

配送方式と空間構成を考慮した 地区内物流活動のCO₂排出量推計

森田紘圭¹・高野剛志²・加藤博和³・林良嗣⁴

¹正会員 大日本コンサルタント株式会社インフラ総合研究所（〒451-0044 名古屋市西区菊井2-19-11）
E-mail: morita_hiroyoshi@ne-con.co.jp

²正会員 大日本コンサルタント株式会社大阪支社技術部（〒541-0058 大阪市中央区南久宝寺町3-1-8）

³正会員 名古屋大学大学院環境学研究科（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）

⁴フェロー 名古屋大学大学院環境学研究科（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）

都心業務地域において、物流活動の低炭素化方策を検討するため、地区内物流活動をCO₂排出量、配送時間および空間占有率から評価するモデルを構築した。これを用いて、名古屋市都心部の業務商業地区における将来の業務床面積増加に伴うCO₂排出量の増加可能性と、配送方式や空間構成の工夫による効率性と環境性を満足できる施策の検討を実施した。その結果、1)地区における業務床面積が増加するに伴って、エレベーターの使用等が増加し、1件あたりの配送時間及びCO₂排出量が増加する可能性があること、2)都心部のような配送密度の高い地域ではリアカーなどを用いた共同配送による配送時間短縮及びCO₂排出量削減効果が期待できること、などが明らかとなった。

Key Words : CO₂-emission, Logistics, Co-operated Delivery, Occupied Space

1. はじめに

日本のCO₂排出量¹⁾は、2012年で約1,276Mt-CO₂であり、そのうち運輸部門における排出量は17.7%を示している。さらにその内訳を見ると、貨物自動車の排出が占める割合は運輸部門の33.2%（全体に対して5.2%）であり、物流活動に伴うCO₂排出量は運輸部門の排出量全体に対して大きな影響をもたらしている。こうした物流活動による環境負荷の大きさに鑑み、平成25年6月に閣議決定された「総物流施策大綱（2013-2017）」では、更なる環境負荷の低減に向けた取り組みとして、(1)自動車性能向上による省エネ化、(2)道路ネットワーク整備やITSの活用、(3)モーダルシフトの推進、(4)共同輸配送の展開、(5)物流拠点や倉庫における省エネ化を挙げている。

一般に、物流活動は原材料の輸送（川上側）からはじまり、製品の製造、消費地への輸送（川下側）を経て、生産者から消費者に製品が行きわたる流れとなっている（図-1）。一般に川上側は、大量輸送、長距離かつ非都市部での輸送が中心であり、そのため走行時における時間やCO₂排出量が占める割合が大きくなる。一方で、小売店への輸送などの川下側は、輸送の小口化、短距離かつ都市部での輸送が中心であり、目的地周辺の道路混雑

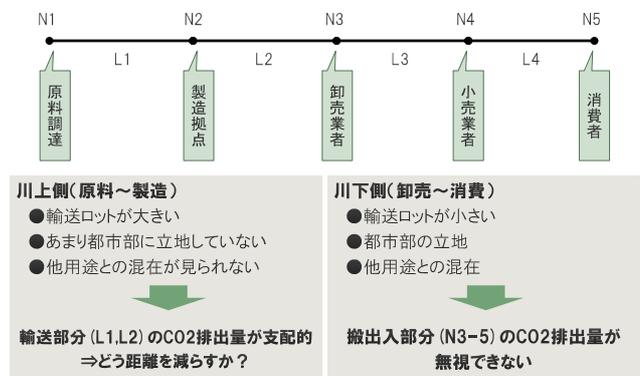


図-1 製品ライフサイクルにおける物流の流れや、駐停車、アイドリング、また荷下ろし後の人力配送が占める時間やCO₂排出量が大きくなる傾向にある。しかし、川下側における対策として進められているのは、前述の(4)共同輸配送の展開や、アイドリングストップの奨励程度にとどまり、地区内における物流活動の低炭素化施策は十分なメニューが用意されていないのが実情である。

既往研究においても、川上側の物流活動に対するCO₂排出量の推計や施策の分析は多数実施されているものの、高橋ら²⁾など地区内の物流活動に関する低炭素効果の把握は、共同輸配送に対する取り組みがほとんどである。

さらに、都心業務地区における地区物流のCO₂排出量増大要因として地区の物流密度、つまり容積率の増加や地区の高度利用化が挙げられているにもかかわらず、こうした空間構成の変化に着目した分析はほとんど実施されていない。今後、コンパクトシティなど都心部への集約化がさらに進むこととなれば、その影響はより大きくなることが想定され、配送方法だけでなく、それを受け止める空間構成を合わせた対応が必要となる。

以上を踏まえ、本研究では配送方式と地区の空間構成双方を考慮でき、それをCO₂排出量、配送時間、物流車両による空間占有量から把握する物流低炭素性評価システムを構築する。また、構築した手法を名古屋市の都心地区（中区錦二丁目地区）に適用し、現状における地区内物流状況の評価、床面積増加に伴う影響、配送方式と空間構成の変化による影響を分析し、地区内物流活動がもたらす環境的社会的影響の把握と、地区内の空間構成のコントロールや配送方式の変更による物流活動の低炭素化効果を把握することを目的とする。

2. 地区内物流活動の低炭素性評価システム

(1) モデルの全体構成

本研究では地区内物流活動として、配送車両が配送のために地区内に流入してから各事業者へ荷物を配送し、流出するまでの全てのプロセスを対象とする。具体的には、各配送車両が配送先事務所を回る走行時と、各事務所に配送を実施している駐車時の全てを評価対象とする。

図-2にシステムの全体構成を示す。まず、地区内の業種別の事業所延床面積から、延床面積あたりの需要原単位を用いて地区内で発生する物流需要（搬出入回数）を求め、さらに一回の車両流入における搬出入回数を設定することで、1日における物流車両の流入回数を求める。

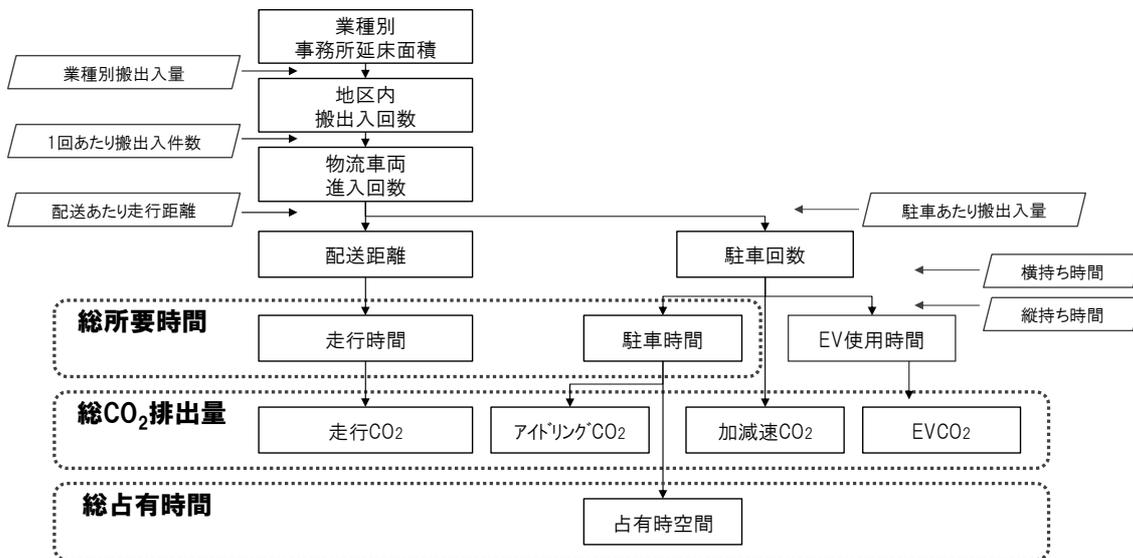


図-2 物流低炭素性評価システムの概要

流入する各物流車両の行動については、地区内に一度流入するたびに、モンテカルロシミュレーションによりランダムで生じる搬出入箇所を最短経路で回るものとし、搬送回数はすべての物流車両で一定と仮定する。これらの仮定から、地区内の1日の物流活動をモデル化することで、評価指標である配送時間、CO₂排出量、物流車両による空間占有量を算出する。なお、本研究で用いる物流需要に関する基礎的データはH19中京都市圏物流調査による結果を用いる。

(2) 1件あたりに要する配送時間の算出

物流活動の効率性を示す指標として1件あたりの配送時間 t を算出する。配送に要する時間として、物流車両が地区内で n 回の搬出入を行う際の走行時間 $T_d(n)$ と搬出入に要する駐車時間 T_p を考慮し、式(1)により求める。

$$t = (T_d(n) + T_p) / n \quad (1)$$

$$= (L_d(n) / v + t_p \cdot n) / n$$

ここで、 $L_d(n)$ は n 箇所の配送先を回る最短距離、 v は車両速度(=30km/h)、 t_p は1回の搬出入における駐車時間、 n は物流車両ごとの搬出入回数である。さらに t_p は駐車場所から建物までの水平移動に必要な横持ち時間 t_h 、建物内における配送先のフロアまでの垂直移動に必要な縦持ち時間 t_v 、配送に必要な作業時間 t_w を合計して求める(式(2))。

$$t_p = t_h + t_v + t_w \quad (2)$$

$$= l_h / v_h + l_v / v_v + t_w$$

ここで、 l_h 、 l_v はそれぞれ横持ち距離および縦持ち距離であり、 v_h 、 v_v は横持ち速度(徒歩移動速度)と縦持ち速度(エレベーター速度)である。なお、本研究における各パラメータの設定値を表-1に整理する。

(3) 1件あたりCO₂排出量の算出

物流活動に伴う環境負荷を示す指標として配送1件あたりのCO₂排出量 E を算出する。CO₂排出量算出にあたっては、配送時間と同様に走行時と駐車時における排出量 $E_d(n)$ 、 E_p を求め、式(3)のとおり定式化する。

$$E = (E_d(n) + E_p) / n \quad (3)$$

走行時のCO₂排出量は走行時間に時間あたりのCO₂排出量原単位 e_d を乗じることで求め、駐車時のCO₂排出量は、駐車のための車両減速、駐車時におけるアイドリング、再出発時の車両加速およびエレベーター使用による排出量 E_a 、 E_b 、 E_i 、 E_{ev} を合計し、それぞれ式(4)、(5)のとおり定式化する。

$$E_d(n) = e_d \cdot T_d(n) \quad (4)$$

$$E_p = n \cdot (E_a + E_b + E_i + E_{ev}) \quad (5)$$

$$= n \cdot (e_a \cdot t_a + e_b \cdot t_b + e_i \cdot t_p + e_{ev} \cdot t_v)$$

ここで、 t_a 、 t_b は駐車・発信の際における加減速時間、 e_a 、 e_b 、 e_i は各車両モードの時間あたりCO₂排出量原単位であり、横田ら²⁾より設定を行った。また、 e_{ev} はエレベーター使用時におけるCO₂排出量原単位であり、国土交通省³⁾の計算式を用いている。なお、本研究で設定した各パラメータ及び原単位については、配送時間と同様に表-1に整理する。

(4) 物流車両による空間占有量の算出

物流活動による周辺市街地への影響を示す指標として、Brun and Vuchic⁴⁾らの定義する時空間占有量 S を用いる。時空間占有量は、ある交通モードが占める時空間を示す指標であり、1日の時空間占有量は式(6)であらわされる。

$$S = q \cdot (T_d(n) + T_p) \cdot s \quad (6)$$

ここで、 q は1日に地区内に流入する物流車両数、 s は物流車両の占める面積である。なお、ピーク時の空間占有状況は物流交通量のピーク率 p を用いて、式(7)であらわされる。

$$S_p = S \cdot p \quad (7)$$

表-1 各パラメータの設定値

パラメータ	設定値
作業時間	3(分/回)
横持ち距離	10(m)
横持ち速度	25(km/h)
縦持ち速度	18(km/h)
走行時CO ₂ 排出原単位	66.2(g-CO ₂ /分)
減速時CO ₂ 排出原単位	3.2(g-CO ₂ /回)
加速時CO ₂ 排出原単位	17.1(g-CO ₂ /回)
アイドリングCO ₂ 排出原単位	23.9(g-CO ₂ /分)
エレベーターCO ₂ 排出原単位	6.5(g-CO ₂ /分)

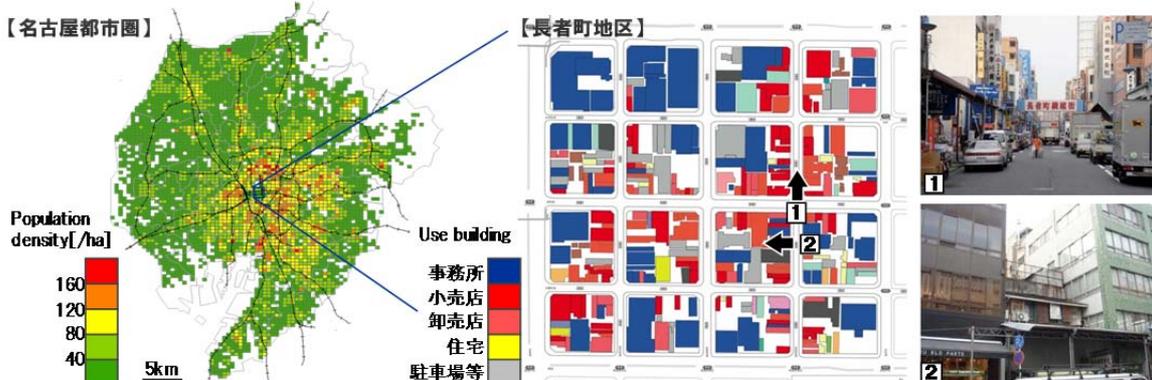


図-3 錦二丁目地区の概要

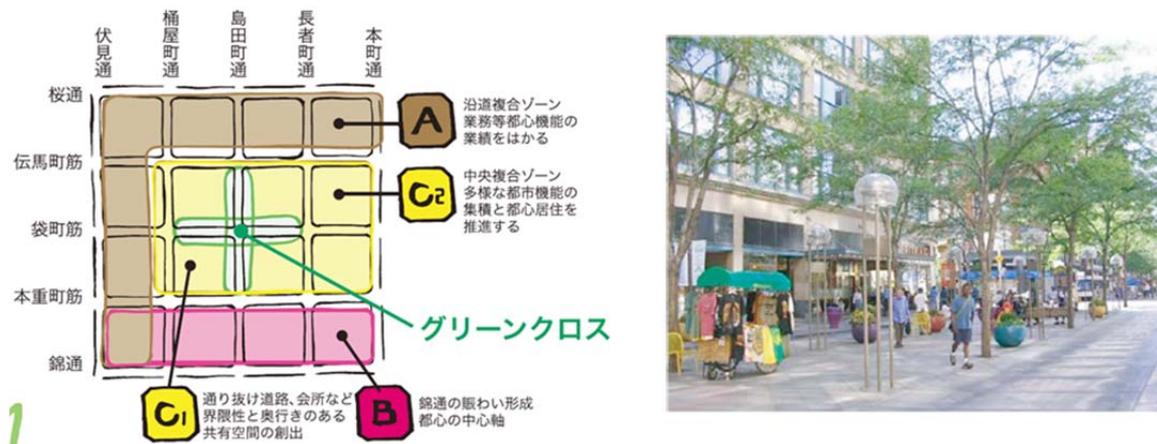


図-4 まちづくり構想における地区内道路の再整備方針

3. 名古屋市都心部におけるケーススタディ

(1) 対象地域の概要

構築したモデルを用いて、名古屋市の都心部にある錦二丁目地区（中区、図-3）を対象に、ケーススタディを実施した。錦二丁目地区は、約400m四方のスーパーブロックで構成された市街地であり、古くは繊維問屋街として栄えたが、近年はスモールビジネスが増加している。

名古屋市は現在、周辺地区（駅そば）への居住を推進しており、対象地区は業務商業のさらなる集積と快適な住環境の整備による居住人口増加が期待されている。また、対象地区は2011年に独自の「これからの錦二丁目まちづくり構想」⁹⁾を地区のまちづくり協議会が主体となって策定しており、地区の住環境向上をはじめとした取り組みとして地区内の道路の再整備を掲げている（図-4）が、現在の物流交通の状況では、ピーク時に路上駐車が多く発生しており、道路空間再編は困難な状況である。

上記を踏まえ、対象地区における現状と将来の予測、配送方式の空間構成の変化による影響について分析を行う。分析に用いるデータはH19中京都市圏物流調査を用いる。同調査のうち特に詳細な物流車両の動きを調査した「荷捌き実態調査」は対象地域に隣接する錦三丁目を対象としているため、対象地域に類似した物流活動の状況が把握できる。

(2) 現況の分析結果

現状の評価結果を表-2に、CO₂排出量及び所要時間の内訳を図-5、図-6に示す。地区内で発生する1日の物流起源CO₂排出量は約1.1t-CO₂であり、年間にすると400t-CO₂近くのCO₂排出量が発生していることになる。その内訳では、アイドリングによる排出量が全体の約7割を占めており、アイドリングストップを行うだけでも大きな効果がある。一方、所要時間の内訳では、作業時間に次いで縦持ち時間の割合が大きく、地区内の建物が平均4.5階程度であっても、エレベーター使用による所要時間が大きな割合を占めている。

図-7にピーク時の物流車両の専有面積を路面に落とし込んだものを示す。ピーク時の専有面積は約4,600m²であり、これは対象地区の中心道路2路線の両側2車線分に匹敵する。したがって今後、一般の交通量が減少しても、物流車両の対策を行わなければ、車道の削減や歩道の拡幅等は難しく、物流車両対策が必要となる。

(3) 床面積増加に伴う影響分析

地区内の事業所床面積を1.25倍～2.00倍に変化させた場合におけるCO₂排出量の変化を図-8に示す。床面積を1.5倍にした場合CO₂排出量は約1.9t-CO₂となり、現状の

表-2 現状の評価結果

指標	数値	単位
総所要時間	614.1	(時間/日)
総CO ₂ 排出量	1,118.2	(kg-CO ₂ /日)
ピーク時占有空間	4,569.9	(m ²)
件あたり時間	7.2	(分/件)
件あたりCO ₂ 排出量	217.1	(g-CO ₂ /個)
	*60.7	*アイドリング無



図-5 CO₂排出量 (kg-CO₂/日) の内訳

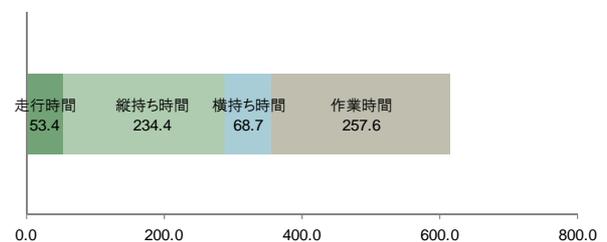


図-6 所要時間 (時間/日) の内訳

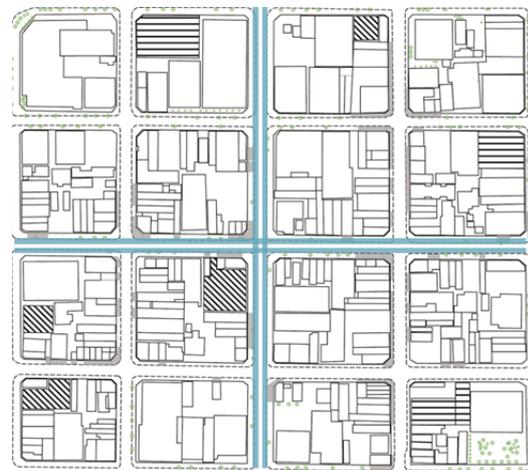


図-7 ピーク時占有面積の市街地への影響

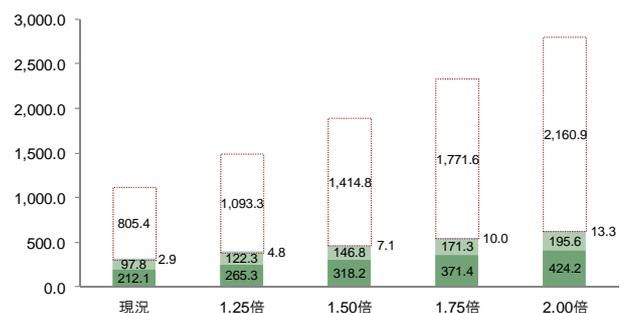


図-8 床面積増加に伴うCO₂排出量 (kg-CO₂/日) の変化

1.7倍近くに増加する。床面積を確保するための各建物高さの増加により、縦持ち時間増加に伴うアイドリング時間の増加、エレベータ使用の増加などが発生し、地区の需要が大きくなるほど、1件当たりの物流の効率性や低炭素性は低下する可能性が高い。

(4) 配送方式の変更による効果の分析

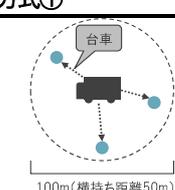
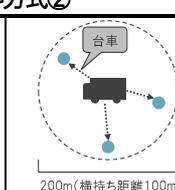
将来的に事業所床面積が増加した場合（1.5倍）を前提として、配送方式の変更による効果の分析を実施した。

分析を行う配送方式は表-3に示したとおり、近接した配送先においては、駐車回数を集約し横持ち移動による対応を図るバス停方式（100m, 200m）と地区内に物流のサテライトセンターを設置することで、すべての貨物

を台車や自転車で配送する協働輸配送の3つの配送方式を分析した。

図-9に各配送方式による総CO₂排出量、1件あたりCO₂排出量と所要時間、ピーク時占有面積を示す。総CO₂排出量では、バス停方式では横持ち移動増加により駐車時間が長くなることから、CO₂排出量は増加する。ただし、アイドリングストップを行った場合には、駐車回数や走行距離が減ることから、CO₂排出量を減少することが可能である。また、共同輸配送では自転車や台車による輸送が中心となるため、CO₂排出量は大幅に小さい。1件あたりの所要時間は、個別配送よりもバス停方式のほうが大きくなる傾向にあるが、横持ち移動で対応する距離が長いほうがかえって所要時間は小さく、更に共同輸配送

表-3 配送方式の設定

バス停方式①	バス停方式②	共同輸配送
100m以内に複数の配送先がある場合には、1か所に車両を駐車して台車等で輸送	200m以内に複数の配送先がある場合には、1か所に車両を駐車して台車等で輸送	地区内のサテライトセンターに荷物を集約し、すべての荷物を台車や自転車で配送
		
100m(横持ち距離50m)	200m(横持ち距離100m)	

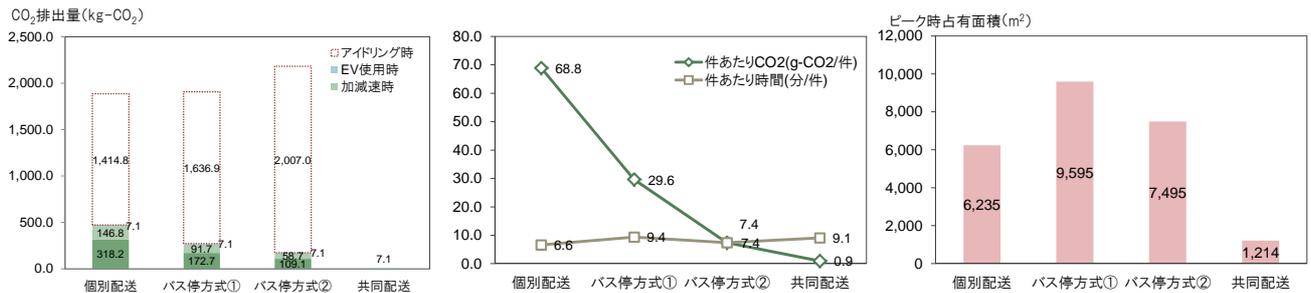


図-9 配送方式の変更による各指標の変化

表-4 空間構造変化の考え方

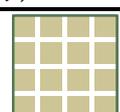
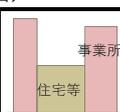
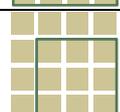
	用途集約 (ゾーニング)	建物集約 (敷地統廃合)
現状	現状は、対象地区内の16街区全体に事業所が分布 	現状は、敷地が細分化されており、事業所と住宅が混在 
構成案	地区内のゾーニングにより、事業所が特に多い9街区に事業所を集中 	建替え時に敷地や建物を集約化し、低中層階に商店や事業所を配置 

表-5 シナリオの設定

		用途集約	
		現状	改善案
建物集約	現状	現状シナリオ (平均階高6.6)	用途集約シナリオ (平均階高11.7)
	改善案	建物集約シナリオ (平均階高4.0)	用途・建物集約シナリオ (平均階高7.1)

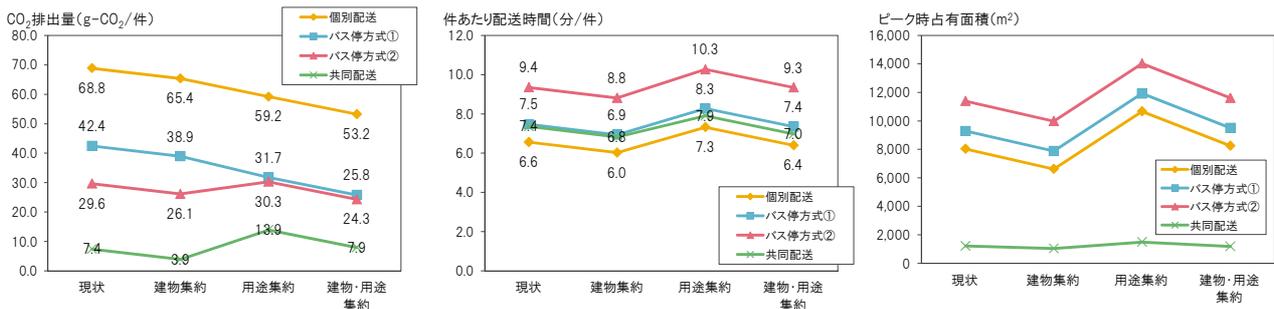


図-10 配送方式の変更による各指標の変化

のほうが小さくなる。ピーク時の占有面積も所要時間と同様に、バス停方式のほうが大きくなる。バス停方式の場合、1回の駐車時間が長くなるため、基本的には路外の駐車スペースを活用することが前提となるが、それでも相当のスペースが必要となり、その確保が課題となる。共同輸配送の場合には専有面積が小さくなるが、大規模のサテライトセンターが必要となることから、路外に大きなスペースの確保を行う必要がある。

(5) 空間構造変化に伴う効果の検証

空間構造変化による影響の検証では、まちづくり構想における考え方をもとに、表-4に示す(1)ゾーニングによる商業用途の集約と(2)敷地統廃合による建物の集約の組み合わせによるシナリオを設定した(表-5)。

図-10に各空間構造と配送方式の組み合わせ1件あたりCO₂排出量、所要時間、ピーク時占有面積を示す。配送方式が個別の場合、CO₂排出量は建物・用途ともに集約した場合が最も小さくなる。しかし、共同配送等を実施した場合においては、エレベーターの使用によるCO₂排出量の影響が大きくなることから、事業所の平均階高が最も小さくなる建物集約のみのシナリオで最も排出量が小さい。所要時間や占有面積については、いずれの配送方式においても建物集約のみのシナリオが最も効率性が高く、今後都心居住を進めていくうえでは、建物の集約化と用途混在を進めていくことで、事業所密度の高い地域においても物流交通を阻害することなく道路空間の有効活用が図れる可能性があることが示唆された。

6. おわりに

本研究においては、地区内における物流活動の低炭素性を、CO₂排出量、配送時間および空間占有率から評価するモデルを構築した。これを用いて、名古屋市都心部の業務商業地区における将来の業務床面積増加に伴うCO₂排出量の増加可能性と、配送方式や空間構成の工夫による効率性と環境性を満足できる施策の検討を実施した。その結果、1)地区における業務床面積が増加するに伴って、エレベーターの使用等が増加し、1件あたりの配送時間及びCO₂排出量が増加する可能性があること、2)都心部のような配送密度の高い地域ではリアカーや自転

車を用いた共同配送による配送時間短縮及びCO₂排出量削減効果が期待できること、3)建物の集約化と業務商業用途の下層階への配置が物流起源のCO₂排出量削減と物流効率化に期待ができることなどが明らかとなった。

今後、都心部において集約型都市構造への誘導が進めば、業務商業密度の増加により、地区内物流が大幅に非効率化し、環境負荷増大につながる可能性がある。共同輸配送など配送方式の工夫とともに、空間構造や配置への配慮も必要となる可能性がある。また、インターネット等のさらなる普及により、ネットショッピングやネットスーパーなど住宅市街地においても物流交通が大幅に増加する可能性もあり、今後は都心地区以外における地区内物流の影響評価を実施していく必要がある。

謝辞：本研究は、環境省環境研究総合推進費1E-1105「低炭素社会を実現する街区群の設計と社会実装プロセス」を受けて実施した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 高橋洋二, 兵頭哲朗, 小池龍太: 国立環境研究所: 業務地区における物流共同化方策が交通・環境へ及ぼす効果に関する研究: 丸の内地区を事例として, 都市計画論文集, Vol.38, No.3, pp.361-366, 2003.
- 2) 横田久司, 鹿島茂, 国領和夫, 田原茂樹: 走行動態記録に基づく自動車からの環境負荷量推計モデルの開発(トリップセグメントモデルの汎用化), 大気環境学会誌, Vol.40, No.2, pp.64-83, 2005.
- 3) 国土交通省: 建築物に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断の基準改正案, <http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/s9902/shoene.htm> (最終閲覧 2013.2.1)
- 4) Eric C. Bruun, Vukan R. Vuchic: Time-Area Concept: Development, Meaning, and Applications, Transportation Research Record, Vol.1499, pp.95-104, 1995.
- 5) 錦二丁目まちづくり連絡協議会/マスタープラン編集会議: これからの錦二丁目・まちづくり構想(2011-2030) 手引き編, 2011, <http://www.kin2machi.com/archive.html> (最終閲覧 2013.2.1)