

1. 海運環境政策

- 1)「国際海運の GHG 削減に向けた経済的手法について」
(日本海事新聞 2021 年 7 月)
主任研究員 森本清二郎

- 2)「Shipping Industry's Challenge towards Decarbonization」
(The Mariner's Digest 2021 年 10 月)
主任研究員 森本清二郎

- 3)「洋上風力発電に係る航行安全確保に関する動向」
(日本海事新聞 2021 年 11 月)
研究員 坂本尚繁

- 4)「国際海運における経済的手法の動向」
(日本海事新聞 2022 年 3 月)
主任研究員 森本清二郎

国際海運の GHG 削減に向けた経済的手法について

主任研究員 森本 清二郎

【ポイント】

- ◆ 課金は投資インセンティブ・公平性の面で優位
- ◆ 頑健な執行体制の構築に向けた国際協力が重要
- ◆ ESG 金融に対応した自律的取組みと政策支援を

1. はじめに

新型コロナ禍による影響が色濃く残る中、主要国はカーボンニュートラル実現に向けたグリーン投資を拡大すべく各種対策に取り組んでいる。国内ではグリーン成長戦略の下、グリーンイノベーション基金の活用や新たな 2030 年度目標（2013 年度比 46%減）実現に向けた対策の検討が進められている。

国際海運分野でも国際海事機関（IMO）で合意された既存船の燃費規制（EEXI 規制）と炭素効率指標（CII）格付け制度導入後の対策、特に経済的手法の検討を如何に進めるかが課題となる。

本稿では、国際海運における経済的手法の問題に着目し、陸上部門で導入されている炭素税と排出量取引を比較した上で、国際海運における燃料課金の特徴や執行上の課題について考察する。なお、国際海運では各国が有する課税主権との抵触を避ける意図から燃料課金（fuel levy）という用語が使われているが、燃料の炭素分に応じて金銭的負担を課す点では炭素税と変わらないため、本稿では互換的に用いる。

2. 炭素税と排出量取引

温室効果ガス（GHG）排出量を削減するための政策手法は、規制的手法（直接規制）、経済的手法、情報的手法、自主的取組に分けられる（表 1 参照）。直接規制は目的や対応する技術が比較的明確であるため合意を得やすい。IMO で合意された新造船の燃費規制（EEDI 規制）と EEXI 規制も直接規制に相当する。

経済的手法としては炭素税、排出量取引^(注)、補助金政策などがあり、いずれも炭素に価格が付けられるためカーボンプライシングとも呼ばれる。経済的手法は、炭素価格に応じて二酸化炭素（CO₂）一トン当たりの削減費用（限界削減費用）の少ない対策から導入を促し、各主体の限界削減費用を均等にする効果があるため、直接規制より効率的である。

炭素税と排出量取引は、社会全体の限界削減費用と限界外部費用（温暖化の影響による費用）の情報が存在する完全情報の下では同等の効果を持つ。だが実際には不完全情報の下で炭素税率又は排出量取引の総排出枠（キャップ）を設定する必要がある。

不確実性がある中で設定した税率又はキャップは社会的厚生が最大になる最適点から外れるため社会損失が生じるが、その時の損失は炭素税の方が少ないとされる。また、炭素税と補助金政策を比べた場合、短期的には同等の効果を持つが、企業の参入・退出を考慮した長期的な観点では炭素税の方が低負荷型の産業構造に誘導する効果が高いとされる。

炭素税と排出量取引の特長及び課題としては、以下の点が挙げられる（表2参照）。

まず、排出削減量の確実性は、キャップを設定する排出量取引の方が炭素税よりも高い。

削減技術への投資に必要な炭素価格の予見可能性は、税率を固定する炭素税の方が高い。排出権需給によって価格が変動する排出量取引の場合、価格安定化に向けた需給調整も可能であるが、制度設計が複雑となる。

規制対象は、炭素税の方が小規模事業者を含め、幅広い主体の行動変容を促す効果が期待できるが、排出量取引では排出枠の割当と義務遵守のモニタリングが必要となるため大規模事業者に限定される。ただし、化石燃料や電力の製造・供給事業者などを直接の規制対象とし、価格転嫁を通じて広く社会全体に価格シグナルを与えるという点では共通する。規制対象の違いを踏まえて両制度を補完的に使用する方法もある。

この他、排出量取引は排出枠の割当やモニタリングなど行政コストが高い点、無償割当の場合は温暖化対策などに活用可能な収入が得られないといった点が挙げられる。

（注）本稿ではキャップ&トレード型を想定する。なお、他セクターとのリンクを前提とするオフセットクレジットの利用について本稿では考察しない。

表1 GHG削減のための政策手法

| 手法 | 概要 | 具体例 |
|-------|--------------------------|-----------------|
| 経済的手法 | 経済的なインセンティブを与えて排出削減を促す手法 | 炭素税、排出量取引、補助金政策 |
| 規制的手法 | 排出総量や排出効率などを直接規制する手法 | 排出総量規制、排出効率規制 |
| 情報的手法 | 情報に係る規制を通じて排出削減を促す手法 | ラベリング制度、情報開示義務 |
| 自主的取組 | 事業者等が自主的に排出削減を目指す手法 | 自主行動計画 |

表2 炭素税と排出量取引の特長と課題

| | 炭素税 | 排出量取引 |
|----|--|--|
| 特長 | <ul style="list-style-type: none"> 炭素価格の予見可能性が高い 幅広い主体を対象とすることができる 税収の活用が可能 | <ul style="list-style-type: none"> 排出削減量の確実性が高い 有償割当の場合はオークション収入の活用が可能 |
| 課題 | <ul style="list-style-type: none"> 排出削減量の確実性が低い | <ul style="list-style-type: none"> 炭素価格の予見可能性が低い 対象主体が大規模事業者に限定される |

| | | |
|--|--|-------------------|
| | | ・制度運用にかかる行政コストが高い |
|--|--|-------------------|

3. 燃料課金の特徴

国際海運の経済的手法としては燃料課金と排出量取引が主な選択肢となるが、国際的には燃料課金を推す声が多い。理由としては上述の比較と同様、燃料課金は予見可能な価格シグナルを通じて削減技術への投資インセンティブを付与できる点、制度設計が複雑で行政コストが高い排出量取引と比べて容易に実施できる点が挙げられる。

さらに排出量取引は国際海運の業態に起因する以下の問題を抱える。

一つは、排出枠の無償割当が困難である点。既存の排出量取引では産業競争力や炭素漏洩の防止、激変緩和の観点から無償割当から始め、段階的に有償割当に移行する形が多いが、国際海運では船の種類・航路・契約形態が多岐にわたるため、過去の排出量を基準に割当てするグランドファザリング方式と標準原単位を基準に割当てするベンチマーク方式のいずれも実施は困難である。CII を活用したベンチマーク方式も想定されるが、同指標は外的要因に左右され易く、現時点で規制ツールとしての利用は困難といえる。

もう一つは、特に不定期船部門では中小船社が多く、大手船社と比べて取引費用が高くなるなど市場歪曲性を有する点。炭素税でも低所得者の負担が相対的に大きくなる逆進性の問題はあるが、排出量取引では取引の局面においても市場歪曲性を有する点が懸念される。

国際海運業界も排出量取引より燃料課金を志向する。例えば、国際海運会議所(ICS)は、中小船社が多く、船種・契約関係・運航者が多様で複雑な国際海運において排出量取引を運用するのは困難であり、燃料課金の方が不公平性・市場歪曲性が生じにくいと評する。

制度の選好は評価基準によって変わり、排出削減量の確実性を重視するのであれば排出量取引が望ましいが、国際海運では投資インセンティブ・公平性の面で燃料課金を評価する見方が多い。

4. 燃料課金の執行

IMO で検討されている燃料課金は、低額課金によって国際基金を設立し、同財源を脱炭素技術の研究開発等に充てる財源調達型と、高額課金によって排出削減に向けた行動変容を促すインセンティブ型の2つのタイプに分けられる。いずれにおいても公平な競争条件を確保するためには頑健（ロバスト）な執行体制が必要となる。

多くのIMOの条約は、船舶の構造・設計・設備・乗組員等を対象に義務要件を定め、当該義務の履行を確保する責任を旗国に負わせ、旗国による執行を寄港国監督（PSC）で補完する体制を設けている。例えば、海洋汚染防止（MARPOL）条約では船舶に適用される技術要件を定め、旗国は自国船舶による義務履行を確保する責任を

負い、当該責任を果たすために船舶・設計・設備等の検査・認証を行い、要件に適合していれば証書を発給する。他の締約国は当該船舶の寄港時に証書類の確認や船内設備等の検査を行い、違反があれば是正措置を命じ、有効な証書がなければ抑留措置を講じる。PSC では非締約国船舶が「有利な取扱いを受けることのないよう (no more favourable treatment)」全ての船舶を同等に扱う NMFT 原則が適用される。

当該体制で燃料課金を実施する場合、MARPOL 条約の燃料消費実績報告制度(DCS)のように船舶に抛出現義務を課し、実際の抛出現は同条約に規定される会社(船主又は船主から運航責任を受託しかつ ISM コード上の責任を負うもの)が行う形が想定されるが、以下の課題が想定される。

まず、抛出現義務が履行されない場合、旗国は是正措置をとることが困難になる状況が想定される。すなわち、国際海運では実質船主が旗国以外の国に所在し、船主が外国の船舶管理会社に運航を委託し、船舶自体も旗国領域外で運航されるケースが多く、執行対象に旗国の権限が及ばない状況が起こり得る。この点、抛出現者(特定の石油輸入業者)が締約国内に所在する国際油濁補償基金(IOPCF)条約の下での抛出現金制度とは対照的である。さらに船籍や船主の変更が容易である点も執行を困難にさせる要因となる。

条約で不遵守に対する手続が設けられていない点も挙げられる。MARPOL 条約は旗国が上述の責任を果たさない場合の措置について何も規定していない。国連海洋法条約上も、旗国は自国船舶の行政上、技術上及び社会上の事項について管轄権を行使し有効に規制する義務を負い、海洋汚染防止についても自国船舶による国際規則の遵守を確保し、そのための措置を講じる義務を負うが、義務違反に対する法的帰結については何も規定していない。

旗国による執行上の問題は従前から存在し、これを補完するために発展してきたのが PSC である。PSC は条約上の義務ではなく権利として実施されるものであり、その実効性は各国の意思・能力に左右されるが、現在においては国際基準を統一的かつ実効的に適用する規制措置として広く利用されている。

燃料課金の実施においては、上述の課題を踏まえ、IMO の監査制度や PSC に関する地域協力枠組内での協力促進による旗国・寄港国の能力構築が重要となる。抛出現義務の履行状況を一元的に管理し、旗国・寄港国と共有する体制整備も必要となり得る。国際海運に固有の業態と執行上の課題を踏まえ、経験蓄積によって制度改善を図るプロセスが重要となる。

なお、船舶ではなく燃料供給事業者に抛出現義務を課す方法もあり得るが、NMFT 原則に基づく一律適用はできないため、非締約国に所在する燃料供給事業者が有利となり市場歪曲性の問題が生じることとなる。

5. おわりに

国際海運における脱炭素技術の社会実装が期待される 2020 年代後半には技術普及に向けた需要喚起策としての経済的手法が必要となるが、政策決定においては効率性だけでなく政治的受容性も重要な要因となる。特に NMFT 原則により抛出義務が一律に適用される燃料課金の場合、共通だが差異ある責任原則を踏まえた基金運営に合意できるかどうかがかギとなる。

一方で、脱炭素技術の開発導入においては ESG 金融の拡大という構造転換も看過できない。国際海運業界でも投融資に係る自社評価や顧客のサプライチェーン排出量削減ニーズを踏まえた脱炭素化への取り組みが増えつつある。経済的手法は行動変容を促す上で有効だが、気候変動関連情報など非財務情報の開示を義務化する情報的手法によるグリーン投資拡大機運が高まっていることを踏まえるならば、ライフサイクル排出量の少ない脱炭素技術を使った輸送サービスが需要家から選別される仕組みづくりも検討に値する。少なくとも ESG を重視した事業環境の進展は不可避と考えられることから、脱炭素化に向けた自律的な取組みと競争力の源泉となる技術開発への支援強化は今後も重要となる。

Shipping Industry's Challenge towards Decarbonization

主任研究員 森本 清二郎

While the global economy is struggling to recover from the disruption caused by the COVID-19 pandemic, decarbonization has emerged as a long-term and complex challenge to the shipping industry. The latest report by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has reaffirmed the linkage of extreme weather and climate change, and the COP26 scheduled in November may become another milestone to gain momentum for global actions to address climate change. The shipping industry, which relies heavily on fossil fuels, is no exception in bearing the responsibility to find pathways to adopt low or zero-carbon fuels in order to contribute to the global efforts to mitigate the impact of climate change.

Against this backdrop, we held an interview with Seijiro Morimoto, a senior researcher of Japan Maritime Center, to have an overview of the political and regulatory developments at the International Maritime Organization (IMO), as well as the efforts being made across the global shipping industry, held in collaboration with stakeholders in relevant sectors, to address the unprecedented challenge to make transition towards decarbonization.

1. Are there any specific targets for the global shipping industry to reduce GHG emissions?

International shipping, which underpins 90% of global trade by volume, emits 2-3% of global annual greenhouse gas (GHG) emissions (see Figure 1). To achieve the Paris Agreement temperature goals, namely to hold global average temperature rise to well below 2°C from pre-industrial levels, and to pursue efforts to further limit within 1.5°C, significant amount of GHG reduction is needed. Parties to the Paris Agreement are required to set

their own targets in their nationally determined contributions (NDCs), but emissions from international shipping cannot be attributed to individual countries because ship operations involves stakeholders from different countries. Ships are frequently chartered and their beneficial owners, operators or cargo owners often have no linkage with the flag state. Such a global and intricate nature of the industry has necessitated the IMO, as the regulator of global shipping, to take responsibility for regulating GHG emissions from international shipping.

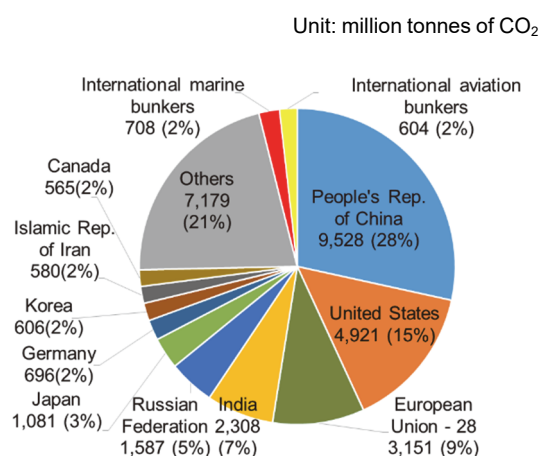


Fig.1 CO₂ emissions from fuel combustion in 2018

Source: IEA (2020), CO₂ Emissions from Fuel Combustion.

In 2018, the Initial IMO GHG Strategy was adopted in which levels of ambition, or reduction targets, were stipulated (see Box 1). The first target aims to improve the energy efficiency design index (EEDI) of new ships by strengthening EEDI requirements implemented in later phases. The second target aims to reduce average CO₂ emissions per transport work by at least 40% compared to 2008, and the third target further aims to reduce total annual GHG emissions by at least 50% compared to 2008 and to phase them out in line with the Paris Agreement temperature goals.

Box 1 Levels of ambition in the IMO GHG Strategy

1. Improving energy efficiency of new ships

through the EEDI.

2. Improving carbon intensity of international shipping by at least 40% by 2030 compared to 2008.
3. Peaking GHG emissions from international shipping as soon as possible and reducing annual GHG emissions by at least 50% by 2050 compared to 2008 whilst pursuing efforts towards phasing them out as soon as possible in this century.

Source: IMO submission to the UNFCCC Talanoa Dialogue

Following the publication of the special report by the IPCC in 2018, which articulated that global CO₂ emissions should reach net zero around 2050 in order to limit global temperature rise to 1.5°C, many countries have announced their commitment to reach net zero emissions by 2050. The IPCC published another report last August, which forms part of the Sixth Assessment Report, which implied the urgency of the matter, indicating its estimate that global temperature rise will likely exceed 1.5°C during 2021-2040, a timeframe moved up ten years earlier than was previously estimated. The impact of climate change is ever more strongly felt with extreme heatwaves, storms and floods becoming more frequent, and political pressure to take urgent actions across every sector, including international shipping, to reach net zero will likely intensify. It is upon

such social climate that the global shipping sector is facing this challenge to make concrete actions towards decarbonization.

2. What are the regulatory measures adopted at the IMO to achieve those targets?

EEDI regulation was introduced in 2013 to improve design efficiency of newly built ships by applying regulatory limit values in terms of grams of CO₂ emitted per ship's capacity mile. Those values, set in accordance with different ship types and size segments, are strengthened based on the phased approach. Phase 3 requirements applying 30% reduction factors for larger vessels from the baseline had been scheduled for application from 2025, but it was agreed last November to move up the application date to April 2022 for certain ship types. It was also agreed to apply stricter reduction factors for larger container vessels than had been considered.

In order to achieve the 2030 target, an agreement was made in June this year to introduce package of measures in 2023 to apply regulations using energy efficiency design index for existing ships (EEXI) and rating system in which operational carbon intensity indicator

(CII) is evaluated for each ship. These 'short-term measures' are expected to bring larger effect to reduce CO₂ emissions, by broadening the scope of application of design efficiency regulations to pre-EEDI ships and introducing a new scheme that would label ships' performance based on their operations.

Achievement of 2050 target and net zero emissions would require further efforts to improve energy efficiency, but efficiency-based measures would not be enough to achieve this ambitious target, because transport work is expected to grow with increasing shipping demand. Therefore 'mid and long term measures' to promote adoption of low-carbon or zero-carbon fuels and technologies are required.

3. What are the solutions currently available to achieve net zero emissions from ships?

Alternative fuels, such as liquefied natural gas (LNG), methanol, ammonia and hydrogen are often cited as possible solutions, but there are pros and cons with respect to their environmental, technical and economic aspects, that are somewhat related to their physical properties (See Figure 2). Fuel cells, batteries, wind propulsion, and CO₂ capturing

technologies are also considered as possible solutions that could be used onboard.

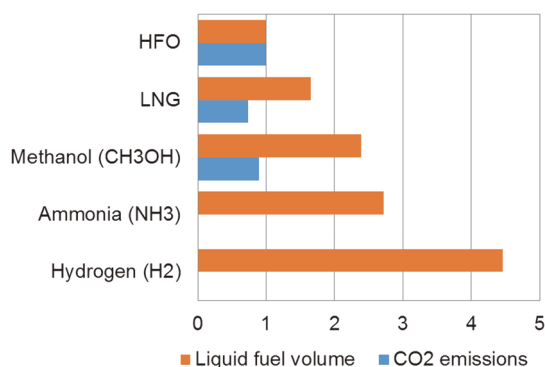


Fig.2 Physical properties of alternative fuels

Note: Both liquid fuel volumes and CO₂ emissions (tank-to-propeller emissions) are calculated per unit of heat on the basis of heavy fuel oil (HFO) which is indexed as 1.

Source: Shipping Zero Emission Project, *Roadmap to Zero Emission from International Shipping*, March 2020.

Available technologies to accelerate transition may include LNG, methanol, batteries and biofuels, but they also have limitations.

LNG, whose main component is methane (CH₄), can reduce onboard CO₂ emissions or tank-to-propeller CO₂ emissions by almost 25% compared to heavy fuel oil, and it is a proven technology that can be applied on large vessels. Methanol (CH₃OH) can also reduce CO₂ emissions by around 15% and is already applied in ocean-going vessels, but larger fuel tank may be required due to lower

energy density. Both have potentials to become transition fuels, since engines and infrastructures are applicable to biofuels or synthetic fuels, but there is a challenge in ensuring the availability of those ‘carbon-neutral’ fuels which are not yet widely available. LNG also entails the issue of so-called ‘methane-slip’, which needs to be addressed to ensure environmental integrity.

Electric vessels (EVs) using power from batteries charged from on-shore electric grid can achieve zero emissions onboard if all energy is powered by electricity. However, batteries are not currently considered as feasible solutions for propulsion of larger vessels with high power demand due to weight and volume constraints. They are therefore expected to be used in either short-sea shipping or as auxiliary power for larger vessels.

Biofuels, which include biodiesel, bio-methane and bio-methanol, are energy carriers produced from biomass or biomass residues, and have potentials to significantly reduce lifecycle or well-to-propeller CO₂ emissions, depending on the feedstock and processing methods. Biofuels can be used in existing ship engines and infrastructure without major modifications, but there are uncertainties regarding supply of

sustainable feedstock and there may also be competing demands from other sectors such as aviation.

Use of natural energy, such as wind and solar power can reduce onboard emission, which is already applied on vessels, but performance is affected by weather condition and it cannot be used as the main energy for propulsion. It may therefore be used as a complementary energy source in combination with other technologies.

4. What would be the long-term solutions for ocean-going vessels?

Fuels and technologies that are not yet commercially available but under development for application in larger ocean-going vessels would include ammonia, hydrogen, synthetic or carbon-recycled fuels, such as e-methane or e-methanol, and onboard CO₂ capturing.

Ammonia (NH₃) and hydrogen (H₂) are often cited as leading candidates of zero-carbon fuels, but engine systems for larger vessels are yet to be developed. They have the potential to reduce lifecycle emissions significantly, if produced from renewable energy or by reformation of fossil fuels accompanied by carbon capture and storage. Ammonia is already handled as cargoes and considered relatively easy for storage

compared to hydrogen, but there are issues in safety aspects due to its toxic and corrosive nature. Emissions of nitrogen oxide (N₂O), which have larger warming potential than CO₂, should also be looked after. Hydrogen, which has higher risks of explosion, requires technical development for safe storage, handling and bunkering to prevent leakage.

Synthetic fuels, such as e-methane or e-methanol, are produced by synthesizing hydrogen with captured CO₂ for instance from industrial waste gas, and have potentials to become carbon neutral, depending on the accounting methodologies. They can be used in existing engines without major modification, but availability and costs will be the bottleneck.

Onboard CO₂ capturing is a technology used to isolate and capture CO₂ in exhaust gas from fuel combustion, which can significantly reduce onboard CO₂ emissions. The capturing plant consumes energy so improvement in energy efficiency is required. Onboard storage and utilization of captured CO₂ are also issues that need to be dealt with.

5. What actions are taken by the global shipping industry to develop and apply these solutions?

Major container carriers have tested biofuels onboard vessels and some have started providing carbon-neutral transport services using biofuels to meet shippers' demand to reduce carbon footprint of their products.

They are also leading projects to produce carbon neutral fuels. For example, Maersk is partnering with leading Danish companies, including energy providers, to establish an e-methanol production facility. CMA CGM has also formed a coalition with partners in energy and transport sectors to promote fuel transition, and has recently initiated a study to produce bio-methane for ships. These projects involves companies from land and air transport sectors to secure larger demand for cost reduction.

An important feature is that shipping industry is partnering with engine-manufactures, ship-builders, energy providers and other stakeholders, which is necessary to develop zero-emission vessels (ZEVs) and to construct the supply chain for carbon neutral fuels. The Getting to Zero Coalition (GTZ) is a notable example of such cross-sectoral collaboration, which involves more than 150 companies among the maritime, energy, infrastructure and finance sectors. The GTZ is committed to introducing

commercially viable deep-sea ZEVs into operation by 2030, and had set out an indicative roadmap, in which trials of smaller ships with zero carbon energy sources and small scale production of new fuels are envisaged in 2021-2023, leading to full scale testing of larger vessels and scaling up of fuel production in 2024-2027 (See Figure 3).

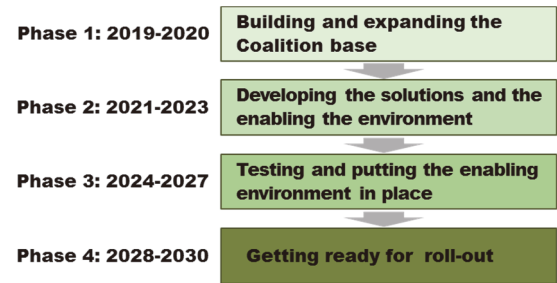


Fig.3 Indicative Industry roadmap set out by the Getting to Zero Coalition
Source: Global Maritime Forum Website

According to the mapping of projects by the GTZ, recent trend shows an increase in large ship projects focusing on ammonia, methanol or ethanol and hydrogen, while batteries and hydrogen fuel cells are anticipated for use as energy sources of auxiliary power. For small ship projects, the mapping shows preference towards hydrogen or batteries, and for fuel production projects, the preference is towards hydrogen and hydrogen-derived fuels.

6. What are the actions taken by the

Japanese shipping industry?

The Japanese shipping industry is very active in making efforts towards decarbonization. The three major carriers, NYK, MOL and K-Line, are making or announcing investments to actively adopt LNG fuels, as bridging-technologies to accelerate transition.

They are also taking active roles in launching projects aimed at developing or applying new fuels and technologies. For example, they are leading joint projects such as the development of an ammonia-fueled vessel, development of a high-power fuel cell vessel with demonstration of hydrogen fuel supply, application of wind-assisted propulsion systems, development of shipping infrastructure services based on EVs, and development of onboard CO₂ capture plant. There are also projects to develop hydrogen-fueled engine by engine manufacturers, and cross-sectoral study group is set up to explore the feasibility of using e-methane for ships.

One notable feature is that the shipping industry is in collaboration with major players in Japan that are working to develop supply chains of carbon neutral fuels including hydrogen, ammonia and carbon-recycled fuels for onshore demand such as power generation, industry

and transport sectors, under the Green Growth Strategy for carbon neutrality by 2050.

7. What are the challenges and prospects for further efforts towards decarbonization?

I think securing investment for not only technologies for ship application, but also for the development of onshore infrastructure, including facilities to produce green fuels from renewable energy as well as bunkering facilities at ports, will be a bottleneck.

Introducing necessary regulatory measures may also become a challenge. Development of standards and regulations to ensure safety when using ammonia and hydrogen is an issue that needs to be dealt with. Measures to facilitate R&D and deployment of new energy sources are also needed. Industry associations have proposed to set up an international fund based on financial contributions by shipping companies to support and facilitate R&D efforts. Carbon-pricing can also provide incentives for the uptake of new technologies. Such measures to push R&D efforts and pull demand for zero carbon energy sources will be needed to facilitate investment.

Further efforts will be made to

materialize zero emission energy sources for international shipping. It seems at the moment that different solutions would become available for ship application, but in any case, crews will be on the frontline to deal with new technologies onboard. It would therefore become important that designing of new solutions and regulations should not overlook the impact they have on actual conditions onboard. Safe and efficient operation of new fuels and technology would be the basis for us to contribute to the sustainable development of the industry and the whole economy.

(The Mariner's Digest, Vol.63,
October 2021, PP.8-13)

洋上風力発電に係る航行安全確保に関する動向

研究員 坂本 尚繁

【本稿のポイント】

- ・ 日本では関係法令等を踏まえつつケースバイケースで航行安全を確保
- ・ 台湾は発電事業者と船舶を対象とする航行安全規範を制定
- ・ 一部欧州諸国が EEZ で実施する規制的取り組みは国際基準を参照

1. はじめに

世界で再生可能エネルギーへの注目が進む中、欧州や東アジアをはじめ各地で洋上風力発電の導入が拡大している。日本でも 2020 年に菅前内閣が掲げた 2050 年カーボンニュートラル目標および洋上風力導入目標（2030 年までに 10GW、2040 年までに 30～45GW）のもと、洋上風力発電の事業計画が各地で検討されており、日本の海事産業にとっても商機として進出・参入が検討されるところである。

洋上風力発電所の設置・運用をしていく際には、環境への影響や利害関係者との調整など様々な点の考慮が必要となるが、洋上風車の周辺海域での航行の安全確保も、そうした考慮点の 1 つである。昨年度には洋上風力に係る航行安全確保につき英国の動向を紹介したが（本紙 2020 年 5 月 29 日寄稿記事）、本稿ではその続編として、わが国を含む数か国の航行安全確保に関する動向につき紹介を行いたい。

2. 日本

四方を海に囲まれ海洋での活動が盛んな日本において洋上風力事業を計画・実施する際には、商船や漁船など設置計画海域の先行利用者との調整を行う必要が、しばしば指摘される。かかる調整においては、洋上風力発電所海域の周辺で先行利用者の海難リスクが高まらないよう、船舶の航行安全確保の取り組みが重要となる。

再エネ海域利用法の下、領海及び内水の海域（一般海域）での洋上風力発電事業が推進されている国内では、船舶の航行安全を確保するため、以下の表にあげた取り組みが行われる。

表 1 日本における航行安全確保の取り組み（例）

| |
|---------------------------------------|
| 大型船の主要航路を避ける必要 |
| 利害関係者との事前協議 |
| 海域利用状況の事前調査や航行リスクの分析評価を踏まえた建設計画の作成 |
| 船舶の航路から一定の離隔距離を確保 |
| 洋上風車による船舶のレーダー等機器や船員の視覚などへの影響を検討する必要 |
| 航路標識の設置や洋上風車の視認性を高める塗装等の必要、発電所の海図への反映 |
| 設置工事の際の事前の周知・注意喚起等の必要 |

| |
|-----------------------|
| 事業者と当局の緊急時対応計画の作成 |
| 船側における基本的な航行安全ルールへの順守 |

(注) 計画・工事・設置後の各段階の取組みを含む。

(出典) 再エネ海域利用法および経済産業省・国土交通省の各種ガイドライン・基準解説等より作成

事業者は基本的に大型船の主要な航路を避けつつ、利害関係者と綿密に協議を重ね、洋上風車の設置に伴う船員の視覚やレーダーへの影響（多重反射やサイドローブによる虚像などが考えられる）をはじめとする船舶への航行リスクを多角的に検討した上で、洋上風車等施設の適切な配置を行い、必要な情報の周知・注意喚起を行う形となっている。

各海域ではこうした基本的な枠組みを基に、船舶の夜間航行の有無や漁船のメインルート・定置網の設置地点、霧の発生の多寡など海域ごとの動向や自然条件について情報共有・コミュニケーションを行いつつ、フォッグホーンの活用や適切な数の灯火標識の設置、発電所海域内の通航路の設置の検討といったケースバイケースの取組みがそれぞれ行われると思われる。また、洋上風車等施設の設置予定地や設置後の施設の周囲一定範囲を進入禁止とする安全水域の制度（排他的経済水域（EEZ）につき国連海洋法条約（UNCLOS）が規定）の一般海域での準用や、洋上風力に即した航行安全確保のガイドライン・ガイダンスの作成など、洋上風車周辺での航行安全確保の方策が検討されると思われる。

3. 台湾

3段階の開発戦略を策定し、領海での洋上風力発電の導入を積極的に推進している台湾では（洋上風力に係る台湾の動向の概観については本紙2月25日寄稿記事参照）、洋上風力発電の導入に向けた基本的な法政策の整備に加え、洋上風力発電事業の計画・実施に関する個別分野（航行安全確保を含む）に係るルールの整備も進められている。

そうした中、台湾は2018年に航路標識法を改正して洋上風車など海洋施設の設置に対応したほか（海洋施設の設置の際は周囲に安全水域を指定し、航路標識を設置し、航行および施設の安全を確保する適切な措置を講じることが規定）、2019年に交通省航港局が洋上風車設置海域における航行安全規範を制定し、洋上風力発電所海域周辺を航行する船舶（設置工事・メンテナンスに従事する特殊船舶を含む）の安全を確保する各種対策を規定した。本規範のもと発電事業者は、漁業関係者を含む関係者への情報周知（工事着工1ヶ月前まで）、発電所の位置データの内務省および海軍大気海洋局への提出、作業船の航海計画の交通省航港局への提出（2週間前まで）、航路標識の設置（工事の際および完成後）、作業船動向のVTS（船舶通航業務）センターへの

逐次報告、警備船での設置工事海域での安全喚起、発電所海域のモニタリングが求められる。一方で船舶の側は、VHF 無線および AIS（自動船舶識別装置）の装備と活用、本安全規範で指定された航路を用いての航行、STCW 条約などその他関連ルールの遵守、航海計画の慎重な検討（発電所海域周辺以外の航路の検討を含む）が求められている。

加えて台湾では 2017 年に、洋上風力発電所の設置が多数計画されている彰化県沖で、南北方向の航行可能水域の導入や、台湾海峡横断のための直行航路の修正を行っている。

4. 欧州

欧州は洋上風力発電の導入において日本や台湾などの東アジア地域より先行しており、現時点での全世界の洋上風力導入量 35.3GW のうち 70%は欧州勢が占める。欧州では、領海の沿岸部での発電計画が進められている日本や台湾と異なり、EEZ を含む沖合の海域でも大規模な洋上風力発電所（英国東部沖合約 120km のホーンシー・ワン洋上風力発電所（発電容量 1.2GW）など）の設置が進められている。そうした発電所においても航行安全を確保する取組が必要となるが、この点、各国それぞれ方策が見られる。

このうち英国では EEZ・領海の区別なく、主要な航路を避けながら、詳細なガイドラインを参照しつつ、ケースバイケースで洋上風車周辺での航行の安全を確保することとしている。英国では日本と同様に、洋上風力発電所海域内部の航行も原則的に認められており、その際に船舶はリスク評価を踏まえ航行安全ルールを遵守して航行を行うことがガイドラインで求められている。

他方、ドイツでは、連邦水路・海運局による洋上風力発電所の基本設計要件として、洋上風車等施設と航路の離隔距離に 2 海里および標準 500m の安全水域の確保が求められるほか、洋上風力発電所海域内部での航行が規制されている。ドイツでは空間整序法（2008 年）に基づいて自国の EEZ に関し海洋空間計画（MSP）を制定しており、その中で海運優先区域や洋上風力発電優先区域など、特定目的別の優先区域を設定している。MSP は、ユネスコ政府間海洋学委員会（UNESCO-IOC）が推進し、EU も加盟国に指令で策定を求めている、海洋の利用に係る利用関係者間の合意形成の枠組みであり、ドイツほか英国や米国、豪州など多数の国で策定されているが、ドイツの MSP では設定された優先区域において、指定された特定の機能・用途と両立しない、その他の利用は認められないこととされている。

国際法上、沿岸国は領域主権に基づき、領海における航行の安全及び海上交通の規制などについて法令を制定することができる。一方 EEZ では、沿岸国は風からのエネルギー生産を含む経済的な探査・開発のための活動に関する主権的権利を持つが、その行使の際、航行の自由など他国の権利に妥当な考慮を払うものとされる。

UNCLOS では、航行の自由に対する妥当な考慮の内容について具体的規定はなく、EEZ における船舶航行に対する規制的な取り組みは、国際法上の論点の余地が考えられうる。ただし UNCLOS では、海洋施設・構造物（洋上風車も含まれると考えられる）は、国際航行に不可欠な認められた航路帯の使用の妨げとなるような場所に設けてはならないとされる。実際、ドイツの MSP における海運の優先区域は、既存の主要な海運航路や TSS（分離通航方式）を踏まえた形で設定がなされており、こうした動向は洋上風力発電事業に際して UNCLOS が定める沿岸国と他国の権利義務の関係を解釈する際に、参考となることが考えられる。

オランダも水法（2009 年）に基づく国家水計画の附属書である北海政策文書の中で、自国 EEZ の海洋空間計画の策定を行っている。さらにオランダでは政府主導で洋上風力発電の導入が進められており（セントラル方式）、環境影響評価や航行安全リスク評価なども政府が自ら行う。オランダの洋上風力エネルギー白書によれば、洋上風力発電所と航路は原則 2 海里（または船舶が衝突回避のための旋回運動が可能な距離）以上離隔されることとされており、ドイツと同様に洋上風力発電所海域内の航行も原則禁止される。ただし 2018 年以降、全長 24m 以下の小型船に限り、AIS を搭載し、洋上風車から 50m の離隔距離を維持するとの条件付きで、日中の発電所海域内の通航が許可された（釣り竿の使用は可能。錨泊やトロール網の使用は禁止）。

さらにオランダでは、従来船舶交通が輻輳していた EEZ の海域に洋上風力発電所を設置した事例がある。例えば 2020 年にその一部（Ⅰ区およびⅡ区：発電容量 752MW）が完成したボルセレ洋上風力発電所の事例があげられるが、同発電所の設置においては、予め政府が国際海事機関（IMO）に設置計画海域を警戒水域として指定、および関連する既存の分離通航帯を修正する提案を行って、IMO の承認を受けている。さらに同発電所海域では、45m 以下で危険な貨物を積まない船舶のみ航行可能な通航路が、発電所海域内部に設置される（IMO により承認）。

IMO は航行安全、船舶交通の安全性等の問題に関して、UNCLOS の下での権限のある国際機関と位置付けられており、船舶の航行と沿岸国の経済的活動の調整に資する取組みを蓄積している。そうした取組みとして、以下の表に掲げるガイドラインの制定があげられる。

表 2 IMO 制定のガイドラインに含まれる航行安全確保の取組み（例）

| 航路指定ガイドライン（A.572(14)） | 安全水域ガイドライン（A.671(16)） |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 分離通行方式等の航路指定の方法を規定 ・ IMO 指定航路の近傍で石油リグ等の構造物を設置しないことを確保する必要 ・ 洋上風車等の設置を行う際に航行の安全への影響を考慮する必要 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 早期の航行パターン調査の必要 ・ 海洋施設・構造物の位置、周囲の安全水域等に関する情報周知 ・ 情報周知の具体的方法（無線や灯火・音響信号） |

| | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・沿岸国が EEZ で航路指定や、指定航路の変更等を行う場合には、IMO での協議・採択が必要 | <ul style="list-style-type: none"> ・海洋施設又は構築物の近傍の船舶航行に関する国際基準（安全な速度と距離の維持、早期の回避行動、確立された航路の使用、無線による継続的な情報収集など）の設定 |
|---|---|

上記オランダの事例は航路指定ガイドラインを踏まえたものである。また安全水域ガイドラインは、UNCLOS が規定する安全水域の制度をより詳細化したものと位置付けられる。

5. むすびに代えて

洋上風力発電では、各国それぞれ海域特性や海域に係る事情、政策方針、導入拡大の段階等において相違が存在しており、航行の安全確保についてもそれぞれの状況を踏まえた措置が策定・運用されていると考えられる。日本では洋上風力発電の導入促進や海域の多様性の観点から、各地での検討の幅を持たせた枠組みが柔軟に運用されている。台湾では早期の洋上風力導入拡大を図る観点から、航行安全規範を含む法政策の整備が迅速に進められているが、先行利用者や他のニーズとの調整が不十分との指摘も一部にみられる。導入量で日台に先行し、沖合の海域でも発電所の設置が進んでいる欧州では、詳細なガイドラインを整備しつつ日本に似たアプローチを採る英国のほか、一部の北海沿岸諸国では航路の変更を伴う発電所海域の設定や発電所海域内の航行禁止など規制的な取り組みも行われているが、それらは UNCLOS や IMO のガイドラインなどの国際基準を参照している。今後日本で洋上風力の更なる導入拡大が必要となった場合、風況や海域特性、利害関係者との調整など個別の状況を踏まえ、効率的で安全確保に資する取組み・検討が進展することも予想される。諸外国の取組みも踏まえ、日本に適した方策の模索や枠組みとなる政策の検討がなされることが期待される。

国際海運における経済的手法の動向

主任研究員 森本 清二郎

【ポイント】

- ◆ 代替燃料とのコスト差を埋める役割を MBM に期待
- ◆ 予見可能性を付与する課金は投資リスク低減に寄与
- ◆ グローバルな MBM 導入には国際協調が不可欠

1. はじめに

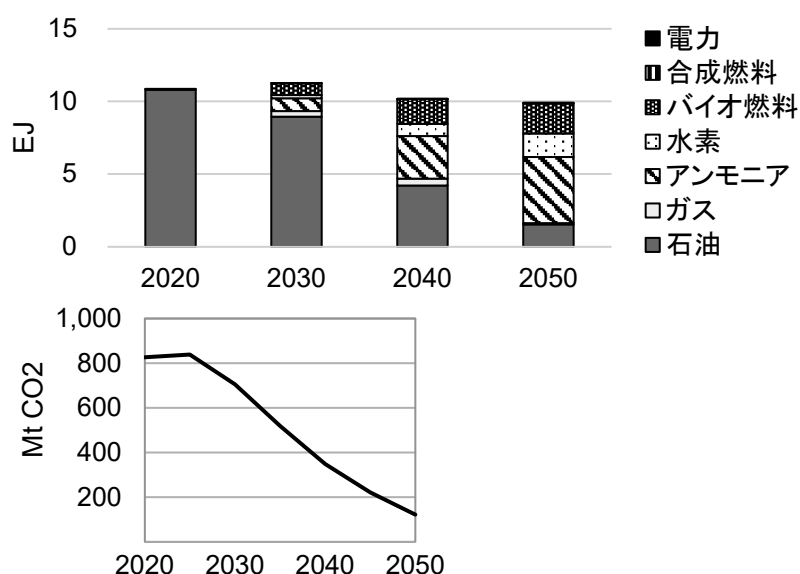
パリ協定の 1.5℃目標達成には温室効果ガス（GHG）排出量を 2050 年までにネットゼロにする必要があり、これを実現する政策として経済的手法（MBM: market based measures）に期待する声がある。国際海事機関（IMO）では 50 年までに GHG 排出量を 08 年比で半減する目標を達成する政策の一つとして MBM が検討されているが、欧州連合（EU）では EU 排出量取引制度（EU ETS）を海運に適用する法案パッケージが検討されており、MBM の対象範囲（グローバル又は地域）を含め議論の見通しは不透明な状況にある。ロシアのウクライナ侵攻による国際社会の分断や物価上昇による景気後退への懸念もこうした状況に拍車をかけている。

本稿では、こうした流動的な情勢を念頭におきつつも、国際海運における MBM に関する議論の動向を紹介し、グローバルな MBM 導入に向けた課題について考察する。

2. 経済的手法に関する動向

国際海運で 50 年までにネットゼロ GHG 排出を実現する場合、船舶のエネルギー効率改善に加え、ゼロ炭素燃料を含む代替燃料への転換が必要となる。国際エネルギー機関（IEA）が昨年 5 月に公表した 50 年ネットゼロ排出シナリオ（NZE: Net Zero Emissions by 2050 Scenario）によれば、海運分野では短期的には減速などによるエネルギー効率改善、中長期的にはアンモニアや水素、バイオ燃料、合成燃料などゼロ炭素燃料への転換が必要となる（図参照）。ただし、海運分野は他の長距離輸送モードと同様、燃料転換に必要な技術は開発途上にあり、今後 10 年間で大幅な進捗が見込めないこと、また、船舶の耐用年数は 25-35 年と長くリプレースに時間を要することから、NZE でも 50 年時点でゼロ排出は見込まれず、1 億 2000 万トン分の二酸化炭素（CO₂）排出量が残るとされる。

図 IEA NZE に基づく海運分野のエネルギー需要と CO₂ 排出量



(出所) IEA

海運業界は大手を中心に代替燃料の導入に取り組むが、現状では 1.5°C 目標に沿った排出経路に至らない可能性が高い。英調査会社クラークソン・リサーチによれば、本年 1 月時点で代替燃料船の導入は総トン数ベースで世界船腹量の 4.3%、新造発注量の 34.8% を占め、アンモニアレディ船や水素レディ船の発注も確認されているが、代替燃料の大半は LNG 燃料であり、そこから更にゼロ炭素燃料に移行する道筋を描く必要がある。主要エンジンメーカーは 20 年代半ばの市場投入を目指してアンモニアや水素炊きエンジンの開発を進めているが、ゼロ炭素燃料への移行においては技術的及び経済的な障壁が依然大きい。特に従来燃料と代替燃料のコスト差が大きく投資インセンティブが低い点、代替燃料のサプライチェーンが十分整備されていない点が課題であり、移行に向けたインセンティブを付与する政策として MBM に期待する声がある。

例えば、欧州トレーダー大手トラフィグラは 20 年 9 月に公表したレポートの中で、国際海運の脱炭素化に向けて化石燃料と低・ゼロ炭素燃料の競争上のギャップを埋めるため、IMO で CO2 トン当たり 250-300 ドルの炭素課金を導入すべきと提案する。海運大手マースクらの提唱で設立された研究機関「マースク・マッキニー・モラー・センター・フォー・ゼロ・カーボン・ SHIPPING」が昨年 11 月に公表したレポートでは、炭素課金を導入することで化石燃料と代替燃料のコスト差を埋め、50 年ゼロ排出に向けた移行を促すことが出来ると指摘する。海運の脱炭素化を目指す企業連合「ゲッティング・ツー・ゼロ・コーリション」(GTZ) が本年 2 月に公表（英国の海運コンサル UMAS が作成）したレポートでも、MBM によって化石燃料とゼロ炭素燃料の競争上のギャップを埋めることが出来ると指摘する。このように、MBM に対しては代替燃料と従来燃料のコスト差を埋める役割を期待する声がある。

MBM の選択肢としては炭素課金と排出量取引（ETS）があり、マースクらの研究機関や GTZ が公表したレポートでは必ずしも ETS が否定されている訳ではないが、国際的には課金を支持する声が多い。IMO での過去の MBM 提案を比較評価したデンマーク工科大学の研究においても課金の優位性が指摘されており、国際海運会議所（ICS）など国際海運団体も課金を志向する。排出権価格が変動する ETS とは異なり、価格が固定される課金はコストの予見可能性を付与し、代替燃料を含む GHG 削減技術への投資リスク低減に寄与する点が評価されているものといえる。

炭素課金を導入する場合、課金額（炭素価格）を如何なるレベルに設定するかが問題となる。単純に代替燃料との価格差に相当する課金額を化石燃料に上乗せした場合、現存船への追加負担が大きくなり、国際合意が難しくなる可能性がある。燃料の価格差を考慮しつつも、他セクターの炭素価格とのバランスを踏まえ、低額課金から開始すべきとの考え方もある。

この点、先述のいずれのレポートも課金収入の一部を代替燃料の導入に先行的に取り組むプレイヤーへの補助に充てる考え方が示されている点が注目される。トラフィグラのレポートでは、ライフサイクル GHG 排出量（燃料の生産・貯蔵・輸送・消費等のライフサイクルで発生する GHG 排出量）の多い燃料を課金対象とし、同排出量の少ないクリーンな燃料を還付対象とする課金・還付制度を提案する。マースクらの研究機関が出したレポートでは、代替燃料とのコスト差を化石燃料に上乗せした場合、課金額は 230 ドルとなるが、課金収入を還付する形でコスト差を埋めると 50-150 ドルで済むと指摘する。GTZ のレポートでも、2050 年までの脱炭素化に必要な炭素価格は平均 191 ドルであるところ、MBM の収入をゼロ炭素燃料への補助に充てれば半額程度まで抑えられるとする。

財源を排出削減に活用し、支払い負担を抑える発想は日本の地球温暖化対策税とも共通する部分があり、政治的な受容性を高める選択肢となり得るが、シンプルな課金と比べて補助の対象や還付額の設定など制度設計上のハードルが高くなるという課題がある。

3. ゼロ炭素燃料の価格

代替燃料とのコスト差がどの程度になるかは化石燃料とゼロ炭素燃料の価格動向に大きく依存する。クリーンな水素及びアンモニアの将来価格に関する既存研究を見ると、英国船級ロイド・レジスター（LR）と UMAS が 20 年 3 月に公表した予測によれば、2030 年時点で再エネ電力由来のグリーン水素の価格はギガジュール（GJ）当たり 44-79 ドル、グリーンアンモニアは 47-82 ドル、化石燃料由来で CO2 回収・貯留（CCS）を伴うブルー水素は 23-40 ドル、ブルーアンモニアは 26-43 ドルとされる。また、日本エネルギー経済研究所が昨年 10 月に公表した輸入水素キャリアの供給費用に関する予測によれば、2030 年時点でグリーン水素は GJ 当たり 38-51 ドル、

グリーンアンモニアは同 29-43 ドル、ブルー水素は 38-45 ドル、ブルーアンモニアは 21-38 ドルとされる（公表されている 1 キログラム当たり費用を筆者が熱量当たり費用に換算）。

いずれも燃料の生産・貯蔵・輸送等のサプライチェーンに係る費用の算出条件が異なるため単純比較は出来ず、また、不確実性を考慮して複数のシナリオが設定されているため、予測値に一定の開きはあるが、従来燃料（LR と UMAS の予測では低硫黄重油トン当たり 446 ドル=GJ 当たり 11 ドル）と比べて概ね 2 倍以上の価格が予想されている。また、30 年時点でグリーン燃料よりブルー燃料の方が価格優位性は見込まれるが、長期的にはライフサイクル排出量の少ないグリーン燃料の方が水電解装置など費用の低減余地は大きい点が示唆される。

これらゼロ炭素燃料の価格は水素製造費用や CCS 費用などに左右され、エネルギー関連産業の取り組み状況に大きく依存するが、IEA によれば、グリーン水素又はブルー水素の生産に向けた投資計画は NZE で必要となるレベルに満たない。MBM は国際海運セクターでの需要喚起に一定の役割を果たすが、より広範な産業セクターに対応した供給体制の確保や費用低減に向けた投資を促すためには燃料生産・供給国での支援が重要となる。

4. 経済的手法による影響

MBM に合意するためには、その影響に関する各国の懸念に対処する方策の検討が必要となる。IMO の GHG 削減戦略では、削減対策の導入前にその影響を評価し、当該影響と各国のニーズを考慮しつつ、過重な負の影響（disproportionately negative impacts）に対処すべきであることが謳われている。MBM は海上輸送コストを引き上げ、各国の貿易に影響を及ぼすことが懸念されるところ、一部の国は途上国に先進国と同等の負担を課すのは「共通だが差異ある責任」原則に反するとの考えを有しており、過去の MBM の議論も当該原則を巡る対立で中断している。

問題の根っこは気候変動枠組条約にある。同条約では「衡平の原則」と「共通だが差異ある責任」に従い、先進国が率先して気候変動及びその悪影響に対処すること（3 条 1 項）、途上国及び過重な負担を負う国のニーズを考慮すること（3 条 2 項）、気候変動や対策実施による影響に起因する途上国のニーズ及び懸念に対処するためにとるべき措置を考慮すること（4 条 8 項）が規定されている。

国際海運では非締約国の船舶を有利に扱わない（no more favourable treatment）原則の下、条約基準を旗国に依らず一律に適用する前提があり、国際航空で採用された航路別アプローチ（MBM 不参加国間の航路を適用除外とする方式）も複雑な業態を有する国際海運には馴染まず、適用段階での差別化は出来ない。先述のように支払い負担を抑える方法を探ると共に、「衡平の原則」に基づき、IMO における技術協力の枠組みを活かしつつ MBM の収入を気候変動の影響に脆弱な島嶼国等の支援に充

てるといった方策が必要になる。

5. おわりに

EU で地域規制の検討が進められる中、IMO においてグローバルな MBM に合意するためには、課金と ETS の是非、課金を選択する場合の課金額レベル、競争条件を歪めない執行体制の構築、衡平な移行に向けた支援のあり方など多くの検討課題がある。気候変動に対処する努力は関心を有する締約国の協力によって行われ得る（気候変動枠組条約 3 条 3 項）とされる如く、国際海運においても MBM の影響を許容し得る範囲に抑えるべく制度設計を行い、かつ、衡平な移行を実現する方策を模索するためには国際協調が不可欠となる。今般のウクライナ危機は各国の協調機運に水を差し、脱炭素政策を後退させる要因ともなり得るが、自他の長期的利益を探る努力こそが気候変動問題に限らず課題克服に必要な叡智そのものといえる。