

Modelling of Dynamic Schedule Options of Collective Truck Movement and its Application to Goods Collection Rationalization in Commercial Areas*

鈴木正隆*・塚口博司**・西脇康次***

By Masataka Suzuki**, Hiroshi Tsukaguchi***, and Koji Nishiwaki****

1. はじめに

トラックによる集配送活動を荷主事業所への訪問スケジュール作成という観点から捉える場合、配送活動と集荷活動には大きな相違点がある。前者の場合には、活動を開始する前に適切なスケジュールを作成することができ、道路混雑等によって訪問順序や経路を変更する以外は、ほぼこのスケジュールに基づいて配送が行われる。一方、後者の場合にはトラックがデポ等を出発する前に大雑把なスケジュールを作成することはできるが、このスケジュールは無線・携帯電話等によって荷主から入ってくる新たな集荷要請等によって変更を迫られることが日常的であり、スケジュールを現場で適切かつ迅速に修正して対応することが必要となってくる。

本研究では、集荷活動に関する詳細な実態調査結果の分析に基づいて、効率的な集荷活動を実現するために、訪問順序および経路選択を最適化する集荷モデルを構築するとともに、構築したモデルを用いて、いくつかの物流合理化策の導入効果を定量的に把握することを目的とする。

なお、本研究では、荷物の集配送活動をトラックによる移動・横持ち移動とアクティビティ（荷物の積み降ろし等）の連続からなる一連の行動と捉えている（図-1）。

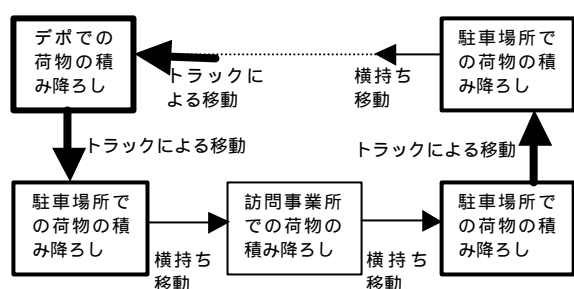


図-1 集配送トラックの行動

2. ハイブリッド型地区物流調査

本研究では、以下に示す4種類の調査から成るハ

*Key Words : pick-up truck, dynamic routing, modeling of pick-up truck movement

***正員 工学博士 立命館大学理工学部環境システム工学科(草津)

市野路東1-1-1 Tel:077.561-2735. E-mail:tsukaguc@se.ritsumeij.ac.jp

****正員 工修 日本通運

イブリッド型地区物流調査を実施した。調査対象地区は図-1 に示す大阪府中央区の船場地区である。

集配送トラックの行動全般を詳細に把握するための
トラック同乗調査

集荷活動の特性を多様な状況の下で捕捉するための SP 調査

電話等による追加集荷要請への対応把握に限定したトラック同乗調査

横持ち行動に関する追跡調査

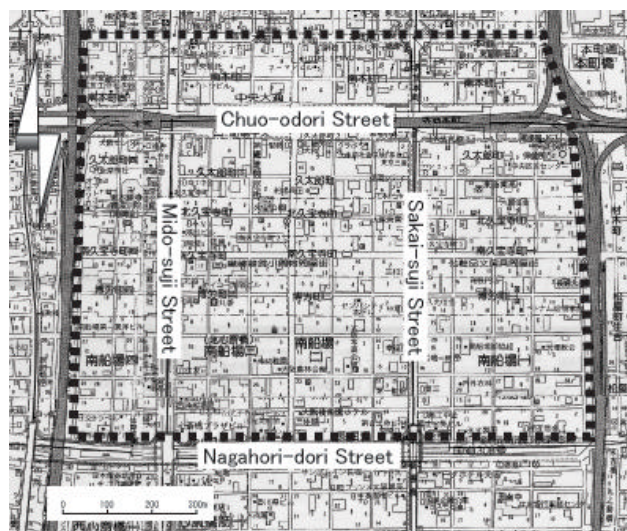


図-2 調査対象地区

3. 本研究で構築するモデル

(1) 集荷活動の現状再現モデル

トラックのオペレーターは経験に基づいて、所要時間あるいは移動距離等をできるだけ小さくするように活動していると思われる。本モデルは、最適化の議論ではなく、一方通行規制が多用されている格子状街路網を有する地区において、トラックのメカニズムを把握し実際の行動を再現しようとするものであり、その概要を図 - 3 に示す。本モデルは、基本的には目的地を表すノードを類型化し、実態調査から確認できる選択メカニズムに基づいて訪問順序を推定するものである。

(2) 最適スケジュール作成モデル

本研究では最適スケジュールを作成するに当たって、2つのサブモデルを構築した。一方は、デポ等で予め策定可能なスケジュールに関するものであり、

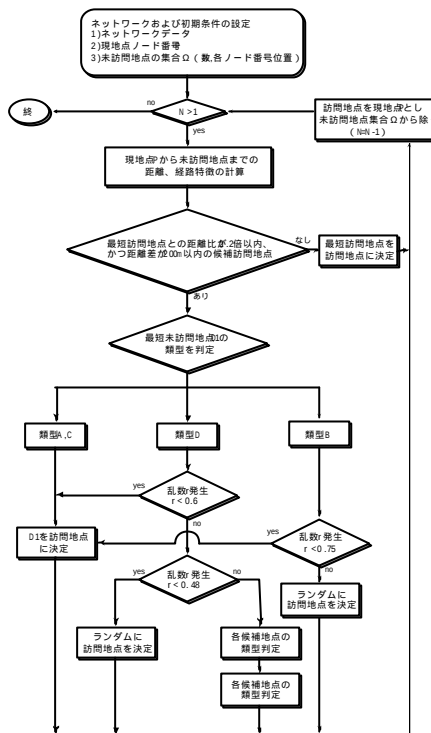


図-3 集送活動の現況再現モデル

集荷作業中にスケジュール変更を求められることがない場合のモデルであって、静的スケジュール・サブモデルと呼ぶ。もっとも、配送の場合と違って、集荷においては、通常の定時集荷時間の他に新たに集荷要請があったり、定時に集荷に行っても荷物が準備できていないといった理由から、スケジュールを変更しなければならないことが日常的である。そこで、動的スケジュール・サブモデルを構築し、これを静的スケジュール・サブモデルに追加することによって、集荷作業中のスケジュール変更に対処することが必要である。図-4 は本研究で考える集荷活動の流れを示している。図中の細い線で表される部分は静的スケジュールを表し、太い線で表される部分は動的スケジュール処理を表している。

静的スケジュール・サブモデルについて説明する。船場地区における調査によると、毎日定刻に集荷サービスを受けている荷主(荷主 A)は全体の約 7 割を占めている。そして毎日不特定な時刻に集荷サービスを受けている荷主(荷主 B)と不特定な日および時刻に集荷サービスを受けている荷主(荷主 C)のうち約 7 割が荷主 A を訪れる途中で訪問されており、駐車場所から荷主までの距離は 90m 以下であった。このような状況を念頭に置き、まず荷主 A を定時集荷時間によってグループ化する。集荷サービスは、集荷時間の早いグループから始めることとする。次に、荷主 A を訪問するために駐車した場所から、荷主 B あるいは C が 90m 以内であれば、その荷主を当該荷主 A が属するグループに追加し、90m 以上であればそのままにしておく。つまり、まずあるグ

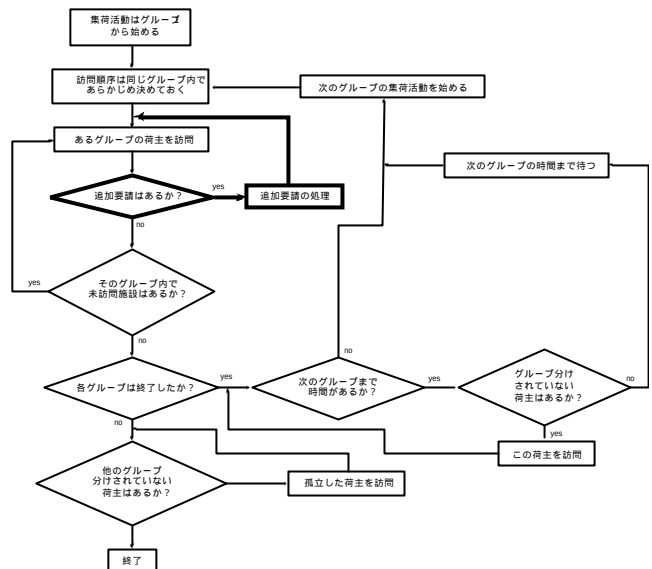


図-4 集荷活動の流れ

グループに属する荷主 A を訪問し、次のグループに属する荷主 A の集荷指定時間までに、当該グループに分類した荷主 B、C を訪問するというのである。しかし、すべての荷主 B、C の訪問を完了するまでに次のグループの作業開始時間がきた場合は、それらは後まわしにする。

追加要請に対する対応は、荷主と運送事業者との関係に依存することが多い。荷主ランクによる追加要請への対応を図-5に示した。ここで、ランク1（最重要）、ランク2（重要）、ランク3（標準）のように荷主に3つのランクがあると仮定する。一般に、それらはふつう荷主 A、B、C に相当している。前もって決められた時刻に集荷サービスを希望するランク1の荷主の場合、オペレーターはその事業所を集荷指定時間に見合うグループに割り当てる。しかし、集荷時間を決めていないランク1の荷主は、荷主 B、C に分類されるが、その荷主に対する集荷サービスはその日のうちに終了させる。一方、ランク2、3の荷主は荷主 B、C に分類され、繁忙期には翌日にサービスを受ける場合もある。

本研究では、荷主からの追加要望も考慮した上で、総トリップ長あるいは総トリップ時間を最小とする最適スケジュールについて検討している。ここで、

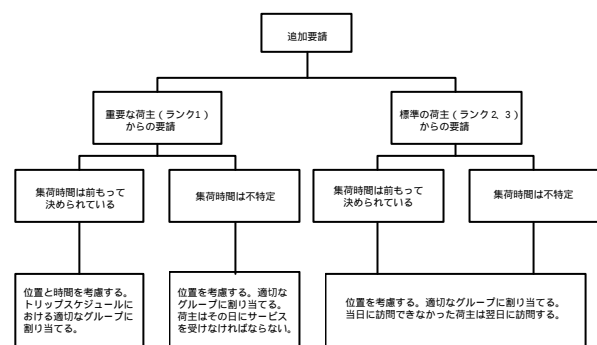


図-5 荷主ランクによる追加要請への対応

事業所の訪問順序決定アルゴリズムは、まず、出発地点から最短の施設を選び、これを繰り返すことで訪問順序の第一次解を求める。これは実際の集荷活動においてオペレーターが最短訪問施設を約7割の確率で訪問しているという事実に基づいている¹⁾。さらにこの第一次解に対して Arc-exchange 法を適用し、グループ内の訪問順序を改善した²⁾。

移動所要時間に関しても同様の手法を用いたが、各リンクの所要時間は、対象地区周辺において実施した交通量配分結果を用いて推定した。なお、本研究が直接対象としているトラック交通量の増減に伴う所要時間変化については考慮していない。

4. 集配送活動合理化に向けた各方策

物流合理化方策として、本稿では、動的スケジュールモデルを用いた集荷スケジュールの最適化、共同集荷システムの導入、およびローディング・ゾーンの導入について検討する。

訪問施設の配置パターンとしては、A～Dの4パターンを設定した。パターンAおよびBは訪問対象事業所が地区内全体にわたって分布しており、パターンCは現状になって、久太郎町・北久宝寺・南久宝寺・博労町等の街路を中心に事業所を配置するとともに、幹線道路（中央大通・御堂筋・長堀通・堺筋）に囲まれた範囲内に限定されている。また、パターンDは、パターンA、Bと同様に事業所が地区内全体に分布するとともに、訪問事業所を幹線道路に面した場所に配置した。またパターンDでは、他のパターンよりも訪問事業所を多数設定し、指定時間内に訪問できない事業所が生じる場合も検討できるようにした。

(1) 集荷スケジュールを最適化した場合

上記の各パターンについて、それぞれの事業者を対象に集荷活動を行う場合について、動的な集荷スケジュールモデルを用いて集荷スケジュールを最適化し、これと現状を再現する集配送活動現況再現モデルの結果を比較することにした。全体として、走行距離で4.4%～13.4%、移動所要時間で5.4%～11.2%削減されている。最も改善効果が大きかったのはパターンDで、走行距離および所要時間ともに大幅な減少が見られる。パターンDは幹線道路沿いに訪問事業所を配置したものであった。逆に最も改善効果が小さかったのはパターンCであった。パターンCはトラック同乗調査を行った運送業者が訪問している事業所分布に近いもので、訪問事業所が比較的密集しているパターンである。このような場合には、施設間の移動経路が少数に限定されてしまい、改善効果が小さくなったものと考えられる。

(2) 共同集荷システムを導入した場合

共同輸送システムの導入効果を検討するに当たって対象とした事業所は、前節で設定した事業所であ

表-1 動的モデルの導入効果

		現況	Case1	Case2	削減量	削減率
パターンA	走行距離(m)	13945	12780	13050	1165	8.35%
	所要時間(h:min)	27.29	25.85	25.20	2.09	7.66%
パターンB	走行距離(m)	9770	8990	9115	655	6.70%
	所要時間(h:min)	18.11	17.59	17.03	1.08	5.96%
パターンC	走行距離(m)	8060	7705	7705	355	4.40%
	所要時間(h:min)	15.60	15.08	14.76	0.84	5.36%
パターンD	走行距離(m)	14405	12480	12620	1925	13.36%
	所要時間(h:min)	28.17	25.24	25.03	3.14	11.15%

る。今、パターンAの事業所を運送会社Aが担当し、パターンBの事業所を運送会社Bが担当するというように、4つの運送会社がそれぞれ独自に集荷活動を行っているとする。この状況において共同集荷システムを導入することとし、4社が共同の集荷トラックを運行した場合の効果を表-2に示す。

現状のように各社が独自に集荷活動を行う場合（集荷活動現状再現モデルを使用）と共同集荷システムを導入した場合とを比較すると、走行距離で43.5%、移動所要時間で40.6%の削減がみられた。また、共同集荷システムを導入するとともに動的な集荷スケジュール決定モデルを用いると、走行距離で46.3%、移動所要時間で43.9%の削減が可能となった。このように、共同集荷システムを導入するとともに、動的にスケジュールを最適化すれば効果がさらに高まることがわかる。

表-2 共同集荷システムの導入効果

	共同集荷導入前 (現状モデル) ¹⁾	共同集荷導入後		改善量(改善率)		
		現況モデル	動的モデル	-	-	-
走行距離(m) (4台合計)	46380	26090	24800	20090 (43.50%)	21380 (46.30%)	1290 (6.42%)
移動所要時間(h:min) (4台合計)	89.17	52.95	50.05	36.22 (40.62%)	39.12 (43.87%)	2.90 (5.47%)

(3) ローディング・ゾーンを導入した場合

許可される荷さばき駐車時間の上限値が設定され、それに応じた最大横持ち距離が次式によって算出されれば、これに基づいてローディング・ゾーンの配置について検討することができる³⁾⁴⁾。

$$D = (T_0 - t_a) * (V_k / n)$$

ここで、

T_0 : 許可される荷さばき駐車時間の上限値(分)

t_a : 荷物の積み降ろし等に伴う作業時間(分)

V_k : 荷物個数ランクkの横持ち移動速度(m/分)

k : 荷物個数ランク

n : 横持ちトリップ数

本稿では、地区内においていくつか道路区間にローディング・ゾーンが整備された場合について考える。ローディング・ゾーンを利用できる場合には30分の駐車が許可されたとし、これが整備されていない場合には、5分の駐車しか認められないとする（結果として、1回の駐車で1事業所しか訪問できないことになる）。事業者の配置は、上記のローディング・ゾーンの配置を考慮して4パターンを設定した。ローディング・ゾーンの導入効果は表-3

に示すとおりである。ローディング・ゾーンを導入した場合、すべてのパターンにおいて、走行距離で 2.6～19.9%、移動所要時間で 2.3%～20.0%の改善がみられた。ローディング・ゾーンを導入し、動的な集荷スケジュール決定モデルを用いた場合には、さらに走行距離で 4.1～5.9%、移動所要時間で 5.0～7.0%の改善がみられた。

ローディング・ゾーンは路上の荷さばき駐車を整序化を目的とするものであるが、ローディング・ゾーンを導入することによって走行距離および移動所要時間も削減されることが分かった。動的な集荷スケジュール決定モデルを用いることによって、さらに合理化を図ることができるため、ローディング・ゾーンの導入は、路上駐車の整序化および走行距離・移動所要時間の削減と複合的な効果が期待できるものである。なお、以上で試算した効果は、ローディング・ゾーンが利用できない場合には、5 分以内の荷さばき駐車しか認めないという前提のものであり、現実にはそれ以上の駐車も少なくないことに注意する必要がある。

表- 3 ローディング・ゾーン導入効果

		ローディング・ゾーン導入前 (現況モデル)	ローディング・ゾーン導入後		導入による改善量(改善率)	
			現況モデル	動的モデル (Case1, or Case2)	—	—
パターンA	走行距離(m)	11955	10825	10380	1130 (9.45)	445 (4.11)
	所要時間(mi n)	23.38	21.16	20.10	2.22 (9.49)	1.06 (5.01)
	ストップ数	16	15	15	1	0
パターンB	走行距離(m)	8505	7690	7245	815 (9.58)	445 (5.79)
	所要時間(mi n)	16.65	15.03	13.98	1.62 (9.73)	1.05 (6.99)
	ストップ数	13	13	14	0	1
パターンC	走行距離(m)	10090	8080	7740	2010 (19.92)	340 (4.21)
	所要時間(mi n)	19.75	15.81	14.98	3.94 (19.95)	0.83 (5.25)
	ストップ数	15	12	12	3	0
パターンD	走行距離(m)	10320	10050	9455	270 (2.62)	595 (5.92)
	所要時間(mi n)	20.14	19.67	18.31	0.47 (2.33)	1.36 (6.91)
	ストップ数	17	16	16	1	0

*走行距離はCase1を所要時間はCase2を示した

5 . 物流合理化策に基づいた地区物流環境改善効果の分析

前章までは、トラック 1 台あたりの効果あるいは共同集荷トラック 1 台（本稿の試算では通常のトラック 4 台に相当）当たりの効果を対象としたが、本章ではこれを当該地区全体の集配送トラックに拡大することとし、上記の各施策の導入効果を環境改善ならびに経済効果の側面から分析することにした。

(1)環境改善効果

ここでは、排出ガスのうちで、NO_x、CO、HC、PM を取り上げた。なお、対象地区で集荷活動を行っているトラック台数を推定することは実際には容易ではない。そこで、本稿では、実態調査で協力を得た運送会社の 1 日当たりの配車台数と 1998 年に船場地区で行われた共同配送実験に積極的に参加した企業数等から概数を推定した。排出ガスの削減効果を表 - 4 に示す。

表- 4 (その 1) 集荷スケジュールの最適化

	現況	合理化策導入後	削減量
CO	83788	76123	7665
HC	15959	14499	1460
NOx	15959	14499	1460
PM	3590	3262	328

表- 4 (その 2) 共同集荷システムの導入

	現況	合理化策導入後	削減量
CO	83788	11249	72539
HC	15959	2142	13817
NOx	15959	2142	13817
PM	3590	482	3108

表- 4 (その 3) ローディング・ゾーンの導入

	現況	合理化策導入後	削減量
CO	74154	63177	10977
HC	14124	12033	2090
NOx	14124	12033	2090
PM	3178	2707	470

単位：g/day

(2)経済効果

スケジュールの最適化による走行距離の短縮、共同集荷、ならびにローディング・ゾーンの導入の効果を表 - 5 に示す。

表- 5 物流合理化策による経済効果

	スケジュール の最適化	共同集荷シ ステム	ローディン グ・ゾーン
経済効果	49,163	268,989	86,294

単位：円 / day

6 . おわりに

都心商業地区等の地区レベルにおける物流改善について検討する場合には、活用できるデータは非常に限られたものとなる。そこで、本研究では、いくつかの調査を組合わせたハイブリッド型地区物流調査手法を提案し、これに基づいて、集荷活動の合理化について検討できる動的なスケジュール決定モデルを作成した。本稿では、各施策の効果分析に関しては紙面の制約から結果のみを示したが、詳細は講演時に述べることにしたい。

参考文献

- 1) Tsukaguchi,H,Li,Y.,Ohara,F.,amd Nishimura,T. : A study on modeling of truck's movement in CBD, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies,Vol.2, No6,1999.
- 2) 西脇康次・塚口博司：トラックの集荷活動における動的なルート選択土木計画学研究・講演集、2001 .
- 3) 魚井宏泰・鈴木正隆・塚口博司：ローディング・ゾーンのキャッチメントエリアの設定に関する一考察、土木学会関西支部学術講演会講演集、2002.
- 4) 鈴木正隆・塚口博司・魚井宏泰：ローディング・ゾーンの配置計画に関する一考察、土木学会学術講演会講演集、2002.