

分析型モデルを用いた競合環境下における 共同集配の実現可能性の検討*

A Feasibility Study on Cooperative Vehicle Deliveries
under Competitive Circumstances by an Analytical Model

今井昭夫**, 小谷通泰**

by Akio IMAI and Toshiyasu ODANI

For the last two decades, there has been a growing interest in cooperative vehicle deliveries. However this type of delivery systems may not have been successful as much as expected because of the resulting worse service levels in the cooperations and other reasons.

In this paper, we model a cooperative delivery system by an analytical modelling technique to evaluate the effect of the system under competitive circumstances. We conducted by the model some case studies with various cooperative conditions. It is concluded from the studies that the cooperations result in improvements of profit for track companies which join the cooperations, and in only cases with relatively large cargo demands and frequent liner track services those take effect in reducing the number of delivery tracks.

1. はじめに

主として都市圏での物流効率化のためにトラックの共同輸配送が始められて久しい。全国各地で共同輸配送が現在行われているが、残念ながら当初考えられていたほどの普及には至っていない。しかし近年、社会機能の大都市への過度の集中により、交通環境の悪化は予想を上回る状態になってきており、またこれによる大気汚染も深刻な状況になっている。そのためトラック輸配送共同化の実現への推進活動が再び活発化している。

ところで共同化にもその主体の違いによっていく

*キーワード：共同集配，トラック配車計画

**正会員 工博 神戸商船大学助教授

商船学部輸送システム工学講座

(〒658 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

つかの種類がある¹¹⁾。文献(15)によれば、1988年現在行われているトラック輸送での共同化の成功例は表1のとおりであり、この数を見る限り、共同化が普及しているとはいえない。表1で都市圏の交通環境や大気汚染の改善に寄与すると考えられる、卸売業間、小売業間および地域共同化の事例はわずか24%にすぎず、地域共同化は福岡市天神地区における集配事業共同化⁹⁾の1例のみである。したがって特

表1 共同化の事例

主体	ケース数	%
メーカー間	17	46
卸売業間	6	16
小売業間	2	5
運輸業間	1	3
異業種間	10	27
地域	1	3
合計	37	100

表2 路線トラック貨物内訳

(1977年)	
品目	%
軽工業品	52
機械	14
金属品	9
化学工業品	12
その他	13
合計	100

定地域におけるこの種の路線トラック業者の共同集配が今後ますます重要になってくると思われる。

ところでトラック輸送事業の共同化で重要な点は、トラック輸送事業は公共性を有するものの営利事業であり、採算性の問題を克服しない限りその成功は期待できないことである。ことに、近年トラック事業にマーケティングの概念が普及しはじめ、サービスの差別化を行って輸送需要を喚起する傾向にある¹⁴⁾。つまり旧来のような貨物需要充足型から需要創造型へ変貌しようと試みはじめているといえよう。

このような差別化の対象となるサービス要素の一つは輸送時間であろう。基本的には高速輸送が高いサービスレベルと考えられるが、他の輸送機関での例もあるように、低運賃負担力の貨物はさほど緊急性がないため、多少輸送時間がかかっても構わない。

表2は1977年における路線トラック輸送の対象貨物の内訳¹³⁾である。これによれば過半数は軽工業品等の雑貨であるもののさまざまな品種の貨物を輸送しており、貨物によっては輸送時間がかかっても低運賃のサービスに適した物もあると考えられる。たとえば需要創造型トラックサービスの最たるものである宅配便でも、輸送時間が短く運賃が高いものもあれば、その逆である宅配便会社もある。しかし共同化が実施されると、サービスの差別化はかなり困難になるに違いない。たとえば路線サービスの全区間を共同化すれば輸送時間の差別化は不可能になる。

従来から集配の共同化を評価する試みがなされているが、それは共同化による交通量のみの評価に偏っている。先述のようにトラック輸送事業は営利事業であり、経営的満足度が低い限り共同化に踏み切ることはない。大手運輸業者はそのスケールメリットから効率的輸配送がすでに実施できており、その意味で共同集配の対象は中小運輸業者であろう。したがって経営的利点が共同化のキーポイントになる。

本研究では以上の点を考慮し、輸送時間の差別化を実施して他社と競合している路線トラック事業者がその集配作業で共同化を実施した場合、その前後でどのように経営上の差異が生じ、またどのような共同化の効果が生じるかを分析型配車モデルにより検討し、共同化の実現可能性を考察する。

2. 関連する既往の研究

欧米ではトラック集配計画手法の研究は盛んであるが、これには大別して2つあり、巡回セールスマン問題やビークル・ルーチング問題に代表される詳細な運用計画のためのミクロモデルと、トラックの台数決定等の設備計画のためのマクロモデル(分析型モデル)がそれらである。分析型モデルは比較的少ないデータで戦略的決定を行うのに有効といわれ、多くの研究が行われている¹⁻⁷⁾。文献(2-4)ではある集配形態でのトラックの走行距離の推定式が求められ、さらにそれをもとに(1,5-7)ではビークル・ルーチング問題型の単一デポからの集配に関わる費用分析を行い、費用最適化集配計画モデルを開発している。

日本では松本¹²⁾が文献(6)をもとに、物資の供給における供給者側費用と顧客費用の合計をロジスティック費用と定義して、その費用と顧客サービスのトレードオフを検討している。この研究では供給側費用のなかの物資在庫費用と顧客側費用のなかの在庫費用は物資の価額に比例していることから一種の金利損と考えられ、このような金利損を供給側と顧客側の両方に課している点に問題があるように思われる。共同輸配送に関する研究としては(8,16)がある。文献(8)ではマクロ配車モデルを用いて共同化による交通量の削減効果を、また(16)では共同化によるターミナルコストの削減効果のみを検討対象にしているが、両研究とも競合状態を明示的に考慮していない点に問題があらう。また先にトラック会社にとっては経営的満足度が低い限り、共同化を導入する可能性は低いと述べたが、この点の検討もこれら研究には不足している。

3. 路線トラックサービスの経営分析

本研究では路線トラックサービスを競合と共同の両状態に対して分析するが、次の仮定を設ける。

- ①ある1対の地域間でのサービスを考える。ここで路線対象貨物は表2のように小口雑貨が多く、これの輸送手段として区域トラックや鉄道は考えられないので、路線トラックとこれらの競合はないと考える。
- ②対象トラック路線への参入企業は2社とする。政策変数は輸送時間とし、両社は輸送時間の差別化を行って顧客獲得競争を実施している。なおトラック運賃は認可制であるので、両社は輸送時間に逆比例する運賃水準のもとでサービスを行うと考える。

③集配共同化の効果の分析が目的であるので、モデルの単純化のため、路線運行形態は両社同じとする。

競合時と共同時の分析方法は次のとおりである。

(1) 競合時は図1に示す分析フローを用いる。顧客は一般にサービスの優れている(輸送時間が短い)方を選択するが、同時に顧客は何の制約もなく各自の自由意思によってトラック会社を選択すると考えられる。本研究ではこのような考え方を前提に、比較的簡便に消費者の選択行動が表現可能な方法である多因子情報路エントロピー・モデル¹⁰⁾を用いて顧客配分を行う。こうして予想される自社顧客を前提にして、各社は分析型集配モデルを用いて、提供するサービス水準に対して経済的合理性に基づく最適輸送計画を立案する。

(2) 共同時の分析は競合時のフローに準じて行う。ただし、集配の共同化が実施されるとサービスの差別化は不可能となるので、両社は顧客配分モデルで貨物を配分されることなく、共同化により1社として集配車両の最適運行形態を立案する。なお両社の集荷量はそれぞれ貨物需要全体の半分である。

本研究では上記の競合と共同の両方に対して分析型集配モデルにより最適運行形態を求め、共同化による経営の特徴や運行形態の変化について分析する。政策変数は両社の輸送時間(集配頻度に対応している)であり、これを変化させることにより(競合時では両社の顧客貨物獲得量も変化する)、輸送コストさらには運賃も変化し、したがって最終的には両社の利益率が変化する。このように輸送時間を操作する(実際には集配頻度を操作する)ことで、競合時と共同時の経営上の差異およびトラック台数の削減効果の変化が考察できる。

4. 分析型集配モデル

(1) 前提

ある特定地域での集配の共同化を考える場合、その路線トラックサービスの内容により共同化の及ぼす効果が変わってくると考えられる。本研究は路線サービスの共同化ではなく、デポを中心とした特定地域の集配の共同化を考察対象としている。そのため差別化の対象は輸送時間であるが、その中でも集配区間の輸送時間(分析型モデルでは集配頻度として表している)のみの差別化を行う。

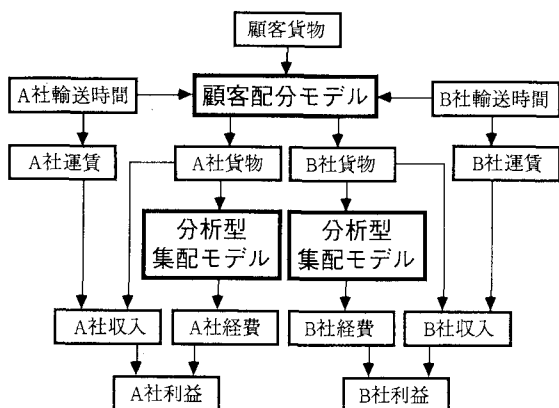


図1 競合状態での経営分析フロー

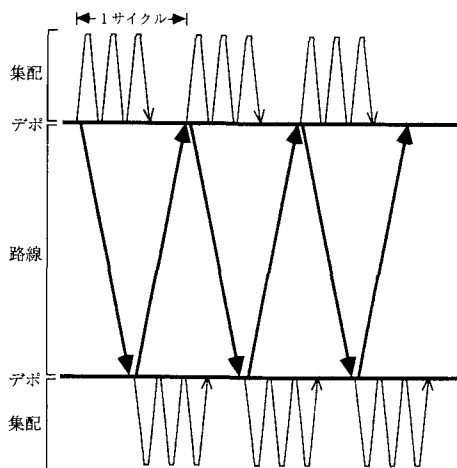


図2 路線便サービスの形態

本分析型集配モデルでは次のような路線トラックサービスを仮定する。

- ①両社とも路線の両端にデポを設け、そこから対象地域の顧客に集配サービスを実施する。
- ②図2のように両社とも路線便はある同一サイクルに1便運行され、デポからの集配は1サイクル内に何回かに分けて行う。このとき両社は集配の頻度を差別化していると仮定する。また両社とも同一の公共トラックターミナルをデポとして利用する。
- ③今回は1回の巡回で集荷と配達のいずれかだけを行う場合を検討し、両社とも集荷または配達を1日に同時に何台かの集配車で1回で行う。

(2) 配車モデル

パラメータおよび決定変数は次のとおりである。

a) パラメータ

A: 対象エリア面積(km²), Q: 1顧客平均貨物量(トン)
 N_p: 1サイクル内集荷顧客数, N_s: 1サイクル内配達顧客数
 P: 1サイクルの日数, ρ : 1顧客間平均距離(km)
 γ : 距離係数

[ν_1, ν_2]: [1顧客間, 集配エリアトラック速度(km/時)]

α_a, α_1 : トラック車両費用係数

β_a, β_1 : トラック運行費用係数

b) 決定変数

f: 1サイクル内集荷(配達)頻度(仮定③より集配日数)

n: 集配トラック台数, q: 集配トラック1台当り容量(トン)

c) モデル

図3のように両デポとも路線トラック到着後ののはじめのf日で配達, 次便の出発日前のf日で集荷を行うと仮定する。いまN_p=N_s=Nと仮定すると, 文献(2)より, ある広さAの対象地域内の集配顧客間の平均距離は以下ようになる。

$$d = \gamma (A/N)^{1/2}. \quad (1)$$

1回の集荷(または配達)をトラックn台で同時に行うとすると, トラック1台当り1回の集荷距離は,

$$L = 2\rho + \frac{Nd}{fn} \quad (2)$$

となる。これに式(1)を代入して,

$$L = 2\rho + \frac{\gamma(AN)^{1/2}}{fn} \quad (3)$$

さらにトラック1台1回の集配時間は次式になる。

$$T_D = \frac{2\rho}{\nu_1} + \frac{\gamma(AN)^{1/2}}{fn\nu_2} \quad (4)$$

いま1サイクル当り車両費C_Uとkm当り運行費C_Hは次式のように与えられるとする。

$$C_U = \alpha_1 q + \alpha_a \quad (5)$$

$$C_H = \beta_1 q + \beta_a \quad (6)$$

積載貨物量が各トラック均等になるように集配計画が立てられるとし, さらに仮定③を考慮すると, トラック容量は次式で表される。

$$q = \frac{NQ}{fn} \quad (7)$$

1サイクル当りの集配車に関わる費用は,

$$C_A = C_U n + 2 C_H f n L \quad (8)$$

になる。式(8)に式(3)および(5)~(7)を代入すると, C_Aは次のようなfとqの関数になる。

$$C_A = \delta q + \frac{\varepsilon}{q} + \zeta \quad (9)$$

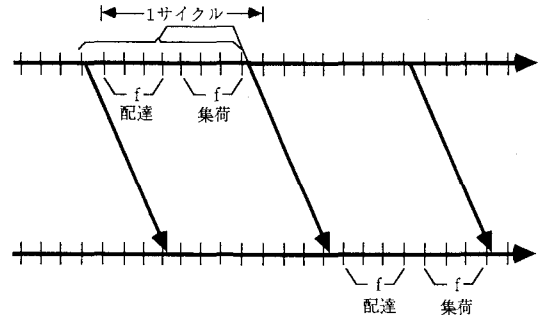


図3 集配形態

ここで

$$\delta = 2\beta_1 \gamma (AN)^{1/2},$$

$$\varepsilon = \frac{\alpha_a N Q}{f} + 4\beta_a \rho N Q, \quad (10)$$

$$\zeta = \frac{\alpha_1 N Q}{f} + 4\beta_1 \rho N Q + 2\beta_a \gamma (AN)^{1/2}.$$

集配頻度は1サイクルの日数以下であるので,

$$f \leq P. \quad (11)$$

したがって, C_Aはfに逆比例するので, 最適集配頻度f*=PのときC_Aは最小になる。

また, 式(9)をqで偏微分してゼロとくと,

$$\frac{\partial C_A}{\partial q} = \delta - \frac{\varepsilon}{q^2} = 0 \quad (12)$$

となり, C_Aを最小化する最適トラック容量は,

$$q^* = (\varepsilon / \delta)^{1/2}. \quad (13)$$

ところで式(4)に式(7)を代入すると,

$$T_D = \frac{2\rho}{\nu_1} + \frac{\gamma q (A/N)^{1/2}}{Q \nu_2} \quad (14)$$

となり, T_Dはqに比例する。1回の集配時間の上限をT^Uとすると, 式(15)が成立し, 式(16)が得られる。

$$T_D \leq T^U \quad (15)$$

$$q \leq (T^U - 2\rho/\nu_1) Q \nu_2 (N/A)^{1/2} \frac{1}{\gamma} \quad (16)$$

したがってq*はその範囲内での値をとることになる。

d) 輸送時間

競合状態の分析では両社の路線サービスでの輸送時間が必要である。そこである集配頻度での荷主の期待輸送時間を求める。いま路線の両端地域では同じ集配頻度でサービスを行っており, 各社集配頻度に差があってもこの条件を満たすとする。また各貨物は1サイクル内に一様分布で発生すると考える。ある出発便に積まれる貨物は1~P日前に発生したものであり, この貨物は図3のように路線便の出発日の1~f日前に集荷される。配達は路線便到着日の1~f日後に行われるので, 貨物の平均配達時間

は $(f+1)/2$ 日である。したがって各顧客貨物の期待輸送日数 T_A は以下のように表せる。

$$T_A = \sum_{i=1}^P \{P - i + T_L + (f+1)/2\} / P$$

$$= (P + 2T_L + f) / 2 \quad (17)$$

なお T_L は路線トラックの片道所要時間である。

式(17)から集配頻度が低いほど輸送時間が短くなりサービス水準が高くなる点に注意する必要がある。ところで、文献(8,12)では輸送サービスの水準の高さは集配頻度に比例するとされている。つまりここでは集荷における顧客の貨物輸送需要の発生時点からデポ到着までの所要時間を評価して、集配頻度の高さがサービス水準の高さ(つまり輸送時間の短さ)を表していると考えている。しかし本研究が対象とする路線サービスでは集荷点での輸送需要発生から配達点への到着までに要する時間を考えなければならない。そのため路線トラックの次便に積載する貨物を集荷する場合、その頻度はなんら輸送時間に影響しないし、配達は多頻度で分割して行うよりも一括して行う方が全輸送時間は短縮されることになる。

(3) トラックサービス費用

一般にトラックサービスにかかるロジスティック費用は輸送費用、デポ在庫費用ならびに輸送中在庫費用からなるが⁶⁾、ふつう輸送中在庫費用は他の費用項目に比べて小さいので無視できる。輸送費用はトラックの車両費と運行費であり、デポ在庫費用はデポの借り受け費用およびその他の貨物保管費からなると考えられる。

本研究ではある1路線のサービスのみを検討対象にしているが、他の路線も同じデポに乗入れ利用していることが現実には多い。したがってトラックサービス費用にはデポ関連費用は含めず、路線トラックと集配トラックの費用のみとする。

先に輸送費用は式(5)と(6)で与えられると仮定したが、車両サイズ別の費用データを回帰分析した結果、以下のような推定式が得られた。

$$\alpha_1 = 1020 (\text{¥/日/トン}), \quad \alpha_2 = 12977 (\text{¥/日}),$$

$$\text{重相関係数} = 0.99 \quad (18)$$

$$\beta_1 = 4 (\text{¥/km/トン}), \quad \beta_2 = 19 (\text{¥/km}),$$

$$\text{重相関係数} = 0.99 \quad (19)$$

分析に用いたサンプル数はあまり多くなく、その

ため重相関係数はきわめて高いが精度は必ずしも良いとはいえない。しかし本来車両コストは車両費、運行費ともに車両サイズと(必ずしも線形ではないが)相関があり、その意味でこの回帰式の信頼性は低いと思われる。なお車両費の内訳は車両償却費、諸税金、諸保険料および人件費で、運行費は燃料油脂費、修理費、タイヤ・チューブ費からなる。

5. 顧客配分モデル

ここでは両社がある差別化したサービス水準を提供するときに、顧客がいずれの路線便を選択するかをモデル化する。なおサービス水準の高さは輸送時間の短さで表され、これは式(17)のように集配頻度の多さとは逆になる。このモデルは一種の機関選択モデルであるが、多くの場合実績データの分析から機関選択モデルを構築している。実績データの項目としては輸送時間・距離、運賃、輸送品目・価額等が考えられるが、路線トラック便でこれらの実績データの収集はきわめて困難である。仮に得られたとしても、多くの品目は雑貨の範疇に入るものであり、これらデータを分析してモデルを構築しても、あまり精度の高いものは期待できない。

ところで分布交通量の推定にエントロピー・モデルが使われているが、このような情報エントロピーの概念は路線サービスへの顧客配分に使える。たとえばエントロピー・モデルの一つに多因子情報路モデルがある。これを用いれば実績データが入手できなくとも、配分量の推計がある程度の精度をもって可能になる¹⁸⁾。路線サービスの差別化要因としては輸送時間や運賃が考えられるが、両者の間には普通反比例の関係があり、独立な要素ではない。一方、精度の高い多因子情報路モデルを構築するには、可能な限り互いに独立な変数を用いなければならないことから、今回は輸送時間を変数とする1因子情報路モデルを採用する。なお、顧客への輸送サービスの尺度として、たとえば文献(12)では配車間隔内にかかる一種の金利損に対応する在庫費用を考えているが、これは定常的に貨物を輸送している荷主の場合であり、路線トラックの顧客のように小口の場合には当てはまらない尺度と考えられる。

いまA, B 2つのサービスの選択比率 a, b ($a+b=1$)を求める。ここで次の仮説を設定する。

- ①顧客は選択に際して輸送時間の短い方を選びたい。
 ②顧客はそのとき何の制約もなく各自の自由意思によって、できるだけ自由勝手な選択をしたい。

もし仮設①だけであれば輸送時間の短い方が100%選ばれ、逆に仮設②のみのときは $a = b = 0.5$ になる。そこで両仮設を満足する均衡値(a, b)を求める¹⁸⁾。いまA, Bの輸送時間を t^* , $t^\#$ とすると、A, Bの選択時の平均輸送時間 t' は次式のようになる。

$$t' = t^* a + t^\# b \quad (20)$$

仮設②をエントロピー、

$$H = -a \log a - b \log b \quad (21)$$

で表す。いま H と t' の比 H/t' を考えると仮設①については t' を可能な限り小さく、②については H を最大化したいので、 H/t' を最大にする a, b を求めれば良い。このような1因子情報路モデルでは a, b はそれぞれ次式となる。

$$a = 1/W^{t^*}, \quad b = 1/W^{t^\#} \quad (22)$$

ここで W は式(23)の正根である。

$$W^{-t^*} + W^{-t^\#} = 1 \quad (23)$$

6. 事例研究

(1) 前提

まず大阪府摂津市のトラックターミナルを拠点に路線便貨物の集配を行っている運輸会社の貨物データをもとにして、距離係数 γ および顧客平均貨物量 Q を求めた結果、 $\gamma=1.1$, $Q=0.2$ トンとなった。

考察対象集配地域は同ターミナルから半径10km内で $\rho=5$ kmとし、両端集配地域とも同じにした。路線便は片道500kmで所要日数2日とした。この距離をもとに路線認可運賃表から各ケースでの最多集配頻度(最大輸送日数)の運賃を2万円/トン、また路線トラックの主要貨物である軽工業品(表2参照)の平均価額を年金利10%で日割計算して、輸送日数1日短縮で運賃が200円/トン増加すると仮定した。1回の集荷(配達)の上限時間は、集配頻度を上げた場合1日に1回の集荷と配達が可能のように $T^U=3$ 時間とした。

計算事例で用いたシナリオは、路線便の運行頻度と貨物量の組合せで3ケース設定し、1サイクル7日で片道貨物量を40と80トン(ケース①, ②), さらに路線便頻度を倍にして1サイクル3日で片道貨物量40トン(ケース③)とした。ケース①と②から貨物量の影響、②と③から路線頻度の影響が検討できる。

政策変数である集配頻度(輸送時間に対応)は競合時、共同時とも1サイクル当りケース①②で1, 3, 5, 7回, ③では1, 2, 3とした。なお輸送経費に路線便トラック費用も含めるが、考察対象を集配業務に限定するので、トラックサイズは集荷量に関係なく、ケース①③で25, ②で50トン相当とした。

さてモデルを用いた計算の結果、競合と共同時の事業内容は表3のようになった。収入は片道分で、経費は路線便片道トラック経費と、1地域の集荷と他地域の配達の合計集配トラック経費との和である。1回当り集荷(配達)総交通量はA, B両社の合計量である。同表中のトラック1台1回集配ゾーン走行距離とは全走行距離から 2ρ を引いたものである。

(2) 競合時の特徴

3ケースに共通する特徴としては、競合時はサービス水準が高い(つまり集配頻度が低い)方が全体的に利益率は悪くなる。これはサービス水準を上げてきさほど顧客が増加しない割に、輸送コストが大きく上昇するためと考えられる。さらにある競合時のサービス水準を仮定したときの3ケース間の特徴をみると、ケース①と②では同じ集配頻度の組合せでも②の方が収益性は高い。またケース②と③を比べた場合、③の集配頻度2と3が②の5と7にほぼ対応すると考えると、②よりも③で収益性が高い。以上より路線便頻度が同じ(同サイクル)場合は貨物量が多い方が、またある一定期間の貨物量が同じときは路線便頻度が高い方が収益性が良い結果となった。

(3) 共同化の効果

共同時のサービス水準を競合時の両社水準の高い(つまり集配頻度が低い)方、低い方、中間に設定して共同化の経営的效果をみると、いずれの場合も両社の利益率は上昇する。ただ高い方で共同化した場合は横ばいとなるケースもある。次に競合時のサービス水準が両社同じ場合にそのサービス水準で共同化をしたときの経営的效果をみてみると、設定水準によって差はあるものの、いずれの場合も利益率は上昇しており、共同化による規模の経済性の効果が顕著に現れている。以上のように、全般的には運輸会社の収益性に共同化は大きく貢献するといえる。

次に共同化による交通量の削減効果を考察する。

表3 競合時および共同時での事業内容

ケース①（1サイクル＝7日，総貨物量＝40トン／サイクル）											
サービスレベル 集配頻度／輸送日数		貨物量 (トン)	収入 (万円／台/日)		経費 (万円／台/日)		利益率 (%)		1回当り集荷(配達)総交通量 集配車／走行距離(km/台)		
A社	B社	A社				B社				台数(トン)/台数	全体/ゾーン
競合時											
1／6	1／6	20.0	41.2	71.4	-42.3	20.0	41.2	71.4	-42.3	5.0/8／44/34	――
1／6	3／7	21.1	43.4	72.2	-39.9	18.9	38.6	43.3	-10.8	5.3/4／45/35	3.2/2／32/22
1／6	5／8	22.0	45.2	72.9	-38.0	18.0	36.4	32.3	12.8	5.5/4／46/36	3.6/1／36/26
1／6	7／9	22.7	46.7	73.5	-36.5	17.3	34.7	31.4	10.4	5.7/4／47/37	2.5/1／28/18
3／7	3／7	20.0	40.8	43.6	-6.5	20.0	40.8	43.6	-6.5	3.3/4／33/23	――
3／7	5／8	20.9	42.7	43.9	-2.8	19.1	38.5	32.5	18.6	3.5/2／33/23	3.8/1／37/27
3／7	7／9	21.7	44.3	44.1	-0.4	18.3	36.6	31.6	15.9	3.6/2／34/24	2.6/1／29/19
5／8	5／8	20.0	40.4	32.7	23.7	20.0	40.4	32.7	23.7	4.0/2／37/27	――
5／8	7／9	20.8	42.0	32.8	28.0	19.2	38.4	31.7	21.1	4.2/1／38/28	2.7/1／29/19
7／9	7／9	20.0	40.0	31.8	25.8	20.0	40.0	31.8	25.8	2.9/2／30/20	――
共同時											
1／6	1／6	20.0	41.2	62.1	-33.7	同 左				6.7/6／42/32	――
3／7	3／7	20.0	40.8	34.4	18.5	同 左				6.7/2／42/32	――
5／8	5／8	20.0	40.4	32.4	24.7	同 左				4.0/2／29/19	――
7／9	7／9	20.0	40.0	27.1	47.6	同 左				5.7/1／38/28	――
利益率＝(収入－経費)／経費×100											
ケース②（1サイクル＝7日，総貨物量＝80トン／サイクル）											
サービスレベル 集配頻度／輸送日数		貨物量 (トン)	収入 (万円／台/日)		経費 (万円／台/日)		利益率 (%)		1回当り集荷(配達)総交通量 集配車／走行距離(km/台)		
A社	B社	A社				B社				台数(トン)/台数	全体/ゾーン
競合時											
1／6	1／6	40.0	82.4	118.7	-30.6	40.0	82.4	118.7	-30.6	6.7/12／42/32	――
1／6	3／7	42.1	86.8	120.4	-27.9	37.9	77.3	62.7	23.2	7.0/6／43/33	6.3/2／42/32
1／6	5／8	43.9	90.5	121.8	-25.7	36.1	72.9	49.8	46.2	7.3/6／44/34	7.2/1／47/37
1／6	7／9	45.3	93.3	122.8	-24.0	34.7	69.3	47.9	44.7	7.6/6／45/35	5.0/1／36/26
3／7	3／7	40.0	81.6	63.4	28.8	40.0	81.6	63.4	28.8	6.7/4／42/32	――
3／7	5／8	41.8	85.4	63.9	33.6	38.2	77.1	58.9	30.8	7.0/2／43/33	3.8/2／29/19
3／7	7／9	43.4	88.6	64.4	37.6	36.6	73.2	48.2	51.8	7.2/2／44/34	5.2/1／37/27
5／8	5／8	40.0	80.8	59.3	36.3	40.0	80.8	59.3	36.3	4.0/4／29/19	――
5／8	7／9	41.6	84.1	59.6	41.1	38.4	76.8	48.5	58.3	4.2/2／30/20	5.5/1／37/27
7／9	7／9	40.0	80.0	48.7	64.2	40.0	80.0	48.7	64.2	5.7/2／38/28	――
共同時											
1／6	1／6	40.0	82.4	100.3	-17.9	同 左				10.0/8／44/34	――
3／7	3／7	40.0	81.6	58.5	39.5	同 左				8.9/3／41/31	――
5／8	5／8	40.0	80.8	50.1	61.4	同 左				8.0/2／38/28	――
7／9	7／9	40.0	80.0	48.2	65.8	同 左				5.7/2／30/20	――
ケース③（1サイクル＝3日，総貨物量＝40トン／サイクル）											
サービスレベル 集配頻度／輸送日数		貨物量 (トン)	収入 (万円／台/日)		経費 (万円／台/日)		利益率 (%)		1回当り集荷(配達)総交通量 集配車／走行距離(km/台)		
A社	B社	A社				B社				台数(トン)/台数	全体/ゾーン
競合時											
1／4	1／4	20.0	40.4	34.8	16.1	20.0	40.4	34.8	16.1	5.0/8／44/34	――
1／4	2／5	21.5	43.5	35.4	23.0	18.5	36.9	23.6	56.3	5.4/4／46/36	4.6/2／43/33
1／4	3／5	21.5	43.5	35.4	23.0	18.5	36.9	22.6	63.4	5.4/4／46/36	3.1/2／32/22
2／5	2／5	20.0	40.0	24.0	67.0	20.0	40.0	24.0	67.0	5.0/4／44/34	――
2／5	3／5	20.0	40.0	24.0	67.0	20.0	40.0	22.8	75.2	5.0/2／44/34	3.3/2／33/23
3／5	3／5	20.0	40.0	22.8	75.2	20.0	40.0	22.8	75.2	3.3/4／33/23	――
共同時											
1／4	1／4	20.0	40.4	30.7	31.7	同 左				6.7/6／42/32	――
2／5	2／5	20.0	40.0	21.8	83.6	同 左				6.7/3／42/32	――
3／5	3／5	20.0	40.0	18.8	112.6	同 左				6.7/2／42/32	――

表4はその結果であるが、この表で最上行と最左列が両社の競合時での集配頻度を示し、各組合せの欄にそれぞれの集配頻度(各欄の上段)で共同化したときの削減台数および削減率(中・下段)を示している。なお各欄には共同化の可能性が高い場合、つまり共同化で両社の利益率が競合時と同程度以上になるも

のだけを列挙している。また台数だけでなく走行距離も本来考慮すべきであるが、両社の集配が同一日に重なった場合の最大交通量で評価するとして、このようにしている。

3ケースとも削減効果(削減トラック台数率)が大きいのは、競合時のA社集配頻度が1のときである。

表4 共同化の可能性とトラック台数削減効果

ケース① (1サイクル=7日, 総貨物量=40トン/サイクル)

頻度	1	3	5	7
1	1, 3, 5, 7 2, 6, 6, 7 25, 75, 75, 88	3, 5, 7 4, 4, 5 67, 67, 83	5, 7 3, 4 60, 80	3, 5, 7 3, 3, 4 60, 60, 80
3		3, 5, 7 2, 2, 3 50, 50, 75	5, 7 1, 2 33, 66	5, 7 1, 2 33, 66
5			7 1 50	7 1 50
7				⑦ 1 50

上段: 共同時集配頻度, 中段: 削減トラック台数
下段: 削減トラック台数率(%) = (競合時台数 - 共同時台数) / 競合時台数 × 100

ケース② (1サイクル=7日, 総貨物量=80トン/サイクル)

頻度	1	3	5	7
1	1, 3, 5, 7 4, 8, 10, 10 33, 75, 83, 83	3, 5, 7 5, 6, 6 63, 75, 75	5, 7 5, 5 71, 71	5, 7 5, 5 71, 71
3		3, 5, 7 1, 2, 2 25, 50, 50	3, 5, 7 1, 2, 2 25, 50, 50	5, 7 1, 1 33, 33
5			5, 7 2, 2 50, 50	7 1 33
7				—

ケース③ (1サイクル=3日, 総貨物量=40トン/サイクル)

頻度	1	2	3
1	1, 2, 3 2, 5, 6 25, 63, 75	2, 3 3, 4 50, 67	2, 3 3, 4 50, 67
2		2, 3 1, 2 25, 50	2, 3 1, 2 25, 50
3			2, 3 1, 2 25, 50

しかしケース①と②では、このときの同社の利益率はかなりのマイナスであり、共同化の対象が中小運輸会社だと仮定すると、かなり可能性の低い状況であるといえよう。

逆に競合時のA社の集配頻度が3以上のときは共同化の可能性は高いが、表4から分かるようにA社の集配頻度が1のときに比べて削減トラック台数率は低くなる。以上のことから、ある一定期間での総貨物量が多く、かつ路線便の頻度が高い(つまりケース③)場合でなければ、トラック台数の削減効果が大きな共同化は実現しにくいと考えられる。

なお競合時集配頻度の組合せがいずれであっても、削減台数率は共同時集配頻度に比例しており、共同化の効果が高い場合は、荷主へのサービスが悪くなり、容易に共同化が導入できるか疑問である。

7. おわりに

今回は分析型集配モデルを用いて、競合状態で路線トラックサービスを行う2社の共同化による経営上および削減交通量での効果を分析した。このように2社の競合というかなり限定された状況下での分析であるが、本研究で次の分析結果が得られた。

①運輸会社の収益性は共同化により上昇する。したがってトラック台数削減効果の程度をさほど問わなければ、共同化はいずれの場合でも可能性がある。
②競合時のサービス水準が高いと共同化のトラック交通量削減効果は高いが、貨物量が多く路線便の頻度が高い場合以外は、この競合状態は体力のある会社しか実施できず、現実性に欠けるケースといえる。逆に競合時のサービス水準が低い場合は現実性があるが、共同時の交通量削減効果はあまり高くない。

なお共同化は交通量削減にある程度効果があるが、同時に競争原理をなくし、運賃上昇の危険性もある。

参考文献

- 1) Burns, L.D. et al.: Distribution Strategies that Minimize Transportation and Inventory Costs, *Opns. Res.* 33, pp.469-490, 1985.
- 2) Daganzo, C.F.: An Approximate Analytic Model of Many-to-Many Demand Responsive Transportation System, *Trans. Res.* 12, pp.325-333, 1978.
- 3) Daganzo, C.F.: The Length of Tours in Zones of Different Sharpes, *Trans. Res.* 18B, pp.135-145, 1984.
- 4) Daganzo, C.F.: The Distance Traveled to Visit N Points with a Maximum of C Stops per Vehicle: An Analytical Model and an Application, *Trans. Sci.* 18, pp.331-350, 1984.
- 5) Daganzo, C.F. and G.F. Newell: Physical Distribution from a Warehouse: Vehicle Coverage and Inventory Levels, *Trans. Res.* 19B, pp.397-407, 1985.
- 6) Daganzo, C.F.: Supplying a Single Location from Heterogeneous Sources, *Trans. Res.* 19B, pp.409-419, 1985.
- 7) Hall, R.W.: Determining Vehicle Dispatch Frequency When Shipping Frequency Differs among Supplier, *Trans. Res.* 19B, pp.421-431, 1985.
- 8) 家田仁他: マクロ集配輸送計画モデルの構築とその「地区型共同集配送」評価への適用, *土木計画学・論文集*, No. 10, pp.247-254, 1992年.
- 9) 家田仁他: 積み合わせ貨物の地区内共同集配事業—天神地区の例—, *土木計画学研究*, No. 15(2), pp.5-8, 1992年.
- 10) 国沢清典: エントロピー・モデル, *日科技連*, pp.95-102, 1975年.
- 11) 吉瀬博仁: 都市内物流における共同化の考え方, *土木計画学研究*, No. 15(2), pp.1-4, 1992年.
- 12) 松本昌二: 都市内物流に関するロジスティック費用と顧客サービスのトレードオフ, *土木学会論文集*, 第413号, pp.31-38, 1990年.
- 13) 村尾賢: 貨物輸送の自動車化, *白桃書房*, p.303, 1982年.
- 14) 中田信哉: 運輸業のマーケティング, *白桃書房*, p.13, 1984年.
- 15) 産業研究所: 我が国における物流共同化の現状と今後の方向に関する調査研究, 1988年.
- 16) 塚口博司他: 都心商業地区における物資共同輸送システムの導入に関する一考察, *土木学会論文集*, 第401号, pp.23-31, 1989年.