

宅配便の配送方法の改善による配送車の走行距離の削減効果に関する研究

Effect of the Improvement in Delivery Method on Vehicle Mileage Reduction in Home Delivery Service System

川西勇輔*・鈴木勉**

Yusuke Kawanishi* and Tsutomu Suzuki**

Re-delivery is referred as the main cause of an increase in mileage of delivery vehicles. In this paper, we aim to clarify the effect of time zone delivery (TZD) and collection/delivery points (CDPs) which are attracting attention as a way to reduce re-delivery, by using simulation analysis. First, we find out that TZD basically increases the vehicle mileage. However, in areas with high delivery failure rates such as university town, when the reducing effect of the redelivery by TZD is large enough, it decreases the vehicle mileage. Second, we clarify that introduction of CDPs reduces the vehicle mileage when CDP is in the center of the delivery section, and the higher the utilization rate and the smaller the population density, the less vehicle mileage, but as the distance from the center and the number of CDPs increases, the reduction effect on vehicle mileage decreases.

Keywords: home delivery service system, vehicle mileage, re-delivery, time zone delivery, collection/delivery point
宅配便, 走行距離, 再配達, 時間帯指定配達, 集配拠点

1. はじめに

わが国の宅配便業界の成長は著しく、平成 27 年度には宅配便取扱個数が 37 億個を突破するとともに、近年ではインターネット通販が広く普及したことなども影響し、今後もその更なる成長が見込まれる¹⁾。しかし、宅配便取扱個数の増加に伴う配送車の走行距離の増加により、わが国の宅配便業界はCO₂排出量の増加やドライバーの労働負担の増加などの問題を抱えている。

配送車の走行距離の増加の主な原因として二つの配達サービスの実施が挙げられる。まず一つ目は時間帯指定配達の実施である。このサービスは顧客が指定した時間帯に宅配便を受け取ることでできるサービスであるが、同じ場所を一日に何度も通るように配送ルートが複雑化することで配送の遅延などの問題を発生させている。近年では大手宅配便業者による既存の時間帯指定枠の見直しなどの対策が取られてきた。しかし、この時間帯指定配達の実施がどれほど配送車の走行距離に影響を与えているかについてはあまり明らかにされていない。

二つ目は再配達の実施である。国土交通省の実施した調査によると宅配便配達の実訪問回数の約 19.1%が不在訪問であり、これに伴う再配達が発生が年間約 42 万トンの CO₂ 排出、約 9 万人分の労働力の発生につながっていることが試算により明らかになっている²⁾。近年、再配達を削減する方法としてコンビニや宅配ロッカーなど（以下、集配拠点とする）による受取りサービスの導入が注目されており、平成 29 年 4 月から国土交通省が宅配ロッカーの設置に補助金を出す制度を開始するなど、国による整備促進の動きがみられる。また、大手宅配便業者により、利用できる宅配便業者を限定しない「オープン型宅配ロッカー」の設置が進められており、現在では関東を中心に 200 台以上が設

置され、2022 年までに 5,000 台の設置が目標とされている。

宅配便の配送方法を対象とした研究として、家田ら³⁾は集配計画モデルの妥当性を評価し、宮武ら⁴⁾はチーム集配のための配送密度条件を示している。また、ラストワンマイル配送に関する研究としては、苦瀬ら⁵⁾と家田ら⁶⁾の研究があり、いずれも配送コストを最小化するモデル分析を行っている。しかし、集配拠点、時間帯指定配達に関しては言及されていない。一方、海外においては集配拠点を対象とした研究がある。Song ら⁷⁾はイギリスを対象に小売店や駅などを集配拠点として利用した際の CO₂ 削減効果を、Iwan ら⁸⁾はポーランドを対象に宅配ロッカーの設置が配送車の走行距離の削減に寄与することを示している。しかし、いずれも事例研究であり、集配拠点の有効性がどのような条件でもたらされるかについては不明である。

そこで本研究では、時間帯指定配達の実施や集配拠点の導入が配送車の走行距離に対してどのような影響を与えるかについて、仮想都市を対象としたシミュレーション分析を用いて明らかにすることを目的とする。まず、時間帯指定配達の実施による配送ルートの複雑化と不在率の低下効果の関係を明らかにし、配送車の走行距離への影響を分析する。次に、集配拠点の導入による配送車の走行距離への影響を明らかにする。そして、①集配拠点利用率、②人口密度、③集配拠点数、④集配拠点位置の差違が影響どのような違いをもたらすかを分析する。

2. シミュレーションの設定

本研究では、仮想都市を対象として、ArcGIS の Network Analyst の配車ルート解析 (VRP) を用いて、配送車が発生需要点間を巡回したときの走行距離が最短になるルートシミュレーションによって求める。仮想都市のネットワーク、宅配の需

*学生会員 筑波大学大学院システム情報工学研究科 (University of Tsukuba)

**正会員 筑波大学システム情報系 (University of Tsukuba)

要, 配送車, そしてシナリオについての設定を以下に示す.

2.1 仮想都市ネットワークの設定

正方領域内に図1のような格子状のネットワーク網, 営業所, 集配拠点が分布しているとす. 某宅配便業者(A社)の情報を参照し1営業所あたり9台の配送車が配送を行うとし, 車両ごとに配送区画を割り当てられる. 営業所は中央の配送区画の中心に立地し, 集配拠点は基本的に各配送区画の中心1箇所にのみ立地するものとし, 複数の場合には各配送区画内の様にランダムな位置に立地するものとする. 配送区画の人口はわが国の人口をA社の配送車の台数で除して2,416人, 配送区画の面積は山地面積⁹⁾を除いたわが国の国土面積をA社の配送車数で除して3.7km²とする. 道路密度はわが国の道路総延長¹⁰⁾(高速自動車国道を除く)を山地を除いた国土面積で除して, 8.3km/km²とし, ネットワークを構成する最小の1辺は240mとする. これらの設定数値を表1に示す.

2.2 需要の設定

領域内の人口密度に比例して一定の確率で宅配便需要が発生するものとする. 我が国の人口を配送区画の面積で除した653人/km²を標準とする. 宅配便需要は全ての住民につい

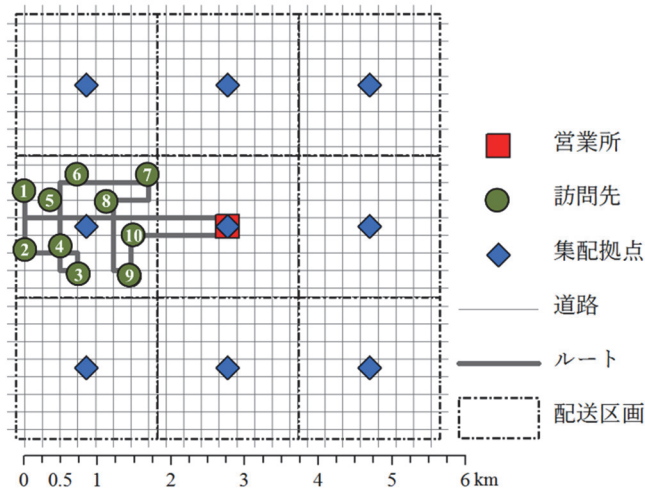


図1 正方格子状ネットワーク

表1 営業所・配送区画あたりの面積・人口密度・道路密度の設定

	営業所あたり	配送区画あたり
人口 (人)	21,744	2,416
面積 (km ²)	33.2	3.7
人口密度 (人/km ²)		653
道路密度 (km/km ²)		8.3

表2 配送区画あたりの需要点属性内訳

属性	一戸建	アパート	マンション
棟数(棟)	528	32	16
棟内世帯数(世帯)	1	4	18
世帯人員(人)	3	2	2

てランダムに発生するものとし, 発生確率はA社の1日の宅配便取扱個数をわが国の人口で除したのから0.037 個人・日と設定する. なお, A社の1日の宅配便取扱個数はA社の年間の宅配便取扱個数から1日あたりの平均を算出したものであり, 平日と休日の区別はつかないものとしている. 需要地点は配送区画をまたがるリンク(図1の配送区画と交差するリンク)を除く全てのネットワーク上に一様に分布するものとし, それぞれの地点にランダムに表2の3種類の建物属性を付与する¹¹⁾. アパート・マンションには複数の世帯が同位置に存在するものとする. 1つの需要に対して取り扱われる荷物は1つであるとし, 集荷需要は考慮しないものとする.

荷物1つあたりの配達の流れを図2に示す. それぞれの住人に対して受取り希望時刻が8時から21時までの間に一様にランダムに決定されているものとする. 全荷物を100とすると, そのうち r_T ($0 \leq r_T \leq 100$) (時間帯指定率) は初回配達において時間帯指定がある荷物(以降, 時間帯指定荷物)であり, 6つの時間帯指定枠(8~12時, 12~20時まで2時間区切り, 20~21時)のうち受取り希望時刻が該当する時間帯に配達が行われ, 残りの $100 - r_T$ は初回配達において時間帯指定がない荷物(以降, 無指定荷物)であり, 配達の中で都合の良い時間帯に配達が行われるとする. また, 時間帯指定荷物の不在率を F_T , 無指定荷物の不在率を F_0 とする(図3). また, 無指定荷物よりも時間帯指定荷物の方が不

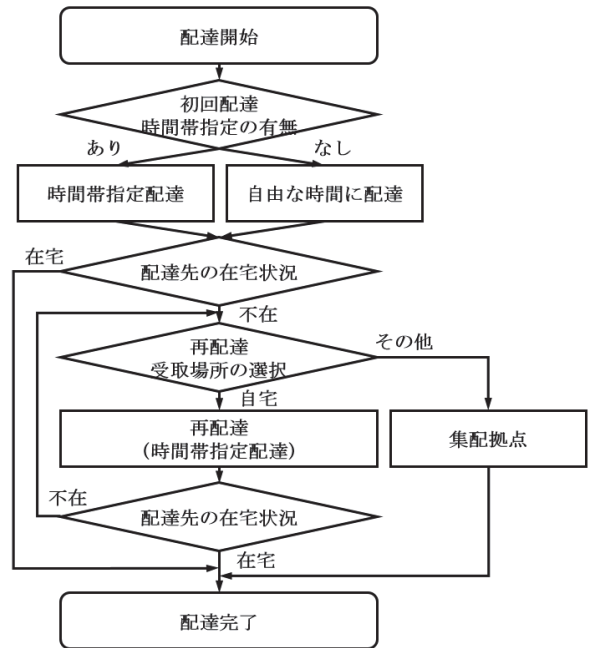


図2 荷物一つあたりの配達の流れ

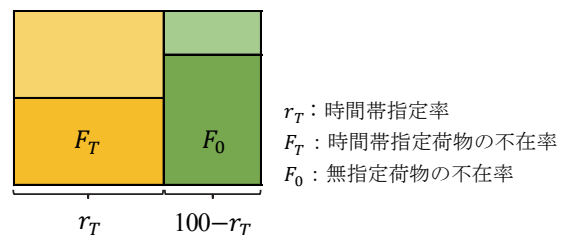


図3 初回配達における時間帯指定率・不在率

在になる確率が小さいという考え方が一般的であるということから $F_T \leq F_0$ であると仮定する。

不在が発生した場合は基本的にすべて時間帯指定に従い再配達が行われ、翌日の 21 時までの時間帯指定枠から一様にランダムに配達時間帯が決定される。なお、2 回目の再配達時には配達完了するものとする。集配拠点が導入された場合、再配達の荷物が一定の割合で集配拠点へと配送され、そこでの受取りが可能になることを想定する。また、受取り主は自分の住居の該当する配送区画内の最寄りの集配拠点を利用するものとする。

2.3 配送車の設定

図1に、10 箇所の需要点を訪問した例を示す。配送車は 20km/h で移動し、需要点ごとに 4 分の固定時間を要するものとする¹²⁾。車両の台数は 2.1 節で述べた通り 9 台とし、各車両の搭載容量は十分に大きいものとする。

配送車の 1 日のスケジュールを図4に示す。9 時に営業所を出発、配達完了後 21 時までに営業所へ戻るものとし、休憩・荷物の積み下ろしのため、1 日 2 回(11:30~12:30, 17:45~18:15)に営業所へ立寄りとする。また、集配拠点への立寄りも営業所立寄りの直前に行われるものとする。なお、初回配達前の集配拠点での受取りは考慮しない。

2.4 ベースシナリオの設定

以下では、表3に示すようなパラメータの差違に着目しながら

8:00	営業所発	
9:00		
10:00	配送	
11:00	(9:00~12:00)	集配拠点立寄り
12:00		
13:00	(12:00~14:00)	営業所立寄り・1時間 (11:30~12:30に開始)
14:00		
15:00	(14:00~16:00)	
16:00		
17:00	(16:00~18:00)	集配拠点立寄り
18:00		
19:00	(18:00~20:00)	営業所立寄り・30分 (17:30~18:30に開始)
20:00		
21:00	(20:00~21:00)	
	営業所着	

図4 配送車の 1 日の基本的な配達スケジュール

表3 パラメータの設定(太字下線はベース値)

	パラメータ	値
A	①不在率(%) (F_T, F_0)	(0, 0) (20, 20) (0, 20) (50, 50) (0, 50)
	②時間帯指定率(%)	0, 20, 40, 60 , 80, 100
B	①拠点利用率(%)	0, 25, 50 , 75, 100
	②人口密度(人/km ²)	163, 327, 653 , 1306, 2612
	③集配拠点数(箇所)	1 , 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
	④集配拠点の位置	各区画内のランダムな 100 点

ら配送車の走行距離への影響を分析する。下線で示す標準値は日本の平均的な値に近いものであり、これをベース値とし、全てベース値をとるシナリオをベースシナリオとして設定する。1 日分のデータだと結果が安定しないため、ある程度の試行回数を確認する必要があるが計算時間の都合も考慮し、9 日間分の計測を行い、2 日分の再配達が含まれる 3~9 日目の 7 日間分のデータを出力し評価を行う。

3. 時間帯指定配達による配送車の走行距離の変化

時間帯指定配達の実施により、同じ場所を一日に何度も通るように配送ルートが複雑化し、配送車の走行距離が増加するということが問題視されている。しかし一方で、時間帯指定配達の導入で不在率が低下することで、再配達削減効果が見込まれるため、一概に時間帯指定が配送車の走行距離を増加させているとは言えない。

そこで本章では、時間帯指定配達による配送車の走行距離の増加と再配達削減効果による走行距離の減少の関係を明らかにする。パラメータは表3のAに示す。時間帯指定による不在率の減少効果がない場合($F_0 = F_T$)と、時間帯指定による不在率の減少効果がある場合($F_T = 0$)の2つの場合を考える。なお、本章では集配拠点の利用はまだ考慮しない。

3.1 時間帯指定による不在率の減少効果がない場合

時間帯指定率の差違による配送車の走行距離の変化を図5に表す。以降、図中の□で囲われているものはベースシナリオのベース値である。

まず、時間帯指定による不在率の減少効果がない場合について述べる(図5, ●)。 $F_T = 20$ の場合、 $r_T = 0$ のときに対して $r_T = 60$ のときの配送車の走行距離が約 26%長く、時間帯指定配達の実施が配送車の走行距離の増加に大きく寄与していることが分かる。また、その増加傾向は逡減的

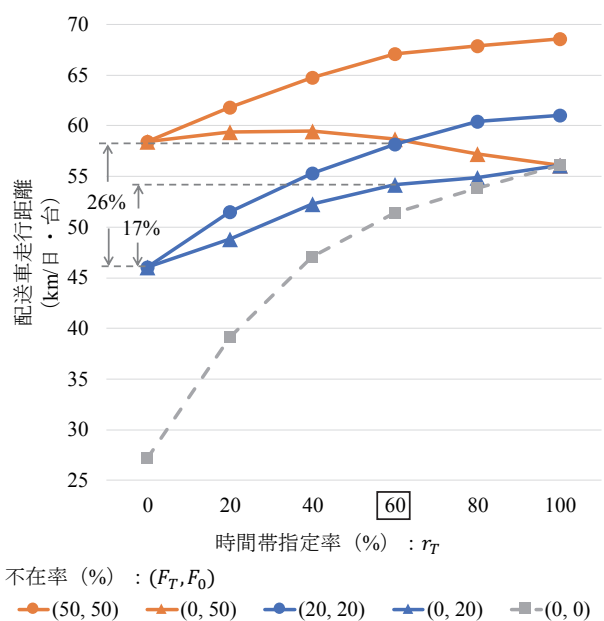


図5 時間帯指定率の差違が配送車走行距離に与える影響

であり、 $F_T = 50$ の場合においても同様の傾向がみられることが分かる。図6は中央区画のある1日における出力例であるが、これより時間帯指定率の増加によって同じリンクを何度も通過し、配送ルートが複雑化していることを目視で確認することができる。

3.2 時間帯指定による不在率の減少効果がある場合

次に時間帯指定による不在率の減少効果がある場合について述べる(図5, ▲)。 $F_T = 20$ かつ時間帯指定による不在率の減少効果がない場合、 $r_T = 0$ のときに対して $r_T = 60$ のときの配送車走行距離は26%増加したが、不在率の減少効果がある場合には増加を約17%にまで抑える。依然として配送車の走行距離は増加の傾向がみられるため $F_T = 20$ といった低い値では、時間帯指定配送の導入は望ましくないといえる。しかし、 $F_T = 50$ と大きいときは、 r_T が大きいほど配送車の走行距離が短くなること分かる。これは、図7の時間帯指定率・不在率の差異による1日の配達件数の変化を示す図にあるように、不在率の減少効果がある場合、 $F_T = 50$ のときは $F_T = 20$ のときよりも再配達削減による配達回数削減の減少効果が大きくなることの原因である。従って、不在率が20%といった日本の現状に近い状況では、時間帯指定による再配達削減効果よりも配送ルートが複雑化の影響のほうが大きいため、時間帯指定配送の導入は望ましくないといえるが、不在率が50%といった、学生街のように不在率が高い地域においては時間帯指定による不在率の削減効果があるときは、時間帯指定配送の導入は有効であるといえる。

4. 集配拠点の導入による配送車の走行距離の変化

宅配ボックスやコンビニ受取りなど集配拠点での受取りサービスの導入により、配送車の走行距離の削減を期待する取組がなされているが、その効果がどれほどであるかは

明らかでない。本章では、集配拠点を導入した際の配送車の走行距離の変化を明らかにする。変化させるパラメータは表3のBの通りである。

4.1 ベースシナリオの結果

不在率0%のとき(すべての荷物が初回配達で完配)、不在率20%で拠点利用率0%のとき(すべての不在配達荷物が再配達)、ベースシナリオである不在率20%で拠点利用率50%のとき(不在配達荷物の50%が集配拠点へ配達、残りの50%が再配達)の配送車の走行距離を表4に示す。モデルの当てはまりの良さを確かめるため、拠点利用率が0%のときの不在率が0%と20%の配送車の走行距離の差から配送車1台が1日に再配達に費やす走行距離を算出したところ、約5kmとなった。これを業界全体・年あたりに換算すると約2.6億kmとなるが、国土交通省が行った試算では約5.2億kmと本稿の結果を大きく上回る²⁾。こ

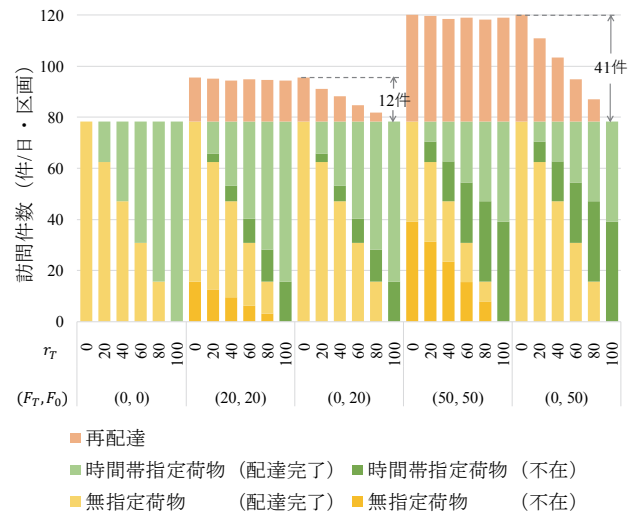


図7 時間帯指定率・不在率の差異による配達件数の変化

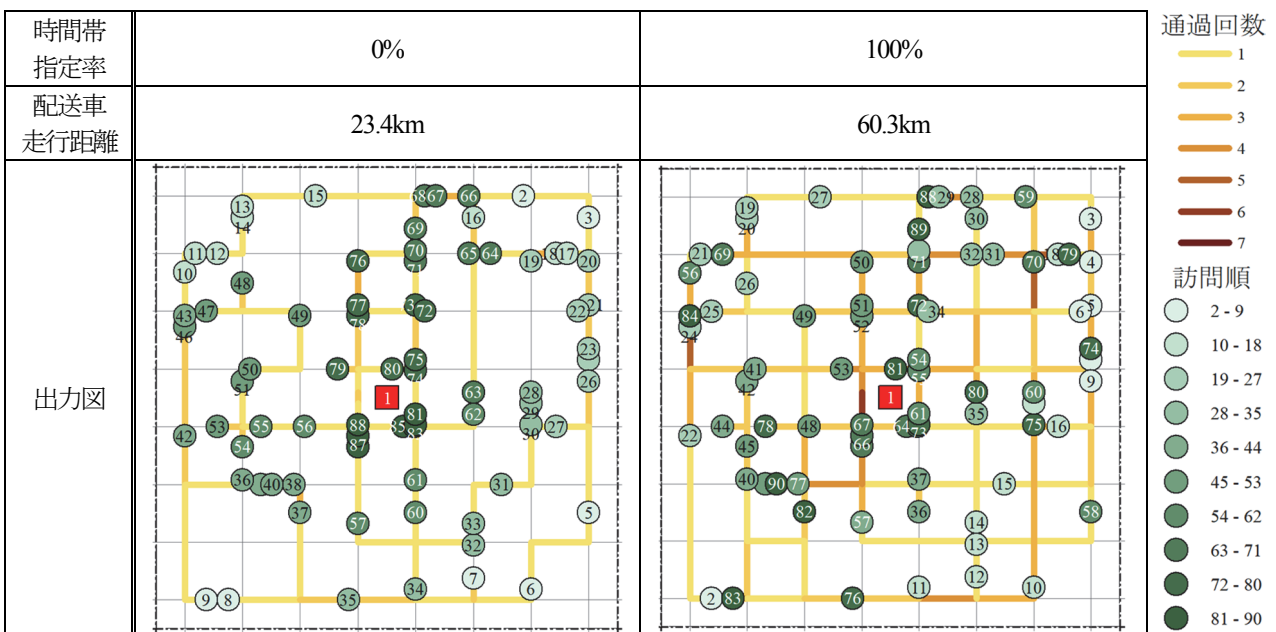


図6 時間帯指定率の差による影響(中央区画, 不在率0%, 3日目の出力例)

の原因は、本稿では営業所数の多い宅配便業者を想定したことにあると考えられる。従って、本モデルでは平均よりもより配送効率の良い配送形態を説明していると考えられる。また、拠点利用率が50%のときの配送車の走行距離は0%のときに対して約4.6%削減され、ベースシナリオにおいては、集配拠点の導入が配送車の走行距離の削減につながっていることが分かる。

4.2 拠点利用率の差による影響

次に、拠点利用率の違いによる配送車の走行距離の差を図8に示す。集配拠点が最大限に利用された場合、配送車の走行距離は約11.3%削減されることが分かる。また、利用率が上昇すると削減率は通増的に増加することが分かる。これは、3章において時間帯指定率が大きいほど配送車の走行距離は大きくなるが、その増加は通減的であったが、このことが原因であると考えられる。したがって、集配拠点の利用が普及すればするほど、配送車の走行距離の大幅な削減効果があるといえる。

4.3 人口密度の差による影響

さらに、人口密度の違いによる配送車の走行距離の変化を図9に示す。人口密度が低い地域の方が再配達時に対する配送車の走行距離の削減率が高く、最大で約7.6%の削減が見られる。これは、図10にあるように、人口密度が低い地域の方が宅配便1つあたりに費やされる配送車の走行距離が長くなることが原因であると考えられる。したがって、人口密度が低い地域ほど集配拠点の導入効果が大きいといえる。

4.4 集配拠点数の差による影響

これまでの分析では集配拠点は各配送区画の中心に位置するものとしていた。ここでは、各配送区画内のランダムな位置に複数立地するものとし、計45パターンの配置に

表4 ベースシナリオ時と現状の配送車走行距離

不在率(%)	0	20	20
拠点利用率(%)	0	0	50
配送車走行距離 (km/日・台)	52.2	58.1	55.5

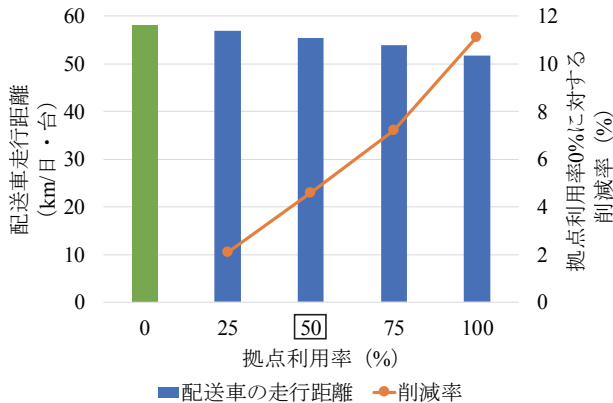


図8 拠点利用率の差による走行距離への影響(人口密度653人/km², 集配拠点は中央に1つ)

ついて、集配拠点数の差による配送車の走行距離の違いを平均で示したものを図11に示す。配送区画内の集配拠点数が増加するほど、受取り主の最寄りの集配拠点へ配達を行う配送車は訪問箇所が多くなり、走行距離が長くなる事が分かる。また、集配拠点数が10のときには削減率はマイナスに転じ、利用率0%のときに対して約0.2%の増加がある。したがって、集配拠点の導入は、ある一定数までは配送車の走行距離の削減効果があるものの、過剰になると配送車の走行距離を増加させてしまうことが分かる。

4.5 集配拠点位置の差による影響

前節と同様に配送区画内のランダムな位置に集配拠点が1つ立地するものとする。中央の配送区画を対象とし、100箇所ランダムな位置に集配拠点が立地する場合の分析を行う。集配拠点の位置の差による配送車の走行距離の変化を図12に表す。まず、配送車走行距離の平均は約53.6kmであった。集配拠点が配送区画の中央に立地する場合の中央区画の配送車の走行距離は約52.3kmであったため、約2.5%の増加がみられる。また、集配拠点の位置が中心から離れる程配送車の走行距離が増加する。中心からの距離が約1kmを境に集配拠点利用率0%時よりも配送車の走行距離が増加することが分かる。すなわち、集配拠点の導入は、配送区画のより中心に近い位置に立地する場合に、配送車の走行距離の削減効果が最大となり、配送区画の中心から約1km以内に立地することが望ましいといえる。

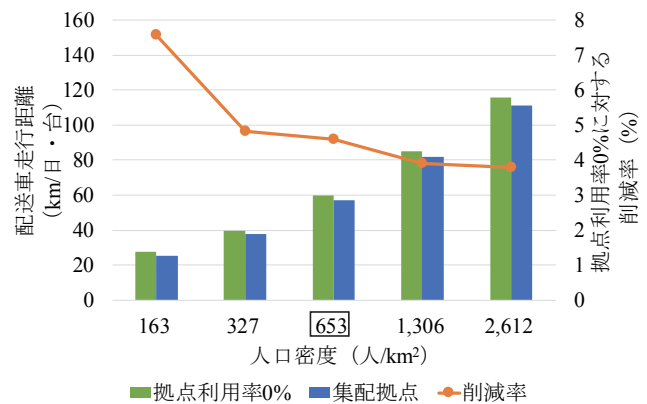


図9 区画内人口密度の差による走行距離への影響(拠点利用率50%, 集配拠点は中央に1つ)

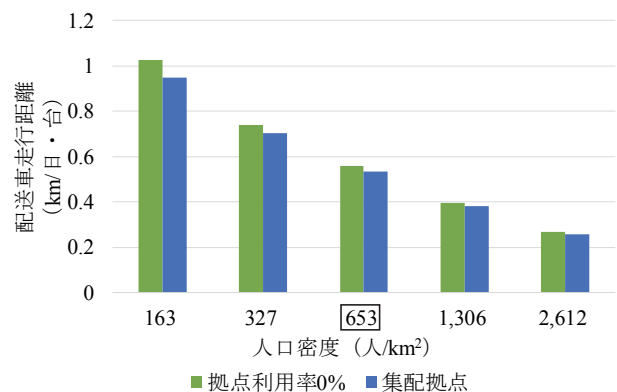


図10 区画内人口密度の差による訪問1回あたりの走行距離への影響(拠点利用率50%, 集配拠点は中央に1つ)

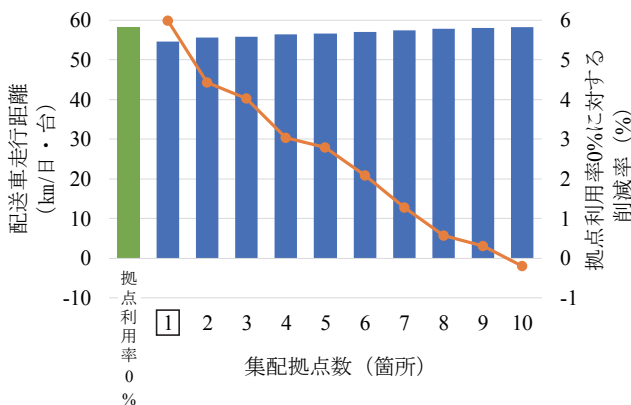


図11 集配拠点数の差による影響(集配拠点利用率50%, 人口密度 653 人/km², 集配拠点位置ランダム)

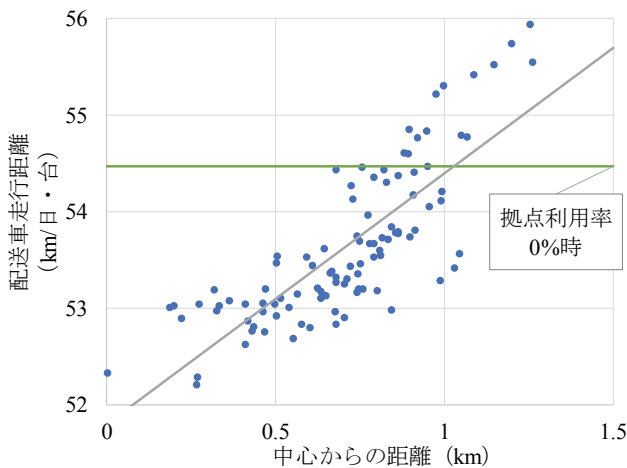


図12 集配拠点の位置の差による影響(集配拠点利用率50%, 人口密度 653 人/km², 集配拠点数1)

5. おわりに

時間帯指定配達や集配拠点の導入が配送車の走行距離にどのような影響を与えるのか、また拠点利用率、集配拠点数、集配拠点の位置、配送区画の人口密度の差による影響はどのようなものか調査するために ArcGIS の VRP を用いたシミュレーション分析を行った。

- ① 時間帯指定配達の実施はわが国の現状に近い水準の不在率のとき、配送車の走行距離を増加させるが、時間帯指定のない荷物については不在率がより高く、かつ時間帯指定のある荷物は不在が発生しないと仮定したとき、時間帯指定配達の実施により配送車の走行距離は減少に転じることから、学生街のような不在率の高い地域において時間帯指定配達は大きな効果を発揮するといえる。
- ② 集配拠点での受取りの実施は、配送区画の中央に集配拠点が立地しているとき、配送車の走行距離を削減させ、その実施効果は拠点利用率が高いほど逡増的に増加する。また、配送区画の人口密度が低いほど訪問1回に費やされる配送車の走行距離が長いいため、実施効

果が大きくなる。

- ③ 配送区画内の集配拠点数が増加するほど、また、集配拠点の位置が配送区画の中心から離れる程、配送車の走行距離は長い。また、集配拠点数が10箇所以上、配送区画の中心からの距離が約1km以上離れると拠点利用率0%のときよりも配送車の走行距離が長くなる。したがって、集配拠点の導入は、人口密度の低い地域において、配送区画のより中心に近い場所に少数を導入することが望ましい。

本研究では、仮想空間のみの分析を行ったが、実際の都市のネットワークと人口構成などを用いて行った場合の検証が今後必要である。

謝辞

本研究は、平成28年度大林財団研究助成による研究成果の一部である。ここに謝意を表す。匿名の査読者には貴重な助言を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省 (2015): 平成27年度宅配便取扱実績について、<http://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha04_hh_000106.html> 2017年6月6日アクセス。
- 2) 国土交通省 (2015): 宅配の再配達発生による社会的損失の試算、<<http://www.mlit.go.jp/common/001102289.pdf>> 2017年6月6日アクセス。
- 3) 家田仁・佐野可寸志・常山修治 (1992): 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」評価への適応、土木計画学研究・論文集, **10**, 247-254。
- 4) 宮武宏輔・根本敏則・林克彦 (2016): 宅配便ネットワークにおける「チーム集配」導入のための配送密度条件、交通学研究, **59**, 205-212。
- 5) 苦瀬博仁・久保幹雄・二階堂亮・管智彦 (1996): 配送コストと施設コストにもとづく物流施設の最適数と最適位置のモデル分析、日本物流学会誌, **1996**(5), 12-20。
- 6) 家田仁・佐野可寸志・小林伸司 (1993): 積合せトラック物流における都市内集配活動のモデル化とその推定、土木計画学研究・論文集, **11**, 215-222。
- 7) Song, L., Guan, W., Cherrett, T., Li, B. (2013): Quantifying the greenhouse gas emissions of local collection-and-delivery points for last-mile deliveries, *Transportation Research Record*, **2340**, 66-73。
- 8) Iwan, S., Kijewska, K., Lemke, J. (2015): Analysis of parcel lockers' efficiency as the last mile delivery solution - the results of the research in Poland, *Transportation Research Procedia*, **12**, 644-655。
- 9) 農林水産省 (2000): 2000年世界農林業センサス。
- 10) 国土交通省 (2014): 道路統計年報2014。
- 11) 国土交通省 (2013): 平成25年住宅・土地統計調査。
- 12) 林克彦・根本敏則 (2015): 『ネット通販時代の宅配便』、成山堂書店。

(2017年8月8日 受付)