プローブデータおよびETCデータを活用した 都市内定期集配送車両の行動特性に関する分析

玉川 大¹・横田 孝義²・前川 和彦³・河本 一郎⁴

¹正会員 京都大学大学院助教 工学研究科都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1)
E-mail: d-tamagawa@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学大学院教授 工学研究科都市社会工学専攻 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1)
E-mail: tyokota@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp

³正会員 阪神高速道路株式会社 計画部調査課 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3)
E-mail: kazuhiko-mackawa@hanshin-exp.co.jp

⁴正会員 阪神高速道路株式会社 計画部調査課 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3)
E-mail: ichiro-komoto@hanshin-exp.co.jp

都市内貨物自動車交通の中から定期集配送車両に着目し、その行動特性について、過去に実施のプローブ調査結果ならびに阪神高速道路のETCデータを用いて分析した。分析の結果、定期集配送車両は、集配送時の走行経路を選択するにあたり、経路の標準的な所要時間情報と併せて当該集配送の前後における集配送の存在等も意思決定要因としているものと考えられた。また、定期集配送車両は日々の所要時間の変動が大きくてもその走行経路を変更しない傾向にあり、集配送計画段階で相当程度の所要時間変動を見込んでいたと考えられた。この見込むべき所要時間変動として、道路交通状況に起因する変動以外に運転者自身に起因する変動が存在し、各種道路交通施策の検討・評価の際には、この変動の影響を考慮する必要があるものと考えられた。

Key Words : *urban freight transport, scheduled pick up/delivery truck, urban expressway, probe data, travel time variability*

1. はじめに

日本国内の都市圏では、交通事故や交通渋滞、さらには排気ガス等環境問題といった様々な道路交通問題が顕在化している。都市内の道路交通は、乗用車交通と貨物自動車交通に大別することができるが、特に貨物自動車交通は都市の経済活動を支える上で必要不可欠な存在であるだけでなく、他の交通手段への転換が難しいものである。従って、経済活動へ影響を与えることなく、各種道路交通問題を解決するためには、都市における道路のあるべき姿を貨物自動車交通の視点から検討することが重要と考えられる。そのためには、まず貨物自動車の集配送行動を分析し、その道路利用に関する行動特性を明らかにする必要がある。なお、都市内の道路交通状況は日々変動しているため、分析にあたっては、この日々の道路交通状況の変動も考慮する必要があると考えられる。

貨物自動車はその輸送形態により、一日の集配送スケジュールが固定されている定期集配送タイプと、そうで

ないタイプに大別できる。定期集配送タイプの場合、集配送先が日々固定されていることから、複数日に渡ってその走行実態を調査することにより、日々の道路交通状況の変動に応じた集配送行動の分析が可能となる。また、その集配送計画の立案にあたっては、過去の道路交通情報等を参考に、輸送事業者の意思を十分に反映する形で入念に行われているものと想定される。一方、集配送先が日々変動する場合には、日々の道路交通状況の変動と集配送行動との関係が分析不可能であるとともに、集配送先までの道路交通情報を十分に蓄積できないために、事業者の理想通りの集配送計画の立案が困難であることも想定される。従って、貨物自動車の行動分析にあたっては、まずは定期集配送車両を対象とすることが効果的であると考えられる。しかしながら、定期集配送車両に着目して、その行動を日々の道路交通状況の変動も考慮した上で分析した事例は見られない。

以上の背景を踏まえ、本研究では、貨物自動車交通の中から定期集配送車両に着目し、その集配送行動を分析

することにより、貨物自動車の道路利用に関する行動特性および行動意思決定要因を明らかにし、都市における道路のあるべき姿を貨物自動車交通の視点から検討する上での一助とすることを目的とする。なお、分析にあたっては、筆者らが過去に京阪神都市圏で実施したプローブシステムによる貨物自動車の走行実態調査(以下、プローブ調査)結果ならびに阪神高速道路のETCデータを活用する。

以下、本稿の構成を示す。第2章では、貨物自動車の行動分析に関する既往の研究を振り返り本研究の位置づけを整理する。併せて、本研究での分析の流れを示す。第3章では、プローブ調査結果を活用した行動分析を行い、第4章において阪神高速道路のETCデータを活用した分析を行う。最後に、第5章で結論を示すとともに、今後の課題を整理する。

2. 既往の研究と本研究の位置づけおよび本研究での分析の手順

(1) 既往の研究と本研究の位置づけ

自動車の行動分析に関しては、過去より経路選択行動や出発時刻選択行動に代表される数多くの研究が行われてきている。ここでは、本研究の対象である貨物自動車の行動分析に関する既往の研究を振り返り、本研究の位置づけを整理する。

貨物自動車の行動を分析するにあたっては、実際の行動に関するデータの取得が前提となるが、その困難さもあり、当初は配車配送計画モデル¹²⁾に代表される行動規範モデルの構築が中心になされてきた。

その後、実際の行動データを活用した研究が行われるようになり、例えば、東京都市圏物資流動調査(大型貨物車走行ルート調査)の結果を活用し大型貨物車の走行経路モデルを構築したもの³⁾や、物流センサスのデータを用いて県間輸送を対象に輸送品種と高速道路利用行動との関係进行分析したもの⁴⁾の他、特殊車両通行許可申請データを用いてコンテナ車の経路選択特性进行分析したもの⁵⁾や、アンケートによりコンテナ車の走行経路を調査し、道路の幾何構造面を中心に経路選択要因进行分析する取り組み⁶⁾も行われている。以上のように、国内の既往の研究では、物資流動調査や物流センサス等、既存の調査結果が有効的に活用されているが、その反面、車種が限定されており、また、調査期間が限定されていることにより日々の道路交通状況の変動は考慮されていない。

一方、海外においても、都市地域における経済活動の発展もくは環境問題の改善に資することを目的として、貨物自動車交通に関する調査、分析、モデル化が欧州や北米の様々な国で行われている⁷⁾。例えば、事業所アン

ケート調査等により、集配送1回転あたりのトリップ数や平均トリップ長等のトリップ特性をマクロに分析したもの⁸⁾⁹⁾や、GPS機器を用いて業務車両の行動データを直接取得し同様の分析を行ったもの¹⁰⁾がある。また、集配送の需要や指定時間等の条件から集配送トリップチェーンを類型化した上で走行距離をモデル化し、物流施策の効果等を定性的に考察したもの¹¹⁾や、同様のモデルにより渋滞による所要時間の平均値や分散の増加が集配送距離や集配送時間に与える影響を感度分析したもの¹²⁾も見られる。しかし、いずれも集配送トリップの基本的なパターンをマクロに分析・モデル化したものであり、個別車両の行動特性の解明を目指した分析とはなっていない。

以上のように、貨物自動車の行動分析に関する既往の研究は、特定の車種を対象とした行動特性の分析や、個別車両の行動特性には着目せずに集配送トリップの基本的なパターンをマクロに分析したものが中心となっている。また、既往の研究では、日々の道路交通状況の変動は考慮されていない。一方、本研究は、定期集配送という一つの輸送形態に着目し、複数車種を対象とした一定期間に渡る調査結果を活用して、日々の道路交通状況の変動や、事業者による集配送計画行動を意識した上で、その行動特性を分析するものである。

(2) 本研究での分析の手順

本研究での分析の手順を図-1に示す。本研究では、まず、筆者らが過去に実施したプローブ調査結果を活用して定期集配送車両の行動进行分析した。分析にあたり、集配送行動に影響を与える要因として以下の三点を想定した。まず、日々の道路交通状況の変動が集配送行動にどのような影響を与えるのかに着目した。二点目には、各集配送の条件の違いが集配送行動にどのような影響を与えるのかに着目した。また、プローブ調査期間中の約1週間、調査対象エリア内に存在する阪神高速道路16号大阪港線が工事のため終日全面通行止となっていた。そこで、三点目として、通行止という既存の道路ネットワーク形状の変更が集配送行動へ与える影響を分析することにより、現行の道路ネットワーク条件をどのように考慮して集配送行動を行っているのかを考察した。

図-1 分析の手順

プローブ調査結果を活用した分析の後に、別途、阪神高速道路のETCデータを活用した分析を行った。ここでは、日々の道路交通状況の変動が集配送行動へ与える影響にのみ着目し、対象道路は限定されるがデータ数は某大という、プローブデータとは異なる性質を持つETCデータを活用した、より大規模な分析を行った。

3. プローブ調査結果を活用した定期集配送車両の行動分析

(1) プローブシステムによる貨物自動車の走行実態調査

筆者らは、京阪神都市圏における貨物自動車の走行実態を多面的に把握することを目的として、平成21年10月の1カ月間、プローブシステムを活用した貨物自動車の走行実態調査を実施した。プローブシステムは従来より道路の旅行時間推定の観点からその活用策が検討されており、広範囲で効率的にデータを収集するべくタクシーに適用した事例¹³⁾¹⁴⁾や、特定の道路の旅行時間分布を把握するため路線バス¹⁵⁾や幹線輸送車両¹⁶⁾に適用した事例等が見られる。一方、今回のように都市内を走行する貨物自動車を対象に、その個別の車両の挙動を分析しようとするものは、筆者の知る限りでは見られない。

本プローブ調査の概要は以下のとおりである。

- ・調査期間：平成21年10月1日～10月31日
- ・調査対象エリア：大阪を中心とした京阪神都市圏
- ・調査協力企業：21社
- ・調査台数：300台

今回の調査台数は、大阪府の貨物自動車保有台数(軽貨物車を除く)の約0.1%に過ぎない。そこで、この限られた台数で極力現状を反映した調査結果を得るべく、京阪神都市圏中間年次調査(物流関連調査)結果¹⁷⁾を参考に、地域別、積荷種類別に目標調査台数を定めた。表-1に示すとおり、地域別発生台数がある程度目標に近づいた一方で、積荷の種類は目標から大きく乖離してしまった。

図-2は、全調査期間における全調査対象車両の走行軌跡を示したものである。京阪神都市圏の主要な道路網を概ね網羅した調査結果が得られたことが分かる。また、今回のプローブ調査結果を整理したところ、貨物自動車を利用する道路が多頻度利用道路と低頻度利用道路に大別され¹⁸⁾、このうち多頻度利用道路については、平成17年度道路交通センサスで断面交通量の多かった道路と概ね一致していることが確認できており¹⁹⁾、当初の目的通り、貨物自動車の走行実態を空間的にはある程度捉えた調査結果が得られたものと考えられる。

このプローブ調査は、元々定期集配送車両のみに焦点を当てた調査ではないため、調査対象車両には定期集配送車両以外も含まれる。そこで、調査対象車両の中から

表-1 プローブ調査対象車両の属性

(a) 地域別発生台数

	目標	実績
大阪市内	90	136
大阪北部	30	25
大阪東部	60	35
大阪南部	60	60
大阪府外	60	44
計	300	300

(b) 積荷種類別発生台数

	目標	実績
化学工業品	60	24
機械工業品	120	30
軽工業品	120	196
その他	—	50
計	300	300

図-2 調査対象車両の走行軌跡(全調査期間)

一日の集配送スケジュール(集配送先および集配送時間帯)が決まっている定期集配送車両を抽出したところ、11社に所属する69台が存在した。この69台の車種構成は、2～3t車が41台、4t車が8台、10t車以上が14台、特殊車両(タンクローリー)が6台であり、様々な車種から構成されている。また、宅配車両のように集配送エリアのみが概ね決まっている車両が4社から計37台得られた。大半の定期集配送車両は一日に複数箇所へ集配送を行っていた。そこで、車両の一日の行動を各集配送トリップに分割し、この集配送トリップ単位で分析を行うこととした。

(2) 日々の道路交通状況の変動と集配送行動との関係

本節では、日々の道路交通状況の変動が集配送行動に与える影響を分析する。図-3は、各集配送トリップについて、日々の所要時間の最大値と最小値を示したものである。一つの青点と赤点のペアが一つの集配送トリップに相当する。図-4は最大所要時間と最小所要時間の比で示したものである。これらは、代表的なものとして、10社からピックアップした48台の計100集配送トリップの平日での結果を示したものである。なお、残りの1社(2台が所属)については、京阪神都市圏外の都市へ向かう極端にトリップ長の長いものであったため、対象外とし

図-3 各集配送トリップにおける最大所要時間と最小所要時間

図-4 各集配送トリップにおける最大所要時間と最小所要時間の比

図-5 集配送トリップの所要時間分布の一例

た．図より日中の時間帯では所要時間の変動がかなり大きい集配送の存在が確認できる．図-5は、これらの中から日中の集配送の代表例2つについて、日々の所要時間と出発時刻の分布を示したものである．左側は毎日ほぼ同じ時刻に出発し、所要時間の変動がかなり大きいケースであり、右側は所要時間もある程度変動しているが、それと同程度に出発時刻も変動しているケースである．なお、この両ケースを含め、図-3, 4に掲載した集配送トリップではいずれも日々の走行経路が固定されていた．すなわち、定期集配送車両では、日々の所要時間が相当程度変動しても走行経路を変える傾向は見られず、集配送計画立案段階で相当程度の所要時間の変動を見込んで

いることが想定される．なお、代替経路に乏しく経路変更が困難な集配送トリップも存在するが、いずれにせよ、日々の所要時間を多く見込む必要があることは効率的とは言えず、貨物自動車の視点から見た都市の道路のあり方を考える上でも、日々の所要時間に対する適切な情報提供、さらに日々の所要時間の変動を抑え、道路の所要時間信頼性を向上させることは重要な課題と言える．なお、本節では代表的な48台の計100トリップの結果を示したが、残りの定期集配送トリップについても同様の傾向が見られており、本節の結果は本節で抽出したトリップ特有のものではない．

(3) 集配送条件と集配送行動との関係

本節では、集配送条件の違いが集配送行動へ与える影響を分析する。ここでは、集配送条件に関する詳細な情報が得られた一部の定期集配送車両を対象に、その中から同一の車両が同一の二地点間を複数の集配送条件で走行していたケースを抽出し、集配送条件の違いが集配送行動にどのような影響を与えるのかを分析する。

今回分析対象としたケースを図-6に示す。ケース1は大阪市港湾部から大阪府北部へ向かうトリップであるが、複数の時間帯で集配送が行われていた。本ケースでは、図-7に示すように時間帯により走行経路が異なっており、朝9時台には高速道路が利用されている一方、夕方16時台では一般道路が利用されていた。この両トリップの特性を確認したところ、9時台のトリップは到着後30分程度で再び次のトリップへ出発している一方、16時台のトリップは一日の最後に集配送拠点へ帰還するものであった。従って、所要時間に関する制約があまりなく、料金の不要な一般道路を利用しているものと推察される。

ケース2は大阪市南部から大阪府東部へ向かうものであるが、やはり複数の時間帯で集配送が行われていた。このケースでは早朝4時台では一般道路が利用されていたが、12時台では高速道路が利用されていた(図-9参照)。本ケースの場合、4時台のトリップは一日の最初のトリップであったことから、それ以前のトリップ等の影響を受けることがなく、基本的には自由に出発時刻を調整できるものと考えられる。さらに、早朝の時間帯であり所要時間も比較的安定している(図-10参照)。これらの条件により、料金が不要な一般道路が利用されているものと考えられる。しかしながら、この4時台のトリップに関しては、図-11に示すように、何らかの理由により出発時刻が遅れた日には高速道路を利用していた(高速道路利用日のデータは図-10から省いている)。そこで、このトリップの集配送条件を確認したところ、配送先での荷卸時間が6時に厳密に固定されていた(早着した場合も現地で6時まで待機)。すなわち、何らかの理由により出発時刻が遅れ、6時の荷卸時間に間に合わないと判断された場合には、高速道路が選択されていると考えられる。本節で示したような同一のOD間を複数の時間帯で集配送を行う車両は他にも複数見られたが、本節の結果と同様に、集配送の時間帯、前後の集配送の有無や前後の集配送との時間間隔により経路を使い分けているケースが多く見られており、今回示した結果が今回抽出したケースに特有のものということはない。

以上を整理すると、定期集配送車両は、集配送先での時間指定は言うまでもなく、集配送を行う時間帯や当該集配送の前後における集配送の有無等も考慮して走行経路を決定しているものと考えられる。このことは、貨物自動車の行動は個別の集配送トリップ単位で分析するの

図-6 分析対象ケース

図-7 ケース1の走行経路

図-8 ケース1の日々の所要時間

図-9 ケース2の走行経路

図-10 ケース2の日々の所要時間

図-11 ケース2(4時台)の日々の出発・到着時刻

みでなく、前後の集配送も含めた一日の集配送行動全体の流れにも着目して分析する必要があることを示唆していると言える。

(4) 道路ネットワーク条件と集配送行動との関係

a) 阪神高速道路16号大阪港線フレッシュアップ工事

本節では、プローブ調査期間中に阪神高速道路16号大阪港線が工事のため1週間終日全面通行止となっていたことに着目し、一部路線の全面通行止という道路ネットワークの一部欠落が定期集配送車両の行動へ与える影響を分析することにより、定期集配送車両が現行の道路ネットワーク条件をどのように考慮して集配送行動を行っているのかを分析する。

阪神高速道路16号大阪港線フレッシュアップ工事は平成21年10月18日午前4時～26日午前6時の間、天保山出入口～東船場JCT間の約8.3kmの区間で実施され(図-12参照)、工事期間中は対象区間が終日全面通行止となった。

本節で行うような、道路ネットワーク条件の変更に伴う自動車の行動変化を分析した研究としては、首都高速道路上での突発事故発生時の行動変化について、主に利用ICの変化に着目してETCデータから分析した事例²⁰⁾の他、高速道路の新規供用による利用路線および利用ICの変化²¹⁾や出発時刻の変化²²⁾をETCデータから分析した事例等がある。一方、本節では、都市圏の道路ネットワークから高速道路の一部区間が通行止により欠落するとい

図-12 阪神高速16号大阪港線通行止工事区間

う事例を扱うため、自動車が高速道路の利用をやめて一般道路へ転換することも考えられる。また、阪神高速道路のネットワークは、同一入出路間を結ぶ経路が基本的に一つしかなく、通行止により利用経路が変更されると、必然的に利用入出路も変更される。この場合、真の出発地・目的地が同一であるトリップが通行止により経路を変更したのか、それとも真の出発地・目的地自体がそもそも異なっていたのか、真の出発地・目的地情報を持たないETCデータでは判別出来ない。従って、本節の場合には、プローブ調査等による、一般道路も含めた道路ネットワークでの車両の追跡調査結果を用いる必要がある。

b) 通行止が集配送行動へ与える影響

プローブ調査結果の中から大阪港線を利用していた定期集配送トリップ(56トリップ)を抽出し分析を行った。分析の結果、通行止に伴う定期集配送車両の行動は、以下の4種類に大別された。

(パターン1)阪神高速道路以外的高速道路を利用

阪神高速道路ではなく他の高速道路を利用するため、所要時間と併せて通行料金も変化する。

全56トリップ中、6トリップがこのパターンであった。

(パターン2)阪神高速道路の他路線を利用

16号大阪港線以外の阪神高速道路を利用するものであり、所要時間は変わるが、阪神高速道路は均一料金制であるため通行料金は基本的に変わらない。

全56トリップ中、23トリップがこのパターンであった。

(パターン3)通行止区間手前まで通常経路を利用

通常どおりの経路を利用し通行止区間手前・直後で高速道路を乗降するものであり、通行料金は変わらない。

全56トリップ中、19トリップがこのパターンであった。

(パターン4)高速道路を利用しない

高速道路を利用せずに常に一般道路を通行するパターンであり、通行料金は不要である。

全56トリップ中、8トリップがこのパターンであった。

図-13 各パターンの代表例（—：通常時経路，—：大阪港線通行止時経路，：通行止区間）

図-14 通常時と通行止時の平均所要時間の比較

図-15 通常時と通行止時の高速道路利用可能距離の比較

各パターンの走行軌跡の代表例を図-13に示す。また、各トリップの通常時と通行止時の平均所要時間を比較したものを図-14に示す。なお、複数の車両が同一の条件（同一OD、同一時間帯、同一経路）で走行しているケースも存在したが、データの偏りを防ぐため、そのような場合には代表的な一つのデータのみ掲載している。パターン1の事例は、通行止期間中に近畿自動車道、阪和自動車道等を利用するものであった。この場合、高速道路料金は約1.5～2倍に増加するが、所要時間はむしろ短い傾向にあり、料金負担を増やししてでも通常時と同程度の所要時間が担保される経路を選択している。パターン2の事例は、阪神高速以外的高速道路を利用する適切な代替経路が存在しないものが大半であり、通常時よりも所要時間が増加している。パターン3は、高速道路を利用する適切な代替経路が存在しないものが大半であった。一方、パターン4では、パターン3と同様に利用可能な範

囲で通常の経路を利用することも考えられる。そこでパターン4の各トリップについて、通行止時も通常の経路を可能な範囲で利用した場合の高速道路利用距離を算出し、通常時の利用距離と比較した。図-15にパターン3の各トリップと併せてその結果を示す。パターン3のトリップの方が通行止時の高速道路利用ロスが小さい傾向にあり、通行止に伴う高速道路利用価値の減少幅が大きくなると、一般道路へと転換される傾向にあることが想定される。

c) 通常時の経路選択行動に関する考察

通行止時の走行経路は、16号大阪港線が欠落した道路ネットワーク条件下での各トリップにとっての最適経路であると言える。しかしその一方で、本節での分析対象トリップが通常高速道路を利用する意向にあるものであることを考慮すると、パターン4は通行止時に本来の意向に沿わない経路選択を余儀なくされていると考えられ

る。そこで、通行止時も意向に沿って高速道路を利用していたパターン1および2のトリップを対象に、通常時と通行止時の所要時間と高速道路料金を比較することにより、通常時の経路選択行動要因を考察する。ただし、通行止時の実所要時間は、特に高速道路区間では、大阪港線通行止に伴う迂回交通の影響により通常時とは異なっている可能性がある。そこで、通行止時に利用されていた経路の通常時での所要時間を推定する必要がある。ここでは、高速道路区間は各高速道路会社HP²³⁾²⁴⁾掲示の標準的な所要時間情報(阪神高速道路は時間帯別に表示)を用い、一般道路区間は通行止時の実所要時間をそのまま用いた。なお、通行止時利用経路の一般道路区間は大阪港線と離れており、ここでは大阪港線通行止の影響を受けていないと判断して差し支えないものとする。

図-16に各経路の通常時での所要時間を比較した結果を示す。通行止時経路の方が高速道路料金が高かったパターン1では、所要時間は通行止時経路の方が短い傾向にあることから、単純に所要時間だけではなく、高速道路料金も加味して経路を選択していると考えられる。一方、両経路で料金に差のないパターン2では、通常時経路の所要時間は、日々の変動は大きいものの、その平均値では通行止時経路の標準所要時間より短いことから、通常時において、標準的な所要時間に照らし合わせた適切な経路選択がなされていると言える。以上のことから、道路ネットワーク条件の側面から集配送行動を見た場合、高速道路料金と標準的な所要時間情報を勘案の上、適切に走行経路を選択していると考えられる。

図-16 各経路の通常時所要時間の比較

(5) プローブ調査結果を活用した行動分析結果

本章の分析結果をまとめると、定期集配送車両は、その走行経路の選択にあたり、当該集配送の時間帯、当該集配送の前後における集配送の有無といった集配送条件、標準的な所要時間情報、さらに複数の高速道路利用の選択肢がある場合には、それらの料金と所要時間との関係を意思決定要因としているものと考えられた。ここで、当該集配送前後における集配送の有無等の条件も意思決定要因と考えられることは、貨物自動車の行動分析にあたっては、個々の集配送トリップのみでなく一日の集配送行動全体の流れにも着目する必要があることを示しているものと考えられた。また、一度走行経路を確定させると、日々の所要時間の変動が大きくてもその経路を変更しない傾向が確認され、集配送計画立案段階で相当程度の所要時間の変動を見込んでいることが想定された。

しかしながら、本章の分析は、69台のプローブデータという、京阪神都市圏全域から見ればごく限られた規模のデータに基づくものであり、今後、本章で分析した上記意思決定要因について、別途アンケート調査等による大規模な検証を行う必要があるものとする。

4. 阪神高速道路のETCデータを活用した定期集配送車両の所要時間変動に関する分析

前章での分析結果は、限られたサンプル数のデータに基づくものであり、本来であればより大規模なデータに基づく検証が望まれる。前章の分析結果の一つとして、定期集配送車両は日々の所要時間の変動が相当程度大きくても経路を変更しない傾向にあり、集配送計画段階で相当程度の所要時間変動を見込んでいる可能性が確認されたが、この結果に関しては、高速道路のETCデータを活用すれば、高速道路利用車両に限定され、かつ真の発着地を結ぶデータではないものの、より大規模な分析が可能となる。そこで本章では、定期集配送車両における日々の所要時間変動と走行経路との関係について、より一般性を担保した分析結果を得るべく、プローブ調査対象エリアと同じ京阪神都市圏に存在する都市高速道路である阪神高速道路のETCデータを活用した分析を行った。

(1) 対象データの概要

本章で対象としたETCデータは以下のとおりである。

対象期間：平成20年9月1日～30日のうち平日20日間

対象範囲：阪神高速道路全線

対象車種：貨物自動車(1ナンバー、4ナンバー)

なお、ここでは定期集配送トリップを「平日20日間のうち16日以上、同一入出路を同一時間帯(時間帯は1時間)に利用しているもの」と定義し、分析対象とした。対象

定期集配送トリップ数は、全体で11,626トリップ(1ナンバー(大板)：1,725トリップ、1ナンバー(中板)：5,191トリップ、4ナンバー：4,710トリップ)であった。

対象期間における阪神高速道路全体のETC利用率は、大型車(1ナンバー(大板)が該当)で約95%、普通車(1ナンバー(中板)、4ナンバーが該当)で約74%であった。今回の分析対象車両が高速道路を多頻度利用する属性のものであることを考慮すると、今回の対象車両に限定すれば、上記利用率がさらに高くなる可能性も考えられる。

この阪神高速道路のETCデータと前章のプローブ調査データの性質を比較するべく、両データについて、集配送トリップ数の車種別割合と、発生・集中トリップ数の地域別割合を比較した。なお、阪神高速道路のETCデータでは真の出発地、目的地が分からないため、地域別割合の算出にあたっては、地域の単位をある程度大きく設定した上で、利用入出路位置から推測した。表-2に集配送トリップ数の車種別割合を比較した結果を示す。両データに多少の差は見られるが、極端に異なるものとはなっていない。表-3には発生・集中トリップ数の地域別割合を比較した結果を示す。なお、発生・集中トリップ数の地域別割合に関しては、プローブデータの場合、阪神高速道路が存在しない地域内だけを走行する集配送トリップも存在するため、ここでは阪神高速道路を利用していたトリップのみを抽出して比較した。プローブ調査データの方が大阪東部、奈良方面で多く、大阪以西(阪神間、神戸方面)で少なくなっているものの、その他の地域に関しては概ね類似した割合となっている。

(2) 定期集配送車両の所要時間変動幅の分析

今回分析対象の定期集配送トリップについて、同一入出路・時間帯で走行が確認できない日は、高速道路を利用せずに一般道路を利用しているか、または入出路を変

表-2 集配送トリップ数の車種別割合

	プローブ	ETC
1ナンバー(大板)	21%	15%
1ナンバー(中板)	52%	45%
4ナンバー	27%	41%

表-3 発生・集中トリップ数の地域別割合

	発生トリップ		集中トリップ	
	プローブ	ETC	プローブ	ETC
大阪市	33%	33%	40%	30%
大阪府東部、奈良方面	21%	9%	15%	10%
大阪府南部、和歌山方面	22%	19%	23%	19%
大阪府北部、京都方面	12%	16%	16%	15%
神戸市、神戸以西	11%	15%	5%	16%
阪神間	2%	8%	2%	10%

えて利用しているか、もしくはその日は集配送を実施していないか、いずれかの可能性が考えられる。従って、定期集配送トリップの日々の所要時間の最大値と最小値をトリップ毎に整理することにより、少なくともこれだけの変動幅は許容しているという、所要時間の許容変動幅の下限値を整理することができるものと考えられる。

本章での分析と類似した分析事例として、高速道路の多頻度利用者の見込み所要時間に関する分析が行われており、首都高速道路を対象とした分析²⁵⁾や、都市間高速道路を対象とした分析²⁶⁾、さらには、積雪路面凍結等による道路容量の低下が所要時間変動要因と考えられる地方主要幹線道路を対象とした分析²⁷⁾も行われている。これらはいずれもアンケートにより多頻度利用者に直接見込み所要時間を聞いている。一方、本章では、実際の見込み所要時間を調査している訳ではないが、対象を営業車両である定期集配送車両に絞り込んだ上で、ETCデータを活用することにより規模を拡大させた分析を行う。

上記の既往の研究では、高速道路の多頻度利用者は年間の所要時間の90%タイル値程度の所要時間を見込んでいることが報告されている。そこで本章においても、所要時間の最大値は除外することとした。まず最初に、所要時間の許容変動幅として、トリップ毎に以下の値を算出した。

$$\text{許容変動幅} = (\text{二番目に大きな所要時間}) / (\text{最小所要時間})$$

図-17は、1ナンバー(大板)の車両を対象に、所要時間の許容変動幅と最小所要時間との関係をプロットしたものである。一部のトリップで大きな値が出ているが、これは、途中でパーキングエリアで休憩した日が存在したものと考えられる。このパーキングエリアでの休憩は運転者自らが行っているものであることを考慮すると、除外せずにそのまま許容変動幅として考慮すべきであることから、極端な例を除き分析対象に含めるものとする。また、本章で用いたETCデータの所要時間は分単位となっているため、所要時間が短いトリップの場合には所要時間の誤差が大きくなり、許容変動幅が過大に算出される懸念がある。そこで、以降は最小所要時間が5分以上のトリップのみを対象とする。

図-18に全定期集配送トリップでの許容変動幅の平均値を時間帯別に示す。20時台～5時台は概ね1.2弱で安定している。この時間帯における対象期間中の阪神高速道路の渋滞状況を確認したところ、今回の結果に影響するような渋滞は発生していなかったことから、この変動は道路交通状況に起因するものではなく、運転者自身に起因する日々の変動と判断できる。この運転者起因の変動要因としては、例えば日々の運転者の体調、PAでのトイレ休憩、日による運転手の交代等が想定される。なお、渋滞が発生していない場合、車両がある特定の日のみ極

図-17 所要時間の許容変動幅(1ナンバー(大板))

図-18 時間帯別平均許容変動幅

図-19 所要時間別平均許容変動幅

端に速い速度で走行したことにより、最小所要時間が極端に短くなり、その結果、許容変動幅が過大に算出されてしまうことも考えられる。そこで、これらの時間帯の定期集配送トリップについて、最小所要時間での速度が極端に速い(制限速度+10km/h以上)トリップと、そうでないトリップに分けて許容変動幅を整理したところ、その差は0.02程度と大きくなかったことを確認している。

一方、6時～19時台の時間帯は、特に朝夕の時間帯で1.6前後と許容変動幅が大きくなっており、道路交通状況に起因する所要時間の変動が生じているものと考えられる。

引き続き、許容変動幅の平均値を所要時間別に整理した。その結果を図-19に示す。なお、最小所要時間が50分以上のデータは、数が少なかったため除外した。道路交通状況に基づく所要時間変動が考えられる6～19時台については、所要時間の大小に関わらず変動幅がほぼ一定、すなわち、所要時間に比例して変動時間も大きくなっていることが分かる。一方、20～5時台については、所要時間の増加に伴い変動幅は緩やかに低減する傾向にあり、運転者に起因すると考えられる変動は所要時間の大小にそれほど依存しないことが確認できる。このように、運転者自身に起因する所要時間変動が存在することにより、道路インフラサイドでの各種施策により道路交通状況に起因する所要時間変動が抑制されたとしても、その全てがそのまま貨物自動車にとっての便益とはなり得ず、一定程度以上の変動抑制が実現されなければ効果が生じない可能性も考えられる。このことは、所要時間変動の抑制に限らず所要時間の短縮にも当てはまる可能性がある。従って、今後における道路整備のあり方の検討や各種道路交通施策の評価を行う上でも、貨物自動車にとってどの程度の時間変動抑制や時間短縮が実現されれば有益となり得るかについて、今後調査を行い明らかにしていく必要があるものと考ええる。

5. 結論

本稿では、貨物自動車交通の中でも定期集配送車両に着目し、その集配送行動を分析することにより、貨物自動車の道路利用に関する行動特性および行動意思決定要因の解明に取り組んだ。分析対象データには、筆者らが過去に京阪神都市圏を走行する貨物自動車を対象に実施したプローブ調査結果を用いるとともに、阪神高速道路のETCデータも併用した。分析にあたっては、日々の道路交通状況の変動が集配送行動へ与える影響、集配送条件の違いが集配送行動へ与える影響、道路ネットワーク条件と集配送行動との関係の三点に着目した。

本研究で得られた結論は以下のとおりである。

- ・定期集配送車両は、集配送時の走行経路を選択するにあたり、当該集配送の時間帯、当該集配送前後における他の集配送の有無といった集配送条件、経路の標準的な所要時間情報等を意思決定要因としているものと考えられた。ここで、前後の集配送の存在も意思決定要因と考えられることは、貨物自動車の行動分析の際には個別の集配送トリップのみに着目するのではなく、一日の集配送行動全体の流れにも着目する必要があることを示唆していると考えられた。
- ・定期集配車両は、各集配送トリップにおいて日々の所要時間変動が大きくてもその走行経路を変更しない傾向が確認され、定期集配送車両の特性として、集配送計画立案段階で相当程度の所要時間の変動を見込んでいることが想定された。従って、貨物自動車の視点から見た場合においても、道路ネットワークの時間信頼性の向上が重要課題と考えられた。
- ・貨物自動車が見込むべき所要時間の変動には、道路交通状況に起因するもの以外にも、運転者自身に起因するものが一定程度存在するものと判断された。この存在のために、道路インフラサイドでの各種施策により道路交通状況に起因する所要時間変動が抑制されたとしても、その全てがそのまま貨物自動車にとっての便益とはなり得ず、一定程度以上の変動抑制が実現されなければ効果が生じない可能性も考えられる。

本研究では、一つの試みとして、プローブ調査から得られた生のデータをまず様々な角度から分析することにより集配送行動に関する何らかの特徴を考察し、その後可能なものについては、別途、ETCデータを活用しその特徴を大規模に検証するという手法を採った。しかし、集配送条件の違いが集配送行動へ与える影響ならびに道路ネットワーク条件と集配送行動との関係については、ETCデータは活用できず、今後、アンケート調査等により、より大規模な検証を行う必要があるものと考えられる。また、今後における道路整備のあり方の検討や各種道路交通施策の評価を行う上でも、貨物自動車にとってどの程度の時間変動抑制や時間短縮が実現されれば有益となり得るのかについて、調査を行い、明らかにしていく必要があるものと考えられる。そして、都市における道路整備や各種道路交通施策の評価に資するような集配送行動モデルの構築へと発展させていくことが必要であると考えられる。

謝辞：本研究で活用したプローブ調査にご協力いただいた、(社)関西経済連合会、(社)大阪府トラック協会、(社)日本ロジスティクスシステム協会関西支部の各団体、実際にトラックへ調査機器を設置させていただいた計21社の物流事業者および荷主企業の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 谷口栄一, 山田忠史, 細川貴志: 都市内集配トラックの配車配送計画の高度化・共同化による道路交通への影響分析, 土木学会論文集, No.625/IV-44, pp.149-159, 1999.
- 2) 谷口栄一, 山田忠史, 柿本恭志: 所要時間の不確実性を考慮した都市内集配トラックの確率論的配車配送計画, 土木学会論文集, No.674/IV-51, pp.49-61, 2001.
- 3) 兵藤哲朗, Schreiner, S., 高橋洋二: 東京都市圏物資流動調査を用いた大型貨物車走行経路のモデル分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.24, No.3, pp.405-412, 2007.
- 4) 関谷浩孝, 小林正憲, 南部浩之, 上坂克己: 貨物車の経路選択に与える要因, 土木計画学研究・講演集, Vol.39, CD-ROM, 2009.
- 5) 萩野保克, 兵藤哲朗, 宮原ゆい: 特車申請電子データ及び道路情報便覧データを用いた海上コンテナ車の経路選択特性, 土木計画学研究・講演集, Vol.42, CD-ROM, 2010.
- 6) Sekiya, H., Uesaka, K., Matsumoto, S. and Furukawa, M.: Transport characteristics and road structure factors influencing container truck route selection, *Proceedings of the 3rd International Conference on Transportation and Logistics*, CD-ROM, 2010.
- 7) Ambrosini, C. and Routhier, J. L.: Objectives, methods and results of surveys carried out in the field of urban freight transport: an international comparison, *Transport Reviews*, Vol.24, No.1, pp.57-77, 2004.
- 8) Vleugel, J. and Janic, M.: Route choice and the impact of 'Logistics Routes', In Taniguchi, E. and Thompson, R.G. (eds.) *Logistics System for Sustainable Cities*, pp.221-233, Elsevier, 2004.
- 9) Holguin-Veras, J. and Patil, G.: Observed trip chain behavior of commercial vehicles, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1906, pp.74-80, 2005.
- 10) Greaves, S. P. and Figliozzi, M. A.: Collecting commercial vehicle tour data with passive global positioning system technology, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2049, pp.158-166, 2008.
- 11) Figliozzi, M. A.: Analysis of the efficiency of urban commercial vehicle tours: Data collection, methodology, and policy implications, *Transportation Research Part B*, Vol. 41, No. 9, pp.1014-1032, 2007.
- 12) Figliozzi, M. A.: The impacts of congestion on commercial vehicle tour characteristics and costs, *Transportation Research Part E*, Vol. 46, No. 4, pp.496-506, 2010.
- 13) Fushiki, T., Yokota, T., Kimita, K., Kumagai, M. and Oda, I.: Study on density of probe cars sufficient for both levels of area coverage and traffic information update cycle, *Proceedings of the 11th World Congress on ITS*, CD-ROM, 2004.
- 14) 三輪富生, 石黒洋介, 山本俊行, 森川高行: 情報の信頼性と収集頻度を考慮したタクシードロブカーの確率論的最適割当計画, 土木学会論文集 D, Vol.65, No.4, pp.465-479, 2009.
- 15) 宇野伸宏, 永廣悠介, 飯田恭敬, 田村博司, 中川真治: バスプローブデータを利用した所要時間信頼性

- 評価手法の構築, 土木計画学研究・論文集, Vol.23, No.4, pp.1019-1028, 2006.
- 16) 中村俊之, 中嶋康博, 牧村和彦, 井坪慎二: トラックプローブデータを用いた旅行時間信頼性指標に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, Vol.35, CD-ROM, 2007.
- 17) 京阪神都市圏交通計画協議会: 平成 18 年度京阪神都市圏総合都市交通体系調査報告書 物流に関する現状分析と施策検討編, 2007.
- 18) Yokota, T. and Tamagawa, D.: Constructing two-layered freight traffic network model from truck probe data, *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, Vol.9, No.1, pp.1-11, 2011.
- 19) Tamagawa, D. and Yokota, T.: An evaluation of urban road network from a viewpoint of logistics by using probe car systems - A case study of the Keihanshin area in Japan - , *Proceedings of the 3rd International Conference on Transportation and Logistics*, CD-ROM, 2010.
- 20) 小根山裕之, 秋元健吾, 大口敬, 鹿田成則, 割田博: 首都高速道路における事故発生時のランプ選択行動に関する実証分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.40, CD-ROM, 2009.
- 21) 山崎浩気, 宇野伸宏, 塩見康博, 倉内文孝: 新規路線供用に伴う ETC カード利用者の行動変化分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.40, CD-ROM, 2009.
- 22) 足立智之, 藤川謙, 朝倉康夫: 所要時間信頼性の向上に伴う高速道路利用時刻変化の実証分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.39, CD-ROM, 2009.
- 23) 阪高ナビ (<http://www.hanko-navi.jp/>)
- 24) NEXCO 西日本 (<http://www.w-nexco.co.jp/>)
- 25) 梶原一夫, 中本浩志, 石田貴志, 野中康弘: 所要時間の信頼性に関する利用者意識分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.38, CD-ROM, 2008.
- 26) 足立智之, 藤川謙, 朝倉康夫: 高速道路における多頻度利用者の見込み所要時間実証分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.42, CD-ROM, 2010.
- 27) 原田優子, 上坂克己: 山岳道路における時間信頼性の低下要因と道路利用者の意識, 土木計画学研究・講演集, Vol.42, CD-ROM, 2010.

(2011.2.25 受付)

ANALYSYS OF BEHAVIOUR OF SCHEDULED DELIVERLY/PICK UP TRUCKS IN URBAN AREA USING PROBE DATA AND ETC DATA

Dai TAMAGAWA, Takayoshi YOKOTA, Kazuhiko MAEKAWA
and Ichiro KOMOTO

This paper analysed behaviour of scheduled pick up/delivery trucks in urban area. Probe survey data we conducted in the Keihanshin Urban Area and ETC data in Hanshin Expressway were used for the analysis. The results indicates that routes of pick up/delivery trips were determined in consideration of general travel time and conditions of the pick up/delivery such as existence of other pick up/deliveries before or after. However, once the route was determined, they hardly changed the route despite substantial travel time variability, so they were supposed to expect substantial margin of travel time when they planned their pick up/delivery schedules. We confirmed this travel time variability was derived not only from traffic conditions but also from drivers conditions, and supposed the necessity of considering both variabilities in evaluating traffic measures.