

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	単一ボトルネックネットワークでの通行権取引制度導入によるパレート改善
Title(English)	Pareto-Improving Pricing Based on Tradable Bottleneck Permits Scheme for Managing Congestion at a Single Bottleneck
著者(和文)	坂井勝哉
Author(English)	Katsuya Sakai
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9979号, 授与年月日:2015年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:朝倉 康夫,屋井 鉄雄,福田 大輔,室町 泰徳,花岡 伸也,赤松 隆
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9979号, Conferred date:2015/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	土木工学	専攻	申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学) Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名： Student's Name	坂井勝哉		指導教員 (主)： Academic Advisor(main) 朝倉康夫
			指導教員 (副)： Academic Advisor(sub)

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

道路交通ネットワークにおける動的混雑料金を対象とし、混雑課金スキームとして、利用者の費用の総和である社会費用最小化を達成できる通行権取引制度を導入した場合の理論解析の結果をまとめた。従来の研究と異なる点は、制度の導入実現性を高めるため、制度の導入がパレート改善につながることを必要条件と考え、誰もが損をしない制度を設計する上での基礎的な理論的検討を行っている点である。社会的費用を最小化する目的で導入された通行権取引制度を展開してパレート改善が達成される制度に拡張し、その制度によってパレート改善が達成される条件を単一ボトルネックネットワークに対して解析的に求めた点に特徴がある。

第1章は序論で、道路混雑マネジメントに関するレビューを行い、「情報提供アプローチ」、「物理的アプローチ」、「経済学的アプローチ」の3つを挙げた。時間帯別通行権取引制度が含まれる経済学的アプローチは、社会的費用を最小化できるという利点があるものの、政策導入により不利益を被る利用者が存在するという問題がある。この問題を考慮するため、損をする利用者が発生しない条件であるパレート改善に着目することが必要であると考え、パレート改善の概念を反映した通行権取引制度を設計することを目的とした。

第2章では出発時刻選択問題に関するレビューを行い、この論文で用いられるモデルに至るプロセスを示した。利用者の費用最小化行動を仮定している既存モデルに基づいて、利用者が効用を最大化するように行動するモデルを定式化した。利用者間で金銭効用の異質性がある場合とない場合に用いるモデルの違いを記述し、その結果は第4章と第5章でそれぞれ利用される。

第3章では時間帯別通行権取引制度についてのレビューを踏まえて、その制度が適用された場合の具体例を検討した。通行権取引制度には「販売型」と「配布型」の2種類のスキームがあるが、この論文ではパレート改善を達成するのがより難しい「販売型」を対象とする。通行権取引制度が導入された場合の利用者の費用変化と道路管理者の収益変化を具体的に示し、最も単純な設定下ではパレート改善が達成されることを確認した。また、既存研究で提案されているセルフファイナンスにも言及し、このことは第4章でパレート改善を達成するためのひとつの手法として利用する。

第4章では、単一の合流ボトルネックを持つ2起点1終点ネットワークを用いて、通行権取引制度が導入された際の均衡状態の分析を行った。既存研究に基づいて、均質な利用者を仮定し、出発時刻選択問題の均衡状態を定式化した。均衡解を求めた。通行権取引制度導入前後での利用者の効用変化を計算することにより、2起点のうちどちらかが合流部で割り込むことができる状態、すなわち既得権がある場合に通行権取引制度を導入すると、その既得権が消滅することによりパレート改善しないことを解析的に示した。また、パレート改善を達成するための施策として「既得権を存続させる取引市場の作り方」、「事後的に金銭で補償する方法」、「通行権収入を使ってボトルネック容量を拡大する方法」の3つの方法を提案した。それぞれの手法について均衡状態を示し、実現するための必要条件と効率性の考察を行った。

第5章は利用者間の異質性に着目し、1起点1終点単一ボトルネックのネットワークを対象として、通行権取引制度によるパレート改善についての理論解析の結果をまとめた。各利用者の効用をボトルネックでの遅れ時間基準で定式化した利用者行動モデルを仮定し、スケジュール柔軟性と料金抵抗に異質性がある場合にパレート改善しないことを解析的に示した。パレート改善が達成されないメカニズムは、スケジュール柔軟性が小さくて料金抵抗が大きい利用者グループの効用が低下することによるものであるため、通行権の取得を選択できる余地を残すことによりパレート改善の可能性がある。そこで、パレート改善を達成するための施策として、部分的に通行権取引制度を導入することを提案し、ボトルネック容量の一部に対して混雑料金が課された場合の均衡条件を示すことでその効果を明らかにした。

第6章は結論で、時間帯別通行権取引制度を導入することによりパレート改善が達成されないメカニズムを明確にした上で、パレート改善を行うための手法を提案し、その条件を解析的に記述した点に本論文の特徴があることを述べた。

本論文の成果は、もともと社会的総費用を最小化する目的で提案された時間帯別通行権取引制度を用いてパレート改善を達成できる混雑料金制度の理論が構築されていることにある。通行権取引制度により実現する均衡状態は、同額の動的混雑料金を課した場合の均衡状態と同一であり、この論文の分析結果は一般的な動的混雑料金にも適用できる。解析的な便宜のために、最も単純な1ボトルネックネットワークを対象としているが、一般ネットワークへ拡張するための基礎的理論としての価値がある。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 土木工学 専攻  
Department of  
学生氏名： 坂井勝哉  
Student's Name

申請学位(専攻分野)： 博士 (工学)  
Academic Degree Requested Doctor of  
指導教員(主)： 朝倉康夫  
Academic Advisor(main)  
指導教員(副)：  
Academic Advisor(sub)

### 要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The Tradable bottleneck permits (TBP) scheme is proposed as one of the first-best time-varying pricing schemes and has been shown to be able to minimize social cost. In order to resolve a congestion problem during morning rush hour in a corridor with a single bottleneck, the scheme provides these functions as follows: (i) a road administrator issues permits that allow the holders to pass through the bottleneck at a pre-specified time period (“bottleneck permits”) and (ii) a new trading market is established for bottleneck permits valid for a pre-specified time period. Although the most effective state from the aspect of social cost minimization can be realized by applying the TBP scheme, a Pareto improvement is not always achieved, which means that the scheme may harm some drivers. Then, the harmed drivers must be strongly against the TBP scheme, even if it can minimize the total cost of all drivers.

The objective of this dissertation is to reveal the situations in which the TBP scheme does not always achieve a Pareto improvement when a target network has a single bottleneck and to design Pareto-improving tradable bottleneck permits schemes. This study focuses on two situations: first, the network has a merge point, and second, there is heterogeneity in marginal utility of toll payment among drivers.

In order to consider the framework of time-varying congestion pricing, departure time choice models are reviewed. In the model, drivers' behavior is defined by the tradeoff between waiting delay at bottleneck and schedule delay, which is the difference between desired arrival time and actual arrival time. In order to represent the waiting delay at bottleneck, deterministic description of delay with cumulative numbers of drivers is employed. In the first proposed model, the objective function for drivers to minimize is trip cost which consists of cost of waiting delay, schedule delay, and toll payment. We arrange the model in utility base. When the reluctance to pay toll charge is homogeneous among drivers, money-metric utility is employed. Otherwise, time-based utility, which is standardized to the unit of waiting delay, is employed.

We show that the first-best pricing scheme under tradable bottleneck permits for Y-shaped network is not always Pareto improving, and the money-metric utility of one group of drivers is increased by the permit pricing, a phenomenon akin to the bottleneck paradox. Therefore, we propose three implementations of TBP scheme for Pareto-improving pricing: (i) a merging priority rule is included in the TBP scheme by creating a different market for each origin; (ii) the TBP revenues are refunded as monetary compensation to drivers whose utility is decreased; and (iii) the permit revenues are used to expand bottleneck capacity. We derive the equilibrium solutions for each implementation and demonstrate that a Pareto improvement is achieved and social cost is decreased by using the permit revenues for expanding the bottleneck capacity.

For the other situation in which Pareto improvement is not achieved, we show the time-dependent utility of drivers when they have different schedule flexibility and reluctance to pay toll charge. The cases with and without TBP scheme are compared analytically. Then, we propose the TBP scheme that achieves a Pareto improvement without a road administrator refunding the revenues to drivers. In order to discuss the case in which there exists heterogeneity in schedule flexibility and marginal utility of toll cost, we focus on a one-to-one network with a single bottleneck and employ a departure time choice model in which drivers choose their arrival time depending on time-based utility. We assume two classes for two attributes as heterogeneity “busy/free” and “rich/poor” and formulate the drivers' utility changes caused by implementation of TBP. In this assumption, we show that a Pareto improvement is not achieved, and the utility of “busy-poor” drivers is decreased by the effect of the TBP scheme. We propose partial implementation of TBP as a scheme for a Pareto improvement. In this partial TBP scheme, the bottleneck capacity is assigned to drivers with and without a bottleneck permit, where the driver who has a bottleneck permit can pass through the bottleneck without congestion and a driver without it experiences congestion. As a result, we reveal conditions for the amount of the bottleneck permits that can satisfy a Pareto improvement. Finally, this study finally discusses the requirements for a Pareto improvement that are derived by the proportion of the amount of issued bottleneck permits, the number of each class driver, and the gap between the classes.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).