

ISSN 2433-4944 (online)  
ISSN 0912-7437 (print)

日本海難防止協会情報誌

**海と安全**

**2025 冬**

**No. 607**

**【特集】**

# GPS への妨害 ～ ジャミング・スプーフィング ～



【表紙の写真】

みちびき 6 号 CG 画像

出典：みちびきウェブサイト

[https://qzss.go.jp/overview/download/cg-image\\_qzs-6.html](https://qzss.go.jp/overview/download/cg-image_qzs-6.html)

日本の衛星測位システム（日本版 GPS）

高精度で信頼性が高く GPS への妨害に対するカウンタメジャーとしても期待される

本年度中に 7 機体制となる

## まえがき

GPS（Global Positioning System）の普及により船だけでなく車、あるいはスマホでもリアルタイムで正確な現在位置を知ることができるようになりました。もうデッカ、ロラン、オメガといった電波航法の名前を知っている人も少なくなっていることでしょう。

GPS は米政府が運営している電波航法システムで、衛星からは軍事用と民生用の信号が発信されており、民生用の信号フォーマットが公開されているお蔭で我々も GPS を利用することができます。初期には軍事用の位置誤差が 10m 以内であったのに対し、民生用は 100m 以内となっており、船舶が狭水道や航路内を航行する際に利用するには十分な精度ではありませんでした。

このため我が国では海上保安庁が DGPS（Differential GPS）という、誤差を修正するデータを送信し、誤差を修正することにより精度を維持してきました。その後、米政府は民生用の誤差についても 10m を保証するようになり、DGPS は廃止されました。

精度が向上した一方、故意による GPS への妨害事例は今まで日本国内で確認されていないものの（注）、世界では紛争地域を中心に妨害が多発しています。妨害方法は、妨害電波を出して GPS を使えなくするジャミング、偽の電波を出して偽の位置情報を利用者に表示させるスプーフィング、これら二つの方法が主となっています。

熟練した航海士なら GPS が使えなくなってもレーダーや航路標識、大洋航海では天文航法を利用して航海を続けることが可能です。しかし、レーダーや航路標識が利用できない海域で急にジャミングに遭ったら、、、あるいはスプーフィングされていることに航海士が気付かなかつたら、、、そういった場合、座礁などの海難に繋がる恐れがあります。

本号では GPS の脆弱性について、さらに、GPS を補完する DGPS が既に廃止された今、どうやって GPS への妨害を防ぐかなどについて特集しました。

GPS は衛星から送られてくる微弱な電波を利用しますので妨害することは比較的容易です。日本でもいつなんどき攻撃を受けるか分かりませんし、故意ではありませんが GPS が妨害された事例（注）もあります。本号を読まれ、他の海難防止と同じく用心され、GPS が妨害されても安全な航海が維持できるようにしていただければと思います。

「海と安全」 編集部

（注）2020 年に小松空港から数キロ離れた工事現場で使用されていた技術基準適合証明のない海外製ワイヤレスカメラから発せられた電波により、同空港を利用する航空機の運航が阻害された。

# Contents

## 【特集】 GPS への妨害

### ～ ジャミング・スプーフィング ～

|   |  |    |
|---|--|----|
| ■ | GPS の脆弱性   |    |
|   | └ 海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所 坂井 丈泰                        | 1  |
| ■ | 準天頂衛星システム「みちびき」による<br>セキュリティ機能付き測位サービス（信号認証サービス）について |    |
|   | └ 内閣府 宇宙開発戦略推進事務局 和田 弘人                              | 7  |
| ■ | 進化する MSAS とメッセージ認証                                   |    |
|   | └ 国土交通省 航空局 中井谷 幸治                                   | 15 |
| ■ | GPS ジャミング・スプーフィング対策機器                                |    |
|   | └ 商船三井テクノトレード株式会社<br>情報通信・電装事業部 村石 明裕、山守 志門、三橋 俊     | 19 |
| ■ | Hope for the Best, Prepare for the Worst.            |    |
|   | └ 日本船長協会 滝浦 文隆                                       | 25 |
| ■ | 電波航法の歴史 ～ 無線羅針局から AIS 航路標識まで ～                       |    |
|   | └ 「海と安全」編集部  | 31 |



# Contents

## 【特集以外の記事】

|   |  |    |
|---|--|----|
| ■ | 船舶海難の発生状況 / 海上保安庁からのお知らせ               |    |
|   | └ 海上保安庁 交通部                            | 46 |
| ■ | 南極観測船「宗谷」訪船記                           |    |
|   | └ 「海と安全」編集部 星衛 円香                      | 47 |
| ■ | 【海外情報】 ICMASS-2025 参加報告 ～ 自動運航技術の現段階 ～ |    |
|   | └ 日本海難防止協会 ロンドン連絡事務所                   | 51 |
| ■ | 【海外情報】 マラッカ・シンガポール海峡における船舶航行安全確保       |    |
|   | └ 日本海難防止協会 シンガポール連絡事務所                 | 58 |
| ■ | 日海防だより                                 |    |
|   | └ 日本海難防止協会 東京本部                        | 65 |

## GPS の脆弱性

---

海上・港湾・航空技術研究所 電子航法研究所  
航法システム領域 副領域長 坂井 丈泰

衛星航法システム GPS (Global Positioning System : 全地球測位システム) は、その名の通り地球上のどこでも自分の現在位置を知るためのシステムです。もともとは米軍が開発した軍用システムですが、一部の機能については民生用途に開放されており、幅広いユーザを得ているのは周知のとおりです。代表例はカーナビゲーションと言えますが、船舶や航空機の航法にも利用され、近年は多くの携帯電話にも内蔵されています。

GPS は便利な装置ですが、実はセキュリティ上の観点からは脆弱性があることが知られています。GPS の脆弱性を考えるうえでポイントとなる性質は次の 3 点です。

(1) 信号が微弱 : GPS 衛星が送信している電波の電力は、実は 100 ワットの電球と同じ程度です。2 万 km 彼方にある 1 個の電球ですから、GPS 受信機に入ってくる GPS 信号はたいへん微弱で、GPS 信号よりも強い電波を出すのは難しくありません。

(2) 信号の仕様が公知 : GPS 衛星が送信している民生用信号については仕様が公開されています。これにより GPS 受信機は誰でも製作できるわけですが、同様に誰でも GPS 信号を作り出すことができます。

(3) 送信者を確認できない : これは GPS 信号に限った問題ではありませんが、無線通信においては、特別な仕組みがない限り受信した信号を誰が送信しているのかわかりません。GPS 信号の内容は公知で、送信者を確認するための仕組みもありませんので、GPS 衛星以外の誰かが GPS 信号を偽造していても、受信機はそれと知ることができません。

こうした脆弱性により不具合を生じるシナリオとしては、意図しない原因によるものもありますが、意図的な（悪意の）攻撃も含めて次のように整理できます。

### (1) 意図しない原因によるもの

2007 年 1 月、米国サンディエゴ市一帯で GPS が突然利用できなくなりました。原因調査の結果、海軍船舶の通信機に不具合があり、GPS が使用している周波数帯域(1.6GHz 帯)に不要な電波を放射していたことが判明しました。原因はこの通信機の不具合ですが、問題はこの程度のことで広範囲に GPS を使用できなくなってしまった事実といえます。

このような意図しない電波による影響は、干渉（interference）と呼ばれます。数年前にドイツの空港でやはり GPS が異常な位置を示す事例が報告され、この原因は航空機格納庫に取り付けられていた GPS リピータによる電波が漏れていたことでした。リピータというのは、屋内でも GPS を利用できるようにするため、屋外のアンテナで受信した GPS 信号を屋内に再送信するものです（図 1）。リピータによる信号を受信した GPS 受信機はすべて、リピータの受信アンテナの位置を示すことになります。電波は目に見えませんが、こうした事象が起きていても当事者にはわからない場合があります、原因調査には専用の機材と多くの手間がかかります。最近では、外国製のウェブカメラによる干渉の例があります。

## （２）意図的な妨害

次に、何らかの意図をもって GPS を利用できなくする場合があります。2010 年頃から現在にかけて、韓国のソウル周辺で航空機が GPS を使用できなくなる事例がたびたび報告されています。影響範囲は次第に拡大してきており、北朝鮮による妨害活動だと言われています。

米国では、しばらく前まで PPD（Personal Privacy Device）と称して GPS ジャマーが市販されていました（図 2）。これは GPS が使用している周波数帯で意図的な妨害波を発するものです。例えば、運送業では運行管理に GPS が使われることがありますが、これを嫌う運転手が自車の GPS を妨害して使えないようにするのです（このため、安価な GPS ジャマーはシガレットソケットに挿し込むタイプが多いようです）。前述のとおり GPS の電波は微弱ですから、妨害（jamming）するのは簡単です。航空機が GPS を使用する場合の危険性などを考慮して、現在はこのような機器は米国でも違法となっています。

妨害波が強いほど広い範囲の GPS 受信機を妨害できますが、一方で送信源を特定することは容易になります。発見されないためには、なるべく微弱な電波を使用するのが有効です。電波の形式によっても GPS 受信機に対する影響は異なってきますが、もっとも効率的に GPS 受信機を誤動作させることができるのは、実は GPS 信号そのものです。単純な形式の電波よりも、本物の GPS 信号を使えば微弱な電波でも効果的に GPS を妨害できます。先のリピータの例もある通りで、これは技術的にさほど難しいことはありません。GPS 信号をそのまま、あるいは多少の細工をして再送信することによる妨害を、ミーコニング（meaconing）と呼びます。

最近では携帯通信機器の開発向けに RF レコーダが市販されています。これは無線信号を直接受信・記録し、さらに再生することができる機材ですから、過去の（他の場所の）GPS 信号を記録しておけばいつでも再生できます。送信用のアンテナを付ければ、ミーコニングデバイスとして利用できるようになります。

### （３）なりすまし

さらに手の込んだ妨害はスプーフィング（spoofing：なりすまし）攻撃と呼ばれます。これは、偽物の GPS 信号を作り出して、GPS 受信機を欺くことを指します。GPS 衛星が送信している民生用信号の仕様は前述の通り公知ですから、GPS 受信機は誰でも製作できますが、同様に誰でも GPS 信号を作り出すことができます。GPS 信号では送信者を確認する仕組みがありません。

実際に GPS シミュレータと呼ばれる製品もありますし、最近は図 3 のような市販の安価（数万円程度）なソフトウェア無線デバイスで GPS シミュレータを製作することが可能になっています。図 4 は、実験用に試作したシミュレータを使って GPS 受信機を欺いた例です。実験室にいるのに GPS 受信機は石垣島の位置を示し、次の瞬間には東京湾内を円状に移動し、さらに突然仙台空港から離陸しました。時刻はほとんど変わっていないのですから、実際にはこのような移動は不可能なのですが、特に何のエラーになることもなく、シミュレータが生成した GPS 信号がそのまま処理され、現在位置として出力されました（すべての GPS 受信機でこのようになるとは限りません）。

広い範囲にわたるスプーフィングは難しいのですが、攻撃対象を絞ればスプーフィングは可能です。無人機に対するスプーフィング実験も行われていますし、スプーフィングにより船舶を誤った進路に誘導したとの実験結果も報告されています。最近では、実際に黒海周辺で多くのスプーフィングとみられる現象が報告されており、航空機の運航に影響しています。

### （４）位置情報の偽装

以上は GPS 信号に対する干渉あるいは妨害でした、GPS 受信機の出力に対して意図的な操作を加える手法も知られています。GPS 受信機が出力する位置情報は標準フォーマット（NMEA-0183 等）によることが多く、インターフェースもシリアル通信あるいはイーサネットによるものが普通ですから、物理的な偽装は可能です。

最近では、ソフトウェアによる偽装も知られるようになりました。例えば、位置情報ゲーム「ポケモン Go」では、スマートフォン内部の API (application programming interface) を操作して現在位置が偽装されることがありました。もともと、GPS 情報を使用するアプリケーションの開発者向けに位置情報を操作するソフトウェアもありますから、このようなことは比較的容易に可能です。特に高価なハードウェアを必要とするわけでもありませんから、位置情報を使用するアプリケーションの運用には注意が必要といえるでしょう。



図 1 GPS リピータの製品例（イネーブラー株式会社）



図 2 市販されていた PPD の例



図 3 ソフトウェア無線デバイス（nuand 社 bladeRF）



図4 スプーフィングの例

## GNSS とは？

GNSS は Global Navigation Satellite System の略称で日本語では全球測位衛星システム、人工衛星を利用して位置を把握するシステムの総称です。

よく知られている GPS も、次の章で紹介される「みちびき」も GNSS の一種で、米国や日本をはじめ、各国各機関が独自の GNSS を運用しています。

- ・ アメリカ GPS (Global Positioning System)
- ・ 日本 みちびき
- ・ EU Galileo
- ・ インド NavIC (Navigation Indian Constellation)
- ・ 中国 BNS (BeiDou Navigation System)
- ・ ロシア GLONASS



## 準天頂衛星システム「みちびき」による セキュリティ機能付き測位サービス（信号認証サービス）について

内閣府 宇宙開発戦略推進事務局 準天頂衛星システム戦略室 企画官 和田 弘人

### 1. セキュリティ機能付き測位サービスが必要とされる背景

コンピュータやスマートフォン、ワイヤレス通信・衛星通信といった ICT・ネットワークの進展で、世界のあらゆるモノ（人、製品、サービス、機関等）が常時接続されて、相互に作用するデジタルでコネクティッドな社会が到来しています。その中で、位置・航法・時刻（Positioning, Navigation and Timing）を提供する PNT サービスは、各客体の活動を支える不可欠な基盤情報・電子インフラとなっています。

我が国の準天頂衛星測位システム「みちびき」を含む各国の衛星測位サービスは、測位信号の精度と安定性の向上と共に、新たなサービスの拡張や対象エリアの拡大を進めています。一方でこれらを利用するユーザ環境下では、測位信号の脆弱性を悪用した「スプーフィング（なりすまし）」が社会課題になりつつあります。スプーフィングとは、図1のとおり偽の測位信号により GNSS 受信機を騙す行為であり、騙された受信機によるナビゲーションシステムは利用者に予期せぬ位置を伝えることとなります。このスプーフィングへの対策は、紛争地域に限らず平時における一般的な経済社会の中でも考慮すべきものとなりつつあります。これには、スプーフィングを実行するための機器が非常に安価に手に入るようになったことや、自動運転車両に対するスプーフィング実証事例報告などから、衛星運用側としてのセキュリティ対策の必要性が認識されたことから、内閣府は 2021 年度から開発に着手し、2023 年度の試験配信を経て、2024 年度から信号認証サービスを開始しました。



現在みちびきは、民生分野、公共分野それぞれにセキュリティ機能を付与したサービスを展開しています。なお、公共専用測位サービスは、政府が認めた高度な安全保障を担う公的機関（防衛省、海上保安庁）だけが利用できる秘匿・暗号化された信号（図2）を提供していますが、本稿では利用実証が進む民生分野のサービスの概要と取組事例を紹介します。

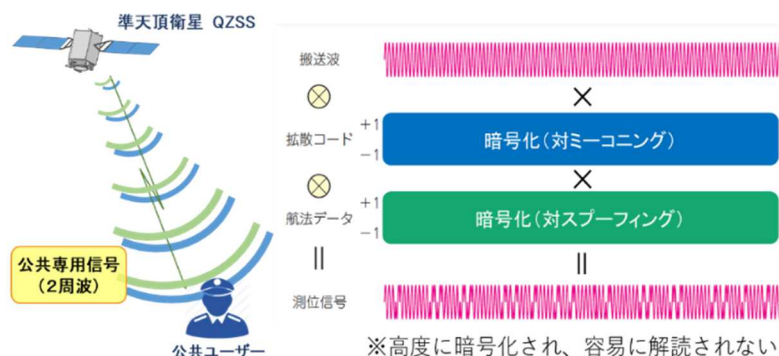
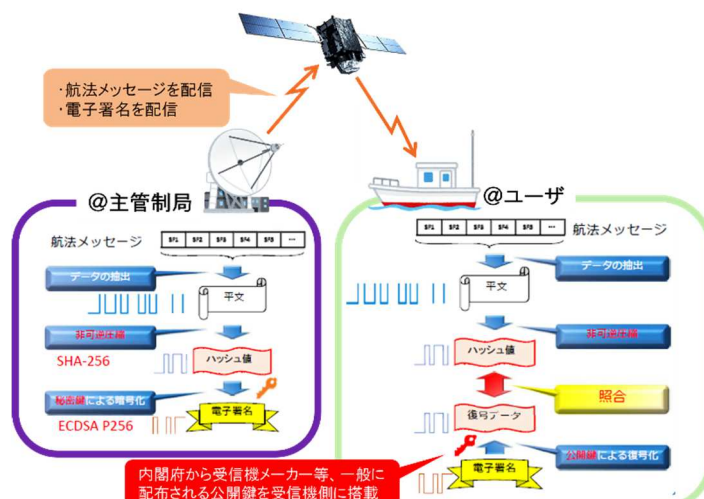


図2：ミーコニングとスプーフィングに耐性のある公共専用信号

## 2. みちびきが提供する信号認証サービスのしくみ

公共分野と異なり、民生分野で使われる測位信号の仕様は一般に公開されているため、第三者が偽の信号を生み出すことができる一方で、この偽の測位信号と実際の測位信号を区別する仕組みがありません。そこで信号認証サービスは図3に示すように、電子署名認証技術を活用し、測位信号の真正を検証できる仕組みを提供します。具体的には、みちびきの主管制局で、「秘密鍵」を用いて電子署名データを生成し、測位信号情報（航法メッセージ）に含め、みちびきの各衛星から配信します。



NMA方式の概要：

- ① みちびきの主管制局にて、航法メッセージからデータを抽出し、これに内閣府が厳重に管理する秘密鍵を用いて暗号化し、電子署名を作成する。
- ② 作成した電子署名を航法メッセージのすき間を利用し配信する。
- ③ ユーザー側で、航法メッセージから抽出したデータと電子署名を復号して得られたデータを照合し、一致すれば測位信号が正しく、欺瞞（ぎまん）されていないことが証明される。

図3：みちびきの信号認証サービスのしくみ

みちびきでは、測位信号（L1、L5、L1C）にその信号の発信者が内閣府であることを確認するための電子署名を埋め込みます。また、米国 GPS と欧州 Galileo の信号も認証対象とするため、その信号が GPS または Galileo から発信された信号であることを確認するための電子署名をみちびきの補強信号（L6）を用いて配信します。認証対象に、みちびきだけでなく GPS や Galileo も含めることで、現在のマルチ GNSS 測位環境下での位置と時刻情報取得の可用性を向上します。認証対象の具体的な航法メッセージを表 1 に示します。

測位ユーザ（GNSS 受信機）は、予め入手した公開鍵、受信した電子署名データ、航法メッセージ（ハッシュ値）を用いた演算処理により航法メッセージの改竄の有無を検証します。これによって当該測位信号が真正であることを確認できます。

この仕組みによって、ユーザは正当なマルチ GNSS 衛星（みちびき、GPS、Galileo）からの真の測位信号を識別することが可能となり、スプーフィング耐性を高めた測位サービスを利用することができます。

| 認証対象のGNSS | 認証対象の航法メッセージ                                   | 備考                              |
|-----------|--|---------------------------------|
| QZSS      | LNAV (L1C/A、L1C/B)<br>CNAV (L5)<br>CNAV2 (L1C) | 各航法メッセージに電子署名を含める               |
| GPS       | LNAV (L1C/A)<br>CNAV (L5)<br>CNAV2 (L1C)       | QZSSのL6E信号にて航法メッセージに対応する電子署名を配信 |
| Galileo   | E1 b、E5a                                       |                                 |

表 1：信号認証サービスが対象とする信号（航法メッセージ）

### 3. 信号認証サービスに関わる利用実証の取組

スプーフィングは、測位ユーザに対する外部からの妨害だけではなく、ユーザが自身の位置情報や経路を隠したい（自己欺瞞）場合にも用いられます。このため、信号認証サービスは、外部からの妨害活動への対抗策としての活用だけではなく、近年の消費者の環境問題への関心の高まりやフェアトレード等の観点から、製品の価値を比較し決定する上で、生産場所やその後の輸送経路に関わる情報の公開と透明性が求められる中、輸送経路の真正性を担保し、自己の記録の正当性を証明する場面での活用も見込まれます。

内閣府は信号認証サービスを活用したユースケース創出のため、企業による様々な場面における実証支援を行っています。例えば、現在政府が進める「デジタルライフライン全国総合整備計画」ではドローン輸送の社会実装に向けた取組が進んでいます。これらドローン輸送は予め定められた航路に沿った自律飛行を前提としており、航路の安全性・信頼性の向上のための方策の一つとして、信号認証サービスの利用が想定されます。株式会社コアは、

センチメートル級測位補強サービス（CLAS）による LTE 圏外でのドローンの自律飛行の実現と共に、信号認証機能を備えた GNSS 受信機の開発を行い、これを搭載することで、ドローン自身がスプーフィングを検知し、安全運航を継続するための実証実験を行いました（図 4）。これら実証により、信号認証サービスが自律飛行するドローンに対するスプーフィング攻撃によるセキュリティの脆弱性の低減に貢献できることを示しました。

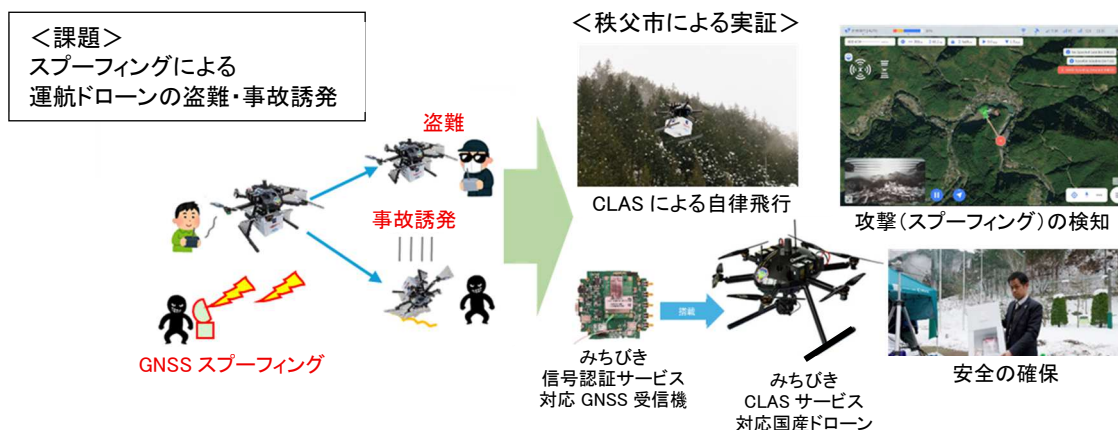


図 4：自律型ドローン輸送へのスプーフィング妨害の検知

自己の記録の正当性の証明が求められる現実の場面としては、例えば伐採した木材の流通に関して、どこの地域の山林で木材を伐採・加工し出荷が行われたか等の、合法性の確認に必要な情報の提供が必要になります。このため、証明に関わる活動の一貫・効率的な記録取得のため、伐採に関わる重機や運搬車両に信号認証サービス対応の受信機を搭載し、得られた位置と時刻情報をブロックチェーン技術と組み合わせることで、屋外での活動、伐採や運搬に関わる一連の活動の記録を、自己欺瞞が行われていない・非改竄の情報として提供するしくみの一部として活用する実証が行われています（図 5）。

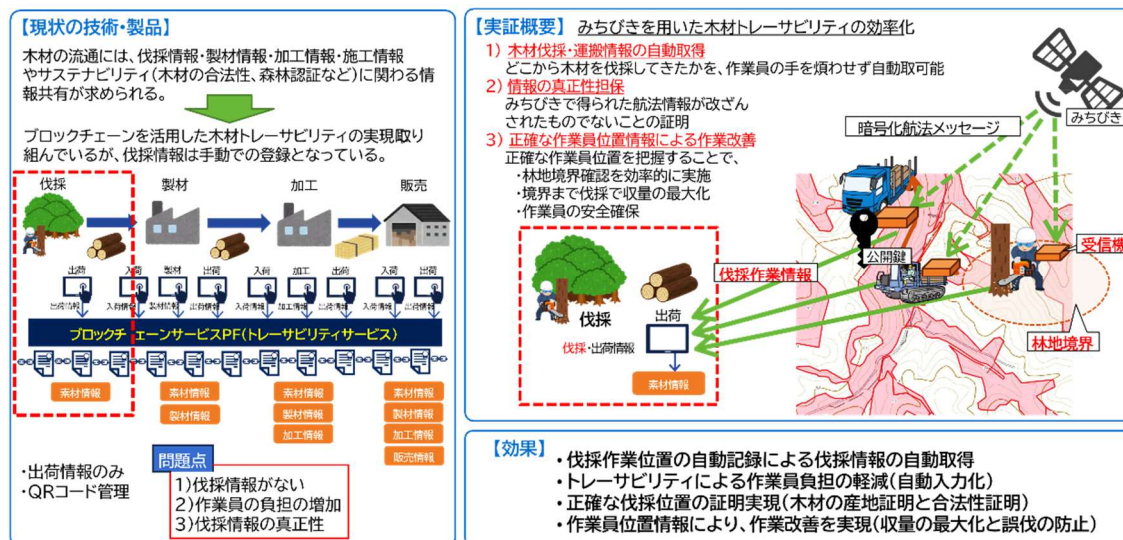


図 5：木材の搬出場所の記録による産地・生産証明



また海上での取組では、みちびきサービスの海外展開の一つとして、オーシャンソリューションテクノロジー株式会社がインドネシア海洋水産省へ、高精度測位と信号認証サービスを組み合わせた水産資源の管理のしくみ構築の提案を行い共同での実証を進めています（図6）。

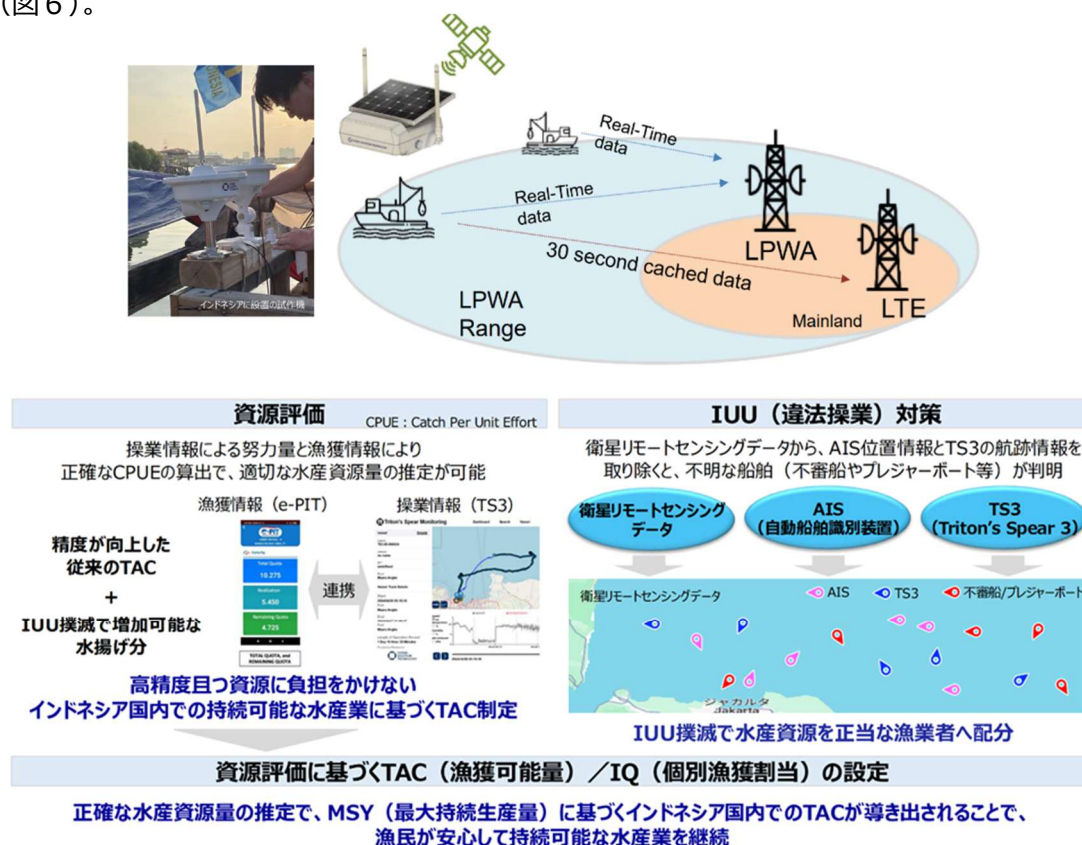


図6：漁船の航跡情報の管理による水産資源管理と違法操業等対策への適用

この取組の背景には、東南アジア各国の漁業現場における水産資源の評価や違法操業対策等を実施する際の、個別の漁船の操業実態の把握に関わるニーズがあります。これら多面的なニーズへの対応として、高精度測位と信号認証サービスを用い、VMS よりもリアルタイム・安価に高精度な漁船の位置・速度・時間等のデータを高頻度に収集、通信網を経由してクラウドへ格納し、漁業者や行政機関向けに操業データを提供するサービスの構築を目指しています。将来的に自国船籍の小～中型の漁船へみちびきのサービスに対応した安価なデータ送信機能付きのGNSS受信機の搭載を義務付けることで、違法操業の手段の一つである船舶の自己位置の隠蔽・欺瞞を監視・排除しつつ、高精度な航跡データから、許可された操業領域での詳細行動（船舶そのものの挙動解析により、漁法や労務時間の推定、瀬取りなど不審な動きの検出）や、船舶の漁港への入出港時間等の確認・証明に利用する等、水産資源管理のための基盤データの収集と違法操業対策の両面での活用を考えています。

#### 4. みちびきの提供する信号認証サービスのこれから

将来のスマート社会において、みちびきが提供する高精度な位置と時刻の情報の安定的な提供は、今後本格的に社会実装が進む新たなインフラ・サービス、各種自律型のモビリティサービスの自動運転やドローン物流、ロードプライシングなどの発展と維持に寄与すると考えられますが、その際にユーザからは、みちびきを含めた GNSS 全体に対して、測位の高精度・安定化に加え、なりすまし以外の欺瞞信号等や妨害電波への抗たん性に対する安全・信頼性の確保と向上策も今まで以上に求められると考えられます。

現在の信号認証サービスの対象は GNSS に共通の測位信号を対象とする一方で、みちびき独自の測位補強サービス、CLAS のための信号 (L6D) は対象となっていません。そのため、CLAS メッセージに対しても 2026 年度を目途に、L6E 信号を活用した信号認証サービスの開始を目指しています。

現在、米国 GPS それ自体にはまだ信号認証機能がそなわっていない一方で、欧州 Galileo は、みちびき同様、2024 年より Galileo 衛星自身からの信号認証の配信を開始しています。また、Galileo の高精度測位補強情報においても信号認証情報を付与する動きがあり、各国 GNSS を共有して使えるマルチ受信機の開発負担を低減させていくため、みちびきの補強情報の信号認証と、欧州の Galileo とのそのフォーマットの互換性など、欧州との更なる連携を進めていく予定です。

---

参考サイト：

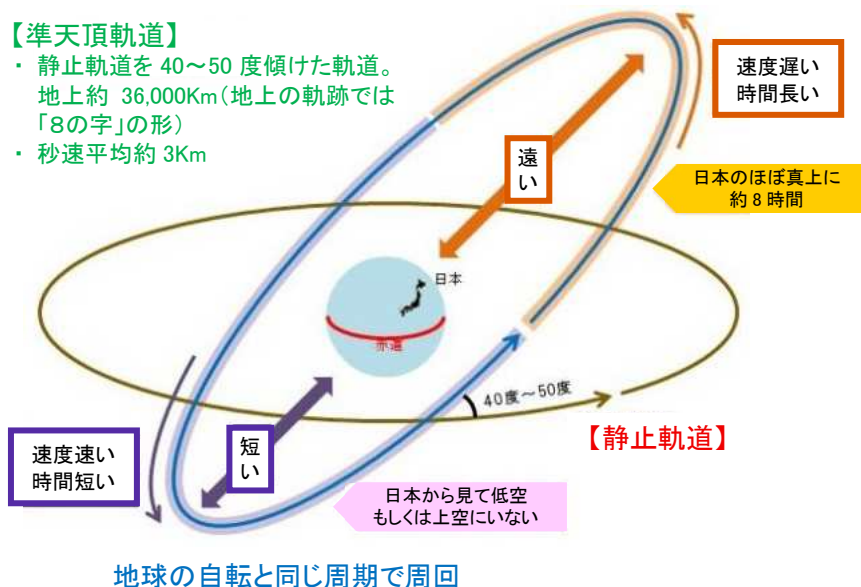
- ・ 衛星測位に関する取組方針（内閣府、2025）：  
<https://www8.cao.go.jp/space/qzs/houshin/houshin.html>
- ・ みちびきを利用した実証事業：  
<https://qzss.go.jp/ex-demo/>

#### みちびきの描く "8 の字軌道"（準天頂軌道）とは 【編集部】

人工衛星は地球の周りを、地球の引力と遠心力のバランスを保ちながら一定の軌道を描いて周回しています。そのうち、赤道上空を地球の自転と同じ方向・角速度で緯度を変えずに周回しているものもあり、これらは地球上からは止まって見えるため「静止衛星」と呼ばれています。ここまではなんとなく分かっているところですが、みちびきが描く「準天頂軌道」とはどんな軌道なのでしょう？ 以下は、本稿投稿者である宇宙開発戦略推進事務局準天頂衛星システム戦略室から頂いた資料を基に、編集部で作成したものです。

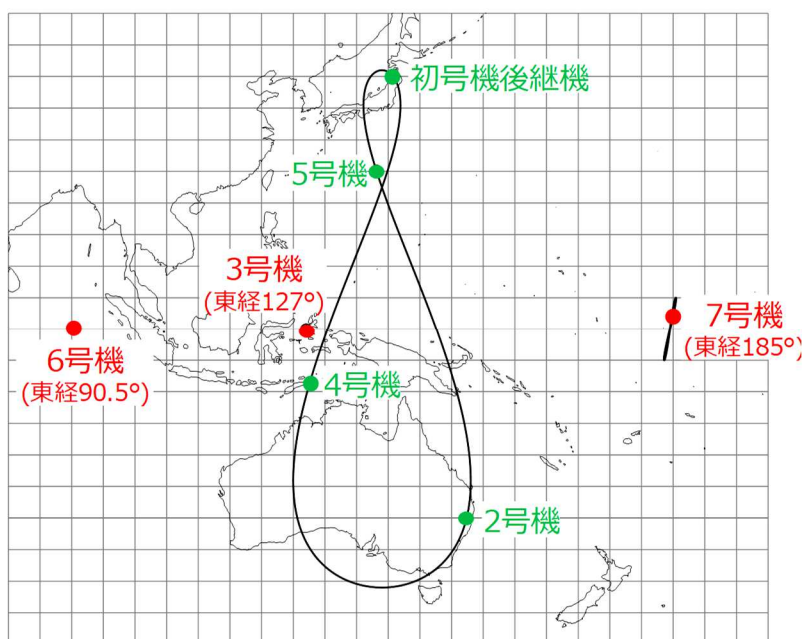
※ 本号が発刊される 12 月にみちびき 5 号機が、来年 2 月には 7 号機が打ち上げられ 7 機体制となります。以下はその前提で書かれています。（なお、みちびき 6 号機は今年 2 月に先行して打ち上げられています。）

実はみちびき全機が準天頂軌道を周回している訳ではなく、一部は静止軌道を周回しています。下の図は地球と準天頂軌道・静止軌道の位置関係を示したものです。



衛星は地球の自転と同期して周回し、常に日本上空（及び南方）を飛行しており、地上に投影された航跡は下の図のような8の字を描きます。（静止衛星は静止して見える）。

準天頂軌道は南半球に比べ北半球で地球から遠くなっているため、北半球にいるときは速度が遅く（ケプラーの第二法則\*）、日本上空で長時間（約 8 時間）滞在するようになっています。衛星はオーストラリアの南まで南下しますが、高度 36,000 キロ上空を飛んでいるため東京以南では常時水平線上に見えます。





左下の図はみちびき各機の配置を示します。地上から見ると4機（緑）の衛星が準天頂軌道を8の字を描いて周回し、3機（赤）の衛星は赤道上空の決まった経度上に静止しています。南半球のほうが広いエリアをカバーしているように見えますが、これは先ほど述べた日本上空での滞在時間を延ばすために設定した軌道によるものです。

※ 準天頂軌道は、赤道面から40～50度の角度ですが、7号機はこの角度を小さくしています。このためわずかに南北に動くように見えます。厳密に言えば7号機は「準静止衛星」に分類されます。

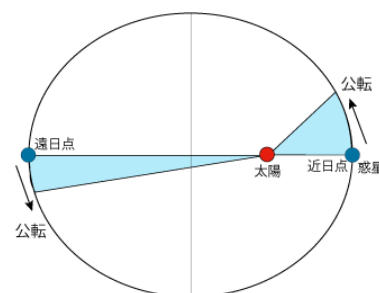
今までは測位に他国のGNSSが必要でしたが、みちびき7機体制になれば、みちびきだけで位置が求められるようになります。日本のセキュリティが高められたことはとても喜ばしいことです。



#### 【ケプラーの第二法則\*】

惑星と太陽を結ぶ線が一定時間に描く面積（水色の部分）は等しい。

- このため太陽から近い所では速く、遠い所では遅く動く。
- 面積速度一定の法則とも言う。



（クレジット：国立天文台）

右上の図の太陽を地球に、惑星をみちびきに置き換えると、みちびきは地球から近い位置では速く、遠い位置では遅く飛行します。みちびきの準天頂軌道は上図の「遠日点」を日本上空とすることで日本上空での滞在時間を長くすることができる訳です。

なぜ、日本上空での滞在時間を長くする必要があるのでしょうか？ それは、衛星が日本上空ではない（日本から見えるが水平線に近い）と、衛星からの発射された電波が長い大気圏を通過する間に劣化し、誤差の要因となるからです。このため質の高い位置情報を得るには、日本上空（測定者の真上近辺）に（4機以上の）衛星が存在していることが必要なのです。

準天頂衛星システム「みちびき」は準天頂軌道衛星、静止衛星、準静止衛星、計7機の最適な組み合わせで、効率良く日本とその周辺に電波を届けているのです。

## 進化する MSAS とメッセージ認証

国土交通省 航空局 航空管制技術調査官 中井谷 幸治

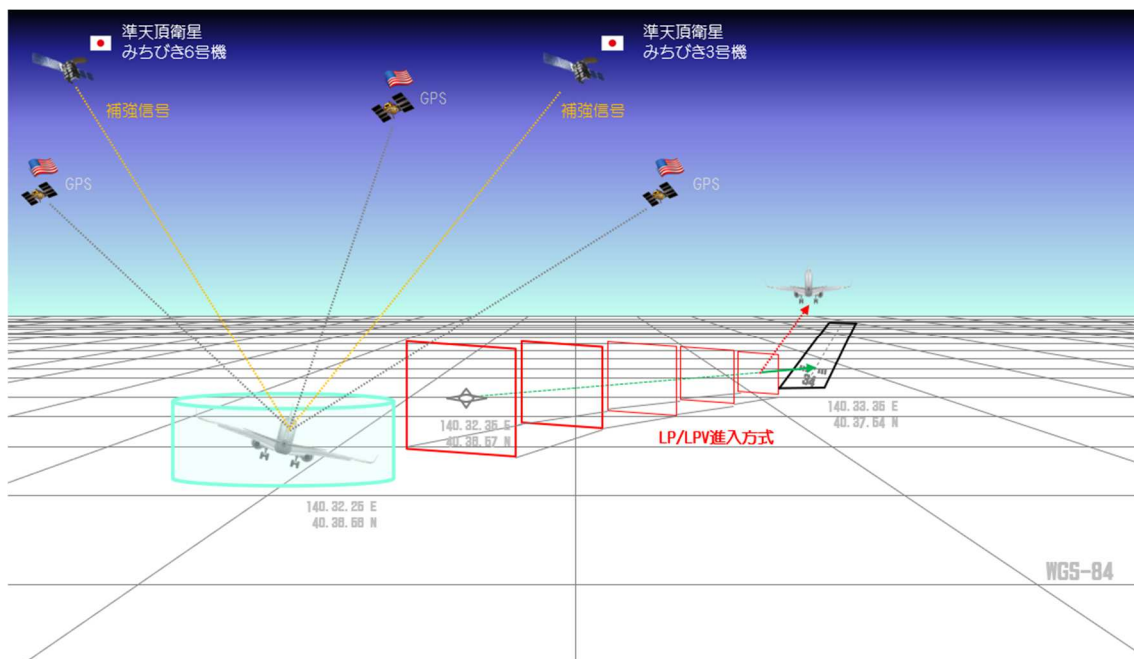
### ■はじめに

古来、生命体にとって「ナビゲーション」は極めて重要な問題で、自分の位置情報がわからなく、居住地に帰ることができなければ、生命体は命を落とす危険がありました。また、効率的に移動し、食料調達などの目的が達成できなければ、これもまた、命を落とす危険にさらされることを意味し、「ナビゲーション」能力は生命体の DNA に刷り込まれています。

他の生命体と違って、人間は、星の動きを把握できるようになり、移動範囲を飛躍的に拡大しました。これは天文学を基礎とした天文航法の発展によるものです。天文台では、大掛かりな装置で星の動きを観察し、その星の見え方に関する情報を紙に詰め込み、一方、船舶においては、天文台で作られた星の情報と、簡易な装置で星の観測を行い、位置情報を求め、時計を眺めながら地図と照らし合わせて航海を続けました。この天文台で作られた星の見え方に関する情報をアルマナックと呼びます。（今でも主要な天文台で作られています）

### ■究極のナビゲーション

1970 年頃に産声をあげた GPS は、星ではなく「人工の星」を利用しているもので、基本的な考え方は天文航法と変わりません。GPS の航法統制局で、人工衛星の動きを観察して、その人工衛星の見え方に関する情報（アルマナック）を、人工衛星から電波に乗せて地球に降らせています。しかも、極めて正確な時刻情報とともに、航空局が運用する MSAS は、その GPS を補強するシステムですので、究極の「ナビゲーション」という事になります。MSAS システムは、航空機が間違った位置情報を使っていないか GPS や測位誤差要因となる電離層を常に監視し、間違いを見つけたら（間違いではないかと判断したら）航空機に速やかに、確実に通知し、正確な位置情報のみを使ってもらうことで「位置情報の保証（インテグリティ）」を実現します。これにより、MSAS を用いた航空機の着陸が実現しています。MSAS システムは、GPS 測位の誤差要因を因数分解し、①GPS 軌道誤差、②GPS クロック誤差、③電離層誤差を区別してユーザーに伝えることで、広域を補強できる特徴を持っています。これは、日本及び周辺地域においてサービス提供が可能であることから、就航便数の少ない地方空港や離島空港においても、均一な着陸能力の提供ができることを意味します。これが意味するところは、経済合理性だけではなく社会的課題の解決に繋がる可能性を秘めているということです。

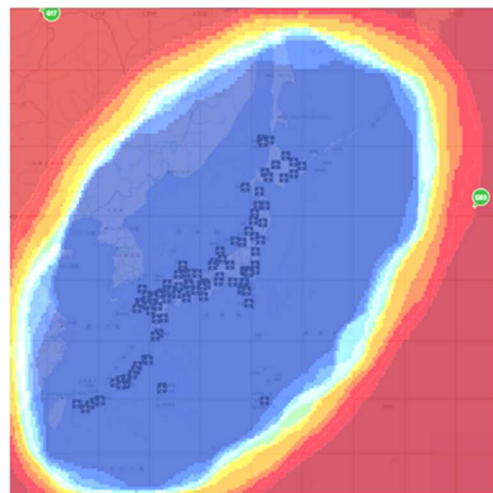


MSAS を用いた航空機の着陸イメージ

#### ■ MSAS の M は「みちびき」の M

～ Michibiki Satellite-based Augmentation Service ～

広域を補強するために必要な伝達手段となる衛星として、準天頂衛星システム「みちびき」の3号機（127°E）、6号機（90.5°E）が使用されており、今後打ち上げられる7号機（太平洋上空）も使用予定となっています。電波は全地球表面積の半分程度のエリアで受信可能ですが、補強サービスエリアは、MSAS 監視局の配置場所に依存します。よって、所定の精度が得られるのは、監視局のある日本及び周辺地域となります。（実力値 水平精度 1.5m 程度、垂直精度 2m 程度 \* 電離圏活動の活発なエリアはこの限りではありません）



MSAS サービスエリアイメージ

我が国の MSAS（エムサス）以外にも、北米 WAAS（ワース）、欧州 EGNOS（イグノス）、インド GAGAN（ガガン）、韓国 KASS（カス）が運用され、各々のサービスエリアにおいて GPS 補強サービスが提供されています。これらのサービスは相互運用性が確保されており、1つの受信機で、どのエリアでも、同じサービスが受けられます。長距離を移動する移動体にとっては特に重要な要素ですので、毎年、各国の担当が集まり相互運用性会議が開催され

ています。計画中的のものとして、豪州・NZ の South PAN（サウспан）、中国の BDSBAS（ビーディーエスバス）、ロシア SDCM（エスディーシーエム）、アフリカ地域の ANGA（アングア）、パキスタンの Pak-SBAS（パックスバス）があり、2028 年頃から少しずつ運用に入るとの情報が示されています。これらのシステムは国際民間航空機関（ICAO）の SBAS（エスバス）標準を具現化したものになります。SBAS は、航空用途に開発されましたが、世界標準であることから、航空機だけではなく、船舶、自動車、農業用トラクター、ドローン、鉄道等においても広く使用されています。また、GPS 以外のコア衛星を補強できる ICAO 標準も作られていますので、今後、複数のコア衛星を補強する SBAS サービスが出現することが見込まれています。大方の船舶においては SBAS 装備がなされていることもあり、国際海事機関（IMO）において船舶用 SBAS 受信機性能標準の作成に係る動きが見られ、海事利用がさらに進むことが見込まれています。



SBAS 相互運用性会議（2024 夏@京都）

#### ■ 偽物のアルマナック（スプーフィング）

空を飛ぶこと、大海を航海することは人間の認知能力の限界を大きく超えているため、操縦士はアルマナックや、衛星航法がもたらす情報、計器に依存して、それを成し遂げています。スプーフィングの脅威は、まさに『人間の認知領域に入り込まれる脅威』に他なりません。スプーフィングを受けている場合には、操縦士が正しい判断ができるよう、現実の世界に引きずり出してあげる必要があります。そのため、スプーフィングを検知してお知らせする新たな機能「SBAS メッセージ認証機能」に係る ICAO 標準化が進められています。航空局の施設で生成された“正統な”MSAS 信号なのか、スプーファークが生成した“偽物”の MSAS 信号なのか、これを区別させるために、正統な MSAS 信号のメッセージに『検体』と『検査キット』が追加されることとなります。具体的には、GPS 補強に必要な「メッセージの一



部（検体）」を「鍵（検査キット）」で暗号化されたものと、その後に「鍵」が“少し遅れて”受信機に届けられます。受信機では、MSAS メッセージがしばらく保存され、遅れてきた「鍵」で「メッセージの一部」が元に戻され、保存されていたメッセージと一致すれば、「認証 OK」（健康）と判断されて、MSAS メッセージが測位に使用されます。逆に「認証 NG」（不一致）となれば、スプーフィング検知と判断されます。「保存」⇒「認証」⇒「使う」が繰り返して行われます。一度、スプーファに「鍵（検査キット）」がバレてしまうと、これを真似され「偽物の信号」「その検体」「ゾンビ用検査キット」が作られ、検知機能をすり抜けてスプーフィングが成功してしまいます。ですので、検査キットは毎回違うものが使われますし、どの検査キットが次に使われるかも推定できないよう、計算量（数学効果）的に推定不可になっています。ICAO では、SBAS の専門家会合（パネル）と認証に係る専門家会合（パネル）が連携して標準化に当たっており、スプーファとの頭脳戦となっています。

コア衛星についても、同様な認証機能の ICAO 標準化が進められており、GALILEO OSNMA（Open Service Navigation Message Authentication）と呼ばれ、これは Galileo 信号をスプーフィングから保護するものです。この OSNMA の機能強化（第2世代）も検討されていて、クロスコア認証が計画されています。このクロスコア認証とは、本家 Galileo に加え、丸裸な GPS についても認証ができてしまうという革新的な機能です。

位置情報、時刻情報は、航法、着陸、対地接近防止、周辺トラフィックの把握、搜索救難の主要な役割を担っており、海で、空で、丘で必須の情報となっています。人間の能力（海馬と腹時計）を超えて活動するにあたり、本紙で触れたインテグリティや認証機能が、スプーフィングが常態化している現状と将来を洞察する一助となれば幸いです。



ICAO 本部のあるモントリール（カナダ）の街並

## GPS ジャミング・スプーフィング対策機器

商船三井テクノトレード株式会社 情報通信・電装事業部

技術専任部長 村石 明裕

マネージャー 山守 志門

アシスタントマネージャー 三橋 俊

### # 1 GNSS を取り巻く環境について

#### 1-1) GNSS とは

GNSS とは、Global Navigation Satellite System の略語であり、日本語直訳では全球測位衛星システム と呼ばれます。

複数の測位人工衛星（一般には 4 個以上）から送信される情報を元に、受信地点の位置や絶対時刻を演算によって導き出します。

アメリカの GPS、EU の Galileo、ロシアの GLONASS、中国の BeiDou（北斗）が全球対応になりますが、他に自国周辺だけをカバーする 日本の「みちびき」、インドの NavIC が有り、これらを総称して GNSS と呼ぶことが多いです。

これらの測位人工衛星の稼働総数は、現在 120 機を超えています。

#### 1-2) GNSS の本来の目的

上述のとおり、地球上の現在位置における正確な位置情報（緯度・経度・高度）および正確な絶対時刻情報を得ることが主な目的です。

用途としては、民間用・研究開発用・軍事用などに分類されます。

また使用する電波の周波数帯域は、1,100MHz 帯から 1,600MHz 帯まで幅広く利用され、この周波数帯域を Lバンドと呼ぶことから L1 から L6 など用途や実用化の順番に応じた区分の呼称が使われます。

更に GNSS の使途によっては、データの符号化復号化方式が複数存在しており、民間では主に L1 C/A, L2 C などが現在多く利用されています。

#### 1-3) 昨今の GNSS 環境 (ジャミング/スプーフィング)

GNSS は、船舶や航空機などの安全航行の目的や、カーナビゲーション、スマートフォンなどの民間用途にも幅広く普及しており、現在では極めて一般的な航法支援方式として世界中で広く利用されています。

しかし昨今、残念ながら世界の複数地域では軍事的な紛争が起こっています。

これらの環境では、相手の情報を攪乱させる目的で、GNSS 信号を妨害したり、意図的に情報を改竄する場面が散見されるようになりました。

人工衛星から送信される GNSS の電波信号出力は 数 10 ワット程度と比較的低電力であり、これが地球上に到達するまでには更に減衰され、極めて微弱な電波信号となっています。

このため、これらを意図的に妨害などする場合は、地表 または 海洋上、さらには低高度の上空から正規の微弱な電波を上回る程度の電力の妨害電波を発射すれば比較的簡単に妨害行為が実現できてしまいます。

GNSS の正規の電波信号を単純に大きな妨害電力で被せて事実上消滅させてしまう事を一般に ジャミングと呼びます。

一方 GNSS の正規の信号情報を別の情報に意図的に書き換える（改竄）ことを スプーフィング（成りすまし）と呼びます。

ジャミングと スプーフィングは完全に独立した事象ではなく、どちらも正規の GNSS 電波信号に被せて大きな電力を発射することから、ジャミングの中の一部の事象が スプーフィングであるとも言えます。

次項以降では GNSS 受信機の例や、GNSS に対する ジャミング／スプーフィングへの対策事例に関して解説して行きます

## #2 GNSS 受信機とは

### 2-1) 機器の紹介（大枠の紹介）

GNSS 受信機は、大まかな構成分類によると、a) 受信アンテナ b) 高周波受信部 c) 信号処理・表示器部 などに分かります。

### 2-2) 原理／問題点

構成機器間の接続はメーカーにより相違はありますが、GNSS の受信に関わる信号の流れは概ね次のようになります。

- ① アンテナ部にて GNSS 人工衛星からの高周波信号を受信する
- ② アンテナに併設される LNA（ローノイズアンプ）にて信号を増幅する
- ③ 高周波信号から大元の送信情報となるデジタル信号を復調する
- ④ 復調された信号を元に必要な情報を内部演算により算出し表示器に表示する
- ⑤ 記録計など他の機器に必要な情報を通信回路によって出力する。この通信には一般に NMEA 2000、NMEA 0183 と云った信号形式が用いられます。

地表で受信される GNSS 信号は極めて微弱な電波となるため、先述のように意図的に GNSS 信号が妨害（ジャミングおよびスプーフィングの総称、以下同様）された場合には、



正確な GNSS 情報を得ることが出来なくなります。

このため、船舶や航空機、自動車などの航法に影響が生じます。

### #3 ジャミング スプーフィング対策機器

ここでは、GNSS 信号に対するジャミングおよびスプーフィングを検知または回避する機能を有する機器の一例を紹介します。

#### 3-1) 例 1：アンテナ（原理）

ここでは FRANCE SAFRAN 社製の ジャミング信号抑圧型アンテナの例を紹介します。

正規の GNSS 信号は、地表から約 20,200km の高高度から発射されます。一方、妨害電波は地表または低高度の上空から発射されます。

アンテナの垂直面指向特性を利用して、水平方向付近から到来する妨害電波の電力を著しく抑圧させる原理で妨害電波に関する対策を実現しています。



SAFRAN 社  
8230AJ アンテナ

#### 3-2) 例 2：GPS ドーム（原理）

FRANCE SAFRAN 社製の ジャミング信号抑圧補助装置に関して紹介します。

この機器はアンテナのアダプティブアレイ方式の原理を応用したもので、まず妨害電波の到来する方角を特定しこの方角から到来する妨害電波の電力を著しく抑圧させる原理で妨害電波に関する対策を実現しています。



SAFRAN 社  
GPS dome

#### 3-3) 例 3：セキュアシンク（原理）

FRANCE SAFRAN 社製の ジャミング信号検知、スプーフィング事象の検知機能を持つ GNSS 受信装置を紹介します。

ジャミングおよびスプーフィングの検知判定には、同社独自開発のソフトウェアアルゴリズムによって実現しています。更に、ジャミング等によって GNSS からの高精度の絶対時刻情報を失った場合に備え、高精度高安定度を有する基準時計発振器を付属しており、絶対時刻情報の喪失を回避しています。



SAFRAN 社 Secure Sync 2400

### 3-4) 例 4 : BS nano (原理)

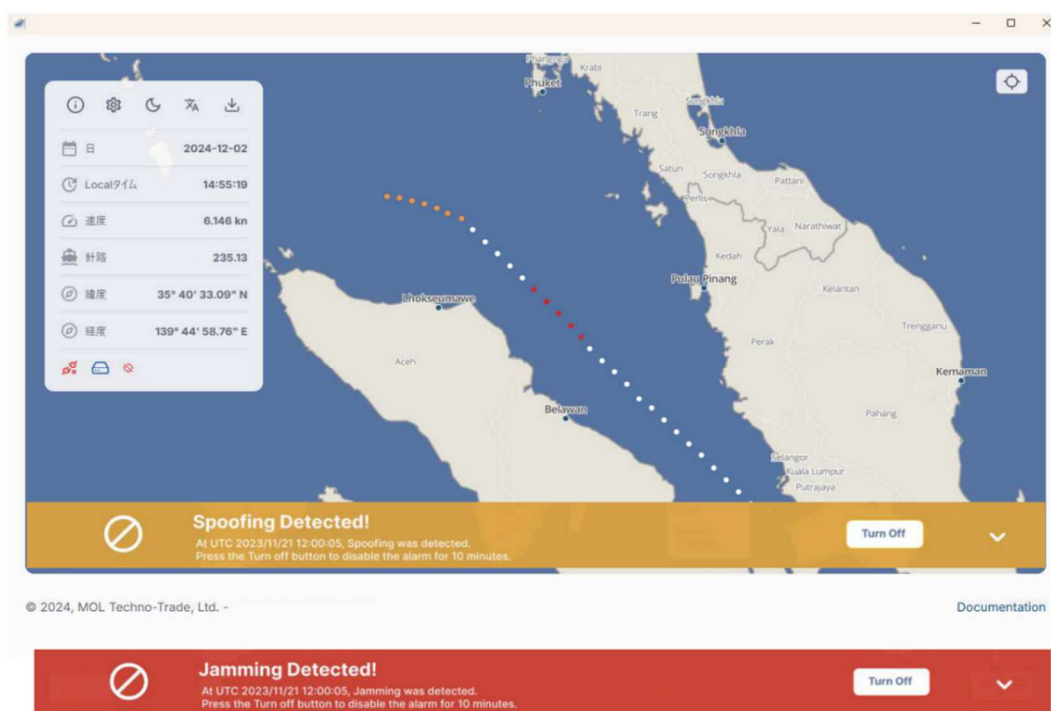
FRANCE SAFRAN 社製の ジャミング信号検知、スプーフィング事象の検知機能を持つ GNSS 受信装置の 2 例目を紹介します。

例 3 の機器と同様に、同社独自のソフトウェアアルゴリズムによってジャミングおよびスプーフィングの検知判定を実現しています。



SAFRAN 社  
Broad Sense NANO

### 3-5) 例 5 : アプリ (原理・機能)



当社は、GNSS 人工衛星からの位置情報と絶対時刻情報を取り込み、更に妨害事象の検知・表示・通報を目的としたアプリケーションソフトウェアを独自に開発しました。その機能および動作の概要は以下のような物です。

- ① システムに接続される GNSS 受信機出力データから、現在地点の緯度経度高度情報を取得する。
- ② 同時に絶対時刻情報を取得する。
- ③ システムを装備搭載している交通手段（主に民間船舶）が通行する経路を、①②の情報を基にして地図上に軌跡描画化する。
- ④ システム内の妨害検知機能を持つ受信機が妨害を検知・判定した場合には画面とサウンドによるアラートを発報する。

- ⑤ ④と同時に、③の経路軌跡描画にもアラートを示す表示を付加する。
- ⑥ これらの一連の情報を、システム内のストレージメモリに蓄積して行く他、過去に蓄積されたデータの再生を行う事もできる。
- ⑦ 以上の取得データは、複数のクライアントシステムからの物を集約して一元データベース化させる事ができる。

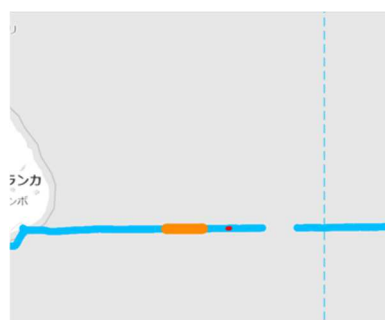
冒頭の図は、本アプリケーションによって妨害を検知・判定した際の、アラート発報画面の一例です。

## #4 ジャミングスプーフィング実証実験の結果例

### 4-1) 実船搭載実験における検知結果の例



ジャミングとして検知した航跡の例  
(水色が航跡、赤色がジャミング検知の例)



スプーフィングとして検知した航跡の例  
(水色が航跡、橙色がスプーフィング検知の例)

## #5 まとめ

これまで、GNSS 人工衛星の普及環境下において、それらが妨害（ジャミングおよびスプーフィングの総称）される事象が漸増している事を説明しました。

また、こういった妨害行為に対して、妨害を検知したり回避する機能を有する機器が開発され普及し始めている事にも触れました。

しかしながら、妨害の検知や回避に関しては、対策機器による効果だけでは完全なものには至っていません。

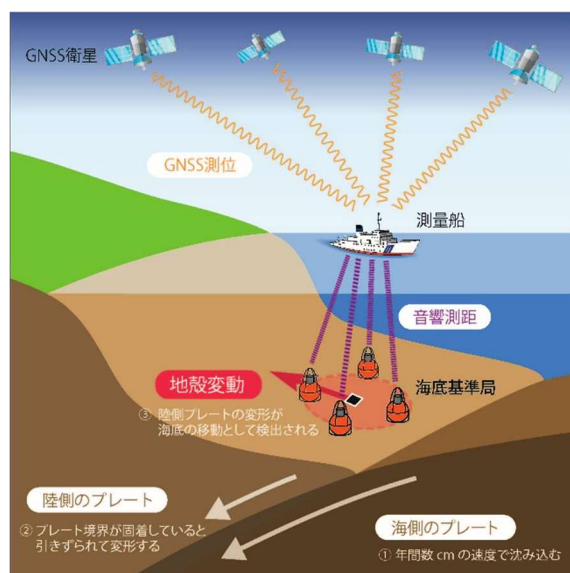
現在の技術レベルでは、妨害検知および回避を目的とする機器類の導入に加え、既存のGNSS 受信システムが持つアラーム発報機能の取り込みや、海上・航空・陸上交通における統計的な経験則などに基づいて妨害事象を掌握する事も有益です。

更に、同一エリア付近を往来する他の民間移動体と情報交換を密にし、これらの情報を総合的に判断して妨害事象などに対応して行く事が重要と考えます。

### 海底の動きを測る

「海と安全」前号では海上保安庁測量船「拓洋」取材しました。

拓洋はマルチビーム音響測深機や自律型潜水調査機器を装備し、海中・海底の多様な測量を行います。海底地殻変動観測装置は海底の動きを測定するもので、センチメートル単位の精度が求められます。この正確な位置を得るため GNSS による測位をしているのです。



出展 海上保安庁 海洋情報部

## Hope for the Best, Prepare for the Worst.

一般社団法人 日本船長協会 常務理事 滝浦 文隆

### はじめに

近年、海上では GPS 妨害 (Jamming) や偽装 (Spoofing) が大きな問題となっている。特に中東などの特定海域では、意図的な GNSS 障害が頻発し、船舶運航の安全性に影響を及ぼし、実際に海難も発生している。ここでは、実際の現場での体験や各社の対応事例をもとに、実務者の視点から GNSS 障害への対応と今後の課題についてまとめます。



GNSS 妨害が懸念される中近東から原油を輸送するタンカー  
注 写真と本文は関係ありません

### 現場の体験と衛星測位

2023 年、私は自動車船に乗船していました。アジア諸港を巡りパナマ運河経由の北米航路とスエズ運河を経由する欧州航路でした。その際、Yantien や紅海を航行中に GPS Data Low となったことがありました。ただし、これらは悪意ある妨害行為ではなく、単に自然環境などの地域特性による一時的な障害でした。そのため、本寄稿は弊社法人会員や関係海事団体から共有いただいた情報を参考にして現場での対応を思い出しながらまとめたものとなることをご容赦下さい。さて、私が船に乗り始めた 1990 年代の衛星航法は米国海軍が開発した NNSS でした。全地球をカバーしている GNSS とは違い、極軌道衛星であった NNSS では、測位出来るのは多くて 1 時間に数回でした。海域によっては何時間も測位が出来ない場合もありました。沿岸航海は紙海図と目視による位置確認が当たり前でしたが、大洋、沿岸航海ともに適度な緊張感のもと長年の経験と技術で安全に航海をしていました。しかし、常時正確な船位情報が得られる便利な GNSS

```
131426Z OCT 25␣  
HYDROPAC 2632/25(GEN).␣  
PERSIAN GULF.␣  
RED SEA.␣  
STRAIT OF HORMUZ.␣  
GPS, GNSS AND AIS INTERFERENCE REPORTED␣  
IN VICINITY OF NORTH AND CENTRAL PERSIAN␣  
GULF, STRAIT OF HORMUZ AND RED SEA.␣
```

Navigation warning 例

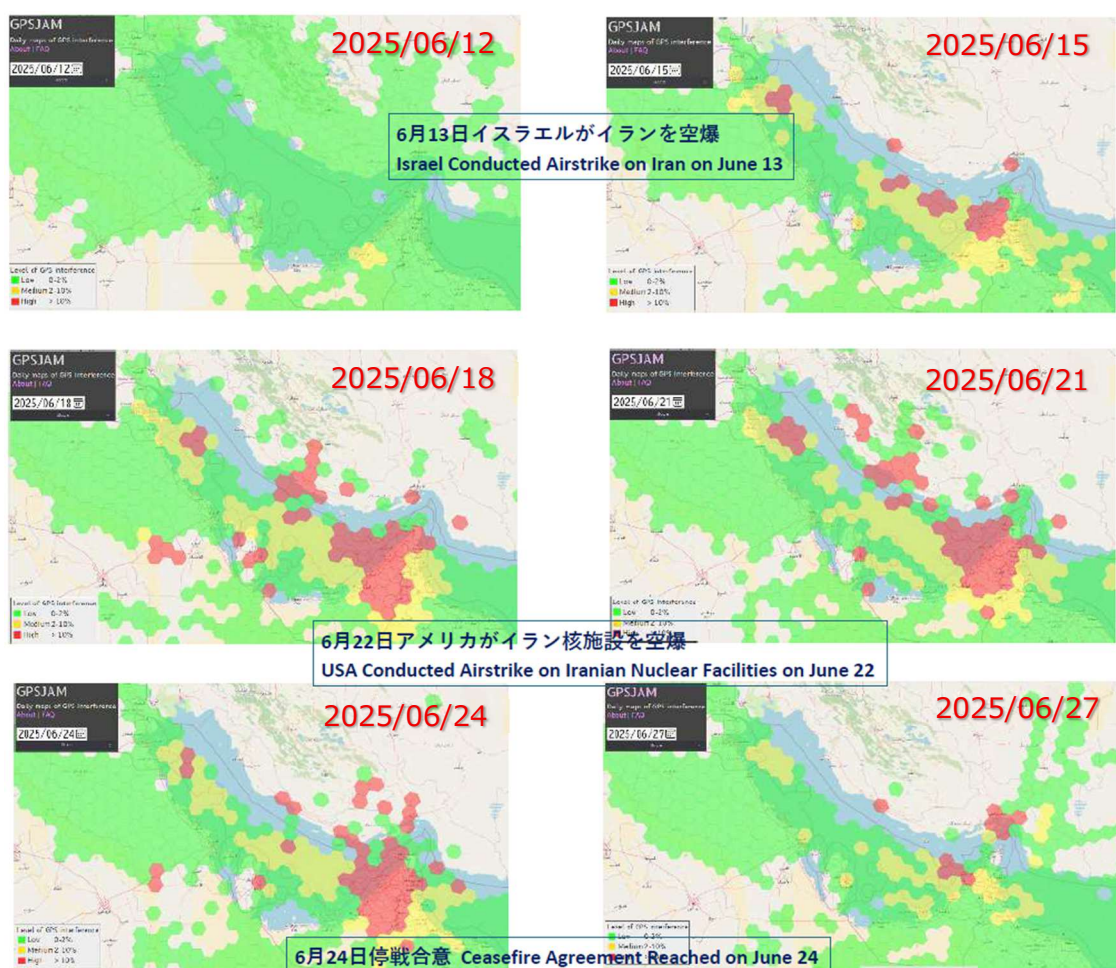


がある現代では、突然の信号喪失と各機器からの突然のアラーム音にびっくりさせられます。そのような事態に冷静に対応できるように船舶管理会社からの安全情報や、航行警報に注意を払い、最悪な事態に備えなければなりません。

## GNSS 障害の現状と情報共有体制

UKMTO（英国王立海軍が後援する組織）などの関係機関では、GNSS 障害に遭遇した本船に対し報告を促し、それら報告内容を取り纏めてホームページで公開しています。また、海域を管轄する関係機関（日本であれば海上保安庁）も周辺海域を航行する船舶に対して航行警報を適宜発信し注意喚起をしています。

今年 6 月のイスラエルとイラン間の軍事衝突時や、アメリカによる核施設攻撃の際は、ペルシャ湾、紅海、地中海東部などで GNSS 障害が多く発生し、多数の障害報告がありました。最近ではその影響が軍事衝突前と変わらないレベルまで減少、落ち着いています。



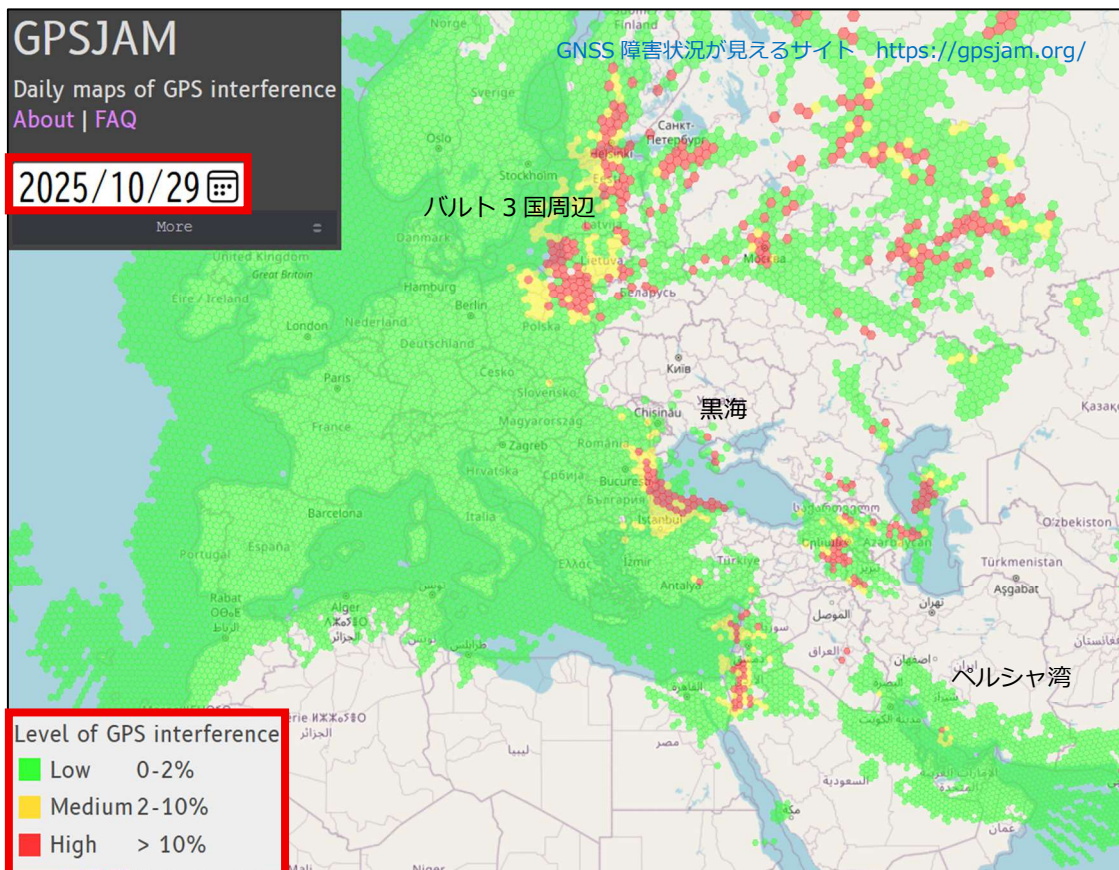
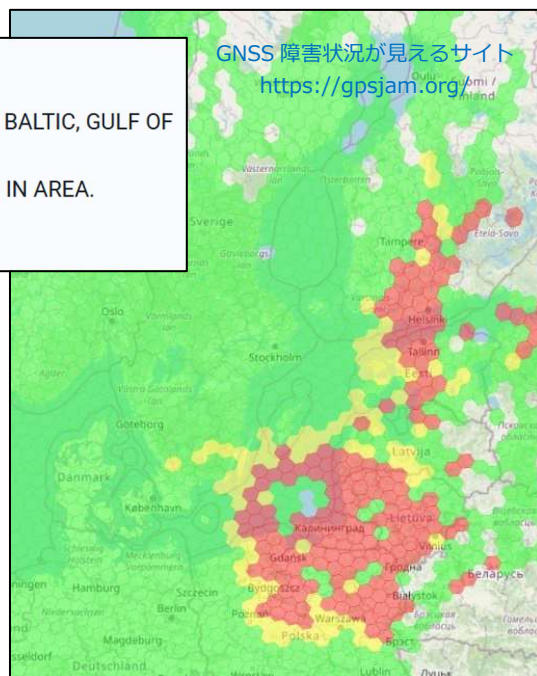
2025 年 6 月 12 日～27 日までの GNSS 信号障害状況の変化  
電波障害の程度： 緑色 LOW、黄色 MEDIUM、赤色 HIGH

一方で、ペルシャ湾のようなハイリスク海域ではないバルト海でも GNSS、AIS、レーダーへの影響があったと報告があったり、10 月初めにはカタール近辺で GNSS 障害の報告があったりと、まだまだ注視していく必要はあるようです。

021100 UTC JUL  
**BALTIC SEA NAV WARN 026/25**  
 SOUTHERN, SOUTHEASTERN, CENTRAL AND NORTHERN BALTIC, GULF OF FINLAND, GULF OF RIGA AND SEA OF AALAND.  
 GNSS, AIS, RADAR AND DGPS INTERFERENCE OBSERVED IN AREA.  
 MARINERS ADVISED TO EXERCISE CAUTION  
 AND BE PREPARED FOR NAVIGATION IMPACTS.

NAVTEX 情報（上）と  
 バルト 3 国周辺の障害状況（右）  
 2025 年 7 月 2 日

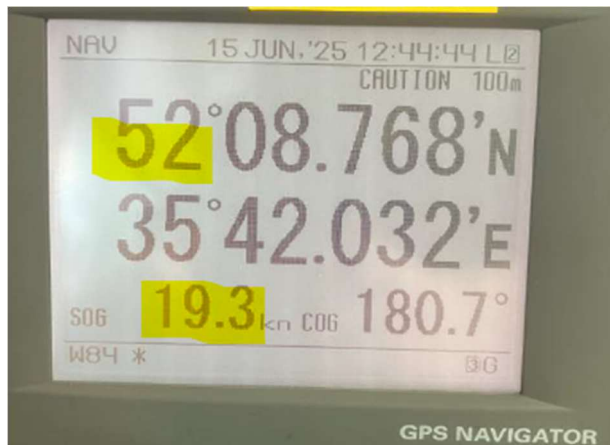
執筆時最新（下）  
 2025 年 10 月 29 日



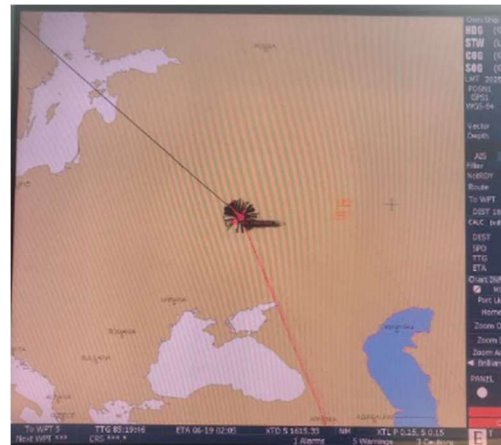


## ■ 現場での対応事例

- AIS が正常に作動している場合は、汎用 PC にインストールされている簡易電子海図表示装置（主に航海計画等で船長や航海士が利用）を活用する。
- ECDIS 使用中に GNSS 信号不具合が出た場合は、GNSS 信号をオフとし、DR（Dead Reckoning：針路と航程による推測位置）又は EP（Estimated Position：推測位置に風や潮流の影響を考慮した位置）を選択する。また「Manual Fix Position」とする。GNSS 信号が復活した場合を考慮し、1 台は GNSS 信号を切らず使用、もう 1 台は完全に紙海図モードとして使用する。
- レーダーの活用（電子海図表示装置オーバーレイやパラレルインデックスなど）
- 機関部入直及び GNSS 障害が長時間となる場合は、機関をスタンバイとし、必要に応じて減速、停止することも検討する。
- 当直者は GNSS 信号異常を見落とさないように適切に見張りをを行い、GNSS 障害が疑われる場合はすぐに船長へ知らせる。
- アラームに対しては、視覚聴覚により適切に管理する。
- GNSS 障害が発生した場合、状況を記録し、会社及び関係機関へ報告する。
- 他船の動向にも十分に注意を払う。



緯度経度と速力が明らかに違う情報を表示



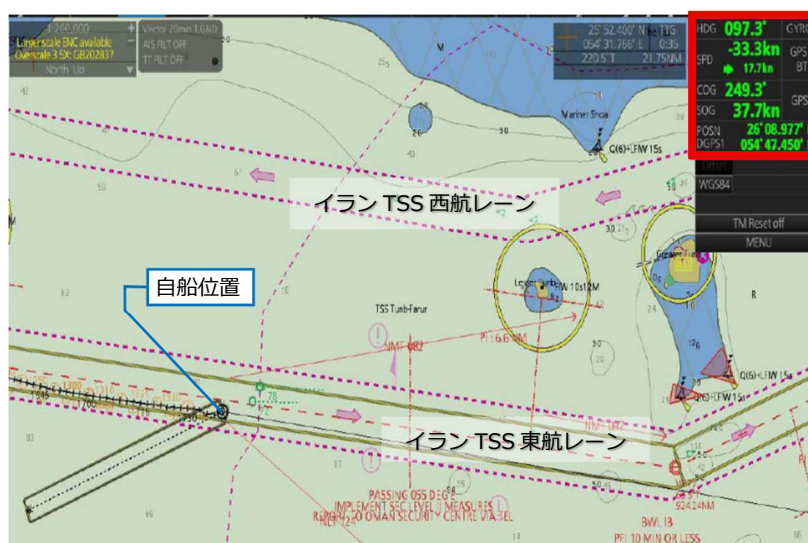
ユーラシア大陸上に船位が変位

### 7 月初旬にペルシャ湾内を航行した船長報告例

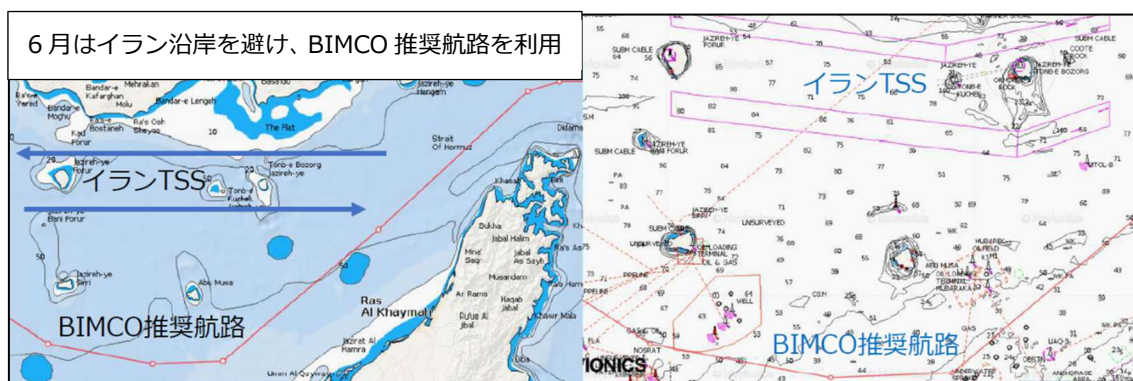
- ペルシャ湾内の交通量は特に混乱した様子ではなかった。
- INM-C 無線機器のアラームはほぼ発生しなかった。
- Sealink および Starlink に異常はなかった。



Spoofting 事例 1：ホルムズ海峡分離通行帯を抜けペルシャ湾内を西航中、偽の位置情報を表示  
結果的に異常な航跡（画面中央赤破線枠内）となっている アラーム発生なし



Spoofting 事例 2：ペルシャ湾内イラン TSS 東航レーンを針路 097.3° で航行中、異常な進路速力を表示  
進路 249.3° 速力 37.7kt（画面右上赤枠内）と表示されている アラーム発生なし



## ■ 現場の課題と備え

メーカーと機種、障害の程度によってアラームが吹鳴されるケースと吹鳴されないケースがあります。実際、アラームが鳴らなかった、との報告が少なくありません。アラーム本来の目的を考えれば、GNSS 障害が発生すれば警告音が鳴り、警告が表示されものと思います。一方で GNSS に紐づけられた関連機器からアラームが頻発する状況は、航海当直者の注意が妨げられたり、アラームの内容を確認しないまま咄嗟に消音したり、最悪の場合はアラームを解除してしまいアラームに対する警戒が無意識のうちに薄れることが危惧されます。対策としてはハイリスク海域を航行する場合、当直員を増員し、再点検、再確認が十分に行える体制とすることも時に重要です。今回の事象の発生により、改めて航法技術の継承や、組織的な教育・訓練の重要性も再認識されたものと思います。

## ■ 最後に

GNSS 障害だけでなく、海上を航行する船舶にあっても IT リスクと無縁ではなくなった昨今、あらゆるリスクに対して準備が必要です。最近では国内の保険会社が「船舶サイバー保険」を販売しているそうです。GNSS 信号の改ざん、AIS のなりすまし、これらに起因する座礁事故等に対して補償する商品だそうです。こういった備えも含め、実務者としては今回の「海と安全」の特集記事などから知識をアップデートし、また従来の航法技術を維持し、冷静な対応力の向上に努めていきます。日本海難防止協会様などの各種海事団体におかれましては、今後とも現場に有用な情報の発信をどうぞよろしくお願いします。

---

### 参考資料等

Jamming and Spoofing of Global Navigation Satellite Systems (GNSS), INTERTANKO  
BMP Maritime Security, Maritime Security web site  
GPSJAM, ADS-B Exchange  
JMIC Weekly Dashboard for the Middle East, UKMTO Centre

## 電波航法の歴史

～ 無線羅針局から AIS 航路標識まで ～

「海と安全」 編集部

協力 東京海洋大学 明治丸海事ミュージアム

公益社団法人 燈光会

本号では GPS の脆弱性や対策について特集しましたが、GPS が航海に使えるようになった今日までに数々の電波標識・システムが生まれ、次の世代にバトンタッチしていきました。本稿では電波標識の誕生から現在に至るまでの歴史を辿ってみたいと思います。

### 無線方位信号所（無線羅針局 のちに 無線方向探知局）

我が国における電波標識の始まりは 1927 年（昭和 2 年）まで遡ります。当時日本の租借地であった大連湾口の円島に初の無線方位信号所が建設され、同年 12 月 20 日に当時逓信省の外局であった燈台局<sup>※1</sup> によって方向探知業務が開始されました。船からの問い合わせにより、船が発する電波の方向を信号所で計測し、船に方位を知らせるものでした。

その後、1932 年には塩屋埼・金華山・野島埼・尻屋埼に無線方位信号所が新設されます。現在の日本国内に限定すれば、これらの信号所が運用を開始した 1932 年（昭和 7 年）2 月 11 日が我が国における電波標識の幕開け、ということになります。

地形や夜間空間波の影響、あるいは他船からの混信もあり、あまり精度は良くなかったようですが、視界不良時には船にとって頼みの綱でした。船との通信はモールス信号で行われましたから通信の資格を持った人を配置しなければならず、24 時間運用をするため有資格者の確保が大変だったそうです。



石廊崎無線方位信号所（出典 海上保安庁灯台部 海を照らして 150 年）  
ハンドルを手で回してアンテナの方向を変え、電波が来る方位を測定した。



方向探知業務を行う無線方位信号所の数は 1960 年にピークを迎え、国内で 22 局が運用されましたが、船用の方向探知機が小型化して普及するにつれ、徐々に中波無線標識局に移行していきます。そして 1968 年、野島埼・石廊埼・八丈島を最後に 40 年に及ぶ方向探知業務は終了しました。

※1 このため古い灯台施設の所々に逓信省の「㊦」マークが残っている。

### 無線方位信号所（無指向性中波無線標識局）

前出、塩屋埼・金華山・野島埼・尻屋埼の各無線方位信号所では、方向探知業務とともに無線標識業務（信号所が電波を発し船がその方向を測定する）も行われていました。周波数は中波<sup>※2</sup>、290～315KHz（5KHz 刻み）でした。当初は船からの要請により電波を発射していましたが、後に毎時の決められた時間に発射するように変更されました。この変更に伴い時計や自動送符器<sup>※3</sup>が送信機に組み込まれ、自動化が進みました。文献に拠れば、当初は所員が市販の時計を改造し、自動送符器を自作して送信機に組み込んでいたそうですが、その後正規に装備されるようになりました。



※2 300KHz が中波と長波の境目であることから中長波とも呼ばれる

※3 自動的にモールス符号を打鍵する装置

船用無線方位測定機（明治丸海事ミュージアム蔵）

上段のダイヤルで周波数を合わせると、下段の CRT (Cathode Ray Tube) 上に 2 翼のプロペラ状の画像が現れるので、ダイヤルを回し、カーソルをプロペラ像に合わせて信号所の方向を測定する。

さらに、中段の小さな CRT の画像で、プロペラ像のどちらの方向から電波が来ているかが分かる。

当初は大型で高価なものであったが、徐々に小型化され、漁船などでも搭載できるようになっていく。

### 無線方位信号所（ロータリービーコン）

船用の無線方位測定機の小型化は進みましたが、当時の技術では小型化にも限界があり、依然、多数の船は測定機を持っていませんでした。このため、これら小型船、漁船でも利用できる無線標識の研究が行われ、受信機（あるいは広域帯のラジオ）があれば方位を知ることができるロータリービーコンが誕生します。中波電波に方位符号（短音）を付加し、指向性を持たせた電波を水平方向に回転させて送信するものです。船側では受信機で短音の数を数えることにより信号所の方位を知ることができました。



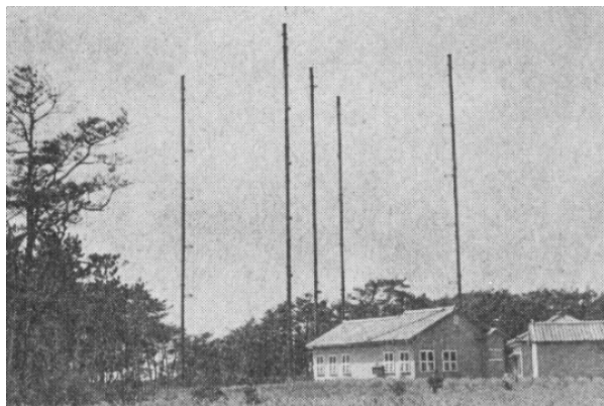
### ～ 中波ロータリービーコンをラジオで聞いて信号所の方位を調べる ～

- 1、ラジオを信号所の周波数に合わせる。
- 2、標識符号が 2 回聞こえるので目的の信号所を確認する。
- 3、開始符号（・ー）2 回に続き、2 度ごとに方位符号（・）が聞こえる。（“ポッポッポッ”という音）
- 4、方位符号は 10 回（20 度）に 1 回高い音がする。（“ポッポッポッピッ”という感じ）
- 5、方位符号の音が一番弱くなるまで方位符号の回数を数え、灯台表で方位を調べる。

- 局によって送信フォーマットが違っており灯台表で調べる必要があった
- 360 度にわたって送信する局などでは開始符号の前に 8 方位を知るせる信号を出すものもあった

昭和 30 年代になるとマイクロ波の研究が進み、地形や夜間空間波の影響を受けず、直進性と尖鋭性に優れた 9.31GHz ロータリービーコンが誕生します。中波では大型のアンテナを設置しなければなりませんでした。マイクロ波ではホーンアンテナとパラボラアンテナが使われ、小型化高精度化が図られました。

マイクロ波を使用したロータリービーコンは後に紹介するレーマークビーコンと仕組みは同じですが、レーマークビーコンがレーダー画面に表示されるものであるのに対し、マイクロ波ロータリービーコンは中波同様、受信機（ラジオ）で音を聞くものでした。



御前埼無線方位信号所 中波ロータリービーコンアンテナ

（出典 海文堂 社団法人橙光会 電波標識五十周年記念実行委員会編 電波の灯を守って）

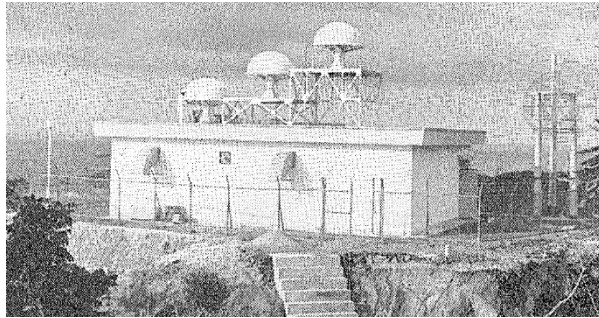
中波のアンテナは巨大なものであったが、マイクロ波のアンテナは船用レーダーのアンテナ程度の大きさ。

### 無線方位信号所（トーキングビーコン）

ロータリービーコンは方位符号（短音）の数を数えなければならず、音が弱くなる（あるいは無音の）範囲が広いときもあり、測定が難しいという利用者からの声がありました。これを改善するため、方位符号の代わりに度数を表す音声が聞こえるよう変更が行われました。トーキングビーコンの送信アンテナは船用レーダーと同じスロットアレイアンテナが使用され、船用レーダー同様、指向性の高い電波を出すことができました。

時は昭和 40 年、この年に日韓漁業協定が締結されることになり、それが発効する前にレーダーやロランを搭載しない数百隻に及ぶ小型漁船が、簡単な設備で簡便に位置を知ることができるよう求められた。この要望に対応するため、対馬の西岸に北・中・南、3 局のトーキングビーコン局が建設された。

北局は「あか」、中局は「くろ」、南局は「あお」という「局名」に続けて度数を表す「番号」が聞こえるので、海図上に印刷された赤・黒・青の番号の線が交わる点が自船の位置となる。



対馬トーキングビーコン局（出典 社団法人燈光会 日本燈台史）

各アンテナが 120 度ずつずれ、それぞれ 3 分間で 1 回転する。船舶は 1 分間に 1 回受信することができる。

### 無線方位信号所（コースビーコン）

両側に浅瀬があるような狭い水道を安全に進むため、光を使った航路標識（電波標識に対し光波標識といいます）では導灯や指向灯が使われ、これらの標識は関門海峡などで現在も使われています。コースビーコンは指向灯の電波標識版と言えます。

2 つのホーンアンテナが、安全な進路を中心に角度をつけて両サイドに設置され、それぞれが「・ー（A）」と「ー・（N）」のモールス符号音を流します。船が進路上を走っていれば両サイドの・ーとー・が重なって断続的な長音として聞こえます。コースから外れるとどちらかの音が強くなりコースから外れていることが分かります。「・・ー（U）」と「ー・・（D）」を使用する信号所もありましたが、この場合でもコース上を走っていれば断続的な長音が聞こえました。

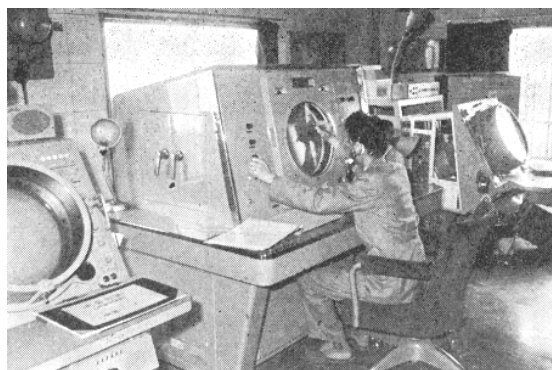
### 無線方位信号所（レーダー局）

これまで紹介したのは電波の方向を測定するものでしたが、レーダーの登場により方向と距離を測定することができるようになり、航路標識においても使われるようになりました。その頃はまだレーダーは大型船にしか搭載されていませんでしたので、無線羅針局と同じく、船からの問い合わせにより、信号所からの方位と距離を知らせることで自船の位置が分かるようになりました。今までは 2 つ以上の方位線がなければ自船の位置が分かりませんでしたから大きな進歩です。代表的なものは 1962 年に業務を開始した釧路港レーダー

局で、春先の霧が発生する季節には多くの漁船や小型船舶がハーバーレーダー（レーダー局のコールサイン）に問い合わせをしました。

これとは別に多くの船舶が行き交う海域で、航行安全のために設置されたものもあります。本牧や大阪のレーダー局は京浜港、大阪港を航行する船舶の動静を把握し、航行安全上必要な情報を伝えるために設置されました。大阪港レーダー局は1967年に業務を開始、本牧レーダー局は少し遅れ、1978年に業務を開始しています。

前者のタイプはレーダーが小型船にも普及したことによりその役割を終え、後者は船舶通航信号所（海上交通センター）として進化し、東京湾・伊勢湾・大阪湾・瀬戸内海・関門海峡においてVTS（Vessel Traffic Service）として現在も活躍しています。VTSの運用管制官は国際ライセンスが必要です。海上交通センターは船舶に位置情報を提供するものではありませんので、本稿での説明は省略します。



釧路港レーダー局（出典 海文堂 社団法人橙光会 電波標識五十周年記念実行委員会編 電波の灯を守って）



東京湾海上交通センター（出典 第三管区海上保安本部 東京湾海上交通センター利用の手引き）

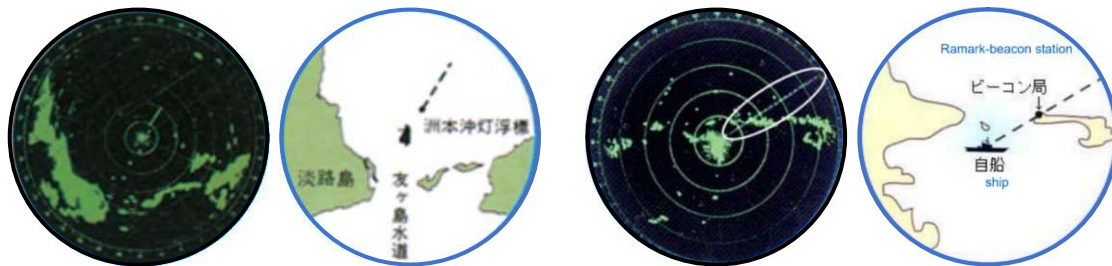
### 無線方位信号所（レーダービーコン・レーマークビーコン）

地形が平坦であったり、島やブイ（灯浮標）が多数存在していると、レーダー映像だけでは場所が明確でなかったり、区別ができないことがあります。そのような場所にレーダービーコンやレーマークビーコンを設置すると、レーダー画面にその場所が表示されます。



レーダービーコンは信号所を基点としてモールス符号の輝線で表示されるので、信号所の方位と距離が測れます。レーマークは信号所を通る一本の輝線として表示されるで、信号所の方位と陸までの距離を測ることになります。

レーマークビーコン第一号は 1961 年の観音埼、レーダービーコンは 1969 年の布良鼻が第一号です。GPS や AIS の普及によりレーマークビーコンは 2009 年までに全廃。レーダービーコンは現在 14 基が運用中ですが、2028 年までに廃止される予定です。



レーダービーコン

レーマークビーコン

レーダー画像と説明図（出典 燈光会ウェブサイト 航路標識の話）

以上は電波が直進する性質を利用して位置を求めるものですが、利用できる範囲は限られており、沿岸を航行するには十分でしたが、沖合では利用できませんでした。それを補うため、複数の局が精密な時間、正確な周波数で電波を出し、船舶がそれらの電波の到達時間差や位相差を計測することで船位が得られるシステムが開発されます。海図上で時間差や位相差が同じである点をつなぐと双曲線になることから、これらは双曲線航法と呼ばれ、衛星を利用した測位システムが確立するまでの長い間、沖合を航行する電波航法の主流となります。

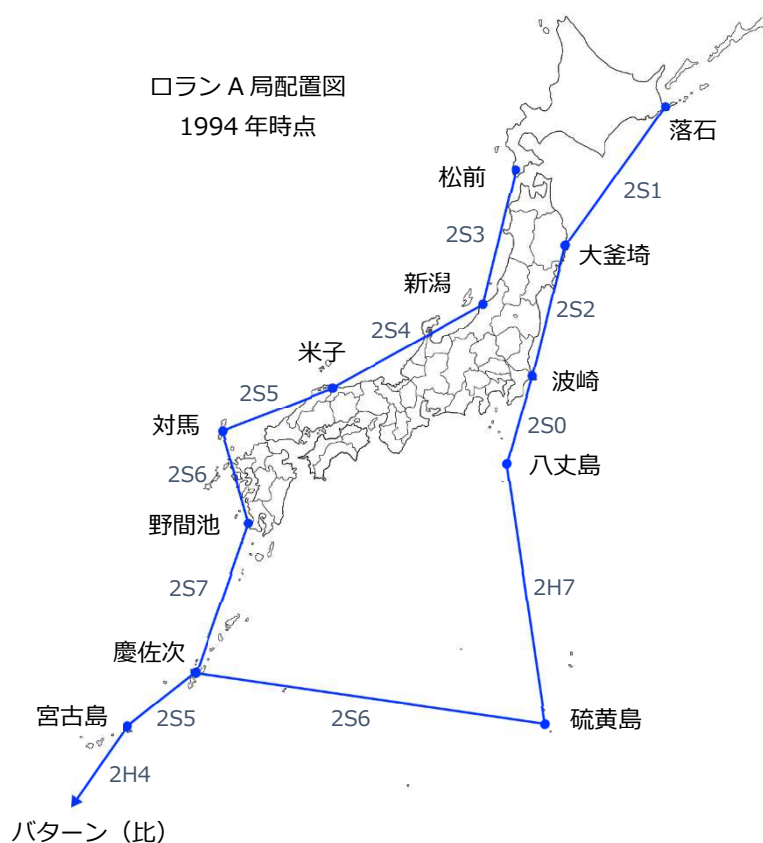
## ロラン A・C (Loran A・C)

ロランは Long Range Navigation の略です。ロラン A は 2MHz 帯の中波、ロラン C は 100KHz の長波を使い、両者とも 2 局から発射されるパルス波の到達時間差を測って位置を決めます。有効範囲は A・C とも昼間約 750 海里、夜間は約 1,500 海里でした。

ロラン A は第二次世界大戦中（～後）に米軍（後に米沿岸警備隊）が、第二次世界大戦や朝鮮戦争のために設置・運用していたもので、日本及び付近では、硫黄島・伊計島・伊豆大島・松前・新潟・米子・野間池・宮古島・釜山（韓国）・バターン（比）に局が設置されました。その後、海上保安庁が落石・大釜崎・波崎に局を建設、波崎が伊豆大島と結ばれたことにより、北海道の北側を除く日本周辺をカバーするネットワークができあがりました。

その後、米側が設置した局は海上保安庁に移管されていきますが、松前・新潟・米子は戦時に作られたもので局舎はバラック、空中線柱は木製でしたし、釜山は廃止されることになったため新たに対馬に局を設置することとなり、これら 4 局の設備を新設あるいは更新し

なければなりませんでした。送受信機器はまだしばらく使えそうでしたので、米側の好意で無償供与されています。また、元々硫黄島と結ばれていた伊豆大島は波崎との局間が極めて短く、運用上不都合だったため八丈島に局を新設しました。その後、硫黄島が廃止されますが、次の図は硫黄島局廃止直前、1994 年の状況です。



ロラン A は当初米軍によって整備され、その後、海上保安庁によって 3 局が整備され、順次、日本側に移管が進みました。

ロラン A を日本側へ移管した理由は、海上保安庁が自力で維持することができるようになった、ということもありますが、戦争の終結やロラン C への移行といった側面もありました。

当時国内では多数の漁船がロラン A を利用していたため、米側に引き続き運用してくれるようお願いしたところ、米側から「アメリカ国民の税金を日本漁船のためには使えない」と言われた、ということが文献に残っています。

そして次第に利用者が減少していき、1997 年にその使命を終えました。1959 年に海上保安庁が初めてロラン A 局を建設してから 38 年の稼働期間でした。



落石ロラン局



奥州ロラン局（ロラン AC 両方の局があった）

（出典 ロラン A 開設 30 周年記念事業協賛会 ロラン A とともに）





#### ロラン A 受信器（明治丸海事ミュージアム蔵）

下部の3つのダイヤルでチェーンを選択し、上のCRT（丸い穴に見える部分）に映し出される複数の波形から静止している波（主従2波）を選び、2波の波形の立ち上がり部を合わせ、パルス波到達時間差を測る。計測には熟練を要した。

本品は初期のもので、ダイヤルを調整して時間差を測るタイプであるが、真空管からトランジスタ、さらにマイクロコンピュータの出現により、次のように進歩していった。

- 1、時間差が数字（二キシー管）で表示される
- 2、計測が自動的に継続される
- 3、ロラン C も計測できる
- 4、位置の計算が行われ緯度経度で表示される

日本におけるロラン C は A 同様米軍によって設置されましたが、ロラン A より遅く、1960 年代に慶佐次・十勝太・南鳥島・硫黄島の4局が建設され、韓国、中国、ロシアの局とも連携して運用されていました。ロラン A と同じくパルス波の到達時間差を計測するものですが、ロラン C は位相比較も行うため精度が良く<sup>※5</sup>、局間の距離を長く取れるという利点もありました。

その後、ロラン A 同様、米側が運用から手を引くこととなり、海上保安庁が新たに千葉ロランセンターと新島ロラン局を整備、硫黄島ロラン局を南鳥島に移設し、5局で新北太平洋ロラン C チェーンを形成しました。そして2015年に廃止されました。

※5 ロラン C は位置の再現性が良いため多くの漁船が利用していた。つまり、魚がたくさん獲れた場所の数値（緯度経度ではなくパルス波到達時間差）を記録しておけば、その数値を頼りに前回大漁だった場所に正確に戻れる、という。編集子が旧灯台部に在職していたときに聞いた話です。



廃止時のロラン C 局の配置と有効範囲  
(出典 三管本部 ロラン C 局の閉局式について)



南鳥島のロラン C アンテナ  
(出典 海上保安庁 海上保安レポート 2010)

## デッカ (Decca Navigator System)

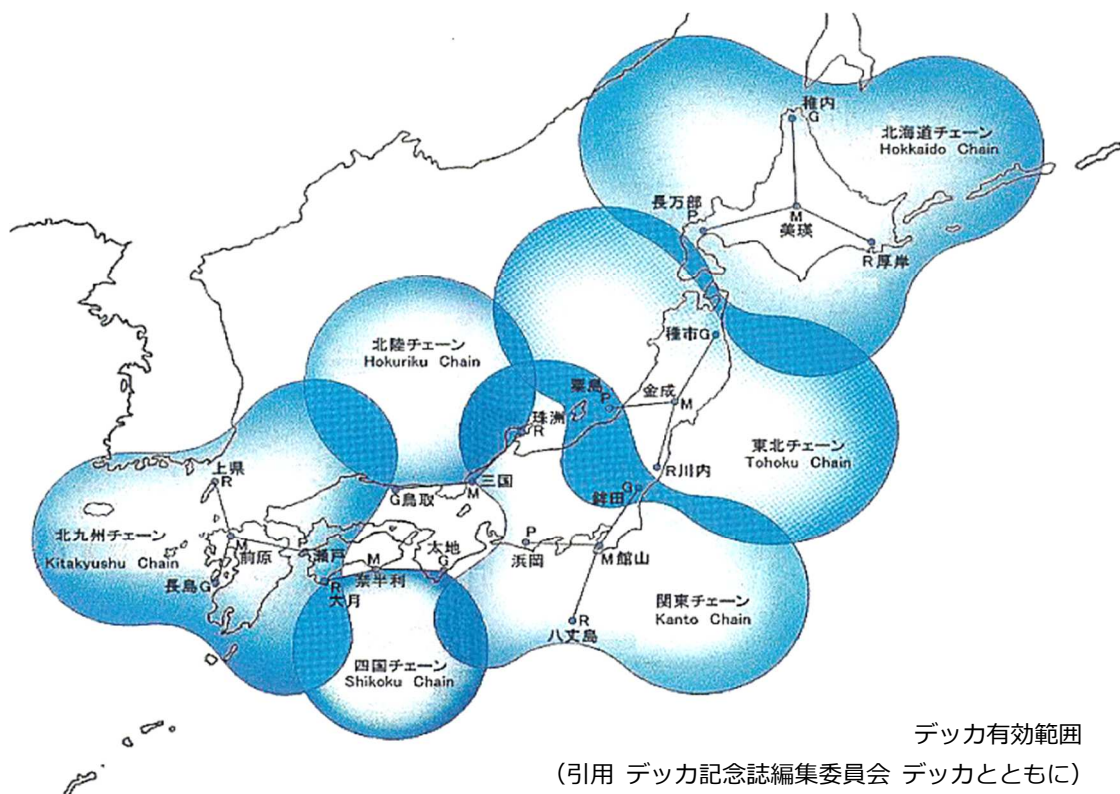
デッカは 70~130KHz の長波を使用し、主局、赤・緑・紫従局の 4 局で 1 つのチェーンを掲載するシステム。時間的に同期した連続波の位相差を測って位置を決めるシステムです。日本では北海道・東北・北陸・関東・四国・北九州チェーンが運用され、有効範囲は約 350 海里でした。サービスエリアの形状から、北陸・四国チェーンは紫従局がなく、南九州・北沖縄・南沖縄チェーンは当初計画にあったものの建設に至りませんでした。



デッカ受信器 (明治丸海事ミュージアム蔵)

下部の 3 つのメーター (赤・緑・紫 デコモーター) の数値を読み、デッカチャートに記載された各色のメーターが示す線の交点が自船の位置となる。

本品は初期型で、次第にメーターではなく数値で示されるようになり、最終的に操作しなくても緯度経度が表示されるようになった。小型漁船での使用も考慮し、潮風にも耐えられるよう、調整時以外は透明ガラスの蓋で閉められるようになっていた。



デッカ有効範囲

(引用 デッカ記念誌編集委員会 デッカとともに)

デッカはイギリスの会社で、Decca Navigator System は第二次世界大戦中ノルマンディ上陸作戦で使用され、有効性が実証されました。以後、イギリス政府とデッカ社がタイアップして勢力を広げ、ヨーロッパ地域で 40 近いデッカチェーンが形成されました。

送信装置も船用受信機もデッカ社製、受信機は同社関連会社からレンタルする方式がとられていました。そのレンタル料では日本漁船への普及が難しいと判断した日本政府は、デッカ社と長く困難な交渉の末、国の予算で特許を買い取り、日本側で送信装置を作成（ただし1チェーンを建設するごとに特許料を支払う）、日本側で船用受信機も作成（ただし1台あたり製造価格の4～2%の特許料を支払う）という契約が成立しました。

ある程度のノウハウは買い取ったものの、ほぼ一からの手作りとなり、日本のデッカ創成期には大きな苦勞がありました。また、局数が多い（最終的に20局）ことから、適した土地の選定から用地の取得まで、こちらもたいそう苦勞したことが文献に残されています。

デッカは、ロラン A の範囲が及ばない北海道チェーンから建設されましたが、当初は北九州チェーンから建設される予定でした。中国や韓国に接した海域であるため問題が多発しており、精度の高い測位システムが必要とされていたのです。ところがそのタイミングでロラン A の日本移管が決まったため、北海道を先に建設することになりました。

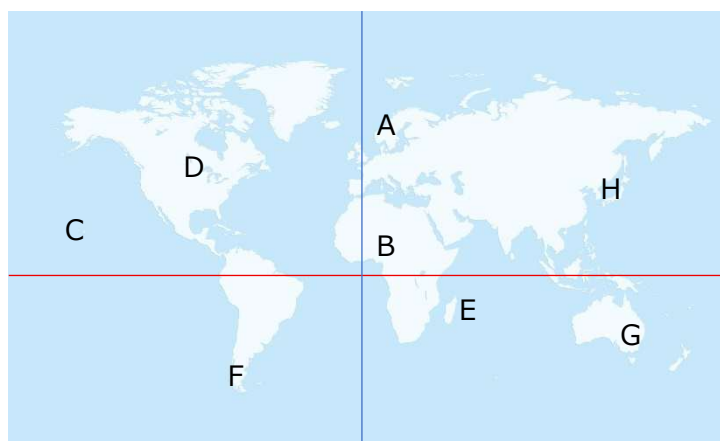
夜間空間波の影響で位置誤差が大きかったことに加え、ロラン A・C を使う漁船も多かったこと、さらにレンタルシステムに割高感を持たれたこともあり、GPS（後述）が一般に使用されるようになってくるに従いレンタル契約数が伸び悩み、1966 年に北海道で建設が始まった日本のデッカシステムは 2001 年に北海道で幕を閉じました。

### オメガ（Omega Radio Navigation System）

電波航法の最終形という意味でギリシャ文字の最後の文字「Ω」の名が付けられたシステムは、全世界を8局でカバーし、各局（A～H 局）を運営するそれぞれの国の協力で成り立っていました。周波数は 10KHz 帯の超長波が使われ、基線（局間の距離）は数千海里に及んでいました。各局は 10 秒のサイクルで 3 種類の電波を順次発射し、デッカと同じく位相差を測定して位置を求めました。各オメガ局の発射のタイミングは次のページの表とおり、各局が正確なタイミングで電波を発射する必要がありました。

|   |                |
|---|----------------|
| A | ノルウェー（アルドラ島）   |
| B | リベリア           |
| C | アメリカ（ハワイ）      |
| D | アメリカ（ノースダコタ）   |
| E | フランス（仏領レユニオン島） |
| F | アルゼンチン（南極）     |
| G | オーストラリア（南東部）   |
| H | 日本（対馬）         |

オメガ送信局





| 1 サイクル  | 10.0sec |     |     |     |     |     |     |     |
|---|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| セグメント   | 1       | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   |
| 電波送信秒数  | 0.9     | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 0.9 | 1.2 | 1.0 |
| 10.2Khz                                       | A       | B   | C   | D   | E   | F   | G   | H   |
| 13.6KHz                                       | H       | A   | B   | C   | D   | E   | F   | G   |
| 10.2KHz                                       | G       | H   | A   | B   | C   | D   | E   | F   |
| 各セグメント間に 0.2 秒の休止時間が設けられ、10 秒間で一周する。          |         |     |     |     |     |     |     |     |
| 2 つの電波発射秒数を測ればどのセグメントかが分かり、周波数でどの局の送信電波かが分かる。 |         |     |     |     |     |     |     |     |

各局の電波送信スケジュール

超長波は海面下 10m 程度まで利用可能なため、潜水艦がその深度まで浮上、あるいはアンテナを延ばせば位置が測定できることから当時の国会では軍事用ではないかと議論になりましたが、ロランが利用できない海域では依然として天測が行われており、そのような海域を航行する船舶や航空機にとってはとても貴重な道しるべであった訳です。

150Kw の出力を送信するアンテナ鉄塔の高さは 455m に達し、スカイツリー（461m）が建設されるまでは日本一高い建造物でした。ただし、自立はしておらず、16 本の傘型アンテナを含む多数のワイヤーで支えられ、ワイヤー基部の面積は 1 キロ四方に及び、その一部は隣の島まで延びていました。

日本では 1975 年に運用を開始したオメガですが、ロラン A の運用停止と同じ年、1997 年に運用を終えました。1975 年から 1997 年までの間、日本ではロラン A・C、デッカ、オメガ、4 つのシステムが同時に運用されていました。



対馬オメガ局（出典 海上保安庁 30 年史）

### NNSS／トランシット（Navy Navigation Satellite System / Transit）

時代は地上から発せられる電波から人工衛星が発する電波に変わりつつありましたが、現在使用されている GPS の前に NNSS／トランシットというシステムがありました。これは米ソの宇宙開発競争の産物です。

当時ソ連（現ロシア）はアメリカに先んじて人工衛星を打ち上げ、アメリカはそれを追跡するため衛星から発射される電波のドップラー効果<sup>※6</sup>を利用して位置を把握していました。

そして、逆に衛星の位置が分かっていたら、発する電波のドップラーの偏移量を測定して地球上の位置が分かるのではないかと推測しました。当時はまだオメガが始まっておらず、1959 年、アメリカは測位衛星トランシットを打ち上げます。1967 年には民間にも開放されましたが、ドップラーの偏移量を長時間連続して測定しなければならないこと、また低緯度では衛星が接近する頻度が低く、あまり有効でなく※7 1996 年に運用を終えています。

※6 救急車のピーポー音が、接近するときは音が高く、遠ざかるときには音が低くなるのがドップラー効果。この現象は音波のみならず電波でも（光でも）発生する。

※7 編集子は沖縄県石垣島で 1987 年から 1989 年まで乗船勤務をしたが、NNSS 受信機が安定して電波を受信したことはなく、表示された緯度経度は誤差が大きく実用に即さなかった。

## GPS (Global Positioning System)

1990 年代に入ると NNSS に代わり GPS が登場します。GPS は高度約 2 万 Km の 6 つの軌道に各 4 個の衛星を配置し、どの場所でも常に 4 つの衛星から発する電波が受信できるようになっており、常時測位することができます。

衛星は非常に正確な時計、原子時計※8 を持っており、電波の発信時刻と到着時刻が分かれば電波の速度（約  $3 \times 10^8 \text{m/s}$ ）を掛けることで衛星と自分の距離が分かります。電波には衛星の軌道データも含まれているので、3 つの衛星の電波を拾えば自分の位置を得ることができます。

ただし受信機（皆さんがお使いのカーナビやスマホなど）は原子時計を持っておらず、正確な時刻データを持っていません。このため 4 つめの衛星電波を受信して時刻の補正を行い、正確な位置を計算しているのです。（なぜ 4 つ目の電波を受信すると正確な時刻が得られるかについては説明が難しくなるので割愛します。） スマホなど小さな機器でも瞬時に計算し、私たちに正確な位置を教えてくれるのは IT 技術の発展の賜物です。



GPS 衛星軌道概念図  
出典：みちびきウェブサイト  
[https://qzss.go.jp/overview/column/gps\\_170831.html](https://qzss.go.jp/overview/column/gps_170831.html)

GPS は軍事目的が主のシステムです。このため軍事用の P コードと民生用の C/A コードという 2 種類の電波が出されています。当初、P コードは 10m の精度、C/A コードは 100m の精度でしたので、車なら隣の道路を走ってしまいますし、船舶でも航路や狭水道を航行する場合には GPS の位置は頼りになりません。このため位置誤差を補正するため DGPS (Differential GPS) という手段が用いられました。これは前出、中波無線標識の電波を利用し全国 27 の DGPS 局から補正情報を送出するものでした。その後、C/A コードについても 10m の精度が保証※9 されたことにより、DGPS は 2019 年に廃止されました。



- ※8 原子は固有の共鳴周波数を持っており、同一周波数のマイクロ波を当てると共鳴する。この性質を利用して正確な周波数のマイクロ波を維持し、正確な 1 秒を作り出す。日本では、情報通信研究機構にあるセシウム（Cs）原子時計により日本標準時を作っている。セシウム原子の共鳴周波数は 9,192,631,770Hz なので、共鳴周波数の 1 サイクル分の時間の 9,192,631,770 倍が 1 秒となり、7,000 万年に 1 秒しかずれない精度を持つ。ちなみに人類が誕生して 200 万年しか経っていない。
- ※9 正確には、今まで行ってきた位置の精度をわざと落とす措置を以後行わないこととしたもの。

### 準天頂衛星システム「みちびき」

センチメートルレベルの高精度な測位を実現する日本の衛星測位システムです。2018 年 11 月にサービスを開始。精度だけでなく GPS への妨害対策としても注目されています。（既に説明されているのでこれ以上の説明は省略します。）

### AIS 航路標識

AIS は船舶が自船の位置、針路速力、船名等を VHF の電波で発信するシステムです。これを受信すればレーダーの航跡を観測しなくても針路速力が分かり、船名も分かりますのでなにかあれば VHF で相手船を喚呼することもできます。さらにレーダーの電波が届かない岬の反対側にいる船の動向も知ることができる優れたものです。これを航路標識としても利用することとなり、IMO（国際海事機関）で仕様とシンボルマークが承認されました。



AIS 航路標識を洋上風力発電設備などに設置することにより、存在がより明確化され、また灯浮標が設置できないような水深が深い海域で推薦航路を示すためにも使用されています。バーチャル AIS 標識は実体がない※10 ので衝突事故が起きず、操船する側もストレスが生じないという利点があります。ただし AIS がない船には認識できないということを認識しておく必要があります。

伊豆大島西方海域の推薦航路で運用されている AIS 航路標識（バーチャル AIS）  
（出典 海上保安庁／「海と安全」2025 春号より）

※10 バーチャル AIS は仮想の航路標識、陸上から発せられた AIS 信号により AIS が表示できるレーダーや電子海図表示装置に位置が表示される（上図参照）。実際になにも存在しないので、そこを航行しても事故は起きない。シンセティック AIS は、実体はあるが AIS 電波は陸上から発信される。電力が確保できない航路標識にも使える。リアル AIS は、実体があり、そこから AIS 電波が発信されている。風力発電などの大型施設に設置される。

本項の作成にあたり、東京海洋大学 明治丸海事ミュージアムと公益社団法人 燈光会からご協力を頂きましたので、ここで紹介したいと思います。

### 東京海洋大学 明治丸海事ミュージアム

東京海洋大学（越中島キャンパス）の始まりは私立三菱商船学校として誕生した明治 8 年に遡ります。その後変遷を経て昭和 32 年に東京商船大学となり、さらに東京水産大学（現東京海洋大学 品川キャンパス）と統合し、現在に至っています。

明治丸は明治 7 年にイギリスで建造された燈台巡廻用船で、一等客室やサロンを備えた豪華な新鋭船。ロイヤルシップの役割も担っていました。明治 9 年には明治天皇が東北・北海道巡幸の帰途乗船され、7 月 20 日に横浜に安着されています。この日を記念して「海の記念日」が制定され、のちに「海の日」となります。明治 29 年に明治丸は係留練習船となり、昭和 53 年には国の重要文化財に指定されました。

#### ～ 明治丸は船内を見学することができます！ ～

明治丸海事ミュージアムには明治丸のほか百周年記念資料館があり、古来よりの航海計器の実物が展示されています。本稿ではミュージアム内で撮影した写真を使わせていただきました。お台場にあった船の科学館が閉館した今、日本国内では神戸大学海事博物館と並び、貴重な海事の博物館となっています。最寄駅は JR 越中島、東京メトロ 門前仲町です。

<http://www.kaiyodai.ac.jp/overview/facility/meijimaru/>



左上：ロラン送受信機 右上：デッキ運用卓と受信機  
左下：六分儀 右下：海事ミュージアムから見た明治丸

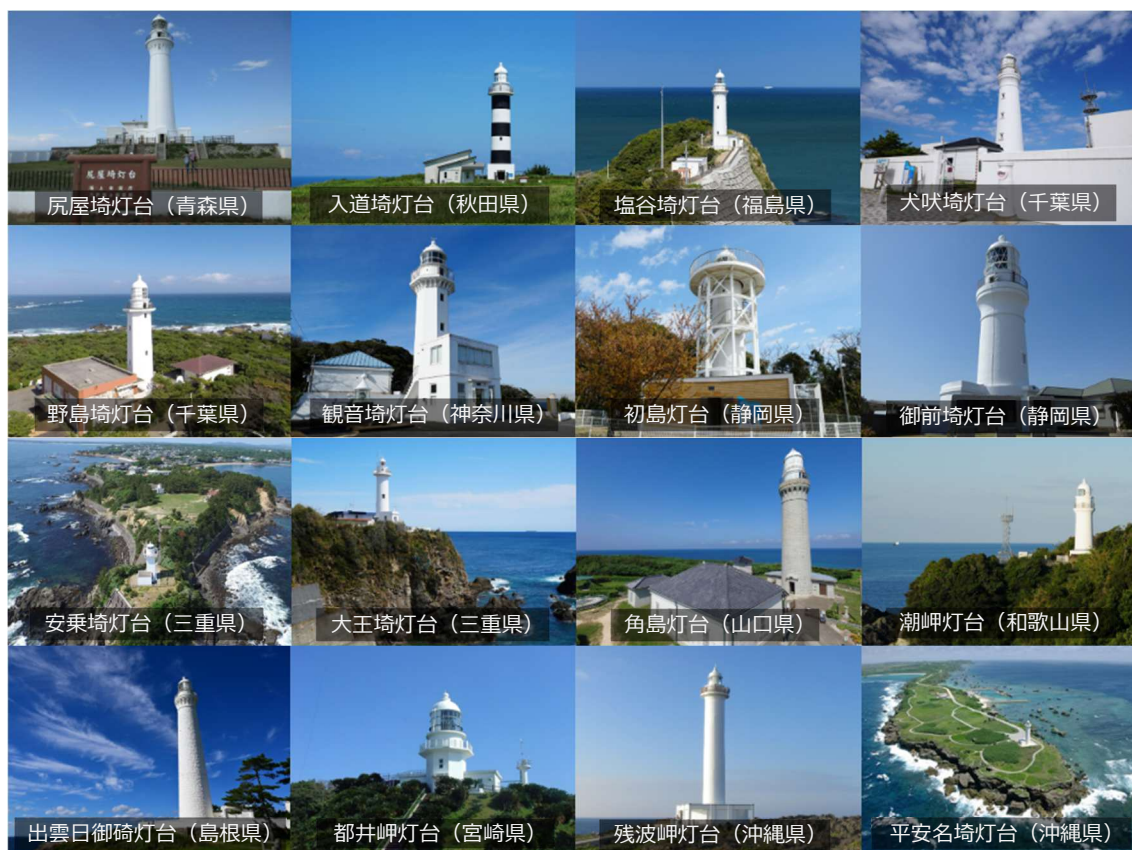


## 公益社団法人 燈光会

一般の方にはあまり馴染みのない名前かもしれません。皆さんは岬に立つ灯台に登ったことはないですか？ 灯台は航路標識の一種で海上保安庁が運用しています。海上保安庁の許可を得て灯台の参観業務を行っているのが燈光会です。全国で 16 の灯台を参観することができます。

近くにお寄りの際は是非灯台に登ってみてください。(水平線が丸く見える、、かも)

<https://www.tokokai.org/> ~ 燈光会ウェブサイトは灯台資料の宝庫です ~



のぼれる灯台 16 (引用：公益社団法人燈光会 ウェブサイト)

荒天などで参観が一時休止となった場合には同サイトにリアルタイムで表示されます。

### 参考文献

海上保安庁 海を照らして 150 年  
海上保安庁 海上保安庁 30 年史  
海上保安庁 海上保安レポート 2010  
第三管区海上保安本部 東京湾海上交通センター利用の手引き  
第三管区海上保安本部 ロランC局の閉局式について  
公益社団法人燈光会 日本燈台史  
公益社団法人燈光会ウェブサイト 航路標識の話、航路標識技術の変遷一覧表  
海文堂 公益社団法人燈光会 電波標識五十周年記念実行委員会編 電波の灯を守って  
ロランA開設 30 周年記念事業協賛会 ロランAとともに  
デッカ記念誌編集委員会 デッカとともに  
総務省 みちびきウェブサイト



## 船舶海難の発生状況

2025.08 ～ 2025.10 速報値（単位：隻・人）海上保安庁提供

|          | 衝突  | 単独衝突 | 乗揚 | 転覆 | 浸水 | 火災 | 爆発 | 運航不能<br>(機関故障) | 運航不能<br>(推進器障害) | 運航不能<br>(無人漂流) | 運航不能<br>(その他) | その他 | 不明 | 合計  | 死者・<br>行方不明者 |
|----------|-----|------|----|----|----|----|----|----------------|-----------------|----------------|---------------|-----|----|-----|--------------|
| 貨物船      | 18  | 8    | 6  | 0  | 0  | 1  | 0  | 5              | 0               | 1              | 1             | 0   | 1  | 41  | 0            |
| タンカー     | 4   | 3    | 4  | 0  | 1  | 0  | 0  | 5              | 0               | 0              | 0             | 0   | 0  | 17  | 0            |
| 旅客船      | 6   | 3    | 2  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1              | 0               | 0              | 0             | 0   | 0  | 12  | 0            |
| 漁船       | 32  | 4    | 8  | 3  | 3  | 12 | 0  | 12             | 6               | 9              | 6             | 1   | 1  | 97  | 3            |
| 遊漁船      | 3   | 1    | 4  | 0  | 3  | 0  | 0  | 3              | 0               | 2              | 0             | 0   | 0  | 16  | 0            |
| プレジャーボート | 29  | 11   | 31 | 10 | 19 | 3  | 0  | 70             | 23              | 11             | 50            | 3   | 1  | 261 | 2            |
| その他      | 8   | 2    | 4  | 1  | 1  | 8  | 0  | 4              | 5               | 4              | 4             | 0   | 0  | 41  | 1            |
| 不明       | 0   | 0    | 1  | 2  | 0  | 0  | 0  | 0              | 1               | 0              | 0             | 0   | 0  | 4   | 0            |
| 合計       | 100 | 32   | 60 | 16 | 27 | 24 | 0  | 100            | 35              | 27             | 61            | 4   | 3  | 489 | 6            |

※ 衝突とは、船舶が他の船舶に接触し、いずれかの船舶に損傷が生じたことをいう。

※ 単独衝突とは、船舶が物件（岸壁、防波堤、栈橋、流水、漂流物、海洋生物等）に接触し、船舶に損傷が生じたことをいう。

## 海上保安庁からのお知らせ

### ウォーターセーフティガイド

ウォーターアクティビティを誰もが安全に安心して楽しめるように、事故防止のための情報を発信する総合安全情報サイトです。海に関する知識、利用する乗り物の特性や装備、習得すべき技術、交通ルールなどについて、十分理解し、準備した上で海に出ることが大切ですので、ぜひ活用いただき、安全にお楽しみください。



# Water Safety Guide

ウォーターアクティビティ（海辺でのレジャー活動）を安全に無事故で楽しむための総合情報サイト



<https://www6.kaiho.mlit.go.jp/watersafety/>

### 海の安全情報

プレジャーボートや遊漁船などの船舶運航者やマリナーレジャー愛好家の方々に対して、港内における避難勧告等に関する緊急情報、海上の工事や行事等に関する海上安全情報、気象庁が発表する気象警報・注意報、全国各地の灯台などで観測した気象現況、海上模様が把握できるライブカメラ映像等を提供しています。

パソコンやスマートフォン、携帯電話から、簡単にアクセスできます。
 海の安全情報
で 検索

パソコン用サイト



QRコード

https://www6.kaiho.mlit.go.jp/

スマートフォン用サイト



QRコード

https://www6.kaiho.mlit.go.jp/sp/index.html

携帯電話用サイト



QRコード

https://www6.kaiho.mlit.go.jp/my/index.html

緊急情報配信サービス



QRコード

https://www7.kaiho.mlit.go.jp/micmail/reg/broadband.html

## 南極観測船「宗谷」訪船記

「海と安全」 編集部 星衛 円香

前号では海面下の危険、海底噴火について特集しました。その中で海上保安庁測量船「拓洋」を訪船取材しました。拓洋の至近には南極観測船「宗谷」が係留保存されています。拓洋取材の帰途、「宗谷」を訪ね、訪船記として纏めてみました。

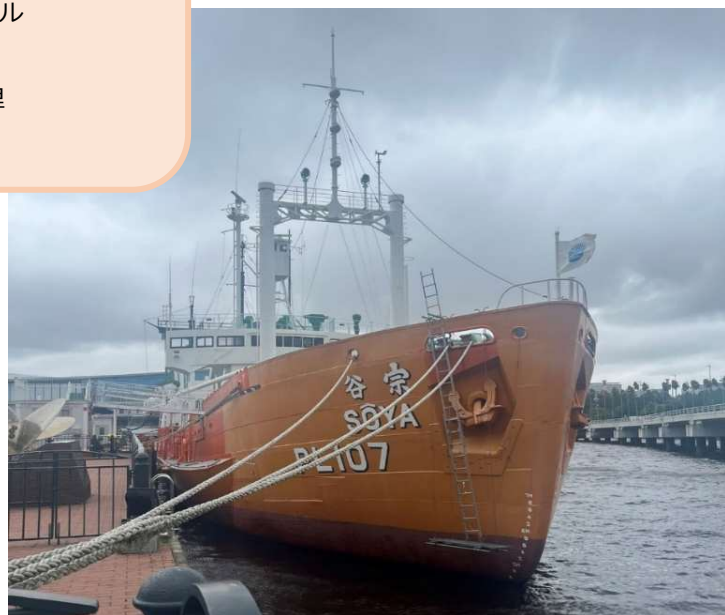


### 南極観測船「宗谷」誕生

「宗谷」は1938年（昭和13）耐氷型貨物船として建造され、太平洋戦争を経験。その後引揚船、灯台補給船となり、1956年（昭和31）11月からは日本初の「南極観測船」として、1962年（昭和37）4月まで、6次にわたる南極観測に活躍した。その後1978年（昭和53）に退役するまで海上保安庁の巡視船として活躍した。

#### 南極観測船「宗谷」について

|          |             |
|----------|-------------|
| 大きさ      | 2,736.1 総トン |
| 全長       | 83.3 メートル   |
| 速力（最大）   | 12.3 ノット    |
| 航続距離     | 16,400 海里   |
| ※第4次観測当時 |             |





## 船内の様子



### <士官食堂>

乗組員のうち士官用の食堂兼サロン。  
南極観測船当時は乗組員と観測隊員との会議室としても使われた。机上には滑り止め用のビニールシートが敷かれ食器の滑りを防ぐ工夫がされている。測量船拓洋でも敷かれていた。



### <風呂場>

真水を節約するため、航海中は海水を、南極では氷の塊を浴槽内に入れ、蒸気で溶かして使用した。南極へ行く途中、暴風圏に入ったときに最大で 62 度の傾斜を記録した。お風呂の様子は想像もつかない！



### <通信室>

南極観測船当時、無線通信は日本と交信するための唯一の手段として重要な役割を果たしていた。通信室には、操作が難しそうな機械が数多く並んでいた。電鍵 (Key) という名称が新鮮だった。



### ＜展示物＞

南極の氷、アデリーペンギンの剥製、映像コーナー等、南極に関する展示室となっている。なかでも写真に写っている「南極の氷」は、実物が展示されており印象に残っている。



### ＜スクリュープロペラ＞

船の推進装置であり、直径が約3メートルある。写真のものは、実際に使用されていたものを取り外し、展示している。第2次航海ではこの厚いプロペラが氷で折れてしまった。

## 南極で生き延びた奇跡の犬、「タロ」と「ジロ」の物語

初代南極観測船「宗谷」による南極観測事業では「犬ぞり」が重要な役割を果たした。なかでも有名なのが、1958年に南極に置き去りにされながら翌年奇跡の生還を果たしたカラフト犬「タロ」と「ジロ」の物語だ。

そもそも、なぜ犬ぞりが使われていたのか。犬ぞりの歴史は非常に古く、使われ始めたのは8千年以上前とも言われている。犬は寒さに強く、寒冷地で手に入る魚やアザラシの肉などを食べることができる。また、カラフト犬をはじめとする「そり犬」は、長い時間をかけて北極圏で適応してきた結果、氷の割れ目を察知する能力や、広大な氷原でも迷わない優れた方向感覚を身につけている。20世紀にスノーモービルが普及するまでは、北極圏におけるほぼ唯一の陸上輸送手段だった。現在でも、一部の地域では犬ぞりが使われ続けている。

1957年12月、第2次観測隊を乗せた宗谷が南極に到着したが、悪天候のため昭和基地

に近づくことができなかった。アメリカの砕氷艦「バートン・アイランド」が救援に駆けつけたものの、天候はさらに悪化。第1次越冬隊の隊員11名と数頭の犬を救出するのがやっとで、第2次越冬隊を送り込むことも、基地に残された15頭のカラフト犬を連れ帰ることも不可能となり、ついに犬たちの救出は断念された。

南極で過酷な冬を迎える犬たちの生存は、ほぼ絶望視されていた。ところが、1959年1月14日、第3次観測隊の宗谷から飛び立ったヘリコプターが、昭和基地付近で2頭の犬を発見。それがタロとジロだった。

どうやってタロとジロは極限の環境を生き延びたのか。基地には残された犬用の餌があったが、それを食べた形跡は見られなかった。このため、2頭が何を食べて生き延びたのかについては、いくつかの説がある。ペンギンなどの野生動物を兄弟で協力して狩っていた可能性もあるが、氷の割れ目に落ちるリスクも高く、元犬係だった北村泰一氏は、人間用に用意されていたものの、海水で濡れるなどして放棄された食料を主に食べていたのではないかと考えている。また、第3次隊に発見された後、2頭がアザラシを威嚇して脱糞させ、その中に含まれていた未消化のオキアミなどを食べる様子も観察されており、これも貴重な食料源になっていた可能性が高い。南極で1年以上にわたって生き延びたタロとジロ。そのたくましさと適応力は、今も多くの人々の心を打ち続けている。



### ～ 訪船を経て見えてきたもの ～

実際に使用されていた船に乗るという貴重な体験ができました。展示物はいずれも興味深く、船内には乗組員が快適に過ごせるよう、さまざまな工夫が施されていました。航海中の様子や乗組員の仕事ぶりからは、当時の生活の一端をうかがい知ることができました。船内は木製の建材が多く使用され、全体にレトロな雰囲気が漂い、どこか懐かしさを感じさせる空間でもありました。静かな船内を歩きながら、当時の乗組員たちがどのような思いで日々を過ごしていたのかを想像すると、時を越えてその暮らしを身近に感じることができました。（南極観測船「宗谷」は見学できます。本項では見学時に頂いたパンフレットと、船内に掲示されている説明を参考に編集しました。写真は星衛撮影。）





JAMS  
LONDON  
REPRESENTATIVE OFFICE

## ICMASS-2025 参加報告 ～ 自動運航技術の現段階 ～

日本海難防止協会 ロンドン連絡事務所 所長 立石 良介

### ◆ はじめに

2025 年 10 月 8～9 日にドイツ・ハンブルクで開催された「ICMASS-2025」に参加してまいりました。

近年、海事分野における自動運航船（MASS : Maritime Autonomous Surface Ships）技術は、AI・センシング技術の発展、通信インフラの高度化、さらには各国で進む制度検討を背景に、実用化に向けて着実に前進しています。一方で、サイバーセキュリティ、人間要素、データ基盤、責任制度など、技術と制度の両面で検討すべき課題が依然として存在しており、国際的な議論が続いています。



ICMASS-2025 会場

ICMASS (International Conference on Maritime Autonomous Surface Ships) は、自動運航技術に関する最新の科学研究と技術開発を中心に、業界と学術機関が一堂に集まり、研究成果と実装上の課題を議論する国際会議です。2018 年の第 1 回（韓国・釜山）以降、会議はアジアとヨーロッパを中心に国際的に巡回して開催されてきました。2019 年ノルウェー・トロンハイム、2020 年韓国・蔚山、2022 年シンガポール、2023 年オランダ・ロッテルダム、2024 年ノルウェー・トロンハイム、今回が第 8 回目の開催となります。

ICMASS-2025 は全 91 件の研究報告と 4 つのパネルセッションを含む構成でした。本報



告では、参加したセッションや資料等をもとに、印象に残ったテーマと示唆を筆者の視点から整理したものです。網羅性を目的とするものではなく、聴取した研究報告から得られた理解をもとに、自動運航技術の現段階の一端を紹介させていただきます。

#### ◆自律船舶規制の最新情報（IMO 規制動向）

開会冒頭では、IMO（国際海事機関）における自律運航船に係る検討の経緯と今後の方向性について、体系的な説明が行われました。

自動運航船(MASS)に関する国際的な議論は、2017年頃にIMOの海上安全委員会(MSC)で開始されました。その後、既存の国際条約（SOLAS、MARPOL、COLREG等）が自動運航に適用可能かを評価する「規制スコーピング演習（RSE）」が2021年に完了しました。この分析により、多くの既存規則はMASSにも適用可能である一方で、「船長の責任と役割」「乗組員の位置づけと責任者」といった横断的で重要な論点が残されていることが明らかにになりました。



これを踏まえて、IMOは2021年に、まずは貨物船を対象とした「非強制 MASS コード」の策定に着手しました。この非強制コードは、目標指向型（Goal-based）かつ包括的（Holistic）な構造を持ち、既存の国際条約を補完する役割を担います。

今後のスケジュール（最新ロードマップ）として、非強制コード採択：2026年5月のMSC会議（MSC 111）で最終化し、採択される予定です。

また、強制コードの策定・移行として、2026～2030年の「経験蓄積フェーズ（EBP：Experience Building Phase）」で実運用の知見を集め、2030年7月1日のMSC会議で、拘束力のある国際ルール（強制コード）が採択される予定です。そして2032年1月1日までに、その拘束力のある国際ルールが発効される計画です。

法的整合性については、UNCLOS（国連海洋法条約）との矛盾はないと確認されており、同条約における master（船長）は法的責任者としての概念であることから、遠隔地から指揮する形態であっても基本的には条約上の要件を満たすと解釈されています。

一方で、現在議論が進められている非強制 MASS コードにおいては、船内に乗組員又は乗船者がいる場合、人員と運航の安全を確保する観点から、master が物理的に船上に存在

することが求められることになります。

また、STCW 条約（船員の訓練等）については、遠隔操作センター勤務者を「船上勤務と同等」とみなし、必要な訓練要件を今後拡充していく方針が示されました。

商用化を見据えた課題としては、通信の信頼性、サイバーセキュリティ、責任と保険制度の確立、および経済的な事業採算性が重要視されています。欧州では、風力発電支援船など小型作業船を対象とした実証が進行中であり、北海諸国では自動運航の国家間協調を進める North Sea MOU の枠組みが活用されています（日本海難防止協会ロンドン連絡事務所 欧州海上安全レポート No.25-06「特集 欧州の無人運航船等導入 PT 動向」参照）。

本セッションから理解できるのは、自動運航技術の進展に際し、国際機関である IMO が 2032 年の発効目標に向けて、いかに制度設計を段階的かつ着実に進めているかという重要なテーマです。

#### ◆自動運航の洞察（国際海域での実証と技術成熟度）

ドイツ・Anschütz 社のシニア・システムエンジニアであるダニエル・ソラス氏が、「自動運航の進展：統合航法システムに基づく国際海上実証からの知見」と題し、自社が取り組む自律航法システムの開発状況と国際海域での実証試験の成果を紹介しました。

Anschütz 社は、大型船向けに開発された統合航法システムを、中小型船・自律船にも対応できるように改良・拡張し、複数のプラットフォームで試験を重ねています。各船には光学・赤外線カメラ、ライダー\*、高分解能レーダー、5G および衛星通信（Starlink）が搭載され、取得データは陸上の遠隔操船センターに送信され、そこで操船・監視が行われます。

\* ライダー：LiDAR（Light Detection and Ranging）、レーザー光を利用した距離測定センサー



2023 年には、バルト海において 3 週間にわたる大規模試験が実施されました。自動航行、衝突回避、隊列航行、標的追跡など、自動運航の要素技術が総合的に検証されました。通信遅延は概ね 1 秒未満と安定しており、数秒の通信途絶が発生した場合でも航行を維持できたとのこと。操船者からは「霧の中を進むようだが、センサーを信頼すれば操船できる」との声があり、熟練船長からは「手動では実現困難な精密な操船が可能になる」との評価が得られました。

一方で、混雑した海域では数百隻のヨットを同時にレーダーで追跡する必要があり、セン

サー能力の限界や誤検知防止が課題として浮き彫りになりました。

ソラス氏は、遠隔操船は船上操船とは全く異なる体験である点を強調しました。操縦者が「外界の体感情報」を得られない遠隔操縦センター（ROC : Remote Operation Center）特有の課題であり、視覚・聴覚・情報処理のみに依存するため、高い作業負荷と状況認識の困難さが生じるとのことです。そのため人間中心設計、情報管理の最適化が不可欠とされています。

今後の重点課題としては、通信断時の安全確保（フェイルセーフ機能：減速・停止・自動回避）、GPS ジャミング・スプーフィング対策の強化、AI 航法判断の信頼性向上が挙げられています。また、最終的には「一名の遠隔操船者による複数船の安全運用」を実現するため、状況認識支援と自律判断の高度化が必要とされています。

本セッションは、自動運航技術の実用段階の進捗状況と残存課題を具体的に理解できる、有意義な内容でした。

#### ◆遠隔操縦とヒューマンファクター研究

ノルウェー科学技術大学のアレクセイ・グッチ氏により「Situation Awareness by Design（設計による状況認識）：人間中心型ワークステーションの研究」と題する報告が行われました。人間と自律システムの協働設計に焦点を当てた研究成果が紹介されました。

グッチ氏は、近年発生した2つの衝突事故を事例として挙げました。一つは船長の居眠りによるコンテナ船の住宅地への衝突事故、もう一つは自律システムの誤判断によりフェリーが岸壁に衝突した事故です。これらの事例を通じて、「人間だけに依存した運航」と「完全自律」の両者に伴うリスクを指摘しました。

その上で、グッチ氏は「人間の強み」と「自律システムの強み」を組み合わせる「Auto-Teaming（オートチーミング）」の必要性を強調しました。完全無人化ではなく、人間による監視・判断と自律制御を最適に融合させる概念であり、自動運航の安全性向上の鍵とされています。

遠隔操縦センター（ROC : Remote Operation Center）の実現可能性と設計課題についても言及されました。船上のブリッジと異なり、ROC では操作者が外界の情報を直接得ら



れず、開発者が設計した UI (User Interface) とセンサーデータのみが情報源となります。この「情報の歪み」が、状況認識の低下や負荷増大をもたらすリスクがあると説明されました。

報告では、人間中心設計に基づき、短期間で複数のワークステーション・プロトタイプを開発し、実船の船長や操船者による実験を重ねたプロセスが紹介されました。

初期のプロトタイプは、1 台のカメラ映像のみで操船する簡易版でした。しかし視野の狭さと情報不足により、操船者は強い不安とストレスを感じ、状況認識が成立しないことが明らかになりました。

その後、複数カメラの統合、ディスプレイの拡大、UI 改良、各種フィードバック（視覚・聴覚・触覚）の強化など、段階的な改善が進められました。最終段階では、以下の仕様を備えた「Tele-Drive Station（テレドライブ・ステーション）」が完成しました：

- 3 面カーブディスプレイ+2 面サブディスプレイ
- 10 台のカメラ
- 360 度鳥瞰映像
- 3D 音響
- 触覚フィードバック

実船の船長らによる本格的な評価が実施された結果、225 度の視界を確保できるカーブディスプレイ構成が特に高く評価されました。操縦者からは「視界の欠落を意識せずに操作に集中できる」との声があり、従来の ROC で問題となりがちだった「死角」や「映像位置の混乱」が大幅に低減され、状況認識の向上が確認されています。

一方で、長時間のジョイスティック操作による疲労、椅子や操作環境の人間工学的改善など、今後の課題も示されました。

グッチ氏は最後に、「遠隔操作であっても、操船者は"そこにいる"状態でなければならない」と述べ、ROC 設計における人間中心アプローチの重要性を改めて強調しました。

本セッションは、人間と AI の協働という自動運航の根幹課題に真摯に向き合うものであり、完全自動化ではなく「人を適切に活かす自律化」の方向性を示す重要な研究成果でした。

#### ◆5G 接続性評価（通信インフラと自動運航の基盤）

ノルウェーの研究機関 SINTEF Ocean の研究者であるアンドレアス・ヘルマンセン氏が、5G 通信の産業利用、特に海上での自動運航への適用可能性について報告しました。

研究の背景として、IMO が今後発行予定の非強制 MASS コードにおいて複数の独立した通信手段の組み合わせが重要になる、との見方が示されました。5G ネットワークがこの要件を満たし得るかを技術的に分析する内容でした。





ヘルマンセン氏は、現在世界で利用されている公衆 5G ネットワークが、本質的にダウンリンク主体（受信向け）で設計されており、アップリンク（船舶から陸上への大量データ送信）を前提としていないことを指摘しました。自律船では、複数カメラ映像やレーダー・LiDAR データを遠隔操縦センターへ送信する必要があり、高いアップリンク容量が求められます。この点が、一般的な消費者向け通信とは大きく異なるということです。

ノルウェー国内を対象とした調査では、5G は以下の 2 つの周波数帯を中心に展開されています。

- 700MHz 帯：広域カバレッジだが、容量が小さい
- 3.6GHz 帯：高容量だが、基地局のカバー範囲が小さい

都市部では高速通信が期待できる一方、人口密度の低い沿岸部ではカバー率が著しく低下します。ノルウェー全土の面積ベースでは、高容量 5G がカバーするのはわずか 3%程度ということです。

さらに、基地局と端末（船舶側）の送受信電力の非対称性が課題として指摘されました。アップリンクの通信可能範囲はダウンリンクより大幅に狭くなります。これは陸からの通信は届いても、船からのデータが届かないという状況が生じ得ることを意味し、自動運航における通信信頼性を大きく左右する要素とされています。

加えて、周囲に多数の利用者が存在する場合、通信資源が分散され、映像伝送などの帯域需要が逼迫することも懸念材料として挙げられました。

こうした分析を踏まえて、ヘルマンセン氏は以下の対策が必須になるとの見解を示しました。

- 契約による優先帯域の確保
- 補完的な通信手段の組み合わせ（衛星通信、ローカル 5G、専用基地局など）

また、将来的には「アップリンク主体の産業用途向け周波数帯」が必要になる可能性にも言及し、政策的な議論が求められると述べました。

本セッションで、海上通信が自動運航実現の基盤技術である一方で、現在の公衆 5G ネットワークをそのまま使用するには課題が多く、自律船運航を支える通信インフラの設計には、電波特性、カバレッジ、帯域、デバイス性能といった多角的視点が必要であることが確認できました。

#### ◆まとめ

筆者が聴講したセッションを中心に、自動運航に関する議論状況を確認しました。

確かに技術面では着実な進展が認められます。一方で、制度整備、運用設計、人材育成などの分野では検討が継続中であり、自動運航が技術と規制の双方で過渡期にあることが確認できました。

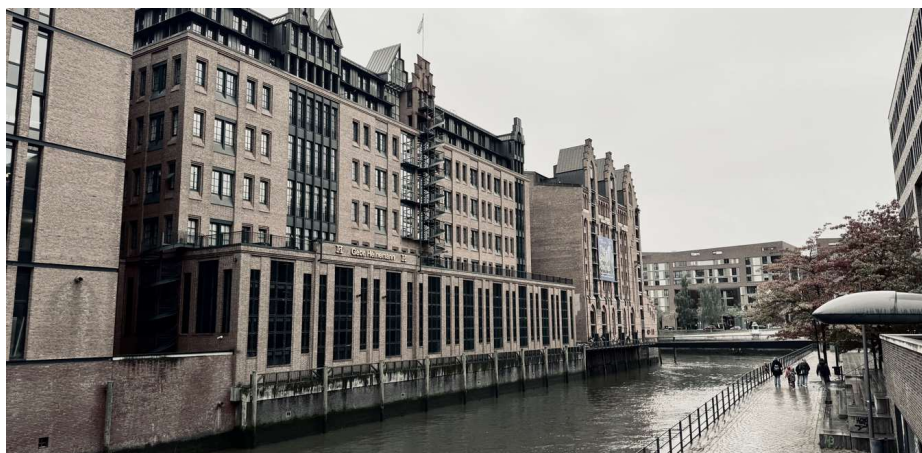
特に印象的であったのは、完全自動化を将来の目標としながらも、現段階では「人間との協働（Human-AI Teaming）」が強調されている点です。遠隔操縦センターの設計、HMI（Human Machine Interface）改善、操船者の認知負荷に関する研究など、多くの発表が、人間の判断力と AI の計算能力を組み合わせる協働モデルを前提としていました。これは、自動運航の安全性と信頼性を確保する上で、人間が引き続き重要な役割を果たすことを示していると思われます。

ICMASS 参加を通じ見えたのは、技術の高度化と人間中心の運用設計が並行して進む当面の未来像です。更に商用化に向けては、以下の多方面の取り組みが求められるものとの指摘がありました。

- 実証データに基づく評価
- 通信・データ基盤の標準化
- AI の透明性確保
- 人材育成

自動運航技術の現状と課題、完全自動化と人との協働をいかに両立させるかについての考察に触れる機会を得ることができました。

次回 ICMASS は 2026 年 4 月 22～23 日、シンガポールで開催されることが案内されました。



国際海洋博物館（ドイツ ハンブルク）前面の運河の様子



# JAMS SINGAPORE REPRESENTATIVE OFFICE

## マラッカ・シンガポール海峡における船舶航行安全確保

日本海難防止協会 シンガポール連絡事務所 所長 澤田 斉司

### 1. 「協力メカニズム」の主要会議への参加

6月末にシンガポールに来てから約半年、さすがに今回はちゃんと仕事の内容をご紹介しますと思います。前号でシンガポール連絡事務所の主要業務の2本柱に触れましたが、そのうち「①マラッカ・シンガポール海峡における船舶航行安全確保」に関し、9月末～10月頭と11月初旬に関連する会合に出席したので、その概要を記します。

両海峡における航行安全確保の枠組みやその取組に対する日本の支援の経緯などについては、ちょうど1年前の2024年冬号（No.603）で前任の石河所長が詳しく解説しているのをはじめ、これまでに幾度となく説明が為されてきたと思うので割愛します。簡単に全体枠組みを紹介すると、日本財団が両海峡への支援を開始した直後、1971年にまず沿岸三国技術専門家会合（TTEG）が設立されて、インドネシア・マレーシア・シンガポールの3カ国による連携体制ができ、航行援助施設の設置等の取組が進められました。その後2007年に、それを一段引き上げるものとして、国際海事機関（IMO）も巻き込んで「協力メカニズム」が構築され、協力フォーラム（CF）・プロジェクト調整委員会（PCC）・航行援助施設基金（ANF）委員会が開催されています。

#### （1）第16回CF・第16回PCC・第48回TTEG

9月29日（月）～10月2日（木）には、マレーシア・ペナン島のAscott Gurney Penangにおいて、年に1回開催されるイベントである、CF・PCC・TTEGの3つの会議がありました。これら一連の会議はあくまで沿岸3カ国（littoral states）が主役であり、当事務所

は“オブザーバー”の位置づけとして出席を認められています。毎年ローテーションで議長が替わる仕組みになっており、昨年はインドネシア、今年はマレーシア、そして来年はシンガポールが議長となり、それぞれ自国で開催します。

前半 2 日間（9 月 29 日・30 日）は CF と PCC が開催されました。CF はセレモニー色が強く、シンポジウム形式で、沿岸 3 カ国の挨拶に始まり、様々な参加者から、今後のマ・シ海峡における取組でこんなことをしてはどうか？ 自分たちはこういう技術・アイデアを持っている、といったようなプレゼンが多数行われます。日本からは、海上保安庁の石塚智之交通部長、マラッカ海峡協議会（MSC）の河野春彦専務が登壇し、それぞれ「VTS オペレーターの訓練プログラム」「マ・シ海峡への MSC の貢献」について発表されました。

後半 2 日間（10 月 1 日・2 日）は TTEG でしたが、議長国マレーシアの判断によりほぼクローズド（沿岸 3 カ国のみ）で開催され、我々が参加を許されたのは昨年設置された「船舶航路及び通報制度に関する WG」の、さらにその中のオープンセッション部分のみ。最後までしっかり参加するつもりで出張行程も組んで来ているのに、直前までこうした情報が出てこず、これには他の参加者も戸惑いと不満を隠せない様子でした。国際海峡の運用については、管轄権を巡る政治的な課題も絡んでくるため、沿岸 3 カ国のみで議論すべき部分もあることは理解します。ただし、マ・シ海峡については利用国・利用団体も含めた枠組みでこれまでも議論していることから、もう少しオープンにしたり、せめてもっと事前に議事次第を共有したりするなど、運営面での配慮があっただけではないかと感じました。なお、WG での議論は昨年から全く進捗していないことがよくわかりました。

ちなみに初日の夜は公式ディナーがあり、ホテルから少し離れたフォート・コンウォリス灯台のオープンエアの特設会場において、多種多様な現地料理に舌鼓を打ちました。灯台の足元での宴とはさすがマ・シ海峡の協力メカニズムだなと思ったものの、このディナーをはじめ、ホテルでの朝食・昼食のビュッフェも連日マレー料理ばかりで、公式の食事が無い日は近所の中華料理店に駆け込んだことは言うまでもありません。



<沿岸 3 カ国代表者>



<セッションの様子>





＜公式ディナーの様子＞

※ 写真はいずれもマレーシア海事局（会議事務局）より。

## （２）第 33 回 ANF 委員会

また 11 月 5 日（水）・6 日（木）には、本年 2 回目となる第 33 回 ANF 委員会が、シンガポールの Aloft Novena Singapore にて開催されました。2 日間ですが、会議自体は初日のみで簡潔に終わり、2 日目はエクスカーション（Art Science Museum）に充てられました。この委員会では、ANF への拠出額に係るアップデートのほか、本年第 2・第 3 四半期の活動報告、MSC からの監査報告、そして来年の活動プログラムや予算などが議論され、承認されます。上述した CF 等の会議とは異なり、この委員会において当事務所は、ANF への最大の拠出者である日本財団の代表として、意思決定権を有するメンバーとして参加しています。

本年 9 月末までの新たな拠出金は、インドからの 5 万米ドルのみとの報告でしたが、会議の中で、MSC、韓国、そしてウィザビー出版グループが、今後次回委員会までの間に拠出する旨を表明しました。昨年は拠出していた中国は、休憩時間に聞いた際、今年は拠出しないことになったと話していました。

各国・機関からの拠出がなかなか増えない一方で、来年も ANF から沿岸 3 カ国への支出が約 150 万米ドルと見込まれる中、より幅広い主体からより多くの拠出を継続的に募っていくことが、両海峡の航行安全を確保し続けていく上では極めて重要です。この観点から、前回委員会で当事務所より参加者及び現在の議長国・事務局であるシンガポールに対し、幅広い拠出を呼びかけるアクションを起こしてはどうかと提案したところ、本年 8 月には事務局からその旨のメールが関係者に送信されるとともに、今回の会議の中でも改めて呼びかけがありました。現時点で拠出拡大にはつながっていませんが、引き続き注視しつつ、我々としても問題提起を続けていこうと思います。

また事務局のシンガポールは基金の一部を運用し、利息を生み出す努力をしていることが資料から判明しました。その金額は半年で約 9 万米ドルであり、決して大きくはないも

の、これを続けていくことが重要であると考え、会議の中で、事務局の努力への敬意を表するとともに、今後も事務局が替わっても続けていってほしいと発言しました。

日本からは国交省海事局外航課から参加があり、マレーシアと連携した航行援助施設に関する技術ワークショップの開催のお知らせ、航行援助施設の再評価・バーチャル化に係る3カ年調査の紹介について発表がありました。

初日の夜はこちらも公式ディナーがありましたが、ホテルの美味しいフレンチでした。マレーシアでは宗教の関係上出されなかったアルコールもしっかり出てきました。それにしても、ペナン島でもあったのですが、宴席にはバンド生演奏のステージが用意されており、これは東南アジア形式ということなのでしょう・・・。



<グループフォト>



<ちゃんと会議に参加している様子>



<公式ディナーの様子>



<エキスカーションの様子>

※ 写真はいずれもシンガポール海事港湾庁（会議事務局）より。

## 2. マ・シ海峡の航行援助施設点検視察@バタム島

ANF 委員会の1週間後、11月11日（火）に、当地へ来て初めてのマ・シ海峡の航行援助施設の視察を行いました。マラッカ海峡協議会（MSC）による定期的な監査に同行させてもらう形で、今回はシンガポールからフェリーに乗って1時間以内のインドネシア・バタム島を拠点として、周辺の灯台・灯浮標などの点検の様子を見てきました。2003年に日本

財団から供与した「KN JADAYAT」に乗船し、3～4箇所の灯台・灯標・灯浮標を見て回る予定でした。

前日夜はバタム島に宿泊し、朝 8 時の出航に向けて 7 時半前には港に到着したところ、すでに乗船している MSC の担当者から「バツ・ベルハンティ灯浮標が流されたので、まずそれを回収しに行くことになった」との連絡が。シンガポール海峡の中央辺りに位置し、マ・シ海峡全体の中でも最も狭く、流れの厳しい航路に設置されたこのバツ・ベルハンティ灯浮標は、年に 4～5 回は海峡を行き交う船にぶつけられて漂流するとのこと。元々点検対象には入っていましたが、点検から回収が目的となり、また順序も最優先に変更。別の場所に設置するため船に積んでいた灯浮標（ブイ）を陸揚げし、現場に急行しました。流されているブイを発見し、船を横付け、回収して動作確認の後、元の位置に戻す予定でしたが、思いの外、潮の流れが速く、なかなか横付けできません。結局、作業するにも危険な海況であったため、一旦後回しにして、次のポイントに向かいました。

東に 2 時間ほど航海して向かったのは、インドネシア領内の ANF 対象施設としては最東端となるブラウ・ノングサ灯台です。小さな島に立っているため、KN JADAYAT から小型のボートに乗り替えて上陸。灯台は 40 メートルの高さの鉄塔で、見るからに足がすくみましたが、意を決して梯子のような階段を慎重に昇り切りました。点検は MSC の担当者と日本から派遣されている技師、そしてインドネシア運輸省海運総局（DGST）の職員数名により行われます。これまで何度も点検に携わってきた陽気なベテランもいれば、民間から転職して 2 年目の意気軒高な若手もあり、和気藹々とした雰囲気の中、組織内で知識と経験を受け継ぐ努力も感じました。点検作業が概ね完了したところで、嫌な予感が。東南アジア特有のスコールです。急いで、でも落ち着いて鉄塔を降り、屋根のあるところで少し雨宿りし、弱まったところで小舟に乗るため栈橋へ。雨は強弱を繰り返しながら止む様子がなかったため、二手に分かれて母船に戻ることにになりました。私は後発グループだったのですが、先発隊が戻った直後、雨も風も強さを増し、雷が連発するなど、本当に帰れるのかと不安が込み上げてきました。2 時間ほど待ってもスコールは去らず、ずぶ濡れ覚悟でボートに乗り込み、何とか KN JADAYAT まで戻ることができました。

最終的に灯台 1 基しか（漂流ブイの視認を含めれば 2 基）点検できませんでしたが、確実に思い出に残る、濃い一日となりました。今回の点検には、首都ジャカルタから DGST の準幹部も数名参加しており、2 時間スコールを凌いだ間も一緒にいたため、吊橋効果？で仲良くなれたことが一番の成果かもしれません。





＜出航前の集合写真＞



＜シンガポール海峡＞



＜プラウ・ノングサ灯台＞



＜バツ・ベルハンティ灯浮標（漂流中）＞



＜灯台点検の様子＞



＜船内での昼食の様子＞

### 3. Any Other Business

最後になりますが、この小見出し「Any Other Business」は、CF や TTEG、ANF 委員会などの会議のアジェンダで出てくる言葉で、そのまま「その他」を表すため、使わせていただきました。

本号のテーマが「GPS への脅威」とのことですが、何かそれに関連したことも記せればと思ったのですが、あまり思いつかず……。敢えて挙げるなら、2. で記載した点検視察の際、船の上で電波が弱くなるときに Google マップを開くと、インドネシア寄りにはいるはずなのにシンガポール沿岸にいることになっているなど、もっと精度が高まればいいなと感じたことでしょうか。。



さて、前号以降、執筆時点（11 月末）までの間に、私も家族もシンガポールの生活にだいぶ順応してきたように思います。10 月には子どもの学校の中間休みが 1 週間あったので、その機会にマレーシアのマラッカ海峡沿岸にあるリゾートを訪れました。水面上にパーム型にヴィラが連なっており、ドバイのリゾートみたい！と思って行ってみましたが、ドバイに行ったことがないため比較することもできず、とりあえずのんびりしたり水上スポーツを楽しんだりしつつ、留学時代にできたマレーシア人の友人にも再開でき、個人的には満足 of いく旅行でした。

ちなみに旅行の前日には家族で釣りへ。と言っても経験が限りなくゼロに近いので、当事務所の所長代理に手解きをお願いして、家族ぐるみで Bedok Jetty というチャンギ空港近くの波止場で 2 時間ほど楽しみました。小魚ばかりでしたが、ジャンジャン釣れるので子どもたちは大喜び！非常に日差しの強い日で、その後の旅行と併せて、肌が真っ黒に焼けてしまいました。

また 10 月後半には、「Deepavali」とか「Diwali」と呼ばれる、インドのヒンドゥー教のお祭りがあります。そのうち今年は 10 月 20 日がシンガポールにおいては祝日となり、リトル・インディアの街は多くの人で溢れていました。子どもの学校でもこのお祭りを祝うイベントがあり、インド風の衣装を着てクラスメイトとともにダンスを踊るのですが、こうした衣装を探すのもなかなかの一苦労です。同月にはハロウィンもあるため、家の中が仮装用の衣装・道具でいっぱいになってしまいました（ちょうど私自身は海外出張で、いずれも不在にしてしまい、いろいろな店を回って揃えてくれた妻には頭が上がりません）。来年は 11 月 8 日が祝日とのことです。

シンガポール環境省によれば、10－11 月は「Inter-monsoon Period」、12－2 月は「Northeast Monsoon Season」とされており、最近は午後から夕方早めの時間帯に雷鳴を伴う強烈な暴風雨に連日見舞われています。先述した灯台視察の際のスコールもこの一環と思われます。渡航前は、シンガポールは乾季と雨季の 2 シーズンだと聞いていましたが、厳密には四季とは言わないまでも季節間の移行期もあると知りました。子どもの学校の登下校も、公共交通機関で送り迎えしていたのを 10 月途中からスクールバスに切り替えたので、この天候の変化に一喜一憂する必要もなく、安心して通わせることができます。

これから年末年始を迎えますが、シンガポールに来て最初の年ということで、まだなかなか行けていない国内のスポットをこの機会に巡ろうかと考えているところです。まだほぼ計画も立てられていない状況ですが、次号ではその辺りのご紹介も盛り込めればと思っていますので、引き続きよろしくお願いします。

# JAMS TOKYO HEADQUARTERS

## 日海防だより

日本海難防止協会 東京本部 / 「海と安全」編集部

### ◆ 日海防の動き（2025 年 9 月～11 月）

8/29～9/19 マーシャル諸島共和国 小型パトロール艇 RMIS LOMOR II 他 定期整備

9/2 海技教育機構「海王丸」訪船 特別講義

9/10 海技教育機構「日本丸」訪船 特別講義

9/20～25 ミクロネシア連邦 小型パトロール艇 FSS Unity 定期整備

9/22～10/16 パラオ共和国への海上保安アドバイザー派遣（R7 年度第 4 回）

9/29～10/3 IMO ISWG/MASS 4 参加

10/5～11 パラオ共和国 小型パトロール艇 KABEKEL M'TAL 修理

10/17～25 パラオ共和国海上保安機関職員に対する機関整備研修

10/22～11/7 JICA ジブチ国沿岸警備隊能力拡充プロジェクト派遣（第 14 回）

10/24～11/2 ミクロネシア連邦海上保安機関職員に対する機関整備研修

11/9～16 ミクロネシア連邦 小型パトロール艇 FSS Unity 修理

11/11～ パラオ共和国への海上保安アドバイザー派遣（R7 年度第 5 回）

11/26・27 全国海難防止団体等連絡調整会議開催



ミクロネシア連邦 小型パトロール艇 FSS Unity

## ◆ 海技教育機構「大成丸」「海王丸」「日本丸」で特別講義を行いました



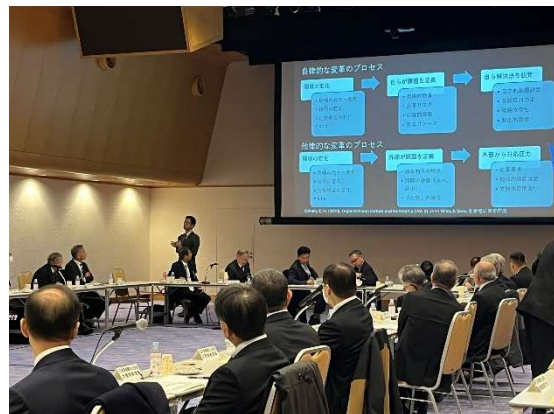
大成丸における特別講義（写真提供 独立行政法人 海技教育機構）

東京港、神戸港に停泊中の標記 3 船において、実習中の学生に対し「安全意識の重要性」（副題：事故に遭わない、起こさないために）について講義を行いました。実習当直があり、昼食を食べた直後にもかかわらず、みなさん熱心に講義を聞いてくれました。「海と安全」2024 冬号（No.603）では船員の確保について特集、日本人船員の不足について解説しました。今回講義をしたうちの 1 船は海技教育機構・海上技術学校の学生で、中学卒業とともに船乗りを目指した貴重な人材ですが、既に全員の内定が決まっているそうです。学生の中には女性も少なからずおり、船内の居住環境整備が重要であることが分かります。私の講義が彼ら彼女らにとって海上で少しでも役に立てばと思います。（企画国際部 鏡）

## ◆ 全国海難防止団体等連絡調整会議を開催しました



全体会議の様様



海上保安国際研究所 奥園副センター長による講演

11 月 27・28 日の両日、東京・平河町・海運クラブにおいて「令和 7 年度 全国海難防止団体等連絡調整会議」を開催しました。同会議は日本海事センターの補助を受け、全国の

海難防止団体、小型船安全協会などの関係者が集まり、よりの確・効果的かつ時代に見合った活動が行えるよう、海難防止の啓発・研究に関する討議を行うものです。

全体会議では、海上保安庁交通部航行安全課及び安全対策課、海上保安大学校海上保安国際研究センター奥園副センター長による講演が行われ、引き続き討議では、DX（Digital Transformation）やGX（Green Transformation）をはじめとする変革とその対応について議論が行われました。二日目は海難防止団体と小型船安全協会に分かれ、それぞれの分科会で各団体の現状と課題について議論され、活発な意見交換が行われました。

#### ◆ 編集後記

今回も多数の方にご投稿いただきました。深く感謝いたします。

GPS の脆弱性の章では GPS への妨害が「発見されないためには、なるべく微弱な電波を使用するのが有効です」という件<sup>くだり</sup>があり震撼させられました。GNSS への妨害は大掛かりなものだけでなく、気づかれないようにこっそり行われるものも恐ろしいものです。

海上衝突予防法でも「状況に適した他のすべての手段により、常時適切な見張りをしなければならない」とあります。GPS のみに頼らず、他の手段による位置の確認が重要です。

また、GPS への妨害の対策として、準天頂衛星システム「みちびき」の活用、対策機器の紹介、さらに実務面での留意事項を、実例を示しながら解説していただいております。

世界情勢は日に日に変化し、それに伴い GNSS への妨害も予期せぬ時、予期せぬ場所で行われる可能性を否定することはできません。

航海に携わっている方、船舶を運航されている方。本号が皆様の安全な航海のお役に立てれば幸いです。改めまして投稿していただいた方々にお礼申し上げますとともに、皆様が安全で良い新年がお迎えできるよう祈念いたします。

「海と安全」編集部 日本海難防止協会 企画国際部



過去の「海と安全」は 当協会ウェブサイトで公開されています。

<https://www.nikkaibo.or.jp/umitoanzen>

公開が終了した「海と安全」については下記ページからお問い合わせください。

PDF ファイルでお渡しが可能です。(利用目的についても記載してください。)

<https://www.nikkaibo.or.jp/contact>

日本海難防止協会では様々な調査・研究をおこなっています。

<https://www.nikkaibo.or.jp/>



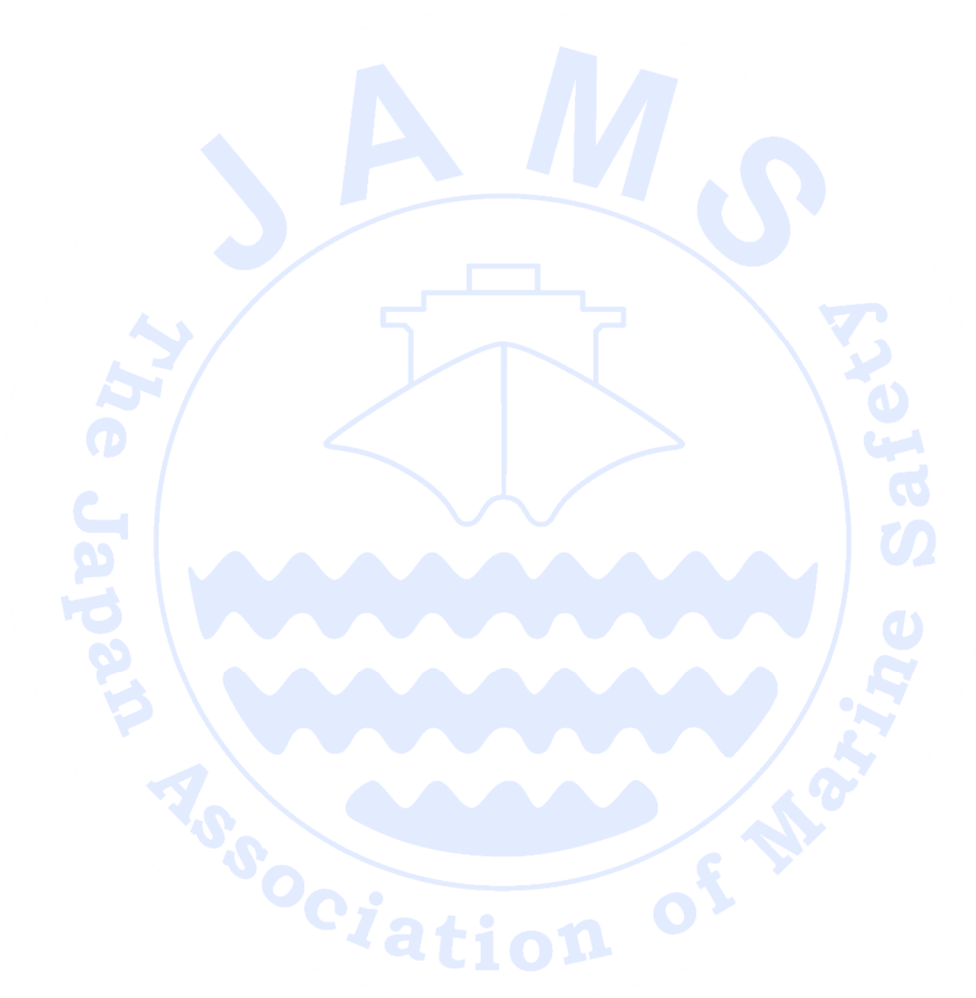
「海と安全」編集部

公益社団法人 日本海難防止協会 企画国際部

編集担当：鏡（かがみ）、星衛（ほしえ）

電話：03-5761-6080

メール：[kikakukokusai01@nikkaibo.or.jp](mailto:kikakukokusai01@nikkaibo.or.jp)



## 人と海に未来を

公益社団法人 日本海難防止協会  
海と安全 No.607 (2025 年冬号)