

ラストマイル配送のコストと価値

Cost and Value of Last Mile Delivery

秋川卓也 (正会員：日本大学)
Takuya AKIKAWA (Univ. of Nihon)

要旨

配送拠点から最終利用者までの配送サービスを担うラストマイル配送において、深刻なドライバー不足が問題となった。当問題は今後も深刻化すると予想される。以上の問題意識を踏まえ、本研究は3つの研究課題を提示する。第一に、ドライバーの異なる待遇を考慮した、ラストマイル配送のコスト変動モデルを示す。第二に、コスト回収可能性を地域間で比較する。第三に、利用者が有するラストマイル配送の価値構造を明らかにする。

Abstract

Last mile delivery, which is a delivery service to consumers, has a problem of driver shortage. This problem will be further exacerbated. This study addresses three research issues related to its problem. First, cost behavior models are derived in the light of multiple treatments of drivers. Second, a possibility of cost recovery is compared between regions. Third, a value structure of last mile delivery is presented on the base of a user survey.

1. はじめに一研究の背景と目的

配送拠点から最終利用者までの配送サービスを担うラストマイル配送において、深刻なドライバー不足が問題となった。「宅配危機」と呼ばれたこの問題は、新型コロナウイルス感染拡大による貨物減少でドライバー求人倍率が低下したことで一服したが、その後の景気回復とさらなる宅配需要の増加によって再び顕在化した。この問題は「2024年問題」によって深刻化が進むであろう。働き方改革関連法の猶予期間が終了することに伴い、自動車運転の業務にも時間外労働の上限規制(年960時間)が2024年度から適用される。無策のままであれば、輸送力は大きく減少することが予想される。

表1 事業用貨物車両の事故件数(第1当事者)

車種	過去3年平均	2021年度	増減率
大型車	4,710	4,103	▼12.9%
中型車	3,372	2,586	▼23.3%
準中型車	2,732	2,170	▼20.6%
普通車	689	556	▼19.3%
軽自動車	3,999	4,616	△15.4%

データ出所：交通事故総合分析センター「交通事故統計表データ」

しかしながら、この問題は労働力さえ確保できれば良いというわけではない。ラストマイル配送で最近利用が活発化している事業用軽貨物車の事故が2021年度に約15%増加してい

る(表1)。この事実は、労働力確保だけの問題ではなく、労働条件も問われることを意味する。

また、配送コストの地域格差の問題もある。時間当たり配送件数を決めるのは、一定面積内に存在する配送先数、すなわち「配送密度」である。配送密度には、人口密度に応じた地域差が生じる。しかし、密度格差を反映して、地域別の料金が設定されることはない。今後、人口減が進展し、密度格差が広がる可能性もある。

現在、配送の生産性を改善する努力が進んでいるが、宅配サービスが労働集約的である以上、人件費は継続的に発生する。最終的には利用者にサービス価値を認めてもらい、ドライバー職の収入や労働時間を改善させる必要がある。

以上の問題意識から、本研究は3つの研究課題に取り組む。第一に、ドライバーの異なる待遇を考慮した、配送密度に応じたコスト変動を説明するラストマイル配送のコスト変動モデルを示す。第二に、コスト回収可能性を地域間で比較する。第三に、利用者が有するラストマイル配送に対する価値構造を明らかにする。

2. ドライバーケースごとのコスト変動

ドライバーの待遇を段階的に改善するにあたり、各段階を実現するために必要なコストの変動を明らかにする。コストの回収ができる料

表2 各ドライバーケースで想定する賃金、労働時間、配送時間

ドライバーケース	月賃金 (千円)	月当たり 労働時間	1日当たり 労働時間	労働時間当た り賃金(円)	1日当たり 配送時間
過労死リスクのドライバー	372	251	9.8	1,479	7.5
業界平均待遇のドライバー	372	202	8.7	1,841	6.5
理想的待遇のドライバー	436	178	8.3	2,448	6.0

金の設定が待遇改善には必要であるが、コスト変動モデルがそのための基準を提供するであろう。前述のとおり、ラストマイル配送のコスト変動は配送密度に大きく依存する。よって、配送密度の関数として表現すべきである。

2.1 ドライバーケースの定義

賃金待遇や労働時間の異なる、3つのドライバーケースを定義する。まず、2024年に適用される時間外労働の規制上限(年960時間)まで業務に従事するドライバーである。月平均に換算した80時間の時間外労働は過労死ラインである⁽¹⁾ので、「① 過労死リスクのあるドライバー」と名付ける。休日は週1回として、1日当たりの労働時間を計算する。規制を遵守しているが、時間外労働が過労死ラインに達しており、労働時間削減が必要なケースである。

次に、トラック業界正社員の平均的な賃金水準と労働時間で従事するドライバーである。これを「② 業界平均待遇のドライバー」とする。宅配業務に限定しない、業界内の平均像である。

上記の①と②で用いる賃金額は、令和3年度厚生労働省「賃金構造基本統計調査」⁽²⁾が示す、道路貨物運送業の「きまって支給する現金給与額」に「年間賞与その他特別給与額」を加算した月平均額を用いる。さらに、②の1日当たりの労働時間は、国土交通省の調査結果⁽³⁾が示す、短・中距離運行における拘束時間から休憩時間を引いた数値を用いる。

最後に、全産業正社員の平均的な賃金水準と労働時間で業務に従事するドライバーである。これを「③ 理想的待遇のドライバー」とする。賃金額と1日当たりの労働時間は、前述の「賃金構造基本統計調査」⁽²⁾の「産業計」の数値に基づく。賃金額は「きまって支給する現金給与

額」に「年間賞与その他特別給与額」を加算した月平均額、1日当たりの労働時間は「所定内実労働時間数」と「超過実労働時間数」を加算して、1日当たりに平均化した数値を用いる。

ドライバーケースごとに算出された、「労働時間当たり賃金」は表2のとおりである。

次に、各ドライバーケースにおける1日当たりの配送への従事時間(以下、「配送時間」と呼ぶ)を求める。それには、配送時間以外の従事時間が必要となる。その数値は宅配ドライバーに対するアンケート調査で獲得した。

2021年10月に、ウェブ調査会社のモニターのなかで宅配トラックのドライバーとして3か月以上かつ週3日以上従事している方に、ウェブアンケートを実施した。回収数は400であったが、適正な実績のあるサンプルを活用するため、配送個数が20個/日以上、配送時間は3時間/日以上、移動距離が15km/日以上、時間当たり配送個数が40個/時以下であった146ケースを採用した。異常値がある場合は適宜、排除して用いている。以降、このアンケート調査名を「宅配ドライバー調査」と呼ぶ。

宅配ドライバー調査から、配送以外に要される、1日当たりの時間(以下、「配送外時間」と呼ぶ)の平均は以下ようになった。

- ・車庫と拠点間の往復移動…………… 0.319 時間
- ・拠点と配送エリア間の往復移動 0.384 時間
- ・情報交換や点呼…………… 0.257 時間
- ・荷物の積卸し・整理…………… 0.657 時間
- ・記録・伝票整理・事務処理…………… 0.425 時間
- ・車の点検や燃料補給…………… 0.173 時間
- ・その他…………… 0.043 時間

以上の合計時間である2.257時間を配送外時間とする。この値を各ドライバーケースの

表 3 生産性関数の変数

従属変数	
y :	配送時間当たりの配送個数。① 1 運行当たりの配送完了個数と② 1 運行当たりの配送時間を用いて算出。①を②で除した数値。
独立変数	
x_1 :	配送個数当たりの移動距離。① 1 運行当たりの配送業務にかかる走行距離 (すべての届け先と再配達先を回るまで)、② 再配達率、③ 1 運行当たりの配送完了個数を用いて算出。②に 1 を足した数値で①を除した後、③から 1 を引いた数値 (配送間隔数) で除した数値。回帰係数は負と予測。
x_2 :	再配達率。再配達率の割合。回帰係数は負と予測。
x_3 :	時間指定率。配達時間指定の割合。時間指定により配送順が狂うため、回帰係数は負と予測。
x_4 :	置き配率。置き配の割合。回帰係数は正と予測。
x_5 :	要受領印率。サインや受領印を要する割合。回帰係数は負と予測。
x_6 :	従事年数。ドライバーの宅配業務の従事年数。回帰係数は正と予測。
x_7 :	大手勤務先ダミー。ドライバーが大手宅配会社に勤務しているか否か。1 が「勤務している」、0 が「勤務していない」のダミー変数。大手宅配会社の方が教育制度、情報化、バックアップ体制などが優れている可能性が高いことから、回帰係数は正と予測。

注：データはすべて「宅配ドライバー調査」から得た。

表 4 回帰分析の結果

(n=146)								
	y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
平均値	15.941	0.751	16.295	30.322	9.123	53.404	13.075	0.788
標準偏差	7.690	0.627	13.133	20.307	14.818	34.228	8.506	0.410
(n=146)								
	回帰係数	標準誤差	標準化係数	t 値	許容度	VIF		
x_1 : 個数当たり距離	-5.675	0.856	-0.463	-6.626***	0.921	1.086		
x_2 : 再配達率	-0.137	0.041	-0.235	-3.345***	0.912	1.097		
x_3 : 時間指定率	0.052	0.027	0.138	1.959*	0.899	1.113		
x_4 : 置き配率	0.017	0.039	0.032	0.429	0.811	1.232		
x_5 : 要受領印率	-0.029	0.017	-0.130	-1.758*	0.824	1.214		
x_6 : 従事年数	0.232	0.065	0.256	3.592***	0.880	1.136		
x_7 : 大手勤務先ダミー	2.957	1.382	0.158	2.139**	0.825	1.212		
定数項	16.900	2.012		8.400***				
調整済み決定係数	$R^2 = 0.349$							
F 値	12.105***							
Durbin-Watson	2.256							

*** $p < .01$, ** $p < .05$, * $p < .1$

労働時間から引くと配送時間が出る。宅配ドライバー調査のデータで配送個数と配送外時間の相関がほとんどなかった ($r = 0.064$) ため、配送外時間は固定とした。各ドライバーケースの「1日当たり配送時間」を表 2 に示した。

2.2 生産性関数の導出

コスト変動モデルの基礎となる生産性関数を導出する。生産性を「配送時間当たりの配送個数 (y)」(以下「時間当たり個数」と呼ぶ)と定義する。一定時間で多くの配送先を回り、より多くの個数を届け得る能力を問う。こ

での配送の前提として、ワンマン運行で再配達は当日にうちに行われるものとする。

関連文献⁽⁴⁾を参考にし、生産性を決める要因を配送個数当たりの移動距離 (x_1)、再配達率 (x_2)、時間指定率 (x_3)、置き配率 (x_4)、要受領印率 (x_5)、従事年数 (x_6)、大手勤務先ダミー (x_7) とした (表 3)。宅配ドライバー調査で得たデータに基づく重回帰分析の結果 (表 4)、(1) 式の実験的関数を得た。

$$y = -5.675x_1 - 0.137x_2 + 0.052x_3 + 0.017x_4 - 0.029x_5 + 0.232x_6 + 2.957x_7 + 16.900 \dots (1)$$

研究課題に直接関係がないが、各変数（有意性がないものを除く）の生産性（時間当たり個数： y ）に対する感度分析の結果も示す。

- ・ 配送個数当たりの移動距離 (x_1): 176m/個減で 1 個/h 向上
- ・ 再配達率 (x_2): 7.3%減で 1 個/h 向上
- ・ 時間指定率 (x_3): 19.1%増で 1 個/h 向上
- ・ 要受領印率 (x_5): 34.3%減で 1 個/h 向上
- ・ 従事年数 (x_6): 4.3 年増で 1 個/h 向上
- ・ 大手勤務先ダミー (x_7): 勤務先が大手の場合、約 3 個/h 向上

2.3 コスト変動モデルの導出

次に生産性関数を基礎にコスト変動モデルを導出する。前述のとおり、配送密度が採算性においては重要である。よって、配送密度を変数とした関数とする。また、ここでのコストは人件費と燃料費の和である、運行に関連する直接費を意味するものとする。他にもタイヤ費も直接費と考えられるが、配送個数当たりにすると金額は微小なので考慮しないものとした。 w_m をドライバーケース m の 1 日当たり賃金、 h_m をドライバーケース m の 1 日に充てられる配送時間、 g を距離 (km) 当たり燃料費とすると、ドライバーケース m の配送個数当たりのコスト c_m は (2) 式になる。

$$c_m = \frac{w_m}{h_m \cdot y} + g \cdot x_1 \dots\dots (2)$$

生産性関数 y は移動距離 (x_1) の関数であるので、これを配送密度に変換する。平面上に無作為に配置した点の集団において、ある点からその最近接点までの間隔距離の平均値 d_e は密度を σ とすると (3) 式から求められる⁽⁵⁾。

$$d_e = \frac{1}{2\sqrt{\sigma}} \dots\dots (3)$$

d_e から移動距離を推算する。移動距離は道のりを意味するので、道直比（直線距離に対する道路距離の比）で修正する。森田他 (2004) に基づき道直比を 1.3 とする⁽⁶⁾。無数の組み合わせから最適ルートを探索することは難しいこと、最近接の配送先が次の移動先になるとは限らないことなどの理由から、間隔距離

だけで移動距離を説明できないので、間隔距離値に対して移動距離値には 20%の冗長性があるとする。道直比を p 、冗長比 r とすると、配送個数当たりの移動距離の理論値 (\hat{x}_1) は (4) 式となる。

$$\hat{x}_1 = d_e \cdot p \cdot r = \frac{p \cdot r}{2\sqrt{\sigma}} \dots\dots (4)$$

次に (1) 式に (4) 式を代入し、 x_1 以外の変数 ($x_2 \sim x_7$) に平均値を代入すると、(5) 式の配送密度を変数とした生産性関数を得る。

$$\hat{y} = \frac{-5.675 p \cdot r}{2\sqrt{\sigma}} + 20.205 \dots\dots (5)$$

(5) 式で得た生産性関数を (2) 式に代入することで (6) 式を得る。(6) 式によって、ドライバーケースごとの配送個数当たりコストが計算できる。

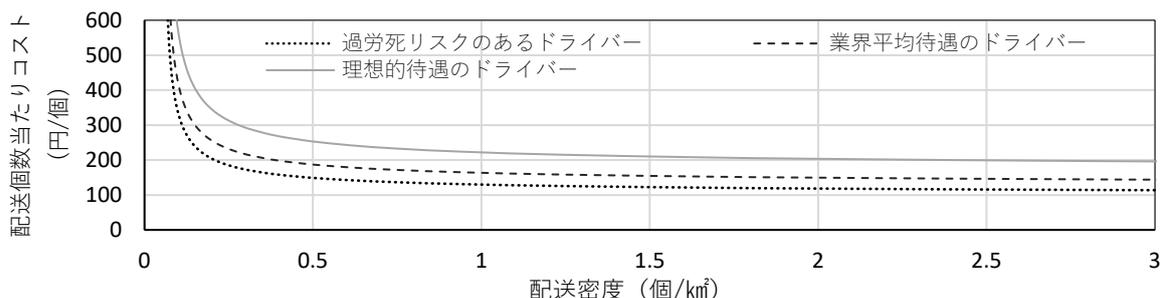
$$c_m = \frac{2w_m\sqrt{\sigma}}{h_m(-5.675 p \cdot r + 40.410\sqrt{\sigma})} + g \cdot \frac{p \cdot r}{2\sqrt{\sigma}} (6)$$

図 1 は (6) 式をグラフ化したものである。一定の配送密度を超えると生産性が安定し、ケース間に最大約 100 円/個の差があることが分かる。(6) 式が第一の研究課題である「ラストマイル配送のコスト変動モデル」となる。

3. コスト回収可能性の地域間比較

コスト変動モデルで配送個数当たりの料金とコスト回収分岐点である配送密度との関係を示したのが表 5 である。コストは直接費であるので、分岐点は限界利益を得るために超えるべき配送密度を意味する。したがって、さらに間接費回収額と必要利益額をねん出するのであれば、配送密度を大きくするか、配送料金の加算が必要である。

表 5 の配送密度の数値を地域別の人口密度で除すれば、コスト回収分岐点となる人口当たりの配送個数（以下、「分岐点」と呼ぶ）を算出できる。そのシミュレーションの結果が図 2 である。例えば (e) 図は、理想的待遇のドライバーで料金が 200 円の場合、コスト回



注：ここでのコストは、人件費と燃料費から構成される運行直接費を意味する。

図1 個数当たりコストと配送密度の関係

表5 コスト回収分岐点である配送密度

ケース\個数当たり料金	(単位：個/km ²)			
	100 円/個	150 円/個	200 円/個	300 円/個
過労死リスクのあるドライバー	44.500	0.485	0.208	0.111
業界平均待遇のドライバー	N/A	1.934	0.387	0.150
理想的待遇のドライバー	N/A	N/A	2.382	0.279

注：ここでの分岐点は、限界利益を得るために超えるべき配送密度を意味する。また、N/Aは時間当たりの配送個数に限度があるため、計算が不可能であることを意味する。

収に必要な人口当たりの配送個数を示している。図2が第二の研究課題のラストマイル配送の採算性に関する地域間比較となる。

ちなみに、2020年度の取扱個数実績⁽⁷⁾に基づいて計算された、各大手宅配業者の人口千人当たりの取扱個数は以下となる。

ヤマト運輸「宅急便」…… 45.5 個/千人/日
 佐川急便「飛脚宅配便」… 29.3 個/千人/日
 日本郵便「ゆうパック」… 21.2 個/千人/日

大手宅配業者を超える配送数を確保することは困難と考えられることから、以上の数値が図2の分岐点を評価する基準となろう。したがって、図2の白い地域(50 個/千人/日以上)は、条件の料金ではコスト回収分岐点を確保することが困難である地域を意味する。

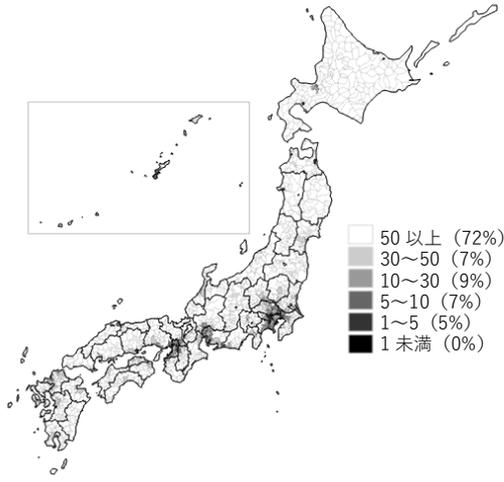
2024年問題を目前に控えるにあたり、最もコストが低い「過労死リスクのあるドライバー」でも運行直接費を回収するために150 円/個の料金が必要である(一部エリアを除く)。現状がその基準を下回っているのであれば、料金増額や配送密度を高める対策が必要であるといえよう。

4. ラストマイル配送の価値

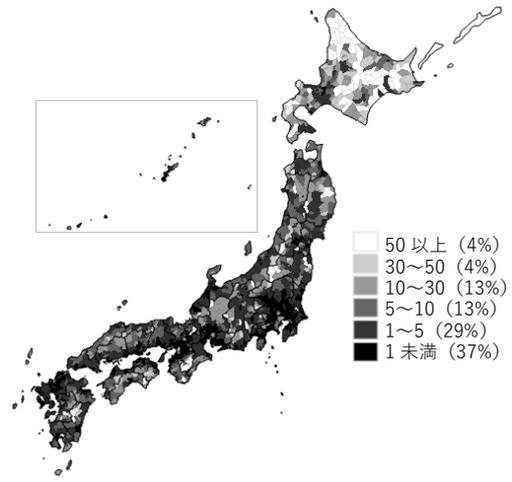
最後に、最終的にコストを負担する利用者が有するサービス価値の認識構造を明らかにする。インターネット・ショッピングの宅配サービスにおける主たる使用価値は、「店舗の往復移動と持帰りの省力化」にある。したがって、同商品を店舗購入する仮定の労力が大きいほど、交換価値(許容できる金銭的負担)が大きくなると推察される。さらに、リードタイム短縮や時間指定などの付加サービスによって価値が累加されると考えられる。また、交換価値は商品価格の大きさに影響を受ける可能性がある。商品価格が大きい場合、コスト負担を受け入れやすくなるからである。

交換価値を測定するために、コンジョイント分析を用いた。先行調査⁽⁸⁾を参考にし、表6のように属性と水準を決めた。ここでの「店舗往復時間」とは、仮に同じ商品を店舗で購入するとしたら、店舗の往復移動に要する時間を意味する。「お店で買うと往復1時間かかる商品を、送料無料で、翌日に、時間指定なしで、ご自宅にお届け」というように、仮想プロフィールを作成して、2つの商品価格帯別(3,000円

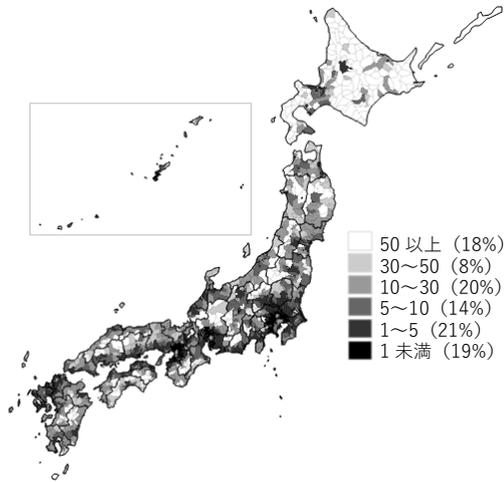
(単位：個/千人/日)



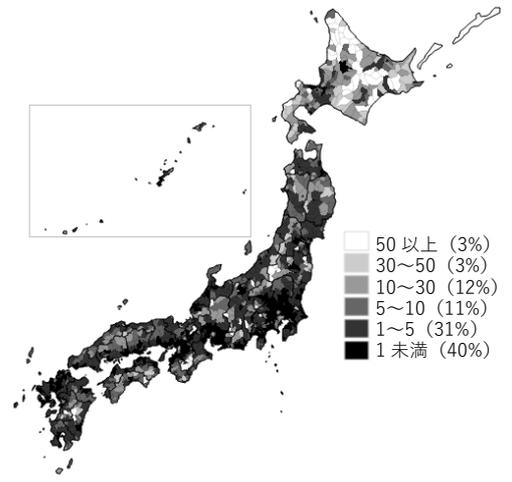
(a) 過労死リスクのあるドライバー・100 円/個



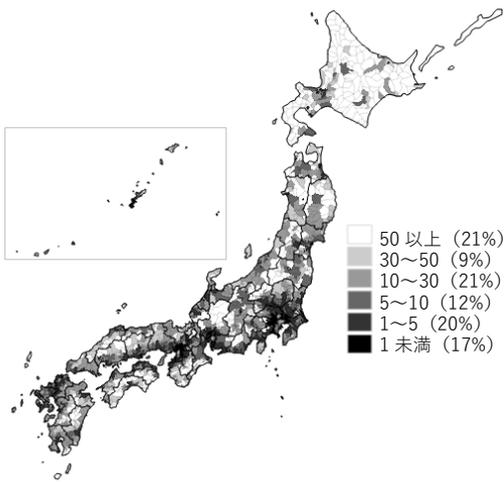
(b) 過労死リスクのあるドライバー・150 円/個



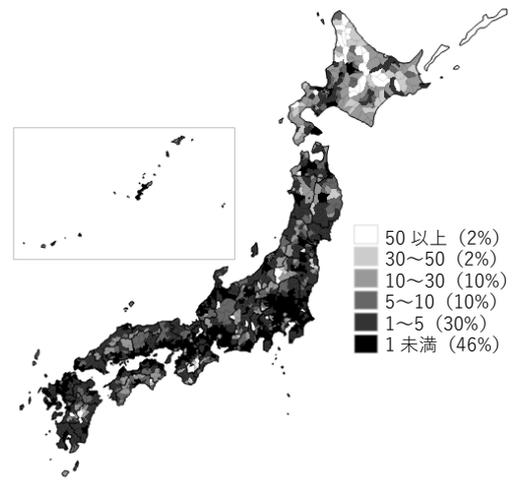
(c) 業界平均待遇のドライバー・150 円/個



(d) 業界平均待遇のドライバー・200 円/個



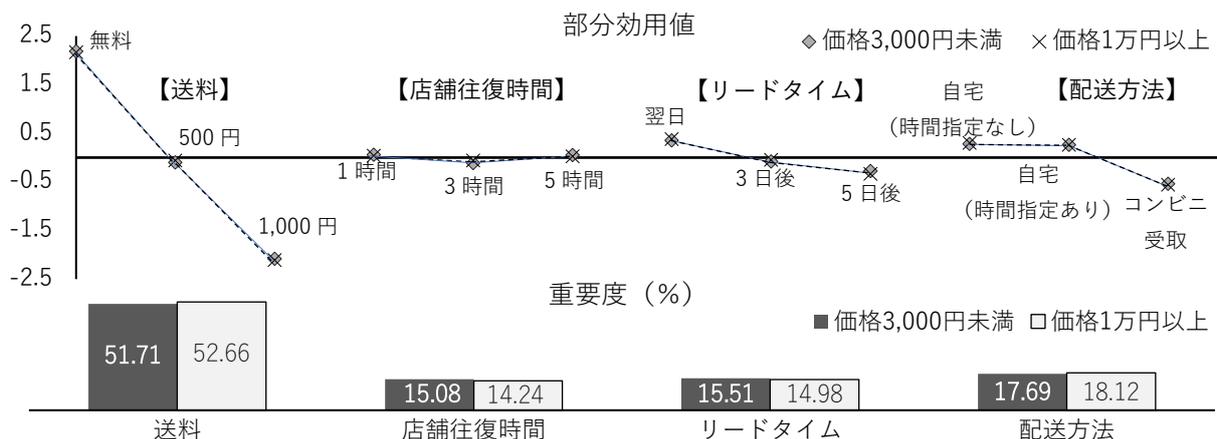
(e) 理想的待遇のドライバー・200 円/個



(f) 理想的待遇のドライバー・300 円/個

注：金額は個数当たり料金、数値は限界利益を得るために超えるべき人口当たりの配送個数を意味する。色が濃いほど、その地域のコスト回収分岐点が低いことを意味する。

図2 各ドライバーケースにおけるコスト回収分岐点の地域間比較



注：調整済み決定係数は「価格が3,000円未満」では0.488、「価格が1万円以上」では0.493であった。また、いずれともF検定の帰無仮説が1%の有意水準で棄却されている。

図3 コンジョイント分析の部分効用値（上図）と重要度の結果（下図）

未満と1万円以上)に選好順位を利用者に回答してもらった。実験計画法に基づき、直交表を用いてプロファイルは9通りに絞っている。

表6 コンジョイント分析の属性と水準

	第1水準	第2水準	第3水準
送料	無料	500円	1,000円
店舗往復時間	1時間	3時間	5時間
リードタイム	翌日	3日後	5日後
配送方法	宅配(時間指定なし)	宅配(時間指定あり)	コンビニ受取り

2022年7月にウェブ調査会社のモニター内のインターネット・ショッピング利用者を対象にアンケートを実施した。年齢と性別を人口比で調整した。回収数は500であった。コンジョイント分析の結果は図3である。

結果から、商品価格の違いで効用値にほとんど差がないため、商品価格は影響がないことが分かった。送料では「無料」と「500円」との間には2.280の効用差がある一方で、店舗往復時間の「3時間」から「5時間」の差は0.165である。これは利用者が店舗往復時間を2時間省略できることに対して約36円しか支払う意思がないことを意味する。同様に、リードタイムでは「3日後」から「翌日」の変化には約95円、時間指定サービスには約9円しか支払う意思がないことを意味する。以上から、利用者はサービスの交換価値をほとんど認識していないといえる。利用者にコスト負担を受容する意思があるとはいいたい。

5. 最後に

第1課題であるラストマイル配送のコスト変動モデルとして(6)式を示し、第2課題であるコスト回収可能性の地域間比較として図2を示し、第3課題であるラストマイル配送に関する利用者の価値構造をコンジョイント分析の結果(図3)で明らかにした。

最後に、以上の結果に基づき、冒頭で言及した①2024年問題、②交通事故増加、③コストの地域格差の問題に対する示唆を検討する。

まず、①についてであるが、2024年問題の解決にあたり、過労死リスクのあるドライバーケースが基準となろう。図1から、配送密度0.5個/km以上の地域では、個数当たり150円の料金が直接費の回収に必要なことが分かる。また、2.2節で導出された生産性関数から、距離短縮や再配達率などの多数の要因が生産性に影響を与えることも分かっている。配送ルート最適化の技術を導入するなどの生産性改善策の導入を継続していくべきであろう。

次に②についてであるが、交通事故の増加が疲労と大きく関係していることから、過労死リスクのある労働時間数では不適切である。したがって、より労働時間を抑制した業界平均待遇のドライバーケースが基準となろう。(5)式から、生産性の上限が20個/hであることが分かる。これは宅配ドライバー調査で、移動時間を

表7 低人口密度地域における条件別の個数当たりコスト回収料金額

人口密度\ケース	人口当たり配送数が15個/千人/日			人口当たり配送数が30個/千人/日		
	過労死	業界平均	理想的	過労死	業界平均	理想的
20人/km ²	172.7円/個	216.6円/個	292.6円/個	142.8円/個	179.5円/個	243.1円/個
10人/km ²	239.0円/個	299.6円/個	404.6円/個	172.7円/個	216.6円/個	292.6円/個

注：ここでの必要料金は、限界利益を得るために超えるべき個数当たりの料金を意味する。

除く、届け先対応の完了時間が3分以内とする回答が81.7%であったことも整合する。表2から業界平均待遇のドライバーの1日当たりの配送時間が6.5時間であるので、1日当たりの配送個数の上限は130個が適当ということになる。この数値を超える配送個数をドライバーに課すことは控えるべきであろう。

最後に③の地域格差問題についてである。一定の配送密度を超えると生産性が変わらない。図2から、業界平均待遇のドライバーの場合、料金が200円/個であれば、全国で約8割のエリアの分岐点を10個/千人/日以下に抑えることができる。しかし、ドライバーケースに関係なく、低人口密度地域は必要料金額が大きくなる。大手宅配業者は、低密度地域のサービス赤字を高密度地域の収益で補填する、内部相互補助制を採ってきた。高密度地域で通販企業自らが配送網を構築する、いわゆる「自前配送」が進んでいるが、配送事業者が地域ごとに「割拠」する傾向が強まることで、地域間の収益プール機能は弱体化する。したがって、低人口密度地域には新しい施策が求められているといえる。

2020年度において、日本には人口密度が20人/km²以下の自治体は208(11.9%)、10人/km²以下の自治体は90(5.2%)存在する。以上の地域のコスト回収料金額を試算した結果が表7である。人口密度が低い地域の対策として貨物を集約することで、30個/千人/日の配送数を確保できれば、採算可能性が高まることが分かる。地域別料金の設定が困難であれば、週2~3回程度に配送日を限定する方法や会社組織の垣根を越えた共同配送などのような集約化の仕組みを地域ごとに検討するべきであろう。特に配送日を限定する方法は、交換価値の

分析から利用者がリードタイムにサービス価値を感じていないことから、有力な手段となる。

また、サービスコストを最終的に負担する利用者が、サービス価値を経済的に評価していない事実は、ラストマイル配送の問題を深刻化する根本要因とみなせる。利用者に対して、宅配サービスの利用に「時間を買う」機能があることを周知させる施策が必要であろう。

謝辞

本研究はSBS鎌田財団の研究助成によるものです。この場を借りて、御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 岩崎健二：長時間労働と健康問題—研究の到達点と今後の課題，日本労働研究雑誌，No. 575，p. 42，2008
- (2) 厚生労働省：賃金構造基本統計調査，2021 (<http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/chinginkouzou.html>)
- (3) 国土交通省：トラック輸送状況の実態調査結果(全体版)，p. 59，2021 (<https://www.mlit.go.jp/jidosha/content/001409525.pdf>)
- (4) 林克彦・根本敏則編著：ネット通販時代の宅配便、成山堂書店，2015。刈屋大輔：実録 ラストワンマイル(全18回)，月刊ロジスティクス・ビジネス，No. 19(1)-20(6)，2019-2020
- (5) 佐藤郁郎：ポワソン配置とワイブル分布(雑然か整然か) (<https://ikuro-kotaro.sakura.ne.jp/koram/waiburu.htm>)
- (6) 森田匡俊，鈴木克哉，奥貫圭一：日本の主要都市における直線距離と道路距離との比に関する実証的研究，GIS-理論と応用，No. 22(1)，pp. 1-7，2014
- (7) 国土交通省：令和2年度 宅配便等取扱個数の調査及び集計方法，p. 4，2021 (<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001418260.pdf>)
- (8) 国土交通省：「通信販売と宅配便の再配達に関する調査」の結果について，2019 (<https://www.mlit.go.jp/monitor/H30-kadai01/9.pdf>)