

旅行時間の不確実性が貨物車の配送行動へ及ぼす影響の分析*

Analysis of Influence of Uncertainty in Travel Time on Delivery Activities by Goods Vehicles

田中 康仁** 小谷 通泰*** 中村 賢一郎****

by Yasuhito TANAKA, Michiyasu ODANI and Kenichiro NAKAMURA

1. はじめに

都市内における貨物輸送では、顧客（荷主）の要求が多様化・高度化し、とりわけ時間指定に対する制約が厳しくなっている。こうした時間指定の制約を守るためには、交通状況に伴い旅行時間が時々刻々と変動することから、運送事業者は、旅行時間の不確実性を考慮して配送計画を作成することが必要不可欠となっている。

これに対して、松本ら¹⁾は、Hall²⁾の提案したモデルを用いて、到着時刻が指定されている物資輸送について、こうした旅行時間の不確実性が及ぼす影響を遅刻リスクを用いて評価している。また、所要時間の変動を考慮した確率論的な配車配送計画モデルに関しては、Laporte et al³⁾の研究がみられるが、このモデルでは、配送巡路の全所要時間を一括して取り扱っている。谷口ら⁴⁾は、各顧客間の移動に要する所要時間を動的交通シミュレーションにより生成し、確率論的に取り扱った配車配送計画モデルを構築し、より詳細な所要時間の変動を考慮している。一方近年は、ITS やプローブ技術の発展により、所要時間の変動を定量的に観測できるようになったため、実際の所要時間の不確実性を考慮した配送計画の研究もみられるようになってきた。例えば、Taniguchi et al⁵⁾は、構築した配車配送計画モデルを用いて、ITS を援用することにより、実際の道路リンクごとの所要時間の変動を考慮した現実的な配送計画の評価を行っている。さらに、貨物車に限定しないが、辻ら⁶⁾は、経路の誘導効果を検証するため、旅行時間の分散を考慮して、複数経路の内、所要時間が最短となる確率を求めている。

昨今は、車両にプローブ機器を搭載し、位置や速度などを動的に追跡調査することが可能となっており、こうしたプローブデータによる速度情報から旅行時間の変動といった不確実性の情報を取得することが可能となっている。プローブデータによる分析は、当初、地

域全体の交通量の把握や道路ネットワークの信頼性を評価するマクロな分析に使われることが多かったものの⁷⁾、プローブ技術の普及とともに、車両などの移動主体の詳細な行動を把握するミクロな分析も行われるようになってきた⁸⁾。

筆者らも、既に運転者の作業状況とリンクした貨物車プローブデータを用いて、運行パターンや走行経路、荷捌き場所といった貨物車による配送活動に関する基礎的な特性を把握するとともに、配車・配送計画を構築する上で重要と考えられる走行速度の変動や配送先である目的施設への到着時刻の分布、および目的施設での荷捌き所要時間の分布を明らかにしている^{9) 10)}。

こうした分析を踏まえて、本研究では、貨物車による旅行時間の変動を明らかにするとともに、指定時間のある配送先への出発時刻の決定行動、および複数地点を巡回する場合の配送順序の選択行動を取り上げて、旅行時間にみられる不確実性が貨物車による配送行動へ与える影響について分析を試みる。特に、こうした出発時刻の決定行動や配送順序の選択行動については、Hall¹¹⁾や辻ら¹²⁾によって既に提案されている行動モデルを適用するが、本研究では、プローブデータにより得られた精緻な実所要時間を用いて、貨物車の配送行動をこれらのモデルにより記述し得ることを示したい。

2. 使用データの概要と分析対象車両の配送形態

(1) プローブデータの特徴

平成 14 年 10 月と 11 月の 2 ヶ月間にわたって、「携帯型情報端末を用いた貨物車の共同利用型運行管理システム」の開発を目的として、国土交通省近畿運輸局、近畿トラック協会、関西 ITS 推進協議会、運輸事業者の協力により実証実験¹³⁾が実施された。本研究では、この実証実験において得られたデータの内、貨物車両のプローブデータとして、運転者の作業状況とリンクした位置情報（時刻を含む）を取り出して活用したものである。

得られたプローブデータは、5 分間隔の車両位置データと運転者による作業状況（出発・帰社、積載・荷卸・待機など）が時刻順に羅列して記録されたものである。なお、車両の位置情報に作業状況をリンクしたことにより、配送活動を詳細に把握することが可能となったが、

*キーワード：貨物車、配送行動、旅行時間、不確実性

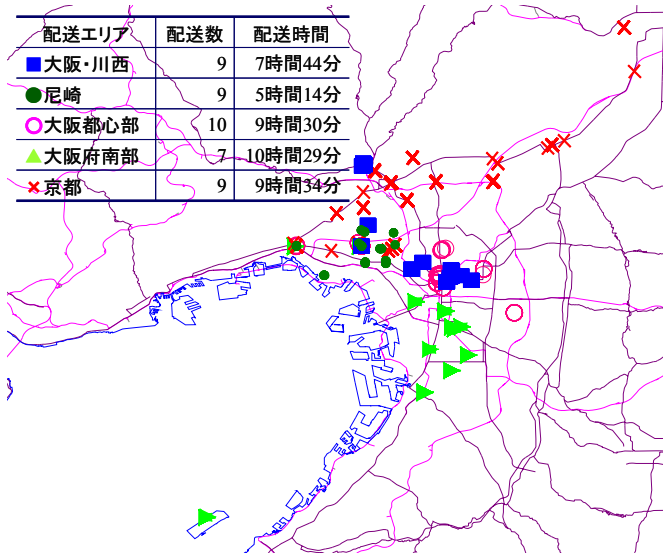
**正員、修(工)、広島商船高等専門学校 流通情報工学科

(広島県豊田郡大崎上島町東野 4272-1、TEL&FAX:0846-67-3087)

***正員、工博、神戸大学大学院 自然科学研究科

(神戸市東灘区湊江南町 5-1-1、TEL&FAX:078-431-6260)

****非会員、本田技研工業株式会社



図－1 各車両の担当配送先

こうした作業状況の取得は、PDA や携帯電話などの GPS および通信機能をもった携帯端末の画面へのタッチやボタンによる入力方式を採用し、運転者の入力ミスの軽減に努めたため、比較的精度良くデータを得ることができた。

(2) 分析対象車両の配送形態

実証実験の対象とした3社のうち、本研究では1社分のデータを分析対象とした。この会社（以降でA社と呼ぶ）では、特定の荷主（食品製造）の貨物を運ぶ貸切輸送を行っており、都市内の多地点への定期的な巡回配送をしている。A社については、9台分の2ヶ月間のプローブデータを取得しているが、このうち運行日数が多く、データ量も豊富でA社の代表的な運行状況を示す5台を取り上げて分析を行った。

図－1は、A社の車両5台分の配送担当箇所を示したものである。また、図中の表には方面別の主要配送先数と配送時間を記している。なお、いずれの車両も2トン車であり、2箇所異なる2種類の貨物を積載している。この図からもわかるように、大阪市周辺の荷卸し箇所が多い地域では、重複もみられるが、概ね、尼崎周辺、大阪市都心部、大阪府南部地域（関西国際空港）、京都方

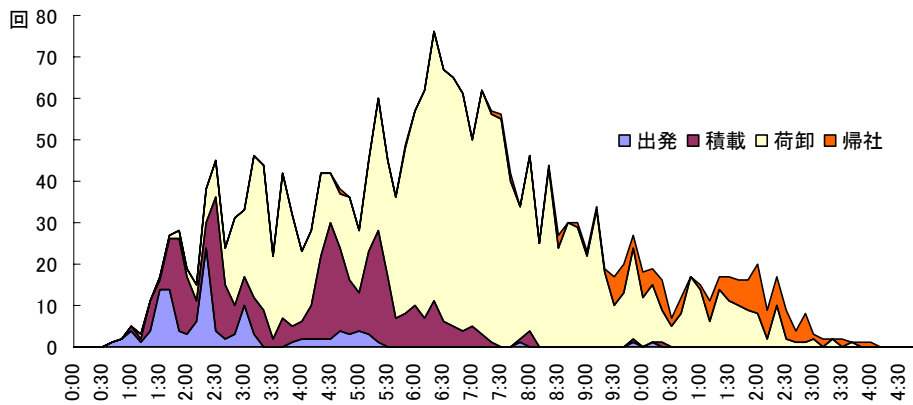
面の各担当エリアに分かれている。なお、担当エリアと配送車両は基本的には固定されている。

各車両の配送箇所数は、大阪府の南部地域に向かっていく車両以外はほぼ同程度であり、配送時間は、遠距離の大阪府南部、京都方面の車両とともに、大阪市都心部を担当している車両においても長くなっている。

図－2は、これら5台の時間帯別の運行状況を示したものである。この図では、横軸に時間を取り、出発、積載、荷卸し、帰社といった貨物車の運行状況の頻度を時間帯ごと（10分間隔の頻度）に積み上げている。これによると、早い車両は深夜の0:30頃から会社を出発し、2:30に出発のピークを迎えているが、その後4～5時台に出発する車両もみられる。積載は、出発直後から頻度が多くなり、出発後すぐに積載していることがわかる。その後、4～5時台に再度、積載のピークを迎えるが、この時間では出発の頻度に対して積載の頻度が多いことから、深夜に出発した車両が再度積載を行っているものと考えられる。荷卸しは、積載直後から確認されるが、6時台に荷卸しを行う車両が最も多く、荷主である店舗の開店時間の10時までには大半の配送が完了している。配送が概ね完了する10時以降より帰社する車両がみられ始め、遅くとも14時までには全ての車両が帰社し、業務を完了している。このように、荷主の店舗開店時間までに配送を完了すべく、深夜から早朝にかけての早い時間帯から積載、荷卸しを開始している。

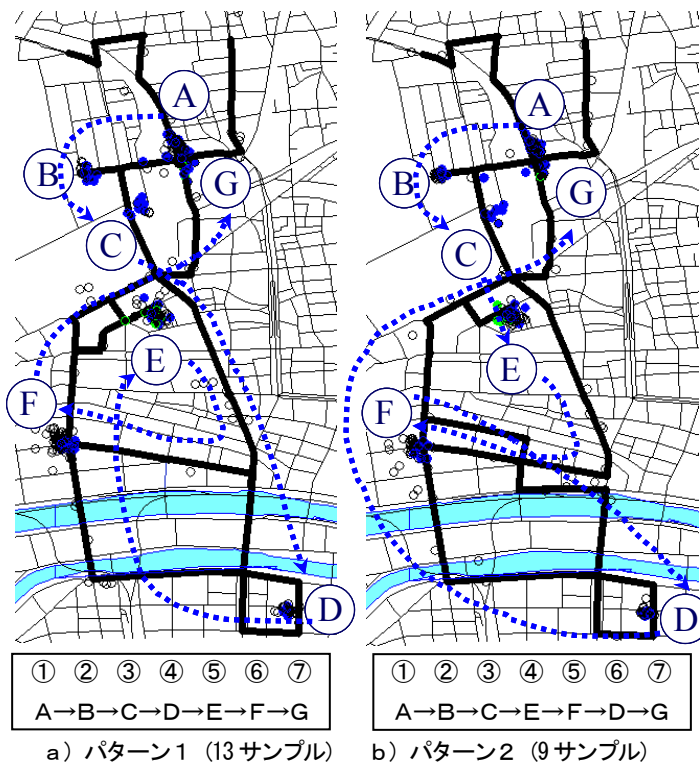
なお、以降の分析では、これらの5台の中から異なる2台の貨物車に着目して分析を行うが、2台の車両ともに、食品（菓子類）を配送先の小売店に配送しており、1～2箇所の配送先で時間指定が存在するものの、それ以外の配送先については、店舗開店の10時までには配送を完了する緩やかな時間指定である。また、配送品目が菓子類であり、ロットサイズが小さいことから、貨物車の積載容量（2t）に対する制約条件は特に問題となっていない。

3. 時間指定のある配送先への出発時刻の決定行動



図－2 時間帯別の運行状況

地点間を移動する場合、移動に費やす旅行時間が必要となるが、目的地への到着時刻を考慮して出発時刻を決定することが多い。特に物流活動においては荷主が要求する指定時刻までに物資輸送を行う必要がある。そして、配送者は指定時刻に対して遅れることのないよう最大限の努力を払うものと考えられる。しかし、交通量の変化などから輸送に費やす旅行時間



図ー3 都心部における配送順序と配送経路

は常に一定ではなく、不確実な要素であるといえる。ここでは、旅行時間の平均値と標準偏差から求められる遅刻確率を用いて、指定時刻の存在する目的施設へ遅れずに到着するための最適な出発時刻の決定行動について分析を試みる。

(1) 都心部での配送実態

都心部における配送は、配送先が複数かつ集中して存在し、余裕時間が少ないため、配送先の指定時刻に対応するために配送順序の変更がみられた。そこで、特定の1台に着目して、22日分の都心部7カ所における配送順序を調べた。この結果、図ー3に示すように大別して2通りの配送パターンに分けることができた。パターン1とパターン2のサンプル数はそれぞれ13と9であった。

この図では、配送地点A～Gを地図上に示し、図の下には配送順序を付記している。また図中では、太線で走行経路を示しているが、走行経路は走行地点の位置データと一方通行などの交通規制を考慮して最短経路探索を行って推測している。これによると、いずれも最初の3カ所の配送先へは同じ順序で巡回しているものの、C地点の出発時刻に応じて、パターン1ではC→D→E→Fの順に、パターン2ではC→E→F→Dの順にそれぞれ巡回している。こうした配送行動をとっているのは、時間指定の厳しい地点Eへの遅延を防ぐためである。

(2) 最適出発時刻の考え方

Hall¹⁴⁾ は、到着指定時刻に対する遅刻確率を与えたと

き、以下の方法により最適な出発時刻を決定することができることを示している。今、出発時刻 t_0 、到着指定時刻 t_d 、実際の到着時刻 T_a 、旅行時間の期待値 μ_t 、旅行時間の標準偏差 σ_t とする。そして、到着指定時刻に対して遅刻する確率を表す関数が前もって存在すると仮定する。このとき、旅行者は、到着指定時刻 t_d に対する最小の遅刻確率である遅刻リスク α を受け入れ、かつ出発時刻 t_0 をできるだけ遅くする行動を取ると考える。ここで、旅行時間が、期待値 $\mu_t = E(T_a - t_0)$ 、標準偏差 σ_t の正規分布に従うとすると、最適な出発時刻 t_0^* は(式ー1)により求められる。ただし、 $\Phi^{-1}(\cdot)$ は、標準正規分布の逆分布関数である。

$$t_0^* = t_d - (\mu_t + \sigma_t \Phi^{-1}(1 - \alpha)) \quad (\text{式ー1})$$

松本ら¹⁵⁾ は、こうした考え方を適用して、旅行時間の不確実性が指定時刻のある場合の貨物車による物資輸送への影響を分析している。

(3) 出発時刻の決定行動

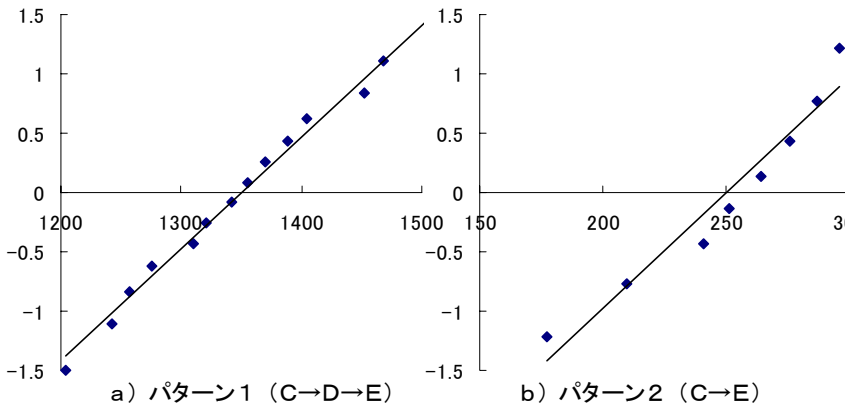
ここでは、上述の考え方をを用いて、旅行時間の不確実性を考慮し、貨物車が指定された時刻に遅刻する確率を出発時刻ごとに求め、遅刻確率の変化から出発時刻の決定行動を分析した。

先ほどの図ー3で述べたように、到着指定時刻を持つ地点Eに対する定時性を確保するため、配送順序の変更がみられた。そこで、通常の配送順序の場合(パターン1)と配送順序の変更が行われた場合(パターン2)のそれぞれの場合について、旅行時間データの正規性を確認した上で、その平均値と標準偏差から遅刻確率を算出し、出発時刻との関係を求めた。遅刻確率の算出に際しては、旅行時間の正規性が前提となる。データ分布の正規性を確認するためには、Kolmogorov-Smirnov 検定などのノンパラメトリックな方法により検定を行う必要があるが、こうした検定を実施する場合には十分なサンプル数(30以上)が必要となる。今回の分析ケースでは、両ケース共にサンプル数が少数であるため、こうした検定の適用が困難である。こうした場合、一般的には、正規性を検証するため、正規確率紙による視覚的な判断および尖度、歪度の値を用いて正規性の検定が行われる。

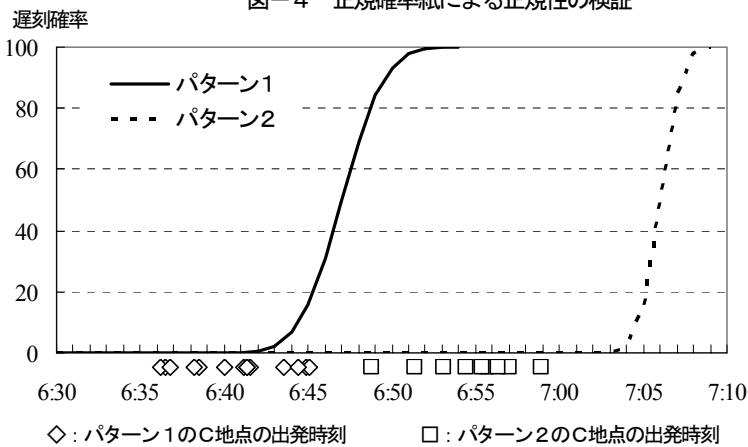
表ー1はデータの尖度および歪度を示したものである。2つの値は0に近いほど正規分布に近いことを示す指標であり、絶対値で2を超えるとデータの分布に正規性がないといえる。なお、尖度は、本来3に近いほど、正規分布に近い形状を表すが、ここでは0に近いほど正規分布に近くなるように、尖度を補正している。この結果より、両ケース共に、尖度、歪度の値は絶対値2を超えておらず、比較的0に近いことから、正規性を否定することはできない。また、図ー4の正規確率紙による正規

表－1 旅行時間データの尖度と歪度

配送順序	サンプル数	平均旅行時間	標準偏差	尖度	歪度
パターン1 (C→D→E)	13	22分31秒	1分31秒	-0.54	0.24
パターン2 (C→E)	9	4分10秒	40秒	0.05	-0.86



図－4 正規確率紙による正規性の検証



図－5 配送順序の違いによる遅刻確率の変化

性の検証結果では、両ケース共にデータが直線上に並んでいることから、概ね正規分布であるとみなすことができる。

図－5は出発時刻毎の遅刻確率の変化を表したものであるが、地点Eへ直接向かうパターン2の方が、傾きは急になっており、少しの遅れがより大きく遅刻確率に影響を及ぼしていると考えられる。また、図中の◇はパターン1の出発時刻、□はパターン2の出発時刻を示しているが、6時45分頃を境にして配送順序が異なっており、配送順序を変更することで地点Eへの遅刻確率を減少させていることがわかる。

4. 複数の配送先への配送順序の選択行動

複数の配送先を巡回して配送を行う場合、配送者は積載容量や指定時刻などの制約条件を考慮した上で、所要時間の総計が最小となる配送順序で巡回を行える配送計画を作成するものと考えられる。ここでは、複

数ある配送順序の中で、各配送順序が最短となる確率を旅行時間と荷捌き時間の変動（平均値と標準偏差）を踏まえて算出し、この確率をその経路を選択する選択確率として表す。この選択確率を用いることによって、最適な配送順序の選択行動について分析する。

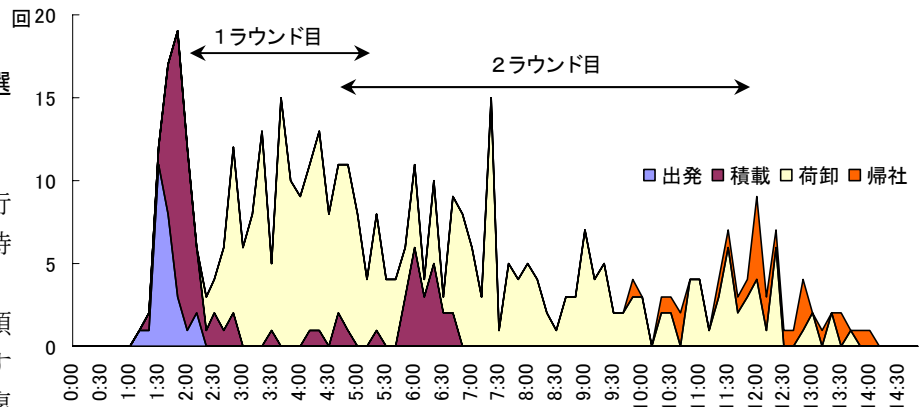
(1) 都市内での配送実態

図－6は、特定の1台の貨物車を分析対象として、先の図－2と同様に時間帯別の運行状況を図示したものである。当該車両は、深夜1:00～2:00の時間帯に会社を出発、直後に積載をし

て、その後6:00にかけて荷卸しを行っている。また、6:00台に積載が多いことから、6:00までに一度配送を完了して、その後、別の場所に2ラウンド目の配送を行っている。なお、この図からは、配送が13:00頃まで継続的に行われているように読みとれるが、実際に地図上で運行状況をプロットして確認したところ、10時以降の荷卸しについては、積載箇所と同一場所であることから、返済貨物を積載場所で荷卸ししているためである。

(2) 旅行時間の不確実性を考慮した経路選択確率の考え方

辻ら¹⁶⁾は経路*i*の所要時間を t_i としたとき、他の複数の経路*j*と比較し、 t_i が最も短時間となる確率を求め、それが経路*i*を選択する確率とすることを提案している。すなわち、今、2地点間に2本の経路*i, j*があるものとし、いずれの経路が選択されるかは確率変数で表される所要時間の予測値を用いて決定され则认为。経路*i*の所要時間を t_i 、経路*j*の所要時間を t_j とすると経路*i*の選択確率は $t_i \leq t_j$ を満たす確率、つまり経路*i*の所要時間が経路*j*の所要時間を下回る確率と考え、これを



図－6 時間帯別の運行状況

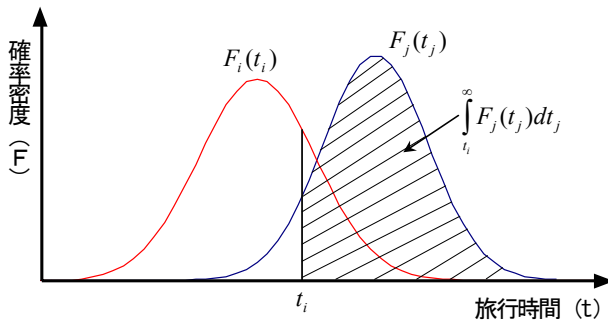


図-7 経路jが経路iに対して時間的に上回る確率

ϕ_{ij} とすると (式-2) のように表せる。なお、図-7 に $t_i \leq t_j$ を満たす確率を図示している。

$$\phi_{ij} = \int_0^{\infty} \left(\int_{t_i}^{\infty} F_j(t_j) dt_j \right) F_i(t_i) dt_i \quad (\text{式-2})$$

ただしここで、 t_i と t_j ($i \neq j$) は互いに独立であるとする。

次に n 本の経路の中で経路 i が最短所要時間となる確率は、経路 i 以外の所要時間の予測値に対して $t_i \leq t_j$ ($i \neq j$) を満たす確率であり、 ϕ_i とすると (式-3) のように表せる。

$$\phi_i = \int_0^{\infty} \left\{ \prod_{j=1, j \neq i}^n \int_{t_i}^{\infty} F_j(t_j) dt_j \right\} F_i(t_i) dt_i \quad (i \neq j) \quad (\text{式-3})$$

$F_i(t_i), F_j(t_j)$: 確率密度関数

ここでは、複数の配送先がある場合に、それらの配送順序の所要時間を上述の経路の所要時間と考えた。そこで、まず TSP (巡回セールスマン問題) を解いて^{補注} 候補とする上位 n 本の配送順序を求める。次に、この候補の中から配送順序 i を選択する確率を算出するため、各配送順序の所要時間の確率密度関数を平均値と標準偏差から求めた。なお、ここで平均値は、後述の旅行時間推計式より得られる平均旅行時間と、実際の平均荷捌き時間の和として求めた。また、標準偏差は、同様に後述の推計式より与えられる旅行時間の標準偏差と、実際の荷捌き時間の標準偏差の平方和として求めた。最後に、配送順序 i の確率密度関数とそれ以外の配送順序の確率密度関数の比較により、配送順序 i を選択する確率を求める。

なお、それぞれの配送順序の所要時間は、図-7 に示すような正規分布である必要があるが、旅行時間および荷捌き時間ともに、概ね正規分布であることを確認しており、ここでは、これらの合計値である所要時間も正規分布であると仮定している。

(3) 平均旅行時間と変動係数の推計

選択確率の算出に必要なとなる配送順序における経路の平均旅行時間と標準偏差を求めるため、実際のプローブデータから、車両が走行した 22 経路をサンプルとして抽出した。これらのデータを用いて、走行距離と平均旅行時間の関係、および変動係数と平均旅行時間の関係を求めた。

(a) 走行距離と平均旅行時間の関係

抽出した 22 経路のデータを用いて走行距離と平均旅行時間の関係を調べた。ここでは、交通量の変化とともに車両の旅行時間も変動すると考えられるため、午前 2 時～6 時を深夜・早朝、午前 7～12 時を午前中として、時間帯を分けて推計を行った。

図-8 は深夜・早朝と午前中の時間帯に分けて走行距離と平均旅行時間の関係を示したものである。図中にはそれぞれの回帰直線も示している (深夜・早朝: $y = 1.71x + 2.85$ $R^2 = 0.99$ 、午前中: $y = 2.71x + 5.89$ $R^2 = 0.97$)。これらをみると、走行距離が長くなるに従って平均旅行時間は増加する傾向がみとれる。そして、深夜・早朝の時間帯に比べ午前中に走行するケースの方が平均的な旅行時間は長くなっており、距離が延びるに従ってその傾向は大きくなっている。したがって、深夜・早朝の時間帯に配送を行う方が、同じ経路を利用した場合でも配送に費やす時間が短くなるといえる。

(b) 変動係数の推定

次に、平均旅行時間から変動係数を推定した。図-9 は、横軸に平均旅行時間、縦軸に変動係数 (標準偏差/平均値) をとって図示したものである。これによると走行距離と変動係数の関係から指数関数による近似曲線 ($y = 0.47x^{-0.47}$ $R^2 = 0.39$) を算出するとその決定係数は低いものの、変動係数は道路リンクの距離が長くなるに従って 0.1 前後に収束する傾向にある。

(4) 配送順序の選択行動

分析対象とした貨物車は、図-10 に示す 7 地点を巡回しており、表-2 は各地点間の走行距離を示している。

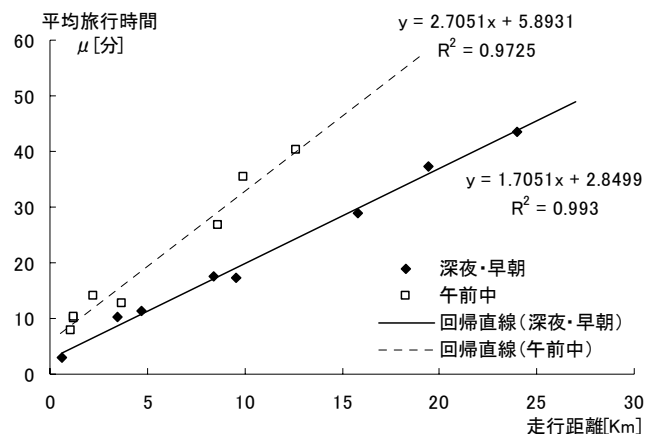


図-8 走行距離と平均旅行時間の関係

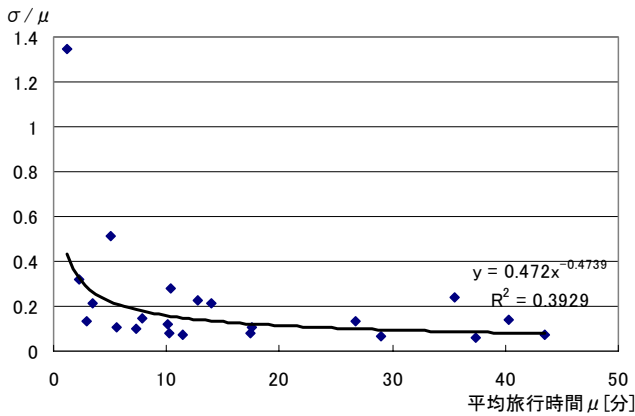
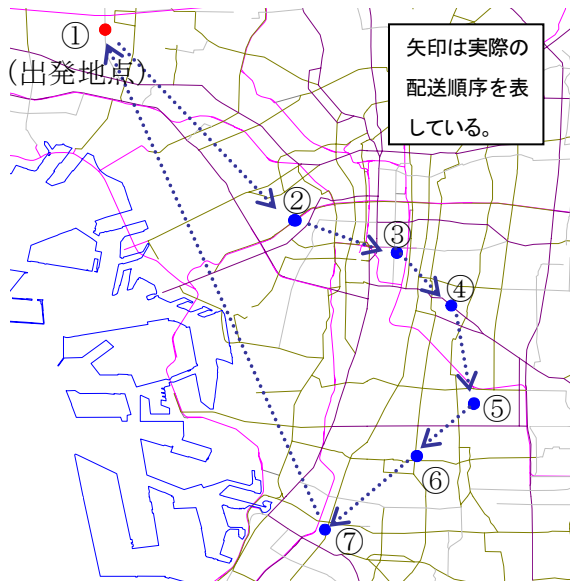


図-9 平均旅行時間と変動係数(σ/μ)の関係



注) 1ラウンド目の7箇所のみを分析対象としている

図-10 都市内における配送実態(配送順序)

表-2 配送地点間の走行距離(単位: km)

[km]	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
①		11.1	14.1	16.5	20.0	21.0	23.1
②	11.1		4.5	6.8	10.6	11.6	13.6
③	14.1	4.5		3.6	7.5	8.7	11.7
④	16.5	6.8	3.6		4.7	5.9	9.9
⑤	20.0	10.6	7.5	4.7		3.5	7.9
⑥	21.0	11.6	8.7	5.9	3.5		4.9
⑦	23.1	13.6	11.7	9.9	7.9	4.9	

なお、平均旅行時間および変動係数は、先に得られた推計式を用いて求めている。この際、車両は午前2時30分頃に地点①を出発し、地点②～⑦を巡回して午前6時までに配送を終えていることを考え、深夜・早朝の時間帯の回帰式を用いて所要時間を推計した。そして、TSPによる上位20番目(延べ27経路)までの配送順序を求め、それぞれについて選択確率の算出を行った。このように、本研究では、所要時間の変動を組み込んでTSPによる最適解を求めることが困難なため、距離によるTSPを解くことにより候補となる配送順序を求め、その後、候補ごとに所要時間の変動を考慮して選択確率を算出している。ただし、こうした算出方法では、TSPの解によ

って配送順位の逆転が生じる可能性もあるため、TSPの解候補をあらかじめ十分な数だけ準備しておく必要がある。今回の分析ケースでは、最適解から上位20位まで算出しているが、何位まで算出するかは、対象とするケースに応じて試行錯誤的に検討する必要がある。

図-11は、TSPによる上位n位の配送順序が最短所要時間となる確率を示したものである。これによると、選択確率の推移は極めてゆるやかであり、上位10位までの配送順序の選択確率の差は3.1%とごく僅かとなっている。表-3は、実際の配送順序とTSPによる上位3位までの配送順序を示したものであるが、これによると、実際の配送順序はTSPによる第1位の配送順序で配送を行っていた。これらの結果から、選択確率が上位の配送順序間で選択確率は大きな差がみられず、上位の複数の配送順序は拮抗している。これは、深夜に会社を出発し、早朝の時間帯に配送を完了する場合、交通混雑の影響が少ないため、旅行時間の変動が小さく、配送順序間での所要時間に差があらわれ難かったためと考えられる。

既に述べたように分析対象車両は、1日に2ラウンドの配送を行っているため、現在1ラウンド目に行っている配送を2ラウンド目に入れ替えることも考えられる。そこで、仮想的に出発時刻を交通混雑の影響を受ける時間帯、すなわち深夜から早朝に変更した場合の配送順序の選択確率を求めた。具体的には、出発時刻を午前5時とし、午前6時30分を境として、旅行時間と変動係数の推定式を変更させて平均所要時間および標準偏差を求めている。こうして求めた選択確率の推移を、図-11中の破線で示している。なお、表-3に示すように、先の2時台の出発時と同様、出発時刻を5時に遅らせた場合

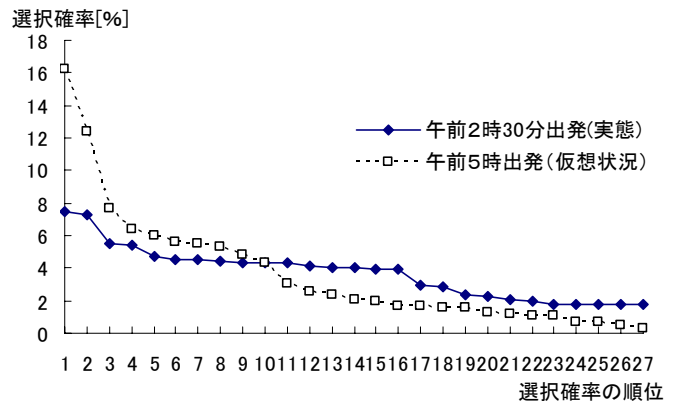


図-11 TSPによる上位n位の配送順序の選択確率

表-3 配送順序の比較

実際の配送順序	①→②→③→④→⑤→⑥→⑦→①
2時台に出発	1位 ①→②→③→④→⑤→⑥→⑦→①
	2位 ①→②→⑦→⑥→⑤→④→③→①
	3位 ①→②→④→⑤→⑥→⑦→③→①
5時台に出発	1位 ①→②→③→④→⑤→⑥→⑦→①
	2位 ①→②→③→⑦→⑥→⑤→④→①
	3位 ①→②→⑦→⑥→⑤→④→③→①

も選択確率が1位の配送順序と実際の配送順序は同じであった。深夜に出発した場合は選択確率の最大値が7.4%であり、それ以降の選択確率の曲線はなだらかに推移しているのに対して、早朝に出発した場合の選択確率の最大値は16.3%であり、直線が急な傾きで推移していることがわかる。このように、交通混雑の影響を受ける早朝の時間帯に出発時刻を遅らせた場合、配送中の旅行時間の変動が大きくなることで配送順序の選択確率に影響が生じており、少数のルートで選択確率が高くなっていることがわかる。

5. おわりに

本研究では、運転者の作業状況とリンクしたプローブデータを用いて、旅行時間の変動を把握した上で、指定時間のある配送先への出発時刻の決定行動、および複数配送先への配送順序の選択行動を分析することにより旅行時間の不確実性が貨物車による配送行動に与える影響について明らかにした。以下では、本研究で得られた成果を要約する。

1) 時間指定のある配送先への出発時刻の決定行動について、配送先までの旅行時間の平均値と標準偏差から、出発時刻ごとに配送先に遅れて到着する確率(遅刻確率)を求め、旅行時間の不確実性の影響を評価した。具体的には、配送先への2パターンの配送順序を選ぶことができる場合に、遅刻確率が最小となるように出発可能な時刻に応じて、配送順序のパターンを決めていることを明らかにした。

2) 複数の配送先を巡回する場合における複数の配送順序について、それぞれの配送順序を選択した時の所要時間の平均値と標準偏差から、その配送順序が最小の所要時間となる確率(選択確率)を求め、旅行時間の不確実性の影響を評価した。この結果、現実には、選択確率が最大となる配送順序が選択されていることを明らかにした。また、混雑時には所要時間の変動が大きくなり、混雑のない場合と比べて少数の配送順序で選択確率が高くなっていた。

なお、上述した遅刻確率、選択確率による分析は、ともに、それぞれ1台ずつに着目した分析であったが、いずれの車両も毎日ほぼ同一の時間帯に同一の配送先へ定期配送を行っていること、さらに1ヶ月間の日々の行動を、プローブデータとして記録したデータに基づいて分析を行っていることから、これらの車両については、概ね妥当な結果が得られたものと考えられる。しかしながら、より一般性を高めるためには、今回対象とした以外の属性および異なった配送形態の車両についても分析を進めていく必要がある。

今後は、配送行動をより詳細に記述できるモデルの作

成を考えていくとともに、プローブデータによって得られた所要時間の不確実性を配車配送計画に組み込み、より信頼度の高い配送システムの構築を検討していく必要がある。

【参考文献】

- 1) 松本昌二・白水義晴：旅行時間の不確実性が時刻の指定された物資輸送に及ぼす影響，土木学会論文集 No. 353/IV-2, pp. 75-82, 1985
- 2) Hall, R. W. : Travel Outcome and Performance : The Effect of Uncertainty on Accessibility, Transportation Research B, Vol. 17, No. 4, pp. 275-290, 1983
- 3) Laporte, G., Louveaux, F. V. and Mercure, H. : The Vehicle Routing Problem with Stochastic Travel Times, Transportation Science 26, pp. 161-170, 1992
- 4) 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
- 5) Taniguchi, E. and Ando, N. : An Experimental Analysis on Probabilistic Vehicle Routing and Scheduling with ITS, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 3052-3061, 2005
- 6) 辻絏良・鈴木雅博・高橋理一・川島弘尚：経路誘導効果の確率的推定手法，土木学会論文報告集 No. 315, pp. 103-114, 1981
- 7) 姜美蘭・王立暁・三輪富生・山本俊行・森川高行：VICS データとプローブデータの旅行時間情報に関する比較分析，土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 29, 2004(CD-ROM)
- 8) 堀口良太・和田光示：インターネット ITS プローブ情報システムによる信号制御の性能指標モニタリング実証実験，土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 29, 2004(CD-ROM)
- 9) 小谷通泰・田中康仁・中村賢一郎：プローブカーデータによる貨物車の運行実態の解析、第24回交通工学研究発表会論文報告集, pp. 245-248, 2004
- 10) 田中康仁・小谷通泰・中村賢一郎：プローブデータを活用した貨物車による配送活動の実態分析、土木計画学研究・論文集, Vol. 22, no. 3, 2005
- 11) 前掲2)
- 12) 前掲6)
- 13) 小谷通泰・吉井正明・今西周宏：共同利用型の貨物車運行管理システムの開発と実用化に向けた評価，土木計画学研究発表会・講演集, Vol. 27, 2003(CD-ROM)
- 14) 前掲2)
- 15) 前掲1)

16)前掲6)

数が6、7地点と少数のケースであるため TSP の解法として厳密解法の適用が可能であり、総列挙法を用いて求解している。

【補注】

本研究で対象としたケーススタディーでは、配送地点

旅行時間の不確実性が貨物車の配送行動へ及ぼす影響の分析

田中 康仁・小谷 通泰・中村 賢一郎

本研究では、運転者の作業状況とリンクしたプローブデータを用いることにより、指定時間の存在する配送先への出発時刻の決定行動、および複数配送先への配送順序の選択行動に着目して、旅行時間の不確実性が貨物車による配送行動に与える影響について明らかにした。具体的には、旅行時間の不確実性の影響を評価するために、旅行時間の平均値と標準偏差をもとに、出発時刻に応じて目的地に遅れて到着する確率（遅刻確率）および各配送順序が最短所要時間となる確率（選択確率）を算出した。そして、プローブデータの結果を用いて、これらの確率を算出した結果、現実の配送行動が遅刻確率の最小化、また選択確率の最大化によって説明できることを示した。

Analysis of Influence of Uncertainty in Travel Time on Delivery Activities by Goods Vehicles

by Yasuhito TANAKA, Michiyasu ODANI and Kenichiro NAKAMURA

This study aims to analyze the influence of uncertainty in travel time on delivery activities by goods vehicles by using their probe data linked with the drivers' operation status. For this purpose, we calculate two probability values, one is the probability of being late for a designated arrival time, the other is the probability of selecting the shortest travel time delivery route among alternative delivery routes. Based on the observation result, actual delivery activities could be explained by the minimization of the probability of being late for a designated arrival time and the maximization of the probability of selecting shortest travel time route.
