

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 15 日現在

機関番号：13701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656312

研究課題名（和文） 交通移動における規則性と順応プロセス

：交通 IC カードを用いた時系列行動解析

研究課題名（英文） Regularity and Adaptation Process on Travel Behaviour

：Longitudinal Analysis Using Smartcard data

研究代表者

倉内 文孝 (KURAUCHI FUMITAKA)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：10263104

研究成果の概要（和文）：本研究は、交通カードデータを活用することにより、交通変動の規則性と不規則性の理解に努めるとともに、大きなインパクトが起こった際の順応プロセスを解析することを目的とする。交通行動における規則性に影響を及ぼす要因や個人間差違などを検証し、交通需要の Mass effect に着目することとし、公共交通利用の順応プロセスを分析した。また、交通 IC カードデータを用いることのメリット、デメリットの整理を行い、有効に利用できる条件や利用の際の注意点を整理した。さらに、交通 IC カードデータが交通行動分析に活用可能であることも例示した。

研究成果の概要（英文）：This study aims at understanding individual travel regularity/irregularity and adaptation process by large impact by using smartcard data. The regularity on travel behavior was investigated by using smartcard data, and we identified the factors which may influence regularity of travel behavior. Adaptation behavior after transport impact is also modeled. We consider the mass effect and temporal change of public transport use is discussed. As a result, the model suggests that the mass effect may not always contribute to promote public transport use. The benefit of using smartcard data for travel behavioral analysis is also expressed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木計画学・交通工学

キーワード：交通工学，経路選択，ネットワーク理論

## 1. 研究開始当初の背景

社会の安定的発展のためには、人々の生産活動の質的向上が急務である。そのような円熟社会においては、人々の時間価値が増大し、予想外の遅延が大きな経済的損失をもたらす危険性がある。不測の事態を避け安定的な交通サービスを提供するための研究は信頼性評価研究と呼ばれ、たとえば、不測の遅れの最小化をめざす所要時間信頼性評価解析手法などが提案されている。ところで、そもそもなぜ所要時間は変動するのか。天候、商

習慣、道路線形や地形条件などがその要因と考えられるが、それにもまして、日々の人の活動が変化することによる影響が大きい。個人の活動を考えてみると、通勤や、定期的な買い物行動など規則的な行動を行っている人も多いのではないだろうか。交通行動の規則性と不規則性を理解することが、交通需要変動を理解するためには不可欠であるといえる。もう一点重要な意味を持ちうるのが、新しいインパクトへの対応行動である。当然ながら、人は試行錯誤を繰り返しながら新し

いシステムに順応し、最終的に行動を変化するかを決定する。この順応プロセスの過程によってその後の安定状態が異なることも考えられる。

一方で、近年交通カードの導入が進んでいる。我が国でも、ETCカード、公共交通系ではSuica、ICOCA、PiTaPaなどだけでなく、CI-CAなどバスに特化したものなど、多数存在する。これらのカードでは、固有のカードIDが付与されている。これらを用いることで、個人の時系列的な行動を追跡できる。これらのデータを活用すれば、上記のような個人の規則性や適用性を理解する一助になるのではないかと考えた。

## 2. 研究の目的

本研究課題においては、交通行動における規則性と、交通インパクトに対する順応プロセスを理解することを目的とし、そのために交通ICカードデータを活用した分析を進める。交通行動における規則性を理解することは、交通需要予測の不確定変動分の減少に寄与し、より確実な交通サービス提供につながる事が期待される。また、順応プロセスを理解することによって、新規交通サービスの展開やあるいは撤退における戦略を議論することが可能と考えられる。

## 3. 研究の方法

交通ICカードデータを用いて個人行動の周期性と順応プロセスを検証するために、文献調査に基づく人間行動の規則性や順応プロセスの研究状況調査、交通ICカードデータの活用に関する事例調査を行うとともに、行動の規則性と順応プロセスの研究を実施した。

## 4. 研究成果

### (1) 行動の規則性と順応プロセスに関する文献調査

文献調査により、人間行動の規則性と順応プロセスに関する現状を整理した。規則性分析に関しては、時系列解析を援用し、マクロ量として変動をとらえるアプローチや、パネル調査を用い、人の生活リズムを考え、活動の変動を表現する方法など様々な研究蓄積があることが明らかとなった。これらの研究においては、複数日に渡る移動に関する調査を行うパネル調査を活用している。長期間にわたるパネル調査を実施することは非常に困難であり、その研究は限定されたデータセットを用いて進めていることが多い。順応プロセスとしては、ある一定のシェアをもつと飛躍的に利用者が増える、バンドワゴン効果やMass Effectなどが分析の視点として有効であることが明らかとなった。

### (2) 交通ICカードデータ分析の研究動向

交通ICカードデータについては、自動的に乗客の移動が記録されることもあり、簡易かつ膨大なデータが入手できる点で注目を浴びており、精力的に研究が実施されている分野である。交通ICカードデータを用いることで、限定的であるものの交通需要の変動を理解することが可能である。また、乗客行動の記録から公共交通サービスの状況を再現することが可能となるため、サプライ（供給）サイドの評価を行うことも可能になる。

交通ICカードを用いることで実行可能な分析を表-1のように整理した。多くの交通事業者、特にバス事業者は、その労力の問題もあり、乗降客の調査は交通ICカードがなければ年1回程度の実施に過ぎず、なおかつ乗降を調査するのみであって、バス停間需要を調査することは多くなかった。完全なバス停間ODとならない場合もあるが、これらのデータは戦略・戦術レベルで特に重要なものとなる。また、非集計レベルのデータは、一時点のものであっても、たとえば乗り継ぎ地点の特定や乗り継ぎ路線間の関係などを知ることができ、乗り継ぎ施設の整備など長期計画の策定に加え、路線再編など戦術的計画にも有用である。さらに、多時点データを用いることで、路線間の代替性や、乗客需要の変動理解を知ることができ、サービス頻度設計に資する情報や、あるいは比較的予測が可能な需要の周期変動とホワイトノイズを分離するなど、様々な活用方法が期待できる。

### (3) Oyster Card データを用いた行動の周期性に関する分析

Oyster Cardとは、ロンドンで導入されている交通ICカードである。ここでは、このカードデータに関する2週間のデータを用い、利用者の公共交通ネットワーク上の経路選択に関する変動や安定性の分析を進めた。なお、分析にあたり、ロンドンの公共交通システムについて若干説明をする必要がある。ロンドンには、地下鉄(Underground)、バス、国鉄(Overground)にてOyster Cardを用いることができる。本研究においては、経路選択行動の分析を目的とし、バス利用データを用いて分析を進めた。ただし、バスについては、均一料金制であり、乗車時に支払い手続きをするのみであり、また仕様上乗車バス停を特定することが困難であったため、ここでは朝一番の利用路線の安定性について、2ステップ、3ステップのマルコフモデルによって分析を進めた。これは、前日や前々日、あるいは前週同一曜日の選択によって、当日の路線選択が説明できる確率を計算し、その関連性を分析するものである。図1は、2ステップについて、曜日ごとにマルコフ確率の推移を示したものであり、AA\_Aは前日および前週同一曜日と対象日の利用路線が同一であることを示している。この結果からは、安定的

に同一路線を使い続けている割合は決して多くないようである。このような結果となった理由として、同じ路線に系統番号が違うものが運行しているためとも考えられる。そのため、路線ごとの重複率を算定し、重複率が大きければ同一路線と扱うことで分析を進めた。その分析結果例を図2に示すが、これは40%以上路線が重複している場合に同一路線として扱った場合の結果である。AA\_Aの確率が大きく上昇しており、乗客は重複路線においてはいずれの路線も使うが、その一方で朝一番の行動においては比較的安定的であることが確認できたと考える。

また、Oyster Card データを用いた関連研究として、料金形態ごとに利用者を分類し、秋休み期間に着目した利用回数の変動を分析した。図3に秋休み期間とそれ以外の利用回数の比率を示すが、子どもだけに直接関係する秋休み期間が、その他の利用回数の変動に影響することを確認した。

(4) 日本の地方都市における IC カードデータを用いた乗客需要変動の理解

前述のとおり Oyster Card データには仕様上の制約が多々あったため、新たに日本のある地方都市の2ヶ月間の交通 IC カードデータをお借りし、さらに分析を進めた。この都市では、距離制の運賃を導入していることもあり、乗降バス停が明確に記録されている。そのため、Oyster Card データと比較して正確な移動を分析することが可能となる。このデータを活用し、(a)利用実績からの利用者特性に関するクラスター分析、(b)バスの所要時間変動分析、(c)バスの定時性にかかわる分析、(d)天候が交通需要およびサービスレベルの変動に及ぼす影響の分析、などを実施している。ここではその結果の一部を示す。

まずは、バス利用のされ方に関する利用者特性を分類するために、交通 IC カードデータを用いて利用者をクラスター分析により分類した。その結果、定期券保持者、年配の方、乗り継ぎを多くされる方、その他の4種類に分類することができた。図4に定期券保持者および高齢者の出発時刻比率を示すが、利用者特性によって大きく異なることが確認できる。また、サプライサイドの分析として、バスの定時性指標を算定し、曜日や時間帯ごとに変化を考察した(図5)。なお、定時性指標とは、平均待ち時間を平均車頭間隔で除したものである。その結果、駅に近づくにつれて定時性が悪化していること、その影響は時間帯によって異なることなど、バスサービスの評価も交通 IC カードを用いて分析可能であることが確認できた。さらには、天候による影響についても検討を進め、少なからず影響があることを確認している。

(5) Mass Effect に関する研究

以上交通需要の変動とその規則性に関し

表1 交通 IC カードデータ分析の可能性

抽出データ/レベル	空間的次元	オペレータの利用
需要/集計	バス停	サービス設計に直接利用
	路線	
	ネットワーク	
デマンド/非集計 (一時点)	路線	"hyperpath"を許容するようなサービス設計
	ODパターン	乗り継ぎや所要時間の最小化
	トリップチェイン、ジャーニー <sup>1</sup>	どこに乗り継ぎ情報や待機施設を作るか
デマンド/非集計 (多時点)	路線	選択の柔軟性や、日々の変動からの"white noise"の分離→最大容量(n番目交通需要)計画など
	ODパターン	需要の時間変動、要求最大容量、サービス途絶の影響考察
	トリップチェイン、ジャーニー <sup>2</sup>	よりよりマーケティング(ユーザーグループごとの嗜好など)
供給サイド <sup>2</sup>	バス停	定時性、待ち時間
	路線	運行距離、スケジュールの適切性、バスの団子運転
	ネットワーク	路線に関するもの+路線間での連鎖反応

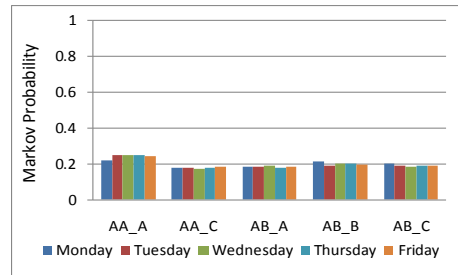


図1 マルコフ確率(2ステップ)

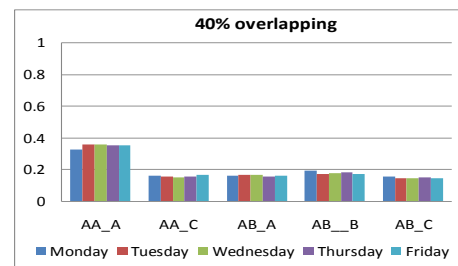


図2 マルコフ確率(2ステップ,40%重複率)

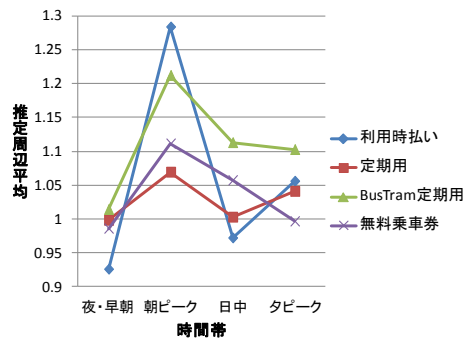


図3 時間帯と利用回数比率の関係

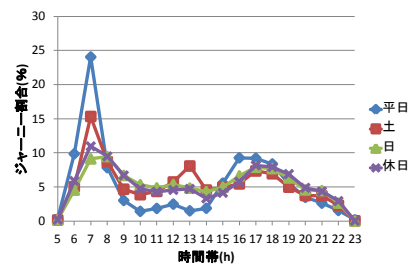
て、交通 IC カードを通じて様々な視点から分析を進めた。このような需要変動やその規則性に関する分析についての研究蓄積も多くあり、さらに手法論も多く存在する一方で、順応プロセスに関しては、研究蓄積も多くなかった。また、入手した交通 IC カードにおいて、大きなインパクトが確認された事例がなく、明示的な行動変化の収斂を確認できるまでには至っていなかった。そのため、まずは適用可能な理論構築に重点をおいた。

Mass effect とは、利用数が増加することでさらに利用を促進するといった相乗効果を指す。公共交通、特に路線バスにおいては、利用者の減少がサービス低下を招き、それが利用者減少の拍車をかける、という負のスパイラル構造に関して多くの関心があるが、逆の正の関係も生じる。つまり、行動科学やマーケティングの分野で進められているこれらの利用者の選択行動理論を援用することで、公共交通の利用促進に関して貢献するのが本研究のめざすところである。ここでは、その理論的フレームを議論するために、利用者を、公共交通を主体的に利用するもの (transit-oriented) と自動車を主体的に利用するもの (car-oriented) に分け、また母集団をリーダーとフォロワーに分けた上で、利用者の car-oriented と transit-oriented の選択確率を定義し、その選択確率の推移を分析した。結果の一部として、様々な初期の利用者比率の元で選択を繰り返すことでどのような状態に収斂していくかを分析した結果例を示す。図 6 (a) が基本ケースであり、このケースは、mass effect を想定しないものである。この結果からは、transit-oriented な人が少ない状態で均衡状態となることがわかる。これに対し、リーダーの動きにフォロワーが依存するケース (図 6 (b)) や、mass effect を想定したケース (図 6 (c)) において、transit-oriented のシェアが進む可能性もある。一方で、パラメータ設定によっては、transit-oriented なライフスタイルをフォロワーが採用しない例 (図 6 (d)) もあり、現実の状況がこれらのモデル分析によってどのように解釈できるのか、より詳細な検討が必要といえる。

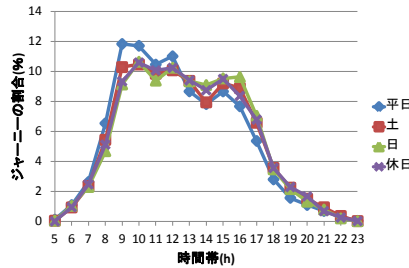
(6) 公共交通ネットワーク上の乗客行動理解のための交通 IC カードデータの活用

最後に、交通 IC カードデータを用いた乗客の経路選択行動に関する追加的な分析に関して報告する。本研究課題の最終目標は、公共交通の利用需要のより深い理解であり、その理解に基づきニーズにマッチした公共交通システムの構築を進め、公共交通利用を促進することで、結果として持続可能社会への貢献をめざしている。そのためには、乗客の流れを適切に予測する乗客配分モデルの構築が重要であり数多くの研究蓄積があるが、それらの配分モデルで仮定されている乗客行動について、現実との整合性がしばしば議論となっている。そのため、交通 IC カードデータを用いることで、利用者の行動に則した公共交通ネットワーク上での行動モデルの構築が可能と考え、分析を進めた。用いたのは、前述の日本の地方都市におけるバス利用データである。

ここでは、乗客は運行頻度や所要時間などによって、利用可能な路線系統を取捨選択し、そして利用可能性のあるバス路線のうちで



(a) 定期券保持者



(b) 高齢者

図 4 利用者特性ごとの出発時刻比率

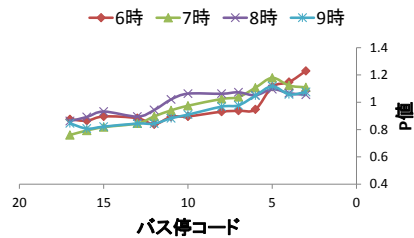
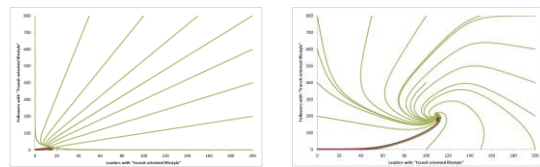
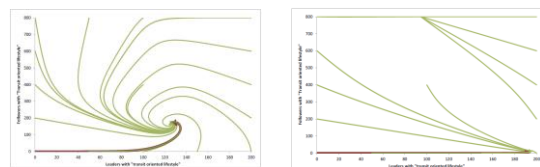


図 5 定時性指標算定結果



(a) 基本ケース

(b) リーダー効果



(c) Mass Effect

(d)異なるパラメータ設定

図 6 transit-oriented な人の遷移

最も先にバス停に到着したものを利用する、という仮定に基づいたモデル化を試みた。なお、一般的な乗客配分モデルでは、目的地に到着するための期待所要時間を短くすることに貢献する路線系統のみを利用すると仮定しており、特に複雑なネットワークでは、その現実性が問題となっている。本研究では、その点についての課題への対応という位置づけである。まず、図 7 にある OD ペアについて利用状況を整理して示すが、図のように



いくつか存在する路線に対して利用が分散しており、ケースバイケースで利用路線を変更している可能性が確認できる。

また、表2は、上記のOD aについて、路線を選択肢に入れるか否かをロジットモデルで表現した結果を示したものである。この結果から、特に所要時間や待ち時間が長い経路は選択肢に含めない可能性があること、そして選択肢集合の大きさも影響を及ぼしている可能性があることが確認できる。

(7) 研究成果の総括

以上のように、本研究では交通 IC カードデータを活用し、交通需要変動と順応プロセスの理解に努めた。交通需要変動の理解については、乗客特性ごとに大きく移動の傾向が異なることなどが明らかとなり、これらの知見は今後のより適切な交通需要予測に役立つものと考えられる。一方で、順応プロセスについては、その分析に適した交通 IC カードデータが得られなかったこともあり、理論的な枠組み構築にとどまっている。今後、新たな交通 IC カードデータの入手を試み、順応プロセスの理解に努める必要があると考えられる。また、公共交通ネットワーク上での経路選択行動に対して交通 IC カードデータを活用可能であることも研究成果より明らかとなっており、今後も交通 IC カードデータを用いることで今まで明らかにならなかった現象に関する理解に努め、公共交通の利用促進への貢献を進めたい。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 14 件)

- (1) Nguyen, T. T., 倉内文孝, “交通ICカード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・講演集, Vol. 47, CD-ROM, 2013.6 (査読なし)
- (2) Schmöcker, J.-D., Shimamoto, H. and Kurauchi, F., “Estimation of Transit Hyperpaths with Smartcard data”, 土木計画学研究・講演集, Vol. 47, CD-ROM, 2013.6 (査読なし)
- (3) 北脇徹, 嶋本寛, 宇野伸宏, 中村俊之, “ICカードデータを用いた公共交通利用者の行動変動分析”, 土木計画学研究・講演集, Vol. 47, CD-ROM, 2013.6 (査読なし)
- (4) Schmöcker, J.-D., Hatori, T. and Watling, D., “Dynamic Process Model of Mass Effects”, Transportation, accepted for publication, 2013, 10.1007/s11116-013-9460-y (査読あり)
- (5) Babei, M., Schmöcker, J.-D. and Shariat-Mohaymany, A., “The impact of irregular headways on seat availability”, Transportmetrica, accepted for publication, 2013 (査読あり)

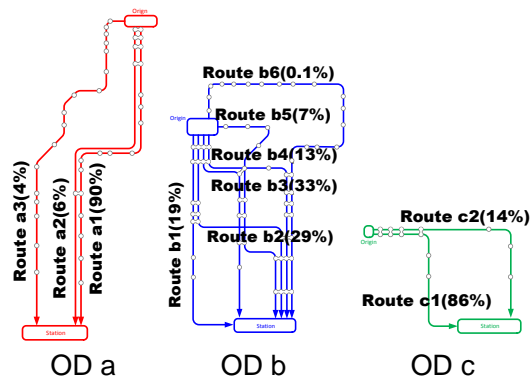


図7 路線系統選択の例  
表2 モデル推定結果例

	beta	t-value
Travel time $\beta_t$	-10.7	-18.6
Waiting time $\beta_{wn}$	-10.8	-6.83
Choice set size $\beta_{zn}$	-1.61	-0.23
sample size	4033	
$\rho^2$	0.51	
LL(0)	2385.6	
L*	1177.7	

- (6) Schmöcker, J.-D., Shimamoto, H. and Kurauchi, F., “Generation and Calibration of Transit Hyperpaths”, Procedia – Social and Behavioral Sciences, accepted for publication, 2013 (査読あり)
- (7) Kurauchi, F., Schmöcker, J.-D. and Shimamoto, H., “Understanding Demand/Supply Variations on Transit Network Using Smartcard Data”, Proceedings of the 5th International Symposium on Transportation Network Reliability, 1011-1024, 2012. (査読なし)
- (8) 嶋本寛, 倉内文孝, Schmöcker, J.-D., “車両容量と路線相関を考慮した乗客配分モデルを用いた公共交通の所要時間信頼性評価”, 土木学会論文集D3, Vol. 68, No.5 (土木計画学研究・論文集第29巻), I\_701-I\_707, 2012 (査読あり)
- (9) 嶋本寛, 倉内文孝, Schmöcker, J.-D., Luo, H. and Hassan, S., “交通ICカードデータを用いた公共交通利用者行動分析の可能性”, 土木計画学研究・講演集, Vol. 45, CD-ROM, 2012.6 (査読なし)
- (10) Kurauchi, F., Schmöcker, J.-D., Fonzone, A., Hemdam, S.M.H., Shimamoto, H., and Bell, M.G.H., “Estimation of Weights of Times and Transfers for Hyperpath Travellers”, Transportation Research Record, 2284, 89-99, 2012, 10.3141/2284-11 (査読あり)
- (11) Shimamoto, H., Schmöcker, J.-D. and Kurauchi, F., “Optimisation of a Bus Network Configuration and Frequency Considering the Common Lines Problem”, Journal of Transportation Technologies, 2(3),

- 220-229, 2012.7., 10.4236/jtts.2012.23024  
(査読あり)
- (12) Schmöcker, J.-D., Fonzzone, A., Bell, M.G.H., Kurauchi, F. and Shimamoto, H., “Frequency-based Transit Assignment Considering Seat Capacities”, Transportation Research, Part B, Vol. 45, Issue 2, pp. 392-408, 2011., 10.1016/j.trb.2010.07.002  
(査読あり)
- (13) Hassan, S. M., Sheng-YU, C., Schmöcker, J.-D., Kurauchi, F. and Fukuda, D., “Passengers’ Hyperpath Choice Behaviour Observation on Transit Network Using Smartcard Data”, 土木計画学研究・講演集, Vol. 43, CD-ROM, 2011. (査読なし)
- (14) 山川央, 倉内文孝, 坂穂崇, “生活交通サービスの持つ多様な機能とその評価方法の整理”, 土木計画学研究・講演集, Vol. 44, CD-ROM, 2011. (査読なし)
- [学会発表] (計7件)
- ① Nguyen Thanh Tinh, 倉内文孝, “交通ICカードを用いた利用者分類と降雨時の行動変化に関する研究”, 平成24年度土木学会中部支部研究発表会講演概要, 愛知, 321-322, 2013.3
- ② Luo, H., Shimamoto, H., Kurauchi, F., and Schmöcker, J.-D., “Evaluation of Service Punctuality of London Buses Using the Bus Travel Log Data”, 17th International Conference of Hong Kong Society for Transportation and Traffic Studies, 香港, 2012.12.
- ③ Fonzzone, A. , Schmöcker, J.-D., Kurauchi, F. and Hassan, S. M., “Strategy Choice in Transit Networks”, paper presented at Conference on Advanced Systems for Public Transport, Santiago, Chile, 23-27, June, 2012.
- ④ Kurauchi, F., Schmöcker, J.-D., Shimamoto, H. and Hassan, S. M., “Empirical analysis on passengers’ hyperpath construction by smart card data”, paper presented at Conference on Advanced Systems for Public Transport, Santiago, Chile, 23-27, June, 2012.
- ⑤ 坂穂崇, 倉内文孝, “生活交通サービス導入・再編のための運行計画支援システムの構築”, 平成23年度土木学会中部支部研究発表会講演概要, 長野, CD-ROM, 2012.3
- ⑥ 山内慎, 倉内文孝, 坂穂崇, “期待一般化費用最小経路群探索による岐阜市バスネットワークのサービスレベル評価”, 平成23年度土木学会中部支部研究発表会講演概要, 長野, CD-ROM, 2012.3
- ⑦ Hassan, S.M., Sheng-Yu, C., Kurauchi, F. , Fukuda, D. and Shimamoto, H. “Commuters’ Route Choice Behavior in a Transit Network Based on London’s Oystercard Data”, Paper

presented at BiNs (Behavior in Networks) workshop, Seoul, South Korea, 2011.6.17-18., 2011.

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

倉内 文孝 (KURAUCHI FUMITAKA)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：10263104

### (2)研究分担者

シューマッカーヤンディヤク

(SCHMÖCKER JAN-DIRK)

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70467017

嶋本 寛 (SHIMAMOTO HIROSHI)

京都大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号：90464304