

2020年冬 (第48回)

研究報告会

【録画配信】

配信期間：2020年12月11日(金)10:00～
2021年 1月29日(金)10:00

開会挨拶

宿利正史 運輸総合研究所会長

所長挨拶

山内弘隆 運輸総合研究所所長

研究報告

1. 「新型コロナウイルス感染症による航空業界への影響と対応策」
藤村修一 運輸総合研究所客員研究員
2. 「グローバルロジスティクスおよびサプライチェーンのレジリエンス強化に関する研究
—COVID-19が日本企業に与える影響からの展望—」
マハルジャン ラジャリ 運輸総合研究所研究員
3. 「働き方改革等の進展による女性就業者の増加が鉄道需要に及ぼす影響の分析」
根本早季 運輸総合研究所研究員
4. 「海運活用によるトラックドライバーの働き方改革と輸送力の確保
—複合一貫輸送の労働生産性評価と輸送力・労働環境の改善効果—」
加藤博敏 復建調査設計株式会社 技師長
敬愛大学／一般財団法人みなと総合研究財団 客員研究員
5. 「海運における温室効果ガス削減施策の評価 —一般船の生存時間解析とシミュレーションから—」
岡田 啓 運輸総合研究所客員研究員



藤村修一



マハルジャン ラジャリ



根本早季



加藤博敏



岡田 啓

新型コロナウイルス感染症による航空業界への影響と対応策

藤村修一
FUJIMURA, Shuichi

運輸総合研究所客員研究員

1—はじめに

2019年末に中国武漢で発生した新型コロナウイルス感染症は、その後瞬く間に世界に拡大し、各国政府は相次いで独自の移動制限および検疫制度を導入した。これに加え、利用者の感染に対する不安感などから、航空旅客需要、とりわけ国際線旅客需要は著しく低迷し、現在世界の航空会社は大幅な減便を余儀なくされている。

国際航空運送協会 (IATA) は、2020年11月24日に2020年～2021年の航空業界全体の売上高および収支見通しについて発表した¹⁾。それによると2020年のRPK (有償旅客キロ) は2019年に比べ66%減少し、売上高は61%減少する見込みである。一方でコストは46%の減少にとどまるため、収支は大幅に悪化し、過去最悪の1,185億ドル (約12兆円) の損失を計上すると予想されている。

2021年にはワクチン接種の効果により経済活動は大幅に改善すると予想されるものの、航空業界全体の回復は遅く、2019年比でRPKは49%減少し、売上高は45%減少する見込み。2021年の損失は387億ドル (約4兆円) との見通しで、利益率は2020年の▲36.2%から2021年には▲8.4%に改善すると予想されている。

本報告では、新型コロナウイルス感染症の航空業界に与える影響を分析するとともに、これに対するIATA、ICAO、グローバルアライアンスの取り組みおよび各国政府、航空会社が採用している対応策を検証し、今後国際航空需要回復に向けてとるべき方策について検討する。

2—IATAの動き

IATAは航空の安全な再開に向けて数々の声明を発表し、業界としての決意を表明している。

2.1 2020年5月20日発表の「航空を安全に再開するためのロードマップ」

IATAはACI (国際空港評議会) と共同で航空を安全に再開するためのロードマップ (A Roadmap for Restarting Aviation) を発表²⁾。これはICAOガイドライン「Take-off」(後

述) の策定でも参考にされた指針で、感染リスクを軽減するのに有効な対策を示したもの。概要は以下の通り。

- (1) 旅行前: 接触者履歴の把握
- (2) 出発空港: ターミナルの混雑防止, 体温測定, ソーシャルディスタンス, マスク着用などを推奨
- (3) 機内: 空席の確保によるソーシャルディスタンスは不要
- (4) 到着空港: 入国・税関審査の簡素化および受託手荷物受取の時間短縮

2.2 2020年10月7日発表の声明

IATAとACI (国際空港評議会) は共同で、14日間の自主隔離の代替となる検査手順を確立し、世界的に調和・一貫した形で導入できるようにICAOに要請した³⁾。

3—ICAOの動き

ICAOは航空業界の復興プランを描く作業部会CARTを立ち上げ、WHOやIATAなどと連携し、ガイドライン策定を進めてきた。

3.1 2020年6月1日発表の航空の安全な再開に向けたガイドライン「Take-off」について⁴⁾

- (1) Public Education: 正確かつ迅速な情報の伝達
- (2) Physical Distancing: WHOや各国公衆衛生当局のガイドラインに準拠したソーシャルディスタンスの維持
- (3) Face Coverings and Masks: 乗客および従業員によるマスクの着用
- (4) Routine Sanitation: 感染可能性のある全エリアの定期的消毒
- (5) Health Screening: 飛行前および飛行後の健康申告, 検温などの実施
- (6) Contact Tracing: アプリなどを利用した公衆衛生当局による入国旅客および従業員の接触履歴の把握
- (7) Health Declarations: 全旅客に対し, 新型コロナウイルス感染症関連の申告書の提出を義務付け (電子申告を推奨)

(8) Testing: 迅速かつ信頼性の高い検査方法が入手可能となった段階でCOVID-19検査を実施

3.2 2020年11月23日 発表の“Testing and Cross-border Risk Management Measures Manual”について

ICAOは2020年11月23日に“Testing and Cross-border Risk Management Measures Manual”を発表した^{5,6)}。以下の表—1および表—2の通り、リスクに応じて出発国の色分けを行い、入国に関する制限措置の緩和または強化を行うことを推奨している。

4——グローバルアライアンスの動き

ワンワールド、スカイチーム、スターアライアンスの3大グローバル・アライアンスは共同で、各国政府に対する航空業界の要望⁷⁾、旅客向けの安全・衛生面での航空会社の取り組み⁸⁾、ICAOガイドラインへの支持⁹⁾に関する声明を発表した。

5——航空会社の動き

各社とも、新型コロナウイルス感染症の影響に伴う各国における出入国規制や検疫体制の強化ならびに需要動向等を踏まえ、2020年1月以降漸次減便することで供給量の削減に努めている。また、大型機を中心とした航空機の早期退役や新機材導入の延期などにより機材数の圧縮を実施している航空会社も多い。さらに、賃金減額や無給休暇制度の導入のほか一部航空会社では解雇も視野に入れつつ人件費の削減を図っている。各航空会社では流動性確保のため、後述する政府からの支援の他に、自力での資金調達を行っている。

■表—1 国・地域における新型コロナウイルス感染に関するリスクの判定(色分け)

		検査陽性率	
		5%以下	5%超
1日の10万人あたり新規感染者数	25人以下	Green	Orange
	25人超	Orange	Red
ただし、週間検査実績10万人あたり250件未満		Gray	

出典：ICAO “Testing and Cross-border Risk Management Measures Manual”⁶⁾ より筆者作成

■表—2 リスクに応じた入国時の対応—リスク・ベスト・アプローチ

	到着国での対応・行動制限
Green	行動制限なし
Orange	行動制限なし、滞在先の届出、検査
Red	行動制限の可能性あり、検査
Gray	

出典：ICAO “Testing and Cross-border Risk Management Measures Manual”⁶⁾ より筆者作成

しかしながら、経営破綻する航空会社も徐々に増えてきており、また世界のほとんどの航空会社では2020年の決算は大幅な赤字になる見通しとなっている。

6——各国政府の動き

6.1 航空会社への財政支援

各国政府は社会インフラとして重要な役割を担っている航空産業への支援を実施している。加えて、各国特有の事情から積極的に支援を行っている国もある。米国ではCivil Reserve Air Fleet (CRAF, 民間予備航空隊) と呼ばれる予備軍事制度があり、有事において民間航空会社の機材を活用し、兵力空輸の一助とすることとしており¹⁰⁾、有事の輸送力確保の観点から航空会社支援を積極的に実施している側面がある。また、ドイツでは敵対的買収を阻止することを支援の条件としていたり¹¹⁾、フランスでは環境対策を条件としたりするなど¹²⁾、国によってその目的もさまざまである。日本においても、新型コロナウイルス感染症が拡大した武漢からの邦人帰国や自衛隊の海外派遣など、政府に代わって民間航空会社のチャーター便が活躍する場面も多く、政府が支援を行う理由のひとつと言えるのではないだろうか。

6.2 混雑空港における未使用スロットの保全

各国当局は2020年サマー及びウィンタースケジュール期間のU/L (Use it or lose it) ルールの一時停止を発表¹³⁾。

6.3 出入国規制および検疫制度

感染の程度が世界各国で大きく異なるため、世界的に一貫したルールが確立されていないのが現状である。

7——おわりに

これまで見てきたように、新型コロナウイルス感染症が航空業界に与える影響は極めて甚大であり、2020年の航空旅客需要は2019年に比べ3分の1程度にまで落ち込むことが予想されている。とりわけ国際線旅客需要への影響は大きく、2019年比はわずか数%という状況である。IATAおよび各国の主要航空会社の経営者の多くが、この落ち込んだ航空需要の回復には、4～5年かかると見ている。したがって、まずこの縮小した航空需要に合わせ、航空会社は一旦小さく生まれ変わることが求められるであろう。

一方で、社会インフラとしての航空、とりわけ代替手段のない国際線は経済の原動力とも言える。新型コロナウイルスの発生は航空業界にとってはまさに不可抗力であり、世界各国の

政府は自国の航空会社の保護のため、大規模な航空会社支援策を実施している。日本においても、更なる政府支援の準備が進められているところである。

感染拡大防止と経済活性化の両立のためには、リスクを抑えつつ出入国規制および14日間自主隔離措置の緩和・廃止が必要となる。リスク・ベアスト・アプローチおよび飛行前検査など、新たな国境管理・検疫体制の有効性を検証し、世界的に調和のとれた形での導入が求められている。

生体認証などの先端デジタル技術の導入により、非接触・非対面のプロセスを実現するほか、飛行前検査陰性証明およびワクチン接種証明などの鍵となる情報を生体情報へ紐付けることにより、証明確認の簡素化ならびに証明書偽造の防止を実現できる。

これにより、「Withコロナ」の時代においても、利用者にとって「安全」かつ「簡単・便利」な空の旅を提供できるようになり、早期の需要回復を実現することが可能になるであろう。

注

注1) 本稿中の為替レート は以下のレートで統一した。

- 1ドル (USD) =105円 (JPY)
- 1ユーロ (EUR) =123円 (JPY)
- 1シンガポールドル (SGD) =77円 (JPY)
- 1ウォン (KRW) =0.09円 (JPY)

参考文献

- 1) IATA [2020], "Deep Losses Continue Into 2021", (online), <https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-11-24-01/>, 2020/11/24
- 2) IATA [2020], "Safely Restarting Aviation, ACI and IATA Joint Approach", (online), <https://www.iata.org/contentassets/5c8786230ff34e2da406c72a52030e95/safely-restart-aviation-joint-aci-iata-approach.pdf>, 2020/5/20
- 3) IATA [2020], "ACI World and IATA in Joint Push for Globally Consistent

Approach to Testing", (online), <https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-10-07-01/>, 2020/10/7

- 4) ICAO [2020], "ICAO Council adopts new COVID-19 aviation recovery 'Take Off' guidelines to reconnect the world", (online), <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/ICAO-Council-adopts-new-COVID.aspx>, 2020/6/1
- 5) ICAO [2020], "New manual issued on COVID-19 testing and cross-border risk management", (online), <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/New-manual-issued-on-COVID19-testing-and-cross-border-risk-management.aspx>, 2020/11/23
- 6) ICAO [2020], "Doc 10152_Manual on Testing and Cross-border Risk Management Measures", (online), https://www.icao.int/covid/cart/Documents/Doc%2010152_Manual%20on%20Testing%20and%20Cross-border%20Risk%20Management%20Measures.pdf#search=DOC%2010152, 2020/11/23
- 7) Star Alliance [2020], "oneworld, SkyTeam and Star Alliance member airlines call on governments and stakeholders for extraordinary support", (online), <https://www.staralliance.com/ja/news-article?newsArticleId=443350483&groupId=20184>, 2020/3/16
- 8) Star Alliance [2020], "oneworld, SkyTeam and Star Alliance Come Together to Let Travellers Know They Can Fly With Confidence", (online), <https://www.staralliance.com/ja/news-article?newsArticleId=4263425&groupId=20184>, 2020/7/9
- 9) Star Alliance [2020], "oneworld, SkyTeam and Star Alliance support a globally harmonised approach to health testing to build a framework of trust", (online), <https://www.staralliance.com/ja/news-article?newsArticleId=4317249&groupId=20184>, 2020/11/10
- 10) Official United States Air Force Website [2020], "Civil Reserve Air Fleet", (online), <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104583/civil-reserve-air-fleet/>, 2014/7/28
- 11) Financial Times [2020], "German government agrees €9bn bailout for Lufthansa", (online), <https://www.ft.com/content/3e227f73-d421-4b9e-bd57-1723d16becdb>, 2020/5/26
- 12) 日経電子版[2020], "コロナ経済対策環境重視 長期的視野で各国立案", (online), <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO59219290X10C20A5MM8000>, 2020/5/17
- 13) IATA [2020], "Aviation Industry Agrees Vital Slot Use Relief", (online), <https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2020-11-26-01/>, 2020/11/26

Assessing the impacts of COVID-19 pandemic on Japanese Companies from Logistics and Supply Chain Resilience Perspective

MAHARJAN RAJALI
マハルジャン, ラジャリ

運輸総合研究所研究員

1—INTRODUCTION

The COVID-19 pandemic has placed unprecedented stresses on logistics and supply chain (SC) activities of almost all industries creating many immediate challenges. Bottlenecks in transport and logistics have disrupted the movement of products along SC. The international logistics for maritime, air, and terrestrial routes experienced delays, postponements, cancellations, and obstructions due to large-scale travel restrictions and the closing of borders (Xu et al., 2020). The pipelines of global SCs, from raw materials supply to delivery of products, are heavily affected by the COVID-19 pandemic, and the disruptions are observed during all phases of the global SC (Xu et al., 2020).

Among the diverse impacts of COVID-19 pandemic in Japanese logistics sector, maritime, air, and land transportation has been affected mainly due to the influence of the measures to prevent the spread of coronavirus infection. Maritime transportation has been affected due to the blockade of some ports, air transportation has been affected due to the decline in the number of operations of passenger aircraft and land transportation due to the blockade of some roads and railway tracks (METI, 2020). These measures can have a significant impact on economic activity and quality of life in general because maritime transportation accounts for 99.7% of Japan's international trade in terms of trade volume, air transportation accounts for 40% in terms of trade amount of money and land transportation and warehouses combined accounts for nearly 80% of Japan's overall logistics costs. due to the difference in features and functionality of each routes there is a limitation on the substitutability of each logistics

routes (METI, 2020).

In terms of the impacts of COVID-19 pandemic on logistics facilities, according to CBRE's Japan Logistics Occupier Survey conducted in March 2020– which asked respondents (companies in Japan that use logistics facilities) a series of questions to gauge the short-, medium- and long-term impacts of COVID-19 pandemic on logistics demand – found that in the short term impacts such as shortage of warehouse workers, increasing cargo and delivery volume, and shortage of delivery workers were observed based on response from 405 companies. On the other hand, regarding the medium- to long-term impact based on response from 361 companies, the most selected response was additional inventory for unexpected situations (chosen by 30% respondents) and accelerated automation of warehouse operations (chosen by 17% respondents).

In terms of the impacts of COVID-19 pandemic on Japanese companies overseas, according to a survey conducted by Japan's Chamber of Commerce and JETRO's overseas office in China, Malaysia, Indonesia, India and US in the months April to July 2020, Japanese companies overseas observed operational decline caused mainly due to, decrease in domestic and overseas demand, operational regulations by the government, disruptions to domestic and overseas SC, logistics constraints and high cost.

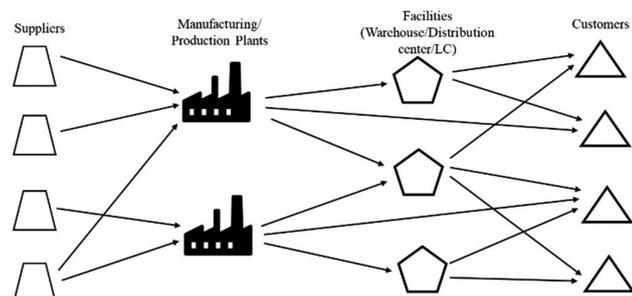
SC resilience is acknowledged as one of the most important issues and ways to combat disruptions in the SC (Klibi et al., 2010; Brandon-Jones et al., 2014; Dixit et al., 2016; Dehghani et al., 2018). Given the widespread impacts of COVID-19 pandemic, adoption of logistics and SC resilience strategies is and will be highly detrimental to ensure that the companies are capable of preventing, responding, and recovering

from the impacts of disruptions moving forward. This study aims to investigate and analyze the impacts of COVID-19 pandemic on logistics and SC activities and firm performance of Japanese companies, recognize current status of resilience preparedness, response, and future plans from logistics and SC perspective in different Japanese companies, and finally, analyze and identify if the existing logistics and SC resilience strategies (if) implemented by the interviewed companies helped to either withstand or respond or recover from the impacts of COVID-19 pandemic to provide insights and recommendations to develop resilience from logistics and SC perspective in Japanese companies.

2—LOGISTICS AND SC RESILIENCE

Logistics and SC resilience can be defined as the ability to be prepared for unexpected risks, responding and recovering quickly to potential disruptions to return to its original situation or grow by moving to a new, more desirable state in order to increase customer service, market share and financial performance.

For clarity of understanding different impacts of disruptions on logistics and SC network, Figure—1 shows a typical structure of a SC network. A SC consists of a network of suppliers, manufacturing/production centers, facilities like logistics center, distribution center, or warehouse, and customers which are connected by different links. A failure in a node or link can potentially stop the flow of materials across the network. Disruptions could arise from natural disasters, manmade disasters, pandemics, epidemics, government regulations etc. These



■Figure—1 Typical structure of the SC network

different sources of disruptions could impact either nodes and/or links of the SC network. The disruptions could impact suppliers, plants, facilities and customers. Similarly, the disruptions could also impact the links connecting these nodes necessitating incorporation of appropriate resilience strategies.

3—RESEARCH METHODOLOGY

This study uses a qualitative approach to elicit necessary information. The research design for this study is exploratory and no statistical analysis is performed. An interview-based approach which is the most common format of data collection in qualitative research is chosen because it is an excellent way to gather detailed information. Also interview-based approach is chosen because the respondent's opinions are representative of the scope of the issue under study (Cooper and Schindler, 2011). This study employs a combination of purposive sampling technique and snowball sampling techniques to interview key informants from companies with global logistics and SC network. This approach allows for maximum variation, following the principles of appropriateness and adequacy (Gaskell, 2000; Seawright and Gerring, 2008). The main selection criteria used for selecting respondent companies is whether or not they have global logistics and SC activities.

This study uses semi-structured questionnaires for the interview as the primary purpose is to identify as many important issues relevant to the research field as possible (Sekaran, 2003). The interview questions are designed using the funneling technique (Sekaran, 2003; Cooper and Schindler, 2011) such that the questions are structured from broad topic related to logistics and SC activities of the company to specific topics of COVID-19 pandemic's impacts on logistics and SC activities, firm performance, status of logistics and SC resilience, and relationship between the logistics and SC resilience activities and company's ability to withstand/respond/recover from the impacts of COVID-19 pandemic. Specifically, the interview questions are broadly classified into the following:

1. What is the impact of COVID-19 pandemic on

logistics and SC activities?

2. What is the impact of COVID-19 pandemic on firm performance?
3. What is the status (past, present and future) of logistics and SC resilience?
4. Did existing logistics and SC resilience strategies help to withstand or respond or recover from the impacts of COVID-19 pandemic?

Data collection was performed from October to December 2020. The interviews were conducted in Japanese using online platforms like Zoom and Microsoft Teams. The respondents were on decision-making level including Director and General Manager of Departments. A total of three in-depth interviews were conducted with 4 people, with each interview lasting an approximately one hour. All the conversations are recorded with permission from the respondents to ensure that correct information is gathered from the interview. A brief profile of the interviewed companies is presented in Table—1.

4—FINDINGS AND DISCUSSION

This section presents the empirical results based on the interview.

4.1 Status of logistics and SC resilience

The status of logistics and SC resilience of the interviewed companies is evaluated based on their preparedness, response, and future intended initiatives. Table—2 presents the status of logistics and SC resilience preparedness, response, and future intended initiatives in the interviewed companies. Regarding logistics and SC preparedness we specifically asked for initiatives undertaken for natural disasters and pandemics; response was focused

specifically on COVID-19 pandemic; and future intended initiatives for both natural disasters and pandemics.

4.1.1 Logistics and SC resilience preparedness

In terms of logistics and SC resilience preparedness strategies, Company 1 had strategies such as business continuity planning, provision of lateral transshipment between logistics centers (LCs), and moving electrical lines away from tsunami prone areas as a part of resilience preparedness all of which were implemented after 2011 Great East Japan earthquake. Company 2 did not have any form of preparedness. Company 3 had facility fortification and facility dispersion as a part of their resilience preparedness. It was found that none of the companies had preparedness for pandemic. It can be observed that Company 1 and 3 both of which comes under the category of large enterprises had some form of logistics and SC resilience preparedness. On the contrary, Company 2 which comes under the category of small and medium enterprises did not have any form of logistics and SC resilience preparedness.

4.1.2 Logistics and SC resilience response

In terms of logistics and SC resilience response strategies adopted by the respondent companies, Company 1 employed strategies such as change of transportation mode and lateral transshipment of goods from low demand LCs to high demand LCs, Company 2 implemented strategies such as seeking alternative suppliers for products with single supplier, and Company 3 employed strategies such as using warehouses of other companies, moving stocks to

■Table—1 Respondent’s company profile

	Industry type	Company category	Customer base
Company 1	Cosmetic	Large enterprise	Supermarkets Wholesalers Retailers
Company 2	Trading	Small and medium enterprise	Manufacturing companies Assembly companies Maintenance companies
Company 3	Logistics and supply chain solutions	Large enterprise	Manufacturing companies Assembly companies Production companies Trading companies

■Table—2 Status of logistics and SC resilience

	Status of logistics and supply chain resilience			
	Preparedness		Response	Future plan
	Natural disaster	Pandemic		
Company 1	- Business continuity plan - Provision of lateral transshipment between LCs - Moving electrical lines away from tsunami prone areas	None	- Change of transportation mode - Lateral transshipment of goods from low demand LCs to high demand LCs	- Research on how to accurately predict demand - Increase capacity of LCs - Increase inventory of raw materials in Japan
Company 2	None	None	- Seeking alternative suppliers for products with single supplier	- Diversification of business
Company 3	- Facility fortification - Facility dispersion	None	- Using warehouses of other companies - Moving stocks to overseas warehouses - Operating temporary warehouse overseas	- No actions have been planned yet.

overseas warehouses, and operating temporary warehouse overseas to respond to the impacts of COVID-19 pandemic.

It can be concluded that the response strategy chosen by each company depends firstly on the impacts observed by them and secondly on the industry type. For example, in case of Company 1 which is a cosmetic company which observed a surge in demand for sanitary products, chose to change the mode of transportation by using air transportation instead of sea transportation to import necessary goods in order to minimize transportation time and meet the demands on time. On the other hand, Company 3 which is a logistics and SC service provider which also observed surge in demand for their warehousing space used strategies such as collaboration with other companies to obtain more warehouse space, moving finished goods to overseas warehouses to meet the incoming demand. However, it is important to note that the implementation of these response strategies faced several challenges due to labor shortage, sealed borders, trade control, and shutdown of commercial aviation.

4.1.3 Logistics and SC resilience future plan

When asked about their future plans for enhancing resilience, Company 1 mentioned that the company will focus on further research to accurately predict demand, implementing strategies like increase capacity of LCs, and increase inventory of raw materials in Japan to prevent from shortages in future. Company 2 mentioned a completely different strategy which is diversification of business and Company 3 does not have any actions planned as of now. From these findings, we can conclude that there is no coherence on the future plan for enhancing resilience of logistics and SC activities between the interviewed companies largely because of the uncertainty associated the timing and impact of different disruptions and difference in their nature of business.

4.2 Impact of COVID-19 pandemic on logistics and SC activities

The COVID-19 pandemic has caused considerable damage to different industry sectors with varying

■Table—3 Impacts of COVID-19 on logistics and logistics and SC activities and firm performance

	Impacts of COVID-19 on	
	Logistics and SC activities	Firm performance
Company 1	<ul style="list-style-type: none"> • Increase in demand for sanitary products 	N/A
Company 2	<ul style="list-style-type: none"> • Decrease in demand from customers • No access to suppliers from March – August 	Hard to tell yet, should wait until the end of March.
Company 3	<ul style="list-style-type: none"> • Increase in demand for warehouse storage • High air transport cost • High sea transport cost 	Neither loss nor gain.

impacts across different dimensions. Here we identify the impacts of COVID-19 pandemic on logistics and SC activities of the three Japanese companies which is summarized in Table—3. Based on the responses from the interviewees, Company 1 observed increase in demand for their product signaling a positive impact. Company 2 observed a decrease in demand for their product and/or service and difficulty accessing their suppliers signaling a negative impact. On the other hand, Company 3 observed both positive and negative impacts as they saw an increase in demand for their product and/or service signaling a positive impact a subsequent increase in both sea and air transportation costs signaling a negative impact. If we look at these impacts in relation to the structure of logistics and SC network, we can observe that Company 1 mainly observed impacts on the nodes, Company 2, and 3 observed impacts both on nodes and links of the SC network. We can conclude that different companies faced different types of impacts.

4.3 Impact of COVID-19 pandemic on firm performance

In terms of the impacts on firm performance as shown in Table—3, Company 1 did not comment, for Company 2 since their firm performance is generally evaluated once a year, interviewee commented that it was hard to tell yet, and Company 3 did not observe any significant increase or decrease in firm performance. This is a unique observation in terms of the impact of COVID-19 pandemic on firm performance of Japanese companies which highlights the importance of the timing of the interview to obtain necessary information.

4.4 Benefits of logistics and SC resilience preparedness

To gather information on whether the companies with logistics and SC resilience preparedness thought they benefited from their preparedness initiatives for natural disasters in responding to the impacts of COVID-19, pandemic respondents were asked about their opinion on whether or not they think resilience preparedness helped to prevent or respond or recover from the impacts of COVID-19 pandemic. While Company 1 thought it was helpful Company 3 thought it was not helpful. This question is not applicable to Company 2 because they did not have resilience preparedness in place.

To understand why the responses for Company 1 and 3 are different let's look at their resilience strategy first. The concept of lateral transshipment implemented by Company 1 which basically means that there is a prior agreement and mechanism in place to move goods between LCs in the same echelon when needed. Company 1 whose main products are cosmetics saw a huge surge in demand for sanitary products as the impact of COVID-19 pandemic. By using their lateral transshipment strategy, Company 1 was able to move goods from low demand LCs to high demand LC immediately preventing lost sales. Company 3 had facility fortification which refers to retrofitting of facility structure and facility dispersion which refers to having facilities in more than one location as their resilience strategies. Company 3 whose main business is providing logistics and SC solutions saw a huge increase in demand for their warehouse space and high transport costs as the impact of COVID-19 pandemic. Neither of the resilience strategies implemented by the company helped to respond to the impacts of COVID-19 pandemic Firstly because the company was not prepared for such big scale impact and second the resilience strategies adopted by the company did not provide additional space in the scale it needed.

significant impacts due to COVID-19 pandemic and the impacts of COVID-19 pandemic were found to be different for different Japanese companies. From the interviews, it was found that only large enterprises had some sort of logistics and SC resilience preparedness in place specifically in anticipation of natural disasters. The resilience preparedness strategies adopted by the large enterprises were mainly targeted for enhancing resilience of nodes of the SC. Resilience of links of the network were overlooked. However, the actual impacts of COVID-19 pandemic were seen both on nodes and links.

Apart from fluctuation in demand and supply, disruption to domestic and overseas SC and logistics constraint & high cost were found to be the major factors behind operational decline of Japanese companies. In terms of firm performance, companies observed positive and negative impacts. In terms of the benefits, logistics and SC resilience preparedness strategies, facilitated one company to streamline their response strategies, however, it did not facilitate to streamline response and/or recovery activities in other company. As such one company observed benefits from preparedness for natural disasters but the other company did not.

Although, it is impossible to anticipate a global crisis of the scale of the COVID-19 pandemic, it can be argued that companies with investment in strategic logistics and SC resilience preparedness are better prepared to tackle the challenges and can expect to recover faster to a certain extent depending on the nature of their business. Therefore, companies could benefit from implementation of strategic logistics and SC resilience strategies to avoid, withstand respond or recover from the impacts of the future disruptions. This study is a work-in-progress and is in preliminary phase. Consequently, there are only limited number of samples. As a results, practical implications are difficult to be generated at this moment. Future work will focus on conducting more interviews and a survey with different companies to achieve the entirety of the research objectives.

5—SUMMARY AND CONCLUSION

Companies in different sectors have already faced

参考文献

- 1) Brandon-Jones, E., Aquire, B., Autry, C. W., & Petersen, K. J. (2014) A Contingent Resource-Based Perspective of Supply Chain Resilience and Robustness. *Journal of Supply Chain Management*, 50(3), 22-73.
- 2) CBRE, Japan Market Flash, Outbreak to drive structural change in logistics industry and accelerate occupier demand. April 1, 2020 <https://www.cbrekorea.com/en/research-reports/Jpan-MarketFlash-1-April-2020-outbreak-to-drive-structural-change-in-logistics-industry>
- 3) Cooper, D.R. and Schindler, P.S. (2011) *Business Research Methods*, McGraw-Hill, Singapore.
- 4) Dehghani, E., Jabalameli, M. S., Jabbarzadeh, A., & Pishvaei, M. S. (2018) Resilient solar photovoltaic SC network design under business-as-usual and hazard uncertainties. *Computers & Chemical Engineering*, 111, 288-310.
- 5) Dixit, V., Seshadrinath, N., & Tiwari, M. K. (2016) Performance measures based optimization of SC network resilience: A NSGA-II + Co-Kriging approach. *Computers & Industrial Engineering*, 93, 205-214.
- 6) Gaskell, G. (2000) *Individual and group interviewing. Qualitative researching with text, image and sound: A practical handbook*. Sage Publications.
- 7) Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., Sheu, J-B., & Moghadam, H. S. (2016) Designing a SC resilient to major disruptions and supply/demand interruptions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 94, 121-149.
- 8) Klibi, W., Martel, A., & Guitouni, A. (2010) The design of robust value-creating SC networks: A critical review. *European Journal of Operational Research*, 203(2), 282-293.
- 9) Ministry of Economy Trade and Industry (METI), (2020) White paper on international economy and trade 2020 (outline), Trade Policy Bureau METI. https://www.meti.go.jp/english/press/2020/pdf/0707_001a.pdf
- 10) Scheibe, K.P., & Blackhurst, J. (2017) SC disruption propagation: a systemic risk and normal accident theory perspective. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 43-59.
- 11) Seawright, J. and Gerring, J. (2008) Case selection techniques in case study research: A menu of qualitative and quantitative options. *Political Research Quarterly*, 61 (2), 294-308.
- 12) Sekaran, U. (2003) *Research Method for Business*, Wiley, Singapore.
- 13) Survey on the impact of COVID-19 conducted by Japan's Chamber of Commerce and JETRO's overseas offices in each country/region, 2020. https://www.jetro.go.jp/ext_images/_News/en/2020/b79a1ae9c1af7f8d/1-keypoints_en.pdf
- 14) Xu, Z., Elomri, A., Kerbache, L., and El Omri, A. (2020) Impacts of COVID-19 on Global Supply Chains: Facts and Perspectives. in *IEEE Engineering Management Review*, 48(3), 153-166.

働き方改革等の進展による女性就業者の増加が 鉄道需要に及ぼす影響の分析

根本早季
NEMOTO, Saki 運輸総合研究所研究員

三浦 久
MIURA, Hisashi 運輸総合研究所研究員

伊東 誠
ITO, Makoto 運輸総合研究所主席研究員

1—背景と目的

近年、国の成長戦略の柱として、「Society5.0」の実現や新しい働き方の定着、決済インフラの構築等が目標として掲げられ、第四次産業革命によるデジタル化の流れも相まって、これまで当たり前とされてきた生活様式が大きく変化している。鉄道各社においても、新たな鉄道ニーズに対応した駅機能の拡充などを検討する必要がある。

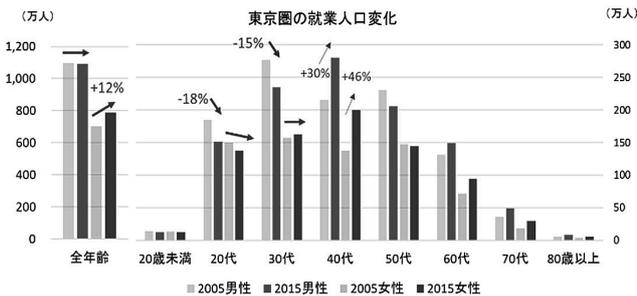
そのような背景の中、鉄道需要の6割を担う通勤需要に、最もインパクトを与える「働き方改革」は、鉄道各社にとって重要な関心事といえる。なかでも働き方改革によって急激に進んだ「女性就業者の増加」は目覚ましく、男性就業者は年代によって横ばい、または減少傾向の中で、女性就業者はどの地域においても大きく増加していることが分かった。(図—1)

そこで本研究では、

- ▶近年の鉄道各社の輸送人員の増加は、女性就業者の増加が寄与しているのではないか
- ▶主に共働き世帯で、職住近接志向が高まり、都心部周辺からの近距離通勤が増えているのではないかと
いう2つの仮説に基づいて、女性就業者の増加が鉄道需要にどのような影響を与えているか、分析を行う。

2—研究フロー

本研究は図—2のフローで実施する。



■図—1 東京圏の就業人口変化

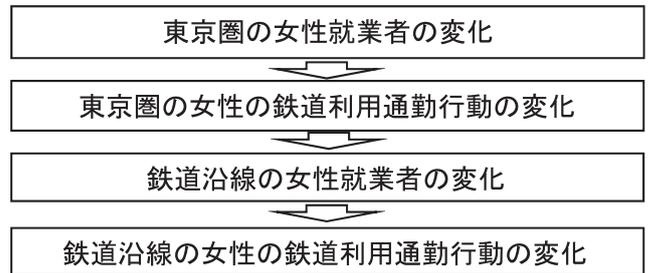
3—東京圏の女性就業者の変化

東京圏の中でも特に女性就業者の増加が目立つ東京23区を発地とするODを表—1に示す。全てのODにおいてトリップは増加しており、特に都心3区へ通勤するトリップの増加量は、全体のOD増加量の4割近くを占めている。また、トリップの増加率に着目すると、23区東部や神奈川県へ通勤するODの増加が顕著に見られた。主に江東区や横浜市へ通勤するODにおいて増加が目立つ。

同一地域内のODは、他地域へ跨ぐODと比較して増加率が低い傾向が見られ、鉄道を利用した長距離の通勤が増えていく可能性が示唆される。

4—東京圏の女性の鉄道利用通勤行動の変化

次に、鉄道を利用した通勤ODは、近年急速に進む働き方改革によってどのように変化しているか把握するため、最新の2015年と2005年の国勢調査から得られた通勤目的OD表を用いた。なお、最新年次の国勢調査では利用交通機関調査を



■図—2 本研究のフロー

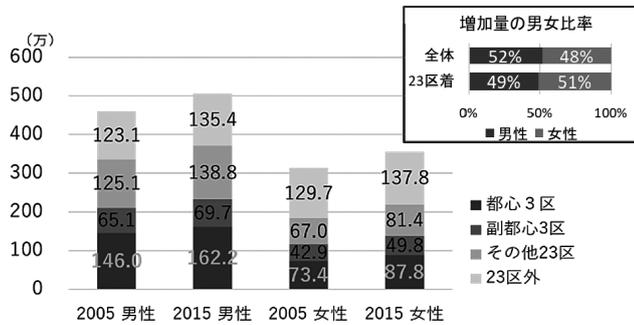
■表—1 東京23区を発地とする女性の通勤OD表

00変化率 2015年/2005年	都心3区	副都心 3区	23区東部	23区 北西部	23区 北西部	23区南部	多摩	神奈川県	埼玉県	千葉県	計
都心3区	1.43	1.60	1.92	1.64	1.53	1.85	1.75	1.74	2.28	2.04	1.52
副都心3区	1.48	1.07	1.79	1.37	1.38	1.41	1.37	1.52	1.92	1.66	1.43
23区東部	1.28	1.33	1.12	1.18	1.40	1.65	1.41	1.61	2.07	1.47	1.42
23区北西部	1.44	1.38	1.67	1.10	1.37	1.63	1.59	1.55	1.95	1.48	1.53
23区北西部	1.33	1.27	1.75	1.22	1.07	1.42	1.39	1.43	2.00	1.41	1.27
23区南部	1.23	1.13	1.60	1.24	1.28	1.05	1.18	1.30	1.60	1.42	1.00
23区南部	1.34	1.23	1.80	1.35	1.44	1.40	1.04	1.56	1.64	1.57	1.12
到着地別 00変化率 2015年-2005年	135,270	51,045	44,272	27,572	16,794	20,197	23,074	12,499	19,639	11,428	8,420
											372,543

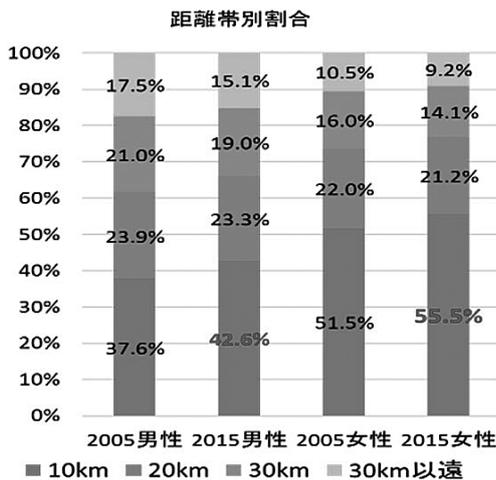
実施していないため、今回は2018年と2008年のPT調査で得られたODごとの鉄道分担率を用いて推計した。

4.1 鉄道通勤トリップの到着地別分析

図一3の通り、女性通勤者の東京23区へ通勤するトリップ数が20%の増加、構成比率では3%増加している。また、男女共



■図一3 東京圏の到着地別鉄道通勤トリップ数の推移



■図一4 距離帯別構成比率（都心3区着）

■表一2 沿線別の男女別人口推移

路線	生産年齢人口増加率		就業人口増加率		
	男性	女性	男性	女性	
JR東海道線	全体	3.0%	-3.0%	0.5%	13.3%
	10km-30km	2.8%	5.1%	7.2%	19.2%
	30km-50km	3.1%	-7.1%	-3.3%	10.1%
東急田園都市線	全体	-3.0%	-1.6%	0.4%	17.0%
	10km-30km	-3.0%	1.5%	1.1%	21.3%
	30km-50km	-2.9%	-4.5%	-0.2%	13.1%
小田急小田原線	全体	-4.8%	-4.4%	-1.1%	12.9%
	10km-30km	-2.5%	1.8%	1.9%	18.7%
	30km-50km	-6.1%	-7.6%	-2.6%	9.9%
西武新宿線	全体	-6.8%	-6.6%	-3.2%	10.4%
	10km-30km	-3.0%	-1.6%	-0.3%	14.1%
	30km-50km	-9.1%	-9.8%	-4.9%	8.2%
東武東上線	全体	-5.3%	-5.6%	-1.9%	10.3%
	10km-30km	-3.2%	-0.4%	-1.0%	15.7%
	30km-50km	-6.6%	-8.4%	-2.3%	7.4%
東京メトロ東西線	全体	-5.4%	-2.5%	-0.9%	15.9%
	10km-30km	-5.4%	-2.5%	-0.9%	15.9%
	30km-50km	-	-	-	-

に通勤先の構成比率は、都心3区、副都心3区へ通勤する割合が全体の4割を占めている。

全体の鉄道通勤トリップ数の増加量に占める、男女比率は、男女同程度である。

4.2 都心3区通勤者の居住地の距離帯分布

図一4に示す距離帯別の構成比率に着目すると、男性よりも女性の方が近距離帯の構成比率が高い傾向にあり、特に10km圏内からの通勤が半数以上を占めていることが分かる。女性の方が男性よりも近距離圏からの通勤割合が高い傾向は、副都心3区を着地とするトリップについても同様の傾向が見られ、男性よりも女性の方が、近距離通勤志向が高いことが推察される。

5—沿線別の女性就業者の変化

路線ごとの人口変化率を表一2に示す。生産年齢人口が、男女共に微増または減少傾向が見られる中、女性の就業人口は増加率が全路線で高く、いずれの路線も10~17%程度増加している。一方男性の就業人口は、減少傾向の路線が多い中、JR東海道線と東急田園都市線では、微増傾向にある。特に都心から10-30km圏の近距離エリアにおける人口増加が路線全体の就業人口増加を支えていることが分かる。

6—鉄道沿線別の女性の鉄道利用通勤行動の変化

6.1 鉄道沿線居住者の通勤先の変化

鉄道各社の沿線を発地とする就業者について、通勤先の時系列変化を男女別に分析を行った。本稿では、そのうち小田急小田原線と東京メトロ東西線で分析した事例を図一5に示す。

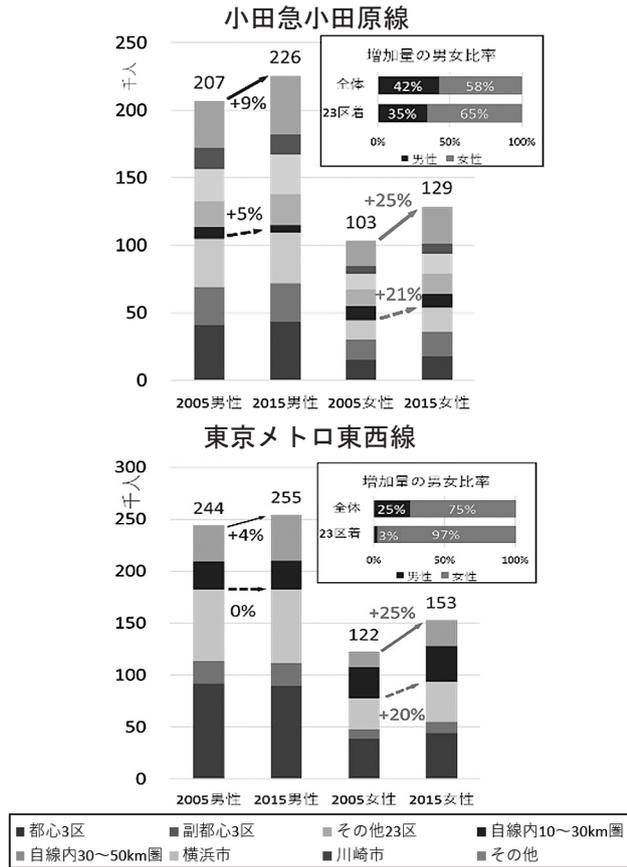
小田急小田原線は、東京23区へ通勤するトリップより、その他地域へ通勤するトリップの増加が大きい。

東京メトロ東西線は、分析した6社の中で女性の通勤トリップ数の増加が最も高く、25%増加であった。東京23区外から23区へ通勤する女性の増加が、鉄道混雑率の高止まりに影響している可能性が示唆される。

6.2 女性の通勤行動変化が鉄道需要に与える影響

6.1で推計した路線ごとの鉄道通勤トリップ数の増加に占める男女比率を元に、鉄道各社の通勤定期利用の鉄道輸送人員増分を按分し、2005年から2015年の鉄道各社の男女別輸送人員増分を算出した結果を図一6に示す。

6路線全てにおいて、女性就業者の増加が大きく、特に西武



■図—5 沿線居住者の到着地別鉄道通勤トリップ数

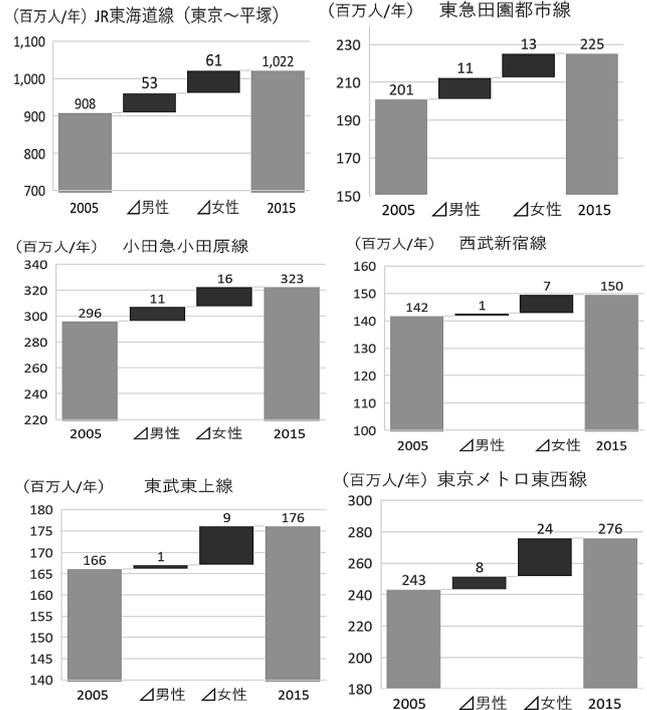
新宿線, 東武東上線, 東京メトロ東西線では, 女性の輸送人員の増加が全体の輸送人員の増加の大部分を担っている。以上より, 女性就業者の増加が, 近年の鉄道各社の輸送人員の増加に大きく貢献していると言える。

8—まとめと今後の課題

8.1 まとめ

本研究において得られた知見は以下の通り。

- ▶生産年齢人口が減少する中, 女性就業人口は大きく増加している。東京圏の就業人口の増分は全て女性の増加によるものであり, 特に子育て世代の女性の社会参画が大きく寄与している
- ▶女性の通勤は, 居住する市区町村内々のトリップが減少, 市区町村間をまたぐトリップは増えている
- ▶都心3区, 副都心3区へ通勤する女性は都心から10km圏内からのトリップ割合が高く, 男性よりも女性の方が職住近接志向が高い
- ▶鉄道沿線によって, 通勤先の構成比率に違いがある
- ▶近年の鉄道各社における輸送人員増加に, 女性就業者が大きく寄与している



■図—6 各社輸送人員の男女別増分

8.2 今後の課題

本研究の課題は以下の通り。

- ▶世帯年収や業種など, 就業者の属性データを追加した要因分析
- ▶コロナ禍をきっかけに加速したテレワークが, 女性就業者の通勤行動に与える影響
- ▶今後の高齢化や定年延長等による高齢者の就業人口増加が, 鉄道需要に与える影響

9—謝辞

本研究は, 政策研究大学院大学客員教授の森地茂先生を委員長とし, (一財) 運輸総合研究所で実施している「今後の東京圏を支える鉄道の在り方に関する調査研究」の一環である。本調査研究の委員としてご助言をいただいた学識者, 国土交通省, 小田急電鉄株式会社, 西武鉄道株式会社, 東急電鉄株式会社, 東京地下鉄株式会社, 東武鉄道株式会社, 東日本旅客鉄道株式会社の皆様に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局:平成30年第6回東京都市圏パーソントリップ調査
- 2) 総務省統計局:平成27年国勢調査
- 3) 国土交通省関東地方整備局:平成20年第5回東京都市圏パーソントリップ調査
- 4) 総務省統計局:平成17年国勢調査
- 5) 山野, 根本等「テレワークの実態と鉄道需要に及ぼす影響に関する考察」第60国土木計画学研究発表会

海運活用によるトラックドライバーの働き方改革と輸送力の確保

—複合一貫輸送の労働生産性評価と輸送力・労働環境の改善効果—

加藤博敏
KATO, Hirotooshi

博士（社会工学） 復建調査設計株式会社 技師長
敬愛大学/一般財団法人みなと総合研究財団 客員研究員

1—はじめに

トラックドライバーのなり手不足や、長時間労働、低賃金不足などの課題が、2017年に「物流危機」として、広く国民に認識された。また、働き方改革関連法（2018年成立）により、2024年度から、ドライバーにも、罰則付の時間外労働の上限規制が適用されることになり、官民で、様々な働き方改革の取り組みが進められている。これらにより、ドライバーの労働基準（1989年労働省局長通達。以下、「改善基準」という。表—1）の存在も認知され、その遵守意識も高まってきている。

こうした中で、バブル経済などを背景とした運輸業の労働力不足に対して提唱（1990年）された「モーダルシフト」が、改めて、労働力不足対策として、注目されている。しかし、トラックから海運等に幹線輸送機関を転換（モーダルシフト）して行われる複合一貫輸送^{注1）}について、その全体の輸送効率を、定量的に評価した報告は無い^{注2）}。また、トラックを輸送する長距離フェリー（旅客船）やRORO船（貨物船）の輸送サービス等について、体系的な整理・分析を行った例は少ない^{1）}。

果たして、複合一貫輸送は、ドライバーの働き方改革や、なり手不足等で懸念されるトラックの輸送力確保に、有効な輸送方法なのであろうか。

そこで、著者らは、複合一貫輸送の発地から着地までの全工程を対象として、輸送に直接携わる全ての従事者の従事時間等を投入量とした、物的労働生産性を評価する物流労働生産性指標LPIを提案した^{2）}。また、これら従事者の内、トラックドライバーのみの実拘束時間を投入量とする労働生産性指標LPIDを提案した^{3）}。これら指標を用いて、複合一貫輸送の輸

送効率の定量的な評価を行う。また、長距離トラック輸送の輸送能力の維持・確保、長距離ドライバーの労働環境の改善に対し、複合一貫輸送を活用することの効果・意義などを整理する。

なお、本報告では、ドライバーの拘束時間に占める運転時間の割合が高い長距離輸送（道路走行距離500km超）の内、改善基準の遵守徹底による輸送力等への影響が、特に大きい1,000km超の長距離輸送に注目する。以下、福岡RC（流通センター）から東京RCまでの輸送（1,086km、福岡ICと東京IC間は、高速道路利用。）を例とする。

2—生産性指標による複合一貫輸送の労働生産性の評価

2.1 2つの労働生産性指標 LPIとLPID

著者らは、複合一貫輸送を構成する①発地における貨物のトラックへの積込、②港までのトラックの道路走行、③港でのトラックの乗船作業、④航海、⑤港でのトラックの下船作業、⑥着地までのトラックの道路走行、⑦荷卸前の順番待ち、⑧着地における貨物の荷卸の全8工程を対象とした、2つの指標を提案している。

(1) 全従事者の従事人数・時間を労働投入量とする物流労働生産性指標

LPI (Logistics Productivity Index)

$$= \frac{\text{輸送貨物量(重量ト)} \times \text{輸送距離(km)}}{\sum (\text{当該輸送に従事した人数} \times \text{従事時間}) (\text{人} \cdot \text{時})}$$

(2) トラックドライバーのみの実拘束時間を労働投入量とする労働生産性指標

LPID (Labor Productivity Index of truck Driver)

$$= \frac{\text{輸送貨物量(重量ト)} \times \text{輸送距離(km)}}{\text{当該輸送に従事したドライバー人数} \times \text{実拘束時間(人} \cdot \text{時)}}$$

LPIは、8工程に直接従事する全ての職種の従事時間（ドライバーは拘束時間）の総和を労働投入量としており、輸送業全体を捕らえた物的労働生産性が評価できる。一方、LPIDは、ドライバーのみに注目し、拘束時間に、①～⑧の運行途中で

■表—1 トラックドライバーの労働時間等の改善基準の概要

始業から終業までの「拘束時間」 (就業時間+休憩時間)	原則 13時間以内、 延長は 最大16時間以内（15時間超は2回/週以内） 1ヶ月 293時間以内
終業から次の始業までの「休憩期間」	継続8時間以上 (フェリー乗船中は休憩期間として扱われる)
「運転時間」	2日 [※] 平均で 9時間/日以内 ※当該日始業から24時間と、前日または翌日24時間の平均 2週間平均で 44時間/週以内。
1回の「連続運転時間」	4時間以内（4時間毎に30分以上の休憩時間）

トラック運転者の労働時間等の改善基準のポイント（厚生労働省）に基づき作成

取る休息期間（終業後、次の始業までに8時間以上取る自由時間。改善基準では、フェリー乗船中も休息期間として扱われる。）を加えた実拘束時間を、労働投入量とするため、ドライバーの運用効率に相当する労働生産性が評価できる。（両指標の詳細、次章の計算条件等は、参考文献 2）、3）参照。）

2.2 13トン積トラックを有人航送する複合一貫輸送の生産性

長距離トラック（13トン積、運転席と荷台が一体となった一般的なトラックである単車。）が、全区間を道路走行する場合と、幹線区間で長距離フェリー航路（何れも北九州港発の大阪航路（大阪下船後は道路走行）、横須賀航路（2021年開設予定）、東京航路の3航路）を利用する場合の計4ルートで、発着地間の労働生産性を比較した（表—2）。

全区間を道路走行するルートのLPI（ 0.881×10^3 ）に対し、大阪航路、横須賀航路、東京航路を利用するルートのLPIは、それぞれ、 1.27×10^3 、 3.16×10^3 、 3.99×10^3 となり、幹線区間の一部のみをフェリー利用する大阪航路ルートで1.44倍、東京湾までの全区間でフェリー航路を利用する2ルートで4倍前後となった。複合一貫輸送を利用すると、輸送業全体を捉えた労働生産性を、大幅に向上できることが確認できた。

次に、ドライバーのみに着目した指標LPIDで、4ルートと比較した。全区間を道路走行するルートのLPID（ 0.588×10^3 ）に対して、発着地間の最短所要時間が24時間前後と大きな差が無い大阪航路ルート、横須賀航路ルートのLPIDに有意な差は確認出来なかった。一方で、最短所要時間が38時間余となる東京航路ルートのLPIDは、道路走行するルートよりも低くなった。

■表—2 単車・ダブル連結トラックによる福岡RC・東京RC間輸送のLPI及びLPID

幹線区間の輸送方法	道路走行(全区間)				長距離フェリー(ドライバー乗船)				道路走行(全区間)		長距離フェリー(ドライバー乗船)	
	輸送車両		単車		ダブル連結トラック		ダブル連結トラック		道路走行(全区間)		長距離フェリー(ドライバー乗船)	
貨物積載量/台	13 トン				26 トン				道路走行(全区間)		長距離フェリー(ドライバー乗船)	
総輸送距離	1,086 km				1,048 km				1,086 km		1,048 km	
幹線区間の距離	福岡IC ~ 東京IC				福岡IC ~ 東京IC				福岡IC ~ 東京IC		福岡IC ~ 東京IC	
利用経路	大阪航路				横須賀航路				大阪航路		大阪航路	
の距離	北九州港~大阪港				北九州港~横須賀港				北九州港~大阪港		北九州港~大阪港	
高速道路/海運	590 km				458 km				590 km		458 km	
その他距離	幹線区間以外の道路				幹線区間以外の道路				幹線区間以外の道路		幹線区間以外の道路	
最短所要時間	24時間1分 ^{※1}				23時間14分				24時間40分 ^{※2,3}		23時間53分	
物流労働生産性指標 LPI ($\times 10^3$)	0.881				1.27				1.69		2.32	
対道路走行(全区間)単車比 ^{※4}	1.00				1.44				1.92		2.64	
ドライバーの発着地間移動の投入量とする	0.588				0.587				1.14		1.14	
物流労働生産性指標 LPID ($\times 10^3$)	0.588				0.579				1.14		1.14	
対道路走行(全区間)単車比 ^{※4}	1.00				0.99				1.95		1.94	

※1：最短所要時間は、改善基準遵守の下で、発送元での積込開始から配送先での積卸完了迄に要する最短の所要時間。※2：道路走行(全区間)は、一営業日あたりの発着時間上限を超過するため、運行途中で8時間の休息期間を確保する条件で求めた時間。※3：ダブル連結トラックの最短所要時間は、ドライバー1名が乗車の場合に仮定するものとした。※4：対単車比の値は、それぞれ、道路走行(全区間)のLPI、LPIDに対する。

■表—3 単車・トレーラーによる福岡RC・東京RC間輸送で 航路区間を無人航送した場合等のLPI及びLPID

幹線区間の輸送方法	長距離フェリー					道路走行(全区間)
	単車(長距離フェリーにはドライバー乗船しない=無人航送)	トレーラー(無人航送)	トレーラー(無人航送)	トレーラー(無人航送)	トレーラー(無人航送)	
貨物積載量/台	13 トン					20 トン
総輸送距離	1,048 km					1,167 km
幹線区間の距離	大阪航路					大阪航路
利用経路	北九州港~大阪港					北九州港~東京港
の距離	北九州港~横須賀港					北九州港~東京港
高速道路/海運	590 km					458 km
その他距離	幹線区間以外の道路					幹線区間以外の道路
最短所要時間	23時間14分					24時間40分
物流労働生産性指標 LPI ($\times 10^3$)	1.24					1.69
対道路走行(全区間)単車比 ^{※2}	1.24					1.92
ドライバーの発着地間移動の投入量とする	0.588					0.587
物流労働生産性指標 LPID ($\times 10^3$)	0.588					0.579
対道路走行(全区間)単車比 ^{※2}	1.00					0.99

※1：最短所要時間は、改善基準の下で、発送元での積込開始から配送先での積卸完了迄に要する最短の所要時間(休息期間含む)。※2：対単車比の値は、道路走行(全区間)する単車のLPI、LPIDに対する。※3：列車を船と見做す区間は幹線区間の高速道路1,061kmのみとし、1名で全区間を運転するものとした。その他区間では、各車にドライバーが乗車するものとした。但し、列車の編成・解組に係る時間は、最短所要時間、LPI、LPID計算の投入量の人・時に考慮していない。その他条件は、表-2の道路走行(全区間)に

トラックを有人航送（フェリーにドライバーも同乗する輸送）する複合一貫輸送は、道路走行するルートに比べ、輸送業全体を捉える労働生産性は高いものの、ドライバーのみの運用効率では、優位性を確認できなかった。

2.3 13トン積トラックを無人航送する複合一貫輸送の生産性

2.2で評価対象とした単車による複合一貫輸送は、有人航送の場合が多い。本節では、発着地側港でトラックを乗船させたドライバーは下船し、着地側港で乗船した別のドライバーが下船させ、着地まで運行する無人航送で、ドライバーの運用効率をみる。

大阪航路、横須賀航路、東京航路を利用するルートのLPIDは、それぞれ、 1.26×10^3 、 3.17×10^3 、 4.25×10^3 となり、道路走行するルート（ 0.588×10^3 ）の、約2~7倍となった。ドライバーが乗船しないことで、労働生産性が大幅に向上することがわかる。既に、専用の単車を多数確保し、LPIDの高い東京航路ルートで、無人航送を活用しているトラック事業者もいる。

2.4 トレーラーを無人航送する複合一貫輸送の生産性

長距離フェリーの九州発着航路の6割程度、RORO船航路の殆どのトラックは、トレーラー（ヘッドに牽引されて走行するトラック）による無人航送が行われている。

トレーラーは、積載量が20トンと大きいことから、同じ東京航路（長距離フェリー）ルートでも、LPIは、単車（13トン積）による場合（ 3.76×10^3 ）よりも 6.50×10^3 と高くなる。博多港（福岡市）発で、道路走行距離の短いRORO船の東京航路ルートでは、更に、 8.60×10^3 まで上昇する。また、LPIDは、それぞれ 8.37×10^3 、 12.03×10^3 と、単車で道路走行するルート（ 0.588×10^3 ）の14~20倍に向上する。

表—1右端には、2019年8月から太宰府IC（福岡県）以北でも運行可能となったダブル連結トラックの、また、表—2右端には、ドライバー不足の切り札として、実用化に向けた社会実験が繰り返されている隊列走行（高速道路区間で、先頭車のみドライバーが乗車し運行する3台編成の例）の評価例を併記した。これらと比較しても、トレーラーを無人航送する複合一貫輸送のLPI、LPIDは共に高く、優れた長距離輸送方法であることが確認できる。

3—複合一貫輸送活用によるトラックの輸送力の維持・確保

改善基準の運転時間を遵守すると、1,000km超の輸送では、1週間あたりの往復可能回数に影響が出てくる。これに対する複合一貫輸送活用の効果を見る。

3.1 海運活用によるトラックの輸送力(往復回数)の維持

福岡・東京間は、高速道路区間の制限速度を超過して走行(時速90km)すると、片道13時間弱の運転時間で東京RCに到着できる。休息期間も十分に取らず、かなり無理な運行を繰り返すと、物理的には週2往復以上も可能となる。しかし、1週間の運転時間は、改善基準の上限44時間/週を大幅に超過する(図一1 A)。改善基準と制限速度を守ると、1往復半で、運転時間は上限近くとなる(同B)。

一方で、複合一貫輸送を活用すると、往復とも大阪航路を利用するルート(同C)、往路で横須賀航路を利用し、復路を道路走行するルート(同D)とも、改善基準の上限時間に余裕を持って、週2往復が可能となる。

因みに、往路の片道を比較すると、大阪航路を利用するCは、運行途中で休息期間(8時間以上)の取得が必要となるBよりも、輸送時間は1時間ほど短くなる。

3.2 無人航送活用によるトラックの輸送力の向上

横須賀航路、東京航路を利用して、無人航送を行う場合、福岡側・首都圏側各々のドライバー計2名がトラック運行に従事することで6往復/週、即ち、ドライバー1人当たり3往復/週が、改善基準の範囲内で可能になる。

更に、無人航送の場合、ドライバーは集配に専念できるため、港を起点とした概ね片道200km圏内の集配が可能になる。

無人航送の活用は、ドライバー1人あたりのトラックの往復可能回数を確保できるのみならず、集配可能エリアの拡大も可能となる。

4—複合一貫輸送活用によるドライバーの働き方改革

ドライバーの働き方改革が求められる中で、複合一貫輸送活用による、労働環境の改善効果を見る。

4.1 海運を活用する輸送のドライバーの労働環境改善

ドライバーがフェリーに同乗する複合一貫輸送(図一1 C,D)では、運転時間は、1往復16時間程度となり、道路走行するルート(同B, 28時間)の6割以下に抑えられる。

また、道路走行では、駐車したトラックの運転席背後で過ごすことが多い休息期間も、フェリー船内では、ドライバー専用区画で、ゆったりと過ごすことができる。海運を活用することで、ドライバーの肉体的負担も少なく済む。

4.2 無人航送活用によるドライバーの労働環境の改善

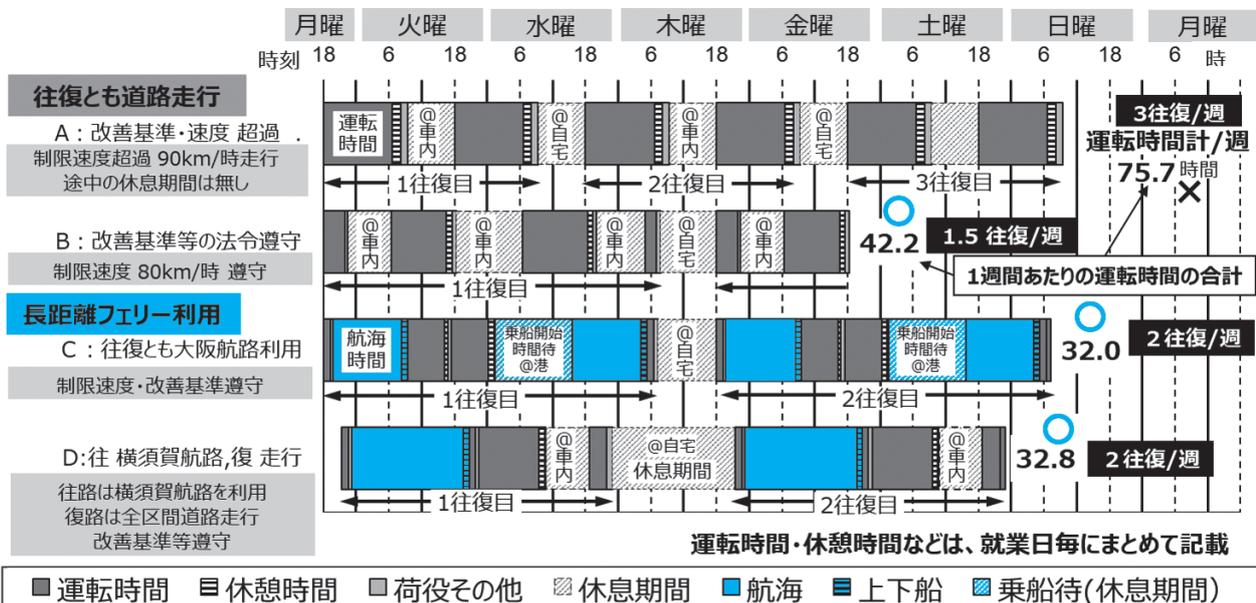
福岡・東京間を道路走行するドライバーは、自宅へ戻るのは早くとも4日目となる(図一1 B)。一方、無人航送活用の場合のドライバーは、港と集配先の間の運行に専念できるため、毎日、自宅からの通勤が可能になる。

5—複合一貫輸送を担う海運の課題

ここまで、複合一貫輸送活用の長所を紹介してきたが、海運側にも課題がある。海運の輸送力について報告する。

5.1 複合一貫輸送を担う海運側の輸送能力の制約

2018年に著者が行った、九州発着の長距離フェリーの輸送実態の分析結果⁴⁾を紹介する。



■図一1 福岡・東京の各流通センター間での長距離トラックの1週間の運行パターンと往復回数の例

長距離フェリーを利用するトラックによる貨物輸送量^{注3)}は8.8百万トン(2013~15年平均)で、九州・山口8県発着の長距離トラック(輸送距離500km超)の輸送量(29.7百万トン、2009~13年度平均)の30%相当しか担っていない。一方で、長距離フェリーは、輸送能力(トラック94.3万台、2015年度)の70%相当(2013~15年平均)が利用されていた。残る30%の空席は、主に、荷動きの少ない週末便のもので、週央の便には、新規需要の受け入れ余力は乏しい状況(2017年時点)にあった。

5.2 複合一貫輸送を担う海運側の輸送力の増強の課題

2010年代半ばから、トラック利用台数が着実に増加し始めた海運であるが、モーダルシフトが提唱されて以来、盛衰を繰り返してきた。

例えば、2000年代後半には、リーマンショックによる荷動きの低迷、貨物量確保のための価格競争に伴う収入減、同時期に始まった高速道路料金の割引などから、トラック事業者は、乗船運賃を必要としない道路走行を選好し、長距離フェリーのトラック輸送台数は、3割近く(2006~09年度)も激減した。2015年以降、新造船の就航が続いているが、永年、経営上の判断から先送りされてきた高齢船(船齢15年以上)の代替船建造が重なったものである。現役最高船齢25年の代替船建造を、地元官民支援を受けて進めている例もあるが、外部からの資金支援例は希有である。

船社単独の経営努力のみに、海運の大幅な輸送力増強を期待することには限界がある。

6 — おわりに

長距離トラックの海運利用による複合一貫輸送は、労働生産性に優れていることを、定量的に示すとともに、ドライバーのなり手不足、働き方改革が進む中で、長距離トラックの輸送力確保や、ドライバーの労働環境(働き方改革)にも有効であ

ることを、代表的な輸送事例によって報告した。また、複合一貫輸送を担う海運側の、輸送力確保の課題についても言及した。

2010年代後半に入って、働き方改革の取り組みの進展などにより、トラックの海運輸送台数も増加し、その堅調な伸びから、航路の拡充の動きも実現し始めた。しかし、コロナ禍に伴い荷動きは低迷し、長距離フェリーのトラック輸送台数でも、9割強まで回復(対2019年10月同月比)した後、足踏みを続けている。また、一部では、トラック運賃の値下げ要求、価格競争も生じているとの報道もある。

働き方改革を契機に、事業者やドライバーに偏重する負担が解消し、長距離トラック輸送が、盤石な輸送インフラと変貌するとともに、これらを支える航路・港湾が、十分に確保されるような輸送体系が確立することを期待する。

注

注1) モーダルシフトは、長距離輸送の幹線区間の輸送機関を、トラックから海運等に転換すること。複合一貫輸送は、モーダルシフトした結果の輸送形態の一つ。発地でトラック等に積み込んだ荷姿を着地まで変更することなく、複数の輸送機関を利用して行われる輸送形態。

注2) 例えば、運輸政策審議会物流部会報告(1990年)は、トラックや海運の輸送効率を定量的に比較・言及しているが、複合一貫輸送の発地・着地間の全工程を対象とした、輸送効率を定量的に比較した報告は無い。

注3) フェリーは、旅客船として運航されるため、フェリーを利用するトラックの貨物輸送実績は、輸送機関分担率等で示される海運(貨物船)の実績には含まれていない。

参考文献

- 1) 加藤博敏・相浦宣徳 [2018] : 長距離ユニットロード輸送における長距離フェリーの担う役割と各輸送機関の特徴, [運輸政策研究] Vol.20, pp.49-60.
- 2) 加藤博敏・相浦宣徳・根本敏則 [2017] : 長距離貨物輸送の物流労働生産性指標の提案と生産性向上に向けた考察 [日本物流学会誌] No.25, pp.79-86.
- 3) 加藤博敏・根本敏則 [2020] : 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] No.28, pp.117-124.
- 4) 加藤博敏 [2019] : 複合一貫輸送による長距離貨物輸送の労働生産性の改善-長距離フェリー活用による労働力の改善効果-, [筑波大学博士論文] (doi/10.15068/00156346)

海運における温室効果ガス削減施策の評価

— 一般船の生存時間解析とシミュレーションから —

岡田 啓
OKADA, Akira

運輸総合研究所客員研究員

1— 研究の背景

気候変動が一因と目される異常気象が世界各地で散見され、それが人的、物的、経済的な負担を社会に生じるようになった。これにより、気候変動の要因となっている温室効果ガス（GHG）特に二酸化炭素（CO₂）削減対策が強化されるようになってきている。例えば、パリ協定が2016年発効し、21世紀後半にカーボンニュートラルを目指すことが国際的な目標になっている。また、この流れを受け、菅総理が2020年10月の所信表明演説にて2050年までにカーボンニュートラル、脱炭素社会を目指すことを宣言した。

本研究の対象である国際海運に目を向けると、世界の気候変動対策の強化に歩調を合わせ、海運も積極的なCO₂排出削減が迫られている。国際海事機関（IMO）海洋環境保護委員会（MEPC）が2020年8月に公表した温室効果ガスに関する第4次報告書¹⁾によると、2018年に国際海運から排出されたCO₂は7億4千万トンであり、世界CO₂総排出量の約2%である。海運輸送そのものはエネルギー効率に優れるが、排出されるCO₂は総量としては無視できないといえる。また、第4次報告書¹⁾において、今後のCO₂排出予測が行われており、それによると、Business As Usualケースにおいて、2050年におけるCO₂排出量は、2018年比で0～50%増加と予測されていた。

2018年4月、MEPC72において温室効果ガス削減戦略が合意され、2030年の目標として海運の効率40%改善（2008年比）、2050年の目標としてGHG総量半減（2008年比）が決定した。現在、MEPCにおいて2030年目標達成実現のための施策とその合意形成が着実に進展し、当初の見込みより3年前倒しで「既存船への燃費性能規制」（EEXI規制）が合意される見通しである。よって、これからは、2050年目標であるGHG排出量半減（2008年比）をどのように達成するのかが視野に入ってきている。

このような世界の状況に対し、日本の海事クラスターが持続的発展を図りつつ、どのように大幅なGHG削減を実現するのかを議論するため、2018年に国際海運GHGゼロエミッションプロジェクトが設立された。2019年度においては、2050年目標を達成することを視野に入れ、GHG削減方策を技術

的・制度的側面から議論・検討している。

2— 研究の目的

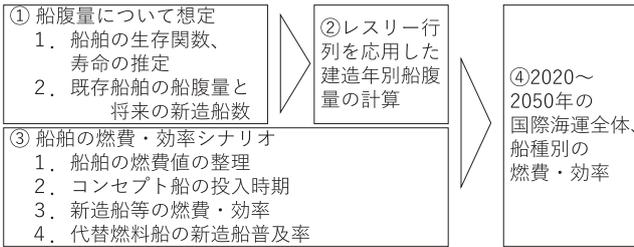
国際海運GHGゼロエミッションプロジェクトでは2050年の国際海運が排出する温室効果ガス量を独自に推定し、それに基づき、2050年目標を達成するためには「80～90%以上のGHG削減効果を有する代替燃料・技術を2030年頃から投入していく必要がある²⁾」と提言した。この80～90%のGHG削減効果は、省エネ技術・運航効率化と代替燃料への転換によって実現するとしている。重油からいかなる種類の代替燃料に転換してゆくのかについて、技術開発の状況を鑑みつつ2つのシナリオ（LNG→カーボンリサイクルメタン移行シナリオ、水素・アンモニア燃料拡大シナリオ）が用意されている。そして、ゼロエミッションプロジェクトは、先のシナリオに沿って代替燃料の導入が進むのであるならば、2050年までに80%相当効率改善によりGHG半減が可能であること確認している。

船舶が使用しているエネルギーである重油を上記の代替燃料に転換するためには、基本的には、重油エンジン船に代わり代替燃料エンジン船が普及することが必要である。ここで、先ほどの2シナリオでは、既存船の解撤や代替燃料船の普及に関する想定は明確に見受けられない。このことは、船舶の入れ替えの面から「80%以上効率改善」の評価が必要であることを意味する。

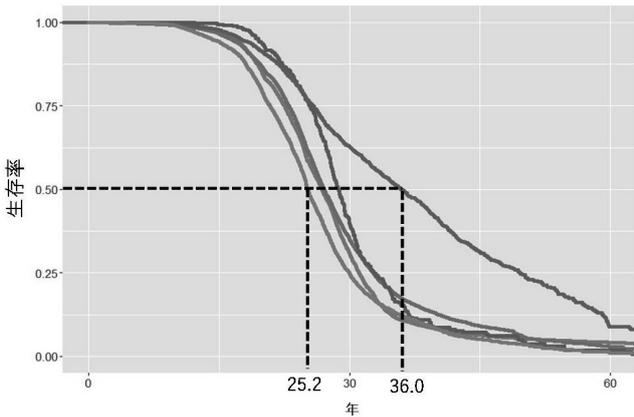
そこで、本研究では、国際海運から排出される温室効果ガス、特にCO₂排出を削減するための代替燃料船導入施策について、実証分析・シミュレーション等を用いて、数量的に評価する。その評価に基づき、政策インプリケーションを提示する。今回は、代替燃料船の普及によるGHG削減効果を見るため、船舶の生存時間解析および将来の燃費・効率について数量的な検討を数値シミュレーションにて実施する。

3— 2050年における船舶の燃費・効率の検討

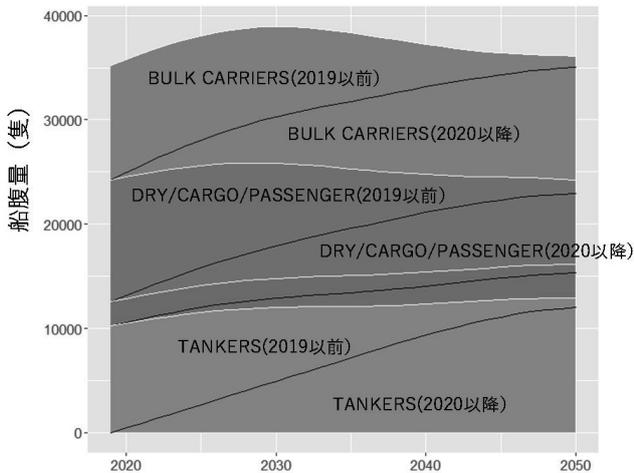
船舶の入れ替えを踏まえて、2020～2050年における船舶の燃費・効率を数量的に検討するために、図—1にある①～④を



■図一 数値シミュレーションの概要



■図二 カプラン・マイヤー法で推定した船舶の生存関数と生存期間中央値



■図三 2020～2050年の船腹量推定結果間中央値

実施する。なお、対象の船舶は載貨重量トン (DWT) 5,000t以上の船舶である。

3.1 将来の船腹量の推定

将来の燃費・効率の数値シミュレーションを実施するために、最初に将来の船腹量を計算する。船舶は耐久消費財であるので、船体は複数年使用される。よって船舶の入れ替えを考察する際には、船舶が市場に何年残存するかを知ることが必要になる。ある年に建造された船舶がt年後にどの程度市場に残っているのかは、生存関数で表現することができる。今回は、船舶の生存関数を推定するため、「打ち切り」を考慮できる

カプラン・マイヤー法³⁾を採用した。カプラン・マイヤー法にて生存関数を推定するために使用するデータは、IHS Markit社のSea-Webデータベースにある建造年月、船舶の状況(年月日)のデータである。なお、船種は5種類 (BULK CARRIERS, DRY/CARGO/PASSENGER, FISHING, TANKERS, MISCELLANEOUS) に集約する^{注1)}。

生存率0.5に対応する生存時間である生存期間中央値を寿命として採用すると、データから推定された5種の船種の生存関数の生存期間中央値は、25～36年の間にある(図一)。生存期間中央値を短い純に並べると、TANKERSが25.2年、BULK CARRIERSが26.8年、DRY/CARGO/PASSENGERが27.1年、FISHINGが28.8年、MISCELLANEOUSが36年であった。船種を細分し生存関数を推定した場合、生存期間中央値は23～33年の間に入る。なお、LNG Tankerなど一部の船種で40年程度である。

既存船舶の全船腹量そして新造船の船腹量はSea-Webデータより、船種別・建造年別に2019年まで集計した。そして、将来の全船腹量を推定するためには、2020年から2050年までの新造船の船腹量を決定する必要がある。今回は簡便化を図ること、COVID-19による新造船需要への長期的影響が不明であることを踏まえ、2019年における新造船数を、2050年までの新造船数として固定することとした。ここまでする①に相当する。

最大齢 α を持ち、各齢 $a: (0, 1, 2, \dots, \alpha)$ 毎に生存率 p_a をもつ同じ建造年の船腹量 $P_t(a)$ が、 $p_a P_t(a) = P_{t+1}(a+1)$ という関係を満たすとす。このとき、(1) 式の行列すなわちレスリー行列⁴⁾を用いると、n年後の残存船腹量を算定することができる(図一の②)。

$$\begin{pmatrix} 0 & p_\alpha & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_{\alpha-1} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \vdots & \dots & p_1 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & p_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_t(\alpha) \\ \vdots \\ P_t(a) \\ \vdots \\ P_t(0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_{t+1}(\alpha) \\ \vdots \\ P_{t+1}(a+1) \\ \vdots \\ P_{t+1}(1) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

ここで、生存率 p_a の部分に船種毎のカプラン・マイヤー法の推定値を代入する。そして、船腹量 $P_t(a)$ は先に集計した船腹量の実データを代入する。最後に、2020年以降の新造船数は前年の計算終了後に一番下の行にデータを挿入したベクトル $(0, \dots, 0, P_{t+1}(0))^T$ (Tは転置を表す) を足すことで対応する。これらの計算の結果、図一にある2020～2050年の船腹量が推定される。

3.2 将来の燃費・効率の推定

将来の船舶の燃費・効率を推定するに先立ち、既存の船舶

■表一 2020年以降の船舶の燃費・効率のシナリオ

シナリオ	効率改善率 (99-08年平均比)	コンセプト船投入時期	普及率
1	90%	2028年	2029年から100%
2	90%	2033年	2034年から100%

燃費はSea-Webにある燃費 (t/day)^{注2)}データを用いて、新造船ベースとストックベース燃費を整理する。新造船ベース燃費を年ごとに整理しているため、1999～2008年の平均燃費も船種毎に計算している。そして、この数値は2020年以降の新造船燃費基準値として使用する。

2020年以降の船舶の燃費・効率については、表一にある2つのシナリオを用意した(表一)。第1シナリオは、GHGゼロエミッションプロジェクトが想定している効率改善を実現した船舶が2028年に開発され、翌年2029年よりすべての新造船に普及するというシナリオである。第2シナリオは、開発・投入時期が5年遅れるというシナリオである。なお、2029年以前に作られる新造船は、EEDIフェーズ2・3を遵守するとし、既存船は2030年で海運全体効率性40%改善(2008年比)、その後5%改善するとしている。このシナリオを用いて、図一の③にある将来の船舶の燃費・効率を推定する。

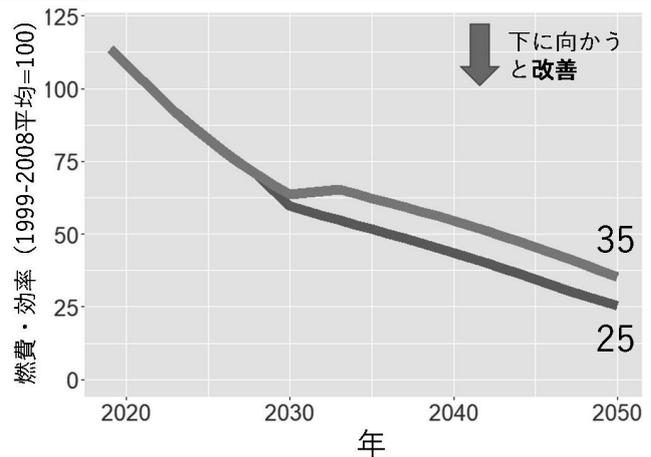
これまでに想定した①～③を用いて、図一の④であるシミュレーションを実施する^{注3)}。ここで第1シナリオは、高効率の船舶が開発翌年以降に建造されるすべての新造船に普及するという仮定を置いている。このことは、第1シナリオの結果は、過大評価になっているということに留意されたい。

4—シミュレーション結果

第1シナリオに基づくと、2050年における国際海運全体における燃費・効率は、2008年比で75%の改善になる(図一3下側の線)。シミュレーション結果によると、2030年まで、既存船の海運全体効率性40%(2008年比)改善により全体の燃費・効率は改善する。2030年以降は新造船の効率改善により全体の燃費が改善するものの、2030年よりも改善の傾向は緩やかになる。結果2050年においては、GHGゼロエミッションプロジェクトが述べている80%の効率改善には達しないが、75%(インデックス値25)に至る。

第2シナリオに基づくと、2050年に燃費・効率は65%(2008年比)改善となる。2020～30年の傾向はシナリオ1と同じであるが、2030年以降は、シナリオ1よりも燃費・効率の改善傾向が緩やかになる。結果、80%の改善には届かない。

第1シナリオ・第2シナリオの結果を船種別に分けた場合においても、海運全体と同様の結果となる。すなわち、2030年までは運航効率が改善し、2030年以降は新技術船導入により以



■図一3 シミュレーション結果

前より緩やかな改善となる。改善の程度は65～79%の改善と船種毎によって変わるものの、80%以上の改善には届かないという結果であった。

5—本研究のインプリケーション

シミュレーション結果を受けて、本研究では次の2つのインプリケーションを提示する。

第一に、2050年に80%以上の燃費・効率改善を達成するためには、今後IMOで審議される中期対策として経済的手段等の積極的施策を提案する必要があることである。本シミュレーションは過大評価傾向にあることと4におけるシミュレーション結果が2050年にて75%燃費・効率改善に留まったことを踏まえると、80%以上の燃費効率改善は、高効率船舶の入れ替えだけでは達成することが難しいと予想されるためである。

第二のインプリケーションとしては、国際海運全体で80%以上の燃費・効率改善を目指す場合、船主が新技術や代替燃料を選好するように促す措置が必要であることである。4のシミュレーションにおいては、船主が新技術船を選ぶ割合をコンセプト船投入の翌年に100%になると想定している。もし、この普及率が100%に届かない場合、第2シナリオと似た軌跡になる可能性がある。

6—まとめ

本研究では、船舶の入れ替えの面から2050年における船舶の燃費・効率の80%以上改善シナリオを数値シミュレーションにて評価・検討した。その数値シミュレーションに先駆け実証分析により、船舶の生存関数を推定し、生存時間中央値を算定した。生存時間中央値は船種により異なるが25～36年で

ある。

続いて、船舶の生存関数、既存の船腹量、2020～2050年の新造船船腹量、そして燃費・効率に関わるシナリオを設定し、将来2050年までの燃費・効率の数値シミュレーションを実施した。シミュレーションの結果、国際海運全体における燃費・効率は75%改善に届くものの、80%には届かないことが判明した。

以上の数値シミュレーション結果より2つのインプリケーションを導出した。第一は積極的な温室効果ガス削減施策（経済的手法等）の導入検討の必要性、第二はコンセプト船導入後に速やかな普及を促す措置の検討の必要性である。

注

注1) IHS Markit社ではStatCode 5 Shiptype Coding Systemという分類法を用いて船舶の種類を分類しているが、今回はその分類法のLevel2に相当する。

注2) この燃費データは、MEPCがGHG対策を検討する際の前提としている輸送量あたりの燃費とは異なる。本研究では、船舶入れ替えによる燃費・効率改善の傾向の把握を目的にしているため、t/dayの単位の燃費を代替指標として使

用することにした。

注3) 本研究のシミュレーションはシンプルなシミュレーションであるため、いくつかの限界がある。第一に、船社の行動モデルは入っていない。つまり、企業の利潤最大化行動、新造船も踏まえた船隊の調整、ESG投資等の状況を踏まえた先行的な行動といった将来の船舶の燃費・効率に影響を与え得る要素は含まれていない。第二に、燃費の単位として「t/day」を採用しており、燃費単位には輸送（トンマイル）は入っていない。第三に、代替燃料船の新技術船の普及に関し考慮しなければならない点（インフラの整備等）を含めていない。

参考文献

- 1) MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE (2020) REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS: Fourth IMO GHG Study 2020 – Final report, MEPC 75/7/15.
- 2) 国際海運GHGゼロエミッションプロジェクト (2020) 国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ,
https://www.jstra.jp/information/PDF/roadmap_info.pdf
- 3) Hosmer, D.W., S. Lemeshow, S. May (2008) Applied Survival Analysis: Regression Modeling of Time-to-Event Data, 2nd. Editon, Wiley. (五所正彦監訳 (2014)『生存時間解析入門 原書第2版』東京大学出版会)
- 4) 大泉嶺 (2014)『生物個体と集団の数理』,
<http://gi.ics.nara-wu.ac.jp/old/archives/H17-global-8.pdf>, accessed date 2021/1/8