

JOURNAL OF LOGISTICS AND SHIPPING ECONOMICS No.57

海運経済研究第57号抜刷

[統一論題]

貨物輸送手段の労働生産性・CO₂排出量の比較
～東京・福岡間の宅配貨物輸送によるケーススタディ～

加藤 博 敏
(復建調査設計株式会社)

根本 敏 則
(敬愛大学)

高野 茂 幸
(ヤマト運輸株式会社)

堰 向 直 彦
(ヤマト運輸株式会社)

Japan Society of Logistics and Shipping Economics

日本海運経済学会

2023

[統一論題]

貨物輸送手段の労働生産性・CO₂排出量の比較 ～東京・福岡間の宅配貨物輸送によるケーススタディ～

加藤 博 敏
(復建調査設計株式会社)

根本 敏 則
(敬愛大学)

高野 茂 幸
(ヤマト運輸株式会社)

堰 向 直 彦
(ヤマト運輸株式会社)

In Japanese logistics scene, labor shortage and carbon neutrality have become important issues. Long-distance transportation modes could include trucks, semi-trailers, railroads, RORO ships, full trailers, airplanes, and unmanned trucks in near future. However, there are few examples of evaluating these modes with multiple indices. In this paper, we proposed four indicators: transportation time, labor productivity, carbon dioxide emissions, and cost, and compared seven modes for parcel transportation from Tokyo to Fukuoka. It was confirmed that the proposed evaluation method is effective in comprehensively comparing the modes.

I はじめに

「総合物流政策大綱（2021～2025）」（2021年閣議決定）では、物流産業における労働力不足に対し、2024年度から適用される、罰則付きのドライバーの時間外労働の上限規制も見据えた対策の加速、改革の推進が必要とし、労働生産性の向上を目標に掲げた。また、2050年のカーボンニュートラル実現に向けて、CO₂排出量の1割を占める物流分野においても、排出量の少ない輸送システムに転換していくことが急務となっている。一方で、2020年春のコロナ禍以降、ネット通販需要が急拡大し、宅配便の取扱個数は増加した（図1）。宅配便についても、労働生産性を向上させ、環境負荷を低減させるシステム構築が必要となっている。

宅配便は、翌日配達を基本としているが、東京から遠距離の北海道・九州など¹⁾へは、翌々日配達となっている。この1日の余裕を以て、労働生産性が高く、環境負荷が低いと言われてきた鉄道・海運を利用した輸送も行われている。しかし、その割合は低い（図2）。他の未利用の輸送手段として、トラック2台分相当の輸送力を有し、労働生産性の高いダブル連結トラックがあるが、同トラックが走行可能な高速道路区間が、2022年末から拡大している。更に、トラックの自動運転も、2026年以降の実用化を目指して、取り組みが進められている。また、輸送力維持・リダンダンシー確保のため、貨物専用機導入（2024年度）の準備を進めている宅配事業者もある。

労働生産性が高く、環境負荷の低い輸送体系を構築していくためには、これら輸送手段の特徴

1) 複数の宅配事業者で、東京から中国・四国地方へも、翌々日配達となっている。（2023年6月現在）

図1 宅配便の輸送個数の推移

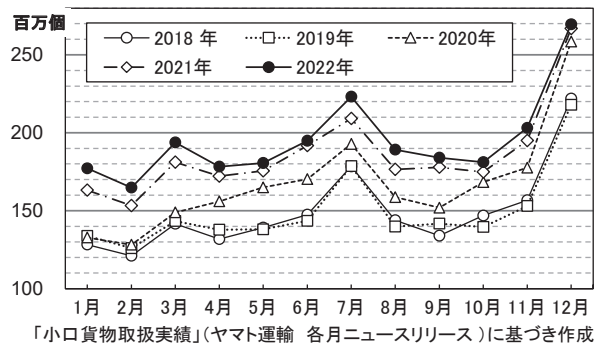
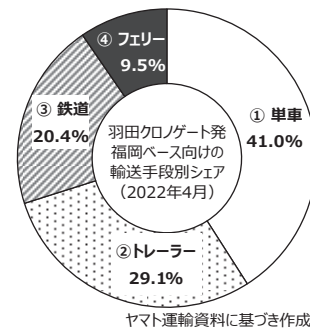


図2 東京発福岡向け宅配便の輸送手段別シェア



を比較評価するとともに、優れた輸送手段への転換・利用拡大に向けた施策を明らかにしていくことが重要になっている。本稿では、ドライバーの確保が難しい物流拠点間の幹線輸送に注目し、荷受けから配達までの時間的制約が小さい翌々日配達の距離帯の宅配便輸送を例として、今後の実用化が見込まれるものも含めた複数の輸送手段について、労働生産性、環境負荷を、輸送の所要時間や運行コストと併せて、推計する手法を提案する。また、この算出結果を基に、各輸送手段の利用拡大などに必要な施策提案を行う。

海運・鉄道へのモーダルシフト（幹線輸送機関のトラックからの転換）は、気候変動に関する国際連合枠組条約締結国会議で「京都議定書」が採択（1997年）されて以降、地球温暖化対策として取り上げられてきた。早い段階から、日本長距離フェリー協会²⁾やJR貨物³⁾は、CO₂排出量を、トラックのみによる輸送と比較できるシステムをホームページ上で提供しているが、それぞれ、会員船社の航路、自社の鉄道駅を使う輸送との対比に留まっている。全国通運連盟のシステム⁴⁾は、定期航路の選択肢が充実しているが、長らく、リスト更新が行われていない。CO₂排出量に加えて、輸送時間（午前・午後別の配達日）、運賃の3つを、鉄道・海運・航空利用の輸送を含めて比較できるサービス「ワンストップ・ナビ」が、2021年より、日本通運ホームページで提供されている⁵⁾。しかし、日本通運グループが提供する商品を中心とした比較に留まり、検索対象の海運航路が限定されている。また、実用化に至っていない自動運転を取り上げた報告、労働生産性も含めた評価を行うシステムなどは存在していない。

CO₂排出量に代表される温暖化ガス関係については、2021年に政府が、「2030年度の温暖化ガス46%削減」を目標に掲げ、「温室効果ガス排出削減目標」や「地球温暖化対策計画」の更新を行っている。ところが、この計画や、参考資料の算定法の不透明性が高いなどの課題を指摘する報告もある⁶⁾。また、省エネ法（エネルギーの使用の合理化及び非化石エネルギーへの転換等に関する法律）の実績報告では、積載率の推移、運搬具（トラック、機関車、フェリー、航空機）の燃費向上努力の反映などができるように、2022年度分報告から、トラックの改良トンキロ法の燃料使用量算定式、船舶のエネルギー使用原単位などが変更された⁷⁾が、上述の既往例で、こ

2) 日本長距離フェリー協会:「CO₂排出量計算」, http://www.jlc-ferry.jp/co2keisan/co2_keisan_index.html, (2023年4月8日最終閲覧)

3) 日本貨物鉄道株式会社:「エネルギー使用量・CO₂排出計算シート」, <https://www.jrfreight.co.jp/modalshift/calculate>, (2023年4月8日最終閲覧)

4) 全国通運連盟, CO₂排出量計算ページ, <https://www.t-renmei.or.jp/co2/>, (2023年4月8日最終閲覧)

5) 日本通運, ワンストップ・ナビ, https://www.nittsu.co.jp/logistics_solution/it/onestop-navi/, (2023年4月8日最終閲覧)

6) 近江貴治:「新「地球温暖化対策計画」における物流分野の対策の検討」, 第39回日本物流学会全国大会研究報告集, pp49-52, 2022.

7) 資源エネルギー庁:「省エネ法対応 第7版 荷主の省エネ推進の手引き」, pp.9A-9B, 2021年

れらへの対応が出来ているものも無い。

労働生産性については、加藤ら⁸⁾が、物流の代表的で物的なアウトプット「輸送トンキロ」を産出量とした、物的な労働生産性指標「物流労働生産性指標」を提案し、トラック輸送と海運利用の輸送との比較を行っている。しかし、労働生産性は、付加価値ベースで取り上げられる例が多く、例えば、総合物流施策大綱においては、「物流業の労働生産性を、2025年度までに2018年度比で2割程度向上させる。」という目標を掲げている。しかし、日本の物流市場は、構造的要因（供給過剰、多重下請け構造など）から、運賃・ドライバー賃金の上方価格硬直性が高く、輸送システムそのものの労働生産性を、付加価値ベースで確認することは難しい。

運賃に代表されるコスト関係も、物流業が、適正な利益を確保しづらい状態が続いてきた経緯があり、公開される運賃・費用の比較も、限られた事例紹介に留まってきた。

そこで、本稿では、まず、Ⅱ章で、評価対象とする宅配貨物を説明した後、近い将来の実用化が見込まれる自動運転も含めた比較対象の7輸送手段を示す。Ⅲ章で、輸送手段を比較する所要時間、労働生産性、CO₂排出量、運行コストの4指標と評価値算出方法を示した上で、評価を行う。Ⅳ章では、評価結果から示唆される施策を示し、最後に、まとめと今後の課題を示す。

Ⅱ 評価対象とする貨物と輸送手段

1. 評価対象の貨物

本稿では、輸送手段の比較評価を行うものとして、宅配便の幹線輸送を取り上げる。

宅配便の輸送では、ロールボックスパレット（RBP）を用いた輸送が行われている。平均的な宅配便（5kg/個）を60個程度収容できる、車輪を備えたボックスパレットで、手荷役無しで積卸しができる。荷役時間を抑制できるため、ターミナルのトラック回転率が高く、ドライバーの手待ち時間も発生しにくい。また、宅配便の長距離幹線輸送では、途中、ドライバーや車両を交換する中継輸送も導入済で、ドライバーが、運行を中断して取る「休息期間」も必要無い。「拘束時間」に占める「運転時間」の割合が高く、厚生労働大臣告示「自動車運転者の労働時間等の改善のための基準」（改善基準告示）を遵守した輸送が行われている。本稿では、RBP（貨物積載量300kg/本）を輸送単位として、各輸送手段・指標の分析を行う。

2. 比較する輸送手段

比較は、東京で取扱量が最も多い宅配便ターミナルである「羽田クロノゲートベース」（羽田CGB：東京都大田区）から、九州全域のハブ機能も一部担うターミナル「福岡ベース」（福岡B：福岡市東区）までの輸送手段を対象とする。具体的には、羽田CGB・福岡B間で、既に、運用されている4手段（下記(1)～(4)）に加えて、近い将来導入が期待できる(5)ダブル連結トラックを利用した輸送（現在の福岡向け輸送の関東起点は、厚木ゲートウェイベース（厚木GWB：神奈川県愛川町）、(6)専用航空機、(7)自動運転トラックを利用した輸送を比較する（図3）。

各輸送区間の輸送条件は、以下のとおりとした（表1）。また、特記しない限り、各輸送手段とも、一般的な21時の羽田CGB出発とし、何れの輸送手段についても、道路交通法、労働基準法、改善基準告示など、法令に則った条件で、輸送する。

(1) 単車（全区間道路走行）

一般的な、運転席・荷台が一体となったトラック「単車」（最大の積載重量10トン、RBP16本）が、全区間を道路走行する輸送手段である。機動性が高く、最も汎用的な輸送手段である

8) 加藤博敏・根本敏則：「海運活用による長距離トラック輸送のドライバー不足解消-ドライバーの実拘束時間に着目した労働生産性指標の提案-」, 日本物流学会誌, 28号, pp.117-124, 2020.

図3 比較する輸送手段の輸送経路

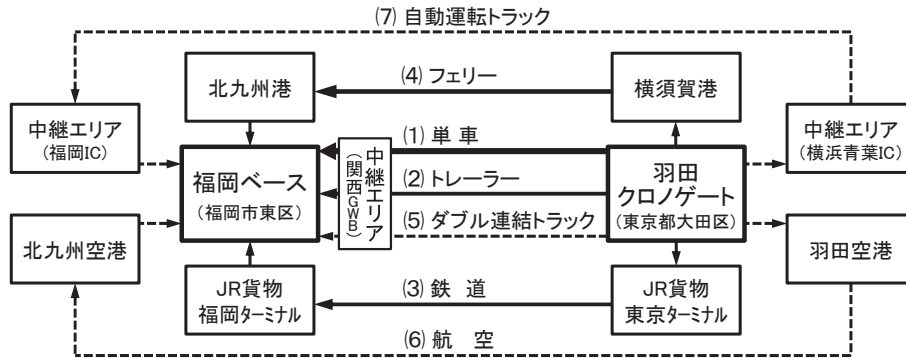


表1 比較する輸送手段と想定する運行条件

	輸送手段(幹線区間)	積載パレット数	幹線輸送区間	運用想定	
				関西GWB中継	(RBPの積替) (ヘッド交換)
(1)	単車 (10t積)	16本/台	首都高速 羽田IC~(首都高)~ 東名 横浜青葉IC~九州道 福岡IC	関西GWB中継	(RBPの積替) (ヘッド交換)
(2)	トレーラー (20t積)	24本/台	東名 東京IC~九州道 福岡IC	関西GWB中継	(ドライバー交替)
(3)	鉄道 (31ftコンテナ)	16本/個	東京貨物ターミナル~福岡貨物ターミナル	JR貨物 1051号 23:56発~17:48着	
(4)	フェリー (20t積トレーラ利用)	22本/台	横須賀港~北九州港	東京九州フェリー 23:45出港~21:00入港	
(5)	ダブル連結トラック	38本/台	東名 東京IC~九州道 福岡IC	関西GWB中継	(ドライバー交替)
(6)	航空機 (道路上は単車)	71本相当/機	羽田空港~北九州空港	A321ceoP2F ジェットスター・ジャパン運航委託	
(7)	自動運転トラック (自動運転ヘッドがトレーラー牽引)	24本/台	東名 横浜青葉IC~九州道 福岡IC	横浜青葉IC, 福岡ICを中継エリアと想定。両IC間は自動運転ヘッドが牽引。	

が、ドライバーの確保が課題となっている。

全区間を道路走行するためのドライバーの拘束時間は、改善基準告示の1日の上限時間を超過する。このため、ほぼ中間地点にある茨木IC(大阪府)付近にある関西GWBを利用して、ドライバー及び車両を交換・交替させ、荷台のRBPを積み替える⁹⁾中継輸送とする。

(2) トレーラー (全区間道路走行)

自走能力が無い「トレーラー」(同20トン、22~24本)を、トラクターヘッド(ヘッド)が牽引して、全区間を道路走行する輸送手段である。最大積載重量が単車の2倍と輸送効率が高い。ドライバーには、大型免許の外、牽引免許が必要となる。

単車同様の理由で、関西GWBを利用した中継輸送を行う条件とする。但し、中継は、トレーラーのRBPは積み替えず、牽引するヘッドとドライバーが交替することとする。なお、宅配便は、貨物の重量よりも、容積でトラック積載量が決まる「容積勝ち」貨物であるため、RBP24本が積載できる、車長14mのトレーラー利用とする。

(3) 鉄道 (幹線区間)

単車荷台と同等の積載能力を有する鉄道用31フィートコンテナを利用し、発着地の最寄駅間の幹線区間で、JR貨物のコンテナ列車を利用する輸送手段とする。JR貨物は、各旅客会社の線路使用するため、貨物輸送に適した時間帯の便数や輸送可能コンテナ数に制約がある。

羽田CGB最寄りの東京貨物ターミナル駅(東京貨タ)から、福岡B最寄りの福岡貨物ターミナル駅(福岡貨タ)までの利用が可能な1日9便の内、列車番号1051(貨車26両(31フィートコンテナ52個相当)、東京貨タ23時56分発、福岡貨タ翌日17時48分着)を利用する。また、各ベースと駅間は、鉄道コンテナ専用のトラックで輸送する。利用列車の発駅の締切時刻22時57分に合わせ、羽田CGBは、22時15分発とする。

(4) フェリー (幹線区間)

トラックの自走乗下船が可能なフェリー・RORO船で利用される、汎用性の高い車長13m

9) 単車は、一般的に、ドライバーに1台ずつ単車を割り当てる運用が多いため、貨物を積み替える方法とした。

の「トレーラー」（同20トン、22本）によって、幹線区間に、長距離フェリーを利用する輸送手段とする。関東・九州間は、航海時間25時間以上の定期航路が多い中で、2021年に、新造された高速船（航海時間約21時間、トラック積載台数154台）による航路が新設された。

幹線区間は、横須賀港（23時45分出港）・北九州港（翌日21時入港）間の長距離フェリー航路を利用し、各ベースと港間の陸上は、ヘッドが牽引して、道路走行する輸送とする。トレーラーの乗船作業時間を考慮して、羽田CGBを22時発車とする。

(5) ダブル連結トラック（全区間道路走行）

単車がトレーラーを牽引することによって、運転手1人で、トラック2台分相当（同26トン、38本）を輸送できるダブル連結トラックが、全区間を道路走行する輸送手段とする。2022年11月に、走行可能な高速道路区間が、本州・四国・九州の5,140kmに拡大した。運転には、牽引免許を有する熟練ドライバー確保が重要となる。

既に、厚木GWB・福岡B間で、宅配便の輸送が行われているが、本稿では、将来の羽田CGB発着を想定した輸送とする。(1)、(2)同様の関西GWBを利用した中継は、ドライバーのみが交替する条件とする。なお、首都高速道路の車両長限界より、一般道から東京ICを進入する走行経路とする。

(6) 航空機（幹線区間）

幹線区間で、貨物専用機を利用する輸送手段とする。輸送力確保や輸送網のリダンダンシー確保のため、羽田・成田と新千歳・北九州・那覇の各空港間に、2024年4月から貨物専用機3機を就航させる準備が進められている。

本稿では、羽田空港・北九州空港間の幹線区間で航空機を利用し、各ベースと空港間は、RBPの荷姿で、単車により輸送する。導入するエアバスA321neoX機は、航空機用コンテナ2種24個（RBP71本分）の輸送能力を持っている。航空貨物に必要なX線検査は、羽田空港内にて、RBPから航空コンテナへの積み替えに併せて行う。

(7) 自動運転トラック（高速道路区間）

高速道路上をドライバー不在の状態でも自動運転する「レベル4」の実用化に向けた取り組みが、2026年度以降の実用化に向け、官民で進められている。車両・運行体制は具体化していないため、本稿では、以下の条件を設定し、運行手段の比較を行う。

- ・「トレーラー」（同20トン、24本）を牽引するヘッドが、横浜青葉ICと福岡IC間の高速道路上（幹線区間）を自動運転、各ベースとIC間は有人運転する。
- ・自動運転の起終点として、輸送需要の多い関東、関西、北部九州の3箇所に、高速道路直結型のヘッド交換エリア（中継エリア）を設ける。設置位置は、関東は横浜青葉IC、北部九州は福岡ICとする。因みに、自動運転トラックの利用も想定した、高速道路直結型の物流拠点開発が、新名神高速道路の宇治田原IC（京都府城陽市）隣接地で、民間ベースで始められている（2026年竣工予定）¹⁰⁾。
- ・中継エリアの運営、自動運転可能なヘッドの保有・整備や運行、走行車両の支援・監視、緊急時対応、トラック事業者からの自動運転の利用申込の受付・調整等は、新たに設立される自動運転運行支援会社が一元的に行う。高速道路会社（NEXCO中日本・東日本）の道路管制センターの運用を参考に、指令センターと中継エリア3箇所で、常時61名が従事する体制を設定した（図4）。
- ・自動運転による幹線輸送を行うトラック事業者は、指令センターに利用申込みを行った上、自社ヘッドにより、中継エリアにトレーラーを搬入する。支援会社職員が、自動運転ヘッド

10) 三菱地所：「日本初、高速道路直結「次世代基幹物流施設」開発計画始動」、報道発表資料、2022年3月。

図4 自動運転トラックの運行及び運行支援会社の体制イメージ

にトレーラーを連結させた後、着地側中継エリアまで自動運転する。このトレーラーを、トラック事業者着地側の自社ヘッドで引き取る。

- ・ドライバー不在のため、関東・九州間の輸送では、関西での中継は行わない。また、改善基準告示がドライバーに求める休憩時間も不要なため、所要時間に算入しない。
- ・本稿では、普及期（2030年以降）の輸送需要を表2のとおり¹¹⁾とし、中継エリアの員数算出に反映した。

表2 中継エリア間OD表（台／日）

		着地側			
		関東	関西	北部九州	計
発地側	関東	—	500	100	600
	関西	500	—	100	600
	北部九州	100	100	—	200
	計	600	600	200	

Ⅲ 輸送手段を評価する指標と評価結果

1. 評価指標

Ⅱで示した7つの輸送手段に対して、羽田CGBを出発してから、福岡B到着までの輸送について、所要時間、労働生産性、CO₂排出量、運行コストの4つの評価指標で評価を行う。

輸送手段の選択には、サービス水準の重要要素として所要時間がある。これに加えて、現在、労働生産性の向上や、カーボンニュートラルの実現が求められている。物流事業者はそれら社会的要請を満たしつつ、私企業として利益（売上－費用）の最大化を目指すこととなる。

以下、評価指標の定義や計算条件を示す。

(1) 所要時間

所要時間は、RBPを積載したトラックの羽田CGB出発から、福岡B到着までとする。

宅配便などの積合せ便の拠点間幹線輸送では、発側拠点を21時以降に出発できるように輸送システムが構築されている例が多い。このため、所要時間は、原則、最早21時の羽田CGB出発として算出した¹²⁾。但し、鉄道・海運の定期便を利用する輸送手段（Ⅱ-(3)、(4)）は、利用する各便の駅・港の受付締切時間を勘案した出発時刻、航空機を利用する輸送手段（同(6)）は、羽田空港内で、最終定期便時刻（23時55分出発）前に、RBPから航空コンテナへの積替、X線検査、機内への積込を終えられる出発時刻とした（表5参照）。トラックの走行速度、ド

11) 自動運転の事業化検討の関係者が目安として用いる、関東・関西間往復各500台/日を参考に設定。

12) 出発時刻は、所要時間の長短そのものには影響しないが、各運行手段の高速道路通過時間によっては、(4)-1) 高速道路料金中で、深夜割引算出に影響がありうる。

ライバーの休憩時間など、所要時間に関わるものは、法令等に則って設定した。

(2) 労働生産性

本稿では、日本の物流市場の運賃・賃金の上方硬直性に鑑み、付加価値労働生産性ではなく、物的労働生産性によって評価する。

物的労働生産性の指標として、加藤ら⁸⁾が、「輸送貨物量（トン）×輸送距離（km）」を産出量とする「物流労働生産性指標」(LPI)を提案している。本稿では、輸送貨物量を、RBP本数に置き換えた労働生産性指標（LPI/P：Labor Productivity Index measured in pallets）で評価する。なお、労働投入量は、羽田CGBから福岡Bまでの輸送に、直接、従事する者の人数と従事時間の積の総和であり、ドライバー、機関士、船員などに加えて、駅・港・空港・中継エリアで積み替えなどに携わる者のものも含んでいる。

表3 労働生産性指標（LPI/P）

<p>労働生産性指標(LPI/P: Labor Productivity Index measured in pallets)</p> $= \frac{\text{輸送貨物量(パレット本数)} \times \text{輸送距離(km)}}{\text{当該輸送に従事した人数} \times \text{従事時間(人・時)}}$ $= \frac{w \times \sum_i d_i}{\sum_i (\sum_j m_{wij} \times t_{ij})} \quad \dots (\text{輸送本} \cdot \text{km})$ $\quad \dots (\text{従事人} \cdot \text{時間})$	
<p><i>i</i> : 発地出発から着地到着までの各工程(各輸送機関での輸送、中継地やターミナル等での積替等。)</p> <p><i>j</i> : 各輸送工程 <i>i</i> における作業</p>	<p>道路走行: 道路の種類(高速道路, 首都高速, 一般道の別), うち一般道は地区(都内20km/時, 政令指定都市30km/時, その他40kmの別)毎、高速道路, 首都高速湾岸線は80km/時、首都高速他線は60km/時の制限速度で設定。</p> <p>積替等: 中継エリア等: パレットの積替(輸送手段(1))、ヘッドの交換(同(2)、(7))、ドライバー交替(同(5))</p> <p>鉄道貨物ターミナル: コンテナの搬出入、コンテナの積卸、出着線と荷役線の貨車入替</p> <p>フェリーターミナル: シャーシの搬出入の切り離し・連結, トラックの乗下船</p> <p>トラックの乗下船の誘導・固縛・固縛解放</p> <p>空港: 航空輸送に必要なX線検査、RBPと航空コンテナ間の積替</p> <p>運航: 機関車・船舶・飛行機の運航(運行)、船舶の離岸作業、航空機離発着の誘導</p>
<p><i>w</i> : 各当該輸送ルートの輸送単位毎の単位輸送貨物量(PBP本数) ((6)で航空機の飛行中は、RBP本数に換算して計算)</p> <p><i>d_i</i> : 各輸送工程の輸送距離(km)</p> <p><i>m_{wij}</i> : 各輸送工程・作業で、直接的に当該輸送に従事する、単位輸送貨物量(<i>w</i>)あたりの従事者人数(人)</p> <p><i>t_{ij}</i> : 各輸送工程・作業で、直接的に人が当該輸送に従事する時間(時間)</p> <p>なお、(7)自動運転の中継エリアの従事者人数・時間は、直接的に当該輸送に従事するものとして、<i>m_{wij}, t_{ij}</i> に算入。</p>	

(3) CO₂排出量

CO₂排出量は、羽田CGBから福岡Bまでの輸送で利用される運搬具の排出量を、RBP1本分あたりで求め評価値とする。各輸送手段毎、運搬具毎の燃料使用量を求め、これに、油種等毎の排出係数を乗じた値の和を、輸送手段毎のRBP本数で除して求める。

燃料使用量は、省エネ法で、特定荷主に提出義務が定められている「定期報告」の算定方法として、経済産業省が告示した方法⁷⁾による。なお、告示の方法は、トラックの積載率の低下傾向や、トラック・船舶の燃費向上の努力が反映できるよう、2022年度分の実績報告から変更された。本稿では、燃費向上努力の期待も込めて、トラックについては「2025年度基準達成車」の算定式(表4)、船舶については、内航船省エネルギー格付制度の星5個のエネルギー使用量原単位を用いる。また、排出係数は、環境省資料¹³⁾の値を用いた。

表4 積載率が明確な場合の貨物輸送量あたりの燃料使用量の算定式

13) 環境省:「算定・報告・公表制度における算定方法・算出係数一覧」: https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran_2020_rev.pdf, (2023年4月8日最終閲覧)

(4) 運行コスト

宅配事業者が、自らの雇用者によって、羽田CGB出発から福岡Bまで輸送する場合に要する費用として、下記1)～6)を求め、その総和を、RBP1本あたりの運行コストとして算出する。

なお、鉄道・フェリー・自動運転の幹線区間は、他の事業者のサービスを利用するため、また、航空機の運航委託するため、支払運行費として算出した。運行人件費には、自社雇用の職員の給与・福利厚生費などの直接的費用のみを含み、管理部門や営業部門などの間接的費用や利益などは含めない。

1) 高速道路料金

それぞれの輸送手段の走行区間に応じた通行料に、走行時間帯・運行頻度に応じた深夜割引、大口・多頻度割引を適用した月間の支払額を求め、これより、1運行あたりの支払額を求める。なお、深夜割引は、見直し方針が発表されているが、詳細未定のため現行の割引制度を適用する。

2) 燃料油費

トラックの燃料油費は、輸送手段毎に、(3)CO₂排出量の算出課程で求める燃費に、軽油単価と道路走行距離を乗じて、1運行あたりの燃料油費とした。なお、鉄道・船舶・航空機の燃料油費は、次の支払運行費の内数として含まれる。

3) 支払運行費

(3)の鉄道運賃は、東京貨タ持込・福岡貨タ引き取り、(4)のフェリー運賃は、船内渡し・引き取りの条件で、料金表ベースの額を求め、実勢価格を念頭に3割引した額とする。(フェリーは、別途、燃料油価格調整金を加算。)(6)航空機の運行費用は、航空会社の料金表ベースの額を求め、(3)、(4)同様に、3割引した額とする。

また、(8)自動運転の運行支援会社への支払額は、図4の就業人数から求めた人件費総額を、表2に基づくトリップ数で除した額とする。なお、就業人数は、24時間運用のため3組分(3交替)とし、普通作業員の単価(国土交通省)に、必要経費40%、一般管理費50%を加算した額とする。また、表2の内、関東・北部九州間は、関東・関西間と関西・北部九州間の2トリップ分とし、1日あたり1,600トリップ分相当の利用があるものとする。中継エリアを始めとする運行支援会社が利用するインフラ関係費用は、本稿では、高速道路料金に含まれるものとして計上しない。

4) 運行人件費

運行人件費には、3)の支払運行費に含まれる人件費以外で、直接、輸送に従事する者の人件費とする。具体的には、トラックドライバー、空港におけるX線検査・航空コンテナへの積替作業の従事者の人件費(何れも自社雇用者)とする。総合物流施策大綱で、ドライバーの賃金を、全産業平均の水準とすることを目標としていることから、2021年の全産業平均2,317円/時間に、必要経費40%、一般管理費50%を加算した4,402円を時間給とする。

5) トラック車両・コンテナ費用

トラックの車両費として、廃車までに1百万km走行するものとし、ヒアリングによって得た車体価格より、例えば、単車は、走行1kmあたり12円などと、損料単価¹⁴⁾を設定する。

(3)で利用する私有の鉄道用コンテナ損料は、鉄道の料金表にある、31フィートコンテナ利用の場合の割増3千円を準用した。

14) 車体価格を、単車12百万円、ヘッド15百万円、トレーラー8百万円、ダブル連結トラック30百万円、自動運転用ヘッド19百万円とし、生涯走行距離(1百万キロ/台)又は回転数((4)用トレーラー約1.7千往復/台)に応じて求めた。

6) トラック等修理費・消耗品費

トラックの修理費として車体価格の2.5%/年相当、消耗品費として装着タイヤ1本あたり0.4円/kmを要するものとする。これらは、某物流事業者の営業用資料中で用いられている割合・単価による。

2. 評価結果

7つの輸送手段について求めた、評価指標の値を表5にまとめた。

表中には、単車に対する各輸送手段の評価指標値の割合を白抜き数字で示した。労働生産性指標は、値が大きいほど、他の3指標は、値が小さいほど、優れた輸送手段であることを示す。この値を抜き出し、表6にまとめた。単車に比べて、有意な差のある欄に、優れるものには◎と○を、劣るものには▲と△を、程度に応じて付した（表6脚注参照）。

表5 7輸送手段の4評価指標による評価結果一覧

輸送手段	(1) 単車	(2) トレーラー	(3) 鉄道	(4) フェリー	(5) ダブル連結	(6) 航空機	(7) 自動運転
輸送単位	10 ⁰ 積単車	20 ⁰ 積トレーラー	31ftコンテナ	20 ⁰ 積トレーラー	ダブル連結トラック	単車(陸上):16本 航空機:71本相当	20 ⁰ 積トレーラー
ロールボックス/パレット(本数/台(or個))	16	24	16	22	38		24
輸送距離(km)	1,078	1,078	1,199	1,102	1,080	1,033	1,076
幹線輸送機関	1,078	1,078	1,185	976	1,080	958	1,049
その他輸送機関	0	0	14	126	0	75	27
所要時間	15:15	15:02	20:23	24:14	15:31	6:54	14:08
(羽田CGB出発～福岡B到着)	1.00	0.99	1.34	1.59	1.02	0.45	0.93
羽田CGB 出発 1日目	21:00	21:00	22:15	22:00	21:00	21:00	21:00
福岡B 到着 2日目	12:15	12:02	18:38	22:14	12:31	3:54	11:08
労働生産性指標 LPI / P	1,142	1,739	12,270	8,457	2,672	1,078	17,138
(本・km/人時)	1.00	1.52	10.74	7.40	2.34	0.94	15.00
CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /本)	43.06	35.32	8.84	13.68	24.37	396.86	35.25
	1.00	0.82	0.21	0.32	0.57	9.22	0.82
運行コスト (円/本)	¥8,509	¥7,154	¥8,241	¥7,289	¥5,033	¥81,220	¥5,068
宅配事業者が、自社の車両・ドライバーで 実行する前提での支払い費用	1.00	0.84	0.97	0.86	0.59	9.55	0.60
高速道路料金(大口・多頻度割適用)	大型 ¥1,138	特大 ¥1,250	¥0	特大 ¥232	特大 ¥800	大型 ¥66	特大 ¥994
燃料油費(軽油ローリー価格)	¥2,213	¥1,815	¥31	¥228	¥1,253	¥154	¥1,812
支払運行費	—	—	¥7,710	¥6,143	—	¥63,525	¥374
運行人件費(支払運行費に含む額を除く)	¥3,878	¥2,546	¥286	¥430	¥1,664	¥17,386	¥130
トラック車両・コンテナ費	¥808	¥1,033	¥209	¥191	¥853	¥56	¥1,206
同上 修理・消耗品費	¥472	¥510	¥6	¥65	¥463	¥33	¥552

表6 輸送手段「単車」に対する各輸送手段の4評価指標値の割合

輸送手段	(1) 単車	(2) トレーラー	(3) 鉄道	(4) フェリー	(5) ダブル連結	(6) 航空機	(7) 自動運転
所要時間	1.00	0.99	1.34	△ 1.59	1.02	◎ 0.45	0.93
労働生産性	1.00	1.52	◎ 10.74	◎ 7.40	○ 2.34	0.94	◎ 15.00
CO ₂ 排出量	1.00	0.82	◎ 0.21	◎ 0.32	○ 0.57	▲ 9.22	0.82
運行コスト	1.00	0.84	0.97	0.86	○ 0.59	▲ 9.55	○ 0.60

① 単車に比べて、◎は5倍以上または半分以下優れるもの。○はこれに準ずるもの。▲は5倍以上、△は5割以上劣るもの。

IV 評価結果から示唆される施策

既に利用中の4つの輸送手段の内、労働生産性の高さ、CO₂排出量の低さを優先する場合は、(3)鉄道、(4)フェリーが優れた輸送手段であることが確認できた。しかし、利用拡大には、以下の輸送能力に関する課題に取り組む必要がある。

鉄道は、宅配便サービスに適したダイヤの東京貨タ発は2便のみで、福岡までの輸送能力は100個未満(31フィートコンテナ個数ベース)と低い。また、全国的には、並行在来線を利用する便も多い。鉄道貨物輸送ネットワーク維持の是非も含め、供給する輸送能力の適正規模、これに見合う増発を可能にするインフラ整備が必要となる。

フェリーは、福岡B到着が22時過ぎのため、九州内他ベースへの再発送の出発開始時刻（21時）には間に合わないが、福岡B管内配送には時間的問題は無い。現行、1航路1便（輸送能力トレーラー154台）のみであるが、増便の余地はある。但し、増船は、船社負担も重く、輸送需要の曜日変動大きさ、需要の高い時間帯に利用出来る港湾施設の充実などの課題がある。狭水路・混雑水路の航行制限のあり方なども併せた、増便環境の整備・支援が望まれる。

(5)ダブル連結トラックは、首都高速道路を走行できないため、所要時間が(1)より若干劣るものの、他の3指標で、有意な改善が可能なことを確認できた。輸送システムとしては実用化済で、走行可能な高速道路延長も2022年末に拡大している。利用拡大が進むことが期待される。

(6)航空機は、所要時間に優れるものの、CO₂排出量や運行コストが突出して高い。ICAO（国際民間航空機関）で、CO₂排出量目標（2024～2035年は2019年実績の85%水準）超過分は炭素クレジットでオフセットすることを決定しており、更なるコスト上昇も見込まれる。所要時間に応じた高コスト商品として、差別化して提供していくことが考えられる。

(7)自動運転は、労働生産性が突出して高いほか、運行コストが6割、所要時間とCO₂排出量も抑制できる、優れた輸送手段であることが確認できた。将来の長距離の輸送手段として期待される。技術的・制度的な検討に加え、中継エリア整備や、運行支援の制度構築が、早期かつ着実に進められることが期待される。

V おわりに

本稿では、東京から福岡までの宅配貨物の輸送を例に、近い将来実現が期待されるものも含め、翌々日配送の可能な7つの輸送手段を取り上げ、所要時間、労働生産性、CO₂排出量、運行コストの4つの評価指標を示し、評価した。

輸送手段を、4つの指標で、横断的に評価できたことで、鉄道・海運を利用する長距離輸送の優れた労働生産性、低い環境負荷が確認できた。また、直面するドライバー不足や2030年の温室効果ガス46%削減など、2020年代の課題に対して、実用化されているダブル連結トラックの幅広い有用性が確認できた。また、2026年以降の実用化を目指した取り組みが進められる自動運転の有用性も確認できた。

本稿で取り上げた評価指標による評価は、既発表済の手法・データを活用することによって行ったものであり、本稿の対象区間以外の輸送への汎用性も有している。輸送手段のコスト比較は、道路通行料、燃料油費、支払運行費の3費のみを比較する報告は、これまでもあったが、本稿では、労働者不足や進められる人件費改善の中で、人件費や車両償却費なども含めて評価した。この結果、(3)鉄道、(4)フェリーは、(1)単車より安価になることも確認された。

本稿では、運用コスト算出に用いたデータは、事例数が限られ、データ収集（2022年夏）以降の諸物価変動も激しい。引き続き、使用データ数の充実・更新が必要である。特に、自動運転については、幾つかの仮定の上で、条件設定をした。運用する車両や支援体制、費用負担などによって、今回の評価結果には変動可能性がある。引き続き、技術的・制度的な検討動向を注視していくことが必要である。

本研究の実施にあたり、中日本高速道路、東日本高速道路、日本貨物鉄道、東京九州フェリーを始め、関係各社に、現場視察やデータ提供などで、多大なる協力を戴いた。ここに深く感謝の意を記す。