道路利用者が一定の支払意思をもって道路利用を希望するときの現実には現れない需要量 Q と、フローという形で実際に現れる交通量 F は等しいものではなく、それらの間には一定の関数関係 $Q=G(F)$ があり、その関数関係をモデルに取り込まなくては真の限界費用曲線を図示することはできない、ということである。つまり、伝統的な社会的限界費用関数は、 $SMC_F(Q)$ は次のように表わされる。

$$SMC_F(Q) = SAC_Q(Q) + Q \cdot \frac{dSAC_Q(Q)}{dQ}$$

ここで、添え字 F , Q はそれぞれの関数の計測単位を表わしており、 SAC は社会的平均費用である。これに Q と F の変換曲線を使うと、

$$SMC_F(F) = SAC_Q[G(F)] + G(F) \cdot \frac{dSAC_Q[G(F)]}{dG(F)}$$

となる⁷⁾。

現実には道路容量が存在するために、道路利用者の道路利用を希望する需要量 Q は道路容量によって強制的に抑えられ（ねじ曲げられ）、目の前に現れる交通量 F として反転した形で現れる。したがって、仮に交通容量という物理的制約がなければ、社会的限界費用も社会的平均費用も反転しないまま Q を単位とする右上がりの曲線として描くことができるはずである（図 5-1）。

ただ、同じことは需要曲線においてもいえる。実際に計測される道路上の需要量はフロー F によって表わされたものであり、本来の需要曲線 D_Q である Q に関する関数をフローによる需

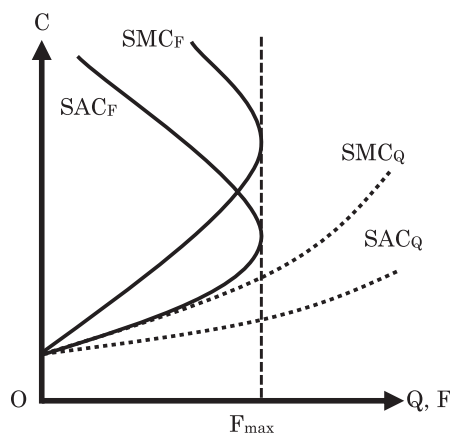


図 5-1 Q と F の変換前後の費用曲線の位置

7) これ以降の展開は竹内 (1991) に基づいている。

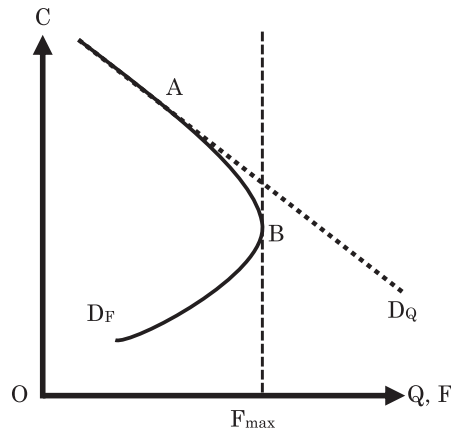


図 5-2 Q と F の変換前後の需要曲線の位置

要曲線 D_F に変換して同じ平面上で費用曲線と比較考量して混雑料金を決定する必要がある。Kawashima (1988, 1990) によれば、その需要曲線は図 5-2 のようになる。ここで点 A は混雑が発生する点、点 B は道路容量が最大限に利用されている点である。以上のことから、図 5-1 で表わされた社会的限界費用曲線と、図 5-2 で表わされた需要曲線 D_F を同一平面上で表わし、そこから最適な混雑料金を導出することができる。

Kawashima (1988, 1990) の工夫は、2つの計測単位を変換関数によって処理し、同一の測定単位の平面上で分析を可能にしたことにあり、また費用曲線だけではなく、分析の整合性を保つために需要曲線にも同じ措置を施したことにある。確かにこの操作に基づいて同じ土俵の上で費用曲線と需要曲線を論ずることができるようになった。ところが、両曲線とも反転するということになるため、作図上はいろいろな位置関係を想定することができるようになり、その分析は一層複雑になる可能性がある。

松澤 (1992) は Kawashima (1988, 1990) と同様の方法論を採りながらも、それとはまた異なった方法で最適な混雑料金の導出方法を提案している。松澤 (1992) は Kawashima (1988, 1990) のいう Q と F との変換関数の導入という方法を採らずに、むしろ Kawashima (1988, 1990) とは逆の思考方法によって、異なる費用曲線を導出する。松澤 (1992) において特徴的なのは、道路上の車両数 N とフロー F との関係において、超混雑のときの社会的平均費用曲線と社会的限界費用曲線を道路容量 $F_{\max}$ の線を軸に左右対称に投影させれば、反転しないそれぞれの費用曲線が導出できる。全く同様にして、本来は N で表わされるべき需要曲線は道路容量の存在によって F - C 平面では反転しているが、これも $F_{\max}$ を軸に左右対称に投影させれば反転しない需要曲線となる。したがって、左右対称に投影した限界費用曲線と需要曲線の間で最適な混雑料金を求めることができる。以上のことを図示したものが図 5-3 である⁸⁾。

図 5-3 において $F_{\max}$ を超えて右側が超混雑領域であり、左右にわたって単調増加している

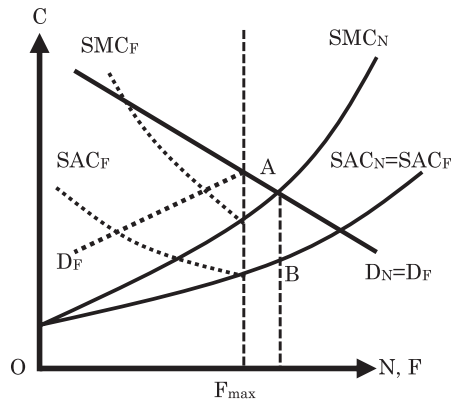


図 5-3 松澤（1992）による費用曲線と需要曲線の左右投影

SMC と SAC がそれぞれ社会的限界費用曲線と社会的平均費用曲線である。添え字 N と F はそれぞれ道路上の車両数とフローを表わす。松澤（1992）によれば、 F と N は一意的に対応するので、 $SAC_N=SAC_F$ そして $D_N=D_F$ となるように対応させることが可能である。超混雑領域に存在する以上の 3 曲線は $F_{\max}$ を軸に左右対称に投影され、それが $F_{\max}$ よりも左側で点線として存在する SMC_F 、 SAC_F そして D_F である。つまり $F_{\max}$ よりも右側の 3 曲線の実線部分と左側の 3 曲線の点線部分は鏡像関係にある。この工夫において最適な混雑料金は AB で表わすことができる。

松澤（1992）における理論上の工夫は、Kawashima（1988, 1990）と同様に、前節で述べた 2 つの計測単位をいかに融合させて、同一平面上で表現するか、ということにある。その意味で、Else 以降の論争のような反転する、しないという二分論ではなく、これまでの論争をより高い位置から統一を図ろうとしたものであると評価することができる。ただ、実際の物理的な交通流を考えたとき、道路容量の境界を軸に左右が反転して描かれるという工夫がどれだけ現実を説明できるかという点では議論の余地はあり、鏡像関係にあるということに関する理論的な解明が残されることになったといえる。

このほかに、社会的限界費用曲線の定義に立ち返った素朴な発想による問題の分析もある。この分析は竹内（1991, 1999）においてなされている。教科書的に言えば、社会的限界費用曲線は社会的総費用曲線の増分である。社会的総費用曲線は、 F - C 曲線（図 2-1b）上の 1 点と原点を結ぶ直線を対角線とした長方形で表わされるから、その長方形の面積の増分がまさに社会的限界費用曲線となる。 F - C 曲線の反転部分ではないところでは、交通量の増加は社会的総費用を増加させるから（ F - C 曲線は単調増加であるため）、社会的限界費用曲線は正の値をとる。

8) 松澤（1992）における作図は本論におけるものよりもはるかに複雑で、精巧な分析に基づいている。本論では紙幅の通常、そのエッセンスを伝えることに主眼があるため、大幅な省略や変更があることには注意されたい。

しかし、反転部分においては、その変化は不定となる。たとえば Evans (1992b) が指摘するような、“Parabolic speed-throughput relationship” の形をとる F-C 曲線では社会的限界費用曲線が負になる状況を作り出すことは容易であり、その場合は超混雑領域において社会的限界費用曲線は負であるから、最適な料金は求められないということになる。竹内 (1999) ではこのような数値例を提示し、そのときの社会的限界費用曲線を図示している⁹⁾。

6. 動学分析からのアプローチ

4. の最後で述べた後者のアプローチ、すなわち、混雑を静態的（静学的）にとらえずに、動態的（動学的）にとらえることによってこの問題の解決を図ろうとする方法は、これまでの超混雑領域における社会的限界費用曲線の反転問題に全く新しい解釈を与えるものとなった。このアプローチは近年になって交通経済学の分野でも急速に発展したものの、実はかなり以前において既に指摘されていたものでもあった。その最も代表的なものが Vickrey (1969) である。

本論における展開において明かなように、混雑現象の分析において、利用者の出発時刻の選択とそれに伴う混雑現象の時間的な動きに関してはこれまで全く触れてこなかった。いつ混雑が起ころうと、またどれだけ渋滞長が形成されてそれが時間的にどれだけ継続しようと、それらは全て考察の外に置かれる。従来の理論では、ある道路利用者の個人的な（出発時刻の選択を除く）混雑への流入の意思決定と、その集合体としての、時間の概念のない混雑現象が問題とされた。つまり、混雑現象がどのような単位で計測されるのかについては問題にされても、その混雑が時間的にどのように変動するのかということは問題にされなかった。Vickrey (1969) はこの点に注目したという点で画期的なものである^{10,11)}。しかし、この Vickrey (1969) の指摘は経済学者の間ではあまり注目されず、むしろ交通工学の研究者がこの点に注目することになった（文 2005）¹²⁾。

工学的アプローチの典型的な事例が、Kuwahara (2001)、桑原 (2002, 2003) などの一連の研究である。それらによれば、従来の交通経済学における費用曲線においては、「動的な渋滞現象を適切に表現する供給曲線が描けていない（桑原 2002: p. 127）」とし、「これ（筆者注：

9) なお、これと類似した形状の曲線が Neuburger (1971) や Guria (1986) においても描かれている。

10) その他、ピーク時間の伸縮という考え方を導入して費用曲線の反転を論じたものとしては Vickery (1969) と同時期に Jansson (1969) がある。

11) この出発時刻に関する意思決定問題をモデルに組み込むことによって、Stainer (1957)、Williamson (1966) などの伝統的なピーク・ロード・プライシングの理論が Henderson (1981) や後述の ADL モデルの応用を経て、混雑料金の理論と融合するようになっていった（たとえば Mun (1999)）。現在の理論では、ピーク・ロード・プライシングが交通施設の最適規模の決定のみの理論であると限定されることは少ない。

12) 文 (2005) が引用する Arnott (1994) の Vickery (1969) の業績への指摘は興味深い。

自由走行のときの交通流率（フロー）は交通需要であるが、超混雑状態での交通流率はそれとは異なること）を無視して渋滞流側の交通流率も交通需要と見なして需要解析をしている例が、経済学者の間で過去に広がっていた（桑原 2003: p. 3）。¹³⁾ さらに、超混雑に対する経済学者の解釈を、「これは全く誤った解釈で、繰り返しになるが渋滞領域の流率は容量であってもはや渋滞ではない（桑原 2003: p. 3）」と批判する。そこでは動学的な分析が強調され、「時間軸を持たない静的な分析では需要の時間変化を記述することができないので、渋滞現象を適切に解析することはできない（（桑原 2003: p. 3)）」と結論づける。そして、交通経済学における（静的な）限界費用と異なることを強調するために、「動的な限界費用」という用語が用いられる。もっともこの批判は交通経済学の分野からも行われているところであり、たとえば Verhoef (2003) は、超混雑は動学的均衡モデルにおいて局所的かつ一過性のものとしてしか存在しないということを指摘しているし、Small and Chu (2003) も「超混雑は動学モデルにおいてのみ十分に分析されうる (p. 342)」と断言している。

桑原の分析は、もちろん Vickery (1969) の考え方や、ADL モデルと呼ばれる Arnott et al. (1990) を始めとする諸研究で多用される時間と累積交通量のグラフに言及しているものの、あくまで交通工学の観点から議論されているものであるから、経済学の文脈からは若干わかりにくいところもある。そこで、この超混雑状態を分析する動学的な手法についての基本的な考え方を Mun (1994)、文 (1993, 2001, 2005) をはじめとする諸研究に従って概観することしよう。

分析の基本は、交通工学において発展が著しかった交通の流れを圧縮流体として考える流体理論である。この理論を交通流に応用すると、交通流は時間と場所の経過に従って密度や速度が多様に変化し、その不均一性が衝撃波を生み、それが交通の流れの全体に波及する。そのため、この分析においては時間の流れをモデルに組み込むことは不可避となる。従来の交通経済学における混雑理論（ADL モデル以前）においては、ある 1 本の単調な道路が取り上げられ、当該区間における交通容量は一様であり、そこに容量以上の道路利用者が流入することによって F-C 曲線が反転、そしてその結果として社会的限界費用曲線が反転するかどうかという問題に発展していった。しかし、超混雑という F-C 曲線が反転するような状態は、当該区間で交通容量が変化することに伴って待ち行列が発生するという、いわゆる「ボトルネック混雑」が生じない限り発生しない¹⁴⁾。ボトルネックにおける混雑の発生が次第に交通流の上流に波及し、混雑費用がその交通流全体に発生することとなる¹⁵⁾。

もちろん、ボトルネック混雑がない場合、つまりフローが交通容量以下の場合でも、フロー

13) 桑原がいう「渋滞」は、本論における「超混雑」のことを指す。

14) 一方で、Newell (1988) は流体理論が容量以下の混雑においては当てはまらないという指摘もしている (p. 56)。

15) なお、桑原 (1999) はボトルネック混雑の理論の拡張の可能性について解説を行っている。

の増加によって各車両が互いに影響を与えて混雑を発生させるが、それはあくまで交通容量以下の場合（図 2-1b における A_cB_c 間）である。F-C 曲線の反転はボトルネックがあってこそ存在する。したがって、混雑には交通容量以下の比較的大きいフローのときに発生する混雑費用と、ボトルネック混雑が発生することによって超混雑が起き、それに伴って発生する混雑費用の 2 種類があることになる。これを文（2005）は、静学的外部効果と動学的外部効果と呼んでいる。すなわち、

$$\text{社会的限界費用} = \text{社会的平均費用} + \text{静学的外部効果} + \text{動学的外部効果}$$

ということになる。従来の伝統的混雑理論では、静学的外部効果までしか外部効果を特定し得なかったが、ボトルネック混雑において超混雑が発生している場合は、動学的外部効果まで把握し、この両者の合計を混雑料金として課することが社会的に最適である。この意味において、社会的限界費用曲線の反転問題を別とすれば、伝統的混雑理論は根本的・全面的に間違っていたということではなく、超混雑状態においては外部効果を正確に把握し得ていなかったといえるべきであろう¹⁶⁾。

以上のことから、文（2005）は、「従来の理論における需要曲線と費用曲線は、本来、同一平面上に描くことはできないのである（p. 50）」と指摘し、さらに、「動的な現象である渋滞（筆者注：超混雑）を伝統的な静的モデルに基づいて議論したこと、ボトルネックの存在を考慮せず、均一な道路空間において渋滞が生じると考えていたこと、そしてトリップ費用と局所的な交通量－速度関係（あるいは密度－速度関係）を混同したことが誤りの原因である。（p. 52）」と述べている。

7. 結 び

これまで超混雑（F-C 曲線の反転部分）における社会的限界費用曲線の形状に関するさまざまな議論を概観してきた。これらの議論や論争に言及してきた中で、いずれにも共通するのは、混雑をどのようにとらえるべきか、という点での議論であったということである。前にも述べたように、表現こそ多様であるが、基本的には当該道路区間における車両数（あるいは交通密度）とフローのどちらの立場に立つかによって多様な議論が展開されたといえる。また、費用曲線に関する議論に留まらず、理論の整合性の観点から、需要曲線に関する計測単位の問題、そして需要曲線の形状という議論も進み、特にわが国においてはこの部分における研究が見られることが特徴であった。

これらの議論について、従来から道路混雑に関して厚い研究基盤を持つ交通工学の分野から

16) ただし、文（2005）によれば情報の不完全性によって動学的外部効果を正確に把握することは困難であるとする。

疑義が提示された。混雑現象は静態的ではなく、動態的に分析が加えられるべきであり、特に超混雑という現象は、動態的に見ると、これまで展開された経済学上での議論では解決ができないことが示された。つまり、社会的限界費用曲線が反転するかもしれないかという問題は、その問題設定自体に問題があるということが示されたことになる。

長年経済学の分野で議論されてきたこの問題に対して一定の結論が見られた現在においては、これら一連の議論をどのように評価するべきであろうか。文（2001, 2005）は、Else vs. Nash 論争に端を発した議論を、「かえって議論を混乱させただけの不毛なもの」という評価を下している。しかし、これらの議論が無駄であったとするのはいささか酷であろう。むしろこうした紆余曲折を経なくては、経済学におけるこの議論は結論に到達し得なかったのではあるまいか。現在の社会科学は急速に学際化しつつある。Else vs. Nash 論争があった1980年代は、まだ経済学者は経済学の領域にのみ関心があり、また交通工学もそれほど経済学に関心を払わなかった時代であるといえる。しかし、その後の交通工学における研究は、経済学の領域における研究成果を積極的に取り込むようになり、その優れた研究成果とともに、経済学における理論の矛盾点にも光を当てるようになった。また、同時に経済学も交通工学における研究成果を無視することができなくなってきた。こうした両方の分野の接近は、この超混雑の理論に関する論争を契機に大きく伸展したものであると積極的にとらえるべきであろう¹⁷⁾。

もちろん、以上のことから交通混雑の分析に終止符が打たれたということにはならない。本論では、混雑現象が流体理論によって解釈された研究に言及している。しかしこれは、混雑は流体理論だけでしか解釈し得ないということを意味しない。今後も経済学と交通工学の両分野で、そして両者が協力することによって混雑現象の解明、そしてそれに基づく最適な混雑料金の導出に関する議論が発展していくことを期待したい。

参 考 文 献

- Arnott, R. (1994) "Introduction to Part IV," in Arnott, R., et al. eds., *Public Economics: Selected Papers by William Vickrey*, Cambridge University Press, pp. 271-275.
- Arnott, R. A., de Palma, A. and Lindsey, R. (1990) "Economics of Bottleneck," *Journal of Urban Economics* 27(1), pp. 111-130.
- Boardman, A. E. and Lave, L. B. (1977) "Highway Congestion and Congestion Tolls," *Journal of Urban Economics* 4, pp. 340-359.
- De Meza, D. and Gould, J. R. (1987) "Free Access versus Private Property in a Resource: Income Distributions Compared," *Journal of Political Economy* 95(6), pp. 1317-1325.
- d'Ouville, E. I. and McDonald, J. F. (1990) "Effects of Demand Uncertainty on Optimal Capacity and Congestion Tolls for Urban Highways," *Journal of Urban Economics* 28(1), pp. 63-70.

17) 本論においてたびたび引用した京都大学大学院経済学研究科の文世一教授は、もともとは交通工学の出身であり（工学博士）、その後、経済学に転じた研究者であるということは、ここでの議論にとって象徴的である。

- Else, P. K. (1981) "A Reformation of the Theory of Optimal Congestion Taxes," *Journal of Transport Economics and Policy* 15(3), pp. 217-232.
- Else, P. K. (1982) "A Reformation of the Theory of Optimal Congestion Taxes: A Rejoinder," *Journal of Transport Economics and Policy* 16(3), pp. 299-304.
- Else, P. K. (1986) "No Entry for Congestion Taxes?" *Transportation Research* 20A(2), pp. 99-107.
- Evans, A. W. (1992a) "Road Congestion: the Diagrammatic Analysis," *Journal of Political Economy* 100(1), pp. 211-227.
- Evans, A. W. (1992b) "Road Congestion Pricing: When is It a Good Policy?" *Journal of Transport Economics and Policy* 26, pp. 213-243.
- Evans, A. W. (1993) "Road Congestion Pricing: When is It a Good Policy? A Rejoinder" *Journal of Transport Economics and Policy* 27, pp. 99-105.
- Fare, R., Grosskopf, S. and Yoon, B. J. (1982) "A Theoretical and Empirical Analysis of the Highway Speed-Volume Relationship," *Journal of Urban Economics* 12, pp. 115-121.
- Guria, J. C. (1986) "Traffic Flow Control for Backward Bending Cost Curves," *International Journal of Transport Economics* 13(3), pp. 331-350.
- Harrison, W. J., et al. (1986) "Some Advance in Model Design Developed for the Practical Assessment of Road Pricing in Hong Kong," *Transportation Research* 20A(2), pp. 135-143.
- Henderson, J. V. (1981) "The Economics of Staggered Work Hours," *Journal of Urban Economics* 9, pp. 145-167.
- Hills, P. (1992) "Road Congestion Pricing: When is It a Good Policy? A Comment," *Journal of Transport Economics and Policy* 27, pp. 91-99.
- Jansson, J. O. (1969) "Optimal Congestion Tolls for Car Commuters: A Note on Current Theory," *Econometrica* 32, pp. 137-150.
- Johnson, M. B. (1964) "On the Economics of Road Congestion," *Econometrica* 32, pp. 137-150.
- Kawashima, T. (1988) "Optimal Congestion Tax of Expressway: A. A. Walters Re-Examined, P. K. Else Re-Appraised, and Demand-Surface Paradigm Re-Considered," *Gakushuin Economic Papers* 25, pp. 47-74.
- Kawashima, T. (1990) "Optimum Level of Traffic Congestion Taxes: An Outgrowth of Else's Approach," in Chatterji, M. and Kuenne, R. E. eds., *New Frontiers in Regional Science*, Macmillan, Chap. 19.
- 桑原雅夫 (1999) 『通勤交通における出発時刻選択に関する研究解説』日本交通政策研究会 (日交研シリーズ A256)。
- Kuwahara, M. (2001) "A Theoretical Analysis on Dynamic Marginal Cost Pricing," *Proceedings of the Sixth Conference of Hong Kong Society for Transportation Science*, pp. 28-39.
- 桑原雅夫 (2002) 「動的な限界費用に関する理論的分析」『土木学会論文集』第 709 号, 127-138 頁。
- 桑原雅夫 (2003) 「渋滞現象と需要分析」『土木計画学研究』第 28 巻, 1-10 頁。
- 松澤俊雄 (1992) 「道路混雑と混雑税の再考察」『高速道路と自動車』第 35 巻, 第 8 号, 19-28 頁。
- Ministry of Transport (1964), *Road Pricing: The Economic and Technical Possibilities*, HMSO.
- Morrison, S. A. (1986) "A Survey of Road Pricing," *Transportation Research* 20A(2), pp. 87-97.
- 文 世一 (1993) 「超混雑の経済学的分析に関する一考察」『高速道路と自動車』第 36 巻, 第 9 号, 16-22 頁。
- Mun, Se-il (1994) "Traffic Jam and the Congestion Toll," *Transportation Research* 28B(3), pp. 365-375.
- Mun, Se-il (1999) "Peak-Load Pricing of a Bottleneck with Traffic Jam," *Journal of Urban Economics* 46, pp. 323-349.
- 文 世一 (2001) 「交通渋滞の動的分析」山田浩之編『交通混雑の経済分析』勁草書房, 第 10 章。
- 文 世一 (2005) 『交通混雑の理論と政策: 時間・都市空間・ネットワーク』東洋経済新報社。
- Nash, C. A. (1982) "A Reformation of the Theory of Optimal Congestion Taxes: A Comment," *Journal of*

- Transport Economics and Policy* 16(3), pp. 295–299.
- Neuburger, H. (1971) “The Economics of Heavily Congested Roads,” *Transportation Research* 5(4), pp. 283–293.
- Newbery, D. M. (1988) “Road User Charges in Britain,” *The Economic Journal* 98 (Conference), pp. 161–176.
- Newell, G. F. (1988) “Traffic Flow for the Morning Commute,” *Transportation Science* 22, pp. 47–58.
- Small, K. A. and Chu, X. (2003) “Hypercongestion,” *Journal of Transport Economics and Policy* 37(3), pp. 319–352.
- Stainer, P. O. (1957) “Peak Loads and Efficient Pricing,” *Quarterly Journal of Economics*, 71, pp. 585–610.
- 竹内健蔵 (1991) 「道路混雑における社会的限界費用曲線の反転問題について」『一橋論叢』第106巻, 第5号, 111–129頁。
- 竹内健蔵 (1999) 「最適な混雑料金水準設定に関する政策上の問題点：道路混雑における社会的限界費用曲線の反転問題の概観とその意味」『高速道路と自動車』第42巻, 第3号, 18–25頁。
- Thomson, J. M. (1998) “Reflections on the Economics of Traffic Congestion,” *Journal of Transport Economics and Policy* 32(1), pp. 93–112.
- Verhoef, E. T. (1999) “Time, Speeds, Flows and Densities in Static Models of Road Traffic Congestion and Congestion Pricing,” *Regional Science and Urban Economics* 29(3), pp. 341–369.
- Verhoef, E. T. (2001) “An Integrated Dynamic Model of Road Traffic Congestion Based on Simple Car-Following Theory: Exploring Hypercongestion,” *Journal of Urban Economics* 19(3), pp. 505–542.
- Verhoef, E. T. (2003) “Inside the Queue: Hypercongestion and Road Pricing in a Continuous Time-Continuous Place Model of Traffic Congestion,” *Journal of Urban Economics* 54(3), pp. 531–565.
- Vickrey, W. S. (1969) “Congestion Theory and Transport Investment,” *American Economic Review (Paper and Proceedings)* 59(2), pp. 251–260.
- Walters, A. A. (1961) “The Theory and Measurement of Private and Social Cost of Highway Congestion,” *Econometrica* 29(4), pp. 676–697.
- Williamson, O. E. (1966) “Peak-Load Pricing and Optimal Capacity under Indivisibility Constraints,” *American Economic Review* 56, pp. 810–827.
- Yang, H. and Huang, H. J. (1998) “Principle of Marginal-Cost Pricing: How does It Work in a General Road Network?” *Transportation Research* 32A(1), pp. 45–54.