

地球温暖化の影響と対策

一般社団法人地球温暖化防止全国ネット 専務理事 秋元 智子

◆地球温暖化防止活動のネットワーク

当団体は2008年8月に設立し、同年10月に環境大臣から全国地球温暖化防止活動推進センター（以下、全国センター）の指定をいただき、10年が経過しました。全国センターは地球温暖化対策の推進に関する法律（温対法）の39条に基づき環境大臣から指定されており、全国の温暖化防止の中核となっています。また、当団体は温対法38条に定められた地域温暖化防止活動推進センター（以下、地域センター）の親法人が会員となって組織化されています。地域センターは、都道府県や政令市・中核市の首長から指定されており、現在58のセンターが地域の温暖化防止活動の拠点として取組を行っています。全国センターでは、普及啓発、地域センターや民間団地の活動支援を始めとし、家庭における温室効果ガスの削減に対して情報の収集や提供、調査研究など、活動を多岐にわたり取り組んでいます。

◆我が国の脱炭素宣言

昨年10月に、菅総理は所信表明演説で「2050年までにカーボンニュートラルを目指す」と宣言をしました。日本は温暖化対策に対してこれまで西欧諸国と比較し消極的だと言われていたのですが、この発言を受けいよいよ日本も脱炭素に向かってフェーズが変わっていくのだなと興奮したことを覚えています。1992年に国連気候変動枠組条約が採択され、その後地球温暖化を防ぐ枠組みを議論する国際会議COPが、ほぼ毎年各国で開催されています。1997年はCOP3が京都で開催され京都議定書が発効されました。そして2016年にはパリ協定が発効されました。パリ協定は京都議定書と違い、途上国を含む全ての参加国に、排出削減の努力を求める枠組みとしています。パリ協定では、世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃より十分低く保ち、1.5℃に抑える努力をする。そのため、できるかぎり早期に世界の温室効果ガス排出量をピークアウトし、21世紀後半には、温室効果ガス排出量と（森林などによる）吸収量のバランスをとるという長期目標を掲げています。しかし、国連の気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が2018年に公表した「1.5℃特別報告書」では、2100年までの海面上昇は、気温上昇が2℃の場合よりも1.5℃の場合のほうが約10センチ少なくなり、リスクにさらされる人は最大1千万人減る。さらに、世界の海洋での年間漁獲量の減少は2℃なら300万トンを超えるが、1.5℃では半分の約150万トンに抑えられると報告しています。また、サンゴ礁の消失は2℃だと99%以上、1.5℃では70～90%減少となり、永久凍土の融解は2℃では

なく 1.5℃に抑えることにより、150万～250万平方キロの面積で永久凍土の融解を何世紀にもわたり防ぐことができると予測しています。気温を 1.5℃に抑えるには、主要な温室効果ガスである二酸化炭素 (CO₂) の排出量を 2030 年に、2010 年比で 45% 減らし、2050 年には森林などの吸収分や技術で回収する分などを差し引いて「実質ゼロ」にする必要があると指摘しています。このように、二酸化炭素を自然吸収や技術で回収する分を差し引いて、実質ゼロにすることをカーボンニュートラルと言います。この 1.5℃特別報告書が出たことにより、世界の国々はパリ協定での削減目標を新たに見直すことが迫られています。今年度 11 月に開催される COP26 では、日本の削減目標を 2013 年度比で 2030 年までに 46%削減を世界に示す予定となっています。

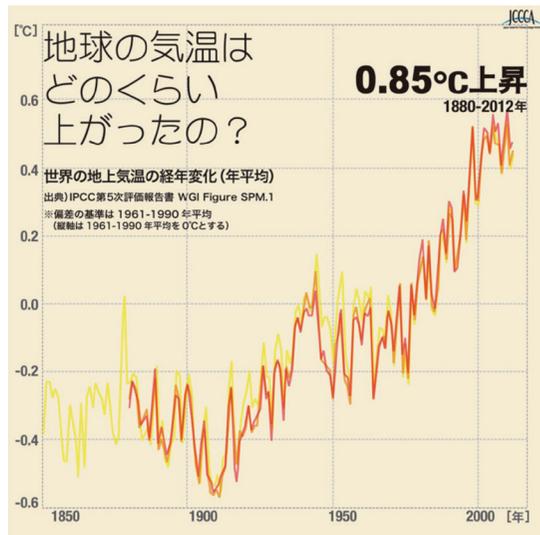


白化したサンゴ（沖縄県）
出展 JCCCAWeb サイト

◆ IPCC 第 6 次報告書が発表

最新的话题として、今年 8 月に IPCC 第 6 次評価報告書第 1 作業部会から、異常気象と地球温暖化の相関関係を科学的な見地から示した報告書が公表されました。IPCC とは各国から数百人以上の科学者を募り、気候危機に関する長年の研究成果をまとめている国連機関であり、1990 年から気候変動に関する報告書を 5～6 年ごとに公表しています。各国の政策決定者による国際交渉は、この内容をもとにして話し合われています。

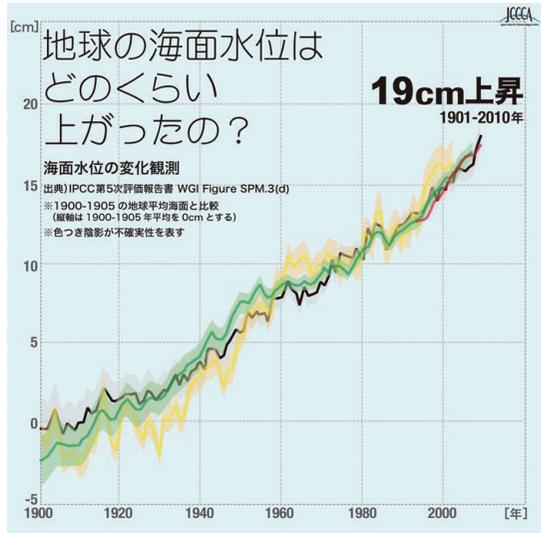
第 6 次報告書で特に注目すべき点は、人間活動が、大気、海洋および陸域を温暖化させてきたことには「疑う余地がない」と断定しています。以前の報告書では、人間活動の影響の可能性が極めて高いとか、信頼性が高いという表現に抑えられていましたが、今回は「疑う余地がない」と断定的な表現となっています。今回の報告書では、人間活動によって産業革命以前に比べ地球の平均気



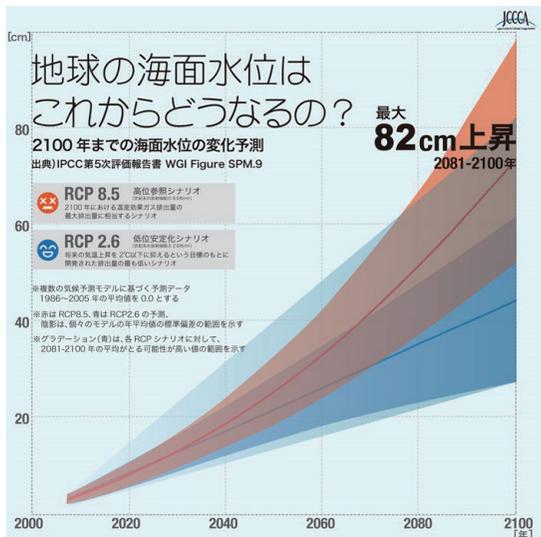
出展 JCCCAWeb サイト IPCC 第 5 次評価報告書より

温は約 1.09℃上昇しており、熱波、激しい降水、干ばつなどに留まらず、氷河や北極圏の海水の後退、海面上昇に起因する頻繁な沿岸部の洪水や海岸浸食、海洋酸性化、熱帯低気圧の強大化などに人為的な気候変動の影響が認められると言っています。

特に、海は「数百年から数千年のタイムスケールで不可逆的なもの」だと報告書は述べています。海は、排出された二酸化炭素の約 31%を吸収して酸性化が進んでいます。酸性化が進むと、貝類や甲殻類、サンゴなど、様々な海洋生物の成長や繁殖に影響がおよび、海洋の生態系に大きな変化が起きる怖れがあります。また同様に温暖化も進んでおり、海水温が高くなると海洋生物に欠かせない酸素を保持できる量が減少するといわれています。さらに、温暖化によって極地や山頂の氷河は数十年、場合によっては数百年にわたって融け続け、温室効果ガスの排出量がさらに増え続ければ、南極の氷床の融解が数百年にわたって加速し続け、さらなる海面上昇につながると示唆されています。予測の範囲ですが、驚くべきことは今後 2000 年の間に海面水位は 22 メートル上昇する可能性があるとし、海面水位が「数千年にわたって上昇し続ける」と述べています。



出展 JCCCAWeb サイト IPCC 第 5 次評価報告書より



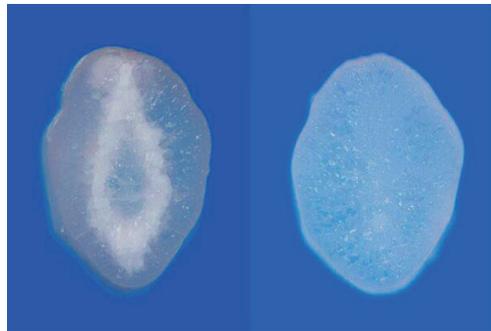
出展 JCCCAWeb サイト IPCC 第 5 次評価報告書より

◆気候変動における緩和策と適応策

今年も世界では記録的な熱波が多発しており、カナダでは気温が 50℃に迫る勢いで死者が出たり山火事が続いたりとニュースで流れています。日本でも 1 時間に 50 ミリを超える豪雨が頻繁に起こっており、大型台風の襲来により各地で風水被害が後を絶ちません。さらに、夏には猛暑日が増加し 40℃を超える日も記録されています。日常生活において熱中症や光化学スモッグ注意報など、高温化で私たちの健康が脅かされています。

気候変動対策には、2つの方法があります。一つは緩和策と呼ばれるもので、温室効果ガスの排出量を、省エネなどの取組で削減する方法です。もう一つは、適応策と呼ばれるものです。温度上昇や海面上昇など温暖化の影響はもうある程度止められないので、その影響を最小限に抑えるよう対策をとっていくことです。例えば、豪雨による洪水被害を防ぐために堤防をかさ上げるなどのインフラ整備をすることも適応策です。農業では、気温の上昇によって、お米であれば中身が白く白濁（白未熟粒）したり、リンゴの日焼け、ミカンの浮皮、トマトの裂果などといった品質低下などの影響が現れています。お米が白未熟粒になると品質が落ちるので売買価格が下がり、お米農家の減収となります。対策としては暑さに強い品種に改良したり、作付け時期を変えるなどの対応が取られています。リンゴやトマトであれば日除けで強い日差しから守るなど、それらの対策を「適応策」といいます。

千葉県では九十九里浜などで 21 世紀末（2081～2100 年）の砂浜面積が 20 世紀末に比べて最大で 9 割縮小する可能性があるとの推計を示しています。千葉県沿岸に広がる砂浜も広く浸食されるおそれがあり、九十九里浜を含む千葉県東部地域では 21 世紀末の砂浜面積が 20 世紀末比で 40～90% 縮小する可能性があるとのことです。さらに東京湾内の砂浜も 40～80% 消失するとの予測結果が出ています。今後、各土地に適した効果的な海岸計画を策定することで、砂浜の浸食を緩和し、海岸線の安定につなげる対策が求められます。



水稻米白未熟粒
出展 農林水産省 Web サイト



りんごの日焼け
出展 JCCCAWeb サイト

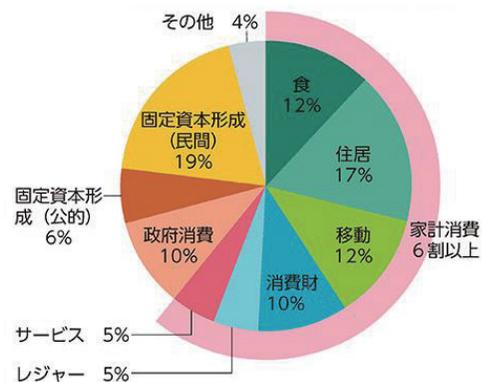
◆これからの脱炭素社会に向けた暮らしとは

我が国は2030年までに温室効果ガス46%削減目標を表明しています。2030年まであと10年も残されていない中で46%削減するためには、国は技術革新を進め二酸化炭素の排出を抑制したり吸収するための設備導入に資金を集中投入し、インフラを整えていくことになります。特に、化石燃料起源のエネルギーから二酸化炭素を排出しない再生可能エネルギーへの転換が重要となってきます。太陽光、風力、水力、木質、地熱など自然にある資源を利用して、エネルギーを創出し活用することです。将来の電力供給形態を、大規模集中型から小規模分散型へ移行することで、二酸化炭素の排出削減はもとより、経済や人流が地域内で循環する仕組みとしても期待されています。現在我が国は、化石燃料の輸入に海外へ20兆円ほど支払っているという統計データもあり、海外へ巨額の円が流れています。再生可能エネルギーによる地域分散型の電源に転換することで石油依存度が減り、輸入に流れていたお金が域内で循環するようになります。例えば、現在日本の森林は間伐や主伐などの生業が成り立たず経営が衰退し、人の手による山の管理が難しくなっています。その結果、本来の山の機能が衰え、山崩れや水の供給問題、生物多様性の減少など、私たちの暮らしの基盤が脅かされています。そこで、森林資源をエネルギー源として活用すれば、間伐材の需要が高まり木材が山から切り出されることで山の整備が進みます。その結果、森では二酸化炭素の吸収が加速されるなど森林機能も改善され、林業による雇用も生まれ地域が活性化します。まさに一石三鳥となります。

一方、暮らしの中で脱炭素社会に向かって私たちは何をすれば良いのかとよく尋ねられます。今までのように、日々の暮らしの中で省エネや節水、ごみの削減をしていけば良いのでしょうか。今、脱炭素に向かって、トランスフォーメーション（大転換）が必要と言われています。単なる制度や技術の導入ではなく、人々の価値観（意識）を大転換していかなければならないと。

国民の気候変動に対する意識は、気候変動対策が生活の質を下げるものであり、生活の質を脅かすものであると日本人の60%以上の方が答えています。世界では、平均70%近くの方が、気候変動対策が生活の質を高めると答えており意識に差が見られます。

例えば、建物を高断熱・高气密にすると、外気の影響を受けにくくなるため室内の熱をキープする性能が高くなり、冷房や暖房を使う際にエアコンの利きが良くなり



注：対象期間は2015年1月1日から2015年12月31日。
資料：南斉規介「産業連関表による環境負荷原単位データブック」（国立環境研究所提供）、Keisuke Nansai, Jacob Fry, Arunima Malik, Wataru Takayanagi, Naoki Kondo「Carbon footprint of Japanese health care services from 2011 to 2015」、総務省「平成27年産業連関表」より公益財団法人地球環境戦略機関（IGES）作成

消費ベース（カーボンフットプリント）から見た
我が国の温室効果ガス排出量

ます。その結果、省エネとなって二酸化炭素を削減することができます。特に、冬は住居内の温熱環境が保たれるため、高齢者に危険なヒートショックを防ぐことができます。一方、自動車は電車などの乗り物に比べて二酸化炭素の排出量が多いのですが、通勤や社用に自動車を使わず、徒歩や自転車、公共交通機関を使って移動することで二酸化炭素の排出を抑えることができ、メタボも防ぐことができます。このように、気候変動対策は、健康にもつながり生活の質を高めことができます。今、私たちのライフスタイル転換に賢い選択が求められています。

我が国では今、2030年までに家庭部門の二酸化炭素排出量66%削減を目標値とすることが議論されています。家庭からの二酸化炭素排出削減において、消費という分野も大きな要素となります。消費ベースから見た我が国の二酸化炭素排出量は、家計消費から6割以上も出ています。買い物をする時は、二酸化炭素排出の少ない量で作った製品や使用時には省エネタイプのもの、使用後は廃棄物量の少ないもの、リサイクルできるものなどを選ぶことです。太陽光発電や高効率な家電の導入などは、普及型のものと比較すると価格が高いため家計的には苦しくなりますが、その分ランニングコストは安くなりますので、トータルのエネルギー収支ではお得になります。また、省エネルギー効率の高い住宅などの購入も価格は高くなりますが、日々のエネルギー使用量は減りますし、前述しましたように生活の質の向上にもつながります。また、最近は企業も脱炭素に向けて様々な取組を始めています。そんな企業の製品やサービスを優先的に選択したり、購入するののも一つの取組となります。



地球の気温が上昇し、氷河が融解しています。看板は1982年に氷河*の先端があった地点です。
※アサバスカ氷河（カナダ）

気候変動の将来予測

気象庁 大気海洋部気象リスク対策課 気候変動対策推進室

1. はじめに

本年8月9日、国連の気候変動に関する政府間パネル（IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change）は8年ぶりに、気候変動の自然科学的根拠（気温や降水量などの変化）に関する最新の科学的知見をまとめたIPCC第6次評価報告書第1作業部会報告書を発表しました。また昨年12月、文部科学省と気象庁は日本の気候変動に関する自然科学的根拠を概観する「日本の気候変動2020」を発表しています。

本稿では、「気候変動の将来予測」として、これら最新の報告書の内容をご紹介します。人為起源の温室効果ガスなどの排出による地球温暖化に伴って、将来どのように気候が変化していくことが予測されているのか概観します。

2. IPCCについて

（1）IPCCとは

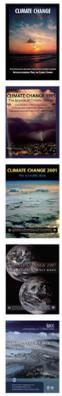
IPCCは世界気象機関（WMO: World Meteorological Organization）と国連環境計画（UNEP: United Nations Environment Programme）が1988年に設立した政府間組織です。気候変動に関する最新の科学的知見の評価を行うことを任務としており、世界各国の研究者の協力のもと、気候変動に関する科学的、技術的および社会経済的な評価を行い、得られた知見を評価報告書などにまとめて公表しています。

IPCCは各国代表が参加する総会のもと、議長団、事務局、3つの作業部会と1つのタスクフォースなどから構成されています。第1作業部会は、気候変動の自然科学的根拠に関することを担当し、第2作業部会は気候変動の影響、適応、脆弱性に関すること、第3作業部会は気候変動の緩和策に関することを担当しています。また1つのタスクフォースは、温室効果ガスの排出目録の作成に関することを担当しています。

IPCCはこれまでも、気候変動に関する多くの報告書を発表してきました。特に7～8年ごと定期的に、最新の科学的知見を網羅的に取りまとめ「評価報告書」を発表しており、各作業部会の報告書（3冊）と、これら3冊を統合した統合報告書の4冊から構成されます。気候変動の自然科学的根拠を評価する第1作業部会報告書は、1990年に発表された第1次評価報告書で「人為起源の温室効果ガスは気候変動を生じさせる恐れがある」と評価したことをはじめ、2013年の第5次評価報告書では「気候システムの温暖化には疑う余地が無い。人間の影響は明瞭。」と評価するなど、評価報告書の作成時点における最新の科学的知見をまとめ、人為起源の温室効果ガスなどの排出が気候などに与える影響を継続的に評価してきました。

これまでの評価

IPCC AR6/WG1報告書公表に向けた事前勉強会
 (令和3年7月 文部科学省 経済産業省 気象庁 環境省)



- 1990年：第1次評価報告書（FAR） ※ いずれもWG1による評価

✓ 人為起源の温室効果ガスは気候変化を生じさせる恐れがある。
- 1995年：第2次評価報告書（SAR）

✓ 識別可能な人為的影響が全球の気候に現れている。
- 2001年：第3次評価報告書（TAR）

✓ 過去50年間に観測された温暖化の大部分は、温室効果ガス濃度の増加によるものであった可能性が高い。
- 2007年：第4次評価報告書（AR4）

✓ 気候システムの温暖化には疑う余地がない。

✓ 20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガス濃度の増加によってもたらされた可能性が非常に高い。
- 2013年：第5次評価報告書（AR5）

✓ 気候システムの温暖化には疑う余地がなく、また1950年代以降、観測された変化の多くは数十年から数千年間にわたり前例のないものである。

✓ 気候システムに対する人間の影響は明瞭である。これは、大気中の温室効果ガス濃度の増加、正の放射強制力、観測された温度上昇、そして気候システムに関する理解から明白である。

図1. 人為起源の温室効果ガス排出などが気候変動に与える影響の評価の変遷

(2) IPCC の評価報告書とは

IPCC の報告書は、IPCC 自ら研究を行ったものではなく、世界中の研究者の協力のもと、既に出版された文献（専門科学誌に掲載された査読付き論文など）に基づいて作成されます。特に評価報告書では、作業部会ごとに、執筆者が網羅的に複数年かけ膨大な最新の論文などを集め評価し、報告書を作成していきますが、このとき IPCC の評価報告書には、完成に至る過程でいくつか特徴的なプロセスがあります。

まず取りまとめようとする評価報告書の構成について、各国政府やオブザーバー機関から推薦された専門家によって構成（案）が作成され、各国政府が集まる総会で議論され承認されます。次に構成（案）に基づいて、各国政府やオブザーバー機関から推薦された専門家から、地域バランスやジェンダーバランスを考慮しながら議長団が執筆陣を選定します。執筆者がドラフトを作成し、専門家や各国政府による複数回の査読を経て、最終ドラフトにまとめます。こうして取りまとめられた最終ドラフトを、最後に、各国政府も集まる総会の場で執筆者代表と各国代表とが議論します。特に政策決定者向け要約（SPM）については、1行1行審議され、全会一致を基本として承認されます。

各国政府が承認した構成、各国政府などからの推薦に基づいた執筆陣、専門家および各国政府による複数回におよぶ査読など、評価報告書の作成に関して透明性を確保するプロセス、各国間の認識を共有するプロセスを経るとともに、最終段階で政策決定者向け要約を1行1行、執筆者と各国政府代表が議論し、全会一致を基本として合意する過程を経ることにより、作成された評価報告書は、気候変動に関する最新の科学的知見に関する世界のコンセンサスとなり、各国政府の気候変動に関する政策に科学的な基盤を与える役割や、気候変動枠組条約（UNFCCC）をはじめとする国際交渉のための基礎情報（前提）として用いられるものとなります。

3. 気候変動の将来予測（世界：第6次評価報告書第1作業部会報告書の概要）について

今回公表された IPCC 第6次評価報告書第1作業部会報告書では、「人間の影響が大气、海洋および陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない」と、温暖化が人間の影響であることを明確に評価しました。報告されている最新の科学的知見について、現在までに観測されている変化（●）と将来予測される変化（○）として一部を次のとおりご紹介します。

なお記載している内容については、英語版の承認された政策決定者向け要約から急ぎ作成した日本語訳を用いています。この日本語訳は、今後国内の専門家の御意見を伺いながら精査を行っていくものであり、今後修正される場合があります。最新の内容を気象庁ホームページで御確認ください。

(1) 気候の現状の評価について

- 人間の影響が大气、海洋および陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない。大气、海洋、雪氷圏および生物圏において、広範囲かつ急速な変化が現れている。
- 気候システム全般にわたる最近の変化の規模と、気候システムの側面の現在の状態は、何世紀も何千年もの間、前例のなかったものである。

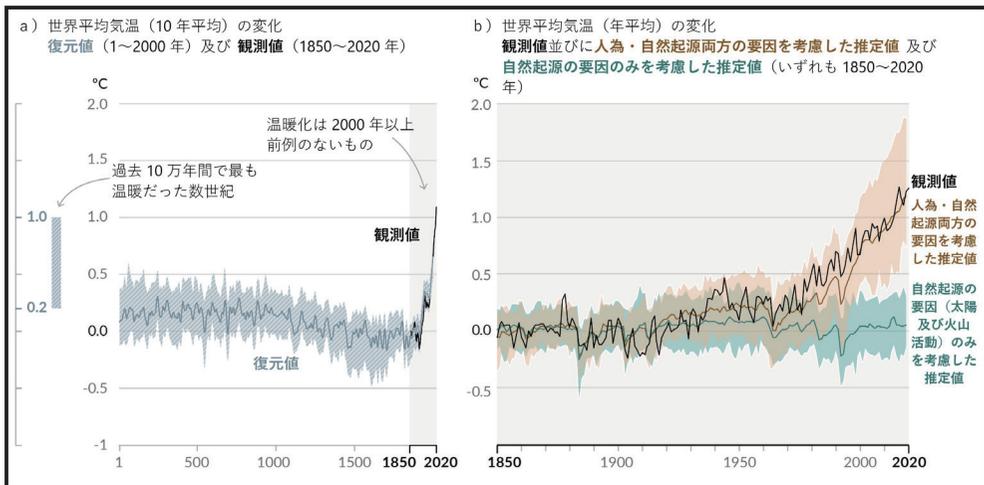


図 2.1850～1900 年に対する世界平均気温の変化

(2) 将来ありうる気候の評価について

- 世界平均気温は、本報告書で考慮した全ての排出シナリオにおいて、少なくとも今世紀半ばまでは上昇を続ける。向こう数十年の間に二酸化炭素およびその他の温室効果ガスの排出が大幅に減少しない限り、21 世紀中に、地球温暖化は 1.5℃ および 2℃ を超える。

- 気候システムの多くの変化は、地球温暖化の進行に直接関係して拡大する。この気候システムの変化には、極端な高温、海洋熱波、大雨の頻度と強度の増加、いくつかの地域における農業および生態学的干ばつの増加、強い熱帯低気圧の割合の増加、ならびに北極域の海氷、積雪および永久凍土の縮小を含む。
- 継続する地球温暖化は、世界全体の水循環を、その変動性、世界的なモンスーンに伴う降水量、降水および乾燥現象の厳しさを含め、さらに強めると予測される

(3) 気温について

- 工業化前^{*}と比べた世界平均気温は

2001～2020年： +0.99℃ [+0.84～1.10℃]

2011～2020年： +1.09℃ [+0.95～1.20℃]

(陸域で+1.59℃ [+1.34～1.83℃]、海上で+0.88℃ [+0.68～1.01℃])

- 工業化前と比べて

シナリオ	短期、2021～2040年		中期、2041～2060年		長期、2081～2100年	
	最良推定値 (°C)	可能性が非常に 高い範囲 (°C)	最良推定値 (°C)	可能性が非常に 高い範囲 (°C)	最良推定値 (°C)	可能性が非常に 高い範囲 (°C)
SSP1-1.9	1.5	1.2 - 1.7	1.6	1.2 - 2.0	1.4	1.0 - 1.8
SSP1-2.6	1.5	1.2 - 1.8	1.7	1.3 - 2.2	1.8	1.3 - 2.4
SSP2-4.5	1.5	1.2 - 1.8	2.0	1.6 - 2.5	2.7	2.1 - 3.5
SSP3-7.0	1.5	1.2 - 1.8	2.1	1.7 - 2.6	3.6	2.8 - 4.6
SSP5-8.5	1.6	1.3 - 1.9	2.4	1.9 - 3.0	4.4	3.3 - 5.7

SSP1-2.6: 「日本の気候変動 2020」の2℃上昇シナリオに近いシナリオ

SSP5-8.5: 「日本の気候変動 2020」の4℃上昇シナリオに近いシナリオ

- 向こう数十年の間に二酸化炭素およびその他の温室効果ガスの排出が大幅に減少しない限り、21世紀中に地球温暖化は1.5℃および2℃を超える。

※ 工業化前：社会が産業化した前頃（1850年頃）。

(4) 海面水位について

- 世界平均海面水位は1901～2018年の間に0.20m [+0.15～0.25m] 上昇。
- 世界平均海面水位の上昇率は、
 - 1901～1971年：1.3 mm/年 [+0.6～2.1mm]
 - 1971～2006年：1.9 mm/年 [+0.8～2.9mm]
 - 2006～2018年：3.7 mm/年 [+3.2～4.2mm]
- 1995～2014年を基準とした2100年までの世界平均海面水位上昇量は、最も温室効果ガスの排出量が多いシナリオ（SSP5-8.5）で0.63～1.01m、温室効果ガスの排出量が次に少ないシナリオ（SSP1-2.6）で0.32～0.62m、最も温室効果ガスの排出量が少ないシナリオ（SSP1-1.9）で0.28～0.55m、さらに2150年までの世界平均海面水位上昇量は、

最も温室効果ガスの排出量が多いシナリオ（SSP5-8.5）で 0.98~1.88m
温室効果ガスの排出量が次に少ないシナリオ（SSP1-2.6）で 0.46~0.99m
最も温室効果ガスの排出量が少ないシナリオ（SSP1-1.9）で 0.37~0.86m

- 海洋深部の温暖化と氷床の融解が続くため、海面水位は数百年から数千年もの間上昇し続け、上昇した状態がさらに数千年にわたり継続

(5) 海洋酸性化などについて

- 人為起源の二酸化炭素排出は、世界の外洋の海面付近における海洋酸性化の主要な駆動要因。
- 海洋上層の成層化、酸性化および貧酸素化は、将来の排出シナリオに応じた速度で、21世紀を通じて継続

(6) 熱帯低気圧について

- 強い熱帯低気圧（CAT3～5）の発生割合は過去40年間で増加
- 北西太平洋の熱帯低気圧は、その強度のピークに達する緯度が北方に遷移
- イベント・アトリビューションや物理学的な理解は、人為起源の気候変動が熱帯低気圧に伴う大雨を増加させたことを示唆
- 非常に強い熱帯低気圧（CAT4～5）の発生割合と強度最大規模の熱帯低気圧のピーク時の風速は、地球規模では、地球温暖化の進行と共に上昇

(参考) IPCC 第6次評価報告書第1作業部会報告書に関する気象庁ホームページ

<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/index.html>

4. 気候変動の将来予測（日本：日本の気候変動2020の概要）について

次に日本に目を向け、昨年（2020年）12月、文部科学省と気象庁が発表した「日本の気候変動2020」についてご紹介します。

(1) 「日本の気候変動2020」およびIPCC第6次評価報告書との比較について

「日本の気候変動2020」は、日本の気候変動に関する自然科学的根拠を概観した資料です。文部科学省と気象庁は、2018年度に「気候変動に関する懇談会」を立ち上げ、その助言を踏まえて作成しています。2020年12月の公表以降、環境省が取りまとめた「気候変動影響評価報告書（総説）」第2章をはじめ、地方公共団体の気候変動に関する報告書など、様々なところで基盤情報として活用されています。

「日本の気候変動2020」にまとめられているこれまでに観測された長期変化傾向は、気象庁の観測データや再解析データ、世界気象機関（WMO）の枠組で国際交換されているデータなどに基づいており、また将来予測は、日本の気候変動予測モデルなどを用い

て、一つ前の IPCC 第 5 次評価報告書で用いられた将来の温室効果ガス排出シナリオのうち RCP2.6 と RCP8.5 に基づいて予測しています。一方 IPCC 第 6 次評価報告書第 1 作業部会報告書では、これまでに発表された査読付き論文などの長期変化傾向の評価を用いるとともに、詳細予測についても新しい温室効果ガス排出シナリオ、新しい気候変動予測モデルプロジェクトのデータが用いられています。このため厳密には、「日本の気候変動 2020」で報告している日本における情報と、「IPCC 第 6 次評価報告書第 1 作業部会報告書」で報告されている世界の気候変動に関する情報とは、特に将来予測に関して用いているシナリオやデータが異なることから、精緻な値を比較する場合などには注意が必要になりますが、どちらも最新の知見を取りまとめた報告書であり、世界と日本とを比較した大まかな傾向を概観することができます。

(2) 「日本の気候変動 2020」におけるこれまでに観測された変化と、将来予測について「日本の気候変動 2020」から、現在までに観測されている変化（●）と将来予測される変化（○）の一部を紹介します。

後者は特段の説明がない限り、日本全国について 21 世紀末に予測される気候を 20 世紀末または現在と比較したものです。報告書では RCP2.6 と RCP8.5 を「2℃/4℃上昇シナリオ」と呼称し、それぞれ「パリ協定の 2℃目標が達成された世界」と「現時点を超える追加的な緩和策を取らなかった世界」であり得る気候の状態に相当すると説明しました。

【気温】

- 日本国内の都市化の影響が比較的小さい 15 地点で観測された年平均気温は、1898 ～ 2019 年の間に 100 年当たり 1.24℃の割合で上昇。
- 1910 ～ 2019 年の間に、真夏日、猛暑日および熱帯夜の日数は増加し、冬日の日数は減少した。特に猛暑日の日数は 1990 年代半ばを境に大きく増加。
- 年平均気温は、
 - 2℃上昇シナリオの場合は約 1.4℃上昇
 - 4℃上昇シナリオの場合は約 4.5℃上昇
- 猛暑日の年間日数は、
 - 2℃上昇シナリオの場合は約 2.8 日増加
 - 4℃上昇シナリオの場合は約 19.1 日増加
- 熱帯夜の年間日数は、
 - 2℃上昇シナリオの場合は約 9.0 日増加
 - 4℃上昇シナリオの場合は約 40.6 日増加
- 冬日の年間日数は、
 - 2℃上昇シナリオの場合は約 16.7 日減少
 - 4℃上昇シナリオの場合は約 46.8 日減少

【熱帯低気圧（台風）】

- 台風の発生数や日本への接近数・上陸数には長期的な変化傾向は見られない。
- 「強い」以上の勢力となった台風の発生数や全体に占める割合に長期的な変化傾向は見られない。
- 日本付近の台風の強度が生涯で最大となる緯度は北に移動している。
- 日本の南海上における非常に強い熱帯低気圧の存在頻度はいずれのシナリオでも増加すると予測。
- 日本付近における台風の強度はいずれのシナリオでも強まると予測。
- 台風による雨と風はいずれのシナリオでも強まると予測。

【海面水位】

- 日本沿岸では自然変動と思われる長周期の変動が卓越しているが、1980年以降に限れば明瞭な上昇傾向が見られる。
- 日本沿岸の平均海面水位は、
2℃上昇シナリオの場合は約 0.39 m 上昇
4℃上昇シナリオの場合は約 0.71 m 上昇

【高波】

- 日本沿岸における高波には、波高が増加する傾向が見られ、その変化量は太平洋側で大きい。
- 日本沿岸の平均波高は、4℃上昇シナリオの場合約 10% 減少すると予測。
- 日本沿岸の波の周期は、4℃上昇シナリオの場合減少すると予測。
- 日本沿岸の高波の波高は、4℃上昇シナリオの場合増加すると予測。

【海洋酸性化】

- 1983年以降の東経 137 度沿いの観測データからは、世界平均（水素イオン濃度指数 (pH) が 10 年当たり約 0.02 の割合で低下）と同程度の割合で酸性化が進んでいる。
- 日本沿岸でも、全体としては酸性化傾向が見られている。1978～2009 年間の pH の低下速度は年間最小値をとる夏季で 10 年当たり 0.014、年間最大値をとる冬季で 0.024 と、外洋域の観測値と同程度の値が報告されている。
- 日本南方の表面海水 pH は、
2℃上昇シナリオの場合は約 0.04 低下
4℃上昇シナリオの場合は約 0.3 低下



図3. 日本の気候変動2020 将来予測のまとめ

(参考) 日本の気候変動2020 気象庁ホームページ

<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html>

5. おわりに

それぞれの分野で気候変動の緩和策として二酸化炭素などの排出削減などを検討、実施する場合や避けられない気候変動への適応策を検討、実施する場合、最新の科学的知見に基づいて、対策や施策を検討、立案、実施することがとても重要です。またそれぞれの分野で気候変動の影響を評価する場合においても、科学的知見に基づいた、気候変動の自然科学的根拠に関する情報が不可欠です。

こうした際に、ここでお知らせした「IPCC 第6次評価報告書第1作業部会報告書」「日本の気候変動2020」をはじめ、気象庁の「気候変動監視レポート」、環境省の「気候変動影響評価報告書」、さらには今後公表されてくる「IPCC 第6次評価報告書第2作業部会報告書」「第3作業部会報告書」「統合報告書」などを参照し、地球温暖化に伴う気候変動によって、「これまで何度気温が上昇してきていて、今後どういった社会なら、どれだけ気温が上昇することが予測されているのか」「地球温暖化による気温上昇に伴って、気候がどう変化していくことが予測されているのか」など、最新の科学的知見に基づく情報を、それぞれの分野で緩和策・適応策および影響評価などにおける検討、立案、評価などを行う際の基盤的な情報としてご利用ください。

またこれら資料は、気候変動の科学的知見に関する最新の基盤的な情報です。学習、知見の参照、普及啓発などの取り組みなどにも、最初に参照する資料として御利用を願いますとともに、特に、今後の対策に依存しますが、いま10代の若者(対策次第で以降の世代も)が気候変動の影響を最も受ける世代になってきます。こうした世代に、是非これら資料に直接触れることをお勧めしたいと思えます。

港湾の脱炭素化を目指した次世代燃料船の普及に向けた 横浜港の取組

横浜市 港湾局政策調整課 担当課長 中村 仁

1. はじめに

2021年9月現在、我が国はコロナ禍にある。つい2年前までのクルーズ客船の活況は影を潜め、運航再開に向けたクルーズ船社や港湾関係者の奮闘が続いている。その一方で脱炭素の観点では将来を見据えた変化が生じている。昨年9月頃までは海運業や造船業の関係者の声として、コロナによる輸送需要の減少、船舶建造需要の鈍化や受注機会の喪失という記事を業界紙でたびたび目にしたが、昨年10月の内閣総理大臣所信表明演説における「2050年カーボンニュートラル」宣言、そして本年4月の「2030年度に温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指す」との表明によって状況は大きく変わった。

様々な分野で脱炭素に向けた取組が活発化する中、港湾においては国土交通省港湾局が「カーボンニュートラルポート（CNP）」を掲げ、2021年4月の日米首脳共同声明においても、日米両国がカーボンニュートラルポートについても協力することとされた。

CNPの形成推進として大きく2つの方針が掲げられており、ひとつは「水素・燃料アンモニアなどの大量・安定・安価な輸入や貯蔵などを可能とする受入環境の整備」、もうひとつは「脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化など」とされている。

本稿ではCNPとは何かを紹介し、次に脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化のうち海事分野に最も近い港湾機能として次世代船舶燃料供給に関する取組を紹介させていただく。

2. カーボンニュートラルポートとは

国土交通省港湾局は2020年12月に次の考え方に基づいて、CNP形成に取り組むこととした。

- ・港湾は、我が国の輸出入の99.6%が経由する国際物流拠点であり、我が国のCO₂排出量の約6割を占める発電、鉄鋼、化学工業などの多くが立地する産業拠点。
- ・また、水素・燃料アンモニアなどの輸入拠点ともなり、水素などの活用などによるCO₂削減の余地も大きい。
- ・加えて、SDGsやESG投資に世界の関心が集まる中、港湾の環境価値を高めクオリティの高い港湾を形成し、我が国の国際競争力の強化などを目指していくことも重要。
- ・このため、国土交通省では、港湾に輸入・貯蔵などされる水素などを活用しつつ、脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化などを通じて「カーボンニュートラルポート（CNP）」を形成し、脱炭素社会の実現に貢献していく。

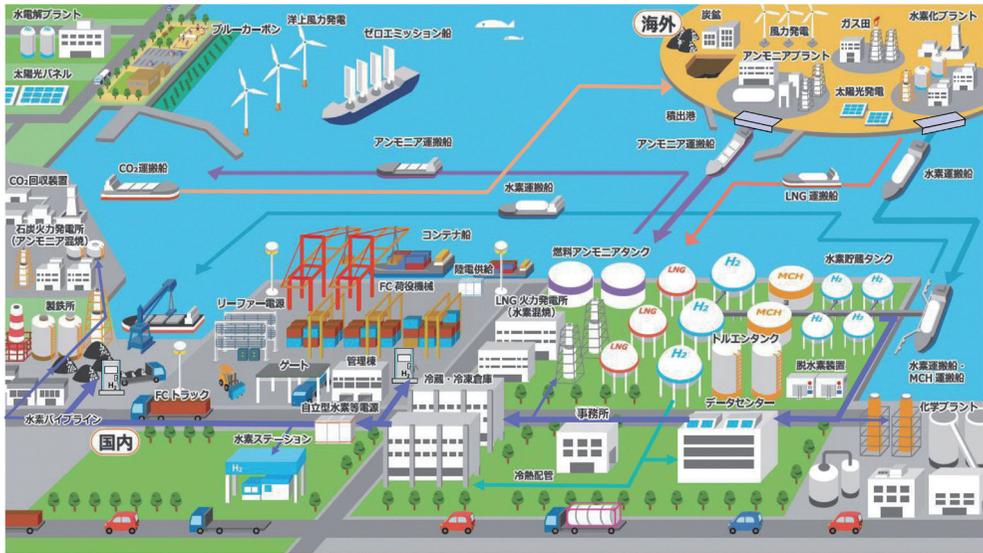


図1 「カーボンニュートラルポートの形成イメージ」(出典：国土交通省港湾局)

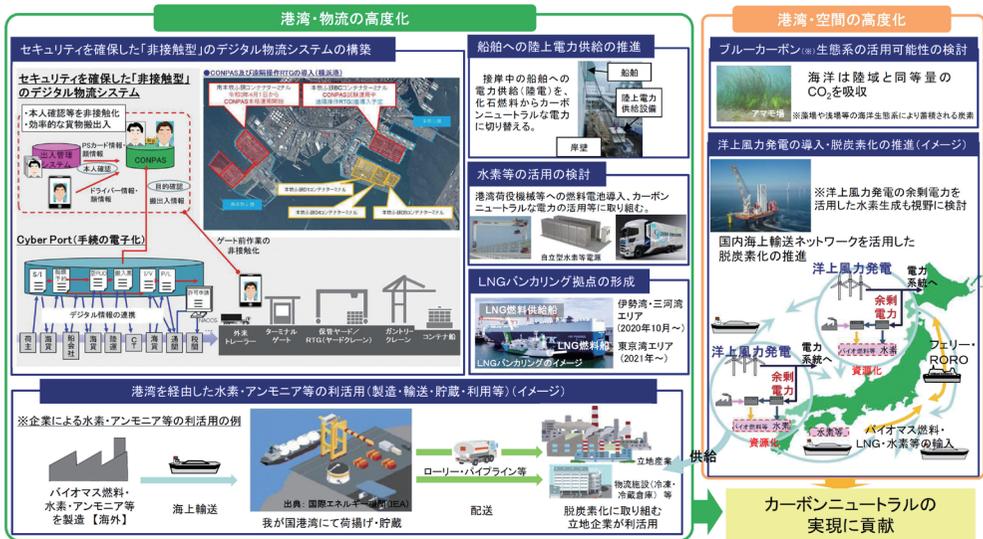


図2 「脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化など(イメージ)」(出典：国土交通省港湾局)

脱炭素、カーボンニュートラルという水素やアンモニアの利用を想像するところであるが、新技術の商用化までの時間軸や二酸化炭素の累積排出量とそれらが引き起こす地球温暖化との間にはほぼ線形の関係があること^{※1}を考慮するとトランジションとなる技術の活用は重要である。

図2の中ほどにLNGバンカリング拠点の形成^{※2}とあるが、これはまさに次世代船舶

燃料供給のトランジションとなる取組である。筆者は2017年の横浜市港湾局在籍時にLNGバンカリング事業に関わる機会をいただき、2018年度から2020年度までの横浜川崎国際港湾株式会社への出向期間中はJV各社と共にエコバンカー SHIPPING社を設立するなどLNGバンカリング事業に取り組んできた経験に基づいて、次項からLNGバンカリングの事業化に向けた取組を可能な範囲で紹介していきたい。

※1 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次評価報告書第1作業部会報告書（自然科学的根拠）（2021年8月）より

※2 単に“バンカリング”と記載するものはShip to Shipバンカリングを指す。

3. 国際海事機関（IMO）によるSOx規制

2016年10月に開催された国際海事機関（IMO）海洋環境保護委員会（MEPC70）において、2020年1月から一般海域での燃料油中の硫黄分濃度の上限値を0.5%へと規制強化することが合意された。この硫黄分規制への対応手法の中で、硫黄酸化物（SOx）の削減だけでなく、窒素酸化物（NOx）、二酸化炭素の削減にもつながる点で船舶燃料としてのLNG利用は環境面で優位性がある対応手法だと考えられた。

2018年に国土交通省港湾局がLNGバンカリングの事業化に向けてLNGバンカリング拠点の形成に必要となる施設整備（LNGバンカリング船および当該船舶にLNGを積み込むための施設）への補助事業を開始し、6月に東京湾案件と伊勢湾・三河湾案件の2事業が採択された。

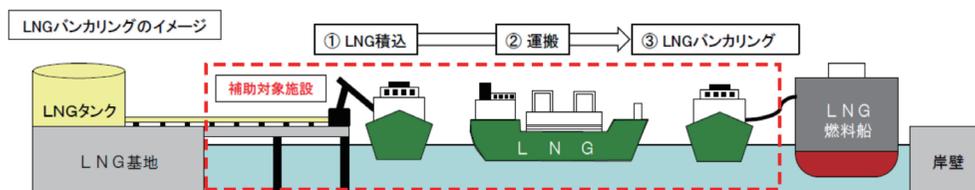


図3 「港湾機能高度化施設整備事業（LNGバンカリング拠点形成支援施設）」
（出典：国土交通省港湾局）

	東京湾	伊勢湾・三河湾
事業者	エコバンカー SHIPPING(株)	セントラル LNG マリンフューエル(株) セントラル LNG シッピング(株)
株主	住友商事(株)、上野トランステック(株)、 横浜川崎国際港湾(株)、(株)日本政策投資銀行	日本郵船(株)、川崎汽船(株)、 (株)JERA、豊田通商(株)

表1 「LNGバンカリング事業に取り組む事業者」（公表情報から作成）

4. 横浜市港湾局による LNG バンカリング拠点形成への取組

東京湾案件で事業採択を受けたエコバンカー SHIPPING 社の出資者である横浜川崎国際港湾株式会社は国が 50%、横浜市が 47.25% を出資していることや当該事業が横浜港の国際競争力強化に資するものであることから、横浜市港湾局は国内のいずれの港湾管理者よりも積極的に LNG バンカリング事業に関わってきた。

4.1 外航船舶への燃料油積込み手続きの効率化の実現

2017 年 12 月に横浜市は国家戦略特区制度を活用して、外航船舶への燃料積込手続きに関する規制緩和を提案した。2018 年 1 月に国家戦略特区ワーキンググループのヒアリングを受けて以降、関税法を所管する財務省関税局や横浜税関の方々と定期的な意見交換を行い、実現に向けて関係者の皆様にご尽力いただいた。その結果、1999 年頃から事業関係者が要望し続けてきた「ミルクランの規制緩和」が 2019 年 4 月 1 日に実現した。

<規制緩和の概要>

①見直し前の包括承認に係る運用

燃料供給船が燃料を特定の外航船舶（1 隻）に対して、同一開港内で、一定期間内（最長 1 か月）に包括的に積込むことを認めていた。包括承認とは複数回の燃料積込を一括して承認すること。従来は制約の厳しさから活用されず、1 回の積込毎に承認する個別承認だけで運用されていた。

②見直し後の包括承認に係る運用

燃料供給船が燃料を特定の複数の外航船舶に対して、複数の開港で、一定期間内（最長 6 か月）に包括的に積込むことを認めることとなった。また、包括承認・個別承認を問わず船舶燃料供給に関する書類手続の一部省略も可能とした。

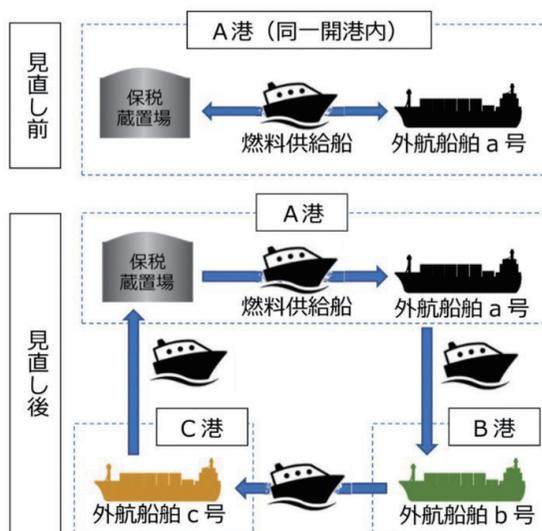


図 4 「外航船舶への燃料積込手続きに関する規制緩和の概要」
(出典：横浜市記者発表資料)

この規制緩和が LNG バンカリング事業に与える効果は、単にミルクランを可能にするだけではなく、「LNG バンカリング船がタンク内に種ガスを保持し続けることを税法的に可能にした」という点である。種ガスはヒールとも呼ばれ、LNG タンクを冷却し続けるために必要な LNG の残液であるが、見直し前の運用では、保税状態の種ガスを税法上の問題なく保持し続けることはできなかった。

4.2 LNG バンカリング船の係留における特例的な許可と定係場所の整備

東京湾の LNG バンカリング事業が伊勢湾・三河湾案件と大きく異なるのは、エネルギー事業者が参画しているか否かである。このことは事業運営にあたり様々な違いをもたらすが、そのうちの1つが LNG バンカリング船の定係場所である。

伊勢湾案件では JV を構成する 1 社である JERA 殿の川越火力発電所内の D 岸壁（危険物専用岸壁）が LNG バンカリング船の定係場所となっており、既存のルールの範囲内で係留が可能である一方で、東京湾案件では JV 構成員の中に D 岸壁を所有する者がいないため、横浜市港湾局の公共バースに LNG バンカリング船を係留させる計画とした。

<危険物積載船の一般岸壁への係留>

①定係場所

横浜市港湾局は横浜港の国際競争力強化のために LNG バンカリング事業を推進する観点から、横浜港内に LNG バンカリング船を優先的に係留するバースを設けることとし、その場所を、コンテナターミナル群、客船ターミナル群および自動車ターミナル群それぞれに近接することなどの利便性を考慮して、港内の中心に位置する本牧ふ頭 A 4 バースとした。

また、この決定にあたっては、横浜港港湾審議会（交通政策審議会港湾分科会の地方審議会）で承認をいただき横浜港港湾計画の変更手続きを行っている。

②定係地の安全対策を検討する前提となる考え方

危険物積載船舶の係留（停泊）の根拠となる基準は、平成 17 年 10 月 11 日保交安第 49 号「危険物積載船舶の停泊場所指定及び危険物荷役許可の基準について」である（以下、「危険物積載船停泊基準」と言う）。

LNG バンカリング船の定係場所の候補として考えていた本牧ふ頭 A4 バースは岸壁区分が C 1 であるため、引火性高圧ガス（LNG）を積載する船舶が停泊する時は危険物積載船停泊基準に定める 100 トンの 5 倍、500 トンまでしか積載できない。

当該 LNG バンカリング船は LNG タンク満載時に約 1150 トンの LNG を積載できるため、危険物積載船停泊基準の許容量 500 トンを超えてしまうのだが、停泊許容量は従来どおりの基準を適用するとの見解から、このままでは本牧ふ頭 A4 バースへ停泊できないこととなる。なお、従来どおりの基準を適用するとの見解は、「Ship to Ship 方式 LNG

移送のオペレーションガイドライン」(平成 25 年 6 月国土交通省海事局)では LNG バンカリング船が直に岸壁に着岸する場合の安全対策が示されていないから、という理由からである。

③危険物積載船の一般岸壁への係留に対する暫定的な許可

停泊許容量を超えた危険物積載船の停泊は、本来は D 岸壁で行うべきという限定的な仕組みになっているが、当該 LNG バンカリング船の本牧 A4 バースへの停泊は危険物荷役を行わないので、一般岸壁のまま D 岸壁の基準を踏まえて、必要な安全対策を専門家委員会において検討し、導かれた安全対策を講じることで、当分の間、停泊許容量を超えた停泊を認めていただけることとなった。

この暫定的な許可の措置の対象は、船舶航行安全対策調査検討委員会および海上防災に関する調査研究委員会(以下、「専門委員会」という)で検討された当該 LNG バンカリング船と検討対象である横浜港本牧ふ頭 A4 バースに限定されたものであるが、時代の変化を踏まえて、海上保安庁の皆様が事業環境を整えていただけたことにこの場を借りて御礼を申し上げたい。

④定係場所の安全対策の検討と対策工事の実施

LNG バンカリング事業の実施にあたり事業者が開催する専門委員会にて、海上保安庁や学識経験者の皆様にご議論いただいて安全対策が決定された。安全対策の主な内容は次のとおりであり、横浜市港湾局はお示しいただいた安全対策事項について 2021 年 4 月までに所要の工事などを実施済みである。

ア 立地条件

- ・定係場所に着岸している間は、岸壁の一定範囲について立入禁止措置をとる。
- ・隣接バース停泊船および付近航行船舶との離隔距離を 30 m 以上確保する。

イ 電気照明設備

- ・立入禁止対象区域内に照明設備などを設置する場合は防爆型とする。
- ・部外者の進入などを監視防止するために設置する照明設備は 5 ルクス以上の照度とする。

ウ 消火設備

- ・火災、LNG 漏洩などに対応するための消火設備を用意し、着岸中は即時使用可能にする。

エ 火気使用の制限

- ・着岸中は立入禁止対象区域内での火気使用を禁止する。
- ・乗組員およびバース内に立ち入るものは、原則として静電防止服などを着用し、ライターなどの発火器具を携帯してはならない。

オ 緊急時の対応

- ・管理責任者（この場合、エコバンカー SHIPPING 社）は 24 時間体制の当直を組み、緊急連絡体制を構築する。

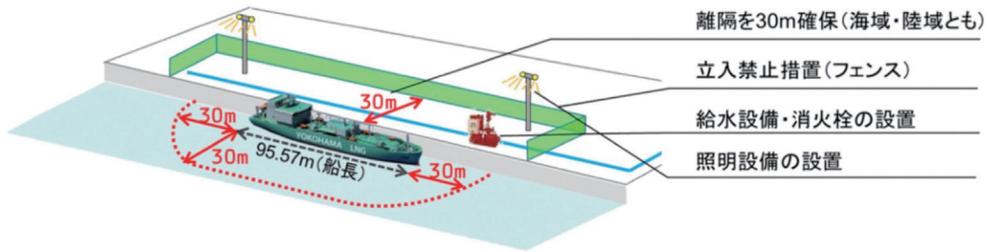


図5 「LNG バンカリング船の定係場所の安全対策の概要」（出典：横浜市作成資料）

5. LNG バンカリング事業を通じて感じた課題

我が国の LNG バンカリング事業は伊勢湾・三河湾でセントラル LNG シッピング／マリンフューエル社が先行して実績を重ねているため、既に事業環境が整っているように思えるかもしれないが、現時点では月に 1～2 回の限られた事業機会であるという条件のもとで、セントラル LNG シッピング／マリンフューエル社を構成する株主各社の優れた知見と緻密な連携によって成立していると考えている。

しかし、従来どおりの船舶燃料油供給事業と同様に LNG バンカリング事業を実施できる環境であるべきとすると、税制においては例えば § 4.1 の規制緩和だけでは不十分で関連する税法の改正も必要ではないだろうか、安全対策の面では例えば航走波の波高の基準が厳しいのではないだろうか、事業機会獲得のために錨地における LNG バンカリングを認めてほしいといったようにいくつもの課題が考えられる。

もともとバンカリング事業自体に明確な所管省庁が無いことも課題解決しにくい背景ではないかと考えているが、事業関係者は改善提案を続けなければならないし、関連省庁におかれても事業関係者の声に耳を傾けていただきたい。



図6 「バンカリング事業の主な要素」

6. 今後の次世代燃料船の普及に向けて

LNG 燃料の次に実用化が期待されている船舶燃料はバイオメタン・カーボンニュートラルメタン、アンモニアそして水素と続いていくとされている。現在、横浜市港湾局は日本郵船を代表とする企業グループによる液化水素を用いた燃料電池船の実証事業に対して、燃料供給場所の提供を通じて微力ながらご支援させていただいているところである。

水素などの次世代船舶燃料も実用段階に入った時に、再び LNG バンカリング事業が直面してきた課題に直面するのかもしれないのか定かではないが、既に議論が始まっている炭素税などの新たな要素に対する整理も必要となる。引き続き、技術開発と平行して事業環境を整える取組が大切だと考えている。

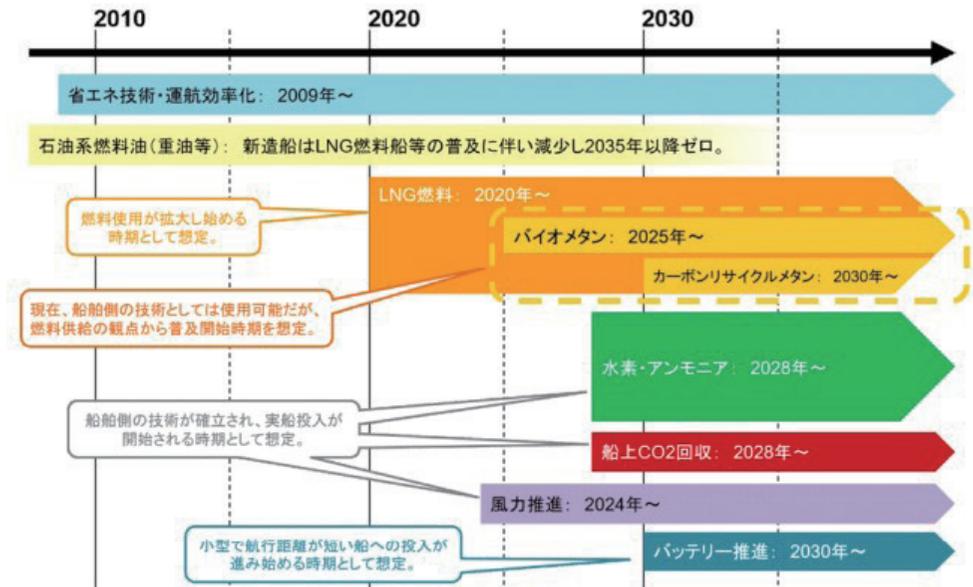


図7 「船舶の使用燃料などの変化に関する想定」
(出典：国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ)

7. おわりに

本稿では当初は SOx 規制への対策として開始された LNG バンカリング事業が、2050 年カーボンニュートラルを目指す取組の中においても、唯一の実装可能な次世代船舶燃料として重要な取組に位置付けられていること、そして課題を解決しながら進展している状況を紹介した。

“横浜港”と呼ぶとき、その範囲は位置付けによって様々であるが、横浜港の範囲を横浜港臨港地区^{※3}と考えた場合、横浜港から排出される二酸化炭素排出量は横浜地域全体の約 4 割を占める。カーボンニュートラルポートの形成に向けた取組は船舶燃料供給のほかにも多岐にわたるので、横浜港の港湾管理者として、“横浜港”から排出される温室効果ガスの削減に向けて関係機関や民間事業者の方々と共に引き続き取り組んでいきたい。

※3 臨港地区とは港湾区域（水域）に隣接する陸域を指し、物流・生産・憩いの場と様々な役割を担う。一定の水域と背後の陸域が一体的に利用される必要があるため都市計画法に基づいて指定される。

内航船舶の GHG 排出の現状と GHG 削減対策

海上技術安全研究所 GHG 削減プロジェクトチーム プロジェクトチーム長 平田 宏一

1. はじめに

内航海運においては、2016年5月に閣議決定された地球温暖化対策計画によって2030年度までにCO₂排出量を157万トン削減すること（2013年度比）を目標に掲げている。これらの目標を達成するため、各種CO₂削減技術の開発・普及が活発に進められるとともに、さらなる長期的なカーボンニュートラル化のための技術開発について活発な議論がなされている¹⁾。

本稿では、内航船舶に着目し、各種CO₂削減技術の適用について検討するとともに、代替燃料を利用する動力システムの適用性について概説する²⁾。

2. 内航船舶の GHG 排出の現状

日本船主協会や日本内航海運組合総連合会らは、内航船舶の船種・隻数やCO₂排出量を集計している^{3),4)}。図1は、これらの集計データから、1隻あたりのCO₂排出量を概算した結果であり、大型の船が多い自動車専用船、セメント専用船、フェリーのCO₂排出量が多いことがわかる。図2は、船種毎のトータルのCO₂排出量を概算した結果である。これより、隻数が多い貨物船（平均総トン数約600GT、約3500隻）や大型の船が多いフェリー（平均総トン数約3000GT）の総CO₂排出量が大きく、これらの船種のCO₂削減対策が内航海運全体の総排出量低減に有効であることがわかる。

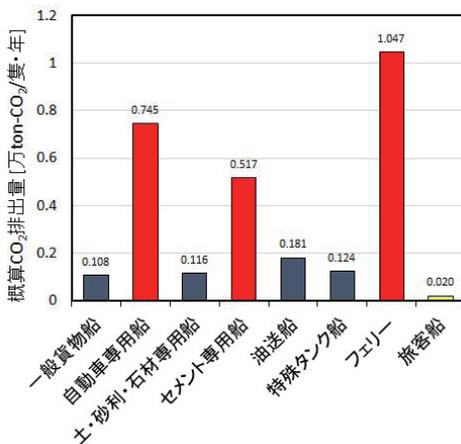


図1 1隻あたりのCO₂排出量の推定 (2019年)

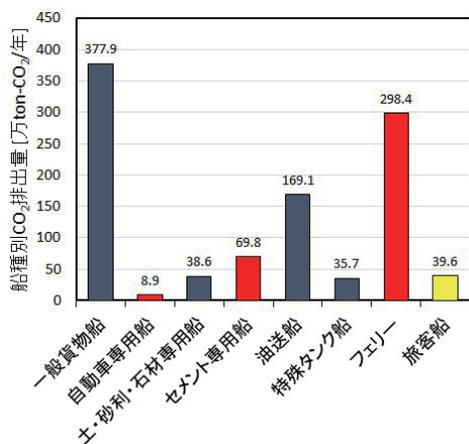


図2 船種毎の総CO₂排出量の推定 (2019年)

図3は、総トン数749GTの内航船舶の運航データを整理し、それぞれの運航モードにおけるCO₂排出量（燃料消費量）をまとめた結果である。運航中のCO₂排出量の割合は70%程度、停泊時および荷役時のCO₂排出量の割合は10～15%程度である。すなわち、運航時ばかりでなく、停泊時や荷役時の省エネ技術も有効であることがわかる。

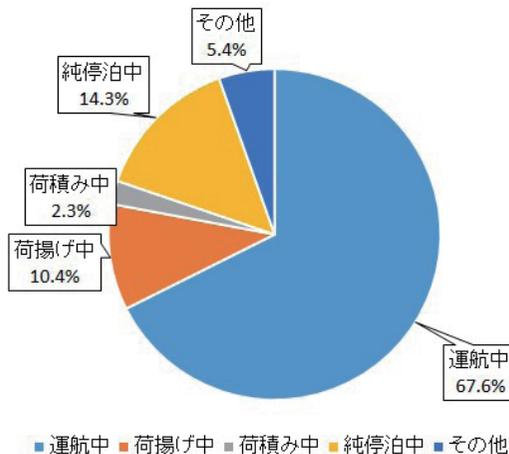


図3 749GT内航船舶のCO₂排出量（燃料消費量）の内訳

3. 内航船舶のGHG削減対策

図4はGHG削減技術と課題を模式的にまとめたものである。上述のとおり、昨今、様々なCO₂削減技術の開発が活発に進められ、一部の船舶に導入されている。できる限り早い時期に内航海運全体の総排出量を低減するためには、これらのCO₂削減技術の導入を新造船だけでなく既存船にも適用することが重要である。

図5は、様々なCO₂削減技術の内航船舶への導入を検討したイメージ図である。この例では、省エネ効果が数%の複数の技術を組み合わせることで、運航時、荷役時および停泊時を含めて、トータル22%のCO₂削減と試算される。

一方、将来のカーボンニュートラル化を考える場合、石油燃料や天然ガス、バイオ燃料などの既存燃料を利用する際には、持続可能なカーボンリサイクル技術の開発が必要である。また、水素やアンモニアなどのカーボンフリー燃料を利用する場合、動力システムの開発とインフラ設備の構築が重要となる。

	現在	短期 (2030~)	中長期 (2050~)	主な課題
各種CO ₂ 削減技術		低摩擦塗料 各種省エネデバイス 船体抵抗低減 遠隔化・電動化・自動化 高効率エンジン 運航効率改善 陸電	再生可能エネルギー利用 蓄電池	既存船適用 普及率up (標準搭載) 高効率化による燃料 消費量削減
既存燃料	石油燃料	消費量の削減 → 船上CO ₂ 回収	CO ₂ 処理	持続可能なカーボン リサイクル技術
	天然ガス	建造隻数の増加 →	合成メタン	
	バイオ燃料	燃料供給量の増加 →	再生技術	
カーボンフリー燃料		水素 → 燃料電池 → 混焼エンジン アンモニア → エンジン開発	燃料電池 → 専焼エンジン 混焼エンジン → 専焼エンジン エンジン開発 → 専焼エンジン	カーボンフリー燃料 を利用する動力シス テムの開発
		代替燃料供給・バンカリング	設備建設	インフラ設備構築

図4 GHG削減技術と課題

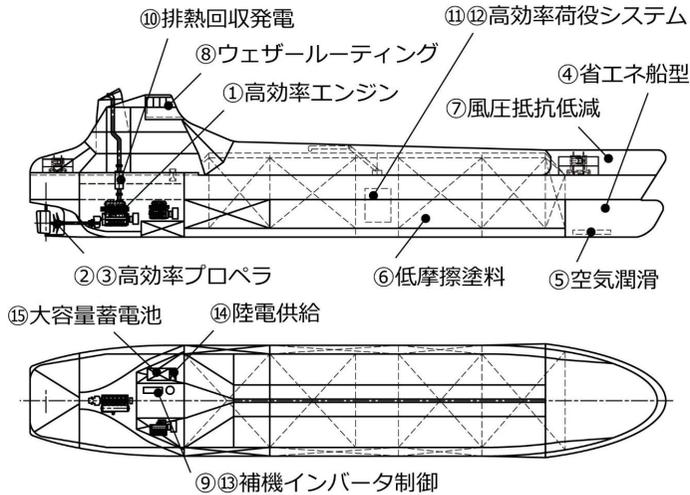


図5 各種技術を導入したGHG削減船のイメージ

4. 代替燃料利用技術

代替燃料を利用するGHG削減船の検討にあたっては、使用する燃料や動力システムの様々な組み合わせが考えられる。表1は、燃料や動力システムの種類毎にGHG削減効果や実用時期などを踏まえて、実現性が高いと考えられるGHG削減船を整理したものである。短期的に実現性が高いGHG削減船としては水素混焼エンジン船や電池推進船、中長期的にはバイオ燃料、水素またはアンモニアを燃料とした船舶があげられる。

表1 代替燃料を利用する GHG 削減船の検討

	GHG削減	呼称	概要	特徴・適用性
短期	低 (20%程度)	水素混焼ディーゼルエンジン船	水素混焼率10~30%程度の水素・重油混焼エンジンを搭載	技術的ハードルがやや低く、早期に実現できる。
		LNG燃料エンジン船	LNG専焼ガスエンジンを搭載	既存技術で対応できる。
	中 (50%程度)	水素混焼ディーゼルエンジン船	水素混焼率50%程度の水素・重油混焼エンジンを搭載	水素混焼率を高めることでGHG削減率を高める。
		水素燃料電池ハイブリッド船	水素燃料電池と重油炊きディーゼル発電機を組み合わせた電気推進船	バランスがよく、中・小型の船舶への適用性が高い。
	高 (100%)	電池推進船	蓄電池だけのエネルギーで推進	短距離航路の船舶に有効である。
		水素燃料電池船	主に水素燃料電池で推進	比較的小さい船舶に有効である。
水素燃料電池・蓄電池ハイブリッド船		蓄電池と水素燃料電池のハイブリッド電気推進船	バランスがよく、既存技術で対応しやすい。	
中長期	高 (100%)	バイオ燃料船	バイオ燃料炊きエンジンを搭載	技術的ハードルが低く、燃料供給ができれば既存船を適用しやすい。
		水素・バイオ燃料混焼船	バイオ燃料炊きエンジンの一部を水素混焼（10~50%）	燃料供給のバランスが取りやすくなる可能性がある。
		アンモニア専焼エンジン船	アンモニア専焼エンジンを搭載	大型船への適用性がやや高い。
		水素専焼エンジン船	水素専焼エンジンを搭載	中・小型の船舶への適用性がやや高い。

図6は、内航船舶における代替燃料および動力システムの長期適用性を模式的に表している。短距離航路の船舶においては蓄電池の利用、長距離航路の船舶においてはアンモニアやバイオ燃料の利用が期待できる。水素燃料は小型から大型の船舶まで幅広く利用できると考えられる。ただし、今後の動力システムの技術開発によっては、各種燃料の適用範囲が変わる可能性がある。また、バイオ燃料については、現時点で海運分野への供給量が不明であることが課題であり、今後の動向によっては適用範囲が拡大する可能性がある。

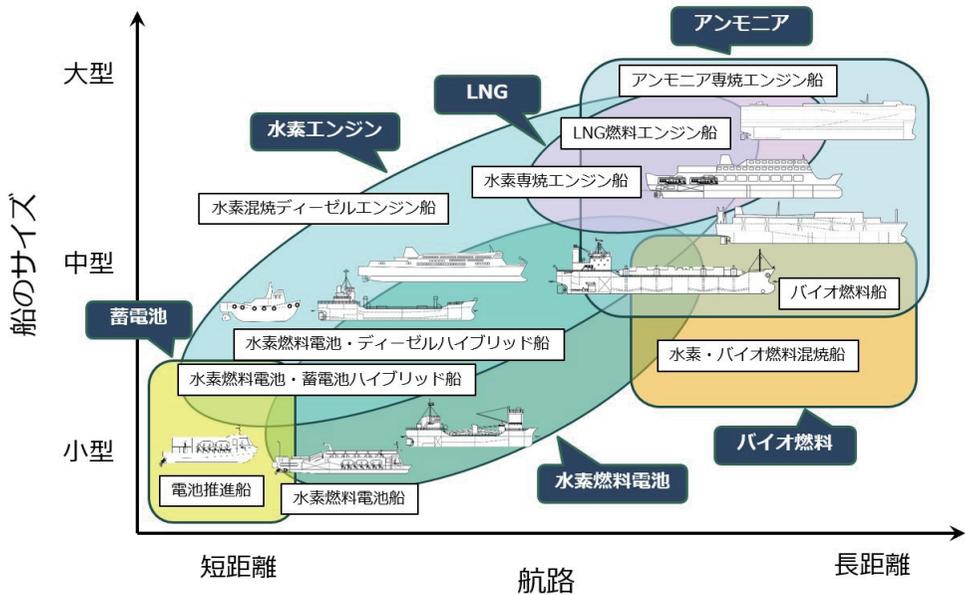


図6 カーボンニュートラル技術適用性の検討例

5. まとめ

本稿では、主に内航船舶に着目し、各種 CO₂ 削減技術の適用について検討した結果、代替燃料を利用する動力システムの適用性を検討した結果について紹介した。以下、内航船舶の GHG 削減に向けた課題をまとめる。

- ① 様々な既存の CO₂ 削減技術を内航船へ導入することによって、20% 程度の CO₂ 削減が可能であると試算される。ただし、内航海運全体の総排出量を大幅に低減するためには、現在では一部の船舶だけに利用されている CO₂ 削減技術を多くの既存船にも適用し、普及率を上げる必要がある。
- ② 水素燃料は小型から大型の船舶まで幅広く利用できる可能性がある。このような代替燃料を普及させるためには、動力システムの技術開発ばかりでなく、十分な燃料供給インフラ設備の構築が必要不可欠である。
- ③ 石油燃料や天然ガス、バイオ燃料などの燃焼時に CO₂ を発生する燃料を利用する場合、持続可能なカーボンリサイクル技術の開発が必要不可欠である。

参考文献

- 1) 国土交通省、「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」中間とりまとめ、<https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001420833.pdf> など。
- 2) 平田宏一、GHG 削減船の実現に向けた検討、海上技術安全研究所報告第 21 巻別冊、p.69-72、2021。
- 3) 日本船主協会、海運資料室、<https://www.jsanet.or.jp/data/data.html> など。
- 4) 日本内航海運組合総連合会、内航海運の活動・令和元年度、http://www.naiko-kaiun.or.jp/img/00naiko_katsudou.pdf など。