

スマート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

嶋本 寛¹・倉内 文孝²・Schmöcker, Jan-Dirk³・羅 罕勳⁴・Hassan, Seham⁵

¹正会員 京都大学講師 大学院工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

E-mail: shimamoto@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

²正会員 岐阜大学准教授 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜市柳戸1-1)

E-mail: kurauchi@gifu-u.ac.jp

³正会員 京都大学准教授 大学院工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

E-mail: schmoecker@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁴非会員 京都大学修士課程学生 大学院工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂)

⁵非会員 岐阜大学博士前期課程学生 大学院工学研究科 (〒501-1193 岐阜市柳戸1-1)

全世界で実用化されているスマートカードの多くは、暗号化された個人IDデータが記録されており、個人の行動の多様性を把握することができる。さらに、バスとGPSシステムがリンクしている場合、履歴データを集計することによってバスの運行履歴を再現することができ、公共交通の定時性評価やそれと需要の変動についても分析できるであろう。

一方で、均一料金制度のバスの場合、利用者は乗車時、降車時の2回車載器にタッチする必要はなく、スマートカードデータからOD需要を直接把握できない。さらに、データが膨大となることが多く、いかに分析の目的に沿ったデータのみを抽出するかが重要となる。本稿では、これらのスマートカードデータを用いた交通行動分析の可能性と課題について議論する。さらに、英国・ロンドンで導入されているOyster Cardの2週間分の利用履歴データとバスの位置情報データを用いて、乗客需要と遅れに関する分析した例を示す。

Key Words : *Smartcard data, Traffic demand estimation, variability of travel demand*

1. はじめに

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。

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、AYUCA, 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。限定された条件ではあるものの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だろうか。さらに、バスと GPS システムがリンクしている場合、履歴データを集計することによってバスの運行履歴を再現することができ、公共交通の定時性評価やそれと需要の変動についても分析できるだろう。

本研究では、交通系 IC カードデータを用いることで、個人の移動に関する変動を理解することを目標として設定し、本稿では、海外文献を中心にスマートカードデー

タを用いた研究を整理し、スマートカードデータのもつ潜在的な可能性について議論したい。また、筆者らがやっているスマートカードデータを用いた分析例についても触れることとする。

2. スマートカードデータを用いた研究の動向

(1) 交通需要変動の理解に関する研究

交通計画などを策定する際には、平日の平均的な需要を元に議論することが一般的であるが、その一方で交通需要は時間的に変動することは周知の事実である。一方で、このような需要の変動を捉えることは容易ではない。そのようなデータを収集する際には、複数日に渡る移動に関するダイアリー調査を行うパネル調査が一般的であった（たとえば、CHASE¹⁾、Mobidrive²⁾など）。また、これらのデータを用いて類似した交通行動をとる個人を分類した研究も見られる。たとえば、Schlich and Axhausen³⁾は、Mobidrive データを用い、移動日ごとの類似性について計測しており、Kitamura et al.⁴⁾は、行動の時間的変動について検証を行っている。このように、交通変動を理解するための研究に関しては、特に交通行動分析の専門家が精力的に行っている。しかしながら、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のが現状である。

(2) スマートカードデータを用いた交通需要変動の理解

一方、スマート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。たとえば、中沢、佐々木⁵⁾は、ETC データを活用し、その利用データから利用者のパターン分類を試みている。区間ごとの利用者の特性を知ることによって、より効果的な交通管制につなげることが可能と期待される。

また、公共交通に関する交通需要変動や行動変化に関する研究も多い。Asakura et al.⁶⁾は、時刻表が変更される前後でのスマートカードデータより、個人の時刻表への対応行動について分析を進めている。Morency et al.^{7, 8)}は、複数日に渡るスマートカードデータを用い、公共交通利用者の行動の変動について分析を進めている。これらの分析では、利用者のクラスター分類および利用の開始/中止に着目した分析を行っており、特に公共交通利用の中止の有無を判断するには、少なくとも1年以上の履歴が必要と指摘している。また、Park et al.⁹⁾は、乗り継ぎ場所、乗車時間分布などの個人ごとの特性を元に、乗客需要の将来予測を試みている。さらに、Agard et al.^{10, 11)}は、データマイニング手法によって公共交通利用者の行動を分析し、クラスター分析の結果4つのグループに分類されること、そしてそれは4つの料金体系（大人、学生、

高齢者、他）と対応づけられることを示している。

さらに、筆者らは、2週間のロンドンの Oyster Card データを用い、利用者のバス路線選択行動の安定性について分析を加えている¹²⁾。この分析においては、特に利用者が hyperpath を選択するかどうかに関心をあてて考察を加えている。さらに、西内、轟¹³⁾は、IC カード DESUCA のデータを用い、乗客の行動パターンを分析した。その結果、乗客行動には日々大きな変動があるものの、集計した需要としてはかなり安定であることを示している。

以上のように、スマートカードデータを用いた交通需要変動分析は、様々なデータソースを用いて精力的に実施されているといえる。特に、利用者を特性ごとに分類していくことが多いようである。

(3) スマートカードデータによるサプライサイドの評価

スマートカードデータは乗客行動の記録であるが、このデータ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。Eom et al.¹⁴⁾は、ソウルの地下鉄サービスの定時性をスマートカードデータを用いて分析している。その結果、時間帯によって大きな変動があることを示している。特に、ピーク時間帯において、サービスの信頼性はより低く、需要とサービスの信頼性には強い関係があることを示している。また、Uniman et al.¹⁵⁾は、ロンドンの地下鉄ネットワークにおけるサービス障害の利用者への影響評価を試みており、Trepanier and Vassiviere¹⁶⁾や、Reddy et al.¹⁷⁾は、スマートカードデータからバスサービスの需要サイド、供給サイドの統計値の算出を行っている。

(4) スマートカードデータの活用に関するレビュー

さらに、Pelletier et al.¹⁸⁾は、スマートカードデータの活用に関して、詳しいレビューを行っており、その中では、上記で示したような研究を3つの目的に従って整理している。

- 戦略レベルに関するもの：需要予測あるいはマーケティングのための長期間にわたる利用者の傾向を知る。
- 戦術レベルに関するもの：サービス頻度や路線設計を検討するための乗客行動パターン把握。
- 運用レベルに関するもの：サービス評価指標を算定する。

また、それぞれのレベルについてスマートカードを利用する場合の利点と欠点が、Pelletier et al.¹⁸⁾により整理されている。

3. スマートカードデータの活用に関する整理

ここでは、Pelletier et al.¹⁸⁾のレビューも参考にしつつ、それを拡張する形でスマートカードを用いることで実行可能な分析を整理する。表-1 にその結果を示す。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、乗降客の調査はスマート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。均一料金制をとるケースでは、乗車時あるいは降車時のいずれかのみリーダーにかざすため、完全なバス停間 OD とならない場合もあるが、距離運賃制などをとるケースでは、詳細な OD を把握することが可能であり、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が発生している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、たとえば n 番目に大きな交通需要の把握など、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。

バスの定時性や団子運転の発生状況など、運用レベルで活用できることも多い。このように、スマートカードデータを用いることで今まで個別に調査していた集計量がほぼ自動的に入手可能となるとともに、今までは分析

が困難であった非集計（個人）レベルでの分析が可能になるといえる。

4. 乗客需要と遅れに関する分析

本章では、スマートカードデータを用いた分析の一例として、Oystercard の処理データとバスの位置情報を記録した iBus データを活用し、乗客需要とバスの遅れについて分析を行った結果を紹介する。

Oystercard は、英国、ロンドン市内の公共交通機関で使用されている IC カードであり、バス、地下鉄をはじめとするロンドン市内交通局 (Transportation for London) が運営するすべての公共交通機関に対して利用可能である。ここでは、本章の分析対象であるバス利用に関するデータの概略を示す。

本分析にあたり、2011年10月16日（日）から3週間の Oystercard データ (7,674,985 サンプル) が入手できた。Oystercard に含まれるデータ項目は表-2 に示すとおりである。なお、ロンドン市内のバスは均一運賃制度をとっており運賃は前払い式であるため、降車バス停に関するデータは含まれていない。さらに、乗車バス停に関するデータは、Oystercard とバスの位置情報が連結されていないため、一部データで欠損しており、さらに記録されている場合でもその信頼性は必ずしも高くはない。そのため、本章では路線ごとに利用者数を集計して分析をすすめる。

また、バスの位置情報を記録した iBus データが 2011年11月6日から11月13日に関して入手できた。iBus デ

表-1 スマートカードデータを活用した分析の可能性

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
	トリップチェーン、 ジャーニー ¹	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
	トリップチェーン、 ジャーニー ²	よりよいマーケティング (ユーザーグループごとの嗜好など)
供給サイド ²	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

¹降車データが必要であるが、一般的には記録されていないこともあるが、推定可能なことも多い¹⁸⁾。

²スマートカードのデータから直接引き出すことが可能なケースやあるいはバスの位置情報など他のデータを用いることもある。

表-2 Oystercardに含まれるデータ項目

データ項目	備考
カード利用日, 利用時間	利用時間は分単位で記録
カードID	
乗車バス停	一部データで欠損あり. 記録されている場合でもデータの信頼性は低い
乗車バス路線番号	
割引運賃の種類	

表-3 iBus データに含まれるデータ項目

データ項目	備考
走行日	
走行路線番号・方向	
停車バス停	
連番	系統ごとに最初のバス停から順に付与
予定出発時間	分単位で記録
実到着時間	秒単位で記録
実出発時間	

※バス停ごとに記録

ータはバスがバス停に到着するごとに記録され、含まれるデータ項目は表-3 に示すとおりである。なお、11月12日のデータに関しては、多くのバス停で実到着時刻、実出発時刻の欠損が見られたため、以下では11月12日のデータを分析対象から除外する。

既往研究でも需要とサービスの信頼性には強い関係があることが示されているが、以下では「乗降客数が多い路線はバス停における停車時間が増加するため、遅延が大きくなる」という仮説を措定して、これを Oystercard データ、iBus データの両方を用いて検証する。なお、両方のデータが利用可能な2011年11月6日から11月13日(11月12日は除く)の7日間を分析対象とする。分析対象期間における Oystercard 利用者はのべ1,852,746人、iBus データに記録されているバスの運行データは748路線、のべ662,551走行であった。

図-1 に iBus データに記録されている各走行の終点バス停の1つ前のバス停における予定出発時刻と実出発時刻の乖離の分布を示したものである。横軸については、右に行くほど予定出発時刻から遅れて出発していることを示している。両者の乖離が0のときの度数が最も大きいものの、10分以上の遅れが生じている走行も少なからず存在していることがわかる。一方で、予定時刻よりも早発を表す乖離値が負値を示す走行も少なからず存在している。なお、ロンドンのバス交通には、利用者には時刻表が明示的に示されておらず、頻度のみの提示のため、早着も許容される。そのため、このような結果になったものと考えられる。

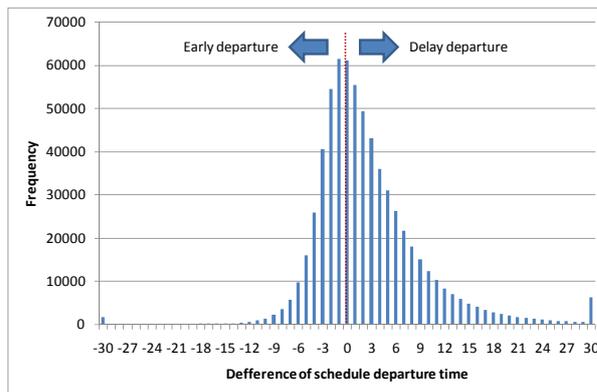


図-1 予定出発時刻と実出発時刻の乖離
(最小乖離: -429分, 最大乖離: 428分)

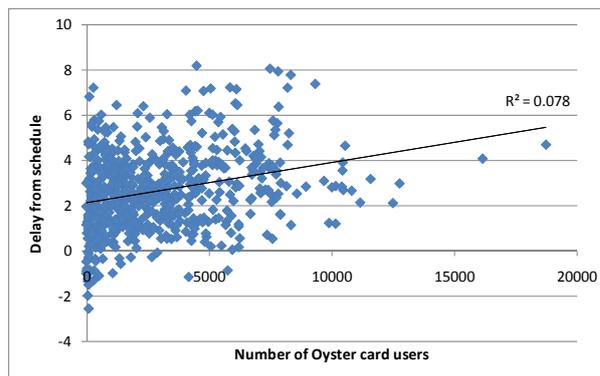


図-2 予定出発時刻と実出発時刻の乖離

次に、路線ごとの Oystercard 利用者数と、各走行の最終バス停における予定出発時刻と実出発時刻の乖離の路線ごとの平均値の関係を図-2 に示す。なお、5分より大きい早発の走行(予定出発時刻と実出発時刻の乖離が5分より小さい走行)、あるいは30分より大きい遅発の走行(予定出発時刻と実出発時刻の乖離が30分より大きい走行)に関しては、iBus データに記録されている実出発時刻か予定出発時刻のいずれかが正しくないと考えて、平均の算出には含めなかった。図-2 を見ると、Oystercard 利用者が多い路線ほど、終点の1つ前のバス停における発車時刻が遅れる傾向があることが確認されるが、回帰分析の相関係数が0.078と必ずしも高くはないといえる。今後は、さらに時間帯ごとに分析するといった工夫を行うとともに、乗車時間とバス位置情報に記録されている各バス停での停車時刻とをマッチングすることにより乗車バス停を推定し、バス停ごとの需要と遅延に関する分析を行う必要があるといえよう。

5. おわりに

本稿においては、交通系 IC カードデータを用いることで、個人の移動に関する変動を理解することを目標として設定し、海外文献を中心にスマートカードデータを用いた研究を整理し、スマートカードデータのもつ潜在

的な可能性について整理した。スマートカードデータは、今まで入手できなかった情報が眠っている宝の山ともいえるが、一方で膨大なデータであり、なおかつデータ処理如何ではその情報をうまく抽出できないことも多い。さらに、トリップ目的などはわからないため、従来のパネル調査データを完全にリプレイスできるものではない。データの持つ特性を十分理解し、分析を進めていく必要があるといえるだろう。

また、ここでは Oystercard データを用いた分析例を示したが、その他の交通 IC データを活用した分析を現在進めており、講演時に可能であればそれらの結果も併せて示したい。

謝辞

本研究は、科学研究費挑戦的萌芽研究「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」（課題番号：23656312，期間：平成 23～24 年，研究代表者：倉内文孝）として実施された。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) Doherty, S.T., Milloer, E. J., “A computerized household activity scheduling survey”, *Transportation*, 27(1), 75-97, 2000.
- 2) Axhausen, K.W. et al. “Observing the rhythms of daily life: a six-week travel diary”, *Transportation*, 29(2), 95-24, 2002.
- 3) Schlich, R., Axhausen, K.W., “Habitual travel behavior: evidence from a six-week travel diary”, *Transportation*, 30, 13-36, 2003.
- 4) Kitamura, R., Yamamoto, T., Susilo, Y.O., Axhausen, K.W., “How routine is a routine? An analysis of the day-to-day variability in prism vertex location”, *Transportation Research Part A*, 40, 259-279, 2006.
- 5) 中沢航太, 佐々木邦明, “高速道路利用データを活用した個人の利用パターン抽出と需要構造の解析”, *土木計画学研究・講演集*, 44, CD-ROM, 2011
- 6) Asakura, Y., Iryo, T., Nakajima, Y. and Kusakabe, T., “Estimation of behavioural change of railway passengers using smart card data”, *Public Transport*, 2012
- 7) Morency, C., Trépanier, M. and Agard, B. (2006). “Analyzing the Variability of Transit Users Behaviour with Smart Card Data”, *The 9th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems – ITSC*, Toronto, Canada, September 17-20. (8)-(13), 2006.
- 8) Morency, C., Trépanier, M. and Agard, B. “Measuring Transit Use Variability with Smart-Card Data”, *Transport Policy*, Volume 14, Issue 3, pp.193-203, 2007.
- 9) Park, J.Y., Kim, D.J. and Lim, Y.T., “Use of Smart Card Data to Define Public Transit Use in Seoul, South Korea”. In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2063, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 3-9, 2008.
- 10) Agard, B., C. Morency, and M. Trépanier, “Mining Public Transport User Behaviour from Smart Card Data”, *12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing – INCOM 2006*, Saint-Etienne, France, May 14-19, 2006.
- 11) Agard, B., Morency, C. and Trépanier, M., “Mining Smart Card Data from an Urban Transit Network”, In: *Encyclopedia of Data Warehouse and Mining*. Ed. John Wang, 2008.
- 12) Hassan, S.M., Chen, S.Y., Schmöcker, J.-D., Kurauchi, F. and Fukuda, D., “Passengers’ Hyperpath Choice Behavior Observation on Transit Network Using Smartcard Data”, *Proceedings of Infrastructure Planning*, 43, CD-Rom, 2011.
- 13) 西内裕晶, 轟朝幸, “IC カード DESUCA を用いた公共交通利用者のトリップパターンの変動に関する分析”, 第 10 回 ITS シンポジウム論文集, 2-A-01, 2011.
- 14) Eom, J. K., Choi, M. H. and Lee, J., “Evaluation of Metro Service Quality using Transit Smart Card Data”, the 91st Annual Meeting Compendium of Papers, *Transportation Research Board*, 2012.
- 15) Uniman, D. L., Attanucci, J., Mishalani, R. G. and Wilson, N. H. M., “Service Reliability Measurement Using Automated Fare Card Data”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2143, pp. 92-99, 2010.
- 16) Trépanier, M., Vassivière, F., “Democratized smart card data for transit operators”, *15th World Congress on Intelligent Transport Systems*, New York, USA, 12 pages, 2008.
- 17) Reddy, A., Lu, A., Kumar, S., Bashmakov, V., Rudenko, S., “Application of Entry-Only Automated Fare Collection (AFC) System Data to Infer Ridership, Rider Destinations, Unlinked Trips, and Passenger Miles”, *88th Annual Meeting of the Transportation Research Board CD-ROM*, Washington, 21p., 2009.

(2012.5.7 提出)

Possibility for Analysis on Passengers' Behaviour Using Smart Card Data

Hiroshi SHIMAMOTO, Fumitaka KURAUCHI, Jan-Dirk SCHMÖCKER,
Hansyun LUO and Seham M. HASSAN