

◆特集：物流対策の新たな取り組み◆

## ITの進歩が物流に及ぼす影響

谷口栄一\*

### 1. はじめに

IT(情報技術)バブルの崩壊後、ITについて否定的な考えを述べる人もいるが、現実の社会においては、確実にITが人々の生活のなかに浸透しつつある。ブロードバンドのデータ通信を利用する人が増加し、携帯電話で買い物やインターネットバンキング、写真のやりとりなどを行うことはごく普通のことになっている。

このような状況が出現しつつある中で、本論文では、ITの進歩が物流にどのような影響を与えるのかを論じる。

近年、物流をとりまく環境は非常に厳しいものがあり、物流事業者は荷主、消費者の多様なニーズに対応しながら物流の効率化を推進することが求められている。また、都市部における交通渋滞、交通環境、交通事故、エネルギー消費の問題は社会問題となっており、その一つの原因がトラック交通にあることは否定できない。このような状況において、効率的かつ環境にやさしい物流システムを構築することは、わが国の社会経済的発展にとって緊急の課題となっている。

このような難しい問題を解決する一つの手段としてITを活用することが考えられる。ITの中心技術は、インターネットによるコンピュータ同士をつなぐ高度なデータ通信であるが、これは、単に電話やファクスがデータ通信に置き換わったというに留まらず、物流システムを抜本的に変革する可能性を秘めている。現在は、まだITの物流への応用が始まったばかりであり、これからITを活用して本格的に物流システムが変化していくものと思われる。

そこで問題となるのは、ITの活用によって物流システムが変化していくとして、一体どのように変わっていくのか、またその結果、道路交通はどのように変化するのか、それに対応して道路計画

はどのように変わっていかなければならないのかという問題である。本論文は、このような疑問に答えることを目的として、国土技術政策総合研究所からの委託研究として行った「ITの進歩が物流交通に及ぼすインパクト予測とその評価手法の研究」(平成12年度-平成13年度)の成果を報告するものである。なお、本研究の参加者は、谷口栄一(京都大学、代表者)、根本敏則(一橋大学)、小谷通泰(神戸商船大学(当時))、山田忠史(広島大学)、飯田裕三(中央復建コンサルタント(当時))である。

### 2. ITの活用による経済・企業活動への影響

ITの活用によって、経済・企業活動は大きく変化しようとしている。ITによって情報制約がなくなるために、次の2点のような大きな変化が起ると考えられる。

- ①情報制約のためにできなかったことができるようになる
- ②情報制約のために存在価値があったものが不要になる

①、②の例を企業の物流について考えると、たとえば、図-1に示すように、不確実な販売予想情報に基づいて工場から卸、小売店に配送された商品が、売れずに返品されることは一般によく起こっていることである。しかし、ITの活用によって、確実な販売情報が入手でき、分析することができれば、不要な商品の輸送を最小化することができる。また、図-2に示すように、従来は、情報制約によって荷主から請け負った業務を下請けに依頼する物流産業の階層構造が存在していた。しかし、インターネットによる求車求貨システムを活用することによって、荷主と実際に貨物を輸送する物流事業者が直接契約することが可能となる。このようなことは、高度なITの活用によって初めて可能となったことである。

次に、ITの進歩によって、トラック交通が今後

増えるのか減るのかという問題を考えてみると、今の段階では、増える要素もあり、減る要素もあるので、なんとも答えられないのが現状である。しかし、ITが物流に及ぼす影響としては、次の5つのものを挙げることができる。

- ① 最適な物流システムの構築が可能になる
- ② 物流の変化に対応した新物流業態が台頭する
- ③ 物流電子市場が生まれる
- ④ 新規物流需要が生み出せる
- ⑤ 輸送業務の徹底した効率化が図られる

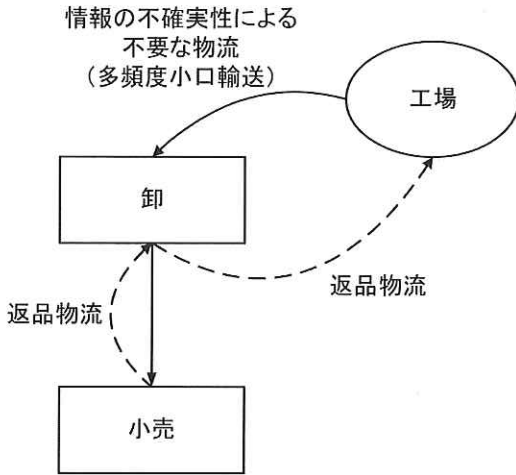


図-1 不確実な情報による不要な物流

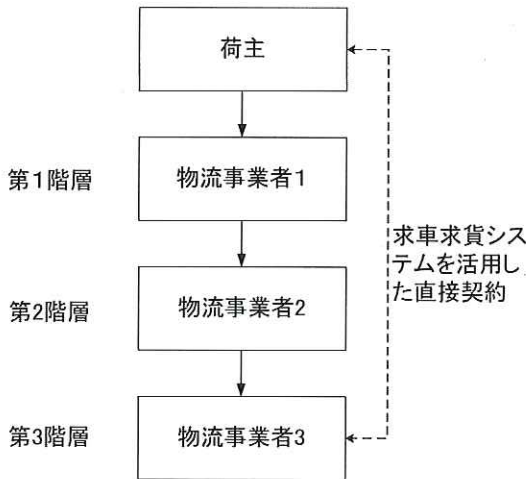


図-2 求車求貨システムを活用した直接契約

①について、ITをうまく活用することによって、従来の非効率な物流システムに代わって、本当の意味の物流の全体最適を目指すロジスティクスを実現することが可能になってくる。このとき複数の企業間の情報の共有がキーポイントになると思われる。また、ロジスティクスを含むサプライチェーンマネジメント（用語解説参照）への展開が可能になってくる。

②について、たとえば物流のアウトソーシングが今後活発になり、それを受託するためのITをベースとした物流の新業態が台頭する可能性がある。それはサードパーティロジスティクス（3PL、用語解説参照）をさらに進化させ、複数の企業がダイナミックに連携するような形態になると予想される。

③について、インターネットを利用した求車求貨システムや、空き倉庫と保管したい貨物のマッチングシステムなど、ITを活用した物流電子市場が生まれるのではないと思われる。

④について、eコマース（電子商取引）が活発になると予想されており、特にB2C（Business to Consumer）の取引が増加することによって、各家庭への宅配便需要の増加が見込まれる。個別配送には、配達時刻指定が付く場合が多く、このことが、多頻度小口輸送を増やす結果となると予想される。

⑤について、ITを活用してトラックの配車配送計画の高度化、トラックの運行管理の高度化が実現されると、貨物輸送業務がかなり効率化される可能性がある。また、そのとき同時に環境への負荷の低減や渋滞緩和効果も期待できるので、効率的で環境に優しい物流システムを構築できるようになる<sup>1)</sup>。

以上述べたように、ITを活用することによって、物流システムの効率化が進み、トラック交通が減少する可能性もある。しかし、一方ではeコマースの普及によって、新規需要が増加する可能性もある。したがって、ITの活用によって、全体のトラック交通が増加するか、減少するかを一概に結論づけることはできない。

### 3. ITの活用が物流に及ぼす影響に関するパフォーマンス指標

ITの活用が物流に及ぼす影響を評価するため

のパフォーマンス指標を考えてみよう。パフォーマンス指標開発の目的は、IT の活用による物流システムの経済効率性、環境上の正負の効果を含めた広義の効率性に及ぼす影響を評価することにある。

都市における物流を対象として考えると、その利害関係者 (Stakeholders) は、荷主、物流事業者、住民 (あるいは消費者)、行政の 4 者となる。パフォーマンス指標は特定の主体の利用を前提に開発される。たとえば荷主がサプライチェーンの効率性を評価する場合、あるいは行政がインターモーダル輸送の環境に与える影響を計測する場合に開発される。もちろん利害関係を持つ複数の主体が問題に関し認識を共有化し、取るべき行動に関し合意を形成する際にも有用である。

指標を用いて物流システムの絶対的な評価、すなわち規範的に導かれた目標水準からみた評価を行うことができる。しかし、各国、各地域の環境条件の違いを考慮に入れながら、そのような目標水準を決めるのは困難である。一方、異なる地域、国々における物流システム間の相対的な評価は容易であり、有益である。このようなことを行うことによって、漸進的に物流の改善を行う際の示唆が得られる。

すでに見てきたように、利害関係者ごとに物流への期待は異なる。それを反映して、表-1 に示すように主体ごとに関心を持つ指標は異なる。

#### 4. e-コマースの普及が都市内交通に与える影響の評価に関するシミュレーション

##### 4.1 計算条件

次に、IT の活用のなかでも e-コマース (以下では EC と称する) の普及によって、都市内交通

がどのように変化するのかを評価することを考えよう。以下では、都市内の交通シミュレーションによって、評価する方法について述べる。

ここでは、都市内仮想道路ネットワーク上において、図-3 に示すように、2 種類の流通形態を想定する。従来型では、納入企業がトラックによって小売店へ商品を納入し、消費者が徒歩、自転車、乗用車によって小売店へ買い物に行く。e-コマース型では、消費者は、インターネットで商品を注文し、それに基づいて、宅配企業が消費者の自宅まで商品を届ける。

ここでは、交通流シミュレーションとして、マクロシミュレーションの 1 つであるボックスモデル<sup>2)</sup>を用いる。また、小売店へ商品を納入する納入企業および消費者の自宅まで商品を届ける宅配企業のトラックの行動について、総費用を最小化するような確率論的配車配送計画モデル<sup>3)</sup>を用いる。

図-4 に計算対象とした仮想道路ネットワークを示す。ノード数 25、リンク数 80 の格子状のメインネットワークとメインネットワークの各ノードから派生する 25 個の格子状のサブネットワークから構成されている。サブネットワークは中心ノードがメインネットワークの各ノードに対応しており、ノード数 9、リンク数 24 の格子状ネットワークである。高密度地域 (ノード 7-9、12-14、17-19) の各ノードに存在する世帯数は、ノード毎に 130~170 世帯の範囲で一様乱数を用いてランダムに決定し、それ以外の低密度地域の各ノードに存在する世帯数は、ノード毎に 80~120 世帯の範囲内で同様の方法を用いて決定した。

乗用車の発生交通量については、ネットワークの中心部と郊外部での交通量の違いを考慮するた

表-1 物流の利害関係者が関心を持つパフォーマンス指標の例

利害関係者	ロジスティクス費用最小化	利益最大化	環境影響を含めた最適化
荷主	輸送費用・在庫費用・情報処理費用、ロジスティクス費用、など	サプライチェーン全体のリードタイム、機会損失費用など	企業活動からの環境負荷、サプライチェーン全体からの環境負荷 (ISO14000 取得事業について)、環境費用 (環境税など) の荷主への転嫁など
物流事業者	輸送費用、在庫費用、情報処理費用、ロジスティクス費用など	輸送サービスの質、関連提供サービスの質など	
消費者 (住民含む)	-	財、サービスの価格、速達性、信頼性、取引のための費用など	外部不経済の内部化、環境基準達成率、GDP と外部不経済の比率、付加価値あたりの平均環境負荷など
行政	GDP に占めるロジスティクス費用など	台キロあたりの平均輸送費用、ロジスティクスインフラ投資の費用便益比など	

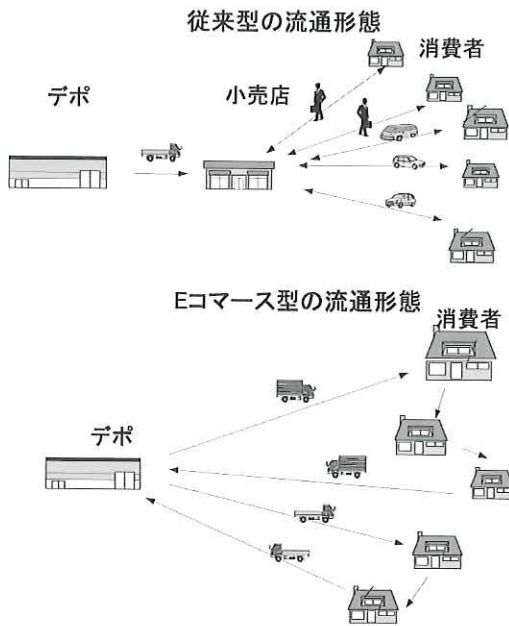


図-3 従来型とeコマース型の流通形態

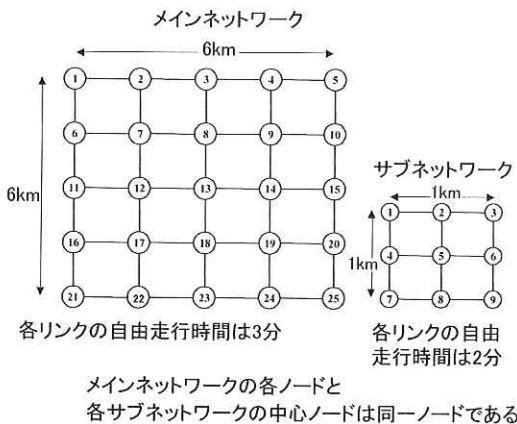


図-4 仮想道路ネットワーク

めに2種類設定し、高密度地域には大きい方の発生交通量データ(220台/日)を用い、低密度地域には小さい方の発生交通量データ(175台/日)を用いる。これより計算すると、シミュレーション対象となるメインネットワーク内存在台数は4,780台/日となる。

小売店はメインネットワークの全25のノードに配置し、1小売店の勢力圏(消費者が買い物に来る範囲)はその小売店が存在するノードから派生するサブネットワークの各ノードである。デポから小売店まで貨物を配送する納入企業は3社存

在するとし、各社とも10トントラックを12台利用できるものとする。なお、小売店のタイムウィンドウは平成7年の京阪神物資流動調査から得られた割合に基づいて設定し、3社とも共通のタイムウィンドウを持つものとする。納入企業のデポは、ノード7、13、15に配置した。また、宅配企業は、1社当たり2トントラックを50台使用できるものとする。

ECを利用する世帯、買い物行動をする世帯とも1世帯当たりの需要量は5kgを基本とする。また購入される商品としては食料品や日用品などの日常よく消費されるものを想定している。小売店へ買い物に行く消費者(世帯)の交通手段の割合は、京都生協組合員調査の資料を参考として自動車利用を30%、徒歩あるいは自転車利用を70%と設定する。各ノードのタイムウィンドウは、基本的には8時から22時の間の1時間をランダムに設定し、同じノードに存在するEC利用世帯は宅配企業毎に全て同じタイムウィンドウを持つものとする。

本研究では、表-2に示すような9ケースについて計算を行った。なお、ケース8のピックアップポイントとは、消費者が自宅のあるノード内のピックアップポイントまで商品を取りに行くシステムを指す。

#### 4.2 計算結果

まず、企業の立場から検討するために、物流コストの比較を表-3に示す。なお、物流コストは納入企業と宅配企業の固定コスト、運行コスト、指定時間帯への遅刻および早着ペナルティの和である。EC利用率が0%から3%で急激にコストが増加しているが、これは宅配企業の物流コストが発生するためである。ケース2とケース3は明確な傾向が現れなかった。ケース4の物流コストが大幅に増えた原因は宅配企業が3社になり、使用トラック台数もそれとともに増加しているからである。宅配企業の物流コストが減少することで、ケース5~ケース8ではケース1に対して、ケース9ではケース4に対して、それぞれ全体の物流コストが減少しているのので、対策を講じることでコストが削減されることが確認できる。中でも、ケース9の宅配企業が共同配送を行った場合のコスト削減率は顕著なものとなっており、ケース8のピックアップポイントの設置もそれに次いで効

表-2 e-コマースの都市内交通への影響評価のためのシミュレーションの計算ケース

ケース	説明	消費者の タイム ウィンドウ	宅配企業数	1世帯 当たり 需要量 (kg)	EC利用世 帯中小売店 へ買い物に 行く割合 (%)	宅配企業の デポの ノード位置
1	基本ケース	ランダム	1	5	0	5
2	EC利用世帯の需要量が増加した場合	ランダム	1	8	0	5
3	EC利用世帯が買い物を行う場合	ランダム	1	5	50	5
4	宅配企業が3社で別々に配送する場合	ランダム	3	5	0	5,11,18
5	消費者のタイムウィンドウが宅配企業により、指定される場合	指定 (3時間)	1	5	0	5
6	宅配企業のデポが中央に配置された場合	ランダム	1	5	0	13
7	1トラックの受け持ちエリアを拡大した場合	ランダム	1	5	0	5
8	ピックアップポイントを設けた場合	ランダム	1	5	0	5
9	宅配企業3社が共同配送する場合	ランダム	3	5	0	5,11,18

表-3 物流コストの比較

ケースNo.	EC利用率 (%)					
	0	3	5	10	20	50
1	31.36	87.34	85.40	82.65	82.19	82.47
2	0.00	1.77	2.94	0.95	0.03	-3.67
3	0.00	-2.97	-0.74	2.22	-2.12	0.72
4	0.00	122.35	127.52	136.56	128.36	126.58
5	0.00	-28.55	-24.92	-22.78	-24.36	-4.85
6	0.00	-1.29	1.27	-1.82	-1.56	-6.53
7	0.00	-3.59	-6.81	-3.27	-12.62	-5.37
8	0.00	-28.43	-23.38	-21.90	-23.84	-10.92
9	0.00	-56.16	-57.82	-55.74	-57.83	-56.05

単位：ケース1は総物流コスト (万円/日)  
 ケース2～8はケース1に対する変化率 (%)  
 ケース9はケース4に対する変化率 (%)

表-4 配送車の総走行時間の比較

ケースNo.	EC利用率 (%)					
	0	3	5	10	20	50
1	1208.2	1282.5	1256.5	1199.3	1130.0	928.3
2	-	-0.4	-1.8	-0.4	-0.3	-0.3
3	-	0.8	2.4	3.6	5.7	18.5
4	-	12.0	13.3	15.5	12.8	11.4
5	-	-5.3	-4.3	-2.7	-3.2	-3.5
6	-	-1.8	-1.0	-0.9	-1.6	-2.0
7	-	-0.9	-1.4	0.1	-0.6	-0.5
8	-	-5.3	-4.3	-2.7	-3.2	-1.9
9	-	-13.8	-14.2	-15.1	-13.6	-13.6

単位：ケース1は総走行時間 (時間/日)  
 ケース2～8はケース1に対する変化率 (%)  
 ケース9はケース4に対する変化率 (%)

果が出ている。

表-4にトラックの総走行時間の比較を示す。ケース1では、EC利用率が0%の場合に比べ、EC利用率が3%と5%の場合には増加しており、ある程度以上ECが普及しなければ、増加する可能性のあることが確認された。しかし、EC利用率が10%以上では0%の場合より総走行時間は減少しており、乗用車による買い物交通の減少効果が現れている。

また、ケース3ではEC利用率が高くなるにつれてケース1に対する変化率が増加しているが、これは、買い物をやめる世帯が増えることによる買い物目的の乗用車走行時間の減少の程度が、EC利用率が高くなるにつれ、ケース1より小さくなるためである。ケース4でもケース1に対して増加しているが、これは宅配企業が増加することでトラック台数が増え、それによる走行時間が増加したためである。ケース5～ケース8ではケース

1に対して、またケース9ではケース4に対して、それぞれ宅配企業のトラック走行時間の減少によって総走行時間は減少しており、ピックアップポイントの設置および共同配送を実施することによって、環境に対しても便益のあることが示された。この指標においても、物流コストと同様に、共同配送する場合の効果は非常に大きなものとなった。

さらに、環境面から検討するために、NOx排出量の比較を表-5に示す。なお、NOx排出量は買い物目的・買い物目的以外の乗用車、納入企業・宅配企業のトラックからの排出量の和である。

ケース1では、EC利用率が0%の場合に比べ、EC利用率が3%、5%、10%の場合には増加しており、総走行時間の指標と同様に、ある程度以上ECが普及しなければ、環境が悪化する可能性のあることが認められた。

ケース3やケース4においては、NOx排出量は増加しているが、これは、ケース3は買い物目的

表-5 NOx 排出量の比較

ケースNo.	EC 利用率 (%)					
	0	3	5	10	20	50
1	1813.3	1959.9	1907.3	1860.4	1803.4	1587.2
2	-	-0.8	-0.7	-1.0	-1.9	-2.0
3	-	0.3	2.5	3.5	1.2	9.4
4	-	10.4	13.7	14.7	10.9	9.1
5	-	-6.2	-3.2	-2.5	-5.8	-4.6
6	-	-3.5	0.3	-1.3	-4.1	-3.3
7	-	0.2	0.1	0.1	-2.4	-1.5
8	-	-5.4	-1.8	-3.1	-4.9	-4.0
9	-	-12.7	-14.0	-14.2	-13.9	-12.8

単位：ケース1は総NOx排出量 (g/日)  
 ケース2～8はケース1に対する変化率 (%)  
 ケース9はケース4に対する変化率 (%)

の乗用車からの排出量がケース1に対して大きいからであり、ケース4は宅配企業のトラックが増えたことで、それらのトラックからの排出量が増加したからである。ケース5～ケース8ではケース1に対して、またケース9ではケース4に対して、それぞれ宅配企業のトラックからのNOx排出量の減少によって総NOx排出量は減少しており、物流コストや総走行時間と同様に、ピックアップポイントの設置および共同配送を実施することによる環境の改善効果が確認できる。

## 5. あとがき

ITの進歩が物流にどのような影響を与えるかという問題については、よく分かっていない点が多い。しかし、本論文では、今の段階で予測される事柄を整理し、またその評価手法として、パフォーマンス指標やモデル化について述べた。

ITを活用し、配車配送計画の合理化や運行管理システムを導入することによって、物流を効率化することができ、さらに環境改善や渋滞緩和に役立つことは、荷主、物流事業者、住民、行政のそれぞれにとって、良いことである。しかし、逆に、e-コマース (B2C) の普及によって、個別配送が増えた場合、何らかの対策をとらないと、交通混雑や環境への負荷の増大につながる恐れがある。このように、ITの進歩が物流に与える影響には、正負の両面があり、一概に良いことばかりとは言えない。したがって、できるだけ正の影響を伸ばし、負の影響を抑える対策を実施ことが重要である。

ITの物流への活用は、まだ始まったばかりであり、今後、慎重にその影響を見極めて、交通政策の立案や道路整備に役立てる必要がある。

## (用語解説)

- 1) サプライチェーン：商品の供給に関係する全企業連鎖をいい、商品の企画・調達・設計・開発・資材調達・製造・販売・教育・保守・廃棄 (ライフサイクル) に関連する全分野を含む概念。商品の製造用の原材料や部品の製造、粗材料の製造にまで遡り、EDI (電子データ交換) と統合データベースによる情報の共有化によって、トータルとしての在庫削減、物流合理化を図ることを、サプライチェーンマネジメントと呼ぶ。
- 2) サードパーティロジスティクス：荷主企業に対してその立場に立ってロジスティクスサービスを戦略的に提供する事業者を活用すること。

(社)日本ロジスティクスシステム協会監修

「基本ロジスティクス用語辞典」白桃書房)

## 参 考 文 献

- 1) 谷口栄一、根本敏則：シティロジスティクス—効率的で環境にやさしい都市物流計画論、森北出版、2001年
- 2) 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シミュレーション、土木学会論文集 No.536, IV-31, pp.37-47, 1996年
- 3) 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年

谷口栄一\*



京都大学大学院工学研究  
 科都市社会工学専攻教授,  
 工博  
 Dr. Eiichi TANIGUCHI