

戦略的相補性と交通市場*

STRATEGIC COMPLEMENTARITY AND TRANSPORTATION MARKET*

松島格也**

by Kakuya MATSUSHIMA**

1. はじめに

交通の問題は従来土木計画学に携わる研究者の主要なトピックであり、現在においてもそうであるといつて過言ではないだろう。四段階推計法による需要予測¹⁾に始まり非集計モデルの発達に伴う機関分担モデルにいたるまで、数多くの交通に関する研究が行われている。これら一連の研究が実務における交通計画に及ぼしてきた影響はもちろんはかりしれないが、その大多数は現象記述的な研究である。

現象記述的なモデルと対になっていると考えられるのが理論モデルである。その果たすべき役割は現象記述型のそれと異なり、現象全体を表現するのではなくその本質のみをとらえて背景にあるメカニズムを分析することにある。交通問題に対するアプローチとしてはこれまではあまり採用されていないが、近年では便益評価などの分野を中心にこの規範モデルによる分析が行われてきている。交通問題における本質を理解し、それを解決する抜本的な対策をとるためには、これまでほとんど研究されていなかった交通市場の市場構造を分析する必要がある。

交通市場においてサービスが実現するためには複数の主体がマッチングされる必要がある。本論文のタイトルにもなっている戦略的相補性の考え方は、マッチングの派生需要として生じる交通を考えたとき、重要な役割を果たしうる。複数主体間によるマッチングの場においては、各主体による戦略的行動に伴って外部経済が生じる可能性がある。市場構造に外部経済が働く場合、複数の均衡解が生じることが知られている。外部経済の存在によって生じる市場の失敗に対処するためには、外部経済を内部化する、市場構造を政策的に変化させるなどの手段があるが、どれが最適であるかはその場面や外部性の種類によるであろう。

本論文では、マッチングの派生需要としての交通行動に着目し、マッチング行動に顕著に表れる外部経済性、特に戦略的相補性という概念に着目して公共交通市場の構造を分析することの意義を述べる。さらに外部性が存在

するもとでとるべき政策論について論じる。以下、2.では交通が生じる要因となるマッチングに関して説明し、双方合意の必要性がもたらす外部性について述べる。3.では交通市場において生じる外部性を整理する。4.では外部性が要因となって生じる戦略的相補性の概念について説明する。5.、6.では戦略的相補性が働く交通市場の例としてタクシー市場、バス市場をそれぞれとりあげ、そのメカニズムと戦略的相補性が及ぼす影響について述べる。7.では3.、4.で述べた外部性により生じうる市場の失敗を解決する方法について考察する。8.では本論文の知見をとりまとめる。

2. ミーティングの派生需要としての交通

ドライブやサイクリングなどを別として、移動自体を目的とした交通行動はほとんどない。何らかの行動の派生需要として交通をとらえるべきである。特に、人々は移動を行う際に何らかの形で他の人々とミーティングを行っている²⁾。ミーティングを行う際には参加する全ての主体が当該ミーティングの開催に合意することが必要となる³⁾。すなわち一方の主体のみがミーティングの開催に合意したとしても当該のミーティングが必ずしも開催される保証はない。ミーティングが開催されない場合そのミーティングに付随する交通も行われぬ。これは交通が行われるかどうかの意思決定に関して他人の意思が関与することを示している。

現実の交通問題を見てみると、このようなミーティング現象は非常に多くの場面に当てはまるのが分かる。日常の通勤行動を考えよう。ほぼ全ての通勤者は毎日同じ時刻に出勤している。これは全ての人が一斉に始業することで規模の経済性が働き、業務が効率化されるからである。すなわち全ての通勤者を時間的に集めることにより獲得できる外部効果を期待したものである。この外部効果は同一企業内のみには働くものではない。他の企業との打合せや営業取引などを考えると、他の企業と始業時刻を合わせるが必要となる。このように時間軸に関するマッチングも交通行動を考える際の重要な側面である。その一方で過度の集中は混雑をもたらす。フレックスタイ

*キーワード：戦略的相補性，マッチング，外部経済

**正員 工修 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 kakuya@psa2.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

ム制や時差出勤制の導入検討は、このような時間に関するマッチングの集中化と分散化といった観点から分析を行う必要がある^{5)–7)}。

交通におけるマッチングは時間に関するものだけではない。多くの人数が参加する会議場所の調整など、空間的なマッチングが求められる場面も多い。そのほか1対1のマッチングに目を向けてみても、通勤交通におけるキスアンドライド型のトリップや、過疎地域における公共交通の維持方策としての相乗りシステムなどが該当しよう。

他人の意思が自らの交通行動の生起に関与する場合、実現する交通はパレートの意味で最適な状態になっていない可能性が高い。自らが行いたいと思うトリップの水準よりも、実現するトリップの水準は低くなっているだろう。個人として、また社会的に望ましい水準のミーティングを実現するためには、交通政策や新しい技術開発などによるミーティング水準の成果のための努力が必要となる。自らの交通行動の決定にミーティング相手などの他人の意思が関与するとき、その影響は外部性として市場に表れる。交通市場における外部性の問題は、ともすれば混雑現象と自動車交通がもたらす社会的費用に関する議論に終始していた感が否めない。交通市場において生じうる外部性に関しては次章で詳しく述べるが、交通問題を大局的にとらえたとき、これらの外部性を以下に補正するかについてより活発な議論が必要となろう。

3. 交通市場における外部性

前章でも述べたように、ミーティングの派生としてとらえた場合の交通には様々な外部性が生じうる。通常外部性とは「市場機構に包摂される経済活動が、市場機構の枠組をはみ出す効果を他の経済主体に対して付随的に及ぼしてしまう現象」⁴⁾を指すと定義されている。他の経済主体の行動が当該経済主体の技術条件や嗜好を変えることによって外部性を生み出す場合を技術的外部性 (technical externalities)、当該経済主体の関係する財・サービスの価格を変えることによって外部性を産み出す場合を金銭的外部性 (pecuniary externalities) と呼ばれる。すなわち前者はある経済主体の行動が市場を通じないで他の経済主体に影響を与える場合の外部性、後者はある経済主体の行動が市場を通じて波及する場合の外部性を指す。金銭的外部性は通常市場を通じて他の主体へ影響を及ぼすものであるため、市場の失敗を導くものではない。その一方で技術的外部性は市場を通じないで他の主体に波及するため、市場をゆがめる原因となりえる。

交通市場においても様々な技術的外部性、及び金銭的外部性が存在する。表 - 1 は交通市場、特にマッチング行動に関して生じうる外部性を整理したものである。以

表 - 1 技術的外部性と金銭的外部性

外部性	技術的 or 金銭的
混雑	技術的
固定費用	技術的
手段補完性	技術的
市場厚の外部性	技術的
待ち時間	金銭的
調整の失敗	技術的

下では、同表に挙げた外部性について一つずつ説明を加えよう。

(1) 混雑

通常交通の分野において考慮されている外部性は混雑のみである。近年の環境問題への高まりを背景に、CO₂排出量などの環境に関する外部性を考慮した研究^{8)–10)}などが見受けられるものの、大半の外部性の内部化に関する研究は混雑現象に着目したものであるといえよう。交通問題において道路混雑とその解消法に関する研究は確かに重要であり、それらの果たしてきた役割は大きい。

Mohring and Harwitz¹¹⁾は費用関数のゼロ次同時性などの一定の条件が満たされた場合、混雑料金の徴収により最適道路整備が実現されることを示している。具体的な徴収方法など技術的な問題はいくつか残されているものの、混雑は適切な課税を行うことにより解消される。

道路混雑は道路の利用技術に起因して生じる技術的外部性である。道路利用者が増加すれば、走行時間が増加するという外部不経済が発生するが、規模の経済性は存在しない。道路利用者が増加すれば、バスの運行速度だけでなく、自動車の走行速度も低下する。このため道路混雑は、ポジティブフィードバックの原因にはならないが、市場均衡の効率性に影響を及ぼす。

一方マッチング行動に付随する個人間の意思決定の相互作用に起因する外部性としての混雑も存在する。マッチング市場に多数の個人が参加してマッチングを行う頻度が高くなると当該市場にマッチング相手となる候補が少なくなると言う混雑が生じ、結果としてマッチング相手を探索するための情報費用が高くなる。交通が発生する根本的な要因としてのコミュニケーションに着目したとき、この外部性はその本質的なものである。

(2) 固定費用

交通企業の経営には固定費用が存在する。交通サービスの可変費用が一定であれば、サービスの利用者の増加により利用者1人当たりが負担する固定費用は減少する。固定費用はバス企業の経営技術に関わる技術的外部性であるが、経営の合理化を通じて固定費用の削減が可能で

あり、固定費用による規模の経済性はそれほど大きくない。また、固定費用に対して補助金を支出すれば、固定費用の存在による規模の経済性は解消する。

(3) 手段補完性

通常家計がトリップを行う際、往路と復路で同一の交通手段を選択する。たとえば出勤の際に自家用車を運転した場合には帰宅時にもその自動車を運転して帰る必要がある。また複数の経路を利用できる一部の都心居住者等をのぞいて、公共交通を用いて通勤を行っている家計の多くは往復のトリップを同じ経路で行っている。こういった往路・復路における交通手段を同時選択することにより、バスなどの公共交通市場には往路、復路トリップにおける交通手段の選択が、いま一方のトリップにおける手段選択に影響を及ぼすという技術的外部性が存在する。すなわち、往路、あるいは復路におけるバスの利用可能性が増加すると、もう一方のトリップにおけるバスの利用可能性も増加するという戦略的相補性^{3), 12) - 14)}が存在する。このような手段選択における戦略的相補性により生じる規模の経済性を手段補完性と呼ぶ。

(4) 市場厚の外部性

市場に参加する主体が増えると探索費用が節減できることから生じる外部性である。マッチング市場を考えた場合、市場参加者がより頻繁にミーティング相手を探索するようになると、ミーティング相手と出会う確率も高くなる。そのような状況において他の参加者のとるべき戦略は、自らも探索強度を高めてミーティング相手を探索することである。このような現象はタクシー乗り場のスポット市場¹⁵⁾など、マッチング行動を含む多くの交通現象に表れるものである。本節で述べた市場厚の外部性は、後に述べる戦略的相補性の考え方と密接に関係している。

その一方で、市場参加者が減少することを通じて外部的不利益を被る場合、市場薄の外部性が生じることになる。たとえばコミュニケーションに着目した場合、ミーティング相手を選別することから市場薄の外部性が生じうる²⁾。これはコミュニケーションが活発になりより頻繁にミーティング相手を探さようになったとき、より大きな効用を獲得するためにはより大きな効用をもたらす相手を探さなければならないことから生じる外部性である。

(5) 待ち時間

公共交通市場では、時間軸上の限られた時点でサービスが提供されるため、サービスの利用者に待ち時間という取引費用が発生する。サービス利用者が増加し運行本数が増加すればサービスの取引費用（待ち時間）が減少

		Player B	
		1	2
Player A	1	1,1	1,0
	2	0,1	2,2

図 - 1 調整ゲーム

し、サービスの市場取引が効率化される。取引費用の減少という外部経済性は、当該サービスの利用客の増加とサービス提供企業のダイヤ設定行動の相互作用を通じてサービス市場に生じる金銭的外部経済性である。企業は利潤最大化行動を通じて金銭的外部経済性を内部化することが可能である。サービスの容量に余裕が存在する状況においてはサービス利用者の増加が直ちに待ち時間の減少をもたらすという規模の経済性は存在しない。

(6) 調整の失敗

自らが望むマッチングの相手と必ずしもマッチングされないことから生じる外部性を指す。図 - 1 に示すような単純な調整ゲームを考えよう。よく知られているように純粋戦略のみを考慮した場合このゲームには(1,1)と(2,2)の2つのナッシュ均衡解が存在する。また明らかに(2,2)の方がどちらの主体にとっても望ましく、パレート効率的な均衡解である。しかしいずれの均衡解に達するかはそれぞれの主体の予想や歴史的経緯に依存する。結果生じた均衡解がパレート劣位な均衡解（このゲームのケースでは(1,1)）であった場合、調整の失敗が生じているという。

ミーティングを通じたコミュニケーションを考えてみよう。異質な個人間でのランダムマッチングを想定したゲームにおいては、通常複数の均衡解が生じうる。マッチングが全く行われない均衡解、ある特定のタイプの主体のみがマッチング相手の探索行動を行う場合、全てのタイプの主体がマッチング相手の探索行動を行う場合等、様々な種類の均衡解が存在するが、ミーティングの形成が多いほどパレート効率的な均衡解である。また、マッチングを行いたくないと考えているタイプの主体に対してマッチングの申し込みを行ってしまう主体が存在するという、非効率な状況が生じる。調整の失敗による外部性を解決する一つの方法は個人に関する情報を提供することである。情報提供が行われればミーティングを行いたくないと考える相手とマッチングされるという、調整の失敗に伴う非効率性は解消される。しかし社会全体でパレート劣位の均衡に陥るというマクロなレベルでの非効率性を解決するにはいたらないことが示されている¹⁶⁾。

4. 戦略的相補性

前章では交通市場において生じうる外部性を整理したが、そこでの一つの重要なキーワードは戦略的相補性(戦略的補完性)の考え方である。戦略的相補性の概念は経済学のいくつかの分野で用いられている。たとえば、比較制度分析^{17)–23)}の分野においては、「一つの制度が安定的な仕組みとして存在するのは、社会の中である行動パターンが普遍的になればなるほど、その行動パターンを選ぶことが戦略的に優位となり、自己拘束的な制約として定着するからである」¹⁸⁾といった形で制度の戦略的相補性を取り上げている。また協調ゲームを用いたマクロ経済分析¹²⁾においては、他の主体の戦略の変化(特により高い利得をもたらす戦略への変更)が自らが同様の戦略をとりうるドライビングフォースとなるようなポジティブフィードバックの特徴を戦略的相補性とよび、様々なマクロ経済における現象を説明している。

近年では、たとえば Oomes²³⁾は労働市場におけるマッチングの問題を、雇用における戦略的相補性を考慮したモデルを用いて分析している。戦略的相補性の関係を持つゲームについてはまず Topkis^{25), 24)}による supermodular game という概念が提案された。複数の経済主体が存在する際に一方の主体の戦略的な行動が他方の主体が獲得する利得に影響を及ぼす場合、戦略的な外部性が生じるといふ。一方の戦略的行動が他方の限界利潤を増加させる場合を戦略的相補的な関係、減少させる場合戦略的代替的な関係にあるという。この戦略的相補性という概念は、マクロ経済学における調整の失敗の問題や寡占市場における問題など、多様な分野において表れる¹⁹⁾。

通常経済学において補完的な関係としては、ある財の消費が増加すればそれに伴って他の財の消費も増加する(たとえばコーヒーと砂糖の関係など)といった消費における補完性などが挙げられる。この補完的な関係は一方の主体の行動の変更が他の主体の絶対値(この場合は消費量)に影響を及ぼすことになる。それに対して戦略的補完性の概念は、一方の主体の行動の変化が他の主体の限界的な値の変化に影響を及ぼす場合を指す。以下に、具体的な定義を見てみよう。

(1) 定義

本節では Bulow *et al.*²⁷⁾にしたがって戦略的相補性を定義しよう。二つの生産企業 A, B を考える。企業 A は財 1 と財 2 の二財を、企業 B は財 2 のみを生産しており、したがって市場 1 では企業 A が独占企業として振る舞い、市場 2 は寡占市場として機能している。両企業は各市場における生産量 S_1^A, S_2^A, S_2^B を全て同時に決定する。両企業が獲得する利潤をそれぞれ、 $\pi^A(S_1^A, S_2^A, S_2^B, Z)$ 、 $\pi^B(S_2^A, S_2^B)$ と表そう。ここに Z は市場 1 における収益性を表す変数であり、外政的に決定される。このとき、もし $\frac{\partial^2 \pi^B}{\partial S_2^B \partial S_2^A}$ が負の

符号をもつなら企業 B はその生産を企業 A に対して「戦略的代替」であるとみなし、逆に $\frac{\partial^2 \pi^B}{\partial S_2^B \partial S_2^A} > 0$ が成立するならば企業 B はその生産を「戦略的相補」であるとみなす。したがって戦略的代替の関係にある場合には、企業 A が生産量を増加させたときの企業 B の最適反応は生産量を減らすことであり、一方戦略手相補の関係にある場合には生産量を増加させることが最適反応になる。

(2) Cooper-Jones モデル

前節のように定義された戦略的相補性の考え方を元に、Cooper and John²⁶⁾は調整ゲームを用いて様々なマクロ経済学における現象を説明している。以下では具体的に Cooper and John によるモデルを通じて、戦略的相補性の考え方がどのような場面で表れるのかについて考察する。

主体 $i (i = 1, \dots, I)$ が戦略 $e_i \in [0, 1]$ を選択する状況を仮定しよう。この戦略 e_i は主体 i の活動レベルを表しており、マッチングモデルにおける探索強度、市場均衡モデルにおける生産量などに該当する。全ての I 人の主体はそれぞれ非協力的に努力水準を選択する。他の全ての主体が戦略 e_{-i} を採用し、自らが戦略 e_i を採用したとき主体 i が獲得する利得を $\sigma(e_i, e_{-i}, \theta)$ と定義しよう。ここに θ は利得に関するパラメータである。利得は自らの努力水準に関して強凸であるとする。すなわち $\sigma_{11} < 0$ である。以降、下付き文字 $j (j = 1, 2, 3)$ はそれぞれ e_i, e_{-i}, θ に関する偏微分を表している。以降では対称的なナッシュ均衡を考え、利得を $\sigma(e_i, e, \theta)$ と表現しよう。このゲームのナッシュ均衡解は以下のように定義される。

$$\xi(\theta) = \{e \in [0, 1] | \sigma_1(e, e, \theta) = 0\} \quad (1)$$

このゲームにおいても $\sigma_{12} > 0$ が成立するならば戦略的相補の関係にあるといい、一方 $\sigma_{12} < 0$ が成立するならば戦略的代替の関係にあるとよばれる。ゲームが戦略的相補の関係にあるとき、他の全ての主体が戦略 e_{-i} を増加させた場合の最適反応は自らも e_i を増加させることになる。この戦略的相補の関係が複数ナッシュ均衡解が存在するための必要条件である。また存在する複数の均衡解はそれぞれ、パレートの意味でランク付けすることが出来る。すなわち、 I 人の全ての主体が努力水準 e を増加させた場合の均衡解の方が、全ての主体がより低いレベルの努力水準を採用した場合の均衡解よりもパレートの意味で上回っていることになる。このようなゲームを考えると、3.(6)で述べたような調整の失敗が生じることが分かる。歴史的依存性により、パレート劣位な均衡解にロックインされてしまう可能性が否定できない。

さらに、パラメータ θ が均衡解に及ぼす影響も分析することが出来る。もしある特定の主体 i の環境に何らかの変化が起こった (θ_i が変化した) 場合、たとえその変化が主体 i のみに対して起こったとしても他の全ての主体の活動

水準を変化させる。すなわち戦略的相補性の特徴をもつモデルについては、たとえ状況の変化がごく一部の主体にのみ起こったとしてもそれが全ての主体の活動水準を変化させる可能性があることを示唆している。具体的な政策への適用に関しては既往の文献²⁶⁾に譲るが、このような特徴を持つ戦略的相補性を伴ったモデルは、生産関数やマッチング技術、不完全競争市場や複数部門における需要関数など、様々な分野に関する分析を行うことが可能である。

以上説明したような戦略的相補性の考え方は、本論文で対象としたい交通問題にどのような形で現れるのだろうか。以降、5.、6.では、松島等のタクシー市場及びバス市場を対象としたモデル^{15),31)}を採り上げて、交通市場における戦略的相補性を説明しよう。

5. taxiモデル

都市内にあるタクシー乗り場を考えよう。乗客とタクシーが共にその乗り場（市場）を訪れてマッチングされることでサービスの取引が成立する。タクシーサービスが提供されるスポット市場においては、乗客とタクシーは共に現在の市場の状況や相手の到着分布などが分からないため、双方がお互いの相手が市場に到着する頻度を想定して行動をとる。すなわちお互いの需給関係に関して不完全な憶測 (imperfect guess) に基づいて行動しなければならない。実際にタクシーサービスが提供されるには、タクシーと乗客の双方がある市場を訪問しなければならない。乗り場に到達するためには、乗客とタクシーの双方が移動費用を負担する必要がある。このような不完全な憶測に基づく行動と取引費用としての移動コストを負担しなければならないという要因により、タクシーサービスを取引する市場においては金銭的な外部性が生じる^{2),13),14)}。

多くのタクシーがある乗り場を訪れるようになり、当該乗り場にたくさんのタクシーが常時いるようになると、当該乗り場を訪れた乗客はあまり待ち時間をかけることなくタクシーサービスを利用することが出来る。同様に乗客がある乗り場を頻繁に訪れれば、そこを訪れるタクシーは少ない待ち時間で乗客を乗せサービスを提供することが出来る。このような減少はタクシーと乗客のそれぞれが乗り場の状況について予想することから始まる。タクシーと乗客がそれぞれ相手の到着率の増加を予想して行動すれば、その予想は現実のものとなり実際の到着率を増加させる。このプロセスには述べた市場厚の外部性が働いている。一方お互いが低い到着率を想定した場合には実際の到着率も減少する。すなわち市場の状態が完全には分からない状況で各主体が行う予想は自己実現的

(self-fulfilling)³⁰⁾になる。このように情報の不完全性と取引費用を要するマッチング市場では、市場厚の外部性によりポジティブなフィードバックが働く。通常このような外部性が働く市場においては、パレートの意味で順位付けをすることが可能な複数の均衡解が生じる可能性が存在する。

具体的な定式化を考えよう。乗客はある限られたスポット市場でタクシーに乗車すると考える。当該のスポット市場においてのみタクシー・サービスが利用可能であり、スポット市場に到着した乗客にはタクシー以外に利用可能な交通手段は存在しない。乗客・タクシーがそれぞれ単位時間当たり平均到着率 λ, μ でポワソン到着すると考える。伝統的な2重待ち行列モデルに従って、客とタクシーのいずれかのみ待ち行列が発生すると考える。若干の計算により、タクシーと乗客が待ち行列を作る定常確率 P_n, Q_m は

$$P_n = \rho^{M+n} Q_M \quad (n = 1, \dots, \infty) \quad (2a)$$

$$Q_m = \rho^{M-m} Q_M \quad (m = 0, \dots, M) \quad (2b)$$

と表される。ここに $\rho = \lambda/\mu$ 、 M はタクシーの最大待ち行列長である。したがって、乗客・タクシーの平均待ち行列長は、それぞれ

$$E(n : \lambda, \mu, M) = \frac{\rho^{M+1}}{1 - \rho} \quad (3a)$$

$$E(m : \lambda, \mu, M) = M - \frac{\rho}{1 - \rho} (1 - \rho^M) \quad (3b)$$

と表せる。一方到着率 (λ, μ) の下での乗客及びタクシーの平均待ち時間 $T(\lambda, \mu, M), S(\lambda, \mu, M)$ は、

$$T(\lambda, \mu, M) = E(n : \lambda, \mu, M) / \lambda \quad (4a)$$

$$S(\lambda, \mu, M) = E(m : \lambda, \mu, M) / \mu \quad (4b)$$

と表せる。

以上の関係を用いてタクシーサービス市場における市場厚の外部性に伴う規模の経済性を説明することができる。式(3a),(3b)より平均待ち行列長 $E(n : \lambda, \mu, M), E(m : \lambda, \mu, M)$ は平均到着率 λ, μ に関してゼロ次同次関数であり、任意の $\mu > \lambda \geq 0$ と $\theta > 0$ に関して

$$E(n : \lambda, \mu, M) = E(n : \theta\lambda, \theta\mu, M) \quad (5a)$$

$$E(m : \lambda, \mu, M) = E(m : \theta\lambda, \theta\mu, M) \quad (5b)$$

が成立する。乗客とタクシーの平均到着率が共に θ 倍になっても待ち行列長は変化しない。一方、式(4a), (4b)より明らかなように、任意の $\mu > \lambda \geq 0$ と $\theta > 1$ に関して

$$T(\theta\lambda, \theta\mu, M) = \frac{1}{\theta} T(\lambda, \mu, M) \quad (6a)$$

$$S(\theta\lambda, \theta\mu, M) = \frac{1}{\theta} S(\lambda, \mu, M) \quad (6b)$$

が成立する。すなわち、乗客、タクシーの平均到着率が増加すれば、全体における客・タクシーの平均待ち時間は減

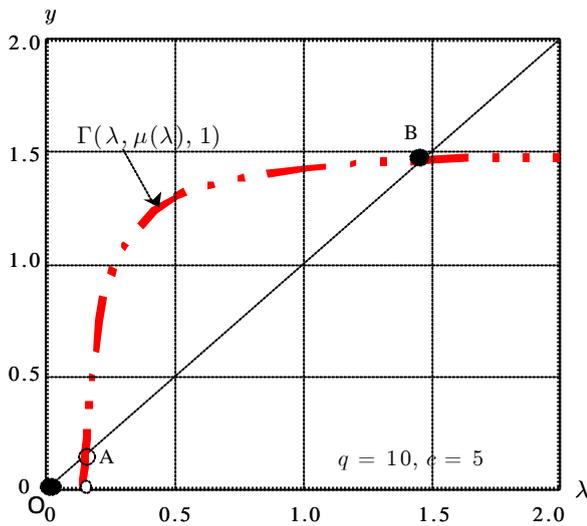


図 - 2 タクシー市場の複数均衡解

少する。市場に参入する乗客・タクシーの数が多くなればなるほど、市場が効率化していくという市場厚の外部性が存在する。

式(6a)(6b)を見れば明らかなように、乗客とタクシーの双方の到着率が増加すればそれぞれの期待待ち時間は減少する。そのようなタクシー乗り場にはより多くの客とタクシーが集まるようになる。このように、タクシーサービスのスポット市場における市場取引では、乗客あるいはタクシーの到着率の増加が市場取引を通じて互いに他方の到着率の増加をもたらすという金銭的外部経済が存在している。このような金銭的外部経済性が一方の到着率の増加(減少)が他方の到着率の増加(減少)をもたらすというポジティブ・フィードバックとして機能することになる。スポット市場の構造は、このような金銭的外部経済と混雑という外部不経済の相互作用によって内生的に決定されることとなる。

図 - 2 は以上の関係式を用いて数値計算を行った一例である。横軸には乗客の到着率、縦軸は均衡解を定義する式より求められる関数 $\Gamma(\lambda, \mu(\lambda), M)$ を表しており、関数 $\Gamma(\lambda, \mu(\lambda), M)$ と45度線との交点が均衡解を示している。均衡解として原点 O 以外に点 A 、点 B の2つが存在している。このうち点 A は不安定均衡解であり、点 B のみが安定均衡解となる。いま、初期時点における客の到着率が何らかの理由により点 A における客の到着率より大きかった場合を想定しよう。この場合、 λ の値が大きくなれば、タクシーの期待利潤が増加し均衡が成立するまでタクシーの到着が増加する。タクシーの到着率が増加すれば客の到着率も増加する。このような市場厚の外部経済性が働くため、最終的に点 B において市場均衡が成立する。一方、初期時点において到着率が均衡 A の到着率以下の場合を考えよう。この場合、初期時点より λ が減少する。客の到着が減少すればタクシーの到着率も減少し、最

終的には $(\lambda, \mu) = (0, 0)$ が成立する。このような市場厚の外部不経済性が存在する場合、スポット市場は成立しなくなる。

初期時点において乗客の到着率がある臨界的水準以下にとどまっている場合には、 $(\lambda, \mu) = (0, 0)$ というタクシーも客も到着しない均衡解に収束しスポット市場は消滅する。しかし、到着率がある臨界的水準を超えた場合には、市場厚の外部経済性が機能しスポット市場均衡解に到達する。したがって、スポット市場としてのタクシー・ターミナルを整備する場合、初期時点においてある一定レベルの客の到着率を確保するする施策を講じることが必要となる。

6. バス市場モデル

次にバス市場を考えよう。バス市場には往路、復路トリップにおける交通手段の選択が、いま一方のトリップにおける手段選択に影響を及ぼすという技術的外部性が存在する。すなわち、往路、あるいは復路におけるバスの利用可能性が増加すると、もう一方のトリップにおけるバスの利用可能性も増加するという戦略的相補性^{15) - 14)}が存在する。このような手段選択における戦略的相補性により生じる規模の経済性を手段補完性と呼ぶ。

手段補完性がもたらす規模の経済性を説明するために、目的地まで同一区間を往復する家計を考えよう。簡単のために、交通手段としてバス、自家用車のみが利用可能であるとする。往路にバスを利用すれば、復路でもバスを利用せざるを得ない。自家用車に関しても同様である。往路でバス利用を考えている家計でも、復路にバス利用が不可能であればバス利用を往復とも諦める。家計は往路と復路の双方における交通手段の利用可能性を考慮に入れて、トリップチェーン全体の交通手段を選択する。このように家計の交通行動には、往路と復路のいずれかのトリップにおける手段選択に関する制約が、いま一方のトリップの手段選択に制約条件として機能するという技術外部性(以下、手段的技術外部性と呼ぶ)が存在する。また、家計がバスを利用する場合、バスの到着を待つための待ち時間という取引費用が発生する。この場合、家計はトリップチェーンにおける総待ち時間だけに着目して、トリップチェーンにおける手段選択を行うわけではない。往路と復路の内、いずれか一方の待ち時間が長くなれば、いま一方の待ち時間の長短に関わらず、バス利用を諦める。待ち時間に対する不効用はそれぞれのトリップにおける待ち時間に対して定義される。このように往路と復路の待ち時間は、相互に完全代替的ではなく不完全に代替可能である。このような待ち時間(取引費用)に対する不効用の性質を、不完全代替性と呼ぶ。

家計の交通行動には、上述のように手段的技術外部性と不完全代替性が存在する。そのため、往路と復路の内いずれか一方のトリップにおいてバスの待ち時間が長くなれば、そのトリップにおけるバス利用がとりやめられだけでなく、いま一方のトリップにおけるバス利用もとりやめられる。往路と復路のバス利用確率をそれぞれ P とおこう。バス利用確率が互いに独立であれば、往路・復路を通じたバスの利用確率は P^2 と表される。このようにバス利用トリップには、一方のトリップにおけるバス選択確率の増加（減少）が、いま一方のトリップにおける選択確率の増加（減少）をもたらすという戦略的相補性²⁶⁾が存在する。自家用車には取引費用が存在しないため戦略的相補性は存在しない。本研究では、前述したように家計のバス選択行動に機能する戦略的相補性を手段補完性と呼ぶ。個人のバス選択行動に手段補完性が存在する場合、バス企業によるバス運行本数の増加（減少）は、往路・復路における利用者数を同時に増加させ、バス企業の採算性を通じて運行本数の増加（減少）に繋がるというポジティブフィードバック^{13),14)}が発生する。

具体的なモデル化を考える。いま、家計の目的地までの往復トリップを考えよう。トリップの手段としてバスと自動車の双方が利用可能であると仮定する。家計が利用可能な往路と復路の交通手段は互いに手段補完的であり、家計が往路と復路に異なる交通手段を利用する場合、交通費用が禁止的に高くなると考えよう。したがって、家計は往路、復路共に同じ交通手段を用いる。各家計にはそれぞれ自らが希望する往路と復路の希望出発時刻が存在する。家計がバスを利用する場合、希望出発時刻後の最初の出発時刻を持つバスを選択する。希望出発時刻とバスの出発時刻との間に差異が存在する場合、待ち時間による不効用が発生する。一方、自動車を利用する場合には待ち時間は発生しない。家計は、往復トリップにバスを利用した場合と自動車を利用した場合の効用を比較して、効用の大きい交通手段を選択する。バス企業は独占企業であり、利潤を最大にするように運賃とバスダイヤを決定する。運賃は時刻を通じて均一料金に設定されている。家計の希望出発時刻の確率分布は、往路と復路に対して対称的であり、バス企業は往路と復路に対して同一の運賃とバスダイヤを設定すると仮定する。

適切な家計の効用関数形を仮定すると、希望出発時刻が t_1, t_2 の家計が獲得する効用水準は

$$U^*(t_1, t_2 : \mathbf{h}) = \max\{U_{bus}(t_1, t_2 : \mathbf{h}), U_{car}\} \quad (7)$$

と表される。若干の計算により、家計のバス重要関数は以下のように表される。

$$\begin{aligned} m(p, s^*(n)) &= \alpha \int_0^{n\Delta} \int_0^{n\Delta} f(t_2)f(t_1)dt_1dt_2 \\ &= \alpha \{F(n\Delta)\}^2 \end{aligned}$$

$$= \frac{\alpha}{T^4} \{T^2 - (T - n\Delta)^2\}^2 \quad (8)$$

ただし、関数 F は家計の希望出発時刻の分布関数であり、家計のバス利用確率を表す。また α は家計の総数、 T はもっとも遅い家計の出発希望時刻、 n, Δ はそれぞれバスの運行本数及び運行間隔を表している。バス需要関数 (8) が往路、復路の利用確率 $F(n\Delta)$ の 2 乗で表されることに留意して欲しい。すなわち、ある家計にとって往路（復路）におけるバス利用が便利であっても、復路（往路）における待ち時間が長い場合には、当該の家計はバスを利用しない。このような往路と復路における交通手段の補完性が、規模の経済性を生み出す源泉となっている。バス企業の運賃と運行頻度に関する利潤最大化行動を仮定すると、市場均衡解は

$$4p^*F(n^*\Delta(p^*))\frac{\partial F(n^*\Delta(p^*))}{\partial \Delta(p^*)}\frac{d\Delta(p^*)}{dp^*} + 2\{F(n^*\Delta(p^*))\}^2 = 0 \quad (9a)$$

$$p^*\alpha\{m(p^*, s^*(n^*)) - m(p^*, s^*(n^* - 1))\} \geq c \quad (9b)$$

$$p^*\alpha\{m(p^*, s^*(n^* + 1)) - m(p^*, s^*(n^*))\} < c \quad (9c)$$

を同時に満足するような p^*, n^* として求まる。

以上の市場均衡解を分析すると、バスの運行費用が十分小さいときには複数の市場均衡解が生じることが分かる。往路と復路の交通手段が補完的であるバス市場では手段補完性に伴う規模の経済が機能し、バス企業のサービス水準（運行本数）とサービスを利用する家計数との間にポジティブフィードバックのメカニズムが機能する。すなわち家計による需要の減少（増加）はバス企業のサービス水準の減少（増加）をもたらす。その結果、初期時点に状態に応じてバス市場は、正の運行本数をもつ市場均衡解 $(p, n) = (p^*, n^*)$ かもしれない。あるいは全くサービスが提供されない均衡解 $(p, n) = (0, 0)$ が現れる。数値計算による均衡解の一例を図 - 3 に示す。同図の横軸はバス企業がサービスを提供する運行本数、縦軸はバス企業の利潤を示している。動ずには交通手段の代替化戦略を採用した場合も描かれているが、これについては後述する。手段補完性が働く場合、 $n = 0$ と $n = n^*$ の複数の均衡解（局所的最適解）が存在する。 $n = n^*$ の方が利潤は大きく、また詳しい導出は省略するが社会的厚生も高くなることが示されている。バス企業が仮に低い運行本数 \hat{n} でバスを運行したとしよう。この場合、負の利潤しか得られない。バス会社が近視眼的に行動し、運行本数を \hat{n} まで減少させれば、利潤はさらに減少する。バスの運行本数を減少させる限り、常に利潤は負となり、バス会社は当該路線を廃止するだろう。しかし、バス企業がある一定本数以上の頻度でバスを運行した場合、規模の経済性が働き運行本数が $n = n^*$ の時に利潤が極大となる。

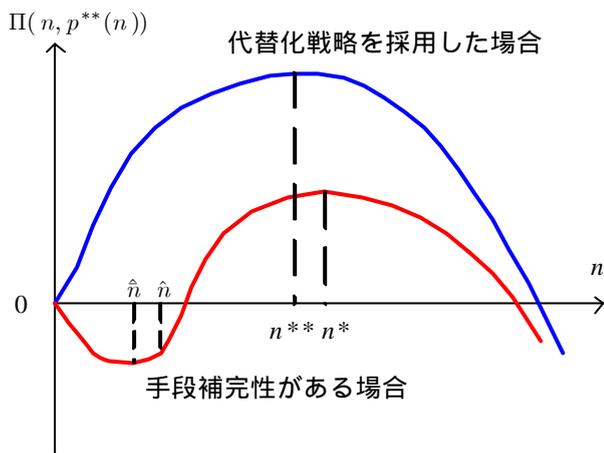


図 - 3 バス市場の均衡解

以上導かれた複数の均衡解のうちどちらの均衡解が実現するかは歴史的な経緯に依存する。たまたま現状においてサービスが提供されない均衡（もしくはその近傍において負の利潤しか生み出さない状況）にある場合、手段補完性に伴う外部性による市場の失敗を解決する方策が必要となろう。

7. 市場の失敗の解決法

これまでに述べたような外部性が生じる市場においては、市場メカニズムのみではパレート効率的な均衡解が達成されない。すなわち外部性に起因する市場の失敗が生じる。市場が失敗する状況において政府の役割が重要となる。本章では市場の失敗を内部化する方策について検討する。

(1) 外部経済の内部化

市場において生じる外部経済を内部化するために、外部性が生じている部分に税金を課すことにより、市場の失敗を解消する方法である。すなわち外部性を生み出す生産要素にピグー税³²⁾を課すことで市場機構を補正するものである。交通問題において最も顕著な例は混雑料金³³⁾である。

道路利用者は通常自らの参加による他の道路利用者への影響を考慮せずに行動を行う。ある主体が私的便益を獲得するために当該の道路を走行するとその結果社会的費用が増加し、他の主体へは負の影響を及ぼす。結果として社会的限界便益が私的限界費用と一致する水準まで交通量は増加する。通常社会的限界費用曲線と私的限界費用曲線との間には乖離があり、均衡点においてはこの乖離に起因する死荷重（デッドウェイトロス）が発生している。この死加重を取り除き、社会的限界便益と私的限界便益とが一致するように賦課すべき料金が混雑料金である。

混雑料金の導入により利用者は混雑料金分を余計に負担する一方道路混雑が緩和されることにより便益を得る。通常混雑料金による負担が混雑緩和の便益を上回るため、利用者にとっての厚生は低下する。しかし混雑料金による料金収入がこの低下分を上回るため社会全体で考えれば厚生が改善される。混雑料金導入に伴って発生する料金収入の適切な使い道を検討することが混雑料金導入のための重要な鍵となる。

(2) 行政的介入

一方で、直接的に政府が市場構造を変化させる方策を導入することも考えられる。すでに述べたように、外部性が存在するために戦略的相補性が働く市場においては、通常複数の均衡解が存在する。いずれの均衡に落ち着くかは、外部パラメータの初期条件によって決定される。いったん劣位の均衡に陥った場合、自然にそこから抜け出すことは難しい。前節で述べた外部性を内部化するためのピグー税の導入も政府の役割の一つであるが、このような状態にある場合によりパレート効率的な状態へ移行させるのが政府のもつ大きな役割である。ここでいう政府の役割としては、複数の均衡間での移動を行う場合と、根本的に市場の構造を変化させる場合の二つが存在する。

a) 複数均衡間の移動

前章で述べた外部性が存在する市場の場合、通常複数均衡解が存在する。複数均衡のうち劣位均衡にロックインされている場合、市場のメカニズムを通じて劣位の均衡から優位の均衡へ移動するのは難しい。もう一度図 - 2 を見てみよう。何らかの歴史的経緯により初期状態が均衡 O と A との間にあると仮定しよう。このとき両主体は互いに相手の到着率が今後減少するだろうと想定する。その想定は実現し到着率は次第に減少して均衡 O の水準まで達する。同様にして初期状態が均衡 A 以上の状態の場合には B の水準になることが分かる。すなわち、いったん安定均衡に落ち着くと多少その値から変化したとしてもその均衡から離れることはなく、そこから離脱することはない。

そこで政府が何らかの施策を導入することによりよりパレート効率的な均衡へ移行させることが想定される。ここでは政府が社会実験を通じてしばらくの間強制的により多くのタクシーを到着させる状況を考えよう。いったん臨界的な水準 A より大きな値まで到着率が増加すると、以降は当該市場のメカニズムに従って到着率は B の水準まで増加し、もう一方の安定均衡に落ち着く。いったん安定均衡 B に落ち着くと、乗客とタクシーの双方はお互いの到着率が以前の状態とは異なってより多くのマッチング相手が到着すると想定するため、仮にその社会実験を終了したとしても均衡到着率は変化しないであろう。

b) 構造変化

行政的介入によるもう一つの外部性解消の手段は、市場構造そのものを変えてしまうことである。再びバス市場モデル³¹⁾を考えよう。6. で述べたように、往路と復路の交通手段選択に戦略的相補性の関係があるバス市場においては、複数の局所解が存在する。大域的な最適解は一つであり、大局的な観点から当該企業が行動すれば利潤最大化を果たすことができる。しかし通常企業は近視眼的に行動する。仮にいま負の利潤を獲得している状況だとすると、運行頻度を微小に変化させても利潤の符号は変化しない。こういったケースでは複数の局所解の存在が市場の構造に大きなインパクトを与えると共に当該市場がうまくいかない大きな要因となっている。

この場合政府のとりうる政策としてはどのようなものがあるだろうか。たとえば利潤規制を行うと社会的厚生は増加する可能性があるものの複数の局所解の解決にはつながらない。そこで複数の局所解が存在する要因となっている手段補完性自体を解消することを目的とする交通手段の代替化戦略を考えよう。具体的には往路・復路において自由に待ち時間なしで利用できる交通手段が存在すると仮定する。このような交通手段としては自動車や自転車の共同利用などが考えられ、往路（または復路）にバスを利用したとしても復路にバス以外の交通手段を利用できる状況を想定している。復路（もしくは往路）に利用できる代替交通機関が存在した場合、各家計にとって往路の交通手段選択と復路の交通手段選択の間には手段補完性が存在せず、したがって複数均衡解を生み出す推進力がない。すなわち利潤最大化を果たす最適運賃及び最適運行本数は一意に決定される。このような市場においてはバスの運行費用の大きさのみによって市場の成立可能性が決定され、複数均衡間の移行の問題は生じない。

もう一度図 - 3 を見てみよう。同図の青線は、交通手段の代替化戦略を採用した場合の利潤を示している。同図より、手段補完性が働く状況とは異なり、単一の局所解 n^{**} （この場合は大域解と一致）のみが存在することが分かる。手段代替化施策を導入することにより、手段的技術外部性が消滅し複数均衡解は存在しなくなる。また、基本市場均衡と代替化戦略を採用した場合の市場均衡におけるバス運行本数を比較した場合、基本市場均衡の方がバスの運行本数は多い。すなわち、基本市場均衡では、運行本数に関して規模の経済性が働くため、企業はより多くのバスサービスを提供することとなる。

ただし、手段補完性に伴う規模の経済性を解消したとしても、資源配分上の非効率性の問題は依然残されており、それを解消するための政策介入は別に必要となる。本節で紹介したバス市場モデルでは、手段補完性が存在しなくなり運行本数の増加がバスの利用確率に及ぼす規模

の経済性が機能しなくなるため、運行企業は代替化施策を導入する以前よりも運行本数を減らして利潤を増加させる可能性がある。それを防ぐためにはすでに紹介した外部性の内部化に関わる政策の導入が必要となろう。

8. おわりに

本論文では、マッチングの派生需要としての交通に着目して交通市場のメカニズムを分析し、その市場で生じうる様々な外部性を整理した。本論文でまとめた外部性はそれぞれ交通市場の分析を行う上で重要な役割を果たす。交通行動を行う主体間に働く相互作用が存在し、またこれらの外部性の存在に伴って、戦略的相補性の関係が生じうる。戦略的相補性が存在する市場では通常複数の均衡解が存在する。外部性の存在に伴う市場の失敗や、戦略的相補的な関係から起こりうる複数均衡のうちの劣位均衡に陥ってしまう現象を解決するために、政府の果たす役割は大きいことを示した。

本論文で取り上げたトピックは土木計画学における交通問題のほんの一部を切り出したにすぎない。しかし取り上げた戦略的相補性の概念は交通市場の問題を考える上で、これまで忘れ去られていた重要な要素の一つであると筆者は考える。今後は市場の分析のみならず、戦略的相補性の考え方を考慮した交通行動モデルの開発を行う必要がある。本論文がこれらの考え方を考慮する一つのきっかけとなれば幸いである。

謝辞

本招待論文を執筆する機会を与えていただいた土木計画学委員会（林良嗣委員長）ならびに土木計画学研究編集小委員会（宮城俊彦委員長）に感謝の意を表します。京都大学大学院の小林潔司教授には、筆者が8年前に修士課程に進学して以降一貫して熱心なご指導をいただいている。また本論文の内容についても小林教授との共同論文や議論から生まれたものが多い。ここに感謝いたします。また平成14年度土木学会論文奨励賞を受賞した論文「利他的支払い意思を考慮したバリアフリー施設の経済便益評価とその調査法」は小林教授、京都大学（現（財）関西空港調査会）の吉川和広名誉教授、関西大学（現日本技術開発（株））の肥田野秀晃氏、日本スカンジナビアリサーチセンターの土屋啓志氏との共著によるものである。ここに深謝いたします。

参考文献

- 1) 土木学会土木計画学研究委員会交通需要予測技術検討委員会編：道路交通需要予測の理論と適用，土木学会，2003.
- 2) 小林潔司，福山敬，松島格也：フェイス・トゥ・フェイスのコミュニケーション過程に関する理論的研究，土木学会論文集，No.590/IV-39，pp. 11-22，1998.
- 3) 小林潔司：知識社会における交通行動：課題と展望，土木計画学研究・論文集，No.12，pp.1~13，1995.
- 4) 奥野正寛，鈴村興太郎：ミクロ経済学II，岩波書店，1988.
- 5) Mun S. and Yonekawa M: The effects of flex time on traffic patterns with bottleneck congestion, in Kobayashi et al. eds, *Structural Change in Transportation and Com-*

- munications in the Knowledge Economy: Implications for Theory, Modeling and Data*, Edward Elgar, 2003.
- 6) 小林潔司, 奥村誠, 永野光三: 鉄道通勤交通における出発時刻分布に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No. 14, pp. 895-906, 1997.
 - 7) 吉村充功, 奥村誠: 鉄道通勤における最適フレックスタイムパターンの研究, 土木計画学研究・論文集, No. 18, pp. 779-786, 2001.
 - 8) Bruno De Bourger and Sandra Wouters: Transport externalities and optimal pricing and supply decisions in urban transportation: a simulation analysis for Belgium: a simulation analysis for Belgium, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.28, pp.163-197, 1998.
 - 9) Chris Nash, Tom Sansom, and Ben Still: Modifying transport prices to internalise externalities: evidence from European case studies, *Regional Science and Urban Economics*, Vol.31, pp413-431, 2001.
 - 10) Pål Andreas Pedersen: On the optimal policies in urban transportation, *Transportation Research Part B*, Vol.37, pp.423-435, 2003.
 - 11) Mohring, H. and Harwitz, M.: *Highway Benefits -An Analytical Framework*, Northwestern University Press, Chicago, 1962.
 - 12) Cooper R. W.: *Coordination Game -Complementarities and Macroeconomics-*, Cambridge University Press, 1999.
 - 13) Howitt, P. W.: *The Keynesian Recovery*, Prentice Hall, 1990.
 - 14) Howitt, P. W. and McAfee, R.P.: Costly search and recruiting, *International Economic Review*, Vol. 28, pp. 89-107, 1987.
 - 15) 松島格也, 小林潔司: タクシー・サービスのスポット市場均衡に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.16, pp.591-600, 1999.
 - 16) 松島格也, 福山敬, 小林潔司: 個人選好の異質性とミーティング均衡, 応用地域学研究, No.3, pp.151-164, 1998.
 - 17) M. Aoki: *Towards a comparative institutional analysis*, MIT press, 2001. (瀧澤弘和, 谷口和広訳: 比較制度分析に向けて, NTT出版, 2001.)
 - 18) 青木昌彦, 奥野正寛: 経済システムの比較制度分析, 東京大学出版会, 1996.
 - 19) Milgrom P. and J. Roberts: Rationalizability, learning, and equilibrium in games with strategic complementarities, *Econometrica*, Vol.59, pp.1255-1277, 1990.
 - 20) Milgrom P. and J. Roberts: *Economics, Organizations and Management*, Englewood, Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1992. (伊藤秀史, 今井晴雄, 奥野正寛訳: 組織の経済学, NTT出版, 1997.)
 - 21) Vives X., Nash Equilibrium with Strategic Complementarities, *Journal of Mathematical Economics*, Vol.19, pp.305-321, 1990.
 - 22) S. Morris, and H.S. Shin: Unique Equilibrium in a model of self-fulfilling currency attacks, *American Economic Review*, Vol.88, pp.587-597, 1998.
 - 23) Oomes N.: Local trade networks and spatially persistent unemployment, *Journal of Dynamics and Control*, Vol.27, pp.2115-2149, 2003.
 - 24) D.M. Topkis: *Supermodularity and Complementarity*, Princeton University Press, 1998.
 - 25) D.M. Topkis: Equilibrium points in nonzero-sum n -person supermodular games, *Journal of Control and Optimization*, pp.773-787, 1979.
 - 26) Cooper, R. and Andrew, J.: Coordinating coordination failures in Keynesian models, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 103, pp. 441-463, 1988.
 - 27) Bulow, J., Geanakoplos, J., and Klemperer, P.: Multimarket Oligopoly: Strategic Substitutes and Complements, *Journal of Political Economy*, Vol.93, pp.488-511, 1985.
 - 28) J. Eichberger and D. Kelsey: Strategic Complements, Substitutes, and Ambiguity: The Implications for Public Goods, *Journal of Economic Theory*, Vol.106, pp.436-466, 2002.
 - 29) D. M. Frankel, S. Morris, and A. Pauzner: Equilibrium selection in global games with Strategic Complementarities, *Journal of Economic Theory*, Vol.108, pp.1-44, 2003.
 - 30) Farmer, R. E. A.: *The Macroeconomics of Self-Fulfilling Prophecies*, The MIT Press, 1993.
 - 31) 松島格也, 小林潔司: 手段補完性を考慮したバス市場構造の分析, 土木学会論文集, 投稿中.
 - 32) Pigou, A. C., *Economics of Welfare*, London, Macmillan, 1920.
 - 33) たとえば, 山田浩之編: 交通混雑の経済分析-ロードプライシング研究-, 日本交通政策研究会研究双書15, 勁草書房, 2001.