

所要時間の不確実性を考慮した貨物車による配送行動の分析*

Analysis of Delivery Activities of Trucks Under the Effect of Travel Time Uncertainty

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

物流効率化方策の一つとして、貨物車による配送計画の最適化が挙げられるが、こうした配送計画の作成においては、旅行時間や荷捌き時間にみられる不確実性を考慮することも重要な課題である。近年は、プローブ機器を車両に搭載することにより、車両の運行履歴が取得可能であり、不確実性をもたらず所要時間の変動やその要因を詳細に観測することが可能となった。

そこで本研究では、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、旅行時間や荷捌き時間にみられる変動とその要因を明らかにするとともに、貨物車による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、所要時間にみられる不確実性を考慮した貨物車による配送行動の分析を試みる。

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ヶ月間における、2社計10台の貨物車について、プローブデータを取得している¹⁾。得られたデータは、5分間隔の車両位置データにドライバーによる作業報告(出発・帰社、積載・荷卸・待機など)がリンクされている。

(2) 分析対象車両の配送形態

分析対象とした2社は、異なった配送形態をもっており、A社は中距離による2地点ないしは数カ所の配送を行っており、B社は都市内における複数地

点への巡回型定期配送を行っている。

本研究では、得られたプローブデータのうち、A社の1台、B社の2台を分析対象車両とした。図-1と2は、両社の分析対象車両の走行軌跡をそれぞれ示したものである。ただし、B社は2台の分析対象車両のうち、1台のみの走行軌跡を示している。

まず、A社の車両は、約200km離れた配送先との2地点間でピストン型の定期配送を行っており、一般道と高速道路を併用して配送活動を行っている。分析対象期間中、図中の円で囲んだ高速道路の一部区間で集中工事が行われており、工事中は一般道への迂回(2通りの経路)を行っている。

次に、B社の車両は、都心部を含む多地点の巡回型定期配送を行っており、一般道のみを使用し、一日の平均走行距離は124.8kmである。また、配送は2回に分けて、1ラウンド目は周辺部、2ラウンド目は都心部で行っている。

なお、両社の分析対象車両ともに、配送先の業務開始時刻に間に合うように深夜(おおよそ午前2~3時頃)に各社を出発している。

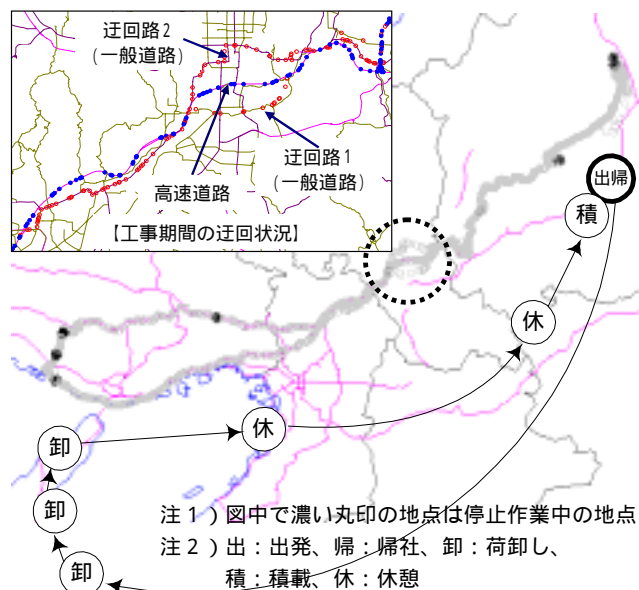


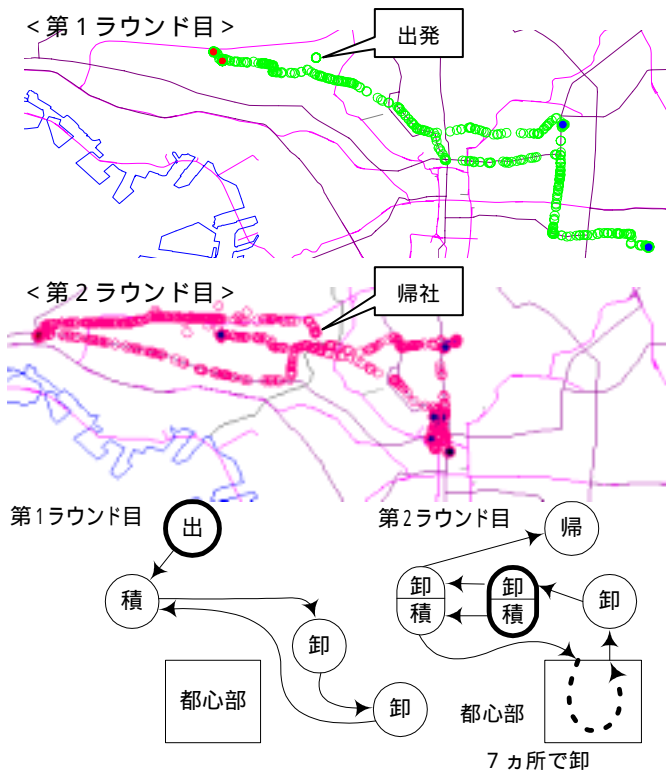
図-1 A社の特定車両の走行軌跡(17日間)

*キーワード：貨物車、配送行動、所要時間、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: 08466-7-3087)

***正員、工博、神戸大学大学院 自然科学研究科
(神戸市東灘区深江南町5-1-1、TEL & FAX: 078-431-6260)

****非会員、本田技研工業株式会社



注1) 図中で濃い丸印の地点は停止作業中の地点を示す
 注2) 出：出発、帰：帰社、卸：荷卸し、積：積載、休：休憩

図 - 2 B社の特定車両の走行軌跡(23日間)

3. 遅刻確率による最適出発時刻の決定行動の分析

(1) 最適出発時刻の考え方

Hall²⁾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 をできるだけ遅くしようとする行動を取るものとする。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 - 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。

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

松本ら³⁾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。

(2) 出発時刻の決定行動の分析

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。

a) 中距離輸送 (A社) のケース

高速道路を走行する通常のトリップ (平常時) と高速道路を迂回し一般道を走行するトリップ (工事中) に分け、それぞれ場合について出発時刻と遅刻確率の関係を分析した。

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。図 - 3 は、横軸を実測値、縦軸を期待正規値にとって、旅行時間を平常時と工事中に分けてプロットしたものである。点の分布が対角線の直線上にあれば正規性が保証されるが、これらの図に示すように、データはほぼ直線上に存在し正規性が保たれていることがわかる。

図 - 4 は、平常時と工事中のそれぞれについて出発時刻と遅刻確率の関係を示したものである。これによると、工事中の方が遅刻確率がより急激に高まっており、これは工事中の方が平常時よりも旅行時間の標準偏差が小さくなっていることを示している。このように、平常時よりも工事中は、時間的に余裕がないために旅行時間を一定値に近づけるように行動していることが伺える。

また、遅刻確率が5%となる場合の出発時刻についてみると、平常時は午前3時35分、工事中は午前3時10分と25分間の違いがみられた。同じ遅刻確率で輸送を行うためには、工事により迂回経路を走行した

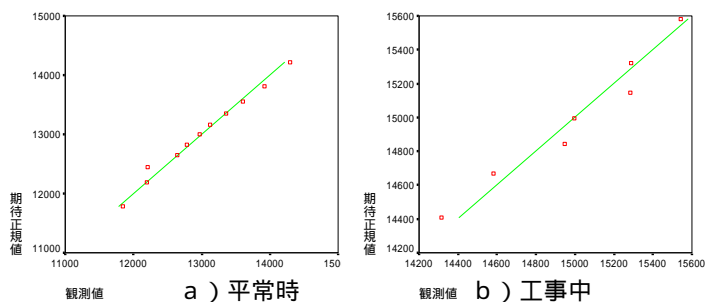


図 - 3 工事の有無による遅刻確率の変化

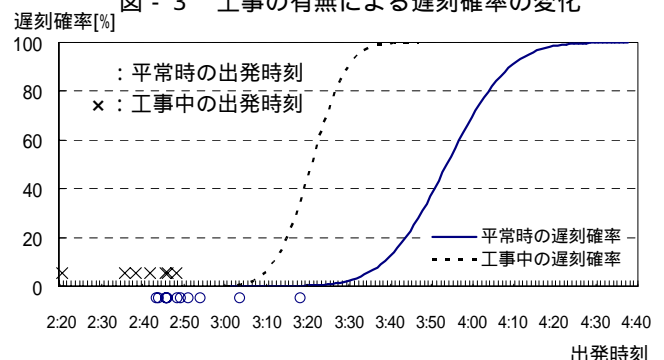


図 - 4 工事の有無による遅刻確率の変化

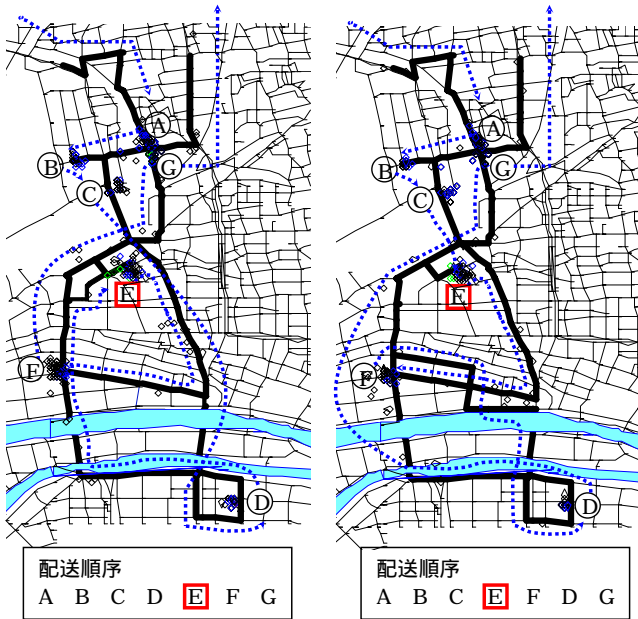


図 - 5 B社の都心部における配送事例

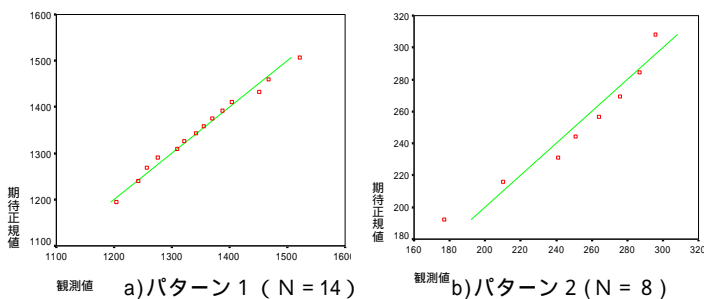


図 - 6 旅行時間データの正規性

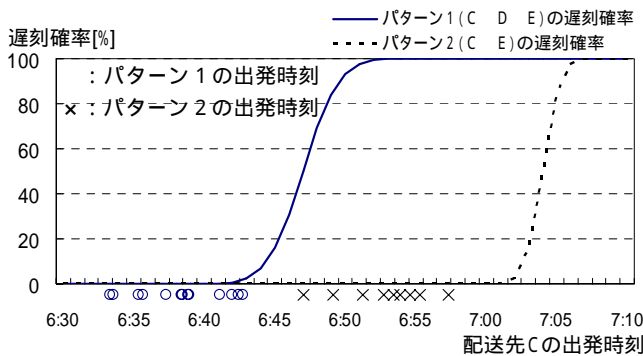


図 - 7 配送順序の違いによる遅刻確率の変化

場合は、走行時間の増大やその変動を考慮して出発時刻を通常よりも早める必要があることがこの図からも読みとれる。

なお、図中の ○印が平常時の出発時刻、×印が工事中の出発時刻を示しているが、両ケースともに遅刻確率がほぼ0%の出発時刻に配送を開始していることがわかる。

b) 都市内での多地点配送 (B社) のケース

図 - 5 は、図 - 2 で示した第2ラウンド目の都心部における配送事例を示している。この例では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) の各場合について、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。先と同様に、図 - 6 は旅行時間データの正規性について検証したものである。これをみるとデータはほぼ直線上に存在し正規性が保たれていることがわかる。図 - 7 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、図中で ○印がパターン1の出発時刻、×印がパターン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. 選択確率による配送順序の選択行動の分析

(1) 経路の選択確率の考え方

辻ら⁴⁾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、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ると考える。経路*i*と*j*の所要時間をそれぞれ t_i, t_j とすると経路*i*の選択確率は $t_i < t_j$ 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 ϕ_{ij} とすると(式 - 2)のように表せる。なお、図 - 8 に $t_i < t_j$ を満たす確率を図示している。

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

また、N本の経路の中で経路*i*が最短所要時間となる確率 ϕ_{ij} についても、経路*i*以外の所要時間の予測

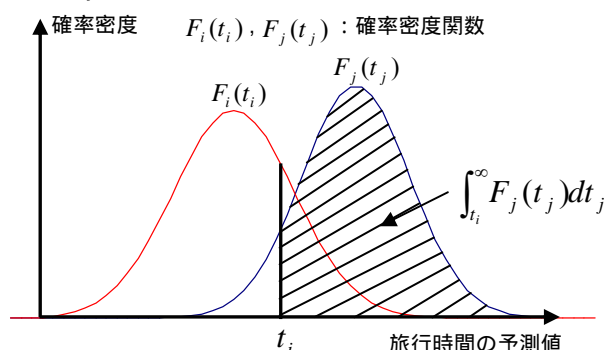


図 - 8 経路 j が経路 i に対して時間的に上回る確率

値に対して $t_i \leq t_j (i < j)$ を満たす確率となり、(式 - 3) のように表せる。

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

$F_i(t_i), F_j(t_j)$: 確率密度関数

(2) 配送順序の選択行動の分析

複数の配送先を対象として、巡回セールスマン問題 (TSP) により配送距離が最小となる上位 N 位までの配送順序を求めた。次に、所要時間の不確実性を考慮するため、上述の考え方を適用し、それら N 通りの配送順序について所要時間が最小となる確率を算出した。そして、これをドライバーが各配送順序を選択する確率と考えた。なお、この所要時間には、旅行時間に加えて各地点での荷捌き時間も加算することとした。

そこで、B 社の車両から、図 - 9 に示す実際の都市域内での配送事例を取り上げて、TSP により配送距離が最小となる上位 30 位までの配送順序を求め、(式 - 3) によりそれらの選択確率を算出した。この際、出発時刻を配送実態と同じ午前 2 時 30 分とした場合と、仮想的な状況として午前 5 時に変更した場合について、各配送順序の選択確率の推移を求めた。図 -

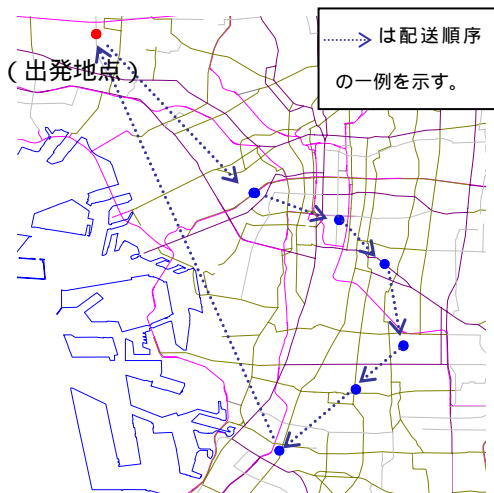


図 - 9 B 社の都市部における配送事例

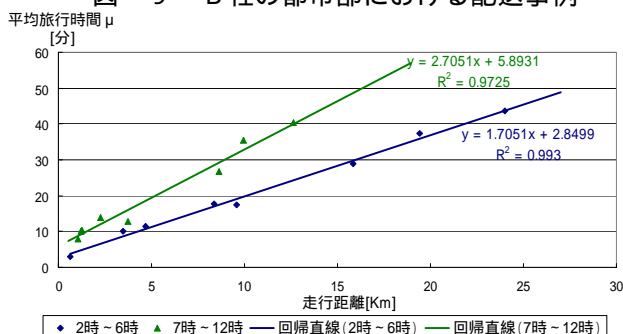


図 - 10 走行距離と平均旅行時間の関係

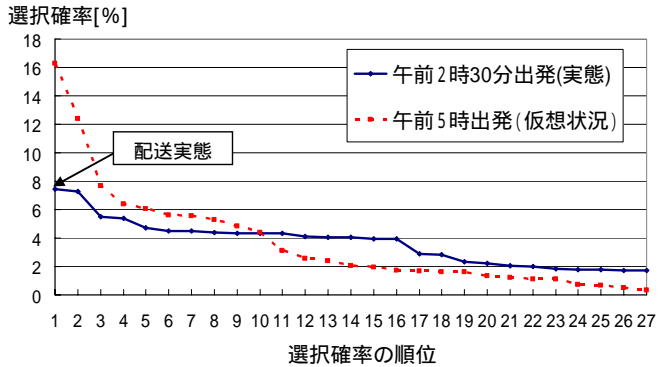


図 - 11 選択確率の推移

11は、この結果を示したものである。

なお、選択確率を算出するために必要となる所要時間の平均値および標準偏差を推定するために、走行区間ごとに実際の旅行時間データを収集し、走行距離と平均旅行時間の関係 (図 - 10) および平均旅行時間と変動係数 (σ / μ) の関係を走行時間帯別に求めた。

配送実態では、上位と中位の配送順序間で選択確率に大きな差がみられなかったが、現実にはその中でも最も選択確率の高い配送順序が選択されていた。また点線の仮想的な状況では、走行時間帯を変化させたことにより平均旅行時間、標準偏差の変動が大きくなるため、配送順序間で選択確率に大きな差がみられるようになった。

5. おわりに

本研究では、出発時刻の決定行動と配送順序の選択行動について、遅刻確率、選択確率をそれぞれ用いることにより旅行時間の不確実性を考慮した分析を行うことが可能となった。

今後は、分析対象とする事例を増加させて分析の信頼性を向上させるとともに、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、より信頼度の高いシステムを構築していく必要がある。

【参考文献】

- 1) 小谷・吉井・今西：「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)
- 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) 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/ - 2, pp. 75 - 82, 1985
- 4) 辻紘良・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