

トラックの配車・配送計画システムの高度化による都市内道路交通への影響

Effects of Advanced Vehicle Routing and Scheduling Systems on Urban Traffic

谷口 栄一*・山田 忠史**・玉川 大***・細川 貴志****

by Eiichi TANIGUCHI, Tadashi YAMADA, Dai TAMAGAWA and Takashi HOSOKAWA

1. はじめに

近年における消費者ニーズの多様化に伴い、物流には Just In Time 輸送に代表される高度な物流サービスが要求されている。そのため、物流に関連する企業は、多頻度小口輸送を行うことにより高度なサービスを実現している。しかし、その結果、都市内において低積載率で走行するトラックが増加し、非効率な集配活動による物流コストの増大、さらには交通渋滞の悪化や CO₂ 排出量の増大が顕在化してきている。

こうした状況下において、企業の中には、物流コストを抑制するために、配車・配送計画システムの高度化を図る動きが見られる。将来的にこのようなシステムが普及する状況を踏まえると、企業にとって合理的なシステムが渋滞の緩和や CO₂ 排出量の削減などにつながり、都市・地域全体にとっても適切なものとなるかどうか検討する必要がある。

そこで本研究では、企業の配車・配送計画システムを内包した都市内の道路交通状況を再現するモデルを構築し、配車・配送計画システムの高度化が道路交通および環境に与える影響について分析を行う。

2. 道路交通状況再現モデル

図1は、配車・配送計画システムの高度化が道路交通に与える影響を分析するための道路交通状況再

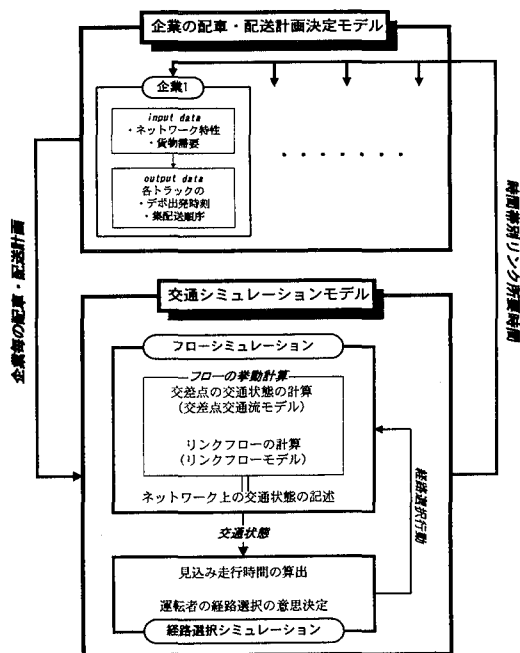


図1 道路交通状況再現モデルのフロー

現モデルを示したものである。このモデルは、循環的な関係を有する2つのサブモデルから構成される。一つは、各企業毎の配車・配送パターンを決定する配車・配送計画決定モデルであり、もう一方は、各企業毎の配車・配送パターンが決定された後の交通状況を再現し、各種結果を出力する交通シミュレーションモデルである。図1からも明らかなように、後者から得られた時間帯別のリンク所要時間を基にして、前者は再計算される。これら2つのサブモデルによる一連の計算過程はリンク所要時間の値が収束するまで継続される。

本研究では、交通シミュレーションモデルにボックスモデル¹⁾を用いる。ボックスモデルは、リンクを数個のボックスの列により表し、交通の流れをボ

キーワード: 物流計画, ネットワーク交通流

* フェロー会員 工博 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

** 正会員 工修 関西大学工学部土木工学科

〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35 TEL/FAX 06-368-0964

*** 学生員 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

**** 正会員 工修 (株)野村総合研究所

〒240-8511 横浜市長谷区谷戸町134 TEL 045-336-6846 FAX 045-336-1415

ックス間のフローの受け渡しにより表現するものである。ただし、本研究では、集配トラックのような巡回交通にも対応可能となるように、ボックスモデルに改良を加えている。

3. 配車・配送計画モデル

ここでは、前章で述べたモデルのサブモデルの一つである配車・配送計画モデルについて説明を行う。

このモデルは、各企業ごとに、物流コストが最小となるような配車・配送パターンを求めるものであり、以下のように定式化される。

$$\min C(t_0, \mathbf{X}) = \sum_{l=1}^m c_l \cdot T_l(t_{l,0}, \mathbf{x}_l) + \sum_{l=1}^m \delta_l \cdot C_l + \sum_{l=1}^m c_d \max \{0, t_{l,n_i}^s(t_{l,0}, \mathbf{x}_l) - t_{n_i}^e\} \quad (1)$$

$$T_l(t_{l,0}, \mathbf{x}_l) = \sum_{i=0}^{N_l} \left[\max \{t_{l,n_i} + d(t_{l,n_i}, n_i, n_{i+1}), t_{n_{i+1}}^s\} + t_{c,n_{i+1}} - t_{l,n_i} \right] \quad (2)$$

subject to

$$w_l(\mathbf{x}_l) \leq w_l^{\max} \quad (3)$$

ここに、

- t_0 : 各トラックの出発時刻 (ベクトル)
- $\mathbf{X}$: 各トラックの割当てと訪問順序 (数列)
 $\mathbf{X} = \{\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_l, \dots, \mathbf{x}_m\}$
- $\mathbf{x}_l$: トラック l の割当てと訪問順序 (数列)
 $\mathbf{x}_l = \{n_i \mid i = 1, N_l\}$
- n_i : i 番目の訪問先のノード番号
- c_l : トラック l の単位時間費用 (円/分)
- $T_l(t_{l,0}, \mathbf{x}_l)$: トラック l の総稼働時間 (分)
- δ_l : トラック l を使用するとき 1, そうでない場合は 0 の 0-1 変数
- C_l : トラック l の稼働費用 (円/台)
- c_d : 単位遅刻ペナルティ費用 (円/分)
- w_l : トラック l の積載量 (t)
- $w_l^{\max}$: トラック l の最大積載量 (t)
- $t_{n_i}^s$: 訪問先 n_i での許容最早到着時刻
- $t_{l,n_i}^s(t_{l,0}, \mathbf{x}_l)$: 時刻 t_l にデポを出発したトラック l が訪問先 n_i に到着する時刻
- $t_{n_i}^e$: i 番目の訪問先 n_i での許容最遅到着時刻
- N_l : トラック l の総訪問先数

t_{l,n_i} : トラック l が訪問先 n_i を出発する時刻
 $d(t, n_i, n_{i+1})$: 時刻 t における, 訪問先 n_i から訪問先 n_{i+1} までの最短所要時間 (分)

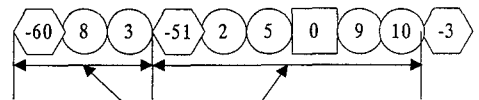
t_{c,n_i} : 訪問先 i における荷役作業時間 (分)

なお、訪問先 n_0 および n_{N_l+1} はデポを表す。

式(1)~(3)により定式化された問題は組み合わせ最適化問題となり、解析的に解くことが困難であるため、本研究では、ヒューリスティック手法の一つである遺伝的アルゴリズム(GA)を用いて近似解を求めることとする。式(1)に示された目的関数の決定変数は各トラックの出発時刻および集配送順序であり、それらを遺伝子型で表現する必要があるため、文字列を以下のように構成した。

まず、出発時刻と集配送順序とを区別するため出発時刻を負値で表し、午前 0 時を 0 として 10 分単位で表現する。例えば、-60 の場合は午前 10 時に相当する。集配送順序に関してはノード番号による順列を用いて表現し、数値 0 でデポを表現することにより、集配送後デポへ帰還し再び集配送へと向かう複数回転の集配送を表現できるようにした。出発時刻と集配送順序から構成される文字列の一例を図 2 に示す。

交叉に関しては、一つの文字列全体に対して行うことが困難であるため、配送順序に関する遺伝子に対しては部分一致交叉を、出発時刻に関する遺伝子に対しては二点交叉を、それぞれ個別に行った。また、突然変異については、削除・挿入の形式で実行した。



- 凡例
- 60 出発時刻を表す遺伝子(負値)
 - 3 目的地ノードを表す遺伝子(正値)
 - 0 デポへの帰還を表す遺伝子(0)

図2 遺伝子の構成方法

4. 仮想地域に対するモデルの適用

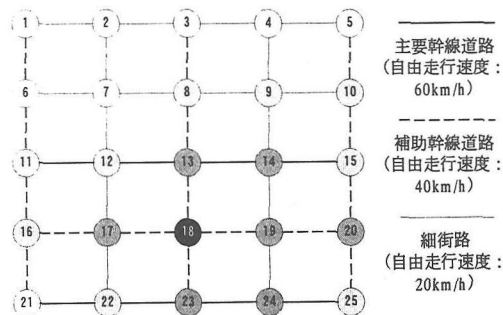
(1)前提条件と問題設定

配車・配送計画システムの導入効果を検討するために、図3に示すような道路ネットワークを有する仮想地域に対してモデルを適用した。図3に示された仮想地域は神戸市とその周辺部をイメージして作成されたものである。

エリア内には、運輸企業が10社存在するものとし、各社のデポの位置は全て異なるものとする。各社の抱える顧客(集配送先)の数および位置は一様乱数により決定される。また、到着時刻指定の貨物の割合や到着時刻分布などの貨物特性は京阪神都市圏における特性に基づいて設定されている。

各ノードにおける発生・集中交通量については、地域内中心部については多く、郊外部については少なくなるように設定した。図3に示されたネットワーク上では、ノード18がCBDと想定されており、発生・集中交通量が最も大きい。

以上のような設定のもとで各社の貨物需要やデポの位置をランダムに変動させて、10種類の計算例を作成し、計算を行った。なお、配車・配送計画システムを導入している企業の割合(以下、システム導入率とする)による結果の相違を検討するために、0%、50%、100%の三種類のシステム導入率が設定されている。



注) 色の濃いノードほど発生・集中交通量が多い

図3 対象とする道路ネットワーク

(2)計算結果

以下に、計算結果の一例を示し、各指標ごとに配車・配送計画システムの導入効果を分析する。

(a)物流コスト

配車・配送計画システムの導入率と企業の物流コストとの関係を図4に示す。システムの普及に伴い物流コストが大幅に削減されており、配車・配送計画システムの高度化が企業にとってかなり有益であることが確認される。物流コストが削減される最大の要因は、使用トラック台数の削減に伴う備車コストの減少であった。

表1は、集配送に使用されたトラックの台数の変化を車種ごとにシステム導入率別に示したものである。システム導入率の増加と共にトラック台数が減少していることがわかる。

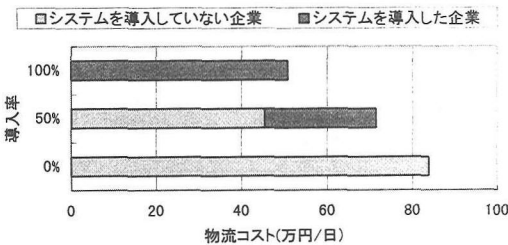


図4 システム導入率と物流コストとの関係

表1 使用トラック台数の変化

	導入率		
	0%	50%	100%
2t車	16	16	13
4t車	19	18	11
10t車	13	11	7
計	48	45	31

単位:台

(b)総走行時間

次に、システム導入率と各種車両の総走行時間の関係を表2に示す。システム導入率の上昇に伴い総走行時間は減少し、システム導入率が100%に達すると、全体の総走行時間は約80%まで削減される。配車・配送計画システムが普及することによって、都市内の交通状況が大きく改善される。表2からも窺えるように、この結果には、トラックの待ち時間、すなわち集配送先に到着した場合に到着時刻まで待機する時間が、大幅に削減されていることが関係しているものと考えられる。

また、乗用車については、システム導入率によらず総走行時間がほぼ一定となっている。その理由として、ネットワーク内における乗用車交通量がトラック交通量と比較してかなり大きいために(乗用車:トラック=86.6:13.4)、集配送の効率化が乗用車に与える影響がさほど大きくならないことが考えられる。トラックの待ち時間の大幅な削減はトラックの路上駐車車の減少を意味する。しかし、本研究におけるシミュレーションモデルでは、路上駐車車両の影響が明確に表現されていない。したがって、この点については、モデルに改良を加えて改めて検討する必要がある。

表2 総走行時間の変化

		導入率		
		0%	50%	100%
トラック	走行時間	3,413	3,183	2,784
			93.3%	81.6%
トラック	待ち時間	7,084	6,759	1,609
			95.4%	22.7%
乗用車		20,151	20,142	20,096
			100.0%	99.7%
計		30,648	30,084	24,489
			98.2%	79.9%

単位:分/24h

注) 各欄下段に示されているパーセント表示は、導入率0%の時の比を表したものである。

(c) CO₂排出量

最後に、配車・配送計画システムの高度化が環境に与える影響について分析するため、システム導入率とCO₂排出量の関係を調べる。システム導入率別のCO₂排出量を示したものが表3である。表3から、システム導入率の増加と共にCO₂排出量が削減されているのがわかる。したがって、配車・配送計画システムの高度化は都市内の環境に好影響を与えるものと考えられる。

車種別に見ると、トラックで約26%削減されている。ただし、ここでは、待ち時間内のアイドリングにおけるCO₂排出量が考慮されていない。したがって、それをも考慮した場合には、より大きなCO₂排出量削減効果が得られるものと推測される。また、乗用車に限っては、CO₂排出量がさほど変化していない。この傾向は、上述の総走行時間に類似するも

のであり、その要因も総走行時間において述べたことと同様であると考えられる。

表3 CO₂排出量の変化

	導入率		
	0%	50%	100%
トラック	298	264	220
		88.8%	73.8%
乗用車	530	531	530
		100.0%	100.0%
計	828	795	750
		96.0%	90.6%

単位:kg-C/24h

注) 各欄下段に示されているパーセント表示は、導入率0%の時の比を表したものである。

5. まとめ

本研究では、企業の配車・配送計画システムを内包した動的な道路交通状況再現モデルを構築し、配車・配送計画システムの高度化に伴う集配トラックの行動変化が都市内の道路交通状況および環境に与える影響について分析した。

配車・配送計画システムの高度化により、個々の運輸企業における物流コストや使用トラック台数が大幅に削減されることが確認された。さらに、集配送先におけるトラックの待ち時間が大きく減少することにより、ネットワーク内の総走行時間も低減することが確認された。さらに、CO₂排出量もトラックを中心に削減されており、配車・配送システムの高度化が都市内の環境にも好影響を与えることが確認された。

今後の課題として、駐車車両の影響を考慮できるようにシミュレーションモデルを改良すると共に、システム導入後において、集配送の共同化やトラックの流入規制などの各種施策・規制の影響を調べることなどが考えられる。

なお、本研究の遂行にあたり、建設省近畿地方建設局阪神国道工事事務所のご協力をいただきました。ここに深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 飯田 恭敬, 藤井 聡, 内田 敬: “道路交通流シミュレーションを用いた道路網交通における情報提供効果に関する分析”, 交通工学 Vol. 31 No. 6, 1996