

輸送による二酸化炭素排出量と商慣行の関係についての研究

研究者代表 秋川 卓也（日本大学）

1. 研究の背景と目的
 2. 研究の方法と成果①—多頻度小口配送の検証
 3. 研究の方法と成果②—専用センターの共同化
 4. まとめと今後の課題
 5. 主な発表論文等
- 謝 辞

1. 研究の背景と目的

地球温暖化問題の解決に向けた CO₂ 排出量の削減は避けることのできない課題となっている。2016 年に発行されたパリ協定は、21 世紀の後半には温室効果ガス排出量とその吸収量のバランスをとることを目標としている。同協定のに基づき、日本は 2030 年までに 2013 年度比で排出量の 26%を削減することを中期目標とした。菅義偉首相（当時）が 2020 年 10 月に「2050 年カーボンニュートラル宣言」を行ったのは記憶に新しい。

日本の温室効果ガス排出量において、2019 年度の運輸部門の排出量は全体の 17.9%を占めている。その削減は、物流関連組織（物流専門業者、物流部門、物流子会社など）単独の取り組みだけでは限界があるといわざるを得ない。物流需要は派生的であるため、その量と内容は商流によって決まるところが大きい。したがって、物流領域での一層の CO₂

削減は、商流活動を担う荷主との連携で取り組む必要がある。

こうした問題意識の中で本研究が目にしたのは小売業である。エネルギーの使用の合理化に関する法（省エネ法）の特定荷主（貨物輸送事業者が発注する立場）の調査では、輸送にかかるエネルギー使用量は製造業の方が大きい。輸送量あたりの平均エネルギー使用量では小売業が特定荷主平均（平成 29 年度 7.4 GJ/万トンキロ）の約 3 倍（同 24.8GJ/万トンキロ）と最も大きい業種となっている¹。

以前から小売業界では配送トラックの低積載率が問題視されてきた。全国貨物純流動調査（物流センサス）の 2015 年調査によると、小売業の着産業界種別流動ロット（トン/件）は 0.25 トンしかない²。これは製造業の約 10 分の 1 の数値である。エネルギー効率を高めることで排出量を削減できる余地が大きい業種といえよう。

小売業界においては取引関係の詳細は個々の企業の意志というよりも、商慣行によって

¹ 資源エネルギー庁（2019）、25 ページ。

² 国土交通省（2015）。

規定されるところが大きい。これは物流も例外でなく、業界内で商慣行化した物流サービスが少なからず存在する。経路依存性に基づく物流サービスに対し、エネルギー効率性の視点から検証と考察を行う必要がある。その結果が小売業界における CO₂ の削減可能性を示すこととなる。

本研究では、物流の商慣行として「多頻度小口配送」と「専用センター」を考察した。

2. 研究の方法と成果①—多頻度小口配送の検証

まず、代表的な物流の商慣行として「多頻度小口配送」をとりあげる。小売店舗着の流動ロットを低く抑える要因となっており、多品種化と店舗の小規模化に伴って定着している。

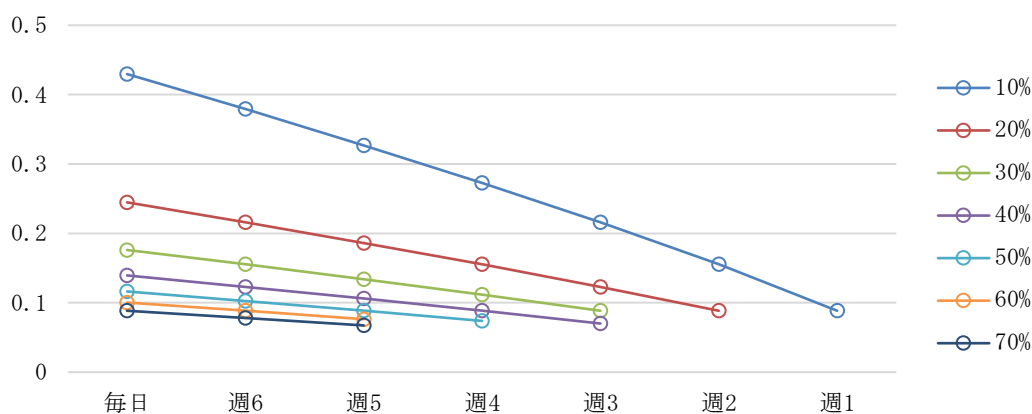
2.1 多頻度小口配送の改善効果

表 1 は、改良トンキロ法に基づいて計算した、配送頻度の減少による CO₂ 排出量の変化率を示したものである³。毎日配送の数値を 1 として相対化している。輸送トンキロは一定として配送頻度だけを減らすと、積載率の向上に伴う燃料使用原単位 (ℓ/トンキロ) が改善する効果で CO₂ 排出量が減少する。表 1 から、毎日配送から配送頻度を 1 日減らすと約 12%、2 日配送を減らすと約 24%、3 日配送を減らすと約 36% の CO₂ 排出量を減らせることがわかる。図 1 は、配送頻度の変化による燃料使用原単位の変化を初期積載率別に示したものである。初期積載率が低いほど、配送頻度の抑制による削減効果が大きいことがわかる。

表 1 配送頻度と CO₂ 変化

	毎日	週 6	週 5	週 4	週 3	週 2	週 1
距離変化	100.0%	85.7%	71.4%	57.1%	42.9%	28.6%	14.3%
原単位変化	100.0%	88.2%	76.1%	63.5%	50.3%	36.2%	20.6%

注：配送頻度の減少に伴い、1 回当たりの輸送車両台数に変化がないという前提である。



注：単位は改良トンキロ法に基づく燃料使用原単位 (ℓ/トンキロ)。折れ線は毎日配送時の初期積載率別に表示。トラックの最大積載量は 4t と想定している。

図 1 配送頻度の変化による初期積載率別の燃料使用原単位の変化

³ 改良トンキロ法の計算は国土交通省 (2016、53-58 ページ) による。

2.2 配送頻度の改善可能性の検証

多頻度小口配送を行う理由として「店舗面積の有効活用」がある。日本は地価が高く、店舗面積の有効活用は常に課題となる。多品種化が進んだ結果、1品種当たりの保管スペースは狭小化している。そのうえで「欠品許容率の低さ」の課題がある。限られた店舗面積で欠品を防ぐには配送頻度を増やす必要性がある。

しかし、これらの根拠は実際に検証を経たものではなく、欠品率や店舗面積を維持しつつ配送頻度を削減することが可能かもしれない。そこで、配送頻度の削減が欠品率や店舗面積の利用効率にどのような影響を与えるかをコンピュータシミュレーションで検証することとした。

検証に必要な発注行動と在庫関連のデータを、店舗の発注と在庫整理の業務に日常従事する人を対象としたアンケート調査で得た。幅広く対象者を選出するため、ウェブアンケート方式を採用した。アンケート調査は2019年9月20日から9月22日にかけて実施された。スクリーニング調査⁴で206人を抽出し、彼らに対して本調査を実施した。本調査では対象商品を決めてもらい、その商品の発注頻度、需要のばらつき、平均在庫、保管スペース、平均注文量、納品リードタイム、欠品率（許容値と実際値）について聞いた。

アンケート・データに基づいて店舗発注行動と在庫変動のコンピュータシミュレーションを実施した。1回答者のデータを1ケースとし、1日ごとにランダム発生させた需要量に対して保有在庫を引き当てることとする。在庫量が計算された必要量（計算方法は後述）よりも足りなくなった場合、不足分を発注する。納品リードタイムを経た日に発注品が利用可能な在庫になる。以上のサイクルを1年間（365回）繰り返す。発注タイミングと発注量の計算は定期発注方式によるものとした。また、発注量と在庫量は1日当たりの平均販売数を1単位として基準化している。

需要量を計算は正規分布に基づく乱数による。標準偏差はアンケート・データに基づいて算出された。その日の在庫量は前日の在庫量に当日の入荷量を足したものから当日の需要量を引いた数値となる。その数値がマイナスになった場合は在庫量を0とし、その日を「欠品日」とする。欠品日が発生した確率を「欠品率」とする。受注残は次の日に繰り越さないものとした。

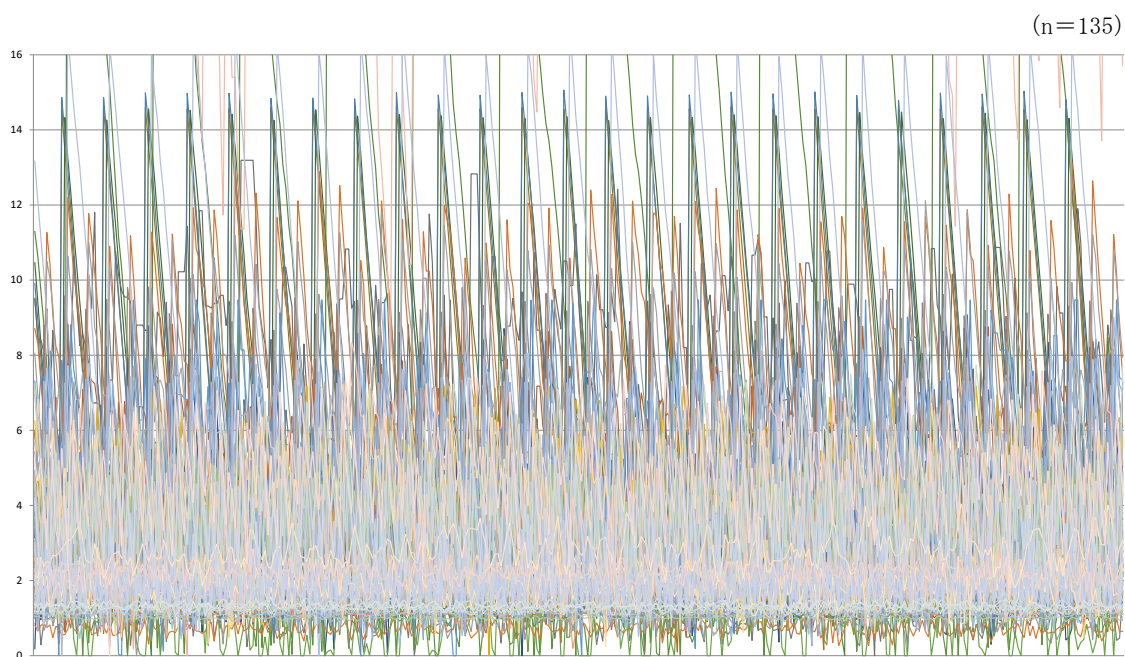
発注可能日の決定はアンケートの結果によった。発注可能な日に発注量の計算を行う。計算に必要な安全在庫量は、次回納品までの日数（次回発注までの間隔と納品リードタイムの和）の平方根に、許容欠品率に基づく安全係数と需要の標準偏差とを乗じて計算される。安全在庫量は許容値内に欠品率を抑えるために用意すべき在庫量となる。

次回納品日までの予測需要量（平均を1として基準化しているため、発注間隔と納品リードタイムの和と同値）に、発注残と当日の在庫量を引き、これに安全在庫量を足したものが当日の発注量となる。計算発注量が0以下となる日は発注を行わない。

シミュレーション結果に基づいてデータの整合性を判断した。シミュレーションの平均発注数に安全在庫を加えた数値がアンケートで聞いた保管スペース量を超えているケースは分析対象から外した。発注のたびに在庫量が保管スペースを超えることを意味している

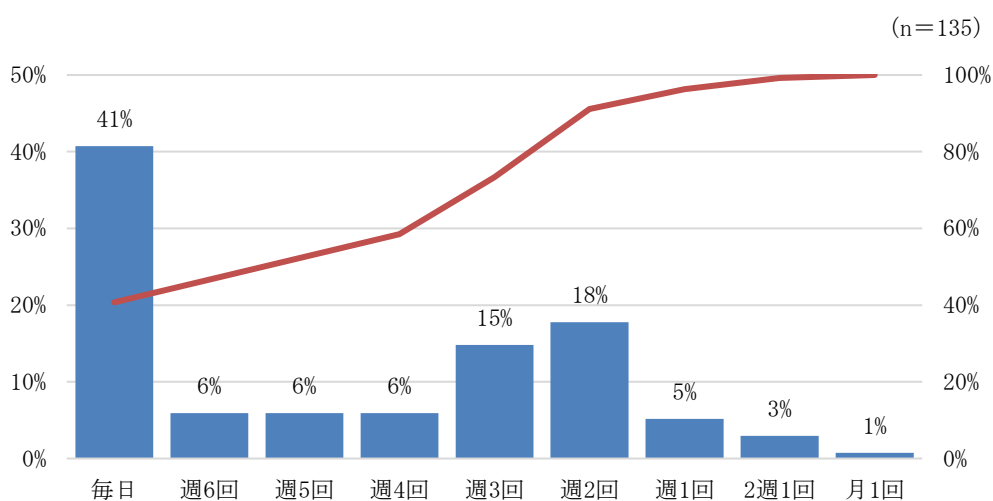
⁴ スクリーニング調査でもって、店頭における日常業務が発注業務と在庫管理であり、その主な取扱商品が食料品あるいは日用品で、かつ仕入先が国内であると答えた回答者に対象を限定した。

からである。たとえ真実であっても、正常な在庫コントロールが行われているケースとはいいがたい。その結果、分析対象は 135 ケースとなった。図 2 は、対象ケースの在庫変動に関するシミュレーション結果である。図 3 は分析対象ケースの発注頻度である。毎日発注が突出して多い。



注：縦軸の単位は在庫量である。

図 2 在庫変動のシミュレーション結果



注：棒グラフは各項目の構成比（左軸）。赤い折れ線は累積値（左軸）である。

図 3 発注頻度の分布

図 4 は、アンケートで聞いた平均在庫量からシミュレーションで算出された理論在庫量の平均を引いた数値の分布を示している。この結果から、在庫管理を改善することで在庫

量を抑制できる機会が見出される。在庫量を削減できれば、空いたスペースを逼迫している他の商品の保管スペースに再割り当てすることができるからである。

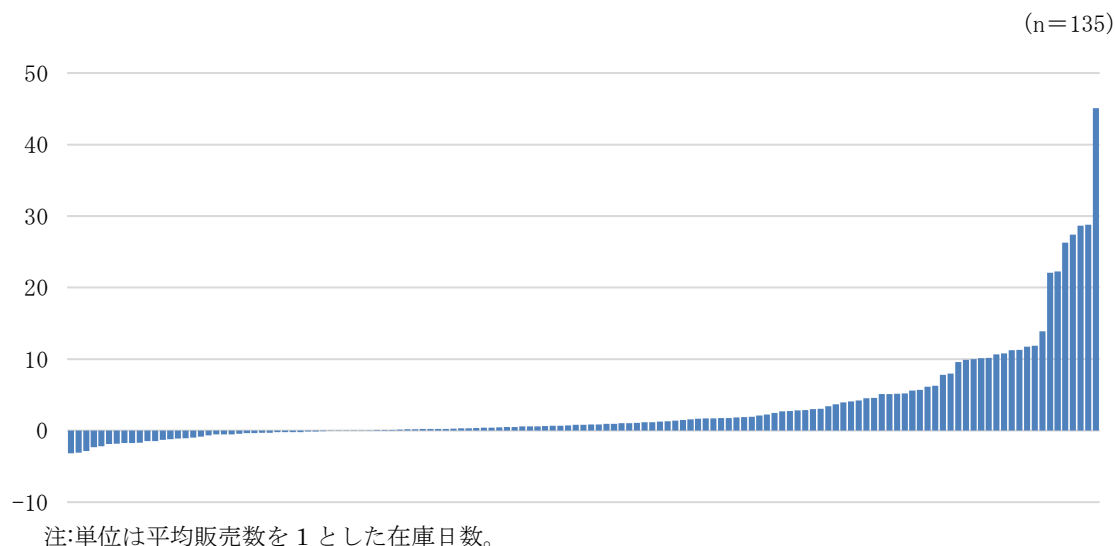


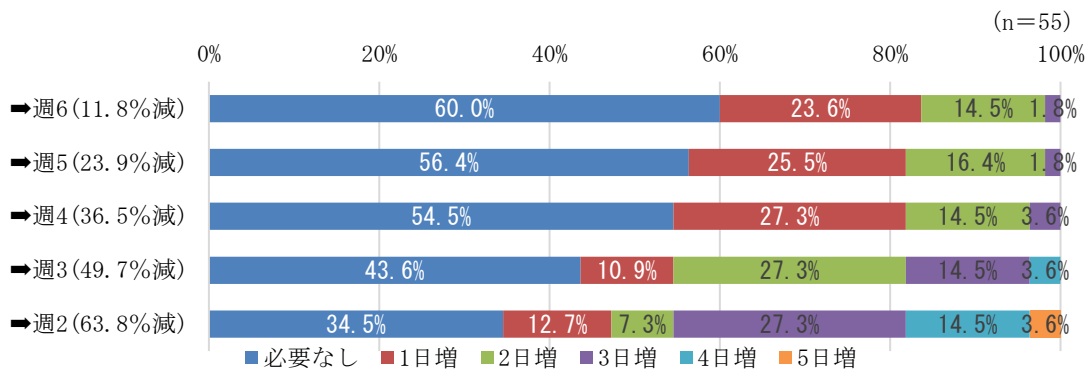
図4 実際在庫と理論在庫の差

配送頻度を減らせば在庫が増えることから、確保すべき保管スペースも大きくなる。配送頻度を減らすために必要な保管スペースの増加分をシミュレーションから明らかにした。毎日配送（55 ケース）を切り替えるという想定で行う。欠品率を許容値以内に抑えつつ、全ての日で保管キャパシティを超過させないという条件で配送頻度削減を達成するためには、保管スペースを何日分増やす必要があるか、パラメーターを変化させた複数回のシミュレーションを実施して確認した。その結果が図5である。週4回（CO₂ 36.5%減）までなら、半数以上がスペース増を必要とせず、2日分増やせばほとんどのケースで達成可能となった。前述のとおり、在庫管理の適正化で保管スペースに余力が生まれる。余力スペースを再割り当てることで十分にカバーができよう。

以上のように、在庫管理の適正化し、空いたスペースを逼迫している他の商品の保管スペースに再割り当てすることで、許容値内に欠品率を維持しつつ、配送頻度を削減できる可能性が実証された。

2.3 多頻度小口配送に関する取組みの実態

図6は店舗配送に関する取組みの現状を示している。年商10億円以上の全国有力食品スーパーを対象に、2020年9月から10月にかけて実施したアンケート調査から得た。990社に郵送で依頼し、ウェブで回答してもらった。その結果、102社に回答してもらっている（回答率10.4%）。多くの施策において実施率は2割を下回っている。「店舗発注回数の削減」「店舗への配送頻度の見直し」など、多頻度小口配送を改善しようとする動きが鈍いことがわかる。



注：毎日配送からの移行が前提。日数は必要とする保管スペース増。カッコ内は CO₂ 排出量の削減率（表 1 参照）

図 5 配送頻度削減を達成するために必要な保管スペース増

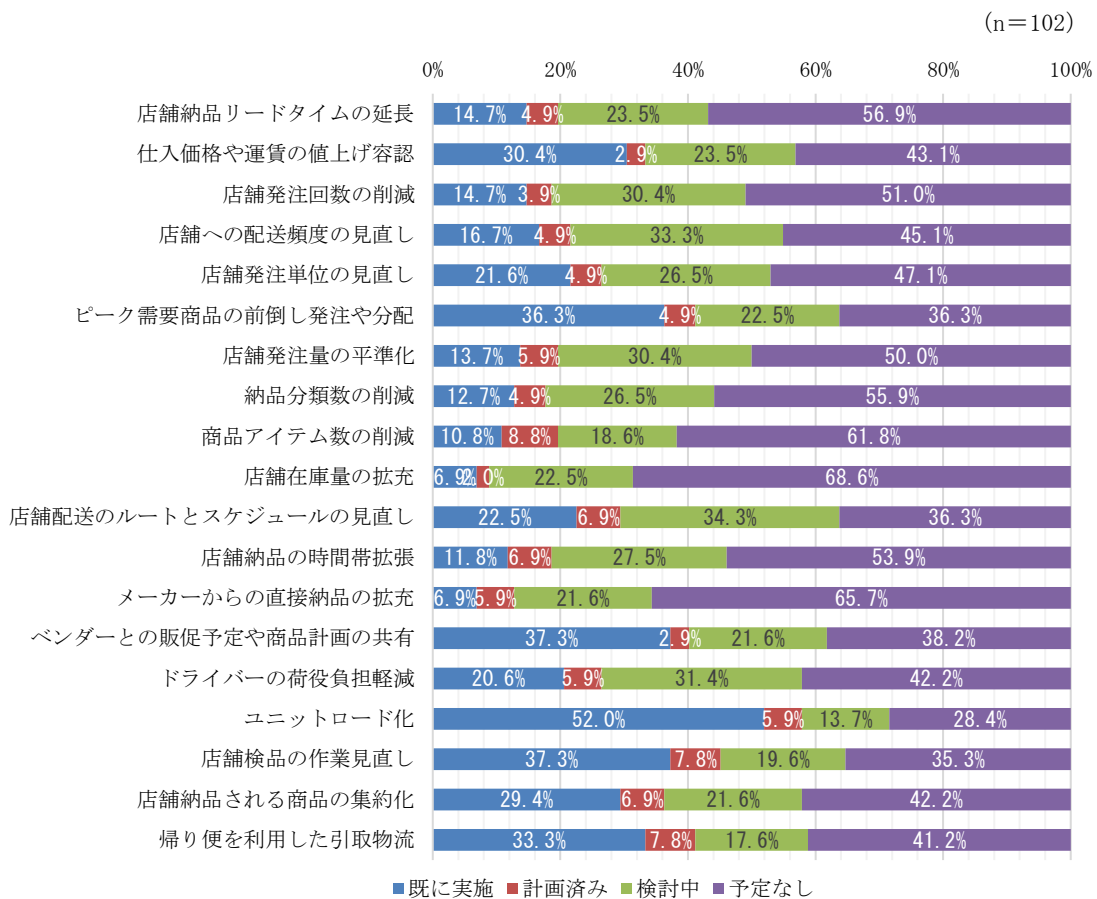


図 6 店舗配送に関する取組みの実態

小売業者の腰が重い理由は 2 つ考えられる。第一に、店舗のオペレーションが煩雑になる問題がある。毎日発注から発注回数を削減すると、発注間隔が一定ではなくなる。したがって、発注日によって発注量の計算方法を変えなくてはならない。日々のオペレーションのリズムが崩されることを嫌う可能性である。しかし、この問題は、最近普及している

高精度の発注システムの活用で解決が可能であろう。店内の労働生産性を改善させることもできるので、導入を前向きに検討すべきである。

より問題であるのは、店着価格制の存在であろう。物流コストが商品価格に含まれる店着価格が一般的である当業界では、発注回数を削減して物流を効率化しようとするインセンティブが小売業者に対して働きにくい。この問題の解決には、恩恵を受ける側のベンダーの関与が欠かせない。前述の発注システムの導入などでベンダーは取組みを積極的に支援すべきであろう。

3. 研究の方法と成果②—専用センターの共同化

いまひとつの問題の商慣行として、小売専用の物流センター（以下、専用センター）の利用がある。専用センターとは、特定小売チェーンの店舗に限定して商品を提供する物流センターである。多くの小売業態で使用が普及している。

専用センターでは、複数の帳合先（ベンダー）の商品在庫が預託され、発注に基づいて店舗別に仕分けされて一括出荷される。普及当初は、店舗納品数を減らして配送トラックの積載率を高める効果があるとしてもはやされた。

しかし、専用センターには配送先が特定の小売チェーンの店舗に限定されるリスクがある。専用センターの採算や生産性を確保するには一定の事業規模が求められるのであるが、そのような規模に至らない小売チェーンにまで導入が進んだ。その背景には、日本では寡占化が進まず、他の先進国ほど小売業者が大規模化していないことがある。一方で、卸売業者の立場は、仕入して再販売する伝統的なマーチャント・ホールセラーから、物流や決済などの流通機能からマージンやコミッションを確保するコミッション・エージェンต์に変わった⁵。日本では歴史的に卸売業者が多く、競争が激しくなる中で小売業者のロイヤルティを得ようと流通機能を肩代わりする傾向がある。そうした背景の中で専用センターは過剰に設立されていったと推察される。専用センターの投資や在庫のリスクをベンダー側に負担させる慣行が定着し、小売側を利益だけ享受する立場に固定させてしまっている。よって、専用センターの改革は小売側の反対でとん挫しやすく、変革の機運を欠いた現状を生み出している。

3.1 専用センター物流の実態

2.3 節で示した食品スーパーのアンケート調査では、専用センターの実態についても調査している。調査対象の食品スーパー102社中、専用センターを活用しているのは53%であった。専用センターの採算性を確保するのに必要とされている年商500億円を基準にすると、500億円以上の小売業者（23社）の利用率は100%であったのに対し、500億円未満の小売業者（79社）の利用率は31%であった。表2は生産性を比較した結果である。500億円未満の小売業者の方が生産性が大きく劣っている結果となっている。物流センターの生産性が低ければ、当然に配送トラックの走行距離や積載率にも悪い影響を与える。

⁵ 根本（2007）、88-89ページ。

表 2 専用センターの生産性

年商	1拠点当たりの 延床面積	1拠点当たりの 担当店舗数	1拠点あたりの 通過額
500億円未満	2.6 万㎡	27.2 店	83.2 億円
500億円以上	1.6 万㎡	45.9 店	263.4 億円
全体	2.2 万㎡	35.4 店	159.9 億円

3.2 物流共同化とその効果

専用センターの生産性を上げる施策として、物流センターの共同化を考えたい。複数の小売チェーンの間で物流センターを互いに共同利用し、チェーンの所属を問わずに近隣の店舗に商品を供給することで配送トラックの走行キロや積載量を改善することができる。さらには、専用センターを統廃合することでより生産性を高める機会を得ることもできる。

物流センターに共同化に求められるのは、各物流センターのカバーする配送エリアが重複するからである。重複を消す形で各物流センターの配送エリアを再設定することで、配送トラックの平均輸送距離を削減することができる。

ここで、物流センターの配送エリアが重複する割合を重複率 o と定義しよう。1であれば重複がなく、理想な状態であることを意味する。配送エリア内に存在するセンター数 N とエリア面積 S とすると、物流センター実効密度 m を (1) 式のように定義できる。

$$m = \frac{N}{So} \cdots (1)$$

一方、物流センターから店舗までの平均距離 D_E は、柏原 (1974) に基づけば⁶、その分布に関わらず (2) 式のようになる (k は店舗の分布の様相によって異なる定数)。

$$D_E = \frac{k}{\sqrt{m}} \cdots (2)$$

m に (1) 式を代入すると (3) 式になる。

$$D_E = k \sqrt{\frac{So}{N}} \cdots (3)$$

したがって、重複率が 300% から 200% に変化した場合は 18.3%、200% から 100% に変化した場合は 29.3%、平均距離が削減され、その同じ割合で CO₂ 排出量も削減される。さらに、(3) 式を o で微分すると、(4) 式になる。

$$\frac{dD_E}{do} = \frac{k \sqrt{\frac{So}{N}}}{2o} = \frac{k \sqrt{NS}}{2N} \cdot \frac{1}{\sqrt{o}} \cdots (4)$$

⁶ 柏原 (1974)、58 ページ。

(4) 式で k 、 N 、 S は定数とすると、平均距離の変化率は o の平方根に反比例することが分かる。したがって、重複率と平均距離の変化率の関係を視覚化すると図 7 のようになる。重複率が高いほど、平均距離の変化率は逡減していくことがわかる。したがって、重複率の高いエリアにおいては物流センターの共同化の効果が相対的に発揮されにくいことがわかる。

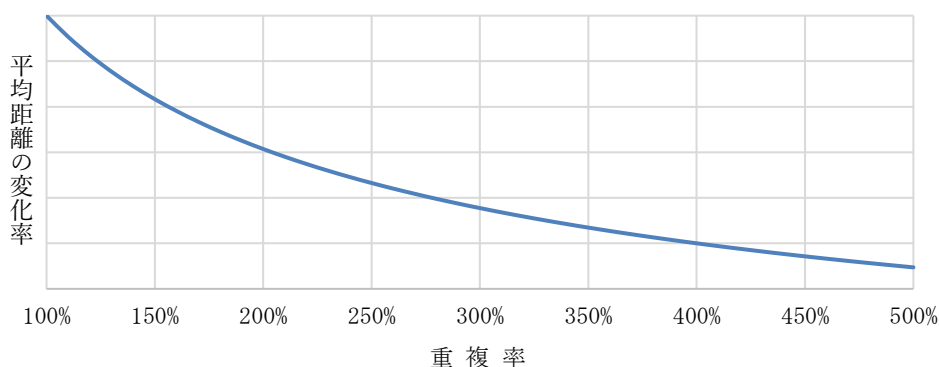


図 7 重複率と平均距離の変化率の関係

3.3 小売業界における物流共同化の実態

2.3 節のアンケート調査では、小売業における物流共同化の実態についても明らかにしている。その結果を考察しよう。

「同業他社との物流共同化」については「すでに実施している」と答えたのは 24.3% 存在した。「検討中」は 15.5%、「予定なし」は 60.2% であった。専用センターを活用している小売業者 (54 社) に限定すると、「すでに実施している」16.7%、「検討中」18.5%、「予定なし」が 64.8% であった。また、「予定なし」と回答した小売業者 (62 社) に限定して、共同化の必要性をきいたところ、64.5% が「必要性を感じていない」と答えている。したがって、小売業者全体の約 3 分の 1 が共同化に対して無関心であることがわかる。

共同化について「すでに実施している」「検討中」と答えた小売業者 (41 社) に対して、その理由を聞いた結果が図 8 である。物流に対する危機感が背景にあることがわかる。図 9 は共同化の対象機能について聞いた結果である。ドライバー不足を反映してか、輸送関係へのニーズが高いことがわかる。共同化相手の同業他社の属性を聞いたところ、「同じボランティアチェーンや生協連合会に参加する企業」60.0%、「業務提携先」22.5%、「グループ会社」20.0% であった。共同化だけを目的としない集団関係が取組みの基礎になっていることがわかる。

共同化について「すでに実施している」「検討中」「必要性は感じているが、課題の克服が難しい」と答えた小売業者 (63 社) に対して、同業他社との物流共同化の実現に関しての「重要な課題」について回答してもらった。質問項目は産業調査会 (1993)、阿保 (1996)、日本物流学会 (2008、2012、2019) を参考にして作成している。その結果が図 10 である。

(n=41)

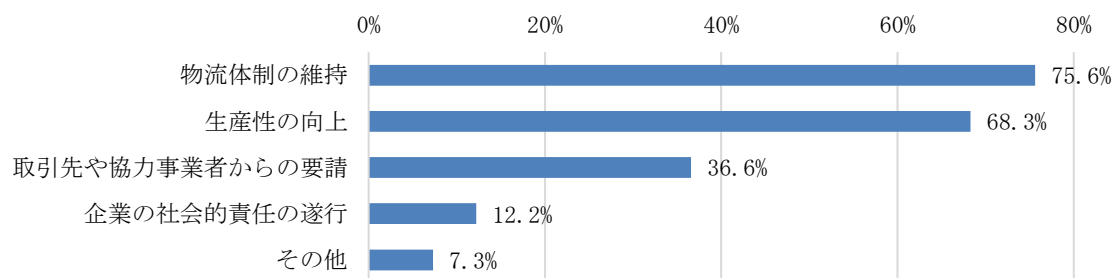


図8 物流共同化に取り組む理由（複数回答）

(n=41)

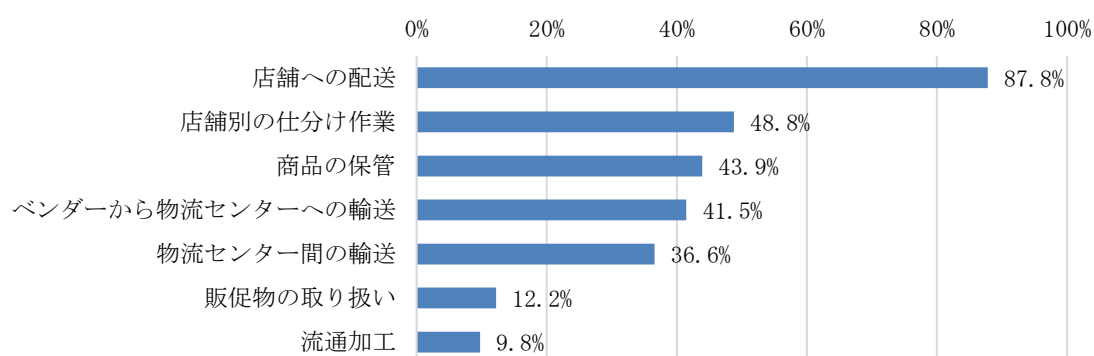


図9 共同化の対象機能（複数回答可）

「運賃・料金の設定」「採算性の確保」「費用負担や成果配分の調整」といった金銭的な要因が上位にある。店着価格制が一般的なことから、物流コストの構造は小売業者に対してブラックボックスである。コストへの知識不足に伴う不安感が現れた結果であろう。このような状況下においては相互に不信感も生まれやすいため、共同化を難しくしている業界特有の要因になっているものと推察される。

加えて、「取引条件の再検討」「情報の機密保持」「ピーク時の物流量への対応」といった商流に関連する項目も上位にあることも注意を要する。純粹に「物流業務の統一化」「情報システムやデータの統合化」といった物流のオペレーション統合だけの問題ではない複雑な様相を呈してる。日本の流通において取引条件のような商流関係の要因は長年の意思決定の蓄積に基づく経路依存的な性格を有している。よって、商流に関連する課題の解消もまた難しいといえよう。

こうした要因は「古典的」な課題であり、共同化の進んだ業界においては長年かけて解消してきた問題である。未発展な段階にあり、かつ意識の低い同業界において、共同化に対して自発的かつ早急な展開を望むことは現状では難しいと言わざるを得ない。したがって、全国の物流ネットワークを有したボランタリーチェーンに加盟する、あるいは大手の小売グループの傘下に入ることで、商流を含めたオペレーションを統合することが、物流共同化を進める現実的な方法であるといえよう。

(n=63)

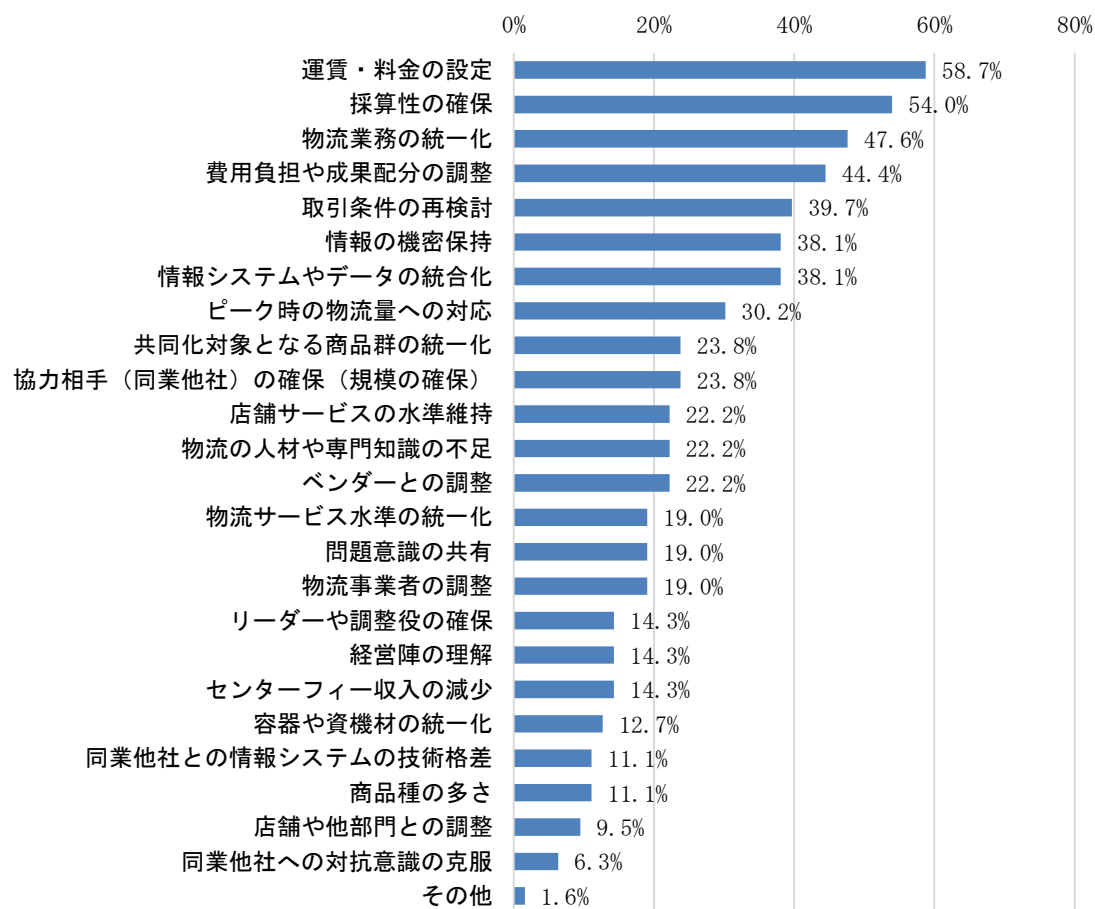


図 10 物流共同化実現の重要課題（複数回答可）

4. 今後の課題

本研究では、小売業における CO₂ 削減の可能性を商慣行の改善の視点から検討した。その結果、多頻度小口配送の改善と専用センターの共同化に CO₂ 削減の可能性を見出すことができた。しかし一方で、こうした取組みが結実するまでには時間がかかることがアンケートの結果から判明した。

日本の小売業界では、店着価格制が一般的であるため、もともと物流に対する意識は低い。さらに、先進国と比較して日本の小売市場では少数の組織小売業による寡占化が進まず、地域ごとに多数の小売業者が「群雄割拠」している状態にある。省エネ法の特定荷主の基準に該当する小売業者は少数であり、かつほとんどが非上場企業のため ESG 投資の潮流からも距離を置いている状況にある。その結果、業界内に生産性や CO₂ 問題に対して意識の低い状況が継続していると推察される。

残された課題は、小売業界において物流商慣行の改善を普及させ、排出量削減効果の実現をより確実にする方法論の探求にあろう。最後に今後の課題として明記しておきたい。

5. 主な発表論文等

2021年9月開催の日本物流学会で報告する予定である。

謝 辞

本研究は、SBS 鎌田財団による第5期物流研究助成（2019年度）によるものです。この場を借りて、鎌田正彦代表理事をはじめとした財団の関係者各位に心より御礼申し上げます。また、アンケートとヒアリングに関して多くの関係者や専門家からご協力いただきました。ご協力をいただいた方々に深く感謝いたします。日本大学商学部の秋川ゼミの学生諸君からも多大なる協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 阿保栄司（1996）『成功する共同物流システム—グリーンロジスティクスへの挑戦』、生産性出版。
- 柏原士郎（1974）「施設密度・利用距離・施設規模の関係について：地域施設の適正配置に関する研究・3」『日本建築学会論文報告集』218, 57-62 ページ。
- 国土交通省（2015）「全国貨物純流動調査（物流センサス）2015（平成27）年調査」（https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_fr_000074.html）。
- 国土交通省（2016）「ロジスティクス分野におけるCO2排出量算定方法—共同ガイドライン Ver. 3.1」（https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/ninushi/pdf/guidelinev3.1.pdf）。
- 産業調査会編（1993）『物流効率化大事典』、産業調査会事典出版センター。
- 資源エネルギー庁（2019）「省エネ法対応 荷主の省エネ推進のてびき」（https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/ninushi/pdf/ninushitebiki_ver5.pdf）。
- 日本物流学会（2008）『2008 物流共同化実態調査研究報告書』、日本物流学会。
- 日本物流学会（2012）『2012 物流共同化実態調査研究報告書』、日本物流学会。
- 日本物流学会（2019）『2019 物流共同化実態調査研究報告書』、日本物流学会。
- 根本重之（2009）「日本型小売流通システムの特性と軌道修正」、崔相鐵・石井淳蔵編『流通チャネルの再編』、中央経済社、59-80 ページ。