

共同配送と納入時間指定配送による環境負荷要因 (稼働台数・走行距離・走行時間) への影響の定量的評価

Quantitative Evaluation of the Effect of the Environmental Impact (Vehicles, Mileage, Running Time) by using Joint Delivery and Delivery to Specified Delivery Time

岸野 清孝*1 ・ 五十嵐 義信*2

Abstract : Transportation is currently being done by most of the tracks. Carbon dioxide emissions increase because transportation is done many times. Truck transportation companies need to make the measures as soon as possible.

In this study, the simulation is done to verify the effect of the environmental impact by using joint delivery and delivery to specified delivery time. As a result, it is possible to reduce the environmental impact by using joint delivery. The environmental impact is increased by using delivery to specified delivery time but it is possible to improve the environmental impact by providing the allowable time before and after.

1. はじめに

近年、環境問題が社会的に問題視されており、中でも地球温暖化は早急に解決すべき問題である。私達の生活が快適になるにつれて、温暖化の原因である温室効果ガスの排出量が増加している。地球温暖化の一番の原因は二酸化炭素(CO₂)であり、平成16年(2004年)には世界中で265億トンのCO₂が排出され、そのうち日本は約13億トン(4.8%)を排出している。部門別の排出量をみると産業部門(工場など)が35%、運輸部門(自動車、鉄道、船舶、航空等)が20%、業務その他部門(オフィスビル等)が18%、家庭部門は13%となる。平成17年(2005年)2月に京都議定書が発効され、平成2年(1990年)を基準として6%のCO₂の排出量を削減する事が義務付けられた。しかし、現況を見ると、産業部門からのCO₂の排出量が減少している一方、運輸・業務・民生部門からの排出量は増加している。特に、運輸部門の排出量は平成16年(2004年)には平成2年(1990年)と比べて20.3%増加している。

そこで排出量が増加し続けている運輸部門に着目すると、現在の輸配送はほとんどがトラックによって行われている状況にある。またルート配送では顧客の要望が多頻度・小口配送へと変化し、そのためにCO₂の排出量が増加してきており、トラック業者は早急に対策をせまられている。現在のトラック配送の改善は、コストの削減として有効なだけでなく、配送時の稼働台数、走行距離、走行時間を削減することがCO₂の削減つまり環境負荷の低減につながるという意味でも重要だと考えられる。そこで、本研究では、稼働台数、走行距離、走行時間を環境負荷要因と定義し、ルート配送時の共同化と納入時間指定配送による環境負荷要因への影響を検証し、定量的に評価することを目的とする。

本研究では、第2章で国内貨物輸送の動向を把握する。第3章ではトラック輸送と環境問題がどのように関連しているのかを述べ、共同配送と納入時間指定配送について論じる。第4章ではシミュレーションソフトを利用して、実際に共同配送と納入時間指定配送による環境負荷要因への影響を検証する。第5章ではシミュレーション結果を元に効率の良い配送とは何かについて論じる。¹⁾

*1 KISHINO, Kiyotaka [情報システム学科]

*2 IKARASHI, Yoshinobu [本学卒業生：佐川急便]

2. 国内貨物輸送の現状

2.1 国内貨物輸送量の推移^{2),3)}

日本の貨物輸送量の推移を見るために、昭和50年(1975年)～平成16年(2004年)までの総貨物輸送量と国内の輸送トン(輸送重量)数、輸送トンキロ(輸送重量×距離)数の推移を図1に示す。これを見ると昭和50年(1975年)～平成元年(1989年)の間は輸送量の増加が見られる。平成元年(1988年)～平成10年(1998年)の10年間は平成3年(1991年)の6919百万トンをピークに横倍の状態である。しかし、平成11年(1999年)～平成16年(2004年)は、輸送量の増加が止まり、減少傾向にある。平成16年(2004年)の総輸送量は5569百万トンにまで減少し、昭和60年(1995年)とほぼ同じ貨物輸送量となっており、その傾向は続いている。

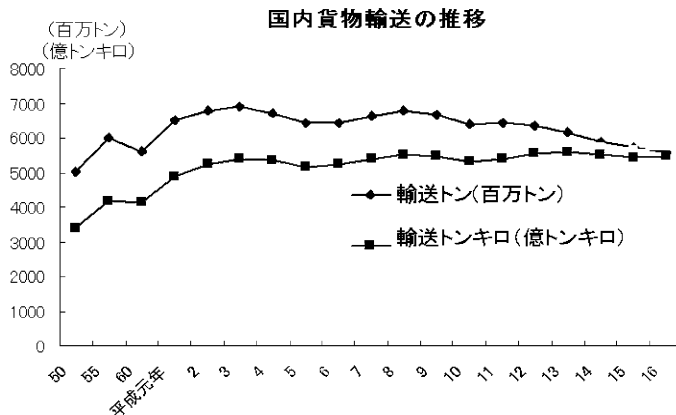


図1 国内貨物輸送量の推移

2.2 輸送機関別の貨物輸送の推移

輸送機関別の分担率を見るためにトン数(図2)とトンキロ(図3)のグラフを示す。輸送機関別の分担率を見てみると、昭和50年(1975年)～平成16年(2004年)までのトン数(総重量)は自動車、トンキロでは自動車と国内海運が輸送の中心であることがわかる。

自動車(トラック)輸送は総輸送量が減少しているにもかかわらず90%以上の貨物を運搬しており、トンキロ数を見ても昭和50年(1975年)の36%から平成16年(2004年)には57.5%となり、日本の輸送は圧倒的に自動車(トラック)に依存している。背景には、昭和48年(1973年)の第2次オイルショックを転機とした重厚長大産業からエレクトロニクス産業・軽薄短小への産業構造の変化がある。その流れにより、貨物の軽薄短小化が進み、商品の多品目化・流通段階における在庫圧縮の動きが本格化したことで、トラックの輸送量が急速に増加したのである。

日本の貨物量は減少傾向にある中で、輸送機関別では自動車(トラック)が中心になっており、さらに割合は少しではあるが増加傾向にある。鉄道・内航海運は輸送量(トン数)や距離に比してCO₂排出量が僅少であることから、運輸部門においては、トラック輸送が環境に負荷を与えていると考えられる。そこで第3章ではトラック輸送と環境問題について述べる。

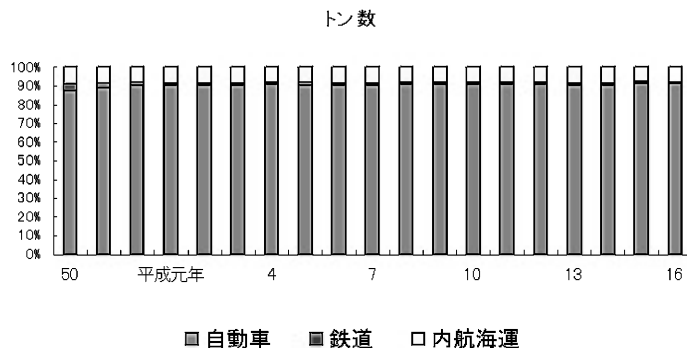


図2 輸送機関別分担率（トン数）

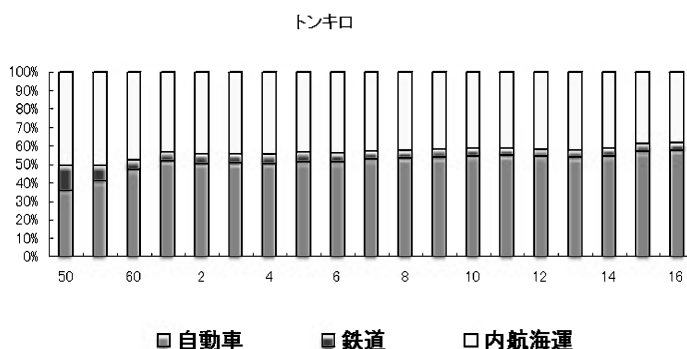


図3 輸送機関別分担率（トンキロ）

3. トラック輸送と環境問題

3.1 運輸部門の環境問題への取り組み

日本は京都議定書より、平成20年（2008年）～平成24年（2012年）の間に温室効果ガスの排出量を平成2年（1990年）度比で6%削減を達成しなければならない。しかし、平成11年（1999年）には逆に6.8%増加しており、この増加分も含めて12%以上削減しなければならない状況にある。その中で、運輸部門では平成14年（2002年）2月に「地球温暖化対策推進大綱」が見直され、①燃費改善 ②自動車税のグリーン化 ③交通流対策（時差出勤・道路工事の効率化と鉄道輸送力の向上）の3つの対策が立てられている。この他にエコドライブや低公害車の導入のほか、環境負荷を考慮した物流拠点の再配置や共同化による積載率の向上、走行距離の最適化などの対策も立てられている。

3.2 トラック輸送が与える環境への影響⁴⁾

図4に日本の部門別CO₂排出量の推移を示す。運輸部門のCO₂排出量は全体の2割を占めている。運輸部門の排出量は平成16年（2004年）には262百万トンであり、平成2年（1990年）と比べて20.3%増加している。運輸部門の内訳を見てみると自動車（約90%）、船舶（5.1%）、航空機（4.2%）、鉄道（0.3%）である。

増加している背景には、小売業からの要請により、小ロット化、多頻度、「ジャストインタイム」など物流サービスの多様化が求められていることがあると思われる。小ロット化は必然的に多頻度輸送

を増加させ、輸送手配の複雑性も増加させる。また、宅配便も通信販売や電子商取引増加にともない、法人から消費者への小口配送が大きく増加し、企業間の宅配便輸送も増加傾向にある。

さらに別の観点で、トラック輸送の地域生活に与える負荷への関心が高まり、排気ガスに伴う大気汚染は公害問題として認識され、こうした動きを受けて、国及び自治体によるトラックの排気ガス規制が強化されている。これを受けてトラックの積載率の向上によるトラックの台数削減のほか、走行距離の最適化や車両の大型化などの対策が立てられている。

以下では、トラック配送が与える環境負荷への影響を具体的な取り組みとして論じるために、共同配送と納期時間指定の問題を取り上げ、環境負荷要因への影響の検証と定量的な評価を行う。

部門別CO2排出量

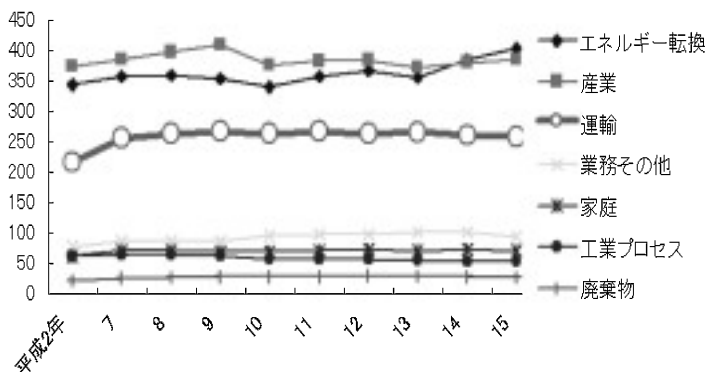


図4 部門別CO₂排出量の推移

3.3 共同配送と納入時間指定配送による環境負荷要因（稼働台数、走行時間、走行距離）への影響

3.3.1 共同配送による環境負荷要因への影響^{5),6),7),8)}

共同配送は、配送効率を上げる有効な手段である。輸配送の効率化について考えるにあたって、地域間の幹線輸送と地域内における集荷・配送の二つがある。幹線輸送はトラックの大型化やモーダルシフト化が対応策として考えられる。一方、地域内においては、トラックの積載率・配送効率を上げることが環境問題への対策として考えられる。本節では、トラック配送の共同化の概要と、共同化による環境負荷要因（稼働台数、走行距離、走行時間）への影響について述べる。

(1) 共同配送の背景と狙い

共同配送の背景には以下のような配送効率の悪化が考えられる。コンビニ・スーパーなどが、余剰在庫を持たなくなったことから、多品種少量、小口、多頻度、時間指定納入など効率の悪い配送要求が増加してきた。またメーカー、卸売別の配送では一つの店舗に一日何十台もの納品トラックが到着することになり、交通渋滞や荷受・検品作業の作業負荷により物流コストが増加してきた。このような背景から、物流コストの削減、配送効率と積載率の向上、顧客への物流サービス向上、運転手不足対策、地球環境負荷の低減、エネルギー削減対策などを狙いとして、共同配送が考えられるようになった。

(2) 共同配送の仕組みと共同化の方法

共同配送の仕組みは、メーカー・倉庫会社・卸・商社などが、積載率の向上を図るために、物流センターを設置し、共同仕分け、共同配送などを行うことである。そのため、ネットワークがシンプルになり、つみ合わせ輸送や帰り荷の確保などが可能になるため、輸送の効率化を図ることができる。共同化の方法としては以下の方法が採用されている。

① メーカーから小売の物流センターへの納品

大規模メーカーとの大規模取引の場合は、トラック満載での納品となり、荷受けの手間はなく、これが一番効率的な納品方法である。しかし、ほとんどの物流センターでは多くの小規模メーカーとの少量ずつの取引があり、一日に何度も荷受を行わざるを得ない状態である。これを改善するためにメーカー側に納入の際には一つの運送業者を指定し、荷受けを一回にすることができる「共同納品」が行われている。

② 一括物流

物流センターに集められた商品は、小売店への納品の際に、どのメーカーの商品であろうと一括され、店頭の棚入れのしやすさを第一にコンテナにまとめられ、納入される。ここで行われている共同化は、共同配送センターにおける「共同ピッキング」、「共同検品」、店舗への「共同配送」である。

③ 物流情報の共同化

物流共同化においては、荷主が複数になることにつれてどのような荷物がどのくらい、どこへ向かうのかという情報を早くつかみ、効率的な配車を行うことが必要になってくる。

(3) 共同化によるメリット・デメリット

① 荷主からみた共同配送のメリット・デメリット

・メリット

物流要員の削減・運賃負担の軽減・物流スペースの流用可能・混雑緩和・効率向上・少量物品の集荷可能などがあり、人・もの・金を効率的に活用することができ、物流コストの削減が可能である。

・デメリット

トラブル発生の懸念・サービス低下の懸念・企業秘密が漏れる危険性・荷傷み、汚損の心配・得先を取られるのではないかと不安などがあるため、一定のルールを守る必要がある。

② 運輸業者からみた共同配送のメリット・デメリット

・メリット

配送効率の向上・混雑緩和、集配時間の短縮・物流コスト削減・物流要員の削減・不当競争の減少・運賃支払いの円滑化・過剰サービスの減少などがあり、顧客のことを考えたメリットが多くなっている。

・デメリット

サービス低下の懸念・荷傷み、汚損トラブル・配車の不公平・手数料等の余分な出費・得先を取られる恐れ・収入の絶対額減少・効果の疑問などがあり、顧客関係面のデメリットが多い。

(4) 共同化による環境負荷要因への影響

① 交通量の削減による交通環境の改善

共同化を行うことによって配送車両の積載率は向上する。これにより走行車両・走行距離を減らすことができ、交通渋滞の緩和、駐車車両の削減など交通環境の改善につながる。

② 排出ガスの削減による環境負荷の低減

走行車両・走行距離が減ることにより、車両の排出ガスに含まれる CO₂ や NO_x (窒素酸化物) を削減し、環境負荷の低減につながる。

(5) 共同化による環境負荷低減の算出例⁹⁾

発着地が1ヶ所での単純な Point to Point (地域間輸送) では、共同配送をすることによってどの程度環境負荷が低減したのかを定量的に把握するために、計算によって求める事が可能である。

以下に計算例を示す。

【条件】

- ・年間貨物量：20,000 トン/年 (実重量)
- ・発着地間距離：500 km
- ・現状輸送の平均積載率：70%
- ・対策後輸送の平均積載率：90%
- ・トラックの CO₂ 排出原単位：174 (g-CO₂/t・km) とする。

【環境負荷の低減量の計算】

① 積載率の向上分を計算する。

対策後の積載率/現状の積載率：90%/70% = 1.286 となり、積載率が 1.286 倍になる

② 積載率を利用して総走行距離を求める。(積載率の向上は走行距離短縮につながる)

総走行距離を 1 として：1/1.286 = 0.778 となり、総走行距離が 0.778 倍になる。

③ 現状の CO₂ 排出量を求める。

$$174 \times 20,000 \times 500 \times 10^{-6} = 1,740.0 \text{ トン}$$

④ 転換後の CO₂ 排出量を求める。

$$174 \times 20,000 \times (500 \times 0.778) \times 10^{-6} = 1,353.7 \text{ トン}$$

⑤ 削減量を計算する。

$$1,740.0 - 1,353.7 = 386.3 \text{ トン}$$

⑥ 削減率を計算する。

$$386.3 / 1,740.0 = 22.2\%$$

以上の計算から、共同化により

- ・積載率が 1.286 倍に改善される事によって、走行距離が 0.778 倍に短縮
 - ・CO₂ 排出量を 386.3 トン (22.2%) 削減可能
- の成果が得られる。

3.3.2 納入時間指定配送による環境負荷要因への影響

配送をするにあたって環境負荷要因が少なく、最も効率のよい配送とは納入時間が指定されていない条件での配送である。納入時間指定がない配送の場合は、トラック一台に一日に配送できる荷物を満杯にして載せる事ができ、トラック台数を減らす事が可能になってくる。しかし、現在は無駄な在庫を持たないようにしている荷主、運送会社に対しては、顧客サービスを充実させるために時間指定配送を行っており、納入時間指定を顧慮しない配送はできないのが現実である。そのためトラックの台数を増やすことにより要求に応えなければならない状況になり、稼働台数、走行時間、走行距離の増加により CO₂ 排出量が増加してしまうことになる。

以上のように、運輸部門のCO₂排出量が年々増加し続けている。また、京都議定書で定められている削減量に対して平成16年度で20.3%増加しているために、運輸部門に対して、環境問題に早急に取り組むことが求められている。これを改善するために共同配送が環境に負荷を与えない方法である事を述べた。上述の通り、Point To Point（地域間輸送）に関しては、CO₂削減量算出方法で示したように、数値化（定量化）することは可能である。しかし、配送センターから配送先へのルート配送に関しては、共同配送と時間指定納入について、定量化が十分にされていないと考えられる。そこで、第4章では、シミュレーションソフトを利用し、共同配送と納入時間指定を行うことによって生じる環境負荷要因への影響について定量的に検証する。

4. 共同配送と納入時間指定配送の環境負荷要因への影響のシミュレーションによる検証

4.1 シミュレーションソフトの概要^{10),11)}

本研究には(株)日立情報制御ソリューションズの「輸配送計画支援システム NEUPLANET」を使用する。以下にその概要を示す。

(1) 配車配送計画の考え方

配送計画オーダーを入力として、配車計画立案実行前に目的を選択することより、配車条件、制約条件を考慮して、選択された目的に沿った配車計画を実行する。

(2) 配送計画のモデル化

配送計画における目的関数は配送コスト最小であり、このことを定式化すると次式ようになる。

Minimize

$$H(X) = \sum_{l=1}^m H_{f,l} \cdot \delta_l(x_l) + \sum_{l=1}^m H_{t,l}(x_l) \quad (1)$$

ここに

$$H_{t,l}(x_l) = F_l \left(\sum_{i=1}^{N_i} D(n(i)) \right) \quad (2)$$

Subject to

$$\sum_{l=1}^m N_l = N \quad (3)$$

ただし

$H(X)$: 総配送コスト (円)

X : 全トラックの配送ルートへの顧客の割り当てと訪問順序を示す数列 (X の中には、全ての $n(i)$ が必ず含まれる)

$$X = \{x_l \mid l = 1, m\} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$$

m : 使用可能なトラック台数の上限

x_l : トラック l の配送ルートへの顧客の割り当てと訪問順序を示す数列

- $x_i = \{n(i) \mid i = 1, N_i\} = (n(1), n(2), \dots, n(N_i))$
 $n(i)$: あるトラックが i 番目に訪問する顧客のノード番号
 N_i : トラック l が訪問する顧客の総数
 N : 顧客の総数
 $H_{f,i}$: トラック l の固定費用 (円)
 $\delta_l(x_i)$: $= 1$; トラック l を使用する時
 $= 0$; その他の場合
 $H_{t,i}(x_i)$: トラック l の変動 (運行) 費用 (円)
 $F(*)$: タリフ関数であり, トラックの走行距離を引数, 費用 (円) を戻り値とする
 $D(n(i))$: 出荷拠点または $n(i-1)$ から $n(i)$ までの距離 (km)

ここでは、オーダー情報としてオーダー番号ごとに、配送先番号と、オーダーする製品の数量、既定出荷拠点番号が与えられる。距離情報は各出荷拠点および各配送先を縦軸に出発地、横軸に到着地として、その間の配送距離をマトリックスにて設定する。トラックの配送ルートへの顧客割り当てと訪問順序の決定方法は、式(1)の総配送コストが最小となるように定式化して訪問順序を決定する。トラックの走行距離は出荷拠点から出発し、全ての配送作業を実施して帰着するのに要する距離とする。荷を積んでいない走行に対してもコストは発生する。トラック情報はトラックごとに固定費用と走行距離に対するタリフ関数を設定し、式(2)の変動 (運行) 費用はトラックのタリフ関数を用いてトラックの走行距離を引数、費用 (円) を戻り値として求める。式(1)の総配送コストは割り当てられたトラックの固定費用と変動 (運行) 費用を合計して求める。制約条件として、①車両毎の積載量上限：車両毎に定義、②車両毎の稼働可能時間帯：開始一終了、③配送先毎の納入可能時間帯：開始一終了、④配送先毎の車両サイズ：上限、⑤出荷拠点毎の荷積み可能時間帯：開始一終了、⑥出荷拠点毎の入構可能車両サイズ：上限、⑦1回の巡回毎の配達回数：上限、⑧車両1台当たりの巡回回数：上限を定め、全ての条件を満たすことを候補地選定の絶対条件とする。実用的なシステムの要求としては、各制約の許容範囲を明確に設定した上でそれらを厳守することが求められるため、制約条件値を任意に設定可能とし、厳密に順守させることとしている。

このような方法にて、オーダーする全ての製品の使用トラック、配送先への訪問順序を、配送コストが最小となるように決定する。

つぎに、配車に関する入力情報であるオーダー情報、顧客マスタ、出荷拠点マスタ、配車計画立案、配送計画の結果について説明する。

① オーダー情報 (配送先)

これは配送先名称、住所、ケース数、質量、オーダー番号などからなる顧客からの注文に関する情報である。また、オーダー情報には配送先名称、住所などの基本情報と商品コード、商品名称、商品一つずつのケース数、質量などオーダー一つずつの明細情報が入力される。

② 顧客 (配送先) マスタ

配送先名称、住所、郵便番号、荷卸時間、納入可能開始・終了可能時刻など他 30 項目からなる顧客配送先の情報である。

③ 出荷拠点マスタ

このマスタで拠点コード・拠点名所・住所・郵便番号・地図で正確な場所を設定する。



図6 配送ルート地図画面

4.2 共同配送による環境負荷要因のシミュレーションによる検証

(1) 共同配送のシミュレーションによる検証方法

- ① 出荷拠点を2ヶ所登録し、共同出荷拠点を1ヶ所登録した。1ヶ所目は佐川急便の住所（新潟市山田）を設定し、2ヶ所目は亀田工業団地に架空の出荷拠点を設定した。共同出荷拠点は1ヶ所目と2ヶ所目の中間地点（新潟市鐘木）に設定した。
- ② 配送先は図7の範囲内（出荷拠点から約25 km 圏内）で均等に登録した。登録した447件からエクセルのサンプリングを利用して、各拠点に20件、40件、60件、80件、100件、120件ずつの配送先を決定し、シミュレーションを行った。



図7 配送先範囲¹²⁾

- ③ 出荷拠点2ヶ所の配送先を用いて共同出荷拠点からの配送のシミュレーションを行った。配送先を選ぶ段階で佐川と亀田の2ヶ所で共通の配送先があるため、共同配送をすると件数は40件、80件、111件、146件、180件、211件となった。
- ④ 出荷拠点2ヶ所からの配送結果の合計と共同配送を行った時の配送結果を比較し、共同配送の効果を検証した。
- ⑤ 全てのオーダー情報のケース数は4,400個、質量は1.6tに統一した。
- ⑥ 配送時間は午前7時から午後16時までとした。
- ⑦ 納品期日は当日配送とした。

(2) 共同配送のシミュレーション結果

なおこれ以降のグラフや表に出てくる「①+②」は①佐川急便の住所の出荷拠点にて配送を行った結果と②亀田工業団地の住所の出荷拠点にて配送を行った結果の合計である。

(a) 共同配送による稼働台数のシミュレーション結果

稼働台数は共同配送をすることでどの程度減少することができるのかを検証した。図8に共同配送による稼働台数のシミュレーション結果の推移を示す。

配送先が40(80)件以外は20(40)件は1台、60(111)件は1台、80(146)件は1台、100(180)件は3台、120(211)件は2台と共同配送により稼働台数が減少している。減少台数は配送先が増加するにしたがって増加するという傾向が見られる。

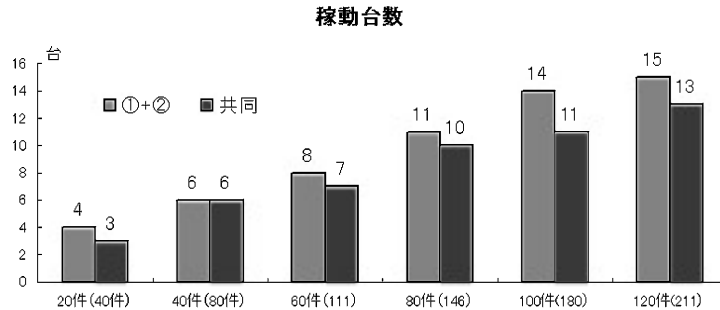


図8 共同配送による稼働台数のシミュレーション結果

(b) 共同配送による走行時間と走行距離のシミュレーション結果

走行時間と走行距離が削減されるとCO₂排出量を抑えることにつながる。共同配送によってどの程度削減されるのかシミュレーション結果を表1に走行時間、表2に走行距離、図9に走行時間と走行距離の削減率を示す。

図9より、走行時間に関しては共同配送による削減率は6%~24%とすることができている。配送先が20件の時は24%削減し、40件では削減率が減少しているが、配送先の件数が増加するにしたがって徐々に削減率も増加している傾向であると考えられる。

走行距離に関しては共同配送による削減率は-2.9%~24%と逆効果のケースも出現した。配送先が20件(40件)の時は走行距離を20%以上削減することが出来ている。40件(80件)は0.1%、80件

(146件)は0.4%であるためほとんど削減することができず、80件の時には逆に2.9%増加する結果となった。削減率の推移をみると-2.9%~24%と変動がバラバラである。そのため、配送先の件数が増加することで距離削減につながるわけではないと考えられる。

表1 共同配送による走行時間 (h) のシミュレーション結果

	20件(40件)	40件(80件)	60件(111)	80件(146)	100件(180)	120件(211)
①+②	13	21.21	26.25	34.55	45.92	50.02
共同	9.87	19.92	24.13	32.08	39.68	42.1

表2 共同配送による走行距離 (km) のシミュレーション結果

	20件(40件)	40件(80件)	60件(111)	80件(146)	100件(180)	120件(211)
①+②	514.29	875.23	1155.43	1531.26	2457.17	2863.68
共同	390.08	873.98	1150.72	1574.99	2146.92	2674.4

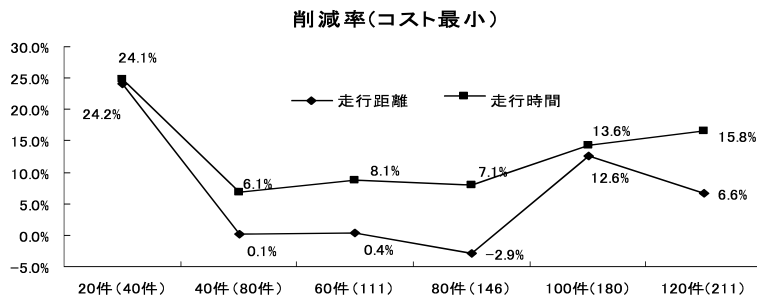


図9 共同配送による走行時間・距離の削減率

(c) 共同配送による稼働台数の削減と走行時間、走行距離の削減率との関係

表3にコスト最小の削減台数と走行時間・距離の削減率を示す。シミュレーションを行う前は稼働台数が削減されることによって走行時間、走行距離の削減にもつながると仮説をたてていた。しかし、シミュレーションをしてみると80件(146件)では、稼働台数と走行時間は減少しているが、走行距離が増加する結果となった。このことは、稼働台数の削減数は走行時間・距離の削減にはつながらないことを意味している。削減台数・走行時間・距離共に削減可能であるが、効果はバラバラにでるという結果となった。

表3 共同配送による削減台数と走行時間・距離の削減率

コスト最小	20件(40件)	40件(80件)	60件(111)	80件(146)	100件(180)	120件(211)
削減台数	1台	0台	1台	1台	3台	2台
走行時間	24.1%	6.1%	8.1%	7.1%	13.6%	15.8%
走行距離	24.2%	0.1%	0.4%	-2.9%	12.6%	6.6%

20 件（40 件）の場合は走行時間，走行距離共に削減率が高い。120 件（211 件）の場合は走行時間の削減率は高いが，走行距離は低くなっている。走行距離が増加した 80 件（146 件）では走行時間は削減できている。このため，走行時間が削減出来ても走行距離の削減につながらないと考えられる。

4.3 納入時間指定配送による環境負荷要因のシミュレーションによる検証

配送先に品物を届ける際に，一番効率が良いのは納入時間が指定されていないことである。以下に納入時間指定がある場合とない場合ではどの程度の違いがあるのかを検証していく。

(1) 納入時間指定のシミュレーションによる検証方法

- ① 配送先件数は 111 件で，出荷拠点は共同配送の検証時に利用した共同出荷拠点（新潟市鐘木）と同じ住所を設定した。
- ② 全ての配送先の納期指定を午前 10 時に設定し，その時間指定の前・後・前後に許容時間を 30 分間隔で上げていく。最長の許容時間は前・後 3 時間，前後は 90 分とした。
- ③ その結果を共同配送時と同様に，稼働台数・走行時間・走行距離の変化を比較する。

(2) 納入時間指定配送のシミュレーション結果

(a) 納入時間指定配送による稼働台数のシミュレーション結果

図 10 に納入時間指定配送による稼働台数のシミュレーション結果の推移を示す。なお，グラフ内の一つしか数値が記されていないところは納期前・後・前後ともに同じ値である。

図 10 より許容時間が無く，時間指定通りに配送しなければいけない場合は最も効率が悪くなっている事がわかる。しかし，許容時間を上げていくことによって台数を抑える事が可能になっている。許容時間の前・後・前後による違いによって，削減台数はほとんど変わることはないという結果になった。これより，前・後・前後のどれかの許容時間を広げることで稼働台数削減につながるといえる。

30 分の許容時間を広げることによって，111 台から 56 台になったので約 50%の稼働台数を削減可能である。さらに 30 分広げると 56 台から 30~31 台へと削減でき，許容時間を 60 分にすることで稼働台数を 111 台から 30 台へと約 4 分の 1 にまで削減することができる。許容時間が 60 分まではこのように大きく削減効果が出ているが，しかし，90 分以降になると削減台数が 8 台，4 台，3 台と削減数は低下した。

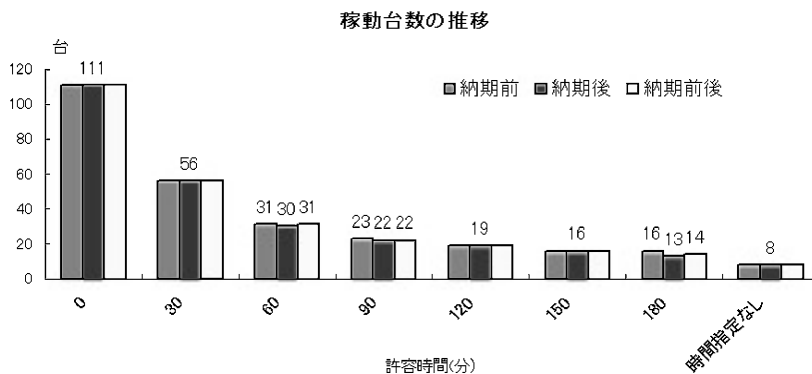


図 10 納入時間指定配送による稼働台数のシミュレーション結果

(b) 納入時間指定配送による走行時間の削減率のシミュレーション結果

削減率は、すべての配送先を納入時間指定（許容時間なし）にした走行時間を100%と考え、それから許容時間を30分間隔で広げた走行時間の結果の比率を求めたものである。図11に納入時間指定配送による走行時間の削減率のシミュレーション結果を示す。

図11より許容時間を30分にすることで走行時間を約半分にまで削減可能であることがわかる。また納期指定前、納期指定後、納期指定前後で比較してみてもほとんど同じ削減率の推移をしている。よって稼働台数と同じように許容時間を納期指定前・後・前後のどこに許容時間を設定した場合でも違いはみられない。許容時間が30分と60分までは約65%と大幅に削減しているが、それ以降になると大きく低下はしていない。納期前に180分の許容時間を与えることで、時間指定なしとほぼ同じ配送時間となった。

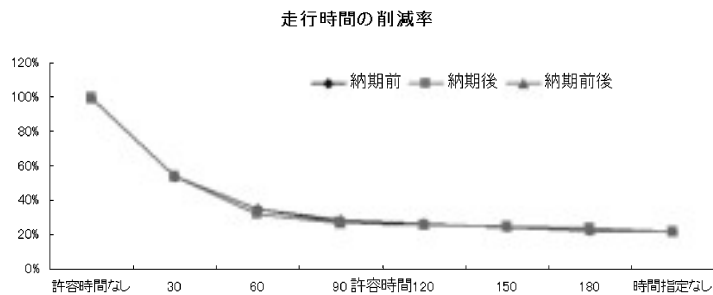


図11 納入時間指定配送による走行時間の削減率

(c) 納入時間指定配送による走行距離の削減率のシミュレーション結果

走行距離に用いる削減率の求め方は走行時間の時と同じ方法で求める。図12 納入時間指定配送による走行距離の削減率のシミュレーション結果を示す。

走行時間の結果と同じように許容時間を30分に広げることによって走行距離を約44%削減することが可能であり、60分にすることで約65%削減可能である。90分以降の削減量は少なくなっていくが、走行距離は削減し続けている。納期前・納期後・納期前後で結果を比較すると、稼働台数と走行時間と同様にほとんど同じ削減率の推移をしている。

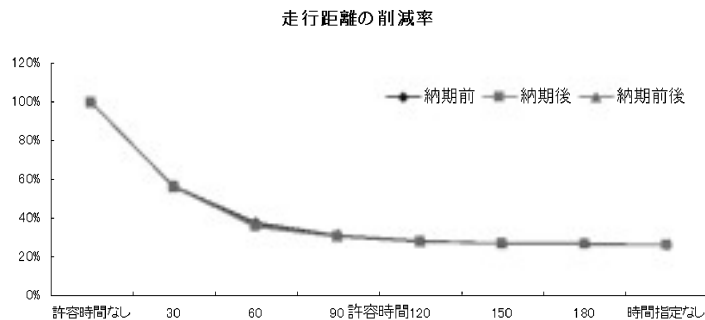


図12 納入時間指定配送による走行距離の削減率

(d) 納入時間指定配送による削減台数と走行時間、走行距離の削減率との関係

表4に納入時間指定配送による削減台数、走行時間・距離の削減率を示す。

表4より許容時間30分と60分では削減台数が多くなっていると共に、走行時間も削減率の変化が大きく、90分以降になると稼働台数の削減数が低下すると走行時間も削減率の変化が低下している。これによって削減台数が増加すると時間も短縮することが可能であると考えられる。また削減台数と走行距離でも同様なことが言えるため、削減台数が増加すれば無駄な距離を省く事が可能になり、走行距離を削減することが出来ると考えられる。走行時間と走行距離でも同様に走行時間が短縮すると同時に走行距離も削減することが可能であるという結果となった。

表4 納入時間指定配送による削減台数と走行時間・距離の削減率

許容時間	許容時間なし	30	60	90	120	150	180	時間指定なし
削減台数								
納期前	0台	55台	25台	8台	4台	3台	0台	8台
納期後	0台	55台	26台	8台	3台	3台	3台	5台
納期前後	0台	55台	25台	9台	3台	3台	2台	6台
走行時間								
納期前	100.0%	54.3%	35.4%	29.0%	27.0%	24.8%	23.1%	22.4%
納期後	100.0%	54.3%	32.6%	27.8%	26.3%	25.4%	24.3%	22.4%
納期前後	100.0%	54.6%	35.5%	27.8%	26.3%	25.4%	23.7%	22.4%
走行距離								
納期前	100.0%	56.6%	38.1%	31.7%	28.9%	27.6%	27.6%	26.7%
納期後	100.0%	56.6%	35.7%	31.0%	28.5%	27.5%	26.9%	26.7%
納期前後	100.0%	56.4%	37.5%	31.0%	28.5%	27.5%	27.9%	26.7%

4.4 シミュレーションによる検証結果のまとめ

以上のように共同配送と納期時間指定配送についての検証を行った。今回のシミュレーションでは以下のことがわかった。

- ① 共同配送をする事で、稼働台数・走行時間・走行距離を短縮する事が可能である。稼働台数は最小で1台～最大で12台の削減につながる。走行時間では最小で約4%～最大で約25%削減することが可能であり、走行距離は最大で約24%削減することが可能である。しかし、走行距離に関しては稼働台数と走行時間が削減しても距離は増加することもあるということがわかった。
- ② 納入時間指定配送をする事によって稼働台数・走行時間・走行距離は増加している事がわかった。時間指定の許容時間を前・後・前後30分に広げることで、稼働台数は55台、走行時間は約45%、走行距離は約45%削減することが可能になる。許容時間を前・後・前後のいずれに設定しても今回の研究ではほとんど違いが見られなかった。

第4章では共同配送によって効率は良くなるという結果と納入時間指定配送によって効率が悪くなるという結果を得た。これらのシミュレーション結果をもとに第5章では、環境負荷要因の少ないト

トラック配送について考察する。

5. 環境負荷要因（稼働台数、走行距離、走行時間）の少ないトラック配送

5.1 シミュレーション結果から環境負荷要因への影響の考察

第4章のシミュレーションより得られた結果から共同配送、納入時間配送がどのように環境負荷要因（稼働台数、走行距離、走行時間）に影響を与えるかについて考察する。

(1) 共同配送による環境負荷要因への影響の考察

稼働台数では1台～12台まで削減することが出来た。これによって共同配送前の全稼働台数は58台から共同配送後では50台に減少し、8台（13.8%）の削減につながった。

走行時間については6%～24%とバラツキがあるが共同配送をすることによって時間は削減することができた。

走行距離の削減率は配送先が増加するにつれて低下していくという結果となったが、共同配送を行うことによって走行距離が増加してしまう場合もあるという結果になった。しかし、全体的には距離は削減されることが検証された。

以上のように共同配送することで稼働台数・走行時間・走行距離を削減できるという結果を得ることで、共同配送をすることによって現在よりも効率を上げることが可能になり環境負荷の少ない配送を行うことが出来ることが検証できた。

(2) 納入時間指定配送による環境負荷要因への影響の考察

納入時間指定をすることで稼働台数は最大で約13倍の台数を必要とする結果となった。

走行時間は最大で約2.7倍、走行距離は最大で3.7倍になってしまうために、効率が悪くなり、環境に負荷を与えてしまっている。

許容時間前・許容時間後・許容時間前後では結果に差はほとんどなかった。許容時間を30分に広げることによって稼働台数は約50%、走行時間は約45%、走行距離は約45%改善される結果となった。今回のシミュレーション結果では90分でほとんど納期時間指定なしと同じ結果になることが検証された。これによって、納入時間指定配送を改善するにはある一定の許容時間が必要であることがわかる。

5.2 環境負荷要因の少ない配送

シミュレーション結果より、二つの出荷拠点で同じ配送エリア内で配送をする場合に、一つの出荷拠点に集約することで稼働台数、走行時間、走行距離を削減することが出来るということが検証されたため、共同配送は環境負荷要因を低減することができる配送であると考えられる。

納入時間指定配送は現在の社会では必要不可欠になっているが、トラック配送の効率が悪くなっている原因の一つであることが今回の研究で検証された。これを改善するには、納入時間指定に納期前・納期後・納期前後のいずれかで許容時間を設定することによって改善が可能になる。

この研究により、共同配送によって余計な稼働台数・走行時間・走行距離を削減することが可能である。また納入時間指定配送をすることは環境に負荷を与えている原因の一つとして考えられる。理由としては納入時間が指定されている配送先を優先することで、稼働台数・走行時間・走行距離が増加してしまうために、余計なCO₂を排出し、環境に負荷を与えてしまっているためである。

以上のように共同配送の効果と納入指定配送が環境に負荷を与えている原因の一つであることを検証することができた。よって環境に負荷の少ない配送を実現するためには、共同配送を積極的に取り組み、納入時間指定配送に対して配送先が許容時間を設けるように改善することで、環境負荷要因の少ないトラック配送を実現することができる。

6. おわりに

国内貨物輸送は年々減少し続けており、平成16年(2004年)では昭和60年(1985年)とほぼ同じである総輸送量5,569百万トンにまで減少していることがわかった。また、日本国内の輸送機関別では長距離輸送に適している鉄道、海運、航空はほとんど利用されておらず、日本の輸送はトラックを中心に行われている事がわかった。

運輸部門の環境問題への取り組みと、日本の温室効果ガスは262百万トンとなり平成2年(1990年)と比べると20.3%増加しているということがわかった。環境に負荷を与えない対応策として、共同配送の利点や仕組みなどの現状を理解した。

シミュレーションソフトを利用して、実際に新潟県内をシミュレーション圏内として共同配送と納入時間指定配送の環境負荷要因への影響を検証するためにシミュレーションを行った。この結果共同配送をすることによって稼働台数、走行時間、走行距離を削減することが可能であることがわかった。稼働台数は1台~12台削減の結果を得た。走行時間は6%~24%削減の結果を得た。走行距離は稼働台数と走行時間が削減されても、削減せずに2.9%増加することがある一方で、最大で24%削減されることもあることがわかった。稼働台数と走行時間は配送先が増加すると削減量も増加したが、走行距離は配送先が増加すると削減量が低下した。

納入時間指定配送をすることで稼働台数は8台から約13倍の111台になった。走行時間は約4.5倍に増加した。走行距離は約3.7倍に増加した。納期時間指定前、後、前後のいずれかに許容時間を設けることによって改善することが可能であることがわかった。

シミュレーション結果をもとに共同配送が環境負荷要因の削減効果があること、納入時間指定配送がトラック配送の効率を悪くしている原因であり、改善するには許容時間を持たせることが必要であることを述べた。

今後の課題としては、共同配送を実際に実現させるためには克服しなければいけない同業他社間の競争意識やシステムの問題の解決を図ることがあげられる。またシミュレーションのパターンを増やし、納入時間指定をさらに複雑にした検証をおこなう必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 五十嵐義信：トラック配送共同化・納期時間指定による影響の定量的評価，新潟国際情報大学卒業論文，2007
- 2) 国土交通省：陸運統計要覧，2004
- 3) 環境省：環境白書，平成18年版
- 4) 環境省：環境統計集，平成18年版
- 5) 長谷川勇，齊藤伸二：物流効率化を促進する環境調和型ロジスティクス，中央経済社，2005
- 6) 久住正一郎：利益を生みだす物流システム改革，日本実業出版社，1995
- 7) 湯浅和夫：手にとるようにIT物流がわかる本，かんき出版，2000
- 8) 岸野清孝：流通と物流，静岡学術出版，2007

- 9) 国土交通省 HP：物流政策, 環境負荷の小さい物流体系の構築を目指す実証実験・CO₂ 排出削減量の計算要領 <http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/butsuryu-jisshoujikken.html>
- 10) (株)日立情報ソリューションズ：輸配送計画支援システム操作マニュアル, ニュープラネット NEUPLANET
- 11) 岸野清孝：ITS の活用によるトラック輸送の高度情報化に関する研究, 京都大学博士論文, 2004
- 12) YAHOO! JAPAN 地図情報 <http://map.yahoo.co.jp/>