

自動運転トラックと鉄道・海運を活かした長距離輸送の提案

—輸送力拡大・CO₂削減の早期効果発現が期待できる東京・福岡間の輸送方法—

Proposal for Intermodal Transportation Using Self-Driving Trucks and Trains or Ferries



加藤 博敏：復建調査設計株式会社 企画開発本部 技師長

略 歴

1986年 京都大学大学院工学研究科修士課程、2019年 筑波大学大学院システム情報工学研究科博士後期課程 修了。博士(社会工学)。1986年運輸省(現国土交通省)入省後、港湾局、(一財)運輸総合研究所などの勤務を経て、国土技術政策総合研究所を最後に退官。2019年より現職。



根本 敏則：敬愛大学 経済学部 教授

略 歴

1976年 東京工業大学社会工学科卒業、1982年 東京工業大学大学院修了(工学博士)。1986年福岡大学経済学部助教授、1997年 一橋大学商学部教授、2017年一橋大学名誉教授。2017年より現職。

[要旨] モーダルシフトには、トラックドライバーの「2024年問題」の解決、2050年の「脱炭素」実現という2つの国家目標への貢献が求められている。政府はそれぞれの実現のため、2030年目標の計画を定めているが、段階的に実現できる施策組合せやその施策効果は明らかにしていない。本稿では、2027年前半に実用化が見込まれる自動運転トラックと、輸送力増強の可能性がある区間の鉄道・海運を組み合わせた輸送手段を提案し、労働生産性向上と二酸化炭素排出量抑制の効果を、輸送手段選択に重要な所要時間・輸送コストを合わせて評価し、新たな輸送手段の有効性を検証する。

1. はじめに

トラックドライバーのいわゆる「2024年問題」については、2030年度に、必要輸送力の34%相当が不足すると推計されている。政府は、「我が国の物流の革新に関する関係閣僚会議」を設置(2023年)し、必要輸送力の

6.4%相当の施策効果を期待し、モーダルシフトの「輸送量・輸送分担率を今後10年程度で倍増」することを決定した。しかし、「2030年度に向けた政府の中長期計画」のロードマップには、取組状況の適時フォローアップや、2026年度目処の目標見直しを示す一方、輸送量・輸送分担率を倍増させる段階的・具

体的な施策は示されていない。

「脱炭素」については、2050年のカーボンニュートラル実現に向け、2030年度には、温室効果ガスを46%削減(2013年度比)するとしている。しかし、2030年目標の「地球温暖化対策計画」のモーダルシフトの記述も、具体的な施策は、周知・普及策などに留まる。

2030年度あるいは「今後10年程度」の間に、どのような段階を踏んで、輸送力等の「倍増」や「脱炭素」を実現していこうとしているのか明確になっていない。

この問題意識に基づき、本稿では、ロードマップの中期(2024~2026年度)末の2027年前半に、実現可能性が見込まれる輸送手段を提案し、その評価を行う。具体的には、2027年前半時点において、実用化が見込める東名阪の高速道路での自動運転トラックと、他区間に比べて輸送能力に余裕がある大阪・九州間の鉄道、増便可能性が見込める大阪・九州間のフェリーを組み合わせた輸送手段が、輸送能力増強と脱炭素に貢献しうること

とを明らかにすることを目的とする。

本稿の構成は、まず、政府の「2024年問題」「脱炭素」に向けた政策・施策を紹介するとともに、政策・施策効果がどのように評価されているか、どのような方法論上の課題があるか、レビューする(2章)。次に、中期的に実現を目指す自動運転トラックを活用した、モーダルシフトの考え方を整理し、具体的な組み合わせ輸送手段を提案する(3章)。その上で、同輸送方式の労働生産性・CO₂排出量を計測し(4章)、輸送能力増強・脱炭素への貢献度を考察する(5章)。

2. 「2024年問題」「脱炭素」に向けた政策と評価

2.1 「2024年問題」に向けた政策と評価

「2024年問題」解決のための政策として、「我が国の物流の革新に関する関係閣僚会議」における各種決定がある。

2023年6月の「政策パッケージ」では、モー

表1 閣僚会議決定のモーダルシフト・自動運転トラックの施策等

モーダルシフト	自動運転トラック
物流革新に向けた政策パッケージ(2023年6月)	
2024年度の輸送力14%不足への効果	
輸送力 +0.5%(モーダルシフト)	
物流GXの推進: モーダルシフトを強力に促進 コンテナ専用トラックやシャーシ等の導入促進 鉄道・船舶の利用促進。積載率向上(荷主等へ情報提供) 輸送力増強	物流DXの推進(物流の生産性向上): 自動運転トラックの実用化に、着実に対応。 実証段階から実装への移行を加速。
物流標準化の推進: トラック、鉄道、海運の各事業者が共通使用可能な大型コンテナのあり方の検討・導入促進。	
物流拠点の機能強化や物流ネットワークの形成支援: 輸送障害に強い貨物鉄道ネットワークを構築。 フェリー・RORO船ターミナルの機能強化。	
物流革新緊急パッケージ(2023年10月)	
鉄道(コンテナ貨物)、内航(フェリー・RORO船等)の輸送量・輸送分担率を今後10年程度で倍増	高速道路での自動運転トラックを対象とした路車協調システム等の実証実験等
2030年度に向けた政府の中長期計画(2024年2月)	
賃上げ効果、2030年輸送力34%不足への効果	
輸送力 +6.4%(モーダルシフト)	
鉄道(コンテナ貨物)や内航海運(フェリー・RORO船等)の輸送量を今後10年程度で倍増することを目指す。 官民協議会で継続的にフォローアップ。3年後目途に見直しを実施。 大型コンテナ等の導入促進 内航フェリー・RORO船ターミナルの機能強化	+2%(その他(トラック輸送力拡大等)) 「デジタルライフライン全国総合整備計画」策定(2023年度中)自動運転等のデジタル技術を活用したサービス実装への取組100km以上のデジタル情報配信道の整備等を2024年度から先行的に取組開始。

ダルシフトを「強力に促進」するとして、鉄道・船舶の利用促進や積載率向上、輸送力増強などを掲げた。2030年度に向けた「中長期計画」(2024年2月)では、鉄道・海運の輸送量を「今後10年程度で倍増」するとして、2030年度の必要輸送力の34%不足の内、モーダルシフトにより6.4%分の解消効果を見込んでいる。

自動運転トラックについては、「政策パッケージ」で、「実証段階から実装への移行を加速化」するとして、2024年度から先行的な取組を開始する。「中長期計画」は、2023年度中に策定する「デジタルライフライン全国総合整備計画」により、「100km以上のデジタル情報配信道」を整備するとしている。「その他(トラック輸送力拡大等)」として、必要輸送力2%分の解消効果を見込んでいる。

しかし、いずれも、「2024年問題」に対して、2030年度時点で、どのような輸送が実現するのか、その施策展開の姿は見えない。

2.2 「脱炭素」に向けた政策と評価

「脱炭素」実現のためには、2030年度の温室効果ガス46%削減(2013年度比)を目標とする「地球温暖化対策計画」が閣議決定(2021年)されている。運輸部門にも35%削減の目標が設定され、国土交通省は、同年、「環境行動計画」を改訂している。

しかし、モーダルシフトについては、「対策計画」の運輸部門の取組として、「更なる推進」とあるが、国の施策は、エコルールマーク・エコシップマークによる「普及促進」などに留まっている。「行動計画」の施策も、同様のものに留まる。評価指標として、鉄道・海運それぞれの2030年度の貨物輸送トンキロと、排出削減の見込みを示しているが、削減目標への施策の寄与度の言及も無い。

自動運転トラックも、「行動計画」で、「自動運転技術等を活用した効率的な物流ネットワークの強化検討の推進」との記載に留まっている。

欧州では、2050年の脱炭素に向けて、バツ

表2 脱炭素関係の計画のモーダルシフト・自動運転トラックの施策等

モーダルシフト	自動運転トラック
地球温暖化対策計画 (閣議決定 2021年10月)	
2030年度に温室効果ガスを46%削減する(2013年度比)ことを目指す。(運輸部門 35%削減)	
海運貨物輸送量 410.4億トンキロ(排出削減見込量 187.9万t-CO2)	
鉄道貨物輸送量 256.4億トンキロ(排出削減見込量 146.6万t-CO2)	
D 運輸部門の取組	
h.脱炭素物流の推進 …、モーダルシフトの更なる推進…を行い、物流の脱炭素化を推進。モーダルシフトや…に顕著な功績があった取組の功績を表彰 海運の競争力高めるためのターミナル整備、エコシップマーク活用等 鉄道の輸送力増強と輸送品質改善。BCP充実や、エコルールマーク推進等で利便性向上	c:交通流対策 (「自動走行の推進」との記載はあるが、トラックを想定した記載では無い。)
国土交通省 環境行動計画 (2021年12月改訂)	
2. 分野横断・官民連携により取り組む重点プロジェクト	
(3) 自動車の脱炭素化に対応した交通・物流・インフラシステムの構築	
エコシップ・エコルールマークの普及促進等で、海運・鉄道へのモーダルシフトの更なる推進を図る 鉄道の輸送力増強と輸送品質改善。BCPの充実を図る。	自動運転技術の社会実装など、自動化により新輸送システムの導入を図る。 高速での自動運転等の検討推進などにより、トラック輸送の効率化を推進。
(4) デジタルとグリーンによる持続可能な交通・物流サービスの展開	
海運や鉄道へのモーダルシフトの更なる推進	自動運転技術等を活用した効率的な物流ネットワークの強化

クキャスト型政策立案・実施を志向している。現行政策による2050年のネットゼロの達成見込みと2030年の中間値を、複数のシナリオの下で確認し、そのギャップを埋める施策を立案・実施する仕組みである。一方、日本の「対策計画」は、既存の関係省庁の関連施策の一覧に過ぎない。長期目標である「長期戦略」と連動した形での、具体的な短期目標や、その実現施策は提示されていない。¹⁾

2.3 政策の効果分析とその課題

閣僚会議の「中長期計画」の資料には、モーダルシフトの「輸送力増強への効果(6.4%)」に合わせ、政府の各種計画同様に、鉄道・海運の輸送トンキロの目標値(2023年度値は地球温暖化対策計画と同値)が記載されている。しかし、この算出根拠は公表されておらず、荷主・物流関係者が業界としての取り組みの検討や効果検証などに際し活用することができない。

また、2021年に閣議決定された「物流総合施策大綱」では、「2024年問題」の重要課題であるドライバーの処遇改善としての「年間所得額平均の全産業平均までの引き上げ」と、「物流業の(付加価値)労働生産性」の「2割程度向上」を目標値に掲げている。「大綱」は、この労働生産性の向上のため、「物流事業者の売上高や物流従事者の賃金の増加、労働時間の削減等が必要」としているが、トラック事業者の営業費用の約5割を占める人件費・燃料費の高騰もあって、生産性の改善が認められない状況が続いている。輸送力の観点か

ら、「労働生産性」を測定する必要がある現在、物的な労働生産性(=輸送量/労働投入量)の向上に取り組み、その果実を、ドライバー(賃金上昇)、トラック事業者(再投資)、荷主(運賃値上げの抑制)で分配していく施策展開が必要である。²⁾

また、脱炭素のための「対策計画」も、燃料消費実績に基づき算出した輸送機関別の排出量原単位と、モーダルシフトを期待する鉄道・海運の輸送トンキロを用いて、その影響を試算するに留まっている。モーダルシフトを実現する施策の効果検証がなされていない外、輸送機関毎の積載率や燃費向上の努力が反映されない評価方法に留まっている。

2.4 課題に対応した効果分析方法の提案

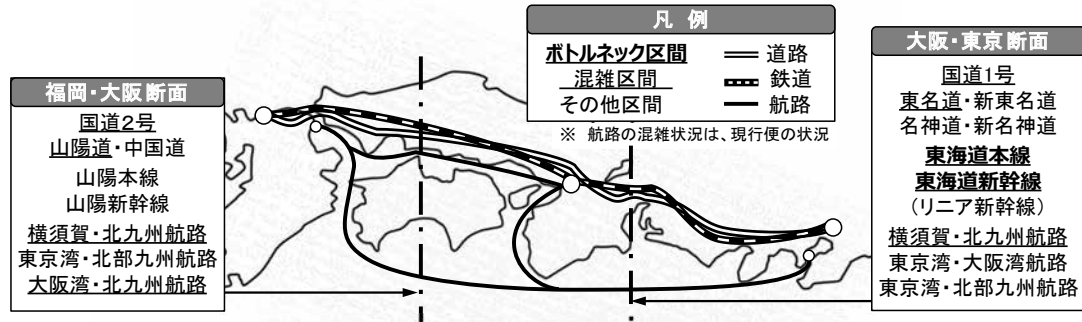
前節の課題が存在する中で、輸送手段毎の物的労働生産性やCO₂排出量の評価方法を提案・比較する既存研究は限られる。

加藤ら³⁾は、宅配便の東京・福岡間の幹線輸送を例に、物的労働生産性や、省エネ法のエネルギー使用量報告の手法を用いたCO₂排出量を、輸送手段別に算出・比較している。この研究は、輸送手段の選択で重視される所要時間と運送コストも算出している。

しかし、同研究が、物的労働生産性やCO₂排出量が優れるとした、鉄道・フェリー・自動運転トラックの3輸送手段を、計画目標の2030年度までに、東京・福岡間で、順次、拡大させるには、以下の課題がある(図1)。

鉄道は、特に、東京・大阪間の線路容量に制約がある。吹田貨物ターミナル(貨夕)までは、既に40便(関ヶ原通過便。臨時便含む)。

図1 東京・大阪・福岡間のボトルネック手段等



2022年度ダイヤ)が設定され、ニーズの高い時間帯の輸送力増大の余地に乏しい。東海道本線隣接の吹田貨タ経由(通過便含む)で、23本が福岡貨タまで運行されているが、東京貨タ発の福岡貨タ向けは1日7便(輸送能力31フィートコンテナ344個相当)に留まる。

海運も、東京湾から福岡県内各港向けに、1週22便のフェリー・RORO船が運航しているが、中1日での集配送に利用できる高速運航の航路は、横須賀港・北九州港間の東京九州フェリー(週6便、トレーラー輸送能力924台/週)に限られる。東京湾内の航行速度制限と、需要の高い時間帯に使用できる港湾施設が限られることから、同水準の増便余地は無い。フェリー3航路(週28便、同4,914台/週)が運航する大阪湾・北九州港間に比べても、輸送能力は低い。

自動運転トラックについても、関東・近畿間の実用化に向けて、新名神高速道路の宇治田原IC直結型の自動運転対応の物流施設計画(2026年竣工予定)が発表されているに留まる。関東・福岡間を商業ベースで運行するまでには、東名阪での実績作りが待たれる。

2030年度を目標とする政府計画を、段階

を踏んで、実現していくためには、中間段階の2027年前半に実用化が見込まれる輸送手段を示し、その施策効果・利用可能性を明らかにする必要がある。

3. 自動運転トラックと鉄道・海運の組み合わせ

3.1 新たな輸送手段設定の考え方

自動運転トラックは、新東名・新名神の全線開通や、着工準備が進む次世代基幹物流施設の整備で、2027年前半には、東名阪の幹線輸送で、商業ベースの運行が始められる可能性が高い。

鉄道は、東海道本線に比べれば、山陽本線以西は、線路容量にも余裕が見込まれる。

海運は、大阪湾・北九州港間のフェリー航路が、既に、平日の利用率が高い状況にある。しかし、全便、昼間は停泊し、夜間に航海するダイヤのため、夜間の港湾施設の利用度は低い。早朝出港・夕刻入港で、昼間に航海するダイヤであれば、増便余地が見込まれる。

関東・関西間を夜間走行する自動運転トラックと、早朝出発する関西・九州間の鉄道・

フェリーを組み合わせることで、現状の輸送手段と同水準のサービスが提供できれば、自動運転の普及を図りながら、モーダルシフトによる輸送量増大が図れる。2027年以降の新たな輸送手段として実現する可能性がある。

3.2 評価対象とする自動運転トラックと鉄道・海運を組み合わせた輸送手段

以下、特に明記する外は、加藤ら³⁾の評価方法を用い、自動運転と鉄道・フェリーを組み合わせた2輸送手段を追加した計9輸送手段を評価する。ここでは、輸送手段・評価方法の概要と、本稿で提案する2輸送手段、評価方法の変更・追加条件を示す。

(1) 評価対象の輸送区間・貨物

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)発車から、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)到着までの、宅配便の幹線輸送を評価対象とする。

評価は、宅配便輸送で、一般的に用いられるロールボックスパレット(RBP、車輪を備えたボックスパレット)1本(貨物積載量300kg、宅配便60個程度)あたりで行う。

(2) 比較する輸送手段(図2、表3)

加藤ら³⁾は、羽田CGB・福岡B間で運用中の輸送手段(①~④)、一部区間・商品(航空便)で運用中の輸送手段(⑤⑥)と、横浜青葉IC・福岡IC間の高速道路全区間を自動運転トラックが走行する輸送手段(⑨)を評価している。

本稿では、③鉄道、④フェリーそれぞれと、⑨自動運転トラックを組み合わせた、以下の輸送手段⑦、⑧を提案し、評価する。

まず、⑦⑧ともに、①②などと同じく、羽田CGBを21時発車とし、有人・自動運転トラックの中継基地(横浜青葉IC直結で仮定)まで、トレーラーを有人ヘッドで牽引走行する。ここから、新名神 宇治田原IC直結の中継基地まで、自動運転トラックで牽引走行し、有人ヘッドに中継する。

ここから、⑦は、鉄道用31ftコンテナ積載トレーラーを、大阪貨タまで牽引(到着:翌日午前4時頃)し、貨車に積み替える。鉄道の利用便は、吹田貨タ5時54分発の既存63便のダイヤを準用し、大阪貨タ5時34分発で設定した。福岡貨タに到着(16時10分)したコンテナは、有人トラックに積替え、福岡Bまで走行する。

⑧は、名門大洋フェリーが就航する大阪港南港フェリーターミナルまで、有人ヘッドで、トレーラーを牽引走行する(到着:翌日午前4時15分頃)。第1便入港30分前の5時出港で設定する第3便で、12時間30分の航海の後、北九州港に17時半に入港する(北九州発第1便は17時出港済)(図3)。下船後、有人ヘッドで牽引し、福岡Bまで走行する。

なお、増便するフェリー第3便は、第1便の出港から入港までの12時間30分間に各々30分の間隔を設けてダイヤ設定した。第3便入港と第2便出港の2時間強の間、上下船車両の錯綜が生まれるが、国交省が取組みを開始したヤード利用の高度化策(シャーシの位置管理システムなど)で緩和を期待する。

表3 比較する輸送手段と運用想定

	輸送手段(幹線区間)	積載 パレット本数	幹線輸送区間	運用想定
運用中	① 単車 (10 ^ト 積)	16本/台	首都高 羽田IC→東名 横浜青葉IC →吹田IC途中下車)→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 (20 ^ト 積)	24本/台		
	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 (20 ^ト 積トレーラ)	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
未運用	⑤ ダブル連結トラック	38本/台	東名 東京IC→九州道 福岡IC (現状、厚木IC・福岡IC間で運用中)	関西GWB中継 (ドライバー交替)
	⑥ 航空機 (道路は単車)	71本相当/機	羽田空港→北九州空港 (2024年4月 運用開始予定)	E7バスA321ceoP2F機 スプリング・シヤパンに運航委託
提案	⑦ 自動運転トラック (自動運転ヘッドがコンテナトレーラー牽引) + 鉄道 (31ftコンテナ)	16本/個	首都高 羽田IC →東名 横浜青葉IC→宇治田原IC →大阪貨物ターミナル→福岡貨物ターミナル	・自動運転:横浜青葉IC→宇治田原IC ・鉄道利用便:JR貨物 63便ダイヤ準用 (大阪貨夕始発、吹田貨夕 05:54発~16:10着)
	⑧ 自動運転トラック (自動運転ヘッドがトレーラー牽引) + フェリー (20 ^ト 積トレーラ)	22本/台	首都高 羽田IC →東名 横浜青葉IC→宇治田原IC →大阪港→北九州港	・自動運転:横浜青葉IC→宇治田原IC ・フェリー利用便:名門大洋フェリー 増第3便 (大阪港 05:00発 → 北九州港 17:30着)
開発中	⑨ 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	・自動運転:横浜青葉IC→福岡IC (両ICに自動・有人の中継エリアを設置想定)

図2 比較する輸送手段と輸送経路

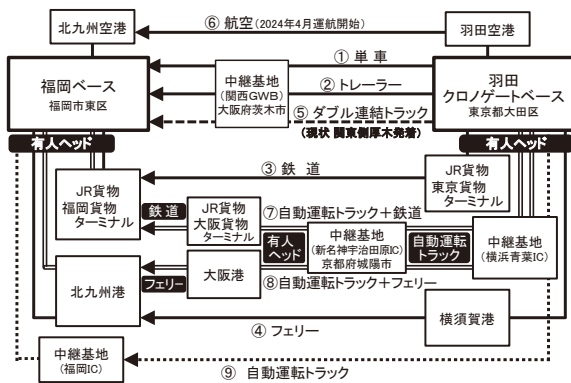
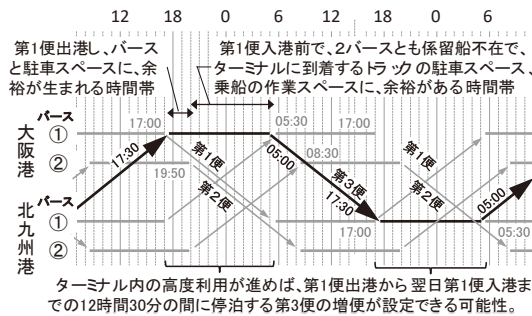


図3 フェリーの第3便ダイヤのイメージ



新造船建造に3年以上要する現状にあるが、当面、一部資本が共通する他社航路の被更新船(新造船2025年就航予定)の活用が想定できる。

4. 労働生産性・CO₂ 排出量の比較

4.1 輸送手段の比較条件

前章に示した、羽田CGB出発から福岡B到着までの9つの輸送手段を対象に、(1)労働生産性、(2)CO₂排出量に加え、輸送手段選択の重要な要素として、(3)所要時間、(4)運行コストの計4つの評価指標で評価を行う。炭素税の効果検証のため、(4)

に炭素税を加えた(5)運行コスト(炭素税加算)も求める。

以下、評価指標の定義や計算条件を示す。

(1) 労働生産性

本稿では、輸送量を産出量として評価する、物的労働生産性によって評価する。

具体的には、各輸送手段による「輸送貨物量(RBP本数)×輸送距離(km)」を産出量、「当該輸送に従事した人数(人)×従事時間(時間)」の総和を労働投入量として評価する。なお、労働投入量には、ドライバー、機関士、船員に加えて、駅・港・空港・中継エリアで、中継・積替などに直接携わる全ての者を対象

として計上する。

(2) CO₂ 排出量

CO₂ 排出量は、各輸送手段を構成する輸送機関毎に各 1 運行あたりの燃料消費量を求め、油種等に応じた排出係数を乗じた積の和を求める。なお、燃料消費量の算出は、省エネ法が特定荷主に求める「定期報告」の方法とし、積載率・燃費の向上努力が反映される 2022 年度実績の報告以降の係数・算定式等を用いる。

(3) 所要時間

所要時間は、羽田CGB出発から、福岡 B 到着までの時間を求める。拠点間幹線輸送のシステムで一般的な、発側拠点 21 時発（幹線区間の利用便ダイヤが限定される③④⑥は、当該ダイヤに合わせた出発時間）とし、トラックの走行速度、ドライバーの休憩時間など、関係法令に則って設定した。本稿では、2024 年 4 月の高速道路の大型車最高速度引上げに合わせ、単車は時速 90km、トレーラーは時速 80km（引上げ無し）とする。

(4) 運行コスト

本稿の輸送コストは、鉄道・フェリー・航空機・自動運転トラック以外は全て、「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」とした場合の費用を算出する。下記 a～f の和を、トラック・コンテナ 1 台当たり積載可能な RBP 本数で除し、RBP 1 本あたりの運行コストを求める。

- a. 高速道路料金：走行区間・時間に応じた通行料（現行夜間割引含む。）に、運行頻度に応じた大口・多頻度割引を適用した月間の支払額を求めた上で、1 運行あたりの支払額を算出。
- b. 燃料油費：輸送手段毎に、(2) の算出課程で求めた燃費に、軽油単価（138 円/L：ローリー渡価格 2023 年平均）と道路走行距離を乗じて算出。鉄道・船舶・航空機の燃料油費は、c. 支払運行費の内数として除外。
- c. 支払運行費：鉄道・フェリー・航空機利用に伴う運賃は、各々の料金表ベースの額に、実勢価格を念頭に 3 割引とした額。フェリーは、燃料油価格調整金（2023 年度平均額）を加算。
自動運転の運行支援会社への支払額は、当該社の就業人数に応じた経費総額を、日想定トリップ数 1,600 で除し、⑦⑧は 1 トリップ、⑨は 2 トリップを計上。インフラ費用は、a に含まれるものとして未計上。
- d. 運行人件費：直接、輸送に従事する者の人件費（c に含まれるものを除く。）の額。具体的には、トラックドライバー、航空機利用に伴う積替・検査従事者の人件費（いずれも自社雇用者）。人件費単価は、総合物流施策大綱が、ドライバー人件費を全産業平均の水準とすることを目標としており、2022 年の全産業平均 2,333 円/時間、必要経費 40%、一般管理費 50% を加算した時間給 4,434 円。
- e. トラック車両・コンテナ費用：廃車まで

1百万km走行するものとして、車両損料を算出。31ft コンテナは鉄道料金表の31フィート利用割増額を準用。

f. トラック等修理費・消耗品費：某社営業用資料に準じ、車体価格の2.5%/年、タイヤ0.4円/km・本を計上。

(5) 運行コスト(炭素税加算)

「脱炭素」の着実な推進のために、国内でも議論されているカーボンプライシングの一例として、炭素税導入後の輸送コストを算出した。炭素税額は、IEA(国際エネルギー機関)の「持続可能なシナリオ」で示された、先進国の2025年\$63/t CO₂、2040年\$140/t CO₂を内挿した2030年\$89.7/t CO₂に、(2)のCO₂排出量を乗じて求めた。(150円/\$換算)

4.2 評価結果

9つの輸送手段の評価結果を表4にまとめた。労働生産性指標は、値が大きいほど、他の4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。同表には、各輸送手段の評価値の「①単車」に対する割合を、白抜き数字で併記した。この値を抜き出して表5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。

5. 評価結果の考察

5.1 「⑦自動運転トラック+鉄道」

「③鉄道」と比べ、対「①単車」の割合が、

(1)労働生産性は9.7倍から4.7倍へ、(2)CO₂排出量は8割減から4割減へと、改善・削減効果は、ほぼ半減した。(1)労働生産性は、自動運転と鉄道の組合せで、労働投入量が増加したこと、(2)CO₂排出量は、道路走行区間が、輸送距離の6割弱まで増えたことによる。

一方、中継が増加したことに伴う時間ロスが発生するものの、自動運転は、ドライバーの「休憩時間」が不要となるため、(3)所要時間の延長は無い。(4)運行コストは、鉄道の支払運行費の減少以上に、自動運転の支払運行費・燃料油費・運行人件費が嵩み、割高になったものの、「①単車」の1.1倍に留まった。

5.2 「⑧自動運転トラック+フェリー」

「④フェリー」と比べ、対「①単車」の割合が、(1)労働生産性は6.7倍から4.7倍へ、(2)CO₂排出量は7割減から4割減となり、改善・削減効果は、3~4割低下した。因みに、「⑦自動運転トラック+鉄道」に比べると、有人運転の距離増加が少なく、労働投入量増加を抑えられたこと、大阪以西の輸送距離が、海路のため100km以上短縮できることから、(1)労働生産性、(2)CO₂排出量は、ほぼ同水準となった。

また、(3)所要時間は、中継に伴う時間ロスが発生するものの、航海速度の低いフェリー区間が短くなり、福岡B到着18時40分頃と、「④フェリー」に比べ、3時間半早くなった(④は、運航ダイヤに合わせて羽田CGB出発22時のため、所要時間の短縮は2時間

半。)。この結果、④では叶わなかった、福岡Bから、九州他県に向けた21時発車の中継輸送も可能となる。

(4) 輸送コストも、⑧の航路は、④の航路より運賃が6割弱安価なため、自動運転の支払運行費などの増加を吸収して、「①単車」の8割以下まで低下した。

5.3 自動運転トラックを組み合わせた効果

前2節のとおり、自動運転トラックと鉄道・海運の組合せ輸送の(1)労働生産性、(2)CO₂排出量は、「③鉄道」や「④フェリー」

には劣るものの、優位な改善・削減効果が認められた。

更に、輸送手段の選択で重視される所要時間、運送コストも、③、④と遜色無い。いずれも、福岡B到着が19時前なので、九州他県Bへの再配送により、東京と九州全域間の中1日配送に利用できる。

現行の政府計画の目標年次2030年度の間点である2027年前半に、実用化の可能性がある輸送手段として、その有効性を確認できた。

表4 9輸送手段の評価指標による評価結果一覧

幹線区間の輸送手段	①道路/単車	②道路/トレーラー	③ 鉄道	④フェリー	⑤道路/ダブル連結トラック	⑥航空機	⑦自動運転トラック+鉄道	⑧自動運転トラック+フェリー	⑨道路/自動運転トラック
中継・積荷地 有人車同士の中継地 駅・港・空港 有人車・自動運転トラックの中継基地	↓ 中継@関西GWB RBP積替 単車,ドライバー交替	↓ 中継@関西GWB (ヘッド,ドライバー交替)	↓ 東京貨物ターミナル	↓ 横須賀港	↓ 中継@関西GWB (ドライバー交替)	↓ 羽田空港	↓ 関東中継基地	↓ 関東中継基地	↓ 関東中継基地
輸送単位	10%積単車	20%積トレーラー	31ftコンテナ	20%積トレーラー	ダブル連結トラック	10%積単車	31ftコンテナ	20%積トレーラー	20%積トレーラー
輸送距離(km)	1,077.9	1,077.9	1,198.9	1,102.0	1,080.3	1,032.9	1,155.1	1,045.8	1,075.9
(1) 労働生産性指標 LPI/P (本・km/人時)	1.264	1.739	12.270	8.457	2.672	1.084	5.927	5.937	17.138
(2) CO ₂ 排出量(kg-CO ₂ /本)	43.1	35.3	8.8	13.7	24.4	396.9	26.0	25.0	35.3
(3) 所要時間 (羽田CGB出発～福岡B到着)	0日と13:48	0日と15:02	0日と20:23	1日と0:14	0日と15:31	0日と6:49	0日と20:00	0日と21:44	0日と14:08
羽田CGB 出発	1日目 21:00	1日目 21:00	1日目 22:15	1日目 22:00	1日目 21:00	1日目 21:00	1日目 21:00	1日目 21:00	1日目 21:00
福岡B 到着	2日目 10:48	2日目 12:02	2日目 18:38	2日目 22:14	2日目 12:31	2日目 3:49	2日目 17:00	2日目 18:44	2日目 11:08
(4) 運行コスト(円/本)	¥8,219	¥7,242	¥8,244	¥7,690	¥5,093	¥81,329	¥9,033	¥6,276	¥5,138
宅配事業者が、自社の車両・ドライバーで実運行する前提での支払い費用	1.00	0.88	1.00	0.94	0.62	9.90	1.10	0.76	0.63
高速道路料金(大口・多頻度前適用)	大型 ¥1,138 特大 ¥1,250	¥0	特大 ¥232	特大 ¥800	大型 ¥66 特大 ¥830	特大 ¥819 特大 ¥994			
燃料油費(軽油ローリー価格)	¥2,298	¥1,885	¥32	¥236	¥1,301	¥160	¥1,148	¥1,103	¥1,882
支払運行費(鉄道+フェリー+航空機+無人運転)	—	—	¥7,710	¥6,533	—	¥63,525	¥5,078	¥2,913	¥374
運行人件費(除支払運行費包含分)	¥3,503	¥2,564	¥288	¥433	¥1,676	¥17,489	¥570	¥534	¥131
トラック車両・コンテナ費	¥808	¥1,033	¥209	¥191	¥853	¥56	¥1,022	¥584	¥1,206
同上 修理・消耗品費	¥472	¥510	¥6	¥65	¥463	¥33	¥385	¥323	¥552
(5) 運行コスト(炭素税加算)	¥8,792	¥7,712	¥8,362	¥7,872	¥5,417	¥86,607	¥9,379	¥6,608	¥5,607
=(4)+炭素税(円/本)	1.00	0.88	0.95	0.90	0.62	9.85	1.07	0.75	0.64
炭素税	¥573	¥470	¥118	¥182	¥324	¥5,278	¥346	¥333	¥469

表5 「①道路/単車」に対する各輸送手段の評価指標値の割合

幹線区間の輸送手段	①道路/単車	②道路/トレーラー	③ 鉄道	④フェリー	⑤道路/ダブル連結	⑥航空機	⑦自動運転+鉄道	⑧自動運転+フェリー	⑨道路/自動運転
(1) 労働生産性	1.00	1.38	◎ 9.70	◎ 6.69	○ 2.11	0.86	○ 4.69	○ 4.70	◎ 13.55
(2) CO ₂ 排出量	1.00	0.82	◎ 0.21	◎ 0.32	○ 0.57	▲ 9.22	○ 0.60	○ 0.58	0.82
(3) 所要時間	1.00	1.09	1.48	△ 1.76	1.12	◎ 0.49	1.45	△ 1.57	1.02
(4) 運行コスト	1.00	0.88	1.00	0.94	○ 0.62	▲ 9.90	1.10	○ 0.76	○ 0.63
(5) (4)+炭素税	1.00	0.88	0.95	0.90	○ 0.62	▲ 9.85	1.07	○ 0.75	○ 0.64

凡例: 「①道路/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。

5.4 炭素税投入による輸送手段転換効果

表4、表5には、炭素税（\$89.7/t CO₂相当）を加算した輸送コストを（5）として示した。

しかし、この水準の炭素税では、輸送コスト総額に占める割合が小さく、CO₂排出量の低い輸送手段③④へ転換を促す効果は、期待できないことが明らかになった。

例えば、高速道路の料金には、大口・多頻度割引があり、本稿①②⑤⑨にも、各々47%前後を割引した料金を計上した。①の割引額は1,007円/本で、炭素税573円/本を大きく上廻る。大口・多頻度割引は、「中期計画」でも、「労働生産性向上に向けた利用しやすい高速道路料金の実現」として、「継続」とされた。これまで、トラック運賃相場が低く押さえられてきた中で、トラック事業者の負担軽減策としては有効であった施策だが、一方で、「標準輸送約款」「標準的な運賃」を改正し、「有料道路利用料を個別に明記」する手続きが進められている。原因者負担の原則に則り、輸送サービス生産の過程で生じた費用は、一義的にトラック事業者が負担し、その上で荷主に運賃として、消費者に価格の一部として転嫁する必要がある。大口・多頻度割引の継続は、労働生産性の向上、CO₂排出量の抑制には、足枷になっていく可能性がある。

また、高速道路料金割引は、運行費補助の性格も有する。一方、労働生産性やCO₂排出量に優れる③④には、駅・港などターミナルへの支援はあるものの、運行費補助は行われていない。船舶の共有船制度も、船社の自己

準備資金確保や借入金利負担の軽減効果に留まり、最終的には、新船の建造原価と金利相当額の全額を船社が負担している。

政府の政策においても、部分最適の施策だけではなく、物流政策全体を俯瞰した施策を進めることが必要ではないか。

6. おわりに

政府は、2030年度を目標年度とし、「2024年問題」に対しては、輸送力不足34%の解消、「脱炭素」実現のためCO₂排出量46%削減を、政策目標に掲げた。

本研究では、この目標実現のための段階的施策として、2027年前半に利用可能性が見込める輸送手段として、自動運転トラックと鉄道・フェリーの組合せを提案し、その労働生産性向上、CO₂排出量削減の効果と、時間・コスト面からの輸送手段転換の可能性を確認した。

現在の政府政策には、2030年までの中間年の具体的施策が示されていない。その立案の際の1施策として、検討されることに期待したい。

参考文献

- 1) 早川祥史・味水佑毅・根本敏則：欧州における道路貨物輸送分野のカーボンニュートラル政策，日本物流学会 全国大会研究報告集，No.40，pp.81-84，2023.
- 2) 根本敏則：物的労働生産性の向上による持続可能な物流の実現，港湾，Vol.101，No.3，pp.6-7，2024.
- 3) 加藤博敏・根本敏則・高野茂幸・堰向直彦：貨物輸送手段の労働生産性・CO₂排出量の比較，海運経済学会誌，No.57，pp.1-10，2023.

(2024年3月受理)