

次世代型標準EV船ROBOSHIPの普及に向けての展望

— 我々は世の中を変えることができるだろうか? —

神内 悠里*, 土屋 岳彦*

1. ROBOSHIP名前の由来

「ROBOSHIP」は、「ROBOT」と「SHIP」を組み合わせた造語である。

執筆者の一人がまだ子供であった時代（1950～1960年代）、21世紀ははるか未来であった。その未来では、人類は戦争や病気の災厄から解放され、平和を享受する世界が描かれていた。人類は、科学技術により進歩した生活の中で生き、そこには必ず「ROBOT」がいた。「ROBOT」は、仕事で人々を助けるだけでなく、家庭でも家事を担い、時には子供をしつけ、時には友人となる「心やさしい科学の子」*1であった。

そして「SHIP」は言うまでもなく「船」を意味するが、接尾語としての「SHIP」は、例えば「FRIENDSHIP」、「PARTNERSHIP」で使われるように「あり方」、「形作るもの」を意味する言葉である。

現在、我々は21世紀に生きている。科学技術は進歩し、人類はその恩恵に浴しているが、20世紀と変わらず戦争や病気に怯え、それだけではなく気候変動、少子高齢化といった新たな問題に直面している。

そして内航海運業界は、下記「2. 内航海運を取り巻く現況」で述べる諸課題に直面している。「船員の助けとなる船」、「内航海運の本来のあり方を形作る船」という思いを込め、諸課題の解決手段となることを願い、次世代型標準EV船を「ROBOSHIP」と名付けた。

2. 内航海運を取り巻く現況

2.1 2つの高齢化（船舶・船員）

内航海運の船員数は、2020年10月時点で21,374名となっており、前年比約260名の増員となったものの船員不足はいまだに続いており、年齢構成を見ると50歳以上が5割を超え高齢化が進んでいる。（2020.10.1現在の数値、内航海運組合総連合会HP

より引用）

同様に内航船の船齢別内訳は、7年未満が隻数比16%、総トン数比29%となっている。また14年以上の老齢船は隻数比68%、総トン数比45%を占めている。船齢別平均船型を見ると、14年未満が1,000総トンを超えているのに対し、14年以上の老齢船が509総トンとなっており小型船ほど高齢化が進んでいるものと言える。

一方隻数別で見ると、500総トン未満が77.9%を占めており、2つの高齢化にどう取り組むかが喫緊の課題となっていることが分かる。（2020年度末ベース、日本内航海運組合総連合会HPより引用）

2.2 ノウハウ継承の限界

2017年の調査*2では、定年退職者（1.5%）を上回る新卒者の採用（2.9%）があるにもかかわらず、船員不足が問題となるのは、離退職者の割合（14.7～17.1%）が極めて高い点にあると指摘している。

ここでの問題点は、教育に当たるべきベテランが急速にリタイアする中で、これら未熟練の船員を早急に実運航に投入できるかという点である。この指摘は、現在、種々の立場で船員教育に当たっている方々の尽力を揶揄するものではない。指摘したいのは、実運航に投入するためのソフト・ハードが、システムティックに準備されているかという点である。変化を好まず抜本的な変革を避け、改善を積み重ねるスタンスは、日本の官庁・企業の、組織及びITシステム活用のあり方の1つの特徴とも言える。かつての日本軍は、兵員練度を極限まで追求し、精神主義と混在させることで、のちに軍事技術・戦略の軽視にもつながり、それが敗戦の一因となった。テクノロジーの変革に注視せず、従来通りのビジネスモデルで難局を乗り切ろうとするなら、我々は過去の歴史から何も学ばなかったことになる。

第2次大戦においては、日本政府及び旧日本軍の希望的観測、机上の空論、こうあってほしいという発想などにしがみついたために、多数の犠牲者が出ている。根拠のない楽観は禁物である。「歴史は繰り返さぬが、韻を踏む。」これは、アメリカの小説

* 株式会社e5ラボ

*1 TVアニメ「鉄腕アトム」主題歌 作詞：谷川俊太郎

*2 松尾俊彦：内航船員の採用および離退職の規模と特徴」、NAVIGATION203号、2017年10月投稿

家マーク・トウェインが残した言葉である。我々は、このことを忘れてはならない。

2.3 デジタル化の遅れ

内航海運業界は、デジタル化が遅れていると言われている。原因は2つ、通信環境の整備の遅れとこれまでの習慣を継続する傾向が強いことであると考えられる。

内航船の場合、外航船のように何日も入港しないということは珍しく、陸地に近づけばセルラー電波を利用できることにより通信設備の導入は遅れている。また、収益率の低さが、運航船舶の設備への追加投資が難しい状況も導入の停滞を招いている。

習慣を変えるということは誰にとっても難しいことである。とりわけ、海運のように古くからある産業はビジネスモデル、商習慣が固定化されているため、日常業務もルーティン化されており、長い年月をかけて効率化されていることが多い。そこにあって新しいデジタルというツールを導入していくことは難しく、また当事者にとっても既に効率化されている業務に対してメリットを感じにくく、結果的に導入時のコストや習得にかかる時間等のデメリットがより目立ってしまう。

また、構造的に、旅客船やRORO船等のCommon Carrierを除く内航船業界（Industrial Carrier）における荷主、オペ、船主のヒエラルキー構造もデジタル化を阻害する要因になっていると考えられる。この特性（荷主、オペ、船主）に加えて、代理店、造船所、官庁等一隻の船の運航に様々な企業、組織が関わっており、その全体構造の一部をデジタル化、システム化してもその効果を得られにくいという問題もある。

一方で、コロナ禍を通してデジタル化の遅れていた内航船に新しい変化が起こっている。一例をあげれば、船と陸上との運航情報のやり取りをコロナ禍以前はFAXをメインに使い、デジタル化したくても手を付けられずにいた事業者が、在宅勤務が増えることにより、強制的に情報が電子的に送られるようになった。その結果、FAXでの情報伝達が激減している。つまりFAXでやり取りしていた情報の大部分は現状あるツールを使うことでデジタルに置き換えることが可能となった事例もある。

これによりFAXで送受信していた情報がEmailやSNSを通してコミュニケーションされるようになった。次はソフトウェア化することで、データをきれいに整理した形で保管することができるようになる。溜まったデータは解析することで、将来、安全運航や燃費節減など様々な分野で活用することが可能となる。

これらの解析により、運航管理・配乗管理といった個々の状況の把握だけではなく、基幹システムとして活用することにより経営判断にも活用できる。コロナ禍の影響により、対面での業務が制限されることによるデメリットが言われているが、これは対面のみ業務に依存してきたことの裏返しではないだろうか？むしろ、ビジネスチャットツールの導入により、今まで対面では発言しなかった、あるいは意見が言えなかった船員・社員も率直に発言・意見できるメリットがある。

従来通りの、船員・社員のスキルに頼る属人的なシステムに将来を見通すことはできない。デジタル化は、会社の将来を展望し、存続を考え直す良い機会である。

2.4 環境対策の遅れ（実装が進まない内航船）

2019年に政府が策定した「第6次エネルギー基本計画」では、「2050年のカーボンニュートラルを目指すとともに、2030年度の新たな温暖化ガス削減目標として2013年度から46%の削減を目指し、さらに50%の高みに向けて挑戦を続ける。」とされており、内航部門では、「LNG燃料船、水素燃料電池船、EV船を含め、革新的省エネルギー技術やデジタル技術等を活用した内航近代化・運航効率化にも資する船舶の技術開発・実証・導入促進を推進する。」とされている。

これを受けて、水素・アンモニア燃料船の技術開発や、AI・IoT等を活用したさらなる輸送効率化等に関する補助金が財政的サポートとして用意されている。しかし、水素・アンモニアといった新技術に関しては、今後の開発となるため、商業ベースの普及には長期の時間を要するものである。一方、輸送効率化等の補助金に関しては、新規性・革新性に主眼が置かれているため、Mass-produced Productsの実装は対象としていないのと、補助金一般に関して言えることだが補助申請手続きの作業自体が申請者にかかなりのロードを要求するものであるため、特に内航事業者のように小規模の事業者にとっては使い勝手の良いものではない。第6次エネルギー基本計画に定めた目標をクリアするための時間の確保は難しく、新技術の社会実装に向けての環境対策サポートが早急に必要である。

また、2.3で述べたのと同様、内航船における荷主、オペ、船主のヒエラルキー構造も環境対策を阻害する要因になってきたと考えられる。

2.5 企業評価低下の可能性

2022年3月1日、政府はエネルギー使用合理化改正法案を閣議決定した。改正案では、エネルギーの使用の合理化の対象に、非化石エネルギーが追加さ

れるとともに、工場等で使用するエネルギーについて、化石エネルギーから非化石エネルギーへの転換を求められている。これにより、特定事業者等に対して、非化石エネルギーへの転換に関する中長期的な計画の作成等を求めていることから、企業は、今後対策を一層加速させなければならない。

また、2022年春から東京証券取引所に上場する一部企業（プライム市場）で気候リスク情報の開示が実質義務付けられる。これは、温暖化ガスの排出等に伴う損失といった情報開示を迫るものである。これは、主要国の「気候関連財務情報開示タスクフォース（TCFD）」の考え方に基づくもので、「ガバナンス（社内での気候変動に関するリスクの組織的な把握等）」、「戦略（気候変動対策の需要増加等の収益拡大、例えばEV関連）」、「リスク（事業固有の定量的、定性的リスクの把握等）」、「指標と目標（サプライチェーンを含めた温暖化ガス排出量削減の指標化等）」に関し気候リスク情報の開示を求めている。TCFDは温暖化ガス排出量に関しては、企業単体のみならず取引網全体の排出量開示を推奨している。これらには上記上場企業の運輸部門も含まれることが予想されるため、この影響は当然内航業界にも波及することが予想される。したがって、温暖化ガス排出削減にどう取り組むかが今後の重要な企業評価となるため、この流れに追従できない企業は企業価値が低下するだけでなく、座礁資産の管理団体となってしまう可能性がある。

3. ROBOSHIPの特徴

3.1 船体の特徴（2軸スケグ船型）

ROBOSHIPは、内航499GT型貨物船の標準化を狙ったものである。この船型は1軸船型が主であり、同一船型で1軸と2軸を比較した場合、一般的には効率面で2軸は1軸に劣るとされている。

しかし、内航499GT型貨物船に関しては別の側面がある。言うまでもなくプロペラに関しては大直径低回転が効率面で良いとされているが、内航船の場合は、外的要因（使用港湾等の水深）により喫水が制限されていることにより、プロペラ直径が制限される。このためプロペラ設計の最適化が制限され、プロペラ負荷が高いものとならざるを得ない。ROBOSHIPの場合は、2軸のため同一条件ではプロペラ負荷の低減が可能であり、高効率のプロペラを可能としている。

2軸船の場合、一般的にはシャフトブラケットに

よってプロペラ及び軸を支持しているが、これらが船体負荷物として抵抗の増加となるため1軸船と比較して船体効率が劣るとされている。ツインスケグ船型は、2軸船の軸の部分を船体外板によってカバーリング（スケグ）しており、通常のシャフトブラケット支持による2軸船に比べればプロペラへの水流が滑らかになり推進効率改善の利点がある。1軸船に比べると浸水表面積が増加するが、最適化を図り船体抵抗の増加を最小化した。以下、図1にGAイメージを、図2にツインスケグイメージを示す。

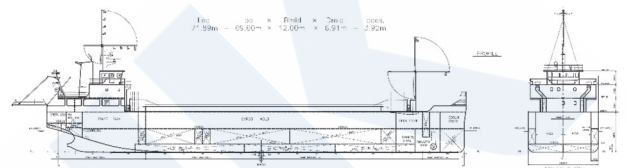


図1 GAイメージ

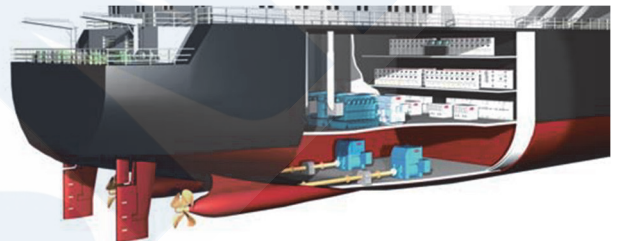


図2 ツインスケグイメージ

これら2軸スケグ船型の効果に関しては、国交省の独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構が行った調査研究「2軸型SESの船型調査」*3において、3船型の船型開発が行われ、水槽試験の結果、軸馬力ベースで20～25%の改善が報告されている。

3.2 パワープラントの特徴

ROBOSHIPのパワープラントの特徴は、発電機とバッテリーを組み合わせた最適パワーマネージメントによるエネルギー効率改善とマイクログリッド（DCグリッド+高効率水冷インバーター+PMモーター）による効率改善という2つの効率化である。

電気推進システムにおける発電機とバッテリーの組み合わせは従来からあるが、従来のシステムでは発電機、バッテリーのいずれか一方しか利用できないものであり、かつ切り替えの際にはブラックアウトを余儀なくされることから、これが運用面で乗組員の負担となっている。ROBOSHIPの場合、バッテリーと発電機の同時使用が可能であるため、

*3 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 共有船舶建造支援部：「2軸型SESの船型調査」報告書、2012年3月

Activeな制御を可能としている。

バッテリーと発電機のパワーマネージメントをどのように行うかによってエネルギーの変換効率が大きく変わるため、データの収集、蓄積、解析によって制御ソフトウェアを改善させ、エネルギー効率を改善可能としている。効率改善は以下の3点である。

「スピニングリザーブ機能」

発電機の発停が必要となるほど大きな負荷変動がある場合、バッテリーがその負荷変動を吸収（充電、放電）し、発電機の発停を最適化することにより効率の改善を図る。

また、発電機のみで電気推進の場合、負荷変動に対応するため運転台数を変更（増加）する際、負荷変動によって投入に支障が生じる場合があるが、スピニングリザーブ機能の場合これに対応が可能である。（図3）



図3 スピニングリザーブイメージ

「ピークシェイピング機能」

エネルギー（電力）需要の上下のピークをカット（上部ピークは放電，下部ピークは充電）することにより発電機の負荷を平準化させる。これによってエネルギーロスを改善する。（図4）



図4 ピークシェイピングイメージ

「アクティブエンジン負荷制御機能」

発電機負荷が生じる場合、発電機用エンジンの燃費の良いレンジで運転できるようバッテリーによるパワーアシスト（放電，充電）を行い、負荷変動を緩やかなものにし、エンジン負荷を最適化することによってエネルギーロスを改善する。（図5）

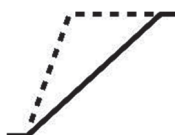


図5 アクティブエンジン負荷制御イメージ

また、マイクログリッドの採用は、パワープラントの重量、機器専有面積、容積の削減を可能としている。これに加え、可変式発電機を組み合わせることにより、さらなる効率改善が見込まれる。

3.3 在来船&従来の電気推進船と比較した優位性

在来船の推進機関は言うまでもなく、ほとんどが中・低速のディーゼル機関であり、運航モード毎に負荷変動を伴う。その操作及びメンテナンスが機関部乗組員の負担となっている。

一方、内航の電気推進船は、3タイプである。

Type1：発電機

Type2：発電機とディーゼル主機関のハイブリッド

Type3：発電機とバッテリーの選択

Type1及び2に関しては、10～30%（燃料消費量ベースまたは貨物輸送量（トンマイル）ベース）の省エネ効果を上げているとともに、在来船で負担となっている機関部乗組員の負担も軽減しているとされている。しかし、これらのタイプは負荷変動を発電機のみによって吸収しなければならないが、ROBOSHIPの場合、3.2で述べたバッテリーと組み合わせることにより負荷変動をバッテリーによって吸収させ、さらなる省エネ効果（エネルギーロスの改善）をもたらすことを可能としている。

また、Type3に関しては、3.2で述べたように発電機とバッテリーの排他的関係（発電機かバッテリーのどちらかしか使用できない）という点で、ROBOSHIPに優位性がある。

また、船内給電は全てACグリッドのため、電気変換効率の改善がポイントとなるが、ROBOSHIPの場合、DCグリッドであり（さらに推進用電動機のPMモーター及び可変式発電機を組み合わせることにより）、既存のACグリッドをベースとしたパワープラントと比較して、最大で10%の効率改善が得られている。

以下図6に既存のACグリッドの例を、図7にROBOSHIPのDCグリッドの例を示す。

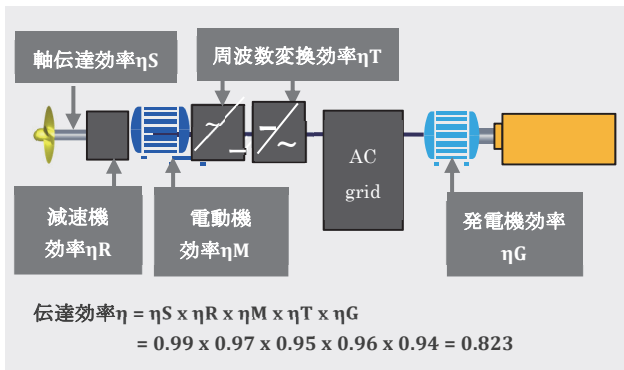


図6 既存のACグリッドの例

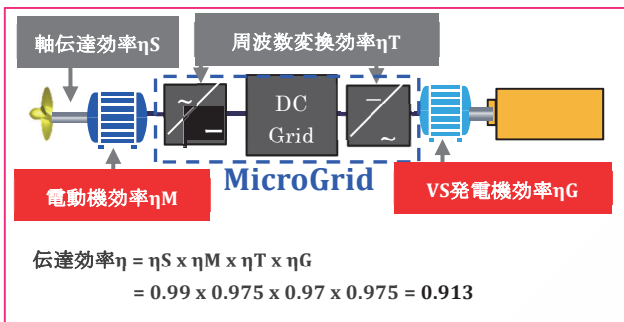


図7 ROBOSHIPのDCグリッドの例

また、徹底した標準化とモジュール化により、以下の特徴を有する。

- 最先端の技術を専門知識なしでも使用可能。
- インストレーションとメンテナンスの省力化の追求。
- 船員教育の簡素化。
- バッテリー価格の適正化。

また、バッテリーのみの運用により、例えば出入港、停船中のゼロエミッションを可能としており、これは従来の電気推進船にはない特徴となっている。航行中は、発電機からの電力供給により航行できることから、その運航条件については特に制限はなく、航続距離、航海速力も在来船と同等であることから、在来船と何ら変わることはない運航が可能である。

3.4 建造スキーム

ROBOSHIPの実際の建造は、内航船を建造している造船所が担うことになる。この支援のため、三菱造船株式会社が陸上給電を含めたパワープラントのトータルエンジニアリングとコンセプトデザインを担当するだけでなく、基本設計、建造、アフターサービスの各ステージで技術支援を担う。

また、パワープラントのマイクログリッド等はABB製を使用しているが、パワープラントのシステムインテグレーター及びサプライヤーとして株式会社IHI原動機が参画し、技術支援を行う。

我々、e5ラボは三菱造船株式会社、株式会社IHI原動機、内航船の建造を担う造船所と協力し、実建造の取りまとめを担うこととなる。

3.5 Marindows導入の目的

ROBOSHIPは、1.で述べたように人類の友である「ROBOT」と「船」を融合させるものである。そのためには、ハードウェアのみならずソフトウェアも大変重要な要素となる。Marindowsは、そのためのソフトウェアであり、業界が抱える解決困難な課題（気候変動、エネルギーの変遷、出遅れたDX、少子高齢化に伴う労働人口減少）を解決するための「海洋DX社会基盤（インフラ）」である。

ソフトウェアとは何か。それはデジタルであり、データであり、DXである。デジタルの特徴として、導入する際の条件が柔軟であること、そして導入にかかる時間の短さがある。デジタルツール、特にモバイルアプリケーション（以下、アプリという）であれば、新造船はもちろんのこと既存船に導入することにおいても技術的なハードルは低い。アプリを動かすためのデジタルデバイス（PCやスマホ、タブレット端末等）、それを充電するための電力、通信環境があれば、あとはアプリをインストールするだけで利用を開始できる。端末、アプリの設定によっては、通信が常時接続されていない状況でも使用可能である。

Marindowsは、そのデジタルの特徴を最大限に活かした船舶向けのデジタル化ツールである。これの導入により、内航船のデジタル化を促進し、より安全でより効率化された船の運航を実現し、船員の業務負荷軽減、船上生活の品質向上を目指す。

3.6 Marindowsの機能と優位性

今後提供を予定している初期のMarindowsの機能は、今年（2022年）の法改正に準拠したうえでデジタル化による徹底的な効率化を追求した船員の労務管理、そしてヘルスケアである。それらのアプリをMarindows専用端末にインストールした状態で提供する。船員はその端末から各自のデータを入力し、集約された情報を船長や陸上の管理者、アプリの連携先企業が受け取ることで、これまでアナログでやり取りされていたこと、管理されていなかった情報をデジタルで簡単に取り扱うことが可能になる。

そしてMarindowsの優位性は、アップデートされていくことである。機能は次々に拡張されていく。携帯電話のOSをイメージすると分かりやすいだろう。OSは日々最新のもが研究開発され、アップデートを繰り返すことで、機能が追加され、利便性が上がり、セキュリティが強化される。Marindows

も同様に進化を続ける。労務管理、ヘルスケアだけでなく、運航サポートや船員のためのエンタメコンテンツ等現場のニーズに合わせた新しいサービスを専用端末を介して簡単に導入し、利用開始できる。

また、海上での不安定な通信状況を配慮し、航海中に業務上必要であったり、利用時間が変則的になったりしているアプリについては、一部の機能をオフラインでも使用可能な仕様とする。

4. ROBOSHIPの拡張性

4.1 内航海運に占める499GT標準船の位置づけと他の船型への拡張性

ROBOSHIPの対象となる499GT型貨物船は、内航海運において20.6%（400～499GT、隻数ベース、2021.3.31現在、日本内航海運組合総連合会HPより）を占め、これらをROBOSHIPで代替することによる波及効果は大きいと言える。

また、発電機の容量、台数、バッテリーの容量を見直すことにより他の船型、船種への応用が可能であることから汎用性が高いシステムと言える。

4.2 現実的な解としての拡張性

2020年10月の内閣総理大臣の所信表明演説において「2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」旨が表明された。これにより、運輸部門のCO₂排出削減の中期目標についても、2030年度に2013年度比で27%削減から35%削減へと加速されている。これに伴い、運輸部門における内航海運の2030年度のCO₂排出削減目標も、2013年度比で157万t・CO₂（約15%削減）から約181万t・CO₂削減（約17%削減）となった。

また、2050年カーボンニュートラルへの対応として、燃料としての水素、アンモニアといった非石化燃料への転換が有効な手段として求められ、産官学ともにこれに関する技術開発、供給体制の整備へと舵を切っている。

しかし、中間目標となる2030年時点では、まだ石化燃料が主とならざるを得ず、これらを前提とした場合、当面は既存の技術を用いた温暖化ガス排出削減を進めなければならない。その意味では、ROBOSHIPの導入が現時点での現実的な判断と言える。

4.3 将来の拡張性

現在のROBOSHIPのパワープラントはリチウムイオンバッテリーとディーゼル発電機（燃料：重油）の組み合わせであり、3.3で述べたようにそのゼロ

エミッションは限定的とならざるを得ない。しかし、バッテリーの大容量化、ディーゼル発電機燃料のLNG化、水素燃料電池との併用により、ゼロエミッション範囲の拡大を図ることが可能である。さらに、全固体電池の商業ベースでの実用化、4.2で述べた非石化燃料（水素、アンモニア）導入の技術開発、供給体制整備が進めば、ディーゼル発電機燃料をこれらに置き換えることも可能であり、その場合完全なゼロエミッションが可能となる。今後の時代の流れに合わせたバージョンアップが可能な拡張性を持ったシステムと言える。

5. まとめ

2.1で内航海運の労働環境に関して述べたが、国内全体の労働環境は、総務省が昨年発表した2020年国勢調査によると、経済活動の担い手である生産年齢人口（15～64歳）は、ピークであった1995年から13.9%減少している。これに加えて、日本は生産性が低く、2020年時点での1時間当たりの付加価値は48.1ドルとG7の中で最も低く、各国平均（54.0ドル）をも下回っている。各企業では高齢者や女性の就労拡大に取り組んでいるものの、これだけでは限界があり生産性を向上させなければ、生産年齢人口の減少を補うことはできない。

また世界に目を転じれば、我々は現在コロナ禍と気候変動という2つの危機に直面している。しかし、この2つの違いは、気候変動は既に「今そこにある危機」であると同時に、将来に関しても科学的予測が可能ということである。

2022年2月8日にUNDP（国連開発計画）が発表した報告書では、2020年時点で約24億人が食糧難に直面し、8,240万人が強制移住を余儀なくされたとしており、2100年までに途上国を中心に累計4,000万人が死亡するとの予測を明らかにしている。

また、2022年2月28日にIPCC（国連の気候変動に関する政府間パネル）が発表した第6次評価報告書では、「約33～36億人が気候変動に対して非常に脆弱な状況下で生活している」、そして、現在の適応とその効果に関しては、「多くの取り組みでは即時、短期的な気候リスクの低減を優先しており、そのための変革的な適応の機会を減らしている。今後10年間で長期的な計画と迅速な実施が必要だ。」とされている。

これらの状況にもかかわらず対策を講じないというのは、根拠なき楽観主義であり、将来の世代への裏切りであり、怠慢に他ならない。Z世代の怒りが、我々大人に向けられていることを忘れてはならない

のである。

我々の推進するROBOSHIPが、これら諸問題解決の一助となることを願ってやまない。

ClassNK