Ⅳ-8　所要時間の変動を考慮した確率論的配車配送計画のモデル化

大阪市　正会員　高内 寿恵
京都大学大学院工学研究科　フェロー会員　谷口 栄一
関西大学工学部　正会員　山田 忠史
京都大学大学院工学研究科　学生員　玉石 宗生

1. はじめに

近年の情報通信技術の発達により，今後ますます，道路利用者の所要時間認知が向上するものと考えられる．そのような状況を踏まえ，物流企業の中には，高度な配車配送計画システムを構築し，配車配送計画の合理化を図ろうとする動きが見られる．

本研究は，高度な配車配送計画が導入された場合の道路交通への影響を明確にすることを目標とし，その基礎段階として，所要時間分布を考慮した確率論的配車配送計画モデルの構築を行う．さらに，その評価方法の１つとして，所要時間の平均値を用いた配車配送計画モデル[1]との比較を行い，所要時間分布を考慮することの有用性について考察する．

2. モデルに関する前提条件

2.1. トラック及び顧客について

確率論的配車配送計画モデルと所要時間の平均値を用いた配車配送計画モデルに共通する前提条件について述べる．

トラックは集荷のみを行い，デポを出発して複数の顧客を巡回し，デポに帰還し貨物を卸すという行動を複数回にわたって行うこととする．トラックは１つの顧客に１台だけ割り当てられ，１度の集荷でその顧客のすべての貨物が積み込まれるものとする（図１）．

訪問先に指定時刻より早着した場合，トラックは指定時刻まで待機し，時間に比例した早着ペナルティが課される．逆に，遅刻した場合には，遅刻時間に比例したペナルティが課される．顧客は10～20箇所あり，顧客の情報（位置，貨物量，荷役時間，到着指定時間，早着及び遅刻の単位ペナルティ費用）は既知とする．また，使用可能なトラック台数は最大10台で，それぞれの積載容量，固定費用，単位走行時間費用，単位荷役時間費用は既知とする．

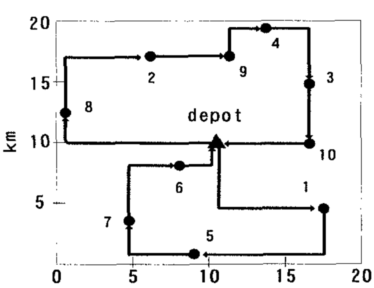

図１ トラックの行動パターンの一例

2.2. 所要時間分布について

所要時間分布は正規分布を仮定し，その期待値は，各訪問先間の距離とトラックの走行速度（対象ネットワーク全体で一定値とする）から求める．また，標準偏差はその期待値の関数で与え，次式で表される．

$$\mu = d_{i,j} / S \tag{1}$$

$$\sigma = \alpha \cdot \mu \tag{2}$$

ここで，

μ ：所要時間分布の期待値（平均所要時間）（分）
$d_{i,j}$ ：訪問地 i，j 間の距離（km）
S ：トラックの走行速度(km/h)
σ ：所要時間分布の標準偏差（分）
α ：標準偏差の大きさを表すパラメータ(%)

3. 確率論的配車配送計画モデル

企業にとっての最適な配車配送計画とは，実際の総費用（固定費用，走行時間費用，荷役時間費用，早着及び遅刻ペナルティの和）を最小にするものと考えられる．そこで，所要時間分布を考慮し，目的関数を期待総費用として定式化すると，次式のようになる．ただし，早着及び遅刻ペナルティは，図２に示すように，各顧客における到着時刻分布にペナルティ関数を掛け合わせた値とする．

$$\min \quad C(X) = \sum_{l} C_{f,l} \cdot \delta_l(x_l) + \sum_{l} C_{t,l} \cdot T_l(x_l) + \sum_{l} C_{s,l} \cdot S_l(x_l) + \sum_{i} P_i(x_l) \tag{3}$$

$$P_i(x_l) = \int_0^{\infty} p_i^a(x_l,t) \cdot DU_i(x_l,t)\,dt \tag{4}$$

$$\begin{aligned} DU_i(x_l,t) &= 0 && \text{if } t_{s,i} \le t \le t_{e,i} \\ &= (t_{s,i} - t) \cdot C_{e,i} && \text{if } t < t_{s,i} \\ &= (t - t_{e,i}) \cdot C_{d,i} && \text{if } t_{e,i} < t \end{aligned} \tag{5}$$

$$\text{subject to} \quad W_l(x_l) \le W_{\max,l} \tag{6}$$

キーワード：物流、配車配送計画、シミュレーテッド・アニーリング
連絡先:〒606-8501　京都市左京区吉田本町　TEL:075-753-5125

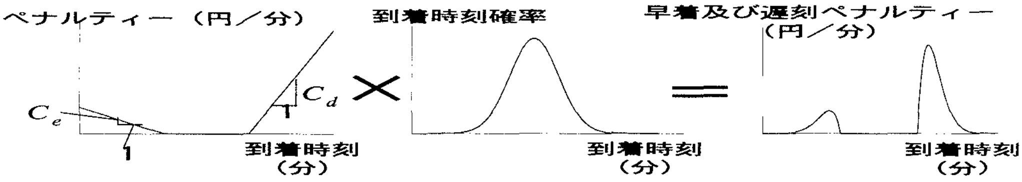

図2 早着及び遅刻ペナルティ

ここで，

$C(X)$：期待総費用（円）

X：全てのトラック割当てと訪問順序を示す数列

x_l：トラック l の割当てと訪問順序を示す数列

$C_{f,l}$：トラック l の1台当たり固定費用(円／台)

$\delta_l(x_l)$：=1；トラック l が稼動した時

=0；稼動しなかった時

$C_{t,l}$：トラック l の単位走行時間費用(円／分・台)

$C_{s,l}$：トラック l の単位荷役時間費用(円／分・台)

$T_l(x_l)$：トラック l の総走行時間(分)

$S_l(x_l)$：トラック l の総荷役時間(分)

$P_i(x_l)$：トラック l の顧客 i における早着及び遅刻ペナルティ（円）

$p_i^a(x_l,t)$：トラック l の顧客 i における到着時刻分布

$DU_i(x_l,t)$：顧客 i でのペナルティ関数

$C_{e,i}$：単位早着ペナルティ費用(円／分)

$C_{d,i}$：単位遅刻ペナルティ費用(円／分)

$t_{s,i}$：顧客 i での到着指定時間帯の開始時刻（分）

$t_{e,i}$：顧客 i での到着指定時間帯の終了時刻（分）

$W_l(x_l)$：トラック l の積載量（kg）

$W_{\max,l}$：トラック l の積載容量（kg）

$X=\{x_1, x_2, \ldots, x_l, \ldots, x_m\}$（$m$：使用可能なトラック台数）と表現でき，式(3)〜(6)で示された配車配送計画問題を解くことにより，トラックの割り当てと訪問順序である変数 X が決定される．

なお，解法にはヒューリスティック手法の一つである Simulated Annealing 法を用いる．

4. 確率論的配車配送計画モデルの評価

確率論的モデルの評価指標として，VSS(Value of Stochastic Solution)を用いる．VSS とは，所要時間の平均値を用いたモデルと，確率論的モデルにより得られたそれぞれの配車配送計画を，道路状況を日々変化させて 50 日実行したとき，実際に要する総費用の平均値の差である．図3は，トラックの走行速度 S と標準偏差のパラメータ α を変化させたの場合のコスト削減率を表したものである．コスト削減率とは，平均値を用いたモデルの配車配送計画による 50 日の平均総費用に対する VSS の割合で，確率論的モデルの導入効果を表す．

図3から，パラメータ α が大きい場合，すなわち，所要時間の変動が大きい場合に，確率論的モデルの導効果が大きくなることがわかる．

トラックの走行速度については，式(1)，(2)により，走行速度が小さいほど平均所要時間が大きくなり，標準偏差が大きくなる．その結果，所要時間の変動が大きくなるので，確率論的モデルの導入効果が大きくなると予測できる．しかし，走行速度 20km/h の場合には，両モデルで同じ訪問順序が選ばれていたため，そのような傾向は見られなかった．

以上より，所要時間の標準偏差が大きな場合に，確率論的モデルの導入効果が大きくなるということが明らかになったが，走行速度によってはその効果が発揮されない場合があることがわかった．

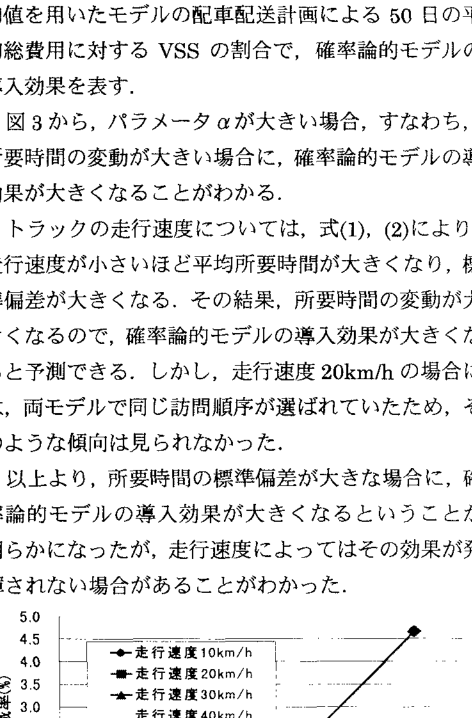

図3 確率論的モデルの導入効果

5. おわりに

本研究では，確率論的配車配送計画モデルを定式化し，所要時間の平均値を用いたモデルと比較することにより，その有用性についての考察を行った．今後は，さらに具体的にどのような状況において，その効果が発揮されるのかについて詳細に分析する必要がある．

【参考文献】

E. Taniguchi, T. Yamada, M. Tamaishi and M. Noritake : "Effects of designated time on pickeup/delivery truck routing and scheduling" Urban Transport and the Environment for the 21st Century IV, WITpress Computational Mechanics Publications, pp. 128-136, 1998