

リアルタイム所要時間情報を活用したトラックの動的配車配送計画に関する研究

Vehicle routing and scheduling problems using real-time information on travel time

谷口 栄一*・嶋本 寛**

By Eiichi TANIGUCHI*, Hiroshi SHIMAMOTO**

1. はじめに

近年、都市内物流は顧客のニーズの多様化によって、高度なサービスを低料金で提供することが求められている。特に顧客への集配送における時間指定が厳しくなり、ジャスト・イン・タイム輸送が普及しつつある。一方、社会的な観点から見ると、交通渋滞・交通環境の改善、エネルギー消費の削減などのために、都市内物流の合理化が求められている。

このような様々な要求を満たしながら合理的な都市内物流システムを構築するために、都市内集配トラックの配車配送計画を効率化することが必要である。そのために谷口ら¹⁾は、予測所要時間情報と実所要時間を区別した上で、所要時間を予測する際に、現在入手可能となったリアルタイム所要時間情報を用いることにより、逐次予測所要時間情報を更新する配車配送計画を構築した。本研究では、その研究をさらに発展させてリアルタイム所要時間情報を用いた配車配送計画を複数台のトラックに適用し、複数台数のトラックを用いることによる効果を中心に考察する。

2. 配車配送計画モデル

(1) 定式化

企業にとっての最適な配車配送計画とは、総費用（固定費用、時間費用、遅刻ペナルティの和）を最小にするものであると考えられる。集荷を対象として、このことを定式化すると次式のようなになる。

Minimize

$$C(t_0, \mathbf{X}) = \sum_{l=1}^m c_{f,l} \cdot \delta_l(\mathbf{x}_l) + \sum_{l=1}^m c_{t,l} \cdot T_l(\mathbf{x}_l) + \sum_{l=1}^m c_{d,i} \cdot \max\{0, t_{a,i}(\mathbf{X}) - t_{d,i}\} \quad (1)$$

ただし、

\mathbf{X} :すべてのトラックの割り当てと訪問順序を表す

数列($\mathbf{X}=\{\mathbf{x}_l | l=1, m\}$)

$C(t_0, \mathbf{X})$: 総費用(円)

$c_{f,l}$: トラック l の固定費用(円/台)

$\delta_l(\mathbf{x}_l)$: = 1; トラック l を使用する時
= 0; その他の場合

$c_{t,l}$: トラック l の単位時間当りの運行費用(円/分)

$T_l(\mathbf{x}_l)$: トラック l の稼働時間(分)

$c_{d,i}$: 集荷先 i での単位遅刻ペナルティ費用(円/分)

$t_{a,i}(\mathbf{X})$: 集荷先 i への到着時刻

$t_{d,i}$: 集荷先 i での到着指定時間帯の終了時刻

m : 使用可能なトラック台数の上限

式(1)で示された配車配送計画を解くことにより、

キーワード: ネットワーク交通流, 物資流動, 所要時間

*フェロー会員 工博 京都大学大学院工学研究科土木システム工学専攻

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-4789 FAX 075-753-4789

** 学生会員 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL 075-753-5126 FAX 075-753-5907

トラックの割り当てと訪問順序が決定される。その際、次の前提条件を設ける。

- a) トラックは、一日に複数回顧客を巡回できる。
- b) 顧客はトラックの運行ルートのもれかに必ず割り当てられ、貨物はトラックの1回の訪問で全て集荷される。
- c) 1つの運行ルートの貨物重量の合計は、トラックの積載容量を超えることはできない。
- d) 各トラックは1日のはじめにデポに存在し、最後はデポに帰ってくるものとする。

(2) モデルの比較

本研究では2種類の配車配送計画モデルを比較した。まず1つは、リンク所要時間として履歴所要時間を用いる従来の配車配送計画モデル(VRPTW-F; Vehicle Routing and scheduling Problem with Time Window-Forecasted)であり、他の1つは、当日においてリアルタイムな所要時間情報を用いてトラックが顧客またはデポに到着するたびに訪問順序を決め直す動的な配車配送計画モデル(VRPTW-D; Vehicle Routing and scheduling Problem with Time Window-Dynamic)である。なお、VRPTW-Fモデルにおいて、当日に訪問順序は変更できないが、顧客間のルートは当日の交通状況に応じて変更できるものとする。

3. 配車配送計画の解法

本研究では、NP - 困難な組み合わせ最適化問題を扱っているため、短い計算時間で解を得るため、ヒューリスティック手法の1つである遺伝的アルゴリズム(GA)を用いて近似解を求めた。

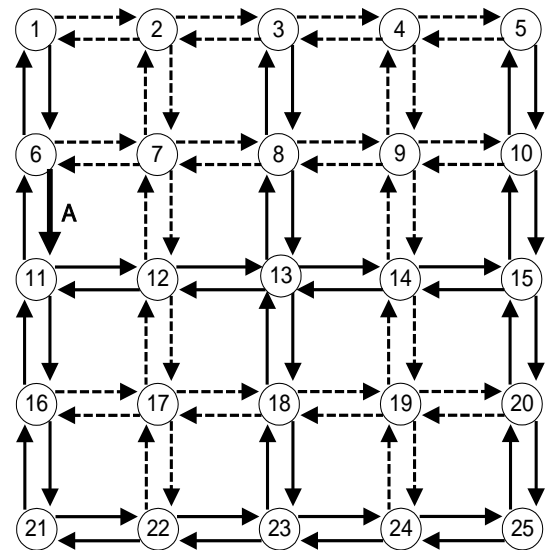
(1) パラメータ設定

a) 問題設定

図-1 に示す仮想ネットワークの下で表-1、表-2 のような顧客とトラックを持った企業を想定し、事前計画(VRPTW-F)においてネットワーク内に突発事象や突然変異を起こさない場合における最適なパラメータの設定を行った。その際の条件は、次の通りである。

- 個体数を 300、世代数を 300 とする
- 各世代のエリート個体数を 30 とする

- 乱数の種を 10 回変化させ、その時の平均値をパラメータの決定指標とする
- 探索する交叉率の範囲を 0.4 ~ 0.9、突然変異率の範囲を 0.01 ~ 0.04 とする



① : ノードとノード番号 (デポの位置は13)

← : 幹線道路 (自由走行速度: 40km, 自由走行時間6分, 2車線)

←--- : 街路 (自由走行速度: 30km, 自由走行時間8分, 2車線)

図-1 対象ネットワーク

表-1 パラメータ設定に用いた顧客データ

顧客の位置	到着指定時間帯	荷役作業量 (kg)	荷役作業時間 (分)
9	9:00 ~ 12:00	500	10
19	13:00 ~ 17:00	500	10
3	9:00 ~ 17:00	500	10
17	9:00 ~ 17:00	500	10
6	9:00 ~ 10:00	500	10
14	13:00 ~ 14:00	500	10
11	15:00 ~ 16:00	500	10
15	15:00 ~ 16:00	500	10
7	21:00 ~ 22:00	500	10
8	9:00 ~ 12:00	500	10
1	13:00 ~ 17:00	500	10
16	9:00 ~ 12:00	500	10
12	16:00 ~ 17:00	500	10
20	20:00 ~ 21:00	500	10
24	9:00 ~ 17:00	500	10
21	10:00 ~ 11:00	500	10
22	9:00 ~ 17:00	500	10
23	15:00 ~ 16:00	500	10
18	10:00 ~ 11:00	500	10
4	13:00 ~ 14:00	500	10
25	10:00 ~ 11:00	500	10
2	12:00 ~ 13:00	500	10
デポの位置			
13			

表-2 パラメータ設定に用いたトラックデータ

トラックID	最大積量(kg)	単位時間コスト(円/分)	備車コスト(円/日)
1~12	4000	17.5	115231

b) 計算結果

各種パラメータの設定手順およびその結果を以下に示す。

(1) まず, 出発時刻に関する交叉方法は一点交叉, 突然変異の方法は削除・挿入とした上で, 交叉方法を比較した。(表-3) その結果順序交叉のほうが良い結果が得られたのでこれを採用することにした。

(2) 次に突然変異の方法を削除・挿入とした上で出発時刻に関する交叉方法を比較した。(表-3) その結果, 一点交叉のほうが良い結果が得られたのでこれを採用することに。

(3) 次に(1), (2) の条件下で突然変異の方法を比較した。(表-3) その結果, 逆位のほうが良い結果が得られたこれを採用することにした。

(4) 最後に(1) ~ (3) の条件下で交叉率・突然変異率を比較した(表-4) その結果, 交叉率は0.9, 突然変異率は0.02 のときに最小の解が得られた。

最終的に本研究で用いるパラメータを以下に示す。

- 個体数 : 300
- 世代数 : 300
- エリート個体数 : 30
- 交叉方法 : 順序交叉
- 出発時刻に関する交叉方法 : 一点交叉
- 突然変異方法 : 逆位
- 交叉率 : 0.9
- 突然変異率 : 0.02

4. ケーススタディ

(1) 計算条件

上述のモデルを 図-1 に示すようなノード数 25, リンク数 40 の仮想道路ネットワークに適用した。このネットワーク上の各ノードは乗用車が発生・集中するセントロイドであり, トラックが訪問する顧客ノードにもなり得る。今回の計算では, ネットワーク内に物流企業は 1 社のみ存在し, 物流業者は 4t

表-3 GA におけるパラメータ設定

交叉方法の決定		
	平均値	出発時刻に関する交叉方法は
順序交叉	65461.77	一点交叉を, 突然変異の方法
部分一致交叉	65714.96	は, 削除・挿入を用いた

出発時刻に関する交叉方法の決定		
	平均値	突然変異の方法は, 削除・挿入
一点交叉	66461.77	を用いた
二点交叉	66952.96	

突然変異方法の決定		
	平均値	
交換	65935.80	
削除・挿入	65461.77	
逆位	64500.87	

表-4 交叉率と突然変異率の決定

		交叉率					
		0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
突然変異率	0.01	最大値	80320.37	82867.62	84943.01	58785.85	61339.90
		最小値	60151.07	60335.73	58575.75	42941.51	42639.23
		平均値	71832.71	69935.98	67334.41	53662.45	50797.46
	0.02	最大値	61891.92	70001.24	74530.68	71203.50	58253.31
		最小値	81334.91	86952.83	49900.96	57789.07	44651.48
		平均値	69807.84	73885.36	64605.79	63644.80	50588.22
	0.03	最大値	96011.31	45616.39	80812.12	75356.62	63356.74
		最小値	66786.62	78114.95	56709.23	56115.86	42511.60
		平均値	75933.13	65946.86	70593.49	63981.74	52463.02
	0.04	最大値	89820.39	77813.34	85646.89	75409.52	62111.66
		最小値	70101.97	60487.63	53118.23	43227.65	44973.16
		平均値	76662.70	68068.62	65923.52	63607.31	50192.06

トラックのみを 12 台所有しているものとする。また, デポの位置は乱数を用いてランダムに決定した。各企業が有する顧客のデータは, 表-1 と共通のものを用いた。また, 全ての顧客は集荷先と考え, 集荷する貨物量は 500kg 均一とし, 遅刻ペナルティも全ての顧客で一定と考えた。

(2) 計算結果

図-1 のリンク A において交通事故を発生させ, 1 時間にわたって交通容量を半減させた。事故の発生時刻を午前 7 時, 8 時, 9 時, 10 時の 4 通りについて計算を行った。

図-2, 図-3 に物流コスト, トラックの総走行時間(待ち時間を除く)の比較を示す。すべてのケースにおいて VRPTW-D モデルのほうが VRPTW-F モデルよりも物流コストが低くなっている。従って, リアルタイム所要時間情報を活用することによって, 物流コストを削減できることがわかる。また, 10:00 ~ 11:00 にリンク容量を半減させた場合のコ

スト削減率は著しく高いが、これはちょうどこの時間帯にトラックがリンク A を通るように計画していたからであると考えられる。次に、トラックの総走行時間に注目すると、VRPTW-D モデルのほうが減少するケースが多いが、逆に総走行時間が増加するケースも見られた。

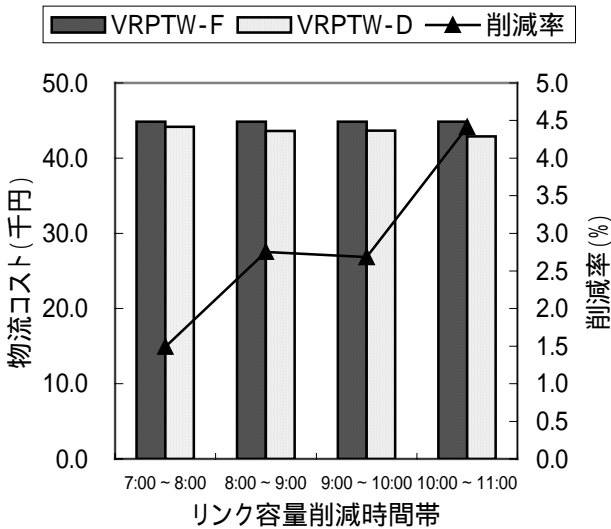


図-2 物流コストの比較

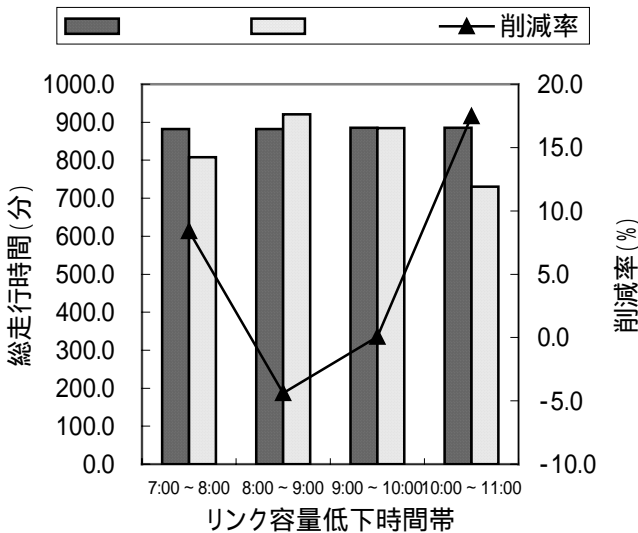


図-3 総走行時間の比較

5. 結語

(1) 本研究の成果

本研究では、集荷当日のリアルタイム所要時間情

報を用いた動的な配車配送計を構築し、ケーススタディを行った。その結果以下のような知見が得られた。

- 突発事象が発生した場合は、動的な配車配送計画によってコスト削減効果が期待できる。特に、すべてのケースにおいて遅刻ペナルティを削減できていることから、企業にとってはコスト削減効果だけでなく、遅刻時間を減少できるので顧客からの信頼が得られるという効果もあると言える。
- 突発事象が発生した場合は、動的な配車配送計画によって概ね総走行時間削減効果が期待できる。よって、社会的にも交通混雑緩和効果と、またそのためにトラックの CO₂ 排出量を削減できる。環境改善効果も期待できると言える。

(2) 今後の課題

本研究において、顧客の配置パターンや時刻制約は1つのみであったので、さらにさまざまな条件下でケーススタディを行う必要がある。その際に、突発事象を複数箇所で行わせるようにシミュレーションモデルを改良する必要がある。また、配車配送計画に関しては、デポの数を複数化し、配送にも対応させる必要性が挙げられる。

VRPTW-F モデルに用いる所要時間の予測に関しては、

- 過去の履歴データと現在所要時間の両方を入力データとして用いるような所要時間の予測手法の開発
- 所要時間を確定値としてではなく、確率的に予測した値を用いる

などが考えられる。

【参考文献】

- 1) 谷口 栄一, 玉石 宗生: “リアルタイム所要時間情報を用いた動的配車配送計画”, 第24回土木計画学研究発表会, 2001