

## 脅威⑥ 海洋分野の人材減少

<産業構造の根本的見直しによる、若者から見た魅力の増大>

SNSやオンラインゲームが生活の一部となっている世代の若者が積極的に海上勤務を希望するようにするためには、洋上でも高速でインターネットに接続できる環境が必要である。成層圏プラットフォームによる通信圏の海上への拡大は、そのための解決策となる。成層圏プラットフォームについては後述する。

<旧来の慣行の見直しによる業務の改善>

海事社会は経験が重視される世界であり、それ自体は全く悪いことではないが、このことが若者にネガティブな印象を与えていることは否定できない。技術の進歩を踏まえ、業務の手順や手法を改めることで近代的な勤務環境を創出し、若者にとっても魅力ある職場とする必要がある。

## 脅威⑦ 港湾

スケールメリットによる輸送コスト低減のため、コンテナ船は大型化の一途にある。現在、世界で就航しているコンテナ船の最大船型は、24,000個積み(TEU)であるが、我が国に寄港しているコンテナ船の最大船型は、15,000TEUに過ぎない。欧米基幹航路の便数がアジア主要港では横ばいまたはやや減少傾向にあるのに対し、我が国では明らかに減少している(1998年比で1/3に減少)。24時間、最大船型のコンテナ船が受け入れられる大水深(-18m)バースが整備できていないため、巨大船は近隣国の大水深港湾に向かわざるを得ず、ハブ化した近隣国から中型船に寄せ替えられた荷物が日本に来るようになっており、これは経済性、即時性の点で大きなデメリットになる。今後も基幹航路に従事するコンテナ船は一層大型化することが予想され、我が国の基幹港がこれを受け入れることができなければ、日本と欧米の間に直航の基幹航路がなくなってしまう可能性がある。この場合、年間約3兆円の経済損失が出るという試算がある。



図2-4 三大港に寄港する基幹航路の推移

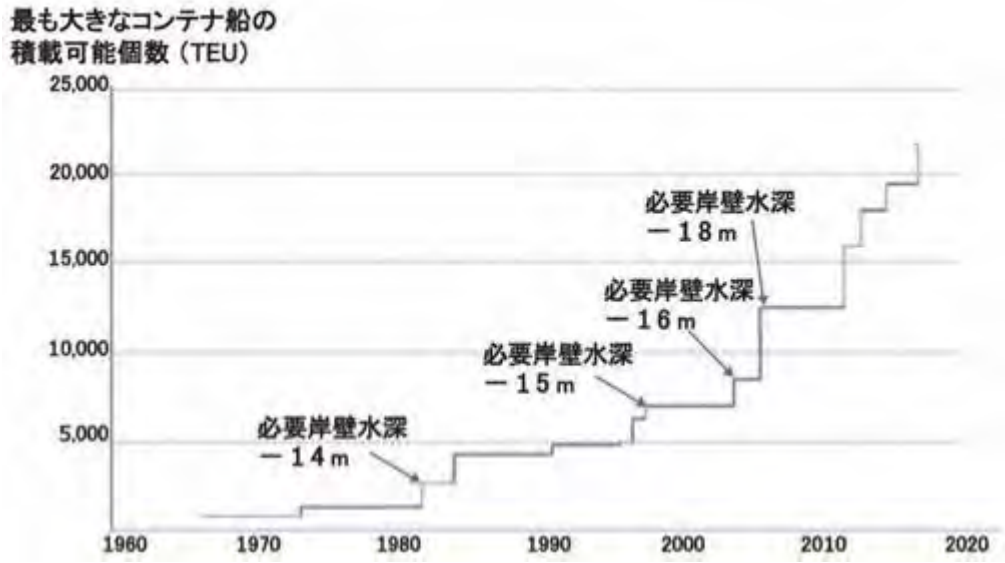


図2-5 コンテナ積載個数と必要岸壁水深

投資縮小効果	約0.8兆円 <sup>(1)</sup>
対欧米「輸入コスト」の上昇に伴う日本人の支出増分	約0.61兆円 <sup>(2)</sup>
対欧米以外「輸入コスト」の上昇に伴う日本人の支出増分	約0.059兆円 <sup>(3)</sup>
対欧米「輸出コスト」の上昇に伴う日本製品の売り上げ減	約1.33兆円 <sup>(4)</sup>
雇用がなくなることによる消費の縮減	約0.082兆円 <sup>(5)</sup>
<b>合計</b>	<b>約2.888兆円</b>

- (1) 投資が年4,000億円縮小、その乗数を2と想定
- (2) 欧米からの輸入に伴う船料金約1.19兆円、それが33%増加(直行便の場合、3,000ドル/TEU→基幹航路が消滅し、アジア主要港経由のみとなった場合、4,000ドル/TEUへの増加との船社意見: 国交省資料より)すると仮定。
- (3) 欧米以外の諸外国からの輸入に伴う船料金約0.64兆円、それが5%増加すると仮定(基幹航路がなくなると、日本-アジア間等の費用も上昇圧力を受けると想定)。
- (4) 日本からの輸出に伴う船料金が北米航路で33%、それ以外で5%高騰すると仮定。そうすると、上記(2)(3)の数字に基づくと0.66兆円上昇。日本からの輸出額が、ちょうどこの金額と同水準で低迷すると仮定すると、0.66兆円輸出額が縮小する。そのうえで、この輸出額の減少が日本経済にもたらす影響を乗数2で算定。
- (5) 雇用が1.6万人縮小するインパクトを、全雇用5,840万人に対する、国民総消費300兆円に対する割合から算定。

図2-6 基幹航路を失った場合の日本経済への影響

船舶の大型化以外に、今後、自動化船の増加、船舶推進エネルギーの石油からの転換が進むものと見込まれ、港湾機能はこのような変化に対する技術的対応を行なう必要がある。対応を誤れば海運における大きな地位の低下を招き、適切に対応すれば東アジア域のハブ港としての地位を維持強化できるであろう。

自動化船を前提にした管制システム、港湾内の航路や錨地の設定、通信の信頼性向上、測位支援等、自動化船に対応するための課題を抽出し、解決して行く必要がある。

二酸化炭素の排出削減に関して、船舶の動力源のLNG化、アンモニア混焼、帆走併用、電動化等が行われて行くであろう。このため、新エネルギーの供給のための設備の整備や、電力に関しては裏付けとなる自然エネルギーの確保を行なわねばならない。一方で、フェードアウトして行く(であろう)石油系燃料の供給を引き続き適切に確保することも重要である。

港湾の機能として、洋上風力発電、海潮流発電、海洋温度差発電等の海洋再生可能エネルギーの基地港としての役割は、新しく、またエネルギー安全保障の観点から極めて重要な機能である。これら

の機能を果たすためには、岸壁長、水深、港湾の陸上施設や面積等で従来になかった規格が必要となるため、前広に対応して行く必要がある。海底鉱物資源やメタンハイドレート等の海底炭化水素資源に関しても、港湾の果たすべき役割と、それに必要な港湾機能があるため、前広の準備が必要である。一方で、石炭、将来的には石油に用いられている用地や施設の今後の整理についても前広に検討しておくことが必要である。

## 脅威⑧ 造船

わが国の造船事業は、かつて世界一の建造量を誇ったが、現在は世界第3位に低落している。4位以下に比べれば、建造量ははるかに多いが、造船事業の衰退により、設備や要員の整理が行われてきた結果、多くの問題が発生している。

拡大を続ける国際物流において、海運が今後も重要な役割を果たす中で、自国に十分な造船能力がないことは（経済）安全保障面での問題が懸念される。

一つには、開発能力の低下と経験不足の悪循環により、新たなニーズに適合した造船能力が失われることが挙げられる。洋上風力発電が今後の我が国の再生可能エネルギー源の主要部分を占めていくと考えられるが、大型化が進む洋上風力発電装置を設置するための大型クレーン船やSEP船を建造できる造船所が国内には少なく、それらの船は海外の造船所で建造されたものが使用されている。

こうした作業船の状況から、エネルギーの安定確保のための洋上風力発電能力の増強に制約が生じているのが現状である。

国内外の物流における船舶輸送の重要性は改めて述べるまでもないが、国際航海に従事する船舶からのCO<sub>2</sub>排出量は約9.19億トン、世界全体のグリーンハウスガス排出量の2.51%に相当する量となっている(2018年)。これはドイツ1国分(世界第6位)のCO<sub>2</sub>排出量に相当しており、環境への負荷は少ない(温室効果ガス(GHG)排出量などに関する第4次調査報告書(4th GHG study, GHG4) 国際海事機関, 2020)。二酸化炭素負荷の少ない船舶の開発、運航速度の環境面から見た適正化、自然エネルギー(海流等)の利用、海上交通の環境面から見た適正化等により、海上交通により発生する二酸化炭素の量を縮減する必要がある。国内物流においてはトラック(営業用貨物車)が発生する二酸化炭素は225g /t・kmなのに対して、船舶では41g /t・km、鉄道では18g /t・kmであり、二酸化炭素発生量から見て船舶は営業用貨物車に対しては圧倒的に環境に優しいが鉄道の2倍以上であることから、鉄道に比べて輸送量の総量が大きい内航船の環境負荷を一層縮減する必要がある。このような環境対策のためには、我が国の造船事業者による技術開発が必須であり、我が国の造船事業の健全な発展が環境面からも不可欠である。

適切な造船能力を維持できないと、自衛隊の艦船や海上保安庁の巡視船等の建造や修理にも支障が生じる。これらの船舶は、性能や構造を詳らかにすべきものではないため、海外の造船所に依存することはできない。

造船業は海運業の景気に大きく左右されるため、需要減少時の対応を事業者任せると、各事業者の経営判断によって設備投資や廃止が行われるため、長期的に必要とされる造船能力の維持が困難になる。また、整理されたわが国の人材を他の国が獲得して能力を高め、結果として我が国の首を絞めた面があることは否定しがたい。

海運や海洋開発といった、我が国の経済を支える造船能力の維持については、安全保障の観点からの長期戦略を国が示し、技術や人材というソフト要素についても戦略と方法論を提示すべきである。安全保障上重要な造船能力の確保を、企業の判断のみに依存すべきかについて議論すべきと考えられる。

我が国の造船技術力の低下を示したとも考えられるのが、2013年にインド洋で起きた商船三井が運航するコンテナ船「MOL COMFORT」の破断・沈没事故である。同船は2007年から三菱重工業が建造した国産の新造船であった。国土交通省のコンテナ運搬船安全対策検討委員会は、波の衝撃で生じる船体振動による力と、横方向から船体に加わる力による船体の縦方向の強度低下が原因と認定したが、設計・製造等のどの部分に大きな問題があったのかは明らかではない。

国立研究開発法人 海上・港湾・空港技術研究所及び海上技術安全研究所では、このような課題を認識し、デジタルシップヤードの構築、船体荷重・構造一貫解析強度評価システム デルサ（DLSA）、船体構造モニタリング及びデジタルツインシステムを開発してきており、これらが技術面や価格面でのブレークスルーになることが期待される。

#### <あるべき姿と技術的解決策>

##### 1) デジタルシップヤードの構築

- 造船行程を数値的に計画・管理することにより、納期、品質及びMPAコストを計画通りに達成する。
- 設計と建造をつなぐ一体したデータ管理、建造工程の正確な再現及び品質目標のデジタル化
- 設計と建造のデータ連携、設計及び行程データをPMLシステム内のBOM・BOPで管理。

##### 2) 船体荷重・構造一貫解析強度評価システム デルサ（DLSA）

- 波浪中の船体応答と荷重を動画で確認。
- 構造解析と荷重の長期予測による発生応力の最大予測値。
- 構造解析の所要時間を1/10に短縮する設計効率の大幅な向上。造船5社が実設計に利用

##### 3) 船体構造モニタリングとデジタルツインシステム

- 大型コンテナシリーズ船の疲労を評価する。同型船でも航路により疲労蓄積が異なる。

##### 4) デルサとハルモニタリングを結合した船体構造デジタルツインシステム アイザス i-SASJ

- 同化技術を用いて少ない計測点から全体の応力分布を解析し、船体の応力・負荷・疲労・損傷を評価し、設計に反映する。

#### <特記事項 無人化>

船舶自動運航の最終形である無人化には、技術的に幾つかの論点がある。

#### 海図

現在の海図は、紙海図のフォーマットにより視覚的に認識されるように作られており、電子計算機が認識するには困難がある。例えば、水深と水深の間の白地の部分は一般に「両水深よりも浅くはな

い」と理解されるが、「データが無いため何も描いていないだけ」の場合もあり得る。経験豊富な航海士は、自らの経験からこのことを理解するが、電算機にこれを理解させることは容易ではない。電子海図のフォーマットは電子計算機に理解させやすいように変更されつつあるが、データ空白域の存在は如何ともしがたく、これを測量成果によって埋めるには長期間を要する。予定航路だけでなく、避航海域等を含めて船底余裕水深（アンダー・キール・クリアランス）情報が整備された海域を航行する必要がある。

## 測位

GNSS測位では、接岸等の精密な位置情報を必要とする場合を除き、自動運航に十分な精度が得られる。補完的な測位情報を加えれば、接岸までの自動運航に必要な測位情報（船体の向きや傾斜も含む）が利用可能になっている。しかしながら、別項で述べるように大規模な太陽フレアや電磁パルス攻撃があった場合、測位が不可能になり、復旧には長期間を要することが懸念される。有人船であれば、外洋では天文航法、沿岸では地文航法が可能であるが、このような位置決定方法の自動化はGPS普及後に開発が中断されている。また、電子機器がすべて使用不能になった場合は、天文・地文航法システムが自動化されていたとしても機能しない可能性が高い。測位機能が完全に失われた場合の対応策を検討しておく必要がある。

## 当直（見張り）

ブリッジにおける見張りの過誤（居眠り等）は海難事故の主な原因である。自動運航船の場合、人間と同等以上の見張り機能を実現できるかが課題である。AISによる他船の動静情報は、操船判断に重要な役割を果たす。コンピュータによるレーダー画像の解釈は難度が高く、例えば漂流者をレーダーエコーとカメラ画像から自動検出することは、現在の技術ではハードルが高い。検出できたとしても、避航は可能でも、停船して救助することは困難である。自動運航船が果たすべき機能と活動についての整理が必要と考えられる。

## 機関等

エムゼロ船では、機関室の常時当直が免除されているが、機関長・機関士が乗船し、警報対応や点検を行っている。自動車の自動運転が数時間程度であるのに対し、自動運航船ははるかに長時間の無人航行を行う場合があり、機関等のメンテナンスフリー化のハードルは高い。

これらの課題の解決には、集中的な研究開発と投資が必要であるが、自動運航の実現によって得られるメリットはきわめて大きい。

## 成層圏プラットフォーム(HAPS)

成層圏プラットフォーム (HAPS : High Altitude Pseudo Satellite) は、高分解能の光学センサー及びSARによる海上監視、GNSSに依存しない測位システム、海上通信用の基地局等のため、高度約20キロメートル (風速16~25m/s) の高度に飛行船やソーラープレーンなどを配置するものである。

HAPSは、人工衛星よりも低高度 (1/10~1/40) を飛行するため、光学画像の解像度が10~40倍高くなることが期待できる。また電離層の下に位置するため、測位システムに用いた場合の精度も高いものが期待できる。高度20km程度であれば携帯電話の基地局として使用可能とされており、低高度による低遅延も大きなメリットである。

本稿で取り上げた高分解能モニタリングの必要性等、HAPSHAPSの活用が考えられる分野を以下に列記する。

1-1	自動運航	測位システム、海上監視
1-3	フリークウェイブ	海上監視、海面高度計測
1-4	サブスタンダード船	海上監視
2-1	航行の自由	海上監視
2-3	テロ対策	海上監視
3-1	GNSSの代替・補完	測位システム
3-2	テロ対策	海上監視
5-1	地震・火山等 フリークウェイブ	AUV・海底地震計のデータ送信 海上監視、海面高度計測
5-5	GPS補完	測位システム
6-1	若者の確保	通信

HAPSは、海上監視システムや測位システムの構築において、人工衛星よりも優位な点が多い。

商用画像衛星IKONOSは軌道高度681kmで1mの解像度を得ている。比例計算によれば、高度20kmでは3cmの分解能が得られ、これは船上の人の表情を認識できるレベルである。

GPS信号は高度約20,000kmから到来するため、電離層の影響を受けるが、高度20kmのHAPSではこうした影響が無い。このためHAPSによる測位システムでは、測位精度がGNSSに比べて高くなる。

HAPSにより、我が国独自の自律測位システムを構築することが可能である。平時においては、GPSと互換性を持たせ、GNSSの補強システムとすることが適当であろう。

海上監視、海洋観測、データ通信及び測位以外に、商用通信や放送の機能をHAPSに持たせることも可能である。通信機能のみであれば水平方向に100kmがカバーでき、我が国のEEZをカバーするのに100機程度必要であろう。一方3cm程度の解像度の画像を得るためにはHAPS 1機のカバレッジを水平方向に20kmとした場合は数千機程度で日本のEEZを監視できる。



## 第3節 財産

### 脅威① 資源の奪取行為

#### <日中間における相互事前通報制度>

日中間ではEEZの境界が合意されておらず、東シナ海で海洋調査を行う場合、相互に事前通報を行うことを取り決めた枠組みが平成13年2月より運用されているが、中国は通報の内容と異なる海域及び期間においてしばしば調査を行っており、科学的調査を超えた資源探査や開発を行っていることも指摘されている。科学的調査であれば、資源探査とは異なり調査成果を共有すべきであるが、そのような情報には接しておらず、資源探査や軍事的調査の可能性が高い。このため、現在の通報制度のあり方等を再検討すべきと考えられる。

#### <海底鉱区申請>

「深海底」は国連海洋法条約で「人類の共同財産」とされており、科学的調査も本来自由に行うことができるはずであるが、ISA（国際海底機構）に鉱区申請が行われている海底では、申請国の許可を得なければならないことになっている。こうした運用が、国際法を遵守する日本のみとなっていないか確認が必要である。例えば、深海のホットスポットである海底熱水孔は重要な研究対象であるが、公海上で新しく発見された海底熱水域で新たな知見が発表されるたびに鉱区として申請され、再調査が困難になっている。これは熱水噴出域だけでなく、他の酸化鉱物資源についても同様である。海底資源の開発は環境影響評価の観点やコストの面で開発が遅れており、実際どれだけの経済的価値があるのかは容易に判断できないが、鉱区申請という形で重要な海域を押さえることは、人類の共同財産の奪取に等しい行為である。このため、資源調査でない限り、鉱区での科学的調査を鉱区の申請国は原則認め、通報をルール化することが重要である。

#### <EEZにある資源を公然もしくは秘密裏に奪取されるリスク>

公然に行われる奪取のリスクとして、日中間の地理的中間線付近における天然ガス開発が挙げられる。ガス田が地下で中間線を越えた日本側のEEZにも広がっている場合、中国が掘削している地点から水平掘削により日本の側のガスを吸い出される可能性がある。現在中国側のリグは中間線から4km程度の位置にあるが、そこから10km以上の水平掘削が可能である。

一方で、非公然に行われるケースとしては、深海底の鉱物資源を、深海用無人機等を用いて回収する等の行為が挙げられる。こうした違法行為への対策としては、深海を含むEEZ全体を監視するシステムの構築が考えられる。我が国のEEZは広大で、そのすべてを海底まで含めて立体的に監視することは難しいが、EEZの境界にカーテンのように監視網を配置する方法が考えられる。また、海中を自律航行し、エネルギーを補充できるAUVも有効である。その際に課題となるのは、海中での測位である。例えば、米国国防高等研究計画局(DARPA)は、「Ocean of Things」という画期的なプログラムを進めている。これは、何千ものセンサーを用い、環境・気候データや海洋データ、商業船舶や民間旅客機の運航に関わるデータ等を総合的に観測することで、恒常的な海洋状況の認識 (maritime situational aw



areness) を可能にするものであり、安全保障及び民間用途への様々な応用が期待されている。

#### <あるべき姿と技術的解決策>

理想的には、防空識別圏のように、EEZ内のすべての海中物体の活動を把握できることが望ましいが、我が国のEEZは広大で、これを守るには境界の監視が重要である。EEZに出入りするすべての物体（生物も含む）を検知できるシステムの構築が望ましく、海上から海底までをカーテン状に監視できる機能を実現する必要がある。

海水中では電波の減衰が大きいことから、海中での物体の探知には音波を用いる必要がある。EEZの境界で、物体から発せられる音を検知し、物体の通過時刻や方位を検出する。また、音波を発射し物体からの反射を検知するアクティブなシステムも有効で、従来の超音波による魚群探知やソナーを密に線状に配置する方法が考えられる。一方で浮き魚などの水産資源に対しては、低周波により半径15km以内の魚群を検知する技術がマサチューセッツ工科大学（MIT）で開発されている。また、AUV（Autonomous Underwater Vehicle）を用いる場合には、海中を可視化するためにAUVが取得した情報を、衛星を通じて地上局に伝送する情報伝送能力を開発し、海中の状況をリアルタイムに近い形で世界に公開できる能力を保有すべきである。

#### <現在の技術レベル>

船舶の多くが音響測深器や魚群探知機を装備しているが、得られたデータは現場で使用された後は蓄積されることなく捨てられている。これらの超音波機器が収集する情報は、海中の魚群の存在や数、プランクトン群集の層、海中の物体、海底地形などが含まれている。これらの情報を集約して再利用できるようにすることが必要である。

MITで開発された、海洋音響導波層リモートセンシングは画期的な技術である。魚のウキブクロ共振周波数が数百Hzと低いため、超音波機器では実現できない超長距離の魚群の可視化に成功している<sup>4)</sup>。これは、かつてあった富士山レーダーによる雲の映像イメージ（図3-1）に近く、長距離リアルタイムの水産資源計測を可能にする、現在唯一の技術である。

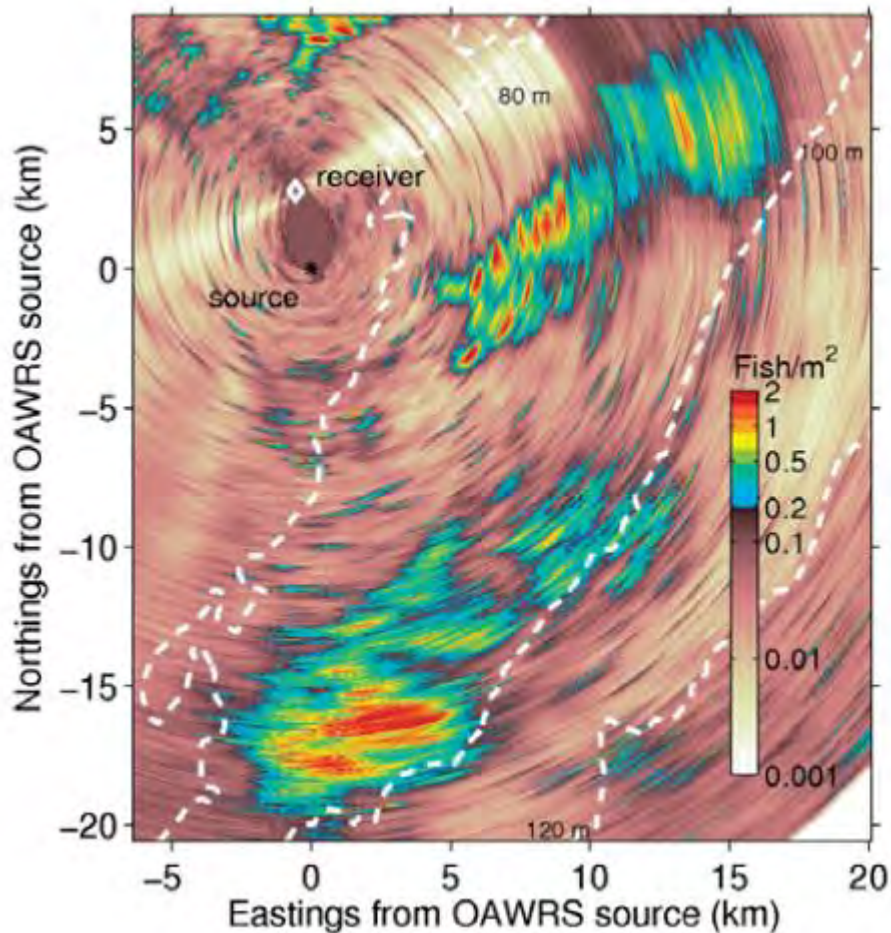


図3-1 海洋音響導波層リモートセンシング(Ocean Acoustic Waveguide Remote Sensing)による広範囲の魚群イメージ<sup>4</sup>

AUVに搭載したマルチビーム音響ソナーにより、海底付近から地形等の詳細な状況を航空写真の様に映像化することができ、数ノットで連続24時間程度の範囲であれば、1台のAUVで調査が可能である。近年、多数のAUVを同時に展開し、観測範囲を飛躍的に拡大できるようになりつつある。また、AUVによる深海観測には長時間の潜水航行と、海中での位置の正確な把握が必要である。現在、海中での測位は慣性航法+音響補正に依存しており、より正確な位置を把握するためには、船舶等による海上からの補助、またはAUVが浮上してGPS信号を取得し、慣性航法用の位置補正を定期的に行う必要がある。

AUV潜航時の測位システムとして、BAE Systemsと DARPA による、「Positioning System for Deep Ocean Navigation (POSYDON)」がある。これは、海中でも正確な位置情報の取得が可能な音響測位システム(図4参照)で、潜航中の潜水艦でも取得可能な音響信号を発信するブイを配置し、複数のブイから到来する音響信号の差分を求める一種の「三角測量」である。具体的には、各ブイは水面のアンテナでGPS信号を取得して低周波音響信号に変換し、吊下された送波器から送波する。ブイは補正によって正確な位置を得られるため、これにより海中でGPS信号の利用が可能になる<sup>5)</sup>。

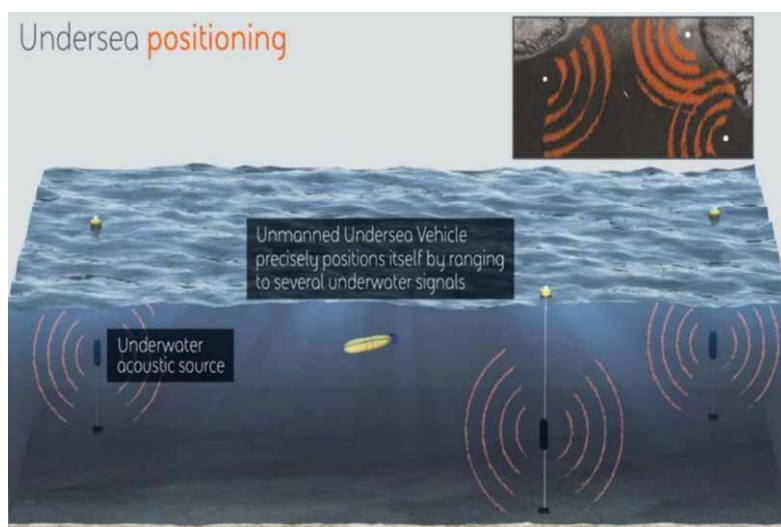


図3-2 POSYDONの動作概要（出典：参考文献5）

#### <対処に必要な将来技術>

EEZ境界でカーテン状の監視を行うには、メンテナンスが容易な低雑音の音響センサーが必要である。光ファイバコイルを用いた水中マイクロホンが開発されており、有力な候補であるが、数千kmにわたり展開するには低コスト化と堅牢化が必要である。光ファイバを用いるため、電力供給が不要で安定性も高く、敷設後の維持管理は容易と考えられる。対象の識別には機械学習を用いるため、クジラや魚の鳴音や、AUVなどの海中航行物体が発する音のシグネチャ（ライブラリ）の整備が必要である。

音響測深器や魚群探知機のデータ集約については、ハードウェアの制約はほとんどない。すなわち、既存のシステムからデータを抽出して伝送・蓄積すればよい。このときに必要となる技術要素は、沿岸と沖合で異なる通信環境に対応できる通信路の確保と端末側での情報処理である。また、情報提供に対する報酬や、データ解析結果の提供者へのフィードバック等、情報提供者に対するインセンティブも重要である。たとえば漁業者であれば水産資源分布状況を提供する代わりに魚群探知機の情報を提供してもらおう。これらがビックデータ化するにつれ、応用範囲は海底地形や水産資源の把握だけでなく、地震防災、気候変動、ブルーカーボン、海中防衛などに広がるのが期待できる。その際に解析結果の利用を有料とし、データ提供者にインセンティブとしてフィードバックする方法も考えられる。

海洋音響導波層リモートセンシングでは、コンパクトで大音圧を発生可能な水中スピーカーの開発が重要である。受信側の水中マイクロホンアレイは、従来技術の圧電素子を用いたマイクロホン並べれば対応できる。このシステムを設置するプラットフォームの開発も重要で、電力と通信環境を備え、台風でも損傷しない架台が必要である。この技術は沖合の浮体式洋上風力発電にも応用可能である。また風力発電のパイルに海洋音響導波層リモートセンシング装置をとりつければ、電力供給と水産資源把握の効果が同時に期待できる。

AUVIによる効率的な海底観測を実施するには、長時間実用化が将来技術として重要である。

量子慣性センサーは量子が周囲環境からの影響を受けやすいという、量子コンピュータや量子通信では不利に働く性質を、周囲データを計測するという用途に利用する技術である。したがって、技術の応用の障壁は比較的 low、量子コンピュータの活用よりも先行して活用が広がることが期待されており、量子科学技術のうちでは最も実用化に近い技術と考えられている。現在進められている研究のターゲットは、既存のジャイロに比べ精度を3桁向上させた原子ビームジャイロ慣性航法装置（数十時間のAUVの航行で誤差が数十メートル程度）及び、同じく精度を2桁向上させたイオントラップジャイロ型慣性航法装置（自動運転車で5分程度の誤差が数十センチメートル）の二つである<sup>6)</sup>

一方、海中での高速大容量通信に用いられる光通信技術は、レーザー光を用いる光通信であり、海中で数十メートルの範囲での通信に限定される。現在JAMSTECが実験を重ねており、実用化が近いとされている<sup>7)</sup>。

上記の他には、画像認識等に基づく自律的な撮影調査（サンプリングを含む）技術、帰還不能または拘束された場合の漏洩防止技術（自沈、データ自動消去、自爆等）、大容量電池等があるが、これらは海洋関連技術とは別の分野で精力的に研究開発が進められている。

また、取得データの取り扱いについては、公開/非公開データの整理や公開の基準を明らかにする必要があり、公開するデータについては、世界的に利用されている共通フォーマットに準拠させる必要がある。

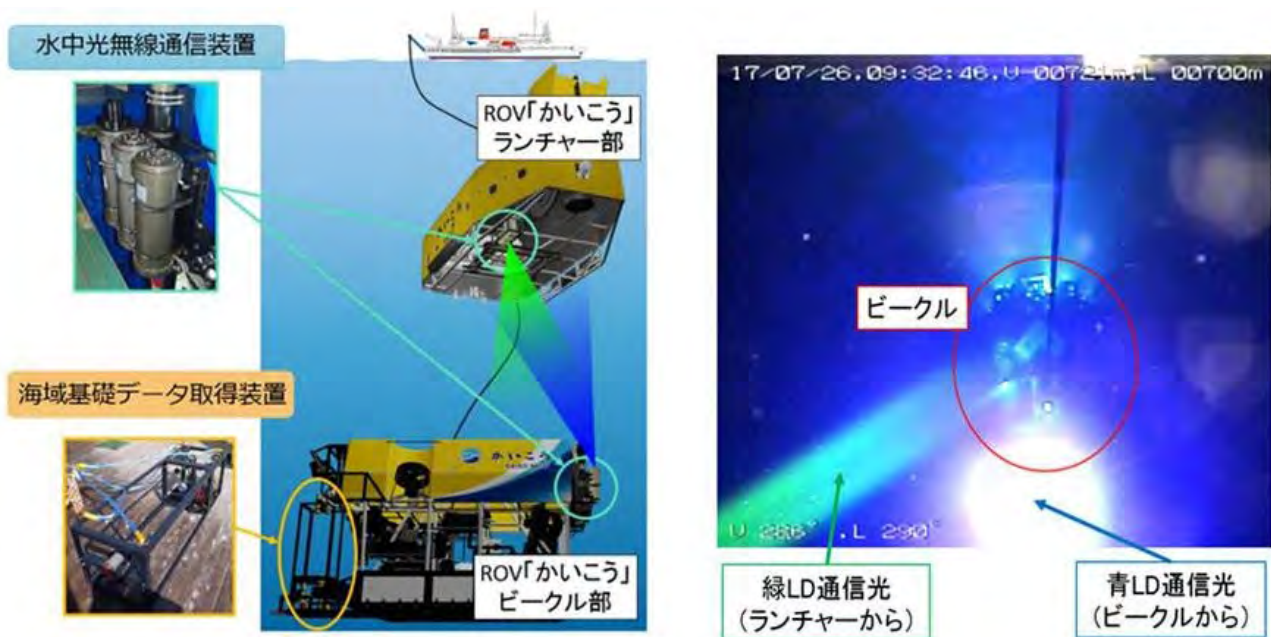


図3-3 試験模式図（左）及び海中光無線通信中の映像（右）（出典：参考文献7）

<特記事項 MDAの「構想と可能性」から「実践と成果」へ>  
 これまでの経緯



2001年の米国同時多発テロを発想の契機とするMDAは、米国による「国家の保安、安全、経済、環境等に影響を与える可能性のある、すべての海洋事象の実行的理解」という定義<sup>21</sup>を基礎に概念化が進められ、我が国においては、2018年5月に閣議決定された「第三期海洋基本計画」において、MDAに重点的に取り組むことが明記された。こうした検討を通じ、軍事以外の非伝統的分野も広く文脈に含める、海洋安全保障の要素としてのMDAの位置づけがおおむね定まり、いまやMDAは構想や可能性の段階から具体的な成果の段階に移行したと云う。そして、第三期海洋基本計画におけるMDAの定義<sup>22</sup>を見れば、これまでに抽出した課題のほぼすべてが、何らかの形でMDAの文脈とかかわりを持っている。

### 変化する多様なニーズへの対応

米国の国家MDA計画書では「テロや犯罪の抑止、重要インフラの防護、自然・人為的災害からの海上輸送システム及び関連インフラの被害局限及び迅速な復旧、世界の資源及び市場への自由なアクセス、海洋の資源保護のための海上状況把握の強化」をMDAの目的に据えているが、急速に変化する海洋安全保障環境においては、常に新たな課題が生まれている。MDAによる海洋の可視化や透明性の確保を、そうした海洋安全保障環境においてどのように課題解決に活用するかは、変化するニーズを踏まえ、各ステークホルダーがそれぞれの責任分野において考察すべきものであり、わが国においてもMDAによって実現すべき価値が時代の要請に即したものとなるよう、不断の見直しが必要である。海底ケーブルやエネルギーのパイプライン、洋上風力発電施設等を保護するための破壊活動監視といった分野も、MDAに関わる新たなセキュリティニーズと云ってよい。海洋の持続的発展という、SDGsとのかかわりにおいてMDAに新たな意義が見出されたことも重要な視点である。ウクライナ危機においては、軍事・経済・物流・航行安全等の分野において海洋状況を把握することの重要性が再確認された。海洋安全保障におけるMDAの役割は益々重要になっている。

### 今後の方向性

我が国はこれまで、第三期海洋基本計画に従い、海洋状況表示システム「海しる」の構築、海洋監視大型無操縦者航空機の導入、JAXAの衛星データの利用等によるMDA体制の強化を図っており、これらは監視能力（目）及び神経（情報共有）を強化する先進的な取り組みである。MDA体制の強化においては、海洋と航空・宇宙の融合が一層重要であり、今後は、さらに成層圏プラットフォーム、VDES、電波監視衛星といったゲームチェンジャー技術の開発導入に取り組むことで一層の体制強化を図るとともに、MDAの成果が具体的な課題の解決に貢献するよう、取得した情報の分析能力の高度化を進め、海

---

<sup>21</sup> National MDA Plan for the National Strategy for Maritime Security (2017) なお、国際海事機関（IMO）はMDAを「安全保障、安全性、経済又は環境に影響を与える海洋環境に関連した活動に対する実効的な理解（MSC.1/Circ. 1415, Amendments to the IAMSAR Manual 11 (May 25, 2012)）」と定義しており、米国の定義をほぼ踏襲している。

<sup>22</sup> 「海洋の安全保障、海洋環境保全、海洋産業振興、科学技術の発展等に資する、海洋に関する多様な情報を、取扱い等に留意しつつ効果的な収集・集約・共有を図り、海洋に関連する状況を効果的に把握すること」とされ、米国の定義とは若干趣を異にしている。

洋の可視化における先進的地位を確立し、MDAの取組を通じた海洋安全保障の推進をリードすべきである。

## 課題

### 実施体制

半面、課題としては、政府を挙げて横断的に取り組む体制には改善の余地がある。米国のMI FC、フランスのMI CA、フィリピンのNCWC、シンガポールのIFC、豪主導による太平洋島嶼国のPFCなど、各国には関係部門が協力するMDAの情報融合体制が存在するが、わが国には明確に位置付けられたMDAの中核となる責任組織がなく、第三期海洋基本計画に定められた司令塔（NSS、海事務局および宇宙事務局）のもとで、関係機関が個別の取り組みを進めている状況である。これは、国内における所掌と責任の明確化というだけでなく、MDAのカウンターパートを国際的に明らかにするという意味においても不十分である。米国がMDAの位置づけと責任組織を大統領令<sup>23</sup>（PPD-18）で明らかにしているように、何らかの形でMDAに取り組む実務体制の制度的明確化が必要である。

### 情報管理のルール作り

また、MDA情報の管理のためのルール作りも十分ではない。例えば、海底地形のメッシュ精度や海底資源の分布など、国家の安全や経済安全保障の面から外国と共有すべき情報の基準も明確にされておらず、情報の共有を国益とバランスさせる情報管理ルールが求められる。他方、2022年12月に閣議決定された安全保障関連3文書において、海上自衛隊は滞空型無人機を含む無人機部隊2個隊を新たに編成することとされた。今後は得られた情報を効果的に共有するための情報管理のルールの策定が不可欠であり、MDAの実効性を担保するための喫緊課題でもある。

## 国際協力の推進

MDAの国際協力においては、これまで二国間およびQUADやHACGAM等の多国間の枠組みにおいて様々な議論や施策が行われてきたが、先に述べたように、MDAによって解決を図ろうとする課題の重点は、地域の実情によって異なる。例えば、米国においてはテロの抑止、南・東シナ海沿岸諸国においては海洋資源の確保や侵害行為への対処、越境犯罪の根絶、太平洋島嶼国においては環境の保護やIUU漁業の抑止等が重点事項と考えられ、それらの実情を的確に理解した上で課題解決に資するよう、わが国は他の先進各国と連携しつつ地域の能力向上支援に努めることが求められ、構想と可能性から具体的成果へという文脈がここでも成立し得る。その際、MDAにより特定国との間に無用の懸念や軋轢を生じては意味がない。国際協力の推進においては、特定の政治的意図を廃し、海洋の透明性を向上させるこ

---

<sup>23</sup> 政策大統領令（Presidential Policy Directive）第18号（PPD-18、2012年8月）により、米国においてMDAの政策と実務の基本的枠組みが定められ、NMI O（国家海事インテリジェンス統合局）が設置された。なお、PPD-18はそれまでMDAの基本政策であった2件の大統領令（NSPD-51及びHSPD-20、いずれも2001年）を統合して新たに発出されたものである。

とで、海洋安全保障における普遍的価値や利益の実現を図るという姿勢が重要であろう。この意味で、UNODC（国連麻薬犯罪事務所）が海洋監視と情報分析技術のノウハウに関して東南アジア諸国で実施している「MDAスクール」を通じて日本が行っている支援は優れた手法であるといえる<sup>24</sup>。世界の海運物流の大きな割合を占め、多種多様な海洋の課題を抱えるアジア・太平洋地域においては、海洋の可視化を進めることの意義は大きく、各国の期待も高いことから、監視技術や情報分析というわが国の優位性を生かした能力向上支援の取り組みを一層進める必要がある。

MDAをこのように整理したうえで、それが時代の変化に対応しつつ、具体的課題の解決に資するものとなるよう、個別の議論を行うべきである。

- 1) 海底ケーブルや重要港湾の点検保守に関しては、データの保全の観点から国産AUVを使用すべきで、そのためには国産のAUV産業の育成を加速化する必要がある。
- 2) MDA推進のための民間プラットフォームの活用。商船、漁船、洋上風力発電など、民間プラットフォームを活用したセンシングにより、EEZあるいはその外側での監視能力が格段に向上する。この場合には情報伝送の暗号化が必須である。
- 3) 観測範囲、即時性、精度などの効果と費用を考慮すべきである（図3-4参照）。

	観測範囲	即時性	観測精度
パッシブカーテン監視	大	○	低
魚群探知機・測深器ビックデータ	中	×	中
海洋音響導波層リモートセンシング	大	○	低
自律型無人潜水機(AUV)	小	△	高

図3-4 監視技術の一覧

## 脅威② 情報漏洩

### 1) 誤操作による漏洩

日本ネットワークセキュリティ協会の2017年の個人情報漏えいインシデントの分析結果によると、情報漏洩原因で最も多かったのは誤操作で、次いで紛失・置忘れ、不正アクセス、管理ミスが続く。対策としては社内教育による社員のセキュリティ意識の向上及び、情報が漏洩しない組織の仕組みづくり等が挙げられる。

### <あるべき姿と技術的解決策>

<sup>24</sup> 日本とUNODCとの間の戦略的協力：2013年に署名され、2022年に改訂された。UNODCによるMDAの地域能力向上プログラムと日本の支援はこの枠組みを背景に行われている。



誤操作による情報漏洩は、発生することを前提に対策を講じなくてはならないが、技術面から見ると、現在普及している暗号には、コンピュータの能力の向上によって解読される危険性があるため、そのような危険性が原理的に存在しない情報の伝送システムを構築する必要がある。

具体的には、量子暗号と量子鍵の配送によって堅牢な情報伝送システム（衛星回線を含む量子暗号ネットワーク）を構築する。このネットワークが従来の暗号と大きく異なる点は、送り手と受け手が鍵を絶対安全かつ自動的に共有できる仕組みを有することである。量子鍵配送では、将来どんなにコンピュータの性能が向上しても、傍受による鍵の窃取が原理的に不可能とされている。

#### <現在の技術レベル>

量子鍵配送とは、光の量子単位であるひとつひとつの「光子」に情報を乗せて送信を繰り返し、秘密鍵を完成させる。その秘密鍵の中から「チェックビット」と呼ばれる確認用の部分をランダムに取り出して送信者と受信者の間で確認し、食い違いの有無を確認する。十分な回数のチェックビットを確認すれば傍受の有無が検出できるため、傍受の疑いがある場合には秘密鍵を破棄して、新しい秘密鍵の送信を行う（ワンタイムパッド方式）ことで通信の安全を確保することができる<sup>7)</sup>。

量子暗号通信は光子という非常に微弱な光を使用するため、地上に設置した光ファイバ網を通じて送受信すると、伝送損失により光子が消失してしまう。現在、光ファイバによる量子鍵配送の伝送可能距離は、200km程度で、300kmが限界といわれている。また、伝送距離を10km程度から100km程度に延ばすと、伝送損失の増加により通信速度が落ちるという課題もある。一方、衛星でレーザー光により光子の送受信を行う場合には、伝送距離は1000km程度まで可能である。ただし、衛星は地球の低軌道を高速で周回するため、通信可能時間が限られる制約がある。

中国は2016年に「墨子」という実験衛星を打ち上げ、2018年に中国とオーストラリアの間で7,600kmの距離の大陸間量子鍵配送を実現させている。日本では、総務省が「衛星通信における量子暗号技術の研究開発」を重点課題と位置づけ、2018年から2023年までのプロジェクトを実施してきた。このプロジェクトの目標の一つとして、衛星と地上局間で10kbpsを超える速度で理論上の安全性を備えた暗号鍵配送技術の実証が挙げられている。2017年に情報通信研究機構（NICT）は、50kg級の超小型衛星「SOCRATES」と固定地上局間による量子通信の実証に成功した。今後は2023年に打ち上げ予定の技術試験衛星9号機に搭載される光通信機器「HICALI」による、10Gbpsの高速通信と大気の影響による通信品質の劣化低減に関する技術実証を行う。

日本の宇宙基本計画では、2025年ころまでに「グローバルな量子暗号通信網の実現に向けた研究開発等」を進める予定となっている。さらに、NICTは2025年には都市間を結ぶ量子暗号通信網の構築に着手し、2030年ころまでには日本全土の量子暗号通信網を整備する計画である。2035年以降は、主要な同盟国との間に、宇宙を介して量子暗号通信のグローバルネットワーク化を構築する計画を有して

いる<sup>8)</sup>。地上と衛星を統合したグローバルな量子セキュアネットワークの概念を図3-5に示す。

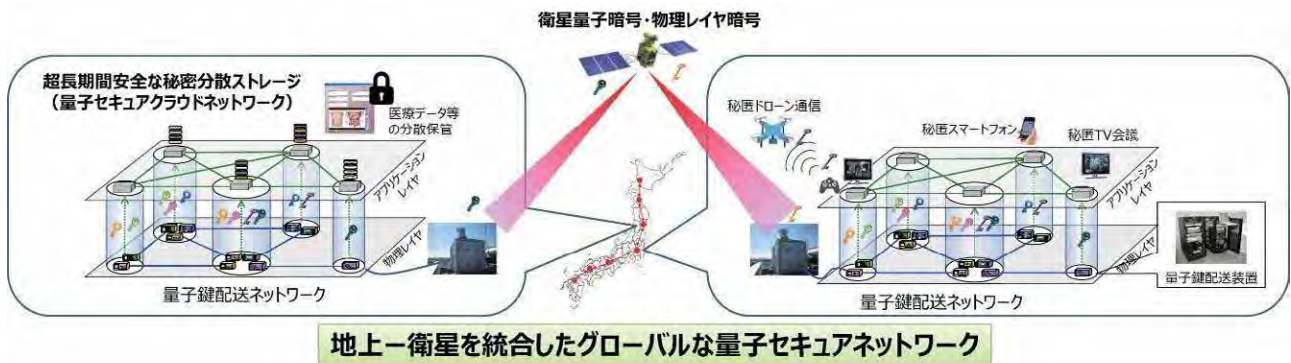


図3-5 地上—衛星を統合したグローバルな量子セキュアネットワーク（出典：参考文献8）

＜対処に必要な将来技術＞

量子暗号ネットワークをより安全なものとする、秘密分散技術と量子セキュアクラウド技術の研究促進が必要である。秘密分散技術とは、原本データを無意味化された複数のデータに分散して保存する技術である。量子セキュアクラウド技術とは、将来にわたり秘密漏洩と不正改ざんを防ぐ安全なデータ保管を実現し、一部のサーバが棄損した場合で原本データの復元を可能とする技術である。これらの技術により、理論上安全なグローバルネットワークを形成できる<sup>9)</sup>。図3-6に量子セキュアクラウドの概念図を示す。

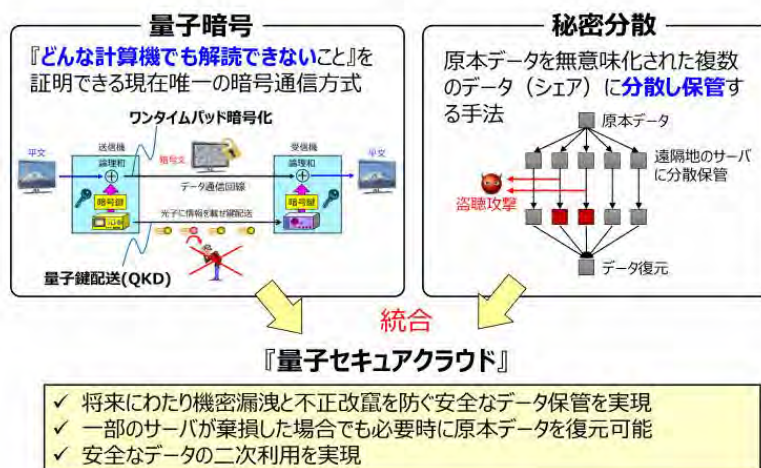


図3-6 量子セキュアクラウドの概念（出典：参考文献9）

2) 外部からの不正アクセスによる漏洩