

Eコマースの視点から見た将来都市内道路交通並びに貨物車交通施策に関する分析*

Analyses on future urban transport and freight transport measures from a viewpoint of E-commerce*

谷口栄一**・玉川 大***・秦健太郎****

By Eiichi TANIGUCHI**・Dai TAMAGAWA***・Kentarou HATA****

1. はじめに

都市内を中心として道路交通渋滞の発生や大気汚染、騒音といった環境問題が生じているが、多頻度小口輸送やジャストインタイム輸送等を実施する貨物車交通がこれらに多大な影響を与えている。

また、近年におけるインターネットの普及に伴い、Eコマース（電子商取引）が普及しつつあるが、将来、Eコマースが大きく普及した場合には、商品の個別配送の増加や配送の時間指定の増加のように従来の物流形態・物流需要に何らかの影響を与えることが考えられる。その結果、貨物車交通にも影響が生じ、都市内を中心として道路交通状況や環境にさらなる影響が及ぶことも考えられる。

Eコマースと消費者購買行動、貨物車交通及び都市内道路交通に関しては様々な研究がなされている。Visser¹⁾は既存の文献を概観することによりEコマースが消費者の購買行動や貨物輸送需要に与える影響について整理している。また、谷口²⁾や中本³⁾はアンケート調査等を通じてEコマースの利用を含めた消費者の購買行動特性の把握を試みている。さらに、Patier⁴⁾らは、Eコマースに関わる様々なプレイヤーの類型化、戦略分析を行い、今後におけるEコマースの発展並びにロジスティクスへ与える影響について考察を試みている。一方、Thompson⁵⁾やTaniguchi⁶⁾はEコマースの普及に伴う都市内道路交通への影響についてモデル計算により定量的に示しており、後者では、Eコマースの利用に伴い新規に宅配車両が生じることにより、Eコマース利用率が5%の時にネットワーク内における乗用車・トラックの総走行時間が4%増加するという結果を導いている。

これらの研究成果を見ると、Eコマースの普及により消費者の購買行動特性に変化が生じること、貨物車交通

及び都市内道路交通の増加に繋がることが指摘されている。しかし、消費者の購買行動には様々な前提条件があり、これらの条件次第で貨物車交通や都市内道路交通へ与える影響が大きく変化するものと思われる。従って、これらの条件整理を行った上で、Eコマースの普及と消費者購買行動の変化、貨物車交通、都市内道路交通へ与える影響を一連の流れとして再度、整理・検討する必要があるものと思われる。

また、Eコマースの普及に伴い都市内の道路交通や環境に負の影響が生じた場合には、貨物輸送事業者による自主的な対策並びに行政サイドからの施策が適切に行われることにより、効率的な貨物輸送活動を実現することが重要になるとと思われる。

以上の認識の元に、本論文では、まず、コープこうべへのヒアリング調査等を通じてEコマースの現状を把握する。その上で、現実における道路交通、消費者の購買行動に関する様々な条件を加味しながら、将来Eコマースが発達・普及した場合に貨物車交通並びに都市内道路交通へ与える影響について定性的な考察を詳細に試みる。なお、今回はB2C（企業と個人消費者間の電子商取引）のEコマースを中心に考察を行う。続いて、Eコマースの普及に伴う顧客の購買行動および物流形態の変化を考慮した上で、貨物車交通に対する施策の実施が都市内の道路交通や環境に与える影響について、定量的に検討・評価する。

2. Eコマースの現状

(1) Eコマースの市場規模

Eコマースには、主なものとして、B2B（企業間の電子商取引）、B2C（企業と個人消費者間の電子商取引）、C2C（個人消費者間の電子商取引）がある。

Eコマースの市場規模に関しては、2001年時点でB2Bが約34兆円、B2Cが約1.5兆円と推計され、2006年にはB2Bが約125兆円、B2Cが約16兆円にまで拡大すると予測されている⁷⁾。

(2) B2CのEコマースの現状

（コープこうべに対するヒアリング調査結果）

B2CのEコマースと貨物車交通との関係について知見

*キーワード：物流計画、ネットワーク交通流

**フェロー、工博、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
（京都市左京区吉田本町、TEL.075-753-4789
Email:taniguchi@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp）

***正員、工修、京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻
（京都市左京区吉田本町、TEL.075-753-4788
Email:d-tamagawa@kiban.kuciv.kyoto-u.ac.jp）

****非会員、工修、阪急電鉄株式会社
（大阪市北区柴田一丁目16番1号）

を得るべく、平成14年1月に生活共同組合コープこうべに対してヒアリング調査を実施した。コープこうべは兵庫県全域を活動範囲とした組合員数約142万人、店舗数161（平成13年12月末時点）の生活共同組合である。コープこうべでは、店舗での販売の他に組合員による協同購入を実施している。協同購入では、紙面カタログ掲載の商品に関して毎週1回の注文・配達を実施しており、配達方法はグループ配達と戸別配達の種類から選択できる（戸別配達は配達料が別途必要）。また、B2Cへの取り組みとして、平成12年10月からはインターネット上での商品の注文も開始している。コープこうべは消費生活協同組合法に基づく組織であり、一般的な企業とは異なるものの、その物流形態に特殊な性質が見られる訳ではない。さらに、コープこうべでは多種多様な商品を取り扱っており、規模も大きいことから、自社の物流システムが確立されており、先進的なEコマース企業の事例として取り扱うことができると思われる。

以下に本ヒアリング調査により得られた結果を示す。なお、上記のとおり、この結果は平成14年1月当時のものであり、その後状況に変化が生じている可能性もあることに留意する必要がある。

（a）店舗物流と協同購入物流

図1にコープこうべにおける物流の形態を示す。コープこうべでは、店舗物流と協同購入物流（組合員への配

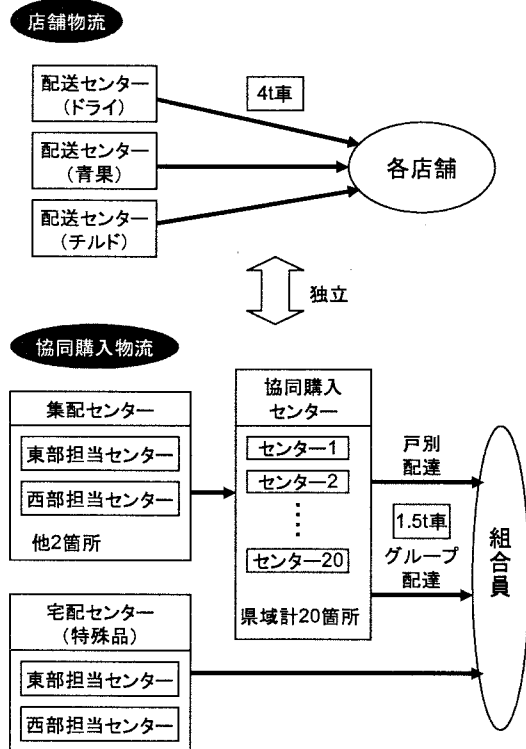


図1 コープこうべにおける物流の形態（概略）

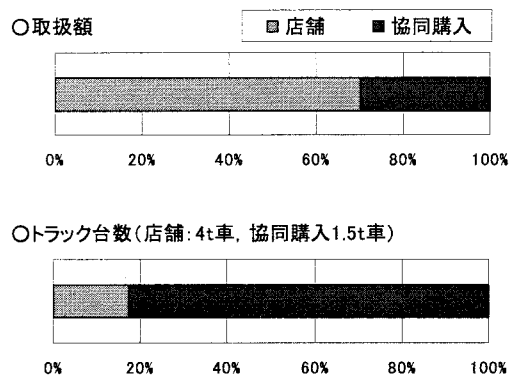


図2 店舗物流と協同購入物流の比較

達）のそれぞれに対応する物流センターを所有しており、2つの独立した物流が存在している。店舗物流については、品目別に兵庫県内3箇所の物流センターから各店舗へ4tトラックによる配送が行われている。一方、協同購入物流は県内に設けられた集配センターから県内全域に20箇所存在する協同購入センターへ配送された後、各組合員に届けられている。協同購入センターから組合員への配達には1.5tトラックが用いられている。なお、協同購入センターでは、組合員に対して配送を行うのみでなく、組合員からの注文をとるといった役割も担っている。

図2には、店舗と協同購入それぞれにおける取扱額と使用トラック台数を比較したものを示す。取扱額に関しては店舗が約7割であり大半を占めているものの、トラック台数では協同購入が圧倒的に多い。これは、店舗への物流よりも協同購入物流の方が貨物車交通へ与える負荷が圧倒的に大きいことを明確に示している。

（b）インターネットによる購買に見られる特徴

ヒアリング調査の結果から、インターネットによる購買に以下のような特徴が見られた。

- ・購買金額が協同購入全体平均の約1.3倍であり、戸別配達に限ると約1.7倍になる。
- ・35歳～40歳の利用者が多く、40歳代～60歳代の利用者も増加傾向にある。

インターネットのみで取り扱っている商品も存在することから単純には比較できないが、インターネットによる購買は従来の紙面カタログによる場合以上に消費者の購買意欲を刺激する可能性が示唆される。また、40歳～60歳代の利用者も増加しつつあるようであり、インターネットによる購買が各世代で一般化する傾向にあるものと思われる。

（c）インターネットによる購買と配送

図3に示すように、グループ配達に占めるインターネット購買利用者の割合は約4%に過ぎないが、戸別配達利用のみで見ると約23%にも上り、インターネット購買利用者に特に戸別配達志向が強いことが確認できる。従

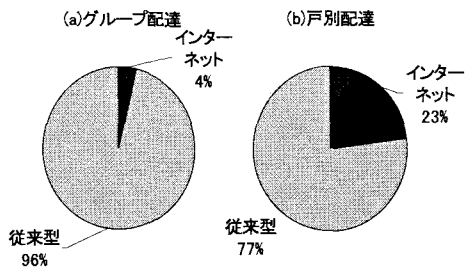


図3 協同購入利用者に占めるインターネット購買利用者の割合

って、インターネット購買利用者の増加に伴い、各利用者のニーズに合わせた小口輸送が増加し、貨物車交通にも影響を与える可能性があるものと思われる。

調査当時、コープこうべでは戸別配達にグループ配達用の車両を利用する等で調整していたが、インターネット購買利用者が増え、戸別配達需要が増加した場合には、対応策を講じる必要があるとの見解を示していた。

以上のヒアリング調査結果も踏まえ、次節以降では将来のEコマース普及時における貨物車交通状況及び都市内道路交通状況について、B2Cを中心に詳細に考察する。

3. B2Cの普及と都市内道路交通との関係

消費者がB2Cにより商品を購入した場合、小売店へ出向き商品を購入するという従来のパターンが、自宅まで商品が届けられるというパターンへと変化する。この場合、宅配需要の増加という現象が生じるが、一方で、従来の買い物交通が宅配交通に代替されるという現象に繋がることが考えられる。

(1) 宅配需要の増加と貨物車交通

B2Cの普及により、宅配需要の増加が想定されるが、このような宅配需要の増加が貨物車交通並びに都市内道路交通に如何なる影響を与えるかについては、

1. Eコマース企業の配送方法
2. Eコマース利用者の宅配に対するニーズ

が大きく関わってくるものと思われる。

(a) Eコマース企業の配送方法

コープこうべへのヒアリング結果からも明らかなように、商品を店舗へ配送する場合と消費者へ宅配する場合とは貨物車交通に対する負荷が明らかに異なる。従って、Eコマースの普及と共に、Eコマース企業の配送方法が都市内貨物車交通へ与える影響は大きくなるものと思われる。Eコマース企業が消費者に商品を配送するにあたっては、コープこうべのように自社で行う場合と既存の宅配業者に委託する場合が考えられる。自社で行う場合には、宅配需要の増加がそのまま貨物車交通の増加に

結びつくことが想定され、コープこうべのように宅配専用の配送センターを設けることも考えられる。しかし、宅配業者に委託する場合には、宅配業者は自社の宅配ネットワークを所有しているため、宅配需要の増加に伴う貨物車交通の増加割合は比較的小さい可能性がある。

(b) Eコマース利用者の宅配に対するニーズ

コープこうべへのヒアリング調査によると、商品の配送時間帯は朝と夕方に多い傾向にあるとの事であった。これらの時間帯は元来自動車交通の多い時間帯であり、Eコマースの普及に伴いこの限られた時間帯に貨物車交通が集中することにより、都市内の交通・環境問題に影響を与えることも考えられる。

また、Eコマースを利用する消費者の属性として、コープこうべへのヒアリング調査で確認した年齢層以外にも、商品を早く確実に入手したい人、商品を少しでも安く購入したい人等が挙げられるものと思われる。商品を早く確実に入手したい人は、店舗において商品の在庫切れに遭遇するリスクを避けるために、Eコマースを利用して、入手までの期間が短いEコマース企業を選択することが考えられる。このような属性の人が増えると、Eコマース企業間でリードタイム削減の競争が進み、多頻度小口輸送が促進され、貨物車交通の増加に繋がることが考えられる。

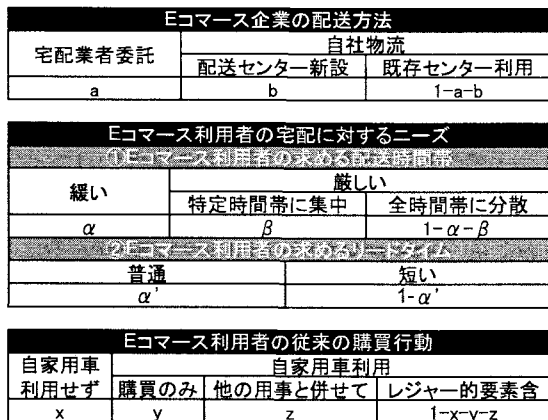
(2) Eコマース利用者の従来の購買行動について

Eコマースを利用することにより、消費者は店舗まで出向く必要がなくなる。従って、従来自家用車で店舗まで出向いていた場合には、Eコマースの利用により自家用車が宅配車両に代替されることが考えられる。

消費者の店舗での購買パターンには、①商品を購入するのみのケースだけではなく、②他の用事と併せて買い物するケースや、③買い物にレジャーとしての要素が含まれているケース（ショッピングセンター等の雰囲気を楽しむ）も考えられる。①の場合には自家用車の宅配車両への代替効果が期待できるが、②や③の場合には代替が進行せず、Eコマースが普及しても自家用車交通に大きな変化は見られないものと思われる。

(3) B2Cの普及と都市内道路交通

以上を整理すると、B2Cの普及が都市内道路交通に与える影響は、図4に示すようにEコマース企業の配送方法、Eコマース利用者の従来の購買行動、Eコマース利用者が求める配送時間帯及びリードタイムの各要素が複合的に作用して現れるものと推察される。図4におけるa,b等は各要素におけるそれぞれの項目の全体に占める割合を表す変数であり、これらの値の組み合わせにより、都市内道路交通へ与える影響が決定付けられるものと思われる。例えば、Eコマースが普及したとしても、aの値が大きけ



都市内道路交通へ与える影響

図中の変数はそれぞれの全体に占める割合を示す

図4 B2Cの普及が都市内道路交通へ与える影響に関するイメージ

れば貨物車交通量があまり増加せず、また α の値が大きい場合には貨物車交通の特定の時間帯への集中が回避され、結果として都市内道路交通へ与える影響は大きくはならないのではないかと思われる。

4. B2B, C2Cの普及と貨物車交通との関係

B2Bに起因する物流は旧来の取引が行われていたときから存在していたものであるため、取引のEコマース化により新たな物流需要は生じないとされている。しかし一方で、サプライチェーンマネジメントを加速させる一手段として取引をEコマース化させた場合には、物流の効率化が促進されることが考えられる。また、取引範囲のグローバル化が生じることも考えられ、このような場合には、輸送距離の増加が生じる可能性もある。

C2Cに関しては、B2Cと同様に宅配車両による物の受け渡しが想定される。C2Cの将来における発展状況を予測することは困難であるが、幾つかの発展要因はあるものと思われる。例えば、今後、環境問題や循環型社会の形成に関して、社会の関心が大きく高まると、消費者間での物のリサイクルが活発化し、その手助けの役割をEコマースが担う可能性がある。このような場合には、C2Cが「消費者間での静脈物流」という新しい物流需要を創出・拡大させる可能性もあるものと思われる。

以上のように、Eコマースの普及に伴う都市内道路交通への影響はEコマース企業やEコマース利用者に関する様々な条件の組み合わせによって決定されると思われる。そして、その組み合わせ次第では、貨物車交通が増加し、

結果的に都市内道路交通や環境へ負の影響を与える可能性があるものと思われる。現実において道路交通や環境への負の影響が生じた場合には、行政サイドが何らかの施策を貨物輸送事業者の協力を得ながら実施することにより、状況の改善を図ることが重要である。そこで、次章以降では貨物輸送事業者による対策や行政サイドによる施策の実施がEコマース普及時における都市内道路交通状況や環境へ与える影響について交通シミュレーションにより検討し、各種施策の評価を行う。

5. 貨物車交通行動を内包した都市内交通シミュレーションモデル

Eコマース普及時における各種施策を評価するにあたり、貨物車交通行動を内包した都市内交通シミュレーションモデルを構築した。図5にモデルの概要を示す。当該モデルは貨物輸送事業者の配車配送計画モデルと交通流シミュレーションモデルの2つのサブモデルから構成されている。まず、配車配送計画モデルにより貨物輸送事業者毎にトラックの配車配送パターンを求め、それを交通流シミュレーションモデルに入力して、都市内交通状況を表現する。以下にそれぞれのモデルの概要を示す。

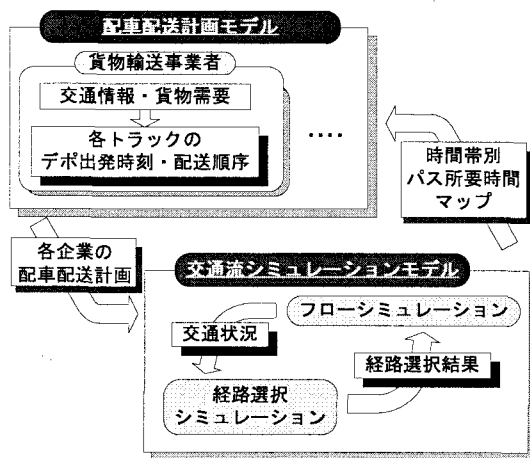


図5 貨物車交通行動を内包した都市内交通シミュレーションモデル

(1) 確率論的配車配送計画モデル

トラックの行動パターンを決定する配車配送計画モデルは、谷口ら⁸⁾による確率論的配車配送計画モデルを基本としている。道路の所要時間は交通状況に応じて時々刻々と変動するものであることから、当該モデルでは経路の所要時間の変動を考慮した上で総費用が最小となるようにトラックの配車配送計画が立案される。本研究では、総費用は固定費用、運行費用、顧客位置における早

着・遅刻ペナルティ、及び後述する施策実施時に考慮する大型車走行に伴う課金から構成される。本モデルは以下のように定式化されるが、厳密解を求めることは困難であるため、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を用いて近似解を求めることとする。

Minimize

$$C(t_0, \mathbf{X}) = \sum_{l=1}^m c_{f,l} \cdot \delta_l(\mathbf{x}_l) + \sum_{l=1}^m E[C_{t,l}(t_{l,0}, \mathbf{x}_l)] + \sum_{l=1}^m E[C_{p,l}(t_{l,0}, \mathbf{x}_l)] + \sum_{l=1}^m C_{r,l}(\mathbf{x}_l) \quad (1)$$

ここに、

$$E[C_{t,l}(t_{l,0}, \mathbf{x}_l)] = c_{t,l} \sum_{i=0}^{N_l} \left\{ \bar{T}(\bar{t}_{l,n(i)}, n(i), n(i+1)) + t_{c,n(i+1)} \right\} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} E[C_{p,l}(t_{l,0}, \mathbf{x}_l)] &= \sum_{i=0}^{N_l} \int_0^{\infty} p_{l,n(i)}(t_{l,0}, t, \mathbf{x}_l) \left\{ c_{d,n(i)}(t) + c_{e,n(i)}(t) \right\} dt \quad (3) \\ C_{r,l}(\mathbf{x}_l) &= c_{r,l} \sum_{i=0}^{N_l-1} \left\{ R(l, n(i), n(i+1)) + R(l, n(N_l), n(0)) \right\} \quad (4) \end{aligned}$$

Subject to

$$n_{0,l} \geq 2 \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m N_i = N \quad (6)$$

$$\sum_{n(i) \in \mathbf{x}_{l,j}} D(n(i)) = W_l(\mathbf{x}_{l,j}) \quad (7)$$

$$W_l(\mathbf{x}_{l,j}) \leq W_{c,l} \quad (8)$$

$$t_s \leq t_{l,0} \quad (9)$$

$$t'_{l,0} \leq t_e \quad (10)$$

ここに、

$$t'_{l,0} = t_{l,0} + \sum_{i=0}^{N_l} \left\{ \bar{T}(\bar{t}_{l,n(i)}, n(i), n(i+1)) + t_{c,n(i+1)} \right\} \quad (11)$$

ただし、

$C(t_0, \mathbf{X})$: 総費用 (円)

t_0 : トラックがデポを出発する時刻を表すベクトル

$$t_0 = \{t_{l,0} | l=1, \dots, m\}$$

$\mathbf{X}$: 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 ($\mathbf{X}$ の中には、全ての $n(i)$ が必ず含まれる.)

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

$\mathbf{x}_l$: 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
 $\mathbf{x}_l = \{n(i), d(j) | i=1, N_l, j=1, n_{0,l}\}$
 $\{ \}$ 内の番号の順序が訪問順序を表す

$n(i)$: あるトラックが i 番目に訪問する顧客のノード番号

$d(j)$: デポを表す番号 (ここでは $=0$)

N_l : トラック l が訪問する顧客の総数

$n_{0,l}$: 数列 $\mathbf{x}_l$ 中の $d(j)$ の個数

m : 使用可能なトラック台数の上限

$c_{f,l}$: 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

$C_{t,l}(t_{l,0}, \mathbf{x}_l)$: トラック l の運行費用 (円)

$C_{p,l}(t_{l,0}, \mathbf{x}_l)$: トラック l のペナルティ (円)

$C_{r,l}(\mathbf{x}_l)$: ロードプライシングによるトラック l の走行課金額 (円)

$c_{t,l}$: トラック l の単位時間当りの運行費用 (円/分)

$c_{r,l}$: トラック l のロードプライシング実施時における単位距離あたりの課金額 (円/km)

$t_{l,n(i)}$: トラック l の顧客 $n(i)$ における出発時刻

$\bar{T}(\bar{t}_{l,n(i)}, n(i), n(i+1))$: トラック l の時刻 $\bar{t}_{l,n(i)}$ にお

る顧客 $n(i)$ と顧客 $n(i+1)$ の
間における平均所要時間

$R(l, n(i), n(i+1))$: トラック l の顧客 $n(i)$ と顧客
 $n(i+1)$ の最短距離(km)

$t_{c,n(i)}$: 顧客 $n(i)$ における貨物の積み降ろし時間

$p_{l,n(i)}(t_{l,0}, t, \mathbf{x}_l)$: デポを時刻 $t_{l,0}$ に出発したトラックが
時刻 t に顧客 $n(i)$ に到着する確率

$c_{d,n(i)}(t)$: 顧客 $n(i)$ における単位時間当りの遅刻ペナ
ルティ (円/分)

$c_{e,n(i)}(t)$: 顧客 $n(i)$ における単位時間当りの早着ペナ
ルティ (円/分)

N : 顧客の総数

$D(n(i))$: 顧客 $n(i)$ の需要 (kg)

$t'_{l,0}$: トラック l が最後にデポに到着する時刻

t_s : トラックの移動可能時間の開始時刻

t_e : トラックの移動可能時間の終了時刻

$W_l(\mathbf{x}_{l,j})$: トラック l の番目の1回の巡回における積
載量 (kg)

$W_{c,l}$: トラック l の積載容量 (kg)

(2) 交通流シミュレーションモデル

現在様々な交通流シミュレーションモデルが開発されているが、本研究では対象とするネットワークの規模を考慮して、マクロシミュレーションモデルの一つであるボックスモデル⁹⁾をベースに、トラックのような巡回型交通にも対応できるように変更したものを用いた。

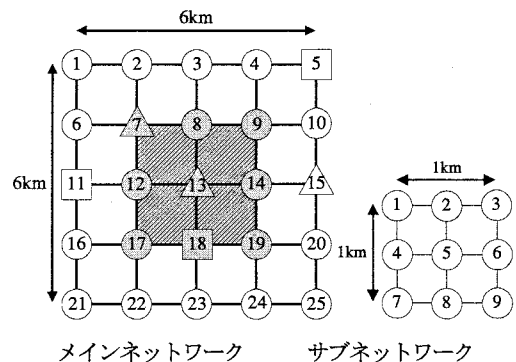
6. 仮想ネットワークによるケーススタディ

(1) 対象ネットワーク

図6に示すように、本研究で対象とするネットワークは、ノード数25、リンク数80のメインネットワーク（幹

線道路を想定）と、ノード数9、リンク数24の25個のサブネットワーク（細街路を想定）から構成される。メインネットワークをノード数25、リンク数80としたのは、交通流シミュレーションの実施にあたり計算の経済性を考慮したためである。サブネットワークはそれぞれの中心ノードにおいてメインネットワークの各ノードと接続している。ネットワーク内は高密度人口地域（図6における斜線部、サブネットワークのノードあたり世帯数130～170）と低密度人口地域（図6における斜線部以外、サブネットワークのノードあたり世帯数80～120）の2つから構成されるものとした。なお、細街路を想定したサブネットワークは、渋滞が発生せずほぼ一定して自由走行速度で走行可能と仮定しているため、メインネットワークのみを対象に交通流シミュレーションを実施した。メインネットワーク上では、前述した配車配送計画モデルより得られる貨物車交通以外に乗用車交通を全ノードにおいて発生・集中させる（ネットワーク内総発生台数：約5,000台/日）。この結果、メインネットワークの平均走行速度（全日）は約29km/hとなり、一般的な都市内の幹線道路ネットワークとして妥当な状況にあると思われる。

2001年度におけるB2CのEコマース化率の推計結果が0.55%であり、2006年には5.8%まで拡大するとの予測結果⁷⁾を踏まえ、本研究では、将来Eコマースがある程度普及した状態として、対象地域内の全世帯の10%がEコマースを利用し、残りの90%は小売店で購買活動を行うものとした。なお、Eコマース利用世帯においても、購買量の50%は小売店で購買するものとした。本研究では購買品目として日々購買活動がなされる日用品や食料品を想定している。小売店はメインネットワーク上の25個のノ



自由走行速度：30km/h（メインネットワーク）
15km/h（サブネットワーク）
自由走行時間：3分（メインネットワーク）
2分（サブネットワーク）

□：宅配企業のデポ
△：納入企業のデポ

図6 計算対象ネットワーク

ード全てに配置し、各世帯はそれぞれ自身が居住するサブネットワークが接続するメインネットワークのノードにある小売店でのみ購買活動を行うものとした。小売店で購買活動を行う世帯の70%が徒歩または自転車により、30%が乗用車により購買活動を行うものとした。また、各世帯の1日の購買需要量は5kgとした。

(2) 貨物輸送事業者

本研究では、小売店へ商品を配送する納入企業とEコマース利用世帯へ直接商品を配送する宅配企業をそれぞれ3社設定した。各企業のデポ位置は、図6に示すようにネットワーク内で位置的な偏りが生じないように配置した。納入企業はそれぞれ10tトラック12台、4tトラック12台を所有し、全ての小売店に対して配送を行うものとした。また、タイムウィンドウは小売店毎に納入企業3社共通のものを設定した。宅配企業はそれぞれ2tトラックを50台所有し、全てのEコマース利用世帯に配送するものとした。タイムウィンドウは宅配企業毎に同一ノードに存在する世帯単位で設定し、その幅は1時間とした。納入企業及び宅配企業が所有するトラックの台数は、貨物量に対して余裕を持たせて設定してある。なお、トラックがタイムウィンドウの開始時刻以前に配送先へ到着した場合には、開始時刻まで待機するものとする。

(3) 貨物車交通施策

都市内の貨物車に対する施策としては、行政サイドが実施する施策と貨物輸送事業者が実施する対策があると思われる。Eコマースの普及に伴い都市内の道路交通状況や環境に悪影響が生じた場合、これらの施策と対策を有効的に組み合わせることにより、都市内の道路交通状況や環境の改善効果が発現するものと思われる。本研究では、行政サイドが実施する施策として、①都市内の大型車（10tトラック。以下、本研究では10tトラックを大型車とする）の走行を規制する大型車流入規制、②大型車の走行距離に比例して課金するロードプライシング、③納入企業が共同配送を実施した場合のみ大型車の走行を許可する条件付大型車流入規制を実施する。大型車流入規制により10tトラックが使用できない場合、納入企業は4tトラックにより配送することとなる。なお、ロードプライシングにおける課金額の設定にあたり、100円/km、200円/km、300円/km、500円/kmの額により事前にシミュレーションを試行した。その結果、課金額の増加とともに10tトラックの走行台キロは減少する傾向となったものの、10tトラックの待機時間に関しては200円/kmを境に増加する傾向に転じ、結果としてNO_x排出量も増加に転じた。以上のように課金額が高額過ぎるとかえって環境面でマイナスとなり得ることが示唆されたことを踏まえ、本研究では課金額をNO_x排出量に関して最も効果が

期待できる200円/kmと設定した。

貨物輸送事業者が実施する対策としては、納入企業においては各企業が配送エリアを決めてそのエリアに対しては1つの企業が他社の貨物も併せて配送する共同配送を、宅配企業においては、i)この共同配送と、ii)各サブネットワーク内に数カ所設置したピックアップポイント機能を持つ物流施設に貨物を配送し、消費者がそこまで貨物を取りに行く方法、iii)Eコマースを利用する全世帯に対して宅配企業がタイムウィンドウを3時間幅に指定する方法の3種類を、それぞれ設定した。なおピックアップポイントにおけるタイムウィンドウは8:00～22:00とし、消費者のピックアップポイントへの交通手段は徒歩または自転車とした。

以上の行政サイドが実施する施策と貨物輸送事業者が実施する対策とを組み合わせるケーススタディを実施し、各種施策の組み合わせによる都市内道路交通状況や環境の改善効果について評価を行った。これらのケーススタディの一覧を表1に示す。

表1 ケーススタディー一覧表

ケース No.	行政サイドの施策	納入企業の対策	宅配企業の対策	
0	施策なし	対策なし	Ba	対策なし
			Co	共同配送
			Pp	ピックアップポイント
			Tw	タイムウィンドウ指定
1	大型車流入規制	対策なし	Ba	対策なし
			Co	共同配送
			Pp	ピックアップポイント
			Tw	タイムウィンドウ指定
2	ロードプライシング	対策なし	Ba	対策なし
			Co	共同配送
			Pp	ピックアップポイント
			Tw	タイムウィンドウ指定
12	条件付大型車流入規制	共同配送	Ba	対策なし
			Co	共同配送
			Pp	ピックアップポイント
			Tw	タイムウィンドウ指定
22	ロードプライシング	共同配送	Ba	対策なし
			Co	共同配送
			Pp	ピックアップポイント
			Tw	タイムウィンドウ指定

7. 各種施策の評価結果

各種施策の組み合わせについて評価を実施するにあたり、その指標には、貨物輸送事業者からの視点として輸送に要する総費用、使用トラック台数を、都市内の交通・環

境面からの視点としてCO₂排出量ならびにNO_x排出量を、両方からの視点としてトラック旅行時間を用いた。走行速度による排出量の変化が反映されるように、CO₂排出量に関しては車種別に燃料消費量と走行速度との関係式及び単位燃料消費量あたりの排出原単位^{10,11)}を用いて求め、NO_x排出量に関しては車種別に走行速度と排出量との関係式¹²⁾を用いて求めた。なお、配送先に到着した場合の待機時間のうち半分はアイドリングを行っているものと仮定し、この間もCO₂及びNO_xが排出されるものとした。

以下では、(1)基本ケースにおける結果、(2)納入企業が対策を講じない場合、(3)納入企業が対策(共同配送)を講じる場合に分けて計算結果を示す。

(1) 基本ケースにおける結果

まず、全ケースの基本となるケース0(表1参照。以下、その他ケースについても同様。)について結果を示す。ケース1,2の計算結果と併せて、総費用を図7に、使用トラック台数を図8に、トラックの旅行時間を図9に、CO₂排出量及びNO_x排出量を図10及び図11に示す。

宅配企業が共同配送を実施した場合には、宅配企業における費用やトラックの旅行時間さらにはCO₂、NO_x排出量が大幅に削減されている。すなわち、宅配企業における共同配送の実施により宅配輸送の効率化が促進され、宅配企業にとっても、都市内の道路交通、環境面から見ても望ましい状況が実現されているものと思われる。

宅配企業がピックアップポイントへの配送を実施した場合には、使用トラック台数に大きな変化は見られないが、トラックの旅行時間が削減され、結果的に費用削減効果や環境改善効果が得られている。これはピックアップポイントへの配送により配送箇所の集約化が図られると共に、タイムウィンドウが緩和されるため、配送の効率化が促進されたものと思われる。

Eコマース利用世帯のタイムウィンドウを3時間帯に指定した場合においても費用、トラック旅行時間、CO₂、NO_x排出量が削減され、配送の効率化が実現されている。

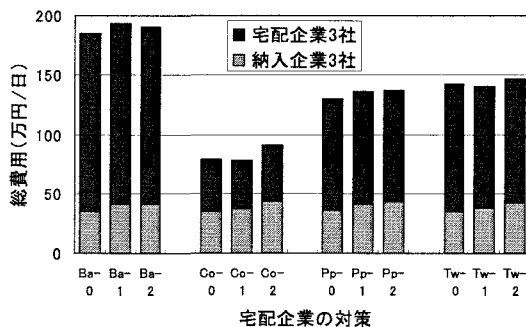


図7 総費用(ケース0,1,2)

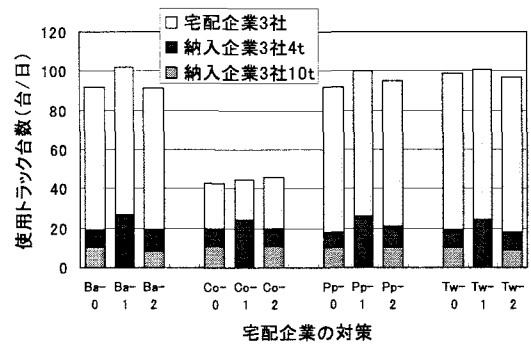


図8 使用トラック台数(ケース0,1,2)

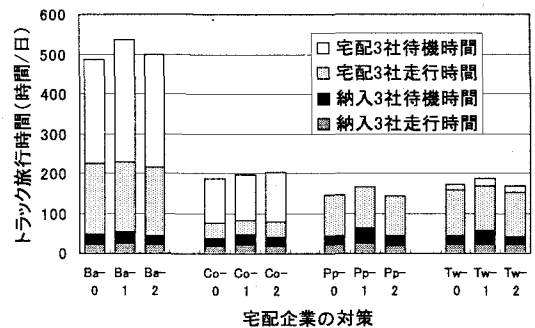


図9 トラック旅行時間(ケース0,1,2)

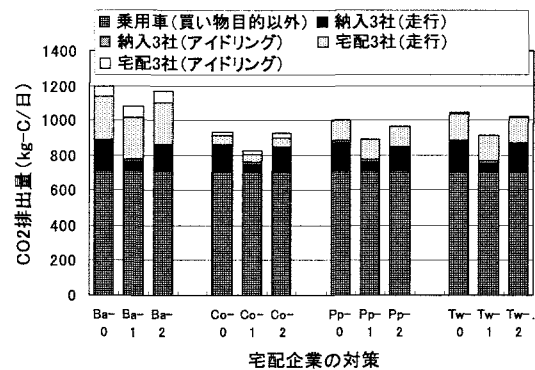


図10 CO₂排出量(ケース0,1,2)

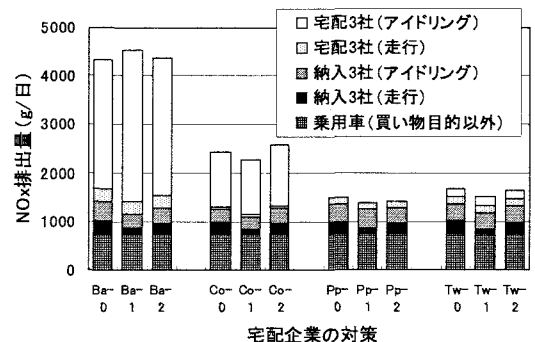


図11 NO_x排出量(ケース0,1,2)

(2) 納入企業が対策を講じない場合

続いて、納入企業が対策を講じない場合として、ケース0,1,2の計算結果について考察する。図7より、ケース1, ケース2において大型車流入規制及びロードプライシングが実施されると、納入企業の総費用が増加し、結果的に貨物輸送事業者全体の総費用増加に繋がる傾向が見られる。図8よりケース1で納入企業の使用トラック台数が増加していることが確認できるが、ケース1では大型車の使用が禁止されているため、容量の小さい4tトラックの使用によりトラック台数が増加し、結果として費用の増加に繋がったものと考えられる。ケース2で費用が増加しているのはロードプライシングによる課金の影響しているものと思われる。図9によると、ケース1で納入企業におけるトラックの待機時間が増加する傾向にある。本研究で用いている確率論的配車配送計画モデルの特徴として、なるべく遅刻ペナルティーを避けようとする傾向があるため、使用トラック台数の増加とともに、待機時間も増加したものと思われる。図10によると、特にケース1においてCO₂排出量が削減されているが、主な削減要素は納入企業のトラック走行時のものである。この要素の旅行時間に大きな変化が見られていないことを併せて考えると、納入企業において排出原単位の小さい4tトラックを使用していることが大きく貢献していると考えられる。従って、行政サイドからの取り組みとしてCO₂排出量の削減を図るにはトラックの小型化を誘導するような施策が効果的であると思われる。なお図11によると、ケース1の宅配企業が対策を行わない場合において顧客での待機時のNO_x排出量が増加しているが、アイドリングの防止を徹底することにより、この影響は除外できるものと思われる。乗用車（買い物目的以外）のCO₂、NO_x排出量はいずれのケースにおいてもほとんど変化が見られない。これは、メインネットワーク内を走行する乗用車の台数（約5,000台/日）がトラックの台数（約40～100台/日）と比較して多いため、各種貨物車施策の実施が乗用車交通へ与える影響が発現しにくかったものと思われる。

(3) 納入企業が対策（共同配送）を講じる場合

(2)の結果より、行政サイドからの施策の実施によりCO₂排出量やNO_x排出量の削減は期待できるが、納入企業における費用が増加する結果となり、貨物輸送事業者サイドとしては好ましくない結果となっている。そこで、今度は、納入企業も自ら取り組む対策として共同配送を実施した場合について、ケース0,1,2,22の結果を示す。図12及び図13に総費用並びに使用トラック台数を示す。

ケース12では納入企業の使用トラック台数が横ばいもしくは若干減少する傾向にあり、結果として総費用も減少する傾向が見られる。すなわち、共同配送を実施する場

合は10tトラックの走行規制が解除されると仮定しているので、総費用や使用トラック台数の増加を抑制することが可能となったものと思われる。なおケース12, 22とも、納入企業はほぼ10tトラックのみを使用しているが、共同配送の実施に伴い各納入企業が配送を受け持つエリアが限定されることにより、一つの配送先（ノード）あたりの貨物量が増加し、結果としてほとんどの配送先に関して4tトラックでは配送できない状況となったためである。ケース22ではロードプライシングによる課金のため総費用は増加している。図14にはトラックの旅行時間を示す。納入企業のトラック旅行時間が減少したことにより、ケース12, ケース22共にトラック旅行時間が減少する傾向にある。ケース1及び2では若干増加する傾向が見られた

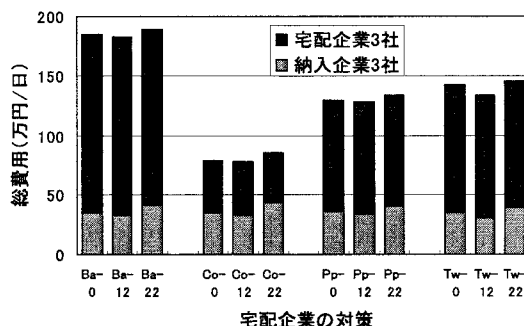


図12 総費用（ケース0, 12, 22）

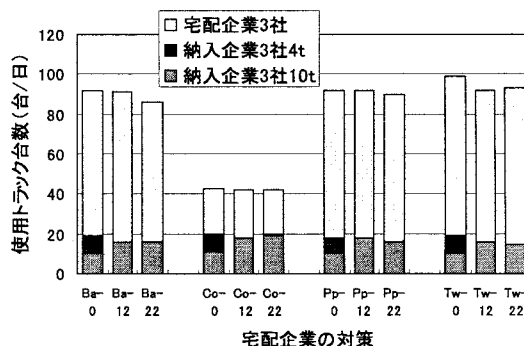


図13 使用トラック台数（ケース0, 12, 22）

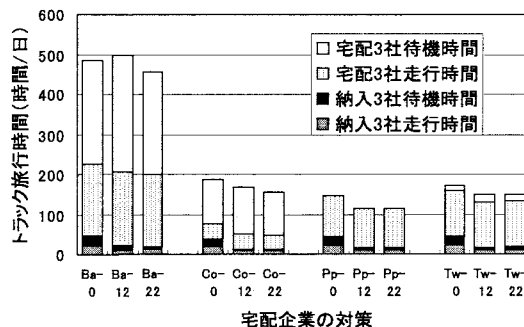


図14 トラック旅行時間（ケース0, 12, 22）

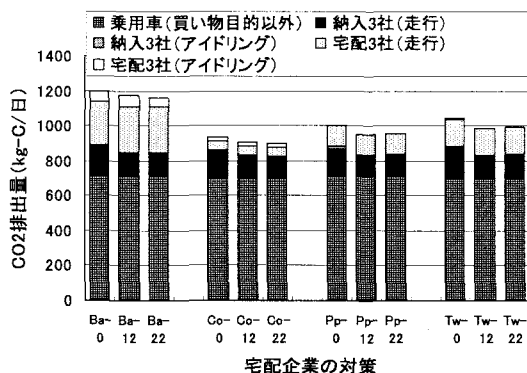


図 15 CO₂排出量 (ケース 0, 12, 22)

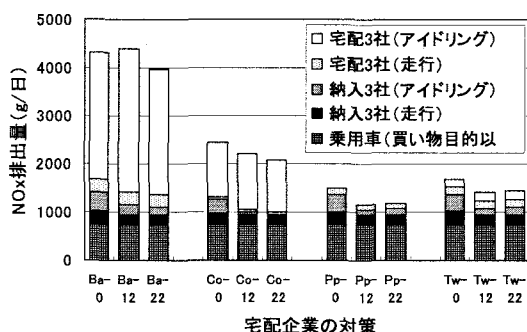


図 16 NO_x排出量 (ケース 0, 12, 22)

ことと比較すると、共同配送により旅行時間の増加が抑制されるものと考えられる。図15及び図16にはそれぞれCO₂排出量及びNO_x排出量を示す。ケース1, 2と比較すると減少幅は小さいものの、ケース12, 22共にCO₂排出量が減少する傾向にある。乗用車(買い物目的以外)のCO₂, NO_x排出量にほとんど変化が見られなかったのは、(2)と同様の理由による。

表2には、総費用、CO₂排出量、NO_x排出量に関して各ケースの結果をまとめたものを示す。表には指標毎に上位3番目まで網掛けをしている。納入企業の費用に関しては、上位3位いずれも納入企業が共同配送を実施したケースであり、納入企業にとっては共同配送の効果が大きいことが伺える。宅配企業の総費用に関しては、やはり共同配送を実施したケースで良い結果が得られていることが分かる。CO₂排出量に関しては大型車流入規制の実施とともに宅配企業が何らかの対策を実施したケースで良い結果が得られており、NO_x排出量では宅配企業がピックアップポイントへの配送を実施するケースが優れている。以上のように評価指標毎に望ましいケースが異なり、都市内貨物車交通施策立案にあたって、様々な利害関係者の立場を考慮することの困難さが明確に示された。しかしながら、Co-0, Co-12, Pp-12, Tw-0, Tw-12

に関しては、何の施策・対策も講じていないケースであるBa-0と比較してこれら4つの指標いずれについても改善されている。従って、Eコマース普及時において各種施策を実施することにより、費用の削減や、都市内の交通・環境問題の改善が実現可能であると考えられる。

表2 総費用、CO₂排出量、NO_x排出量の比較

	総費用		CO ₂	NO _x
	納入企業	宅配企業	排出量	排出量
Ba-0	35.4	149.2	1197.8	4322.0
Ba-1	42.1	151.5	1083.1	4516.0
Ba-2	42.0	148.1	1166.7	4362.2
Ba-12	32.8	150.2	1173.0	4400.5
Ba-22	41.7	147.8	1162.8	3965.6
Co-0	35.2	43.4	936.5	2445.8
Co-1	37.9	40.5	826.7	2285.3
Co-2	43.9	46.7	926.5	2586.7
Co-12	33.5	44.2	907.9	2222.0
Co-22	43.9	42.1	902.6	2069.9
Pp-0	35.9	93.5	997.9	1489.0
Pp-1	41.7	94.0	889.8	1376.6
Pp-2	44.1	93.0	966.9	1409.7
Pp-12	34.6	93.4	953.7	1166.4
Pp-22	40.8	93.4	956.6	1189.6
Tw-0	35.3	106.6	1041.4	1676.3
Tw-1	38.6	101.9	917.5	1522.9
Tw-2	42.3	103.9	1022.0	1645.6
Tw-12	31.2	102.6	989.2	1424.7
Tw-22	39.7	105.9	994.0	1438.0

単位 総費用:万円/日, CO₂:kg-C/日, NO_x:g/日

8. 結論

本論文ではEコマースの視点から将来における都市内道路交通についてB2Cを中心に考察すると共に、Eコマース普及時を想定して、貨物車交通に対する施策の実施が都市内の道路交通状況や環境に与える影響について交通シミュレーションにより定量的に検討した。その結果、共同配送、タイムウィンドウの指定等の対策を宅配企業が行うことにより、総費用、トラック旅行時間、CO₂, NO_x排出量が削減され、企業面、都市内の交通・環境面の双方に効果があることが確認された。また、大型車流入規制や大型車を対象としたロードプライシング等の施策を行政サイドが実施すると、CO₂, NO_x排出量は削減されるが、総費用、トラック台数等が増加することが確認された。しかし大型車を有する貨物輸送事業者が共同配送を実施することによりそれらの負の効果を抑制できることが確認された。

なお、今回は1種類の仮想ネットワークによる計算結果に過ぎないため、今後の課題として、ネットワーク形状を変更した場合や、納入企業・宅配企業のデポ位置を変更したケース等、様々なケーススタディを検討し、結果を充実させていく必要があるものと思われる。

参考文献

- 1) Visser,J., Nemoto,T. and Boerkamps,J. : E-commerce and City Logistics, City Logistics II, pp.35-66, 2001.
- 2) 谷口守・阿部宏史・蓮実綾子：サイバーウォークにおける空間抵抗特性とそのタウンウォークとの代替性，土木計画学研究・論文集，Vol.20 No.3, pp.477-483, 2003.
- 3) 中本裕治・山田忠史・柏野裕：今後の購買行動と物流交通需要に関する一考察，平成13年度関西支部年次学術講演概要，土木学会関西支部，pp.IV-30-1～IV-30-2, 2001.
- 4) Patier,D. and Alligier,L. : On-line retailing in France current and future effects on City Logistics, City Logistics III, pp.405-418, 2003.
- 5) Thompson,R.G., Chiang,C. and Jeevaptsa,M. : Modelling the effects of E-commerce, City Logistics II, pp.99-110, 2001.
- 6) Taniguchi,E. and Kakimoto,Y. : Effects of E-commerce on urban distribution and the environment, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.5, pp.2355-2366, 2003.
- 7) 電子商取引推進協議会：平成13年度電子商取引に関する市場規模・実態調査報告書，2002.
- 8) 谷口栄一・山田忠史・柿本恭志：所要時間の不確実性を考慮した都市内集配トラックの確率論的配車配送計画，土木学会論文集，No.674/IV-51, pp.49-61, 2001.
- 9) 飯田恭敬・藤井聡・内田敬：道路網における経路選択を考慮した動的交通流シミュレーション，土木学会論文集，No.536/IV-31, pp.37-47, 1996.
- 10) 科学技術庁・科学技術政策研究所：アジアのエネルギー利用と地球環境 エネルギー消費構造と地球汚染物質放出の動態，1992.
- 11) 国立天文台編：理科年表，1990.
- 12) (財)道路環境研究所：道路環境影響評価の技術手法 第2巻，2000.

Eコマースの視点から見た将来都市内道路交通並びに貨物車交通施策に関する分析*

谷口栄一**・玉川 大***・秦健太郎****

将来Eコマースが発達・普及した場合に貨物車交通並びに都市内道路交通へ与える影響について定性的な考察を行ったところ，Eコマース企業やEコマース利用者に関する様々な条件の組み合わせによって影響が決定されるものと考察された。さらに，Eコマース普及時を想定して，貨物車交通に対する各種施策による都市内道路交通・環境改善効果の評価を行ったところ，宅配企業による共同配送等の対策が非常に効果的であり，また大型車流入規制やロードプライシングといった行政サイドからの施策は環境改善効果があるが大型車を使用する貨物輸送事業者に負担を強いることとなり，共同配送によりこれらの負担を抑制できることが確認された。

Analyses on future urban transport and freight transport measures from a viewpoint of E-commerce*

By Eiichi TANIGUCHI**・Dai TAMAGAWA***・Kentarou HATA****

We examined effects of E-commerce on urban road traffic and environment in the future. We can point out that effects depend on various conditions of E-commerce companies and E-commerce users. We evaluated various measures on freight transport using traffic simulation in the condition that E-commerce becomes popular. Results indicated that co-operative delivery systems are effective for decreasing total costs. The large truck ban can improve the environment, but it increases costs of companies, and co-operative freight transport system can alleviate them.
