

平成 21 年 5 月 19 日現在

研究種目： 若手研究(A)
 研究期間： 2006～2008
 課題番号： 18686042
 研究課題名(和文)
 多様な料金体系・サービス形態を前提とした次世代型公共交通システムに関する研究
 研究課題名(英文)
 New innovative public transport service with variable fare and service
 研究代表者
 倉内文孝 (KURAUCHI FUMITAKA)
 岐阜大学・工学部・准教授
 研究者番号： 10263104

研究成果の概要：

本研究課題では、利用者のニーズに応じて適切な公共交通機関を割り当てるようなフレキシブルな統合型公共交通システムを次世代型の公共交通システムと位置づけ、その効果評価を試みた。特に、IT 技術を駆使したデマンド応答型交通システムをその柱と位置づけ、その成立可能性に関して数理最適化アプローチおよびマルチエージェントシミュレーションアプローチを用いて分析を進めた。料金体系についても、様々な料金体系およびサービス形態における交通行動についてロンドンドア・トゥー・ドアデータを用いて検討を加えた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2007 年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2008 年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
年度			
年度			
総計	13,300,000	3,990,000	17,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・交通工学・国土計画

キーワード：交通計画

1. 研究開始当初の背景

近年の情報通信技術 (ICT) の発達により我々は様々な恩恵を被っている。交通の分野における ICT を援用した技術開発は ITS (Intelligent Transport System) と呼ばれ、交通渋滞の緩和や交通事故などの危険性の低減に大きく寄与することが期待される。一方で、自動車の利用を抑制することも今後重要となる。その受け皿となるべき公共交通に関しては、近年のライフスタイルの変化に伴う移動ニーズの多様化、高齢社会化に伴う利用者特性の多様化などにより、大きな交通需要が同時刻

同地点に発生しづらくなっている。公共交通サービスを提供する事業者の経済活動と位置づけた運営方法は、近い将来成立しなくなることは明白であり、公共交通撤退による交通空白地帯を回避するために有効な手段を考える必要があるといえる。そのためにも、全ての公共交通システムを一元的に取り扱い、多様な需要に応じて適切な交通機関を割り当てるフレキシブルな公共交通システムの実現が急務である。

安定的かつ魅力的な公共交通サービスを実

現するためには、その利便性を高め、利用者が満足できる水準のサービスを提供することが不可欠である。また、環境問題、資源エネルギー問題の観点からも、自動車利用から公共交通の利用への転換を促す、あるいは公共交通利用者を囲い込むような様々な工夫が必要である。本研究では柔軟な料金制度の実現可能性について着目する。特に早期予約による割引サービスは、あらかじめ交通需要発生を知ることができるため、それに応じたサービス割り当てが可能であり、結果的にサービス供給のためのコスト削減が期待できる。このような情報共有システムのひとつとして、デマンド対応型交通システム（DRT）が挙げられる。交通需要の不確実性を減少させることによって、同等サービスを実施する際のコスト効率性が高まることが期待される。

2. 研究の目的

上記のような料金戦略においては、利用者は自身の利用予定が不確実である状況下で将来を見越した意思決定が求められる。また、交通需要によってサービス形態を変容させるDRTなどの導入効果検証においては、利用者の対応行動が重要な計画パラメータとなる。特に、長期にわたる行動予定をベースに月間の料金プランを選択し、その元でそれぞれの移動に関する交通機関を選択するような行動のモデル化が重要と考えられる。また、地方部の元来公共交通サービスが粗な地域においては公共交通サービスを元に行動決定を行っている側面もあるため、単に交通機関の選択という側面だけでない分析が重要となる。以上のような背景をふまえ、本研究では次世代型公共交通システム実現に向け、様々な料金体系およびサービス形態の元での利用者の対応行動を観測しモデル化するとともに、得られた行動モデルを活用したシミュレーションを構築し、料金体系、サービス形態ごとの特徴を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

上記の目的を遂行するために、次の研究を実施する。

(1) 文献調査

本研究では、都市内公共交通システムに対して、柔軟かつ大胆な料金体系や航空会社で一般的なマイレージシステムに代表される囲い込み施策の適用をめざしている。そのため、交通の分野に限らず携帯電話会社の料金サービスなどを含むマーケティング分野における価格戦略や囲い込み戦略など広範な文献調査を行い、それぞれの戦略の特性について

整理を試みる。併せてDRTやコミュニティバスサービスのような現在は限定された目的あるいは利用者を想定して供用されているサービスを含め特性を整理しておく。また、評価ツールとしてアクティビティシミュレーションモデルの研究動向についても併せて整理しておく。

(2) 使用回数期限のある交通サービスの消費行動に関する分析

ロンドンで収集された高齢者・障害者の方々の交通行動データからの交通機関選択行動のモデル化に関して分析を進める。高齢者・障害者のみの行動データであることなど限られた条件下ではあるものの、2年間にわたる同一個人の繰り返し選択行動が収集されている点、観測期間中に一ヶ月間の最大可能トリップ数や利用料金が複数回変更されている点など多様な料金形態の検討を行う上で貴重な実証データといえる。

(3) デマンド応答型交通システムと他の交通形態の融合可能性とその方法に関する検討

デマンド応答型交通システム（DRT）における所与の需要を車両に割り当てるアルゴリズムの開発を行い、DRTサービスの特徴を明らかにし、さらには他公共交通機関との棲み分け、連携および融合を考慮したサービス提供方法論について論じる。

(4) 様々な料金体系、サービス形態下の交通行動分析

コンピュータ上で仮想状況を作り上げ、そのもとでの選択行動を観測する実験システムを構築し行動データを収集する。また、多様な料金体系やサービス提供時の対応行動について分析を行う。得られたデータを用いてアクティビティスケジューリングモデルを構築し、料金体系、囲い込み施策に対する乗客の反応について分析を加える。

(5) エージェント型アクティビティシミュレーションの開発とシミュレーションモデルを活用した交通施策の特性比較と整理

エージェントが仮想空間の中で行動を繰り返すアクティビティシミュレーションの開発を行う。個別のサービス形態あるいは料金体系、囲い込み施策などの特性を明らかにするとともに、それらを融合させ運用することによってエージェントの行動にどのような変化が表れ、そして最終的にどのような効果が得られるかについて考察を加えることで、全ての公共交通機関を融合化し、適材適所で交通サービスを提供する次世代型公共交通システムの特徴について整理する。

4. 研究成果

(1) 文献調査

文献調査においては、主に(a)公共交通の評価指標に関する調査、(b)多様な料金に関する調査、(c)DRTやコミュニティバスのサービス特性に関する調査、(d)アクティビティシミュレーションモデルに関する調査を実施した。

(a)公共交通の評価指標に関しては、国内を中心とした100編を超える論文をレビューし、評価の視点を利用者、事業者、社会の3つより11の視点をもって分類した。またそれぞれの評価の視点に関して提案されている評価指標の定義を整理した。b)の多様な料金制度については、文献の収集を試みたが、ほとんどみあたらず、まずは事例などの整理を開始した。その結果、100円バスや1日乗車券などの取り組みはあるが、弾力かつ大胆な料金制度に関する理論的側面を探ることはできなかった。c)のDRTおよびコミュニティバスに関しては、現在デマンド型運行を行っているそれぞれの地域について、ウェブや広報資料などをもとにその分類および整理を試みた。最後に、アクティビティシミュレーションについては、9つの主なアクティビティシミュレーションの機能を整理し、その特徴を明らかにした。

(2) 使用回数期限のある交通サービスの消費行動に関する分析

イギリス・ロンドンドア・トゥー・ドアデータを活用し、使用期限のあるサービスを利用する際の利用者嗜好に関する分析を行った。その結果、月初めには使用回数制限がある交通サービス(Standard trip)を避け、月の終わりにそれらを一気に消費する傾向があることが明らかとなり、このような交通サービス特有の行動規範がある可能性が明らかとなった。図-1は、使用不可能となるまでの日数と使用期限がないトリップ(Saver trip)の割合を示したものである。使用期限のないsaver tripの利用が残り日数とともに減少していることが確認できる。

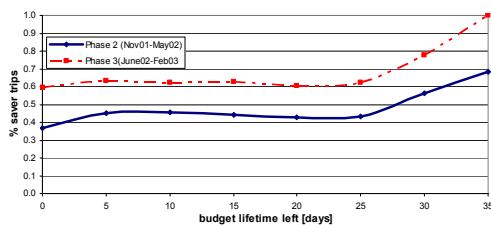


図-1 Standard tripの消費と使用期限

(3) デマンド応答型交通システムと他の交通形態の融合可能性に関する検討

まずは、デマンド応答型交通システム

(DRT) 単体で見た場合のその成立可能性について検討を加えた。ここでは、セミダイナミック型のDRTを検討対象とし、利用者がDRTを利用するかどうかを内包したDRT配車計画モデルの構築を行い、分析を進めた。DRTの最適経路を求める問題は、利用者行動を下位問題として内包した2レベル最適化問題として構築される。これを仮想ネットワークに適用し、DRT導入効果を分析した。一例として図-2は固定型路線バスとの経費比較を行ったものであり、図-3は利用者便益と、利用者間格差を示したジニ係数の算定結果を示している。この結果、DRTは固定費を含めたコスト効率性では劣るものの、利用者便益が非常に大きなシステムといえる。

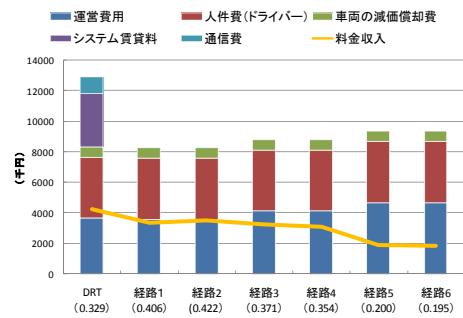


図-2 路線バス, DRTの費用の内訳と収入

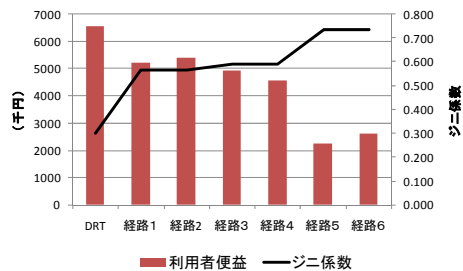


図-3 利用者便益とジニ係数

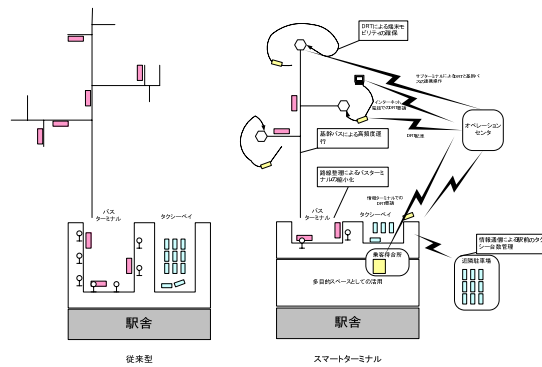


図-4 DRTを活用した先進型ターミナルのイメージ

さらに、他交通機関との融合可能性についても検討を行っている。DRTは路線の柔軟性が特徴的であり、特にフィーダー的利用に適

している。その一方で、需要が厚くなればその利用効率性も急激に低下するため、図-4に示したような形態での運用が適当であるといえる。これは、IT技術を活用することで、基幹型バスと連携し、待ち時間を最小にすることで利便性の確保を前提とした考え方である。

(4) 様々な料金体系、サービス形態下の交通行動分析

様々な料金体系、サービス形態下の交通行動については、仮想的な交通状況における交通選択と、ロンドントリップデータを活用した多彩な料金設定に関する感度の把握の2つの視点により分析を加えた。

まず、DRTについて、仮想の室内実験を用いて交通機関選択実験を行い、DRT特有の所要時間の不確実性や、さらにはデマンド型交通と一般バスの乗り継ぎに関する損失の計量化を試みた。その結果を表-1に示す。乗り換え時間の抵抗は路線バスの停留所待ち時間と比較しておよそ1.46倍となっており、同じ路線バスを待つとしても、乗り継ぐことが大きな抵抗になることがわかる。待ち時間とアクセス時間のパラメータの比をとれば、アクセス時間のおよそ10倍まで自宅待ち時間を許容できることから、高密度のバス停の設置あるいはdoor-to-doorサービスなどアクセス時間を短くすることで、多少の出発時間調整を行うなど柔軟なサービス提供を実施することが可能といえる。もちろん乗り換えをスムーズにし、その抵抗を小さくすることも重要であることがわかる。

表-1 乗継を考慮した交通機関選択モデル推定結果

説明変数	パラメータ	t値
選択肢固有ダミー変数 路線バス	1.323	1.994
選択肢固有ダミー変数 デマンドバス&路線バス	-0.141	-0.219
選択肢固有ダミー変数 パーク&バスライド	0.073	0.162
料金	-0.004	-8.458
アクセス時間	-0.148	-3.932
乗り換え時間	-0.108	-2.691
自宅待ち時間	-0.017	-2.122
停留所待ち時間	-0.074	-5.852
乗車時間	-0.041	-1.408
サンプル数	796	
路線バス選択者	244	
デマンドバス&路線バス選択者	149	
パーク&バスライド選択者	172	
自家用車選択者	231	
Lmax	-459.192	
Lconst	-599.182	
rho^2	0.168	
Adjusted Rho^2	0.164	
hit ratio	0.667	

ロンドンデータを活用した使用期限のある交通サービスに関する利用者の嗜好についても、ロジック型のstandard/saver trip選択モデルを構築することによって分析を進めた。その推定結果を表-2に示す。この結果をみると、

まずLess than 10% of the budget left (standard tripが10%以下となったとき)とMore than 10%, less than 100% of the budget left (standard tripが10%以上である場合)を比較すると、後者の方が、パラメータ値が正で大きく、より使用期限、回数制限のあるサービスの残り回数が多いほどそれを利用する傾向になることがわかる。また、Less than 10% of budget interval left (使用期限が全体の10%、すなわち3日間を切ったとき)には、パラメータ推定値が正の値をとっており、使用期限が近づくとき期限のある交通サービスを選択する傾向が高まる。なお、これらの変数のt値はすべて有意であり、統計学的にも上記のような行動を実行することが確認できたといえる。

表-2 Standard/Saver トリップ推定結果 (推定値が正ならstandard tripを使う)

説明変数	値	t値
Wheelchair Usage	0.327	13.63
Bluebadge Holder	-0.314	-6.54
Higher Rate Living	0.003	0.12
Old People Freedom Pass	-0.174	-6.96
Registered Blind	0.24	5.71
Original Dial-a-Ride user	-0.348	-13.92
Ethnicity White	-0.268	-14.11
Born after 1940	-0.1	-5.00
Fare Difference (penny)	-0.012	-32.43
Distance(km)	-0.011	-5.50
Less than 10% of the budget left	0.43	10.24
More than 10%, less than 100% of the budget left	0.783	46.06
Less than 10% of budget interval left (last 3 days of the month)	0.254	9.77
Maximum Subsidy per trip	0.036	6.00
Const	0.033	0.27
Number of Observations	65490	
Degrees of Freedom	14	
Log Likelihood (Intercept only)	90788.418	
Log Likelihood (Final)	84926.299	

(5) エージェント型アクティビティシミュレーションの開発と交通施策の特性比較

エージェント型アクティビティシミュレーションに関しては、DRTに関連する検討とロンドンデータに基づく多様な料金設定における分析の2点を行っている。

エージェントとは、環境の状態を知覚し、行動によって環境に影響を与えることのできる自律的主体のことである。マルチエージェントシミュレータとは、複数のエージェント間の関係を簡単なルールで記述することで複雑な相互作用を表現し、その結果全体としてどのような現象が起こるか見ることが出来るものである。また、その際主体の多様性や学習を考慮できるという特長をもつ。本研究で用いるシミュレータには、相互関係を

もつ乗客エージェントと DRT 事業者エージェントが実装されている。本研究では、利用者と事業者の視点から DRT の効果を分析する。まず利用者の視点から、DRT の導入により、DRT が無い（交通機関がタクシーのみ）場合に比べ、乗客の所要時間を含むコストの変化分で消費者余剰を求める。一方、事業者の視点から、DRT の料金収入と運営費用の差で生産者余剰を求める。消費者余剰と生産者余剰の和で社会的余剰を求める。ここでは、計算結果例としてネットワーク形状の影響および多様な運賃設定の影響について検討した結果を示す。

最後 300 日間の計算結果より得られたノード別 DRT12 時便の利用率を図-5 に示す。迂回が発生しなければ、乗客全員 12 時の便が最適にもかかわらず、ネットワーク 1 の結果を見ると、ノードによって 12 時便の DRT 利用率に差があることがわかる。同様に、ネットワーク 2 や 3 を見ると、ネットワークの形状が細長いほどノードごとの 12 時便の利用率の差が小さくなっている。ネットワークの形状が細長いほど端のノードの人でも極端な迂回が起りにくく、ノードごとに所要時間の差ができていくためである。

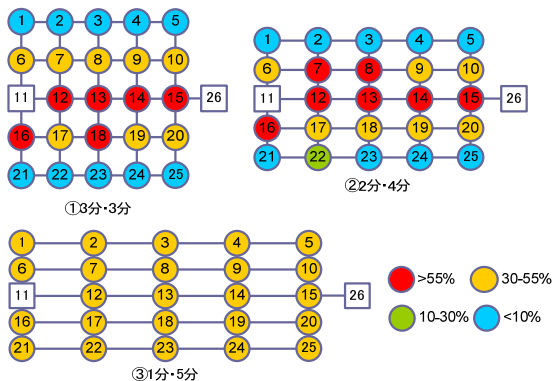


図-5 ネットワークの形状とノード別12時便の利用率

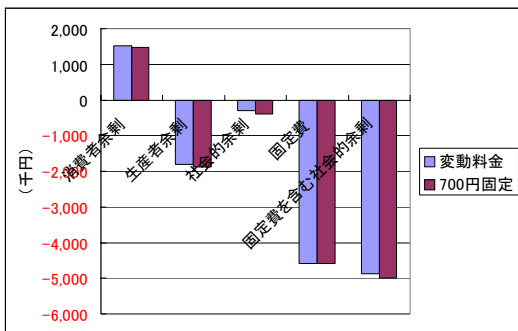


図-6 料金体系別各余剰

次に、多様な料金施策の一つとして、相乗りによる料金割引が得られるケースについて、シミュレーションを用いて検討を加えた。

分析の結果、各余剰を図-6 に示す。運賃変動制では、乗客は、学習によって乗り合わせの人数が多い便を選択することで料金が抑えられ、固定料金と比べ消費者余剰が大きくなる。また、そのように乗客が進んで乗り合わせるため需要が集中し、DRT の運休回数が増えるため運営コストが抑えられ、生産者余剰も大きくなる。よって、需要が少なく時間的制約の低い乗客の地域では、運賃変動制によって効率的な運営の可能性があるといえる。

ロンドンデータに基づく分析としては、別途交通サービス選択に関するシミュレーションモデルを構築し、様々な料金戦略や使用期限のある standard trip の量を変化させたケースについて分析を進めた。表-3 は、表-2 で得られた交通機関選択モデルをベースに、利用料金や使用期限のあるトリップの月間消費可能額などを変化させたシミュレーションにおける交通機関選択の変化などを示したものである。ここでは、調査時のサービス水準を現行ケースとし、使用期限のあるトリップの数を変化させた場合、使用期限のないトリップを変化させた場合、そしてバス利用需要を変化させたケースについて、検討を加えている。この例では、交通サービス設計を変化させたときの利用者の支払わなければならない運賃額と、使用期限のない saver trip 利用数の変化量を示している。使用回数制限のある standard trip の利用回数を変化させることなどによって利用者の利用意向の変化が読み取れるシミュレーションとなっていることが確認できる。

表-3 交通サービス選択シミュレーション結果

概要	利用者の支払い	Saver 利用数
現行	16526	3805
Standard trip の月利用回数を 6→8 に	16567	3223
Standard trip の月利用回数を 6→4 に	17043	3905
Saver trip の料金を ¥2→3 に	18682	3863
需要 150%	16526	3805
需要 200%	16526	3805

(6) 研究成果の総括と今後の展望

以上のように、本研究においては、多様な料金およびサービス形態を前提とした次世代型公共交通サービスの普及に向け、その導入効果を事前検討可能な評価方法の構築をめざし検討を進めてきた。公共交通の評価方法の検討に始まり、事前評価のための数理最適化モデルの構築、そして利用者行動のモデル化と利用者の相互作用および創発効果が検証可能であるマルチエージェントシミュ

レーションを構築し、様々な料金形態やサービス形態の公共交通システムの潜在的効果を検討可能なツールの構築を進め、おおよそその評価システムの要素開発はできたと考える。一方で、仮想的な道路ネットワークおよび社会想定に限定された分析にとどまっていることより、実際のデータを活用し、モデルに適用することでその妥当性、有用性を検証していく必要があるといえる。また、ここで構築したアクティビティシミュレーションにおいては、利用者の限定された行動のみの記述にとどまっているため、その拡張についても検討を進める必要がある。さらに、評価の考え方については、その要素技術の構築にとどまっているところもあるため、今後それらを統合化した総合評価システムへの発展が必要と考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計9件)

- ① 倉内文孝, 原尾彰, 嶋本寛: 所要時間の不確実性を経路選択基準に考慮した乗客配分モデルの構築, 土木学会論文集 D, 64(4), 531-541, 2008
- ② F. Kurauchi and A. Harao: Multi-agent Simulation for Evaluating Demand Responsive Transport System, Proceedings of SCIS & ISIS 2008, 768-773, 2008
- ③ Schmöcker, J.-D., Bell, M. G. H. and Kurauchi, F. "A Quasi-Dynamic Capacity Constrained Frequency-Based Transit Assignment Model", Transportation Research Part B, Vol. 42, 925-945, 2008
- ④ Schmöcker, J.-D., Shimamoto, H., Kurauchi, F. and Bell, M.G.H.: Passenger Flow Control in Congested Transit Network, Proceedings of the 12th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, 331-340, 2007.
- ⑤ Kurauchi, F., Schmöcker, J.D. and Bell, M. G. H.: Travel Choice Simulation: Predicting Travel Demand for Accessible Transport Services, Proceedings of the 11th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled People, CD-ROM, 2007
- ⑥ K. I. Wong, M. G. H. Bell and F. Kurauchi, "On-line Ambulance Dispatching Heuristics with the Consideration of Triage", 17th International Symposium on Transportation and Traffic Theory (ISTTT17), London, 461-481, 2007.
- ⑦ 倉内文孝, 嶋本寛, 王萍, 飯田恭敬: 最小費用 Hyperpath 探索アルゴリズムを用いたバスサービス評価に関する研究, 土木計画学研究・論文集, 23(3), 755-761, 2006

- ⑧ Kurauchi, F., Harao, A. and Shimamoto, H.: Transit Assignment Model considering the Reliability of Travel Time, Proceedings of the 11th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies, 717-726, 2006
- ⑨ Shimamoto, H., Schmöcker, J.D. and Kurauchi, F.: Controlling Congestion on Platform - Case Study on London Underground Network -, Proceedings of the 11th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, 443-450, 2006.

〔学会発表〕(計6件)

- ① Kurauchi, F., Guo, M. and Sumalee A.: Door-to-door DRT Assignment Model Considering Travellers Mode Choice, The 11th International Conference on Advanced Systems for Public Transport, 2009 (forthcoming)
- ② 倉内文孝, 進藤隆弘: 車両割り当てモデルを用いた DRT と路線バスの特性比較, 土木学会関西支部平成 20 年度年次学術講演会, 大阪大学, CD-ROM, 2008
- ③ 倉内文孝, 米山真未, 高木朗義: マルチエージェントシミュレータを用いたデマンド応答型交通システムの導入効果分析, 土木学会中部支部平成 20 年度研究発表会, CD-ROM, 2008
- ④ 倉内文孝, Agachai Sumalee, 堀場詳二: 利用者の交通機関選択を考慮した DRT 運行計画モデルの構築, 土木計画学研究・講演集, Vol. 35, CD-ROM, 2007
- ⑤ 宇佐美誠史, 元田良孝, 倉内文孝, 中村文彦: デマンドバスの経営・運行実態について, 土木計画学研究・講演集, Vol. 35, CD-ROM, 2007
- ⑥ 原尾彰, 倉内文孝, 嶋本寛: 所要時間信頼性を考慮した乗客配分モデルの構築, 土木計画学研究・講演集, 34, CD-ROM, 2006

6. 研究組織

(1)研究代表者

倉内文孝 (KURAUCHI FUMITAKA)

岐阜大学・工学部・准教授

研究者番号: 10263104