

ISSN 0287-6450
Denpa kōhō

ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW

電波航法

JACRAN. 56
2014



電波航法研究会 発行

Published by the Japanese Committee for Radio Aids to Navigation

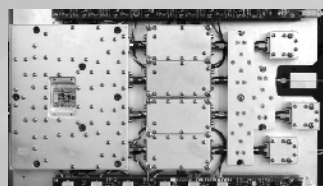
港湾・沿岸の安心安全に貢献する 東京計器のソリューション



サーバー・コンソール

レーダーシステム

最先端のマイクロ波技術で実現
14GHz帯固体化レーダー装置が登場



GaNハイパワーアンプ



カメラ装置



無線システム



AISシステム

映像、通信、無線などあらゆる情報を高次元に統合し、
多様なシステムニーズにお応えします。

東京計器株式会社

www.tokyo-keiki.co.jp/

電子システムカンパニー 海上交通部

〒144-8551 東京都大田区南蒲田2-16-46 TEL.03-3737-8630 FAX.03-3737-8669

航路標識のエキスパート“JANA”

一般財団法人 **日本航路標識協会**

航路標識に関する専門知識を有する技術集団として、国土交通省、海上保安庁、地方自治体などから委託を受け航路標識に関する調査研究及び調査設計を実施します。



〒102-0083

東京都千代田区麴町4-5

海事センタービル3F

電話：03-3230-1470

H・P：www.jana.or.jp

平成二十七年三月十七日印刷
平成二十七年三月二十日発行

電
波
航
法

電
波
航
法
研
究
会
發
行

— 目 次 —

CONTENTS

巻頭言「電波航法と最適化(Optimization)」……………**会長 長岡 栄**……(1)
Chairperson Sakae NAGAOKA

特集

「電波標識温故知新(1) ～オメガ航法システム 第1部～」……………**竹内 謹治**……(3)
Kinji TAKEUCHI
高木 雄太
Yuta TAKAGI
五十嵐 耕
Ko IGARASHI

会員投稿

「極洋レーダの研究動向の調査」……………**渡邊 康夫**……(9)
Yasuo WATANABE

講演の記録

[VTS]

「日本における VTS 業務の現状と課題」……………**竹内 謹治**……(26)
Kinji TAKEUCHI

「諸外国の VTS 事情について」……………**池田 保**……(30)
Tamotsu IKEDA

[船員教育]

「船員教育と操船シミュレータ」……………**井上 一規**……(34)
Kazuki INOUE

[鉄道制御]

「鉄道の制御のための GNSS 衛星による位置検知試験」……………**吉永 純**……(41)
Jun YOSHINAGA

特別研究会報告

「特別研究会 気象衛星センターの見学」……………**事務局**……(47)
Secretariat

臨時研究会報告

「臨時研究会 第3回次世代 AIS 国際標準化のためのワークショップ
講演及びパネルディスカッション参加報告」
……………**小野 正虎**……(51)
Masatora ONO

電波航法研究会事業報告 (平成 26 年度)……………**事務局**……(57)
Secretariat

※表紙は、対馬オメガ局(1975年-1995年運用)の画像。

電波航法と最適化 (Optimization)

電波航法研究会

会長 長岡 栄

Chairperson Sakae NAGAOKA

当会の主関心事である電波航法の技術も社会の動きとは無関係ではありません。電波技術と航行技術はともに 20 世紀に著しく進歩し、私たちにとっての地球を小さくしてくれました。それらの傑作が GPS やグラスコックピットのジェット機でしょう。これらにより高精度の測位、高速の移動が可能になりました。我が国では、今や約 4 割の人が GPS などを搭載したスマホを使い、年間 160 万人近くがジェット機で海外旅行に出ています。

ここ数年でオイルの価格は大きく変動しました。化石燃料を主エネルギー源とする現代社会は大きな影響を受けます。石油価格が高騰すると、交通・運輸の世界はコストに敏感になります。特に、一回のフライトでドラム缶数百本ほどの燃料を消費する航空機では燃費がとても重要です。運賃の設定もこれに依存します。

航空機の燃料消費量は航空機の重量、搭載重量、速度、飛行高度などにより異なります。交通機関の運行では、燃費に加え、安全性、効率、定時性、快適さ、環境への影響などを考慮する必要があります。そして社会的役割や費用対便益の効果も重要な検討課題です。こうした考慮すべき要因の中には一方を向上させると他方が損なわれるものが少なくありません。いわゆる Trade off と最適化 (Optimization) の問題です。

こうした事を体系的に扱う学問分野は古くは土木工学、交通工学などで、今日ではシステム工学を含め多くの工学の境界分野でも扱っ

ています。

まず、体系的に扱うには、目的や目標の達成程度を、安全性、効率、費用、便益など、何らかの指標で定量化することが必要です。要因を定量化した指標 (変数) からなる関数 (評価関数とよべれます) を作成し、これを最小・または最大化するように変数の値を定め計画を作ります。目標達成には、この計画値に基づきシステムを運用するということになります。

この関数は設定する目的や目標により変わります。交通機関の運行では、普通にはエネルギーのコストなどに大きく左右されます。社会の状況や運用者の方針に依存するので、モノだけを扱う場合とは大きく異なります。

こうした最適化のためには、安全性、費用など目標とする性能を数量的に表す指標とそのデータ収集が必要です。次には、そのデータを解析し変数 (通常は何らかの資源) の最適な配分が必要でしょう。さらに広い視点では、このシステムの範囲が交通ネットワークなどになります。これは大規模で複雑なシステムになります。最適化もそう容易ではないかも知れません。

電波航法の分野もこうしたシステムの考え方と無縁ではないと思われます。システムの構成要素としての装置は小型・軽量・廉価が益々求められそうに思えます。また、今後ネットワーク化が進み、運用しながら監視データを取得するようになると、膨大なデータの解析結果を運用やシステム・装置などの設計に反映できることでしょう。

電波標識温故知新(1) ～オメガ航法システム 第1部～

海上保安庁交通部整備課

竹内 謹治 高木 雄太 五十嵐 耕

1 シリーズを開始するにあたって

安全で能率的な航海には、船位が極めて重要であることから、人類はより確かな航法を求めて、古来より地文航法や天文航法などの開発を進めてきた。19世紀末に G. Marconi が無線通信実験に成功して以後は、電波の直進性、反射性及び等速性を利用した電波航法が目覚しい発展を遂げてきた。

電波航法の手段として利用されてきた我が国の電波標識については、1927年の円島無線方位信号所開設以来さまざまなシステムが運用されてきたが、現在ではその役割を終え廃止されたものも多い。しかし、その整備に携わった先人の安全への思いや技術にかけた意気に対する敬慕の念が深まることはあっても薄れることはなく、また、歴史から学ぶものは多いものと考えられる。

そこで、本誌では各種電波標識の原理や整備について、「電波標識温故知新」シリーズとして紹介する。シリーズ第1弾として本号より数回にわたり、オメガ航法システムを取り上げる。なお、本稿は、海上保安庁に保存されていた著者不詳未定稿及び同稿内の図表を元に、参考文献⁽¹⁾⁽²⁾と対照した上で、加筆・再構成したものである。当該未定稿の著者について、情報のある方からの連絡をお待ちしています。

2 オメガ

2.1 概要

オメガ航法システム (Omega Navigation System、以下オメガ) は双曲線航法システムの一つであり、10kHz から 14kHz の超長波 (VLF) を使用し、その伝播上の位相安定度が良いこと、減衰が少ないなどの特徴を利用して、わずか8局で全世界的なサービスを可能とする。

オメガの名称の由来は 1950 年代のシステム開発の初期において、10kHz は利用できる無線スペクトラムの下端 (最も長い波長) であることから、最後のギリシャ文字「Ω」がこのシステムの名前として選ばれたと言われている。

2.2 オメガ開発の歴史

オメガは、1947年に米国の J. A. Pierce が提案したもので、ロランで行っていた時間差測定方式から位相差測定方式に移行し、その開発は主として米国の海軍電子研究所によって行われ、1958年にはハワイ、ノースダコタ、トリニダード、ノルウェーの4局から実験用の電波を発射した⁽³⁾⁽⁴⁾。

その後、このシステムは本来、全世界的な航行援助システムとして開発されたものであることから、米国は局配置計画に関する各国とシステムの協力について協議を行い、その結果、日本、フランス、アルゼンチン、オーストラリアの4カ国がこのシス

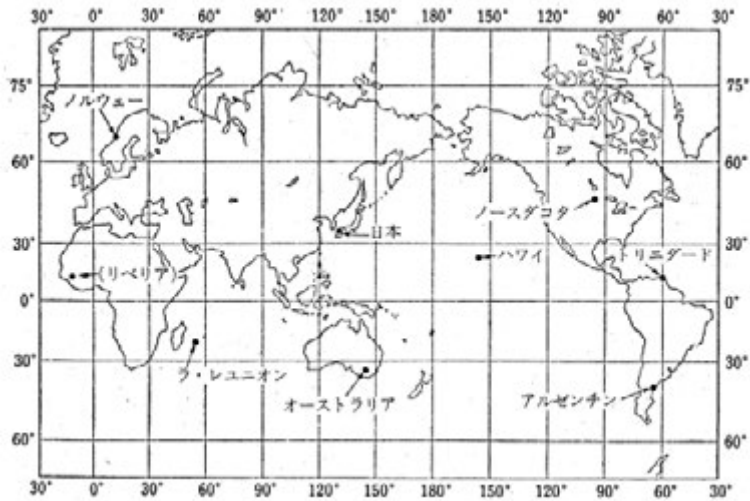


図1：オメガ局の配置(1996年当時)

テムに参加し、最終的にはノースダコタ、ハワイ、アルゼンチン、オーストラリア、ノルウェー、リベリア、ラ・レユニオン及び日本の8局で運用を開始した。オメガ局の配置図を図1に示す。

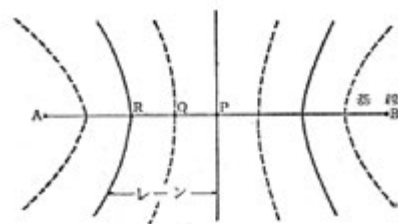


図2：レーンの形状

3 オメガの原理

3.1 位相差とレーン

オメガは、二対以上の送信局を選択し、対局毎にそれぞれの発射する電波の位相差を測定して位置の線(Line of Position: LOP)を求め、その交点から利用者の位置を知る「双曲線航法」に基づくシステムである。オメガでは、2つの送信局からの電波の位相差が等しい点を結んだ双曲線を零等位相差線と呼んでおり、近接する2つの零等位相差線に挟まれる空間をレーン(Lane)と呼んでいる。図2にレーンの形状を示す。

同図が示すとおり、レーンは基線上においては、等間隔であり、その間隔は使用電波の波長の1/2に等しい。例えば、10.2kHz

の電波を用いる場合、基線上におけるレーンの間隔は約8海里となり、13.6kHzの電波を用いる場合、基線上におけるレーンの間隔は約6海里となる。

3.2 レーン識別

2送信局間に存在するレーン数は、送信局間の基線長に比例する。従って、利用者の存在するレーンが既知でない場合、レーンの不確定性(Lane Ambiguity)が生じる。

このレーンの不確実性を解消するため、オメガでは周波数差によるレーンの識別を採用している。オメガでは、位置測定用電

波として、10.2kHz、11.33kHz 及び 13.6kHz の電波を送信していたが、レーン識別方法として、10.2kHz 及び 13.6kHz を使用した場合について、図3を用いて説明する。図3が示すとおり、10.2kHz の零等位相差線と 13.6kHz のそれは、2つの周波数差 3.4kHz の1/2波長(24海里)毎に一致する。この24海里の中には、10.2kHz のレーンが3つ存在しているが、これらの識別は3.4kHz で変動するサイクルを測定することにより可能である。即ち、10.2kHz、13.6kHz の2波の位相差測定値が、1/3 サイクル以下であれば、3つのレーンの1番目にあり、1/3 と2/3 サイクルの間ならば中央のレーンにあり、また2/3 と1サイクルの間ならば3番目にいることになる。

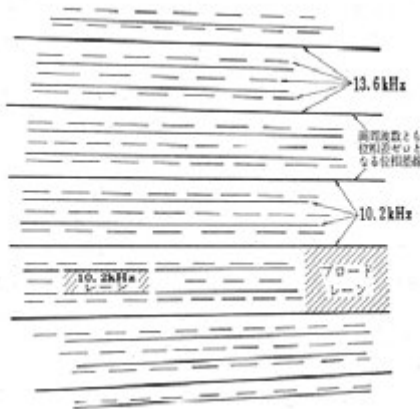


図3 レーン識別の原理 (10.2kHz と 13.6kHz によるレーン)

以上により、レーンの識別をするためには、オメガ以外の方法を用いて24海里以内の誤差で、自身の位置が分かれば十分である。オメガシステムでは、10.2kHz 及び 11.33kHz を送信していることから、天測等の方法により72海里以内の誤差で自身

の位置を知ることが出来れば、同様の原理を用いて理論上レーンの識別が可能である。

3.3 システム同期

オメガでは、他の双曲線航法と同様に、その位置の線をチャート上の一定の位置に固定するために、各局の送信電波は互いに同期していなければならない。

しかし、VLF 電波の伝搬特性により、受信位相が変化し、常時安定な同期状態の維持が不可能であるため、ロランやデッカのように従局が主局の電波に追従同期して、従局が電波を送信する方式をとることができない。したがって、各送信局ともそれぞれ個別にシステムに共通の基準時間源をもち、各局単独に運用を行う方式である独立同期方式を採用している。

この基準源として、オメガ各局はセシウムビーム周波数標準器を用いている。

3.3 オメガシグナルフォーマット

各オメガ送信局からは、図4に示すような一定の信号形式及びタイムシーケンスで電波が発射される。これをオメガシグナルフォーマットといい、このフォーマットにしたがって10.2kHz、13.6kHz、11.33kHz の3波が発射される。

各信号は、図示のとおり0.2秒の間隔において順次最小0.9秒から最大1.2秒の幅で決められたタイムシーケンスで送信され、その繰返し周期は正確に10秒となっている。また、各送信局にはAからHまでのアルファベット符号が決められており、A局はノルウェー局、B局はトリニダード局、C

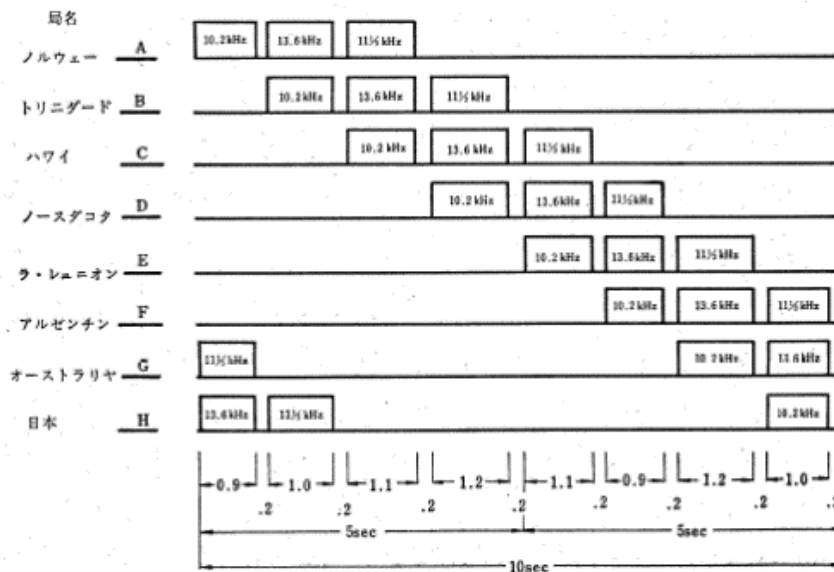


図4：オメガの送信フォーマット

局はハワイ局、わが国の対馬局はH局である。したがって、受信状態さえよければ、受信機を10.2kHzに合わせれば、A局から始まり順にB局・・・H局まで受信され、10秒毎に同じ繰返しで受信される。他の2波も図に示したように、10.2kHzの信号より1つずつずれて受信される。

なお、各局信号の時間間隔が0.2秒となっているのは、地球上のいかなる受信地点においても同一周波数による局相互の混信が生じないように考慮されたためである。

また、このフォーマットの10秒の繰返しの始まり、すなわちA局からの送信時間は、前述のとおり、セシウムビーム周波数標準器によって制御された時間系に同期していることになるので、受信地点でどの局からの信号かを識別する必要が生じた場合、この時間関係と標準電波、時報等の時刻とを対比させて、局の識別を行うこともできる。

4 オメガの特徴

オメガは、VLFの伝播特性によって送信局間の距離を5000～6000海里と極めて長く取ることができるため、ロラン及びデッカに比べ次の特徴を有する。

(1) 有効範囲が極めて広く、わずか8局で地球の殆どの地域をカバー

これは、VLFは減衰が非常に少ないため、送信局から約7000海里の長遠距離でも十分その電波を受信することは可能であることから、ロランAが200～300海里ごとに送信局を配置しなければならないのに比べ、5000～6000海里ごとに送信局を配置すればよいので、全世界に8局の送信局を配置するだけで全世界をカバーできる。

(2) 有効範囲内のどの点においても、ほぼ均一の精度で測位が可能

一般に双曲線の欠点は、基線から遠ざかるにつれて双曲線が発散し、それに従って

測位誤差が増加し、この発散の程度は基線の長さや測定者の位置によって変化する。基線の長さが短いと双曲線は発散の度合いが大きいが、オメガの場合はロランAの約20倍から25倍に基線長を長くとることが可能なため、発散度合の小さい範囲を広げることができ、かつ地球が球体であることから大体均一化されたものとなり、有効範囲の端においても双曲線間隔は基線上に比べ数10%程度増加するに過ぎない。

また、このシステムを利用するための手段として、オメガチャートとオメガ受信機が必要であるが、さらにこのほかに伝播補正表を必要とする点が他の双曲線航法と異なる点である。オメガ電波は、大地と電離層の間を導波管として伝搬する。従って、伝送路の太陽の日照や大地導電率あるいは地磁気により、受信された電波の位相は大きな影響を受ける。これらの影響を排除するため、オメガ受信機では E. R. Swanson のモデルを基にした補正表を利用していた。オメガチャートはこの状態を考慮せず全世界を同じ状態として作られているので、これらの影響は利用者が補正しなければ大きな誤差を生ずる。このため、オメガを利用する場合には、必ずこの補正表で測定値を補正しなければならなかった。

以上の結果得られるオメガの測位誤差は、昼間約±1海里、夜間約±2海里である。

5 オメガの設備

海上保安庁では、1975年より1998年まで対馬オメガ局を運用していた。本章においては、対馬オメガ局運用のための、設備等について概説する。

5.1 オメガ送信用鉄塔

オメガ送信用空中線は、傘型空中線を採用しており、その姿を図5に、空中線の電気的特性を表1に示す。鉄塔は大地の誘電性を考慮して高さ450m、直径3mの円管柱を使用しており、その頂点から周囲に16本の傘型空中線エレメントを展張し、中心部から1000mのところ引き留め、そのうち600mを長幹碍子で区切り放射部として使用していた。

中心柱の構造は直径3m、長さ7.45m、重さ約20tの円管柱68本をフランジ接合し組立てたもので、その基部は2段重ねの台碍子6組により大地から絶縁されていた。また、この中心柱は3方向6段支線により保持されている。支線は直径70~100mmの鋼索(ロックドコイル)が使用され、1本の支線には重量3.5~5tの支線碍子がそれぞれの強度に応じて取り付けられていた。

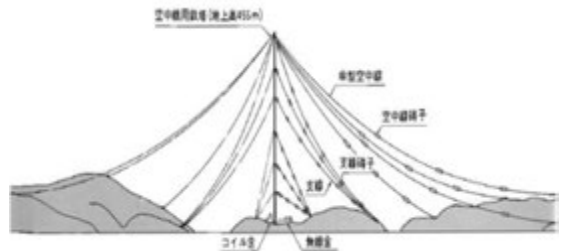


図5：オメガ送信空中線姿図

表1：オメガ送信空中線の電気的特性

項目	特性	項目	記 事
放射電力	10 kW	全抵抗	0.956 Ω
送信周波数	10.2 kHz	放射抵抗	0.0727 Ω
実効高	199.5 m	損失率	7.6%
静電容量	0.0344 μF	トップロード電	170 kV
共振周波数	41.5 kHz	周波数帯域幅	21.5 Hz

5.2 主要機器

オメガ送信局に要求される機能は、オメガシステムの基本要素である安定な位相を持った電波を、局毎に定められたシグナルフォーマットに従って、正確に発射することである。

送信局の各装置は図6に示すように、主としてタイミングアンドコントロール装置、送信装置、空中線同調装置、送信空中線及び電源装置等で構成され、このうちオメガ主装置であるタイミングアンドコントロール装置、送信装置、空中線同調装置は、米国との二国間協定により米国から貸与されたものである。



図6：オメガ送信装置系統図

5.3 その他の施設

オメガ局で発射する電波の位相を他のオメガ局のものと高い精度で同期させるため、各局の発射電波の受信位相の相対比較、あるいは他局からの情報を基に対馬オメガ局の発射信号の位相が正常に同期を保っているか監視し、オメガ監視局同期のずれが最小となるように位相制御量を算出し、送信局へ指示することを目的とし、我が国では、対馬及び伊豆大島に監視局を設置していた。さらに、オメガ監視局との間をオンラインで結び、電子計算機により各局受信電波の位相データを正確かつ迅速に解析するためにオメガシステム解析室が海上保安庁本庁

内に設置されていた。当該監視及び解析は、上記補正值の精度改善も意図されたものであり、その成果は例えば文献⁽⁵⁾で報告されている。

6 おわりに

本稿では、オメガ航法システム(オメガ)について、その原理、特徴、設備について紹介した。次号では、オメガ局建設及び廃止に至る経緯、及びそれらに係る手続きについて紹介する予定である。

謝辞

本稿の基となる資料作成にご尽力された先輩諸氏に対し、心より御礼申し上げます。

参考文献

- (1) オメガ開局 20 周年記念事業協賛会, オメガとともに. 社団法人燈光会, 1996.
- (2) 財団法人 日本航路標識協会, 改定電波標識 システムとその利用—上巻, 財団法人 日本航路標識協会, 1998.
- (3) 木村 小一(抄訳), "The OMEGA Navigation System," 電波航法研究会, 電波航法 vol.7 pp.52-58, 1966.
- (4) 清野浩, "オメガ送信局建設計画について," 電波航法研究会, 電波航法 vol.12 pp.11-17, 1971.
- (5) 海上保安庁燈台部電波標識課, "オメガモニタ局による受信データの解析結果について," 電波航法研究会, 電波航法 vol.24 pp.23-33, 1978.

極洋レーダの研究動向の調査

元日本工業大学
渡邊 康夫

1. はじめに

極洋の安全航行に果たすレーダの重要な役割は冰山及び海水等の障害物の探知識別である。このため 1980 年代中期には、北極航路の重要性への認識が高まるなか、マリンレーダの冰山探知能力の評価が行われた。1990 年代以降今日まで、極洋の科学研究と航海の安全を目的に、衛星 SAR による冰山の探知識別研究が盛んに報告されている。さらに 2010 年代に入ると、極洋の交通管制への試みを含めて、衛星搭載 AIS と衛星 SAR を組み合わせた北極海域の船舶の探知識別追尾の研究が報告されはじめた。

本調査報告では、第 2 章において、(ア) マリンレーダの冰山探知能力の報告 (1985-1986 年)、(イ) 流氷観測レーダによるオホーツク海の流氷観測の報告 (1975 年)、(ウ) 航空機探知用地上レーダによるベーリング海峡の海水観測の報告 (1977 年) 等の文献を紹介する。第 3 章においては、衛星 SAR による (ア) 冰山の偏波特性の報告 (1991-2004 年)、(イ) 冰山及び海水のポラリメトリックシグネチャーと両者の識別法 (2008-2012 年) 等の文献を紹介する。

2. マリンレーダ及び地上設置レーダによる冰山及び海水の観測

2. 1 マリンレーダによる冰山の観測

2. 1. 1 Simon Haykin の論文[1] (1985)

(1) 1981-83 年の毎春、カナダの Baffin において、レーダの対氷監視能力を改善するため、S、X 帯マリンレーダを含むレーダの冰山(iceberg)、多年氷(multiyear ice)及び1年氷(first-year ice)に対する探知能力の評価がシステムティックに行われた。レーダ周波数及び送受信偏波は S 帯 (3GHz, HH), X 帯 #1 (9.4GHz, HH), X 帯 #2 (9.4GHz, HH), X 帯 #3 (9.4GHz, HH 及び HV), Ku 帯 (16GHz, HH 及び HV, VV 及び VH), Ka 帯 (35GHz, HH 及び VV, VV 及び VH) である。

(2) 冰山、多年氷及び1年氷の正規化レーダ断面積(注:論文では normalized radar cross section を σ と記している)は、Table 1 に示すように周波数が高くなるほど増大する。同じ傾向は 1979 年の Onstott 等[2]の実験において、8.5-17.5GHz のとき、垂直入射 (10°) の σ は周波数に対して概ねニアに増大する結果が示されている。 σ の値は Ku 帯を除いて、1 年氷より多年氷の方が大きく、さらに冰山の方が大きい。

(3) 冰山、多年氷及びこれらの周囲に存在する 1 年氷の σ について、 σ_{HH} と σ_{HV} の比を示したのが Table 2 である。冰山の場合のこの比と、周囲に存在する 1 年氷の場合の比を比較すると、すなわち表中の (L/C iceberg)/(L/C surrounding first-year) の値はかなり大きい。これは送受信に同じ

Table 1. Value of σ_{HH} and σ_{VV} for Selected Targets of Iceberg, Multiyear, and Rough First-Year Ice

Band	S	X(#1)	X(#3)	Ku	Ka
Iceberg					
$\sigma_{HH}(\sigma_{VV})$	-34	-26	-25	-18 (-20)	-10 (-10)
std dev	17	10	6	13 (12)	5 (5)
# of data	5	5	5	5 (5)	4 (3)
Multiyear					
$\sigma_{HH}(\sigma_{VV})$	-54	-28	-37	-26 (-28)	-7 (-10)
std dev	8	4	3	2 (3)	2 (2)
# of data	5	5	5	5 (5)	4 (2)
First-Year					
$\sigma_{HH}(\sigma_{VV})$	-59	-39	-45	-33 (-35)	-17 (-18)
std dev	3	5	7	4 (3)	
# of data	5	12	12	12 (12)	1 (1)

Table 2. Ratio of Like-to Cross-Polarized Normalized Radar Cross Section σ_{HH}/σ_{HV} and σ_{VV}/σ_{VH} for Iceberg, Multiyear, and Rough First-Year Ice

Band	X	Ku	Ka
Iceberg			
Average $\sigma_{HH}/\sigma_{HV}(\sigma_{VV}/\sigma_{VH})$	3	6 (4)	5 (3)
Standard deviation	3	6 (6)	1 (2)
Number of data	5	4 (4)	4 (3)
Average (L/C iceberg)/(L/C surrounding first-year)	10	5 (7)	
Multiyear			
Average $\sigma_{HH}/\sigma_{HV}(\sigma_{VV}/\sigma_{VH})$	4	1 (3)	4 (2)
Standard deviation	6	3 (2)	1 (3)
Number of data	5	5 (5)	3 (2)
Average (L/C multiyear)/(L/C surrounding first-year)	6	9 (5)	
First-Year			
Average $\sigma_{HH}/\sigma_{HV}(\sigma_{VV}/\sigma_{VH})$	7	10 (8)	> 5 (> 4)*
Standard deviation	3	4 (3)	
Number of data	12	6 (6)	1 (1)

The ratio of like/cross (L/C) ratio of iceberg and multiyear ice to the L/C ratio of surrounding first-year ice indicates the increased "visibility" of iceberg and multiyear ice when using cross-polarization.

*Measurement limited by receiver MDS.

偏波を用いるより、一方にクロス偏波を用いる方が1年氷に囲まれた氷山のビジビリティを向上できることを示している。特に

Ku 帯の効果が著しい。多年氷に対しても同様に改善される。

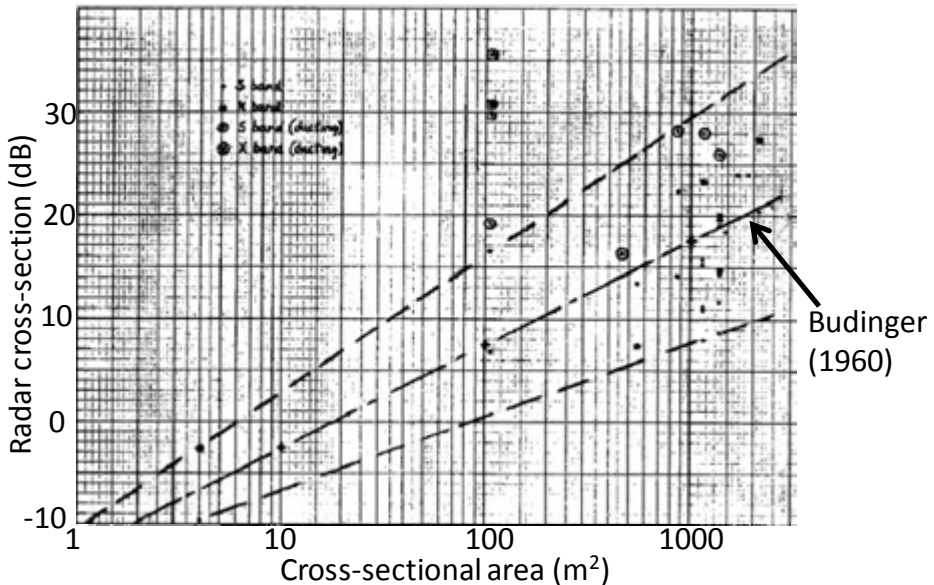


Fig.1. Radar cross-section of icebergs, as a function of cross-sectional area

2. 1. 2 Joseph P. Ryan 等の論文[3] (1985)

油田に接近する氷山の警戒のため、Ryan 等は冰山片 (bergy bits) 及び氷岩 (growlers) を主対象にマリンレーダの探知能力を評価した。フィールドテストは 1984 年 3-5 月に行われた。油井掘削プラットフォームに S 帯レーダ (3050MHz) を 2 基、X 帯レーダ (9040MHz) を 2 基設置した。観測した氷山のサイズ (L*W*H) は最小が冰山片の 2m*2m*2m, 最大が中型ドーム冰山 (medium dome) の 82m*59m*26m, 平均がミデュウム冰山 (medium) で高さ 15-45m, 全長 60-120m である。計測環境は significant wave height (SWH) 0.9-4.6m, 風速 2-43knot, 大気温度 1-7°C, 海水温度 0-4.6° であった。

観測データから得られた氷山のサイズに対するレーダ断面積のグラフが Fig. 1 であ

る。海上の異常伝搬 (surface duct) によって受信電力が異常に大きく、換算されたレーダ断面積が異常に大きいケースが数多く存在した。図の○印は異常伝搬によるものである。同図の点線は 1960 年に Budinger 等 [4]-[5] が報告した関係式による値である。この関係式では氷山の実断面積に係数 0.056 をかけるとレーダ断面積が得られる。今回の観測データの 67% は Budinger の値から 5dB 以内にあり、最大偏差は 10dB である。

このテストと評価を踏まえて、探知性能を向上するため、相関処理等の信号処理の導入、並びに、特にグレージングアングルの低いときの探知性能を改善するために、周波数の異なるレーダを 2 基以上リアルタイムで運転すること等が勧告された。

Table 3. Radar cross-sections of selected icebergs

Iceberg Class	Shape	Iceberg I.D.	Size (m) L x W x H			X-band		S-band	
						σ_0	(m ²)	σ_0	(m ²)
Small	Blocky	013	53	48	7	0.14	50	0.014	5
Small	Tabular	012	48	35	6	0.10	24	0.05	12
Medium	Blocky/wedge	008	126	65	15	0.05	72	0.012	17
Medium	Wedge	050	90	89	28	0.09	219	0.018	45
Large	Blocky	016	183	162	53	0.15	1371	0.06	549

2. 1. 3 Michael J. Harvey 等の論文 [6] (1986)

文献[6]は[3]の続報として、1985年4月に Newfoundland 北方において、MV Polar Circle に搭載された S, X 帯レーダによって大型冰山から岩氷までの 38 の冰山及び 23 の海水(sea ice)を観測した結果が報告されている。

気象条件が晴天、SWH 3m, 風速 13-kt のとき、小型の台冰山(blocky iceberg)に対する測定結果はX, S帯ともレーダ断面積は予測値に極めてよく一致した。S帯の値はX帯より 10dB 低い。この計測の場合に限らず、S帯の値はX帯よりこの程度低いことがすべてのデータについても示された。その他の冰山の結果は Table 3 に示されている。3 クラスの冰山の正規化レーダ断面積の平均値はX帯が0.1 (-10dB), S帯が0.03 (-15dB)である。

SWH (0.3-7m)及び風速がシークラッタに与える影響を定量化することも可能になった。X帯シークラッタに対する風速の影響は、SWH に比較してマイナーであることも明らかになった。

2. 2 地上設置レーダによる海水の観測

2. 2. 1 Tadashi Tabata の論文 [7] (1975)

オホーツク海は1月初めから3月末まで流氷(pack ice)に覆われる。この流氷を観測するため、1967-69年に気象レーダとほぼ同じ周波数の 5.54GHz のレーダ局が Esashi (海拔 440m), Mombetsu (同 300m), Abashiri (同 200m)の3か所に設置された。レーダは北海道大学流氷研究施設(The Sea Ice Research Laboratory)からリモートコントロールされるとともに、レーダネットワークが構築された。この結果、北海道の北から東に向かう沿岸に沿って、幅 70km 距離 250kmの海域をカバーすることができた。

Fig. 2 は 1973 年 2 月 25 日 05.20h に Mombetsu レーダによって観測された ice pattern である。右上の白色パターンは流氷で、黒色部は開放水面 (open water) または氷湖 (polynyas) である。流氷の turbulent movement は明白で、氷は海岸線に沿って南東へドリフトしている。ドリフトの平均速度は 1.7km/h で、D 点では 2.3km/h である。マーク点の速度は夫々異なり、アイスフィールドは internal

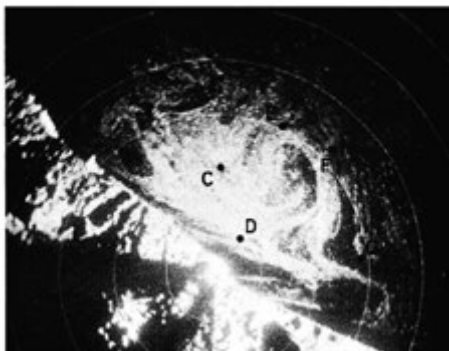


Fig.2. Pack ice distribution off Mombetsu (05. 20h, 25 February 1973). Circles are located every 5 nautical miles (9.1 km)

deformation を受けている. このように 1973-74 年に観測された流氷の運動 (movement), 分布 (distribution), 拡張 (dilatation), 変形 (deformation) 等が報告されている.

コロラド大学の Flock は文献[8]において, “海氷についての研究は航空機や衛星を用いて大規模, 広範囲に行われているが, 地上設置レーダによる観測データは殆ど報告されていない. その理由は地上設置レーダの限られた観測範囲のためである. 海氷に対する最も大規模なレーダ観測は Tabata によって行われた” と Tabata の論文を紹介した. 併せて, レーダ局の標高, 周波数, 観測範囲及び氷の観測内容等を紹介した.

2. 2. 2 Warren L. Flock の論文 [8] (1977)

ベーリング海峡に近い Tin city に米空軍の L 帯の航空機監視レーダが設置されている. このレーダには移動目標検出機能 (MTI,

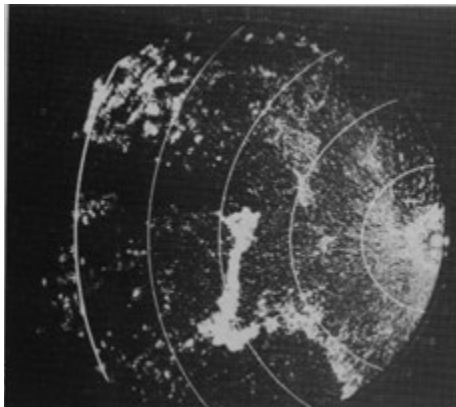


Fig.3. MTI video, off-centered display, May 17, 1975, 0850 ADT

moving target identification) 及びログビデオ (short-time-constant log video) 機能がある. MTI は開放水面及び loose pack ice の反射信号を強め, ログビデオは海面と氷の境界からの信号及び静止物標信号を強める.

Fig. 3 はオフセンター表示の MTI ビデオ画面である. 中央部の強く明るい部分は, 固い層構造になっていない unconsolidated ice か, またはレーダに向かって比較的速い速度をもつ氷である. このようにこのレーダはベーリング海峡における氷盤 (ice floes) のモーション, 海上の波, 開放水面と氷域の境界等を観測することができる.

3. 衛星 SAR による氷山の観測

3. 1 A. Laurence Gray の論文 [9] (1991)

(1) SAR 画像とゴースト

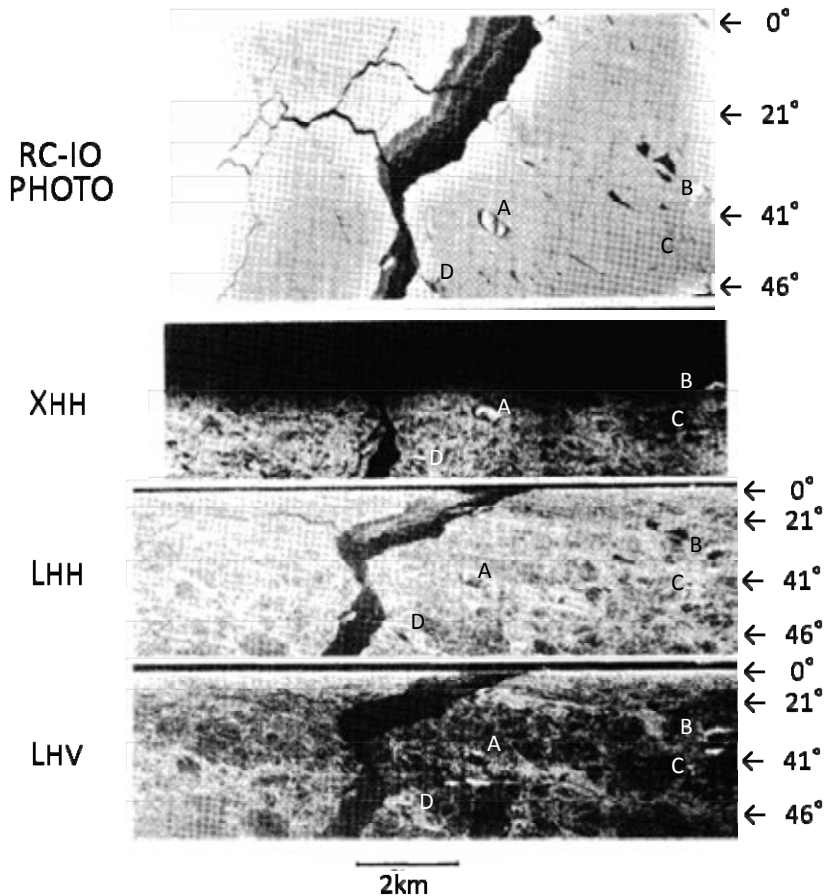


Fig.4. Coincident photography and SAR imagery of sea ice and icebergs in Baffin Bay, 19 April 1979. The large icebergs, A and B, have additional bright returns in L-band imagery, down-range from the direct, surface-scattered iceberg return. The bright delayed return is particularly clear on the L(HV) image of iceberg A and has been marked by a small white arrow. Iceberg C and D exhibit small time-delayed returns also, which are more clearly visible in the L(HV) imagery.

X/L SAR による氷山の観測において、L帯の氷山画像の背後に強いゴーストがしばしば現れる。この現象は氷山の表面で反射して戻る電波に対して、氷山内部に伝搬した電波が氷山底部の海水との境界まで進み、そこで反射して戻るトランシットタイムだ

け遅れて受信されるためである。X帯の画像にはゴーストは現れない。これらの現象と原因について報告した。

Fig. 4は1979年4月にBaffin Bayの海氷及び氷山を観測したときのSAR画像である。上からマッピングカメラ画像、SAR

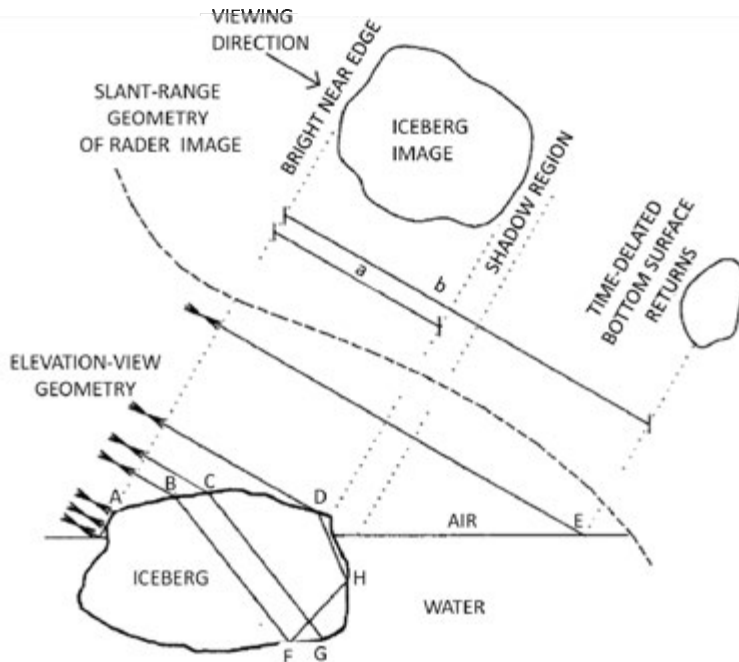


Fig. 5. The possibility of radar reflection at the bottom of far-side ice-water interface is illustrated by the ray paths to and from G and the double-bounce path BFHD. As the velocity of propagation in the iceberg is reduced by a factor of 1.8, the delayed returns for G overlap in time with the surface backscatter from point E. The positions of some of the reflections are illustrated in the adjacent stylized slant-range diagram.

X(HH), L(HH), L(HV)の画像である。いずれの画像も最上部は天頂(nadir)で、ダウンレンジは図の下方に向かっている。3枚の画像の右端に表示されているのはスワス(swath)である。冰山Aは大型のドーム型冰山(~300*600m)で、L(HH), L(HV)ともにはっきりとゴーストがダウンレンジ側に現れている。ゴーストと周辺の海氷とのコントラストはクロス偏波の方が強い。冰山Bも大型で、ゴーストが現れている。冰山Cは相当に小さく(~100m)、カメラ画像なしには探知困難であるが、ダウンレンジに明る

いゴーストが現れている。冰山Dにはゴーストは認められない。

(2) ゴーストのメカニズム

大気と氷山の境界では垂直に入射する電波の電力反射率は8%、冰山と海水の境界では49%、冰山と真水の境界では47%である[10]。従って、L, X帯とも入射電力の90%は冰山内に伝搬する。X帯電波は冰山内部において、誘電率の複素値が大きく、並びにエアバブルによる散乱によって著しく減衰する。L帯はこの反対で、減衰は殆ど

Table4. SAR BEAM MODES SUITABLE FOR ICEBERG DETECTION

SAR Beam Mode		Beam Mode Characteristics		
		Nominal Swath Coverage (km)	Incidence Angle Range (°)	Nominal Resolution (m)
RADARSAT-1 ScanSAR Narrow	SCNB	300x300	31-46	50
RADARSAT-1 Wide	W2	150x150	31-39	30
	W3	130x130	39-45	30
ENVISAT Narrow Swath	IS4	100x88	31.0-36.3	30
	IS5	100x64	35.8-39.4	30
	IS6	100x70	39.1-42.8	30
	IS7	100x56	42.5-45.2	30

無視でき氷山内部は透明に近い。

氷山の反射を Fig. 5 により説明すると、径路 BFHD 及び経路 CG の反射波にとって、径路 A の表面反射波に比べて距離は長くしかも氷山内部の伝搬速度は遅い。さらに氷山底部の海水との境界の反射は強いので、強い信号が A の表面反射波より遅れて、氷山のダウンレンジ側に現れる。これがゴーストである。氷山周辺の海氷の反射点 E は径路 CG のトランシットタイムと等しくなる位置にある。このとき、経路 CG の反射波の強度が E 点の反射波より強いと、ゴーストは背景信号より強いコントラストで現れる。

クロス偏波が生じる理由は、dihedral-type reflector には入射波の偏波の角度によって depolarization 効果があるため、氷山内部に経路 BFHD のようなダブル反射

メカニズムがあると考えられる。

3. 2 Kelly Lane 等の論文[11] (2004)

(1) 海氷の中に存在する氷山に対する衛星 SAR の探知能力を、文献[12]–[13]、RADARSAT-1/SAR 及び ENVISAT ASPAR から得られた情報を用いて評価した。Table 4 は Grand Banks の氷山に対して最大探知確率 (POD, probability of detection) を与える SAR の動作モード、スワス、分解能、及び入射角度である。

(2) Table 5 は偏波が HH、入射角度が 30–50 度のときの海氷のレーダ反射係数である。海氷の種類は多年氷 (MYI, multi-year ice)、1 年氷 (FYI, first-year ice)、Thin lead ice (TLI)、及び typical Grand Banks ice (TGI) である。

Table 5. BACKSCATTER COEFFICIENTS FOR DIFFERENT ICE CLASSES

SAR Beam Mode	Incidence Angle Range (°)	Backscatter coefficients for HH polarization (dB)
Multi-year ice	30 to 50	-10.5 to -13
First-year ice	30 to 50	-16 to -22
Thin lead ice	30 to 50	-16 to -30
Typical Grand Banks ice	30 to 50	-9.3 to -16.7

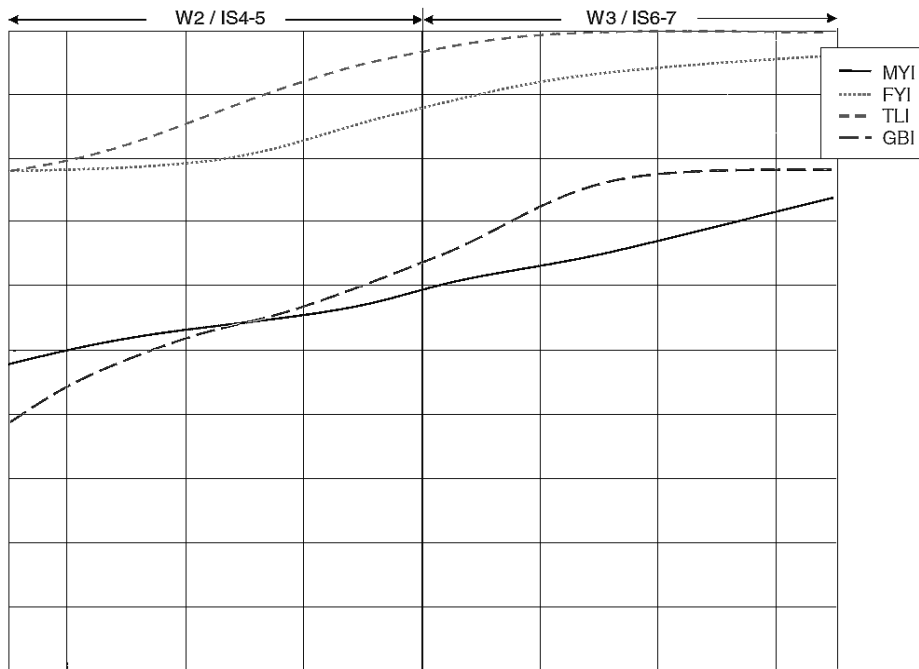


Fig. 6. Probability of detecting Medium icebergs in sea ice

(3) Table 4 及び Table 5 の値を用いて、海氷中の氷山のサイズに対する POD が求められた。氷山のサイズは International Ice Patrol iceberg designations に従って、

Small (氷山の water line が 15-60m), Medium (61-122m), Large (123-213m) と分類されている。

Fig. 6 は入射角度に対する氷山の POD で

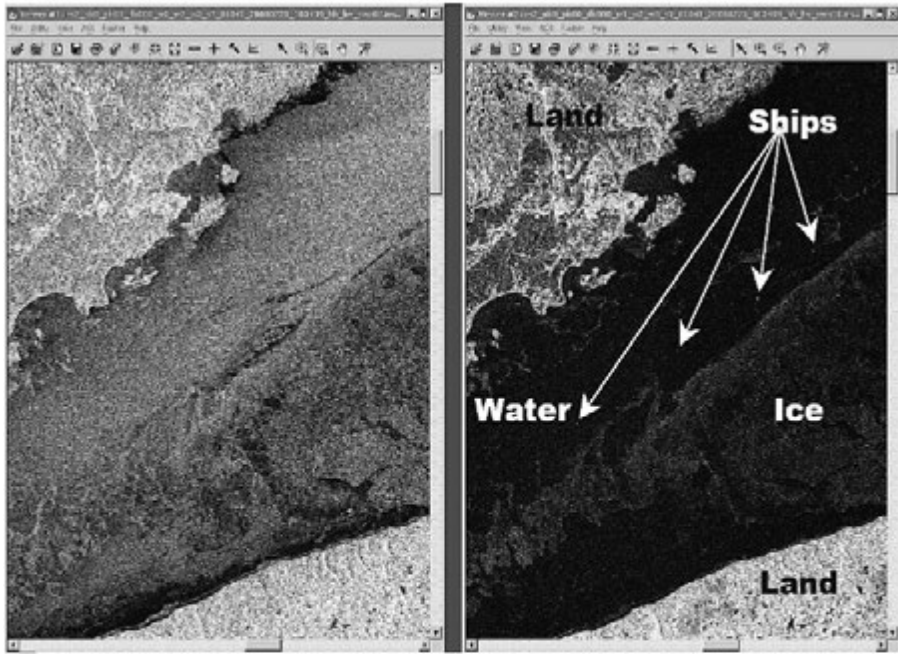


Fig. 7. Subarea of a RADARSAT-2 ScanSAR Wide HH/HV image of Jacques Cartier Strait north in the Gulf of St. Lawrence. RADARSAT-2 Data and Products ©MacDONALD, DETWILER AND ASSOCIATES LTD. (2008)–All Rights Reserved

ある。氷山の数には Small 15, Medium 23, Large 18 である。海氷の記号の MYI, FYI, TLI 及び GBI は(2)において説明したとおりである。海氷の反射波の検知レベルを決める CFAR (Constant false alarm rate) は 2.46×10^{-5} である。入射角度が $39-45^\circ$ のときの POD は垂直入射側によった $31-39^\circ$ のときより大きい。 $39-45^\circ$ の入射角度は RADARSAT-1 W3, 及び ASAR IM 及び AP モードの場合に相当する。従ってこの図は, SAR の動作モードが海氷中の氷山の探知に適していることを示している。

海氷は氷山の探知能力を低下させるが, W3/IS6-7 モードで CFAR が前述の値のとき, Medium 氷山の POD は画像内の大部分の海氷

を背景にして, 75%の値が得られている。また, (注:ここには示していないが) Large 氷山の POD は 60%で, Medium 氷山より低い値になった。この理由は Large 氷山には卓上氷山(tabular iceberg)が多かったためと考えられる。

3. 3 Dean. Flett 等の論文[14] (2008)

RADARSAT-1の後継として, 2007年に打ち上げられた RADARSAT-2 の運用試験が 2007年に始まった。RADARSAT-1/SAR は C 帯 HH 偏波であるのに対し, RADARSAT-2/SAR は同じ C 帯であるがデュアル偏波及び ScanSAR を特徴にしている。論文ではこの新しい SAR の初期評価として, 海氷に対する観測

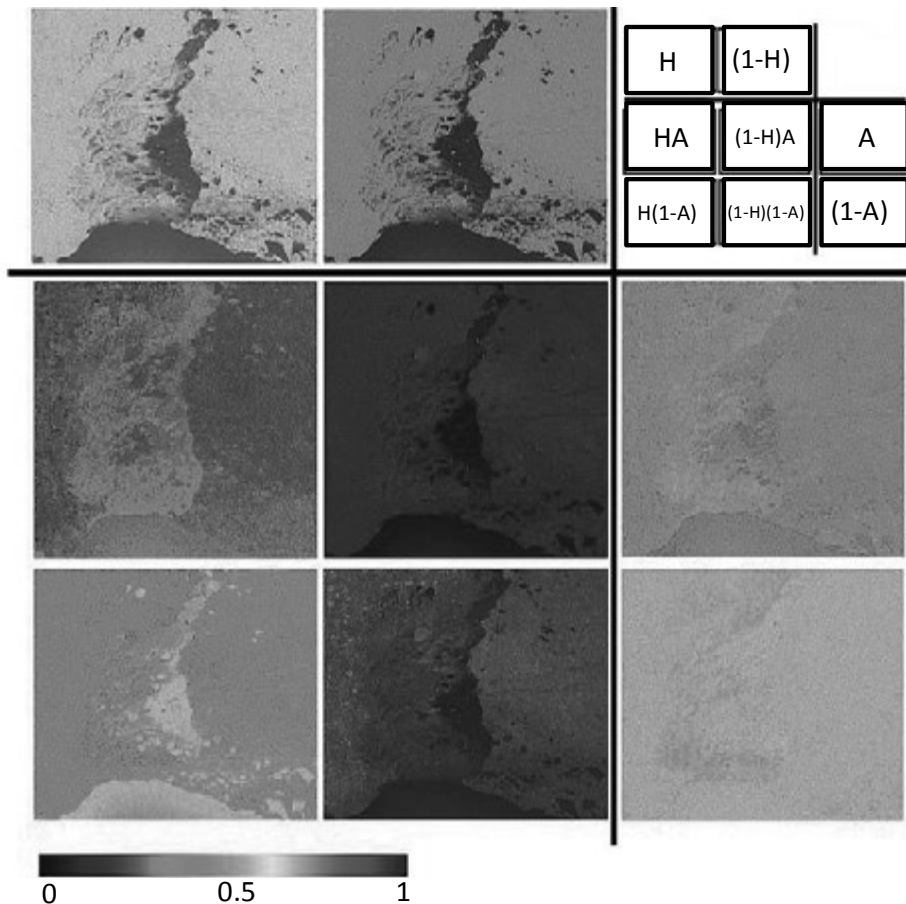


Fig. 8. Combinations between entropy and anisotropy images.

能力を RADARSAT-1 及び Envisat ASAR と比較した結果が報告されている。

デュアル偏波の氷に対する効果を示す例が Fig. 7 の、2008 年 2 月に観測された the Gulf of St. Lawrence の画像である。左図は HH 偏波のときの画像である、海面は風のために荒れて海面の反射信号レベルは氷と同程度になり、氷のエッジは明確に確認できない。右図のクロス偏波(HV)画像では、氷と海面は極めて明瞭に分離されている。さらに、船も明確に識別される(注:このサ

イズの図では識別困難である)。この結果クロス偏波は冰山に対しても、反射信号は船より小さいが有効であると期待される。

VV 偏波と VH 偏波を組み合わせるシナジー効果の例として、VV 偏波画像を赤〜緑に着色し VH 偏波画像を青に着色してオーバーレイをすると、VV 偏波では識別が極めて困難な開放水面と岸に沿って張った氷との境界が明確に識別できた。また、VV 偏波では見えなかった氷の thin streamers が認められるようになったと報告されている。

3. 4 Jin-Woo Kim 等の論文[15] (2011)

(1) 冰山探知に有効な方法を探るため、RADARSAT-2/SAR (C 帯)によって観測された西南極のWilkinson 氷河海域のデータに既存のポラリメトリックディコンポジションを適用すると、開放水面、海氷及び氷山の識別に良好な結果が得られた。しかし冰山の中には、海氷に分類されるものも多かった。新しい試みとして、各種のポラリメトリックディコンポジションを組み合わせてポラリメトリックパラメータを抽出し、有望なパラメータを見出すことができた。

(2) 前処理の段階で、SAR 画像の中の物標を冰山 (IB)、冰山に分類されない冰山 (unclassified iceberg, DIB)、及び海氷 (SI) に分類する。これらに対してまず、Freeman-Durden decomposition [16]を適用して体積散乱、表面散乱及びダブル反射散乱の3モデルへのフィッティングを調べたところ、IB は体積散乱が支配的で、DIB 及び SI では体積散乱及び表面散乱は同程度で、ダブル反射散乱波は最も弱かった。このように、Freeman-Durden decomposition だけではDIB を冰山として分類することは困難である結果が得られた。

(3) 次に、冰山、DIB 及び SI に対する H/A/alpha polarimetric decomposition [17]-[19]のエントロピー及びアルファ α の分布を調べたところ、冰山は体積散乱領域に分布し、DIB 及び海氷は表面散乱領域に分布した。このようにDIB を冰山として分類する機能は(2)項の場合と同程度である結果が得られた。

これに加えて unsupervised Wishart

H/A/alpha classification を行ったところ、(1)、(2)と同様の結果になった。

(4) 最後に、H/A/alpha polarimetric decomposition のエントロピーと異方性を組み合わせて様々なポラリメトリックパラメータを抽出し、冰山、DIB 及び海氷に対するこれらの平均値を調べた。

Fig. 8 はエントロピーと異方性のパラメータを組み合わせたときの画像である。Fig. 9 は [1-H] [1-A] パラメータの分布で、表面散乱は海氷の場合に高く、冰山及び DIB の場合は低いことを示している。これより、これらのパラメータと他のポラリメトリックディコンポジションを組み合わせると、冰山の探知に有効なアルゴリズムが期待される結果が得られた。

3. 5 Wolfgang Dierking 等の論文[20] (2014)

(1) Kim 等[15]の論文において、大部分の氷山のレーダシングネチャーは体積散乱が支配的であること、このとき冰山は海氷及び開放水面とよく識別できること、しかし氷山のシングネチャーには海氷に似たケースが多いこと等が報告された。これを踏まえて、著者は西南極の二か所のサイトにおいて RADARSAT-2/SAR (C 帯)により観測された、Kim 等と同じテストサイトも含まれる画像を分析した。

(2) 冰山に対するクロス偏波 HV 及び VH の反射係数は共に大きく、また両者の相関係数は低く、depolarization 効果があることを示した。

(3) エントロピー及びアルファ角は大きく、

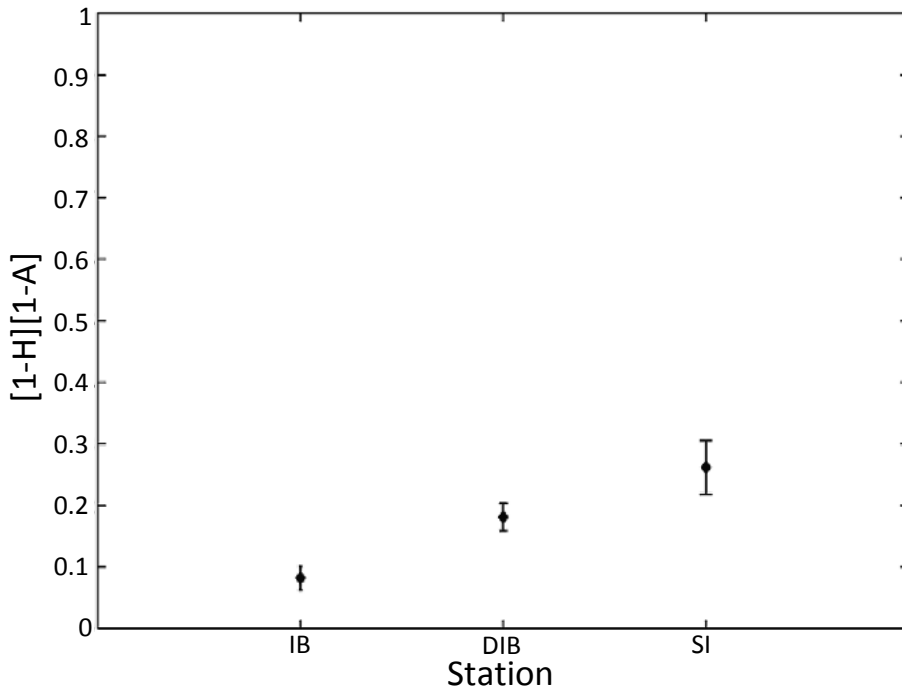


Fig. 9. Mean and standard deviation of $(1-H)/(1-A)$ estimated in the each test sites.

体積散乱が支配的であることを示した。

(4) 氷山の上層部には概ね 40-60m の層の万年雪(firn)が形成されている。この中の氷粒(ice grain)は隣接する氷粒との隙間に空気を満たした状態で互いに繋がっていて、幾つものシーズンを経て溶解と累積が重なるうちにこの繋がりが層となり、エアバブルがトラップされた誘電率の不連続層が形成される。万年雪のC帯電波の吸収ロス及び散乱ロスは、エアバブルが高密度に存在する場合の散乱波の干渉を考慮すると、夫々5-20dB、1-6dBである。このためC帯電波の浸透距離は3-14mであり、この距離内のエアバブルやクラック等が体積散乱の散乱体になる。氷山がターンオーバーして

表面が濡れると、誘電率は高くなって表面散乱が大きくなり、体積散乱は減少する。

また、50mを越す氷山の場合、電波は減衰して底部の海水との境界まで到達できず、Gray[9]が報告した false (注:Grayの論文では”ghost”)は生じない。実際にも観測されなかった。

(5) HH 偏波と VV 偏波の信号の間に位相差が観測された。これは万年雪にかかる圧縮力等により、細長い氷粒のアライメントが形成された結果、万年雪に誘電率異方性が生じ、このため HH 偏波と VV 偏波の伝搬速度に違いが生じたためと考えられる。

(6) 大部分の氷山は反射係数の大きさか

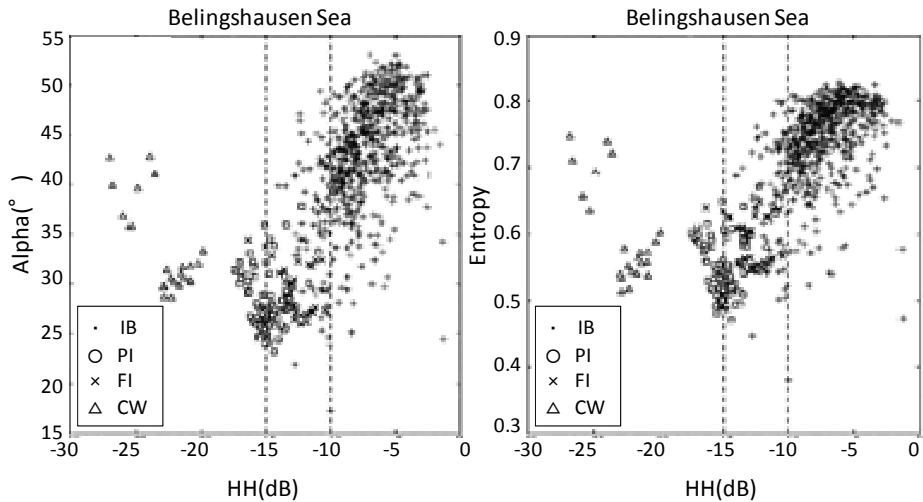


Fig. 10. Polarimetric parameters versus σ_{HH}^0 for the Bellingshausen Sea. For signatures of open water (OW), the influence of noise is large (see text). IB-iceberg, PI-pack ice, FI-fragmented pack ice.

ら周囲の海氷と識別できる。ポラリメトリのアルファ角及びエントロピーの値においても同様である。しかしながら冰山と海氷のこれらのパラメータがオーバーラップするケースが文献[21]と同様に数多く観測された。Fig. 10はHH偏波の反射電力に対するアルファ角及びエントロピーの分布である。IBは冰山、PIは海氷(pack ice)、FIはpack iceの断片、OWは開放水面である。冰山のパラメータが他のパラメータと重なる範囲は、HH偏波の反射電力が-15dBと-10dBの範囲である。海氷に似たシグネチャーを示す冰山はターンオーバーしたためであると考えられる。

この研究の段階では、冰山探知の運用への観点から見れば、ポラリメトリ分析による顕著な利点は示されなかった。しかしながら、ポラリメトリ分析は散乱メカニズムを推定する上で紛れもなく有効な方法と考

えられるため、今後はより多くの条件下でより多くのデータを収集してポラリメトリパラメータの校正を行うことが求められる。

論文の著者は2014年にこの論文の冰山の識別法を用いて、氷河から切り離された冰山が海洋をドリフトする状況をモニタした結果を報告した[22]。

3.6 Armando Marino の論文 [23] (2012)

海面と冰山の散乱波のポラリメトリック特性の違いを利用して、海面反射波を排除してそれ以外の冰山等を探知するノッチフィルタを文献[24]に基づいて示し、フィルタの効果を実データに適用して検証した。

Fig. 11(a)はTerraSAR-X quad-polによって観測されたカナダのNorthwest

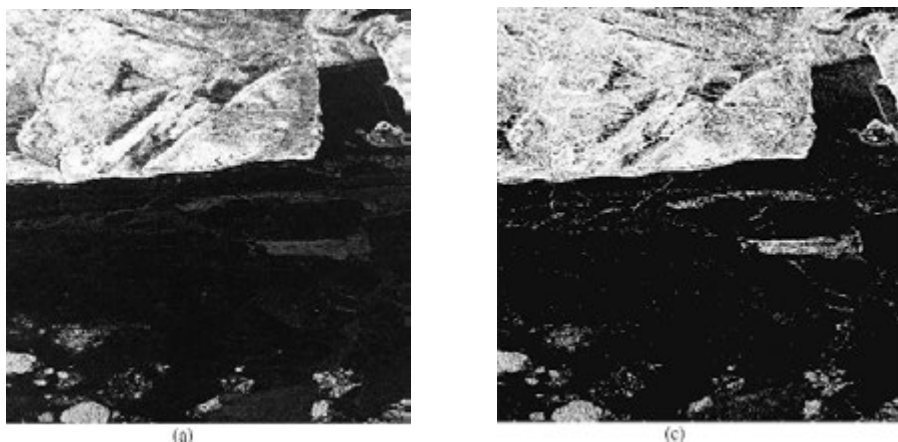


Fig. 11. Test over quad polarimetric TerraSAR-X data (DRA campaign 2010) : Canada, Northwest Passages. 4th May 2011. (a) Pauli RGB; (c) Notch filter over entire dataset.

Passages のシーンで、Pauli RGB で表示されている。図の上部(南)は陸である。下部は水域で海氷が見える。最下部には厚い氷または断片化した氷山が見える。Fig. 11(c) はdetection maskを詳細に観察できるように、抽出されたイメージは Pauli RGB 表示にされている。背景の海氷に対して、ポラリメトリック特性が異なる数多くのイメージが抽出されたことが示されている。

ノッチフィルタは理論的に、背景の海氷と異なるポラリメトリックレスポンスをもつイメージを識別できる。このため、厚い氷や氷山のエリアであるところを断定できる海域を識別することができる。今後は多くのデータセットを対象に、グランドトゥールースとの関連性も計測して、研究することが求められる。

4. おわりに

極洋レーダに関する研究動向の調査として、海外の学術文献の中から、今回はマリオンレーダの氷山探知能力の評価、地上設

置マイクロ波レーダの海氷観測、及び衛星 SAR の氷山探知識別をテーマにした論文を収集して概要を報告した。

今後もこれらの進展に注意しつつ、さらに衛星搭載 AIS と衛星 SAR を組み合わせた船舶及び氷山の探知識別追尾等の新しい動向について調査を行う。

参考文献

- [1] S. Haykin, C. W. Brian, E. O. Lewis, and K. A. Nickerson, "Surface-based radar imaging of sea ice," Proc. IEEE, vol. 73, no. 2, pp. 233-251, Feb. 1985.
- [2] R. G. Onstott, R. K. Moor, and W. F. Weeks, "Surface-based scatterometer results of Arctic sea ice," IEEE Trans. Geosc. Electronics, vol. GE-17, no. 3, pp.78-85, July, 1979.
- [3] J. P. Ryan, M. Harvey, and A. Kent, "Assessment of marine radars for the detection of ice and iceberg," Environmental Studies Revolving Funds (ESRF) Report No. 008, Aug. 1985.
- [4] T. F. Budinger, "Ice berg detection by radar," Proc. Merchant Marine Council,

- vol. 17, no. 9, pp. 152-156, Sept. 1960, US Coast Guard CG-129.
- [5] T. F. Budinger, R. P. Dinsmore, P. A. Morittle, and F. M. Soule, "Iceberg detection by radar," *Int. Ice Patrol Bulletin*, no. 45, United States Coast Guard, 1960.
- [6] M. J. Harvey and J. P. Ryan, "Further studies on the assessment of marine radars for the detection of iceberg," *Environmental Studies Revolving Funds (ESRF) Report No. 035*, June 1986.
- [7] T. Tabata, "Sea-ice reconnaissance by radar," *J. Glaciology*, vol. 15, no. 73, pp. 215-223, 1975.
- [8] W. L. Flock, "Monitoring open water and sea ice in the Bering Strait by radar," *IEEE Trans. Geosc. Electronics*, vol. GE-15, no. 4, pp. 196-202, Oct. 1977.
- [9] A. L. Gray and L. D. Arsenault, "Time-delayed reflections in L-band synthetic aperture radar imagery of icebergs," *IEEE Trans. Geosc. Remote Sens.*, vol. 29, no. 2, pp. 284-291, March 1991.
- [10] F. T. Ulaby, R. K. Moor, and A. K. Fung, *Microwave Remote Sensing, Active and Passive*. Norwood, M. A.: Arctech, 1986. Vol. 2, ch. 12.
- [11] K. Lane, D. Power, J. Youden, C. Randell, and D. Flett, "Validation of synthetic aperture radar for iceberg detection in sea ice," *IEEE Int. Geosc. Remote Sens. Symp (IGARSS 2004)*, 125-128, 2004.
- [12] D. Power, J. Youden, K. Lane, C. Randell, and D. Flett, "Iceberg detection capabilities of RADARSAT synthetic aperture radar," *Canadian J. Remote Sens.*, vol. 27, no. 5, pp. 476-487, 2001.
- [13] K. Lane, D. Power, I. Chakraborty, J. Youde, and C. Randell, "RADARSAT-1 synthetic aperture radar iceberg detection performance ADRO-2 A223," *IEEE Int. Geosc. Remote Sens. Symp (IGARSS 2002)*, vol. 4, 2273-2275, 2002.
- [14] D. Flett, R. de Abreu, M. Arkett, and M-F. Gauthier, "Initial evaluation of Radarsat-2 for operational sea ice monitoring," *IEEE Int. Geosc. Remote Sens. Symp. (IGARSS 2008)*, I-9 – I-12, 2008.
- [15] J-W Kim, D-J Kim, S-H Kim, and B-J Hwang, "Iceberg detection using full-polarimetric RADARSAT-2 SAR data in West Antarctica," *3rd Int. Asia-Pacific Conf. on Synthetic Aperture Radar (APSAR) 2011*, pp. 1-4, 2011.
- [16] Freeman and S. L. Durden, "A three-component scattering model for polarimetric SAR data," *IEEE Trans. Geosc. Remote Sens.*, vol. 36, no. 3, pp. 963-973, May 1998.
- [17] J.S. Lee, M.R. Grunes, and R. Kwok, "Classification of multi-look polarimetric SAR imagery based on the complex Wishart distribution," *Int. Journal of Remote Sensing*, vol. 15, no. 11, pp. 2292-2311, 1994.
- [18] S. R. Cloude and E. Pottier, "An entropy based classification scheme for land applications of polarimetric SAR," *IEEE Trans. Geosc. Remote Sens.*, vol.35, no.1, pp. 68-78, Jan. 1997.
- [19] L. Ferro-Famil, E. Pottier, and J-S. Lee, "Unsupervised classification of multifrequency and fully polarimetric SAR images based on the H/A/Alpha-Wishart Classifier," *IEEE Trans. Geosc. Remote Sens.*, vol. 39, no. 11, pp. 2332-2342, Nov. 2001.
- [20] W. Dierking and C. Wesche, "C-band radar polarimetry – Useful for detection of icebergs in sea ice?" *IEEE Trans. Geosc. Remote Sens.*, vol. 52, no. 1, pp. 25-37, Jan. 2014.
- [21] C. Wesche and W.ng Dierking, "Iceberg signatures and detection in SAR images in two test regions of the Weddell Sea, Antarctica," *J. Glaciology*, vol. 58,

no.208, pp. 325-339, 2012.

[22] C. Wesche and W. Dierking, "From ice shelves to icebergs: Classification of calving fronts, iceberg monitoring and drift simulation," IEEE Int. Geosc. Remote Sens. Symp. (IGARSS) 2014, pp. 274-277, July 2014.

[23] A. Marino and I. Hajnsek, "Iceberg detection with TerraSAR-X data using a polarimetric notch filter," IEEE Int. Geosc. Remote Sens. (IGARSS) 2012, pp. 3273-3275, July 2012.

[24] A. Marino, S. R. Cloude, and I. H. Woodhouse, "Detecting depolarizing targets using a new geometrical perturbation filter," IEEE Trans. Geosc. Remote Sens., vol. 50, no. 10, pp. 3787-3799, Oct. 2012.

日本における VTS 業務の現状と課題

海上保安庁交通部整備課
竹内 謹治

1 はじめに

海上保安庁では、船舶がふくそうする海域における船舶交通の安全及び運航能率の増進を目的に、全国7箇所に海上交通センターを設置し、VTS(Vessel Traffic Service)業務を行っている。

本稿では、日本におけるVTS業務の現状として、海上交通センターの現状及び関連する海上交通安全施策について概説するとともに、東日本大震災を踏まえた課題、さらにはその解決方法として計画している東京湾内の管制一元化について述べる。

2 VTS業務の現状と課題

2.1 海上交通センター

日本においては、海上保安庁が海上交通センターにおいて、VTS業務を行っている。海上保安庁では、船舶交通がふくそうする東京湾、伊勢湾、瀬戸内海及び関門海峡には、船舶交通の安全と運航能率の増進を目的に、情報提供等を効率的に行うため海上交通センターを図1のとおり配置している⁽¹⁾。

海上交通センターでは、レーダ、AIS、気象観測装置等によって得られる航行船舶の動静、気象現況等の情報に加え、海難や航行安全に関する情報、航路しょう戒に従事する巡視船艇からの情報、さらに海上交通安全法(昭和47年法律第115号)等に基づく巨大船の航路通報等を収集し、そのデー



図1 海上交通センターの配置⁽¹⁾

タを基に危険防止のための情報提供や勧告・指示、海上交通に関する情報提供や大型船舶の航路入航間隔の調整等を行っている。

2.2 海上交通センターの機能強化

我が国においては、1974年の海上における人命の安全のための国際条約(SOLAS条約)の改正を受け、平成20年7月に一定総トン数以上の船舶へのAISの搭載義務化を完了した。これにより、AIS搭載船舶が発信するAIS情報から航行船舶の船名把握が可能となり、海上交通センターの運用管制官が行うVHF無線電話を用いて船舶を個別

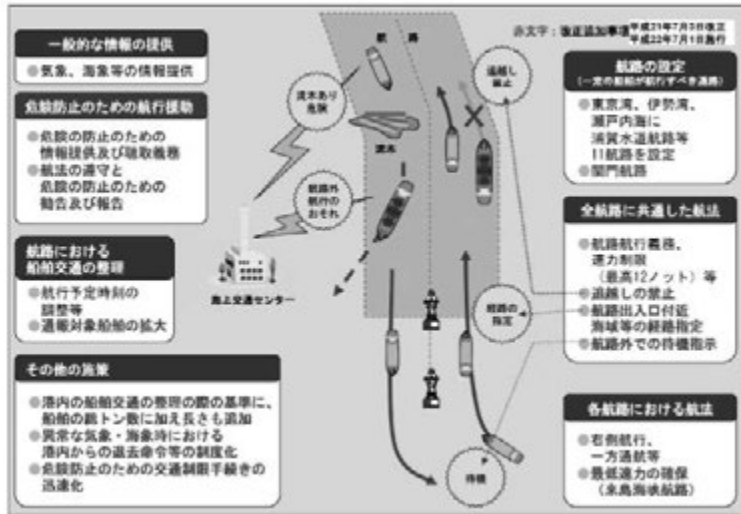


図2 港則法及び海上交通安全法の一部を改正する法律の概要図⁽⁴⁾

に呼び出すことが容易になった。

このような状況を踏まえ、船舶交通の安全を図ることを目的とし、海域の特性に応じた新たな航法の設定、船舶の航行を援助するための措置の新設等について定めた「港則法及び海上交通安全法の一部を改正する法律」が平成22年7月に施行された。同法律の概要を図2に示す。同図が示すように、この法律改正により、操船不適切な船舶に対して運用管制官が個別に航法指示や勧告等を行えるよう、その権限が強化された。また、VHF無線電話等の二重化整備を行うことにより、運用管制官が講ずる措置の実効性の強化を図った。

図3に、ふくそう海域における船舶の衝突・乗り上げ事故の推移を示す。同図が示すとおり、前記法改正後において、対象海域における船舶事故数の顕著な減少が分かる。

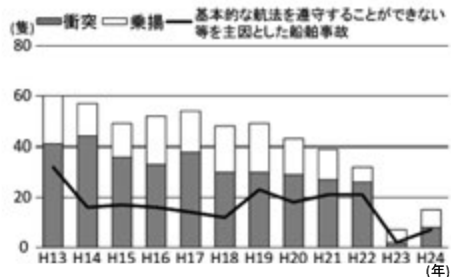


図3 ふくそう海域における衝突・乗揚事故隻数の推移⁽⁴⁾を基に作成

2.3 新たな課題

2.2で述べたとおり、港則法及び海上交通安全法の改正はふくそう海域における船舶事故の減少に大きく寄与している一方、新たな課題も顕在化している。

平成23年3月11日に発生した東日本大震災の発生直後には、東京湾において、各港内から一斉に避難した船舶が湾内に滞留し、図4のとおり約400隻の避泊船舶が密集した⁽²⁾。今後予想される南海トラフ巨大地震

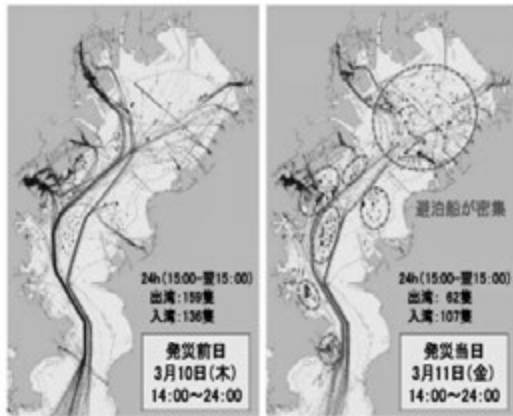


図4 東日本大震災発生前後における東京湾内の船舶の様子⁽²⁾

震等の発生時には、東日本大震災と同様に湾内の混雑及びそれに伴う船舶の衝突が予想されることから、避難船舶の情報の錯綜を避け、的確に情報提供を実施する必要がある。

3 VTS業務の課題解決に向けて

3.1 一元的な海上交通管制

前章における課題を解決し、加えて、平時においても物流の一層の効率化の実現・東京湾の国際競争力の強化に貢献するため、海上保安庁では、平成29年度までに、東京湾内の4つの港内交通管制室と東京湾海上交通センターを統合し、これらの業務を一元的に実施する体制を構築する予定である。

図5に、当該体制構築後に地震・津波等大規模災害が発生した場合の情報提供イメージを示す。同図が示すとおり、情報提供の実施にあつては、AISメッセージ21による仮想航路標識⁽³⁾を用いて、避難経路や



図5 東京湾管制一元化後に大規模自然災害が起きた場合の情報提供のイメージ⁽⁴⁾

沈没船海域、緊急確保航路の啓開作業区域などを明示することとしている⁽⁴⁾。

3.2 一元的な海上交通管制に伴う新たな技術の導入

海上保安庁では、一元的な海上交通管制の構築に伴い、海上交通センターへの新技術の導入も計画している。本節では、それら技術として、固体化レーダ及び船舶動態予測について概説する。

3.2.1 固体化レーダ

固体化レーダは発振素子に半導体を利用したレーダであり、マグネトロンレーダと比較し、精密な波形のコントロールが可能であることが知られている。

海上保安庁では、VTS運用能力の改善及びITU-R勧告⁽⁵⁾によるスプリアス規制への適合を目的とし、平成25年3月に、Kuバンド固体化レーダの初号機を東京湾海上交通センターの海ほたるレーダー局に導入

した⁽⁶⁾。導入したレーダではマグネトロンレーダと同等の探知距離性能を得るため、パルス圧縮及びパルスドップラー処理を行っている。

固体化レーダの導入により、以下の点においてVTS運用能力が改善された。

- ・探知性能の向上
- ・不要発射エコー抑圧性能の向上
- ・スプリアスの低減(図6)
- ・ランニングコストの軽減

3. 2. 2 船舶動態予測

海上保安庁では、海上交通センター等において受信した膨大なAISデータを保有している。当該データを統計的に処理することにより、船舶事故の蓋然性が高い船舶をリアルタイムに検出する技術の開発を統計数理研究所等と実施している⁽⁷⁾。

4 まとめ

本稿では、日本におけるVTS業務の現状として、海上交通センターの概要及び今後の展開として、東京湾における管制の一元化について、情報提供および新技術を中心に述べた。

参考文献

- (1) 海上保安庁, *海上保安レポート 2014*, 2014.
- (2) 交通政策審議会港湾分科会防災部会, "港湾における地震・津波対策のあり方(答申)," 2012.6.
- (3) Rec. ITU-R Recommendation M.1371-5, "Technical characteristics for an automatic identification

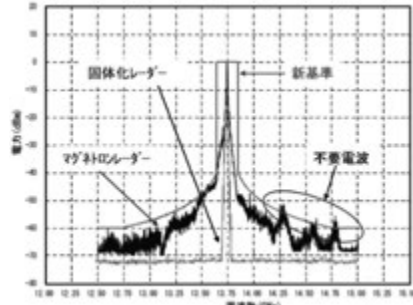


図6 マグネトロンレーダ及び固体化レーダによるスペクトラムの比較⁽⁶⁾

system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band," 2014.2.

- (4) 交通政策審議会海事分科会, "船舶交通の安全・安心をめざした取組み(答申)," 2013.10.
- (5) Rec. ITU-R Recommendation M.1177-3, "Techniques for measurement of unwanted emissions of radar systems," 2003.6.
- (6) 五十嵐耕, 田中宏明, 田中一幸, 佐々木正博, "Ku バンド固体化レーダーの導入によるVTS運用能力の改善," 航海学会, 航法システム研究会平成26年度秋季研究会予稿 2014.
- (7) 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構, "船舶動静データのプロアクティブモデル構築に関する調査・研究報告書," 2014.3.

諸外国のVTS事情について

一般財団法人日本航路標識協会
池田 保

1. 旧暦明治2年1月1日観音崎灯台点灯 (西暦1869年2月11日)

我が国の灯台発展に功績のあったイギリス人技師ブラントンは瀬戸内海の灯台建設のための調査航海の後、次のように述べている。

瀬戸内海は長さ250マイル、幅50マイルの内海で数千の島が散在し、船舶はその間の特定海峡を航行する。したがって、闇夜の航海を容易にするため、到る所に灯台を設置することは、大事業であり、またこの効用にも疑問があると判断される。したがって船舶は、夜間は錨泊地まで灯台を目標に航海し、航路の難所は夜明けを待って通航することにすれば数基の灯台でもこれが可能である。私の提案した灯台は、次の主旨に基づく。

- ① 岬の地形が、まぎれがなく、かつ暗礁等の危険のないところは設置しない。
- ② 夜間航行困難、また危険な海峡では夜明けを待つ安全な錨泊地までの航海に必要な灯台を設ける。このときは、出来る限り夜間に海峡通過できるよう灯台を設けることも併せ考える。
- ③ 灯台を設置すれば通航の容易にできる海峡や多数の島の間で船位確認の困難場所には灯台を設ける。

以上に基ついて私は、神戸、大阪付近および内海の灯台建設位置を予定し、これを各方面の海事権威者にはかったところ大多

数の賛成を得た。
(日本燈台史より)

大航海時代から第二次大戦まで航海は昼間が常識で、荒天時には安全な海域に避泊するため、航海には時間が必要とされていた。

2. 世界で最初のVTSは?

1948年イギリスとアイルランドに囲まれるアイリッシュ海マン島のダグラス港において悪天候時の入出港支援、船舶輻輳時の入出港をスムーズに行うため、世界で初めて、レーダによる監視と通信による支援を伴う港湾監視レーダ局の運用が開始された。

同年リバプール港、ロッテルダム港でも同様の試験が開始され1950年代にはヨーロッパにおいて、ロッテルダム港、アムステルダム港等主要港湾で通信による情報提供を行う港湾監視レーダサービスの運用が開始されました。

第二次世界大戦時のレーダ技術の進歩が航海の24時間化の後押しとなってきた。

3. エクソンバルディーズ号原油流出事故

エクソンバルディーズ号はアラスカ州のバルディーズ石油ターミナルを1989年3月23日午後9時12分に出発し、約5300万ガロンの原油を積んでカリフォルニア州に向かった。パイロットは、バルディーズ

海峡を誘導したのち操縦を船長と交代して下船した。同船は航路の氷山を避けながら進んだ。午後 11 時過ぎに船長は操舵室を離れる際、三等航海士に操舵の責任を託し、AB 級水夫に事前に打ち合わせた地点で航路に戻るよう指示した。

しかしエクソンバルディーズは航路に戻ることができず、1989 年 3 月 24 日午前 0 時 4 分頃に Bligh Reef 暗礁に乗揚げた。この事故でおよそ積載量の 20%にあたる 1100 万ガロンの原油がプリンスウィリアム湾に流出した。

事故原因を調査した米国運輸安全委員会はタンカーの座礁を惹き起こした要因を次の 4 つに絞った。

- ① 三等航海士が正しく操舵しなかった。当時、自動操縦装置が作動していた。
- ② 船長が航路の目視確認を怠った。アルコールによる判断力欠如とみられる。
- ③ Exxon Shipping Company は船長を監督する責任を果たさず、休養十分の適切な人員を配置しなかった。
- ④ 沿岸警備隊が有効な船舶交通システムを提供できなかった。

これを契機に、アメリカ・コーストガードは VTS-2000 整備計画を策定したが、現時点で計画のすべての整備が完了しているわけではない。

4. ロッテルダム港 VTS

1956 年 最初の沿岸監視レーダ網の運用開始



1987 年 新レーダ網への更新

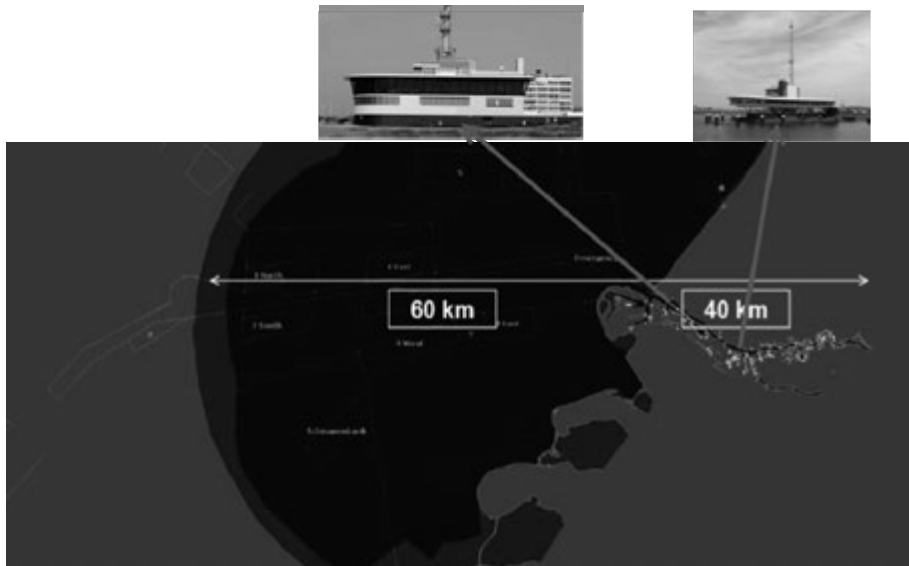


2009 年 新たに 2 つの VTS センターの建設開始

2010 年 古い VTS センターの運用休止

2012 年 新 VTS センターのフル運用を開始





ロッテルダム港VTSの特色は距岸60kmの沿岸監視エリアと河川沿いに40 kmに伸びる河川監視エリアとなっている。沿岸域は国際航路として英語によるVTS管制が行われ、エルベ川河口域にパイロットステーションがあり、河川域ではパイロットが乗船した外航船、エルベ川を航行する内航船に対しドイツ語でVTS管制が実施されている。

ロッテルダム港VTSの諸元

- ・VTSセンター 2ヶ所
- ・レーダ基地局 38ヶ所
- ・AIS基地局 4ヶ所
- ・方向探知局 3ヶ所
- ・CCTV局 22ヶ所
- ・主任VTS運用官 14名
- ・VTS運用官 85名
- ・8時間の交代制勤務（6日間クルー）

VTSの業務

- ・情報提供業務 Information Service (INS)
(An Information Service provides essential and timely information to assist the on-board decision-making process)
- ・法律に基づく航行管制業務 Traffic Organization Service (TOS)
(A Traffic Organization Service provides essential and timely information to assist the on-board decision-making process and may advise, instructor exercise authority to direct movements)
- ・船舶の要請による航行管制業務 Navigational Assistance Service (NAS)
(It is a service to assist in the on-board navigational decision-making process and is provided at the request

of a vessel, or when deemed necessary
by the VTS)

・ 航路情報提供業務 Traffic
instructions are binding orders given
by the VTS-operators

船員教育と操船シミュレータ

東京海洋大学
先端科学技術研究センター
井上 一規

1 はじめに

本稿では、2014年5月16日に行われた特別見学会で見学した操船シミュレータと船員教育での操船シミュレータの活用例を報告いたします。

東京海洋大学の先端科学技術研究センターには、2007年4月の水先法の改正により、船長経験を求められない三級水先修業生の操船演習のための操船シミュレータが(財)海技振興センターより貸与によって設置されています。ここでは東京湾水先区に就業予定の三級水先修業生の養成を行っています。(注：2016年3月卒業の三級水先修業生を持って終了します)養成は法規や操船技術など座学と操船シミュレータによる演習と訓練、現場での実習との組み合わせにより実施されています。特に操船シミュレータによる演習・訓練は操船の演習だけでなく、船が航行する場合の環境状況の変化や陸上との通信の演習が、安全にできることや、反復訓練が出来ることなどの効果があります。

一般に、操船シミュレータはコンピュータ技術の向上により船員教育に有効なツールとして活用されています。たとえば、初めて船員になる場合、操舵号令の理解が必要です。このためには適当な船の運動モデルと簡単な映像装置を用いた操船シミュレータで繰り返し訓練を行います。このよう

なタイプを single Task の操船シミュレータと言います。見学した操船シミュレータは船長や水先人等の高度な操船技術の演習を行うので、複数の船の運動モデルを持ちで多数の他船の動きを計算し、映像も実景に近い精度で、視界も 360 度ある full mission タイプと呼ばれる操船シミュレータになります。操船シミュレータの機能の概要と、演習のシナリオの一部を例に説明いたします。

2 操船シミュレータについて

2.1 システムの概要

Full mission タイプで360度視界を持つ水先訓練用操船シミュレータのシステムは、模擬船橋、プロジェクター用操作システム、映像システムの3つのシステムより構成されます。

まず模擬船橋は実船に近い環境を再現するために、内部には写真1に示すとおり実機の航海計器が設備されています。ARPA(自動レーダプロットング装置)、AIS(Automatic Identification System 船舶自動識別装置)情報付きのレーダ、操舵スタンド、ECDIS(電子海図情報表示装置)、ジャイロレピータコンパス、風向風速計、回頭角速度計、舵角指示計、船速計、などがあります。

これらの航海計器へは航海コンソール内

に設置された信号生成PC (パーソナルコンピュータ)から電圧信号で情報を送ります。信号生成PCはLANでプロジェクター操作システムのサーバーPC に接続されており信号を送るとともに、サーバーPCからの信号は各航海計器にLAN を経由して伝達されます。(図1)

オペレータ操作卓は写真2に示すように、サーバーPC画面、各種モニター画面でシミュレータの制御操作をするとともに、船と陸上支援施設や他船との通信の演習をおこなうVHF 通話装置などの総合的なオペレーションをします。シミュレーション演習中オペレータは、この操作卓で他船の操船、タグボートの操船、係留索の操作や錨の操作などを行います。オペレータへの操船者からの操船に関する命令はトランシーバやVHF 通話装置および船内電話によって実船のように行います。また、他の船の操船や進路の変更などはシナリオにあらかじめプログラムされていますが、自船は修業生によって操船されるので航行状況に変化が起こります。その修正は船橋内で修業生を指導しているインストラクターからトランシーバ等によってオペレータに伝えられオペレータは操作卓で他船の針路や船速を変えることで修正します。

2.2 映像システム

映像システムは、スクリーン、プロジェクター、映像生成PCより構成されます。映像スクリーンは模擬船橋を取り囲むような円筒形です。下方視界用のスクリーンが船橋の両舷にあります。円筒形スクリーンには10台の模擬船橋天井部に取り付けたプロジェクターで360度の映像を投影して



写真1 模擬船橋

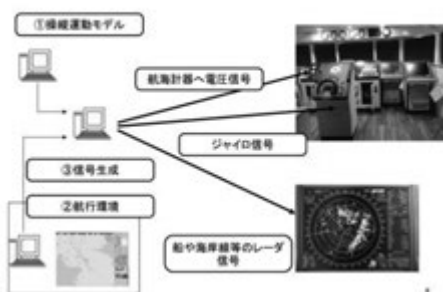


図1 航海計器への信号生成



写真2 オペレーションルーム

います。

下方視界用には部屋の天井に取り付けた4台のプロジェクターで投影します。模擬船橋内には2台の双眼鏡型景観表示装置があり、投影される映像とリンクしています。

投影用には各プロジェクターに一台ずつのPCが配置しているので、合計16台のPCが映像信号作成と同期をとっています。360度の視界が得られることから景観のリアリティ効果が増し、操船がより実船に近くなります。水先訓練用操船シミュレータは、水平視野角360度の映像システムと着岸操船時の岸壁を投影する下方視界映像システムに特徴があります。

表1 映像システムの仕様

項目	性能
スクリーン (Cylinder type)	半径 4.0m 高さ 2.4m
水平視野角 垂直視野角	360度 30度(含む下方視界110度)
プロジェクター	14台
	解像度 1920X1080 明るさ 6000 ANSI lm



写真3 模擬船橋とスクリーン

360度映像システムの主な仕様は、表1に示すとおりです。円筒形スクリーンの半径は、部屋のサイズに合わせて4mです。模擬船橋を取り囲むように設置されています。

そのため、写真3のように模擬船橋へのエントランスとして、スクリーンの一部が開閉可能なドアになっています。

360度の映像を投影するため写真4のようにプロジェクターは模擬船橋の上に設置されているので、プロジェクターを斜め下方に向けています。映像は円筒形スクリーンに投影されますが下部が間延びした映像になるので、映像を補正しています。

下方視界映像システムは、360度映像システムの垂直視野角を補うもので、このシステムにより模擬船橋の正横から見た垂直視野角は、110度に拡張されます。下方視界映像システムに投影される岸壁は、写真5に示す通り、円筒形スクリーンの映像とシームレスに表示されます。よって訓練者は、離着岸操船時に模擬船橋の正横の窓から頭を出して下を向くと下方視界スクリーンに投影された岸壁が見え、前を向くと船首が、後ろを向くと船尾が円筒形スクリーンで確認できるので、本船と岸壁の位置関係を実船のように把握することができます。写真6は、離着岸操船のために映像システムのモードを“ウイングモード”にした時に、投影される映像であり、映像システムのモードを通常の“ブリッジモード”にすると、下方視界システムには、本船のウイングが投影されます。ブリッジモードの場合、映像生成PCでは、ブリッジのレピータコンパスの位置から見た景観画像が生成されます。景観画像は、レピータコンパスの位置から見たベアリングが正しく表示されるように調整されています。ウイングモード場合、船橋内部の右舷/左舷の位置から見た景観画像が映像生成PCで生成され、船橋内部の右舷/左舷の位置から見たベアリ

ングが正しく表示されるように調整されたパラメータがロードされた状態のプロジェクターから映像が投影されます。つまり、映像システムのモードをウイングモードにした時に、レピータコンパスの位置から岸壁等の景観を見ると不自然に見えてしまう。そのため映像システムをウイングモードにした時、訓練者は必ず船橋の右舷/左舷の位置に立つ必要があります。また、映像システムのモード切替え時には、それぞれのモードに応じて調整したパラメータを、プロジェクターにロードするための作業が必要になります。そのため、映像システムのモード切替え時には、景観映像が2回明滅します。

2.3 シミュレータ・テスト

操船シミュレータは完成後、水先業務に従事したインストラクター4名によるシミュレータ・テストが行われました。このテストでは、とくに離着岸操船時の岸壁と本船の距離が目視により確認できるかの検査で、オペレータが岸壁と本船の距離を逐次報告しながら進めました。テスト後のインストラクターの感想は、オペレータから報告される距離と、目視の距離感がほぼ一致しているとの良好なものであった。また、航行業務については、船橋から全方位が見えるので、現実感が向上しているとの感想でした。

3 シナリオと評価

3.1 シナリオについて

航行や港内操船の演習シナリオは、水先区の特徴を生かし、操船技術が理解できるように作成しています。演習シナリオの作



写真4 模擬船橋とプロジェクター



写真5 下方視界

成、改良にはインストラクター、オペレータと検討し、それをもとに試行操船を行っていますのでシナリオでの訓練の目的や操船のキーポイントなどを十分に共有することができます。よって修業生が操船でモデル操船と速力や針路が違っていても、関係船の動きや周囲の交通流条件がシナリオの目的に合うようにオペレータールームでオペレータが微調整を行うことができます。当センターでは、東京湾に就業する水先修業生の演習を行うので、浦賀水道航路の航行演習と、湾奥の港湾での着岸、離岸の演習を繰り返し行うことで技術の向上をはかっています。

東京湾は湾口部から湾奥へ、一日約 600

隻の大小の船舶が航行する世界有数の海上交通過密地域です。湾奥には、国際戦略港湾である東京港・川崎港・横浜港、国際拠点港湾の千葉港及び重要港湾の横須賀港・木更津港（国際バルク戦略港湾）があります。この海域で混雑する船舶を整流して安全に効率よく航行する技術が水先人に求められています。

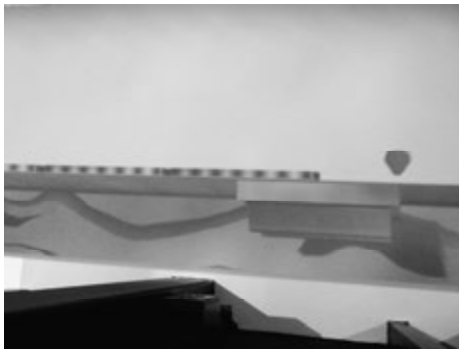


写真6 着岸の演習



写真7 港内航行の演習

たとえば横浜港入港・着岸のシナリオでは、航路からほぼ90度の回頭しながら、本船を減速し、スリップ状（楕円形）の幅300メートルの水路にアプローチし、指定の岸壁に着岸する演習を行います。このシナリオでは特に回頭惰力、旋回性能、船速のコント

ロールの技量を学習します。加えて本船をアシストするタグボートの使い方、自船の回頭角速度と景観の動きの認識など周囲の状況、位置の把握など、景観から目標を設定して体感を鍛える訓練を行います。楕円バースでは航路に近い手前に着岸する場合と奥深くに着岸する場合では、船速の調整や保針の安定性など大きな違いがあります。このシナリオである程度訓練できたら、さらに楕円バースに停泊船を設置し、その停泊船を安全に避けての目的岩壁への着岸、風がある場合の着岸と難易度を上げて訓練を行います。

ここでの景観からの自船の位置や状況の把握は、現場実習での自船の動きの把握に有効な学習になります。

浦賀水道航路や中の瀬航路航行業務演習は、浦賀パイロットステーションで乗船し、浦賀水道航路に航行するシナリオで演習を行います。船長との情報交換やBRM、乗船後の周囲の状況の把握と航路内航行速度までの増速、東京湾海上交通センターへの通報、東京港など目的地の入港予定時間の交信などを学習します。実際の航行に必要な手順を確実に実施する演習と、変化する周囲の交通流の状況認識と突発的な環境変化に対応する判断が必要とする演習となっており、修業生にとって負荷の大きい訓練です。現場実習とは違いシミュレータ演習ではインストラクターが適宜修業生の不具合点や理解度についての指摘を船橋内で安全に十分に指導できます。

東京湾海上交通センターは浦賀水道航路、中ノ瀬航路を中心に東京湾全体の航行情報と航行管制を行う機関です。浦賀水道航路及び中ノ瀬航路へ入航する巨大船等からの

入港前の航路入航予定を受理して航路入航時間の決定とその指示をおこなっています。東京湾内に4つのレーダ基地（観音崎、本牧、海ほたる、浦安局）を持ち、その情報と航行する船舶からの位置通報やAISによって航路内の船舶の動静を把握して、航路航行中の船舶に対して注意喚起や視界変化による航行制限など航行安全のための指示や助言を行っています。東京湾海上交通センターとの綿密な情報交換は航行業務演習の中でも船舶の安全航行の為の重要な演習です。



図2 浦賀水道航路の演習シナリオ

3. 2 演習評価について

訓練の評価は船舶の旋回性能や停止惰力などの基本的な操船と各港での離着岸や東京湾口航路とその接続する海域を航行する応用的な操船を個別にチェックリストによって複数のインストラクターが評価しています。

これらの個別の訓練の評価を最終的に総括して総合評価を行います。個別の評価を



写真8 浦賀水道航行の演習



写真9 浦賀水道航路航行の後方視界

複数のインストラクターによって評価することで主観的評価の弱点である偏りを修正しています。個別評価では、操船する修業生が自己採点する方法も有効です。評価の結果はインストラクターによる技術指導で本人にフィードバックされ、弱点の改善や理解不足の再学習など効果があります。

経験の浅い修業生が高度な操船方法について理解することは座学だけでは難しいところです。インストラクターは、経験を踏まえた操船のポイントを修業生のシミュレータ演習での実技の観察から理解度をはかり、演習前のブリーフィング、演習後のデブリーフィングで彼らの理解度に応じた技

術指導をします。

操船シミュレータ演習前のブリーフィングでは水先人役の修業生は、本船船長へ操船計画を説明する BRM (Bridge Resource Management) 演習のひとつとして主要航路標識の予想通過時間、船速、コース、船速増減計画、タグボート使用計画、岸壁進入方法及びその角度、接岸方法などブリッジチーム全員に説明します。インストラクターはその発表を水先人乗船時の船長への説明の面と操船技術の面からチェックし、不足や不備があれば指摘をします。デブリーフィング時には水先人役の修業生、操舵等船橋作業をしたブリッジチーム員としての役をこなした修業生がシナリオを再現しながら航海計画との差異、計画通りできなかった点の理由などの検証をします。インストラクターは、さらに技術的なポイントや修業生の弱点、達成できた点などの評価を付け加えてこのデブリーフィングの教育効果を高めています。デブリーフィング時の操船者の自己分析も重要な演習となります。水先人役の修業生は自分の計画と実際の操船との差異、ブリッジチームへの指令伝わり方の遅れや錯覚、乗組員からの報告の遅れなどを説明します。自己分析、自己評価を説明することは、客観的に自分の演習を見る目を訓練し、予期せぬトラブルやインシデントに遭遇した場合の問題解決の学習になります。

4 おわりに

水先法の改正により、平成 19 年 4 月より施行された改正水先法に基づき水先人の養成教育が始まって 5 年余りの月日が経過しました。今回はその新しい制度の中で、船

長経験を求められない三級水先修業生の操船シミュレータ訓練の一例について紹介いたしました。座学と操船シミュレータによる演習、水先業務現場での実習との組み合わせにより養成カリキュラムを作成しています。特に操船シミュレータ演習は演習の途中での操作ミスや取扱いのミスの指摘が十分出来ること、学習の理解度により反復訓練が出来ること、航行状況や風の影響など外的影響の再現性があることなどのメリットがあります。

当研究センターでは、これらのメリットを活用して操船経験の少ない修業生に操船技術を短い学習する方法や技術の向上のためのシナリオの開発や訓練評価の手法について研究をしています。

参考文献

- 井上一規 :「水先修業生の操船シミュレータ訓練について」 NAVIGATION 第 181 号 日本航海学会誌 P8-P12, 2012
岡崎忠胤・林通夫・藤本弘司 :「新型水先訓練用操船シミュレータについて」 NAVIGATION 第 181 号 日本航海学会誌 P27-P30, 2012

鉄道の制御のための GNSS 衛星による位置検知試験

独立行政法人交通安全環境研究所
交通システム研究領域 吉永 純

1 はじめに

少子高齢化の進展に伴う旅客数の減少傾向は深刻であり、中小民鉄線の約8割が赤字という厳しい状況が続いている。

鉄道では線路や信号等の装置の維持管理にも費用を要し、中小民鉄線では平均的に支出の5%~10%を占める等決して安くはない。さらに、設備の老朽更新時期を迎えた鉄道会社も多くみられることから、安全、かつ極力コストの安い、運行のためのシステムが必要とされている。

当研究所では人的・金銭的なコストを減少させるために衛星測位等を活用する研究を行っており、平成24年度からは国土交通省の委託研究としても取り組んでいる。

本稿では、地方中小鉄道でコスト低減と安全性向上を行いうる利用方法と必要な精度について述べ、列車上での試験で得られた準天頂衛星（以下「QZS」という。）等のGNSS（Global Navigation Satellite System）を利用した測位の検知精度と、その精度向上方法について紹介する。

2. 衛星測位の利用方法について

2. 1 現状における安全装置

鉄道の安全は、列車の前後の一定区間を確保し、一列車が占有する「閉そくの確保」を大原則としているため、列車位置は極めて重要な情報である。

現状での列車検知には「軌道回路」が広

く使われており、図1のように、入口側に信号機を設け、既に列車が在線する軌道回路の場合赤灯を示して他の列車が進めないようにすることで安全を確保する。

信号機は、周辺の各軌道回路や分岐器の状況に応じて制御されるため、信号指令所の連動装置と、各軌道回路とを長大なケーブルで結ぶ必要があり、この設置及び維持に多大なコストを要している。



図1 軌道回路

また、信号機の指示と異なる速度の列車や、制限速度を超える列車に対して、ブレーキを動作させるための地上子も必要となる（図2参照）。地上子には高い信頼性（関連する国際規格では危険側故障率1時間当たり 1×10^{-9} 以下、とされている）が求められており、高価な装置である。設置コストに加え、電気的特性の保守管理も必要となっている。

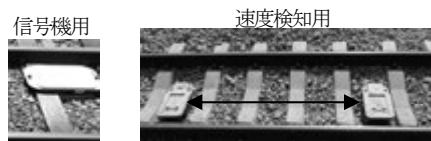


図2 地上子

2. 2 地方鉄道向けの利用形態の検討

地上子はコストの問題があり、特に重要な地点で利用されている。

地上子のうち、速度監視用のものの多くについては、速度制限箇所の手前から、制限開始地点付近までの範囲の間を走行中に正確な位置が検知できればよいため、その場所における衛星測位精度に応じて、範囲の長さを設定することで、衛星測位によって代替できる可能性がある。

また、現状で地上子の無い場所についても、衛星測位によりATC (Automatic Train Control : 自動列車制御装置) のような連続的な速度チェックや、さまざまな運転支援が考えられ、保安度の向上効果が高い(図3参照)。位置精度は実用性を損ねない程度であればよく、より実現性が高い。

さらに車両の速度計は、特別な対策が無い場合5km/h以下の低速移動の不検出と、滑りによる誤差があるため、衛星測位で補う用途も考えられる。

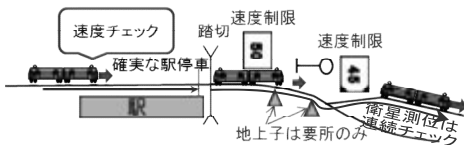


図3 衛星測位による速度照査

次に、軌道回路の代替をする用途が考えられる。全ての軌道回路を代替することについては技術的な課題が多いため、高い保安度が必要な駅場内には現在の軌道回路を利用し、駅間の軌道回路を衛星測位で代替することが考えられる。

この場合、図4の②のような境界部の列車在線を見逃さないシステム設計が対策となる。現在の有絶縁軌道回路ではおおむね2m~3m程、無絶縁軌道回路では10m程の検知精度と考えられるが、衛星測位の精度に合わせ、バッファ長を決める必要がある。

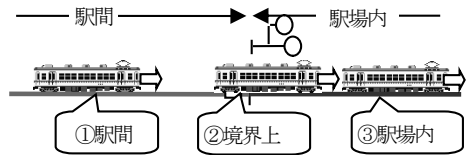


図4 軌道回路を代替する用途

3 列車上での衛星測位試験

3. 1 試験装置

QZS は仰角が高いため、森林や、住宅地等により仰角の悪い場所におけるマルチパス等による誤差の軽減が期待できる。そのため、QZS を使用した測位での位置や速度検知精度の把握と、その精度向上のための試験を実施した。

図5は、試験装置の基本構成である。

衛星受信機は前後2組としているが、これは相互比較し精度を見極めるためである⁽¹⁾。GNSS 測位に対応した機種を利用し、GPS では一般的な L1 信号、QZS については L1-SAIF による補強 (精度向上) を行い、車上で単独測位する方式とした。

列車位置の真値は、レーザドップラ方式の車速計の計測値から積分して求め、これとの対比により衛星測位の誤差を求めた。

誤差は、図6のように事前に測量した線路位置データを元に、安全上重要な線路方向の誤差量を算出し、解析を行った。



図5 試験装置

衛星信号レコーダは、生の衛星信号（ノイズを含むもの）を収録し、後日、オフラインで再現するためのものである（図7参照）。列車環境を再現することで、受信機の機種差など、様々な条件下での試験を効率的に実施できる利点がある。

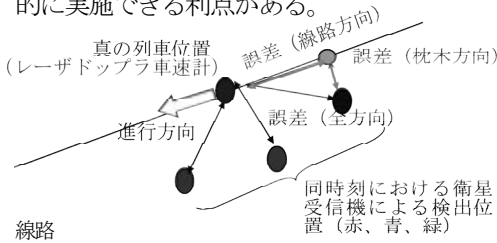


図6 検知精度の評価方法

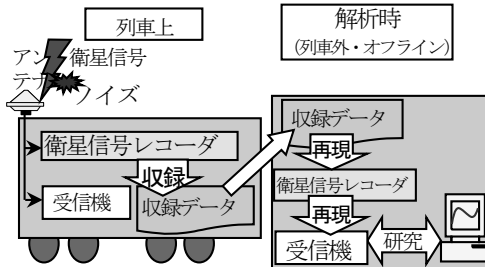


図7 再現試験方法

3.2 列車による測位試験

線路周辺に建物のある鉄道車庫内の試験線路上において10km/h、30km/hなど、極力一定速度で同一区間（533m長）を繰り返して走行する方法での測位試験を行った。

図8は、走行開始地点（103m）から12回走行した際のGPS及びQZSの可視衛星数（受信できた衛星数）を、キロ程を横軸として表したグラフである。300m付近で衛星数が減少しているのは、周辺建物により仰角が35度程度になり、また線路上の配管による影響と考えられる（図9、図10参照）。

図11は、試験日（2012年12月12日）のGPS及びQZSと、GLONASSのうち、仰角30度以上の衛星数を作画したものである。

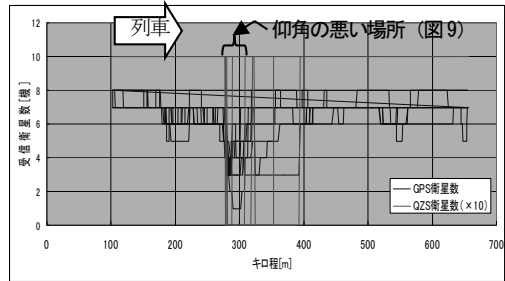


図8 位置ごとの可視衛星数



図9 仰角の悪い箇所

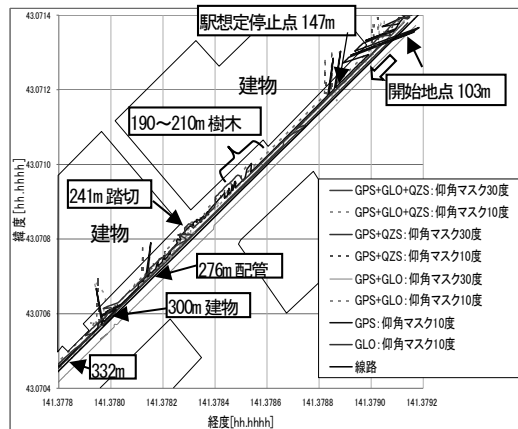


図10 プロット図

試験日は14:00頃にGPS及びQZSと、GLONASSの数が同数となり、比較的HDOPの悪い時間帯（GPS及びQZS=2.46、GLONASS=2.5）となる。そのため、この時刻に走行した際のデータにより、オフラインで衛星の組み合わせを変えてGNSS測位を行い測位精度の比較を行った。なお受信機は、比較のため全て同じ機種（JAVAD ALPHA G3T）を使用した。

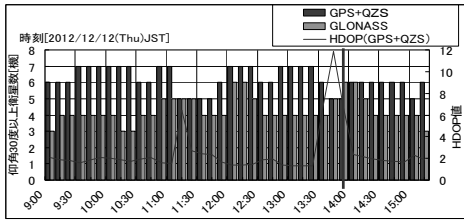


図 11 仰角 30 度以上の衛星数

図 12 は、走行開始時点の衛星配置である。QZS は高仰角 (77 度) だが、仰角 30 度以上の GPS は 4 機、GLONASS 衛星も 4 機と、仰角の高い衛星が少ない時間帯である。

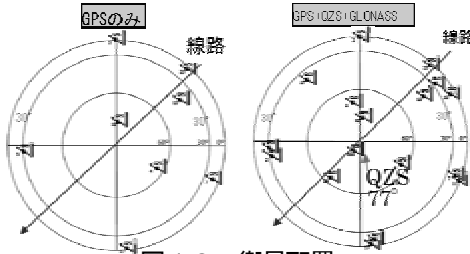


図 12 衛星配置

図 13 (高度角マスク 30 度) 及び図 14 (同 10 度) は、線路方向の誤差を算出し、時刻を横軸に、測位方式別に示したものである。線路方向の誤差は、進行方向に対して遅れる側 (プラス値) に生じる傾向がみられる。また、停車中に誤差が大きくなる傾向もみられる。

このグラフに現れている線路方向誤差を測位方式別に集計したところ、表 1 のようになった。同表では、「GPS+QZS」の組み合わせで高度角マスクを 30 度に設定した場合に線路方向誤差 (平均) が最も小さくなる結果となった。

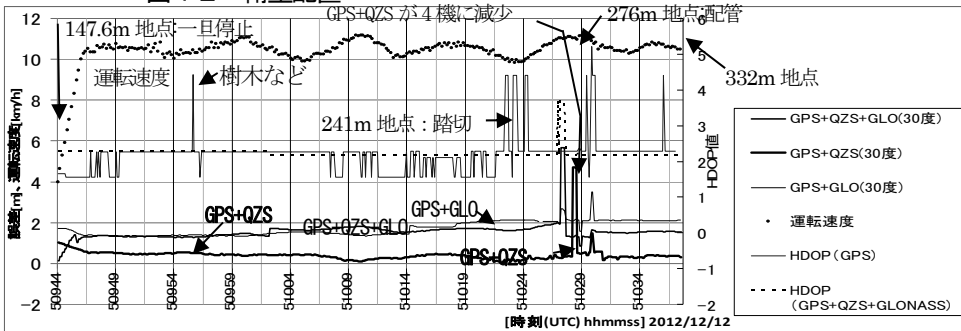


図 13 線路方向誤差の推移 (高度角マスク 30 度)

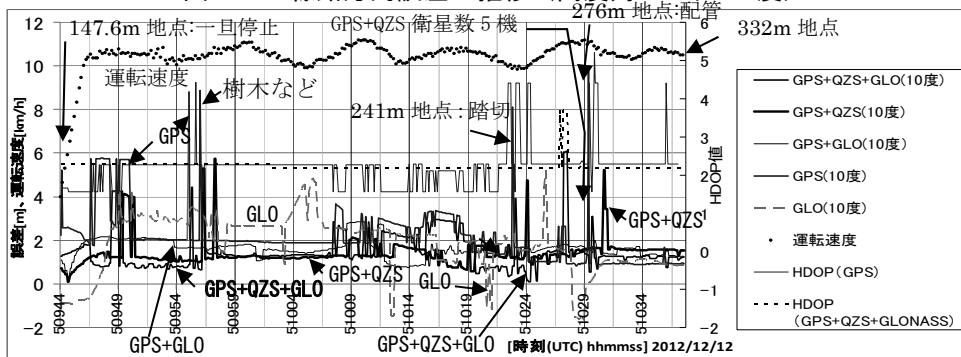


図 14 線路方向誤差の推移 (高度角マスク 10 度)

表 1 測位方式別 測位誤差

GNSS測位方式	高度角マスク[度]	可視衛星数[機]	衛星数は多い		
			線路方向誤差平均[m]	枕木方向誤差平均[m]	線路方向誤差最大[m]
GPS+QZS+GLONASS	10	5~8	1.83	1.97	3.94
GPS+QZS+GLONASS	30	4~6	1.40	-0.89	5.66
GPS+GLONASS	10	6~8	1.56	1.57	2.85
GPS+GLONASS	30	5~8	1.83	7.06	3.50
GPS+QZS	10	3~8	1.46	-1.77	5.72
GPS+QZS	30	4~5	0.42	-0.83	4.72
GPS	10	3~6	2.45	1.82	3.61
GPS	30	4~3	測位不能	測位不能	測位不能
GLONASS	10	5~8	1.84	-2.04	6.07
GLONASS	30	3~2	測位不能	測位不能	測位不能

衛星数は少ない 平均では最良 上空の遮蔽物の影響

3. 3 位置精度についての考察

「GPS+QZS (高度角マスク 30 度)」では、51029 秒付近の配管付近を除くと、誤差は 2m 以上となることは無く、最も精度がよい。可視衛星数は「GPS+QZS+GLO (高度角マスク 10 度)」が最も多いが、北側の建物の影響を受けて可視衛星数が増減する際、瞬間的に大きな誤差が生じている。

そのため、HDOP 値がやや悪いが、移動中に衛星数の変化が少ない組み合わせとなった「GPS+QZS (高度角マスク 30 度)」の測位精度が最もよくなったと考えられる。

他方、GPS+GLONASS (高度角マスク 10 度、30 度) では、線路方向誤差最大が小さく、比較的良好である。これは、QZS を利用する測位測位では QZS が配管付近で強い影響を受けて誤差が大きくなるが、GPS+GLONASS ではそうした事象が生じていないためである (図 1 5 参照)

鉄道は事前に走行路を特定できるため、線路周辺環境に応じて、影響を受ける方位・仰角にある衛星を事前に抽出し、影響を受けやすい場所ではその衛星を利用しない対策が可能で、精度を向上させる効果が高いと考えられる。

また、衛星数が増減した際にもすぐに次の測位解を求められる応答性がよいものが適していると考えられる。

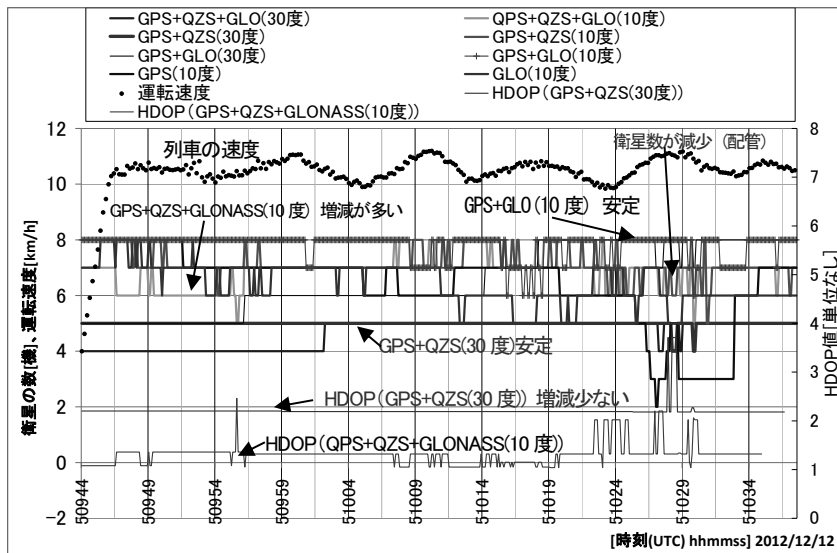


図 1 5 測位方式別 可視衛星数の推移

3. 4 衛星測位による速度検知

衛星測位で得られる速度（対地速度）の精度を調べるため、3. 2の走行試験データのうち、レーザドップラ車速計の速度、GPSのみの測位での速度、GPSとQZSによる測位での速度、の3者を比較した。図16は、15回の走行試験データから、停車状態から加速している状況を抽出したものである。同図の上方にレーザドップラ車速計（真値）との差分を示しているが、最大で3km/h程度と、低速域でも速度検知精度が高いことが分かる（表2参照）。

衛星測位による速度検知では、停車中に0km/hにならないこと、走行中に瞬間的に0km/hが出力する場合があること、若干遅れて速度が出力される等、ソフトウェアなどで対策を行うべき状況もみられたが、総じて精度が高いことが分かった。

表2 検知速度差（停車からの加速時）

	QZS-GPS [km/h]	QZS-レーザ [km/h]	GPS-レーザ [km/h]
データ	1.492[エポック] (計 298 秒分)		
最大	0.23	1.58	1.56
最小	-0.23	-3.02	-3.02
平均	-0.01	-0.49	-0.48
分散	0.06	0.80	0.80

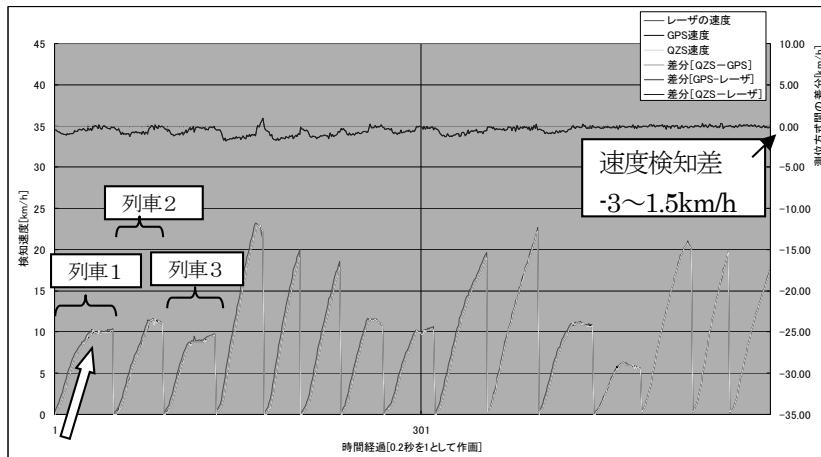


図16 速度検知状況（停車からの加速時）（2012/12/11）

4 むすび

衛星測位試験を容易に再現可能な試験装置を構成し、列車の真の位置を計測しながらGNSS衛星の組み合わせを変えた測位方法別に測位精度を把握する試験を行った。

その結果、利用可能な衛星数は少なくなくても、低仰角の衛星を除外し、衛星数の変動を少なく設定した場合に、位置検知精度が高くなる結果が得られた。

GPS単独では線路方向に9m程の最大誤差となっている場合に、QZS等を併用することで6m以下に改善するなど、QZSの効果についても試験結果が得られた。6mの線路方向誤差は、無絶縁軌道回路の検知精度よりは小さいが、データが少ないことから結果をより一般化していく必要がある。今後もデータ取得試験を行っていきたい。

最後に本研究についてご支援・ご協力頂きました国土交通省総合政策局をはじめとする関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 浅野晃：「フリー技術による軽やかな鉄道の実現 地上信号設備の軽装化技術（GPS等を利用したシステム）」、J-RAIL2009講演論文集、pp19、2009.12

特別研究会 気象衛星センターの見学

電波航法研究会事務局

1 はじめに

2014年11月7日に電波航法研究会の特別研究会を実施した。本研究会では、18名が東京都清瀬市にある気象衛星センターを見学したので報告する。

2 気象衛星「ひまわり」と気象衛星センターの業務

気象衛星センター到着後、まず気象衛星「ひまわり」の概要と気象衛星センターの業務概要の説明が行われた。本章では、その概要を紹介する。図1は概要説明の様子である。

2.1 気象衛星「ひまわり」

1977年、米国ケネディ宇宙センターより日本初の静止気象衛星が打ち上げられた。「ひまわり」は当該衛星の愛称として命名された。以降、観測データは30年以上の間、防災等さまざまな分野に貢献しており、現在は、ひまわり6号及びひまわり7号が運用されている。

2.1.1 「ひまわり」による観測

現在の気象観測はひまわり7号により行われている。ひまわり7号は、1時間に一度の間隔で全球観測を、30分に一度の間隔で北半球観測を行っている。全球観測の所要時間は約27分である。

一方、ひまわり6号は、観測領域を狭くすることで短い時間間隔で観測を行う高頻度観測等を行っている。高頻度観測は、台風の監視や積乱雲発達の早期検知に役立ち、



図1. 気象衛星「ひまわり」及び気象衛星センター業務概要説明の様子

航空機の安全運航に資するデータ提供を行うことができる。

なお、ひまわり6号・7号は、四つの赤外チャンネルと一つの可視チャンネルを用いて観測を行っている。

気象衛星による観測データは、天気現象解析、黄砂・火山灰の監視、海水域解析、海面水温解析、風ベクトルの算出に活用されている。

2.1.2 今後の衛星計画

今後の衛星計画については、2017年以降ひまわり8号・9号の運用が予定されている。ひまわり8号の打ち上げは、2014年10月7日に行われた。ひまわり9号の打ち上げは2016年夏に予定されている。

ひまわり8号・9号の観測機能は、ひまわり6号・7号と比較して、水平分解能、観測時間、高頻度観測機能等さまざまな面で向上している。気象観測に使用する周波

数帯は5種類から16種類に増え、16種類の観測画像が取得可能となっている。

2.2 気象衛星センターの業務

気象衛星センターは、ひまわりの運用と衛星観測データの処理やデータ処理により得られた成果の配信・解析等を行っている。

また、アメリカ海洋大気庁(National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA)が運用する「NOAA」や欧州気象衛星開発機構(European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites: EUMETSAT)が運用する「Metop」といった極軌道気象衛星による観測データを直接受信し、ひまわり障害時のバックアップとして利用したり、数値予報のためにその観測データを提供したりすることも業務の一つである。

3 気象衛星センター運用室見学

ひまわりと気象衛星センターの業務概要説明の後、気象衛星センター運用室の見学を実施した。その際、各セクションの業務概要説明が行われた。本章ではその概要を紹介する。

3.1 伝送セクション

伝送セクションでは、気象衛星と通信を行っている気象衛星通信所(鳩山)とのデータ送受及び極軌道気象衛星からのデータ受信業務が行われている。

極軌道気象衛星からのデータは、衛星が日本上空を通る際に、軌道1周分の観測画像がまとめて送信される。

また、観測データの受信アンテナは1本であり、時分割多重を用いてデータの受信を行っている。



図2. 気象衛星センター運用室



図3. データ処理セクション

3.2 データ処理セクション

データ処理セクションでは、データ処理の集中管理や、データ処理により得られた成果の配信等が行われている。

気象衛星による観測データは、まず衛星から鳩山にある気象衛星通信所へ送信され、その後、ネットワークを通じて気象衛星センター内のスーパーコンピューターへ伝送され、データ処理が行われる。データ処理により得られた成果は、それぞれ気象庁内の他機関や外部機関等へ送信される。

3.3 管制セクション

管制セクションでは、ひまわりへの観測指令や、ひまわりの気象観測部分の状態監視が行われている。

衛星は東経 140° 付近上空に大量に存在しているため、姿勢の把握が重要となる。

3.4 解析セクション

解析セクションでは、観測画像の品質評価やデータ処理により得られた成果の品質評価が行われる。

ここでは、各種観測画像の特徴に関する説明があった。例えば、可視チャンネルを用いた観測画像は、解像度は高いが、夜間の画像は見えない。一方で、赤外チャンネルを用いた観測画像は夜間の画像でも見ることができるが、可視チャンネルに比べて解像度は高くない。また、水蒸気の観測画像を用いれば雲のないところの大気の動きや乾燥している地域がわかる。

その後、雲の位置補正に関する説明も行われた。観測位置の関係上、衛星の観測画像では、雲の位置が実際の位置からずれているため、位置補正をする必要がある。雲の位置補正には、ラジオゾンデを用いて計測した上空各高度の気圧や気温に加え、観測画像から読み取れる大気の温度など様々な観測データを用いる。膨大なデータの解析が必要であるため、スーパーコンピューターを用いてもその解析には、5 分の時間を要する。

4 展示室等敷地内施設見学

運用室見学の後、気象衛星センター保有のスーパーコンピューターが収容されている施設の見学を行った。スーパーコンピューター本体を見学することはできなかったが、スーパーコンピューターに使用している蓄電池や、施設内の電源設備・発電設備等、周辺設備を見学することができ、その周辺設備の規模からスーパーコンピューター



図 4. 蓄電池設備

の巨大さを伺い知ることができた。スーパーコンピューターが収容されていることもあり、当施設は様々な耐震技術が施されていた。

5 おわりに

今回の特別研究会は、気象衛星センターの見学を行った。

気象衛星センター職員の皆様による気象衛星センター及び気象衛星「ひまわり」のご紹介や、運用室の見学及び運用室の業務説明等、興味深い内容が多く、有意義な特別研究会となった。

最後に、特別研究会のために施設見学の手配や各施設の紹介を行っていただきました気象衛星センターの二口様及び気象衛星センター職員の皆様に心より御礼申し上げます。

気象衛星センター

- ・所在地
〒204-0012 東京都清瀬市中清戸 3-235
- ・ウェブページ
<http://www.jma-net.go.jp/msc/ja/>

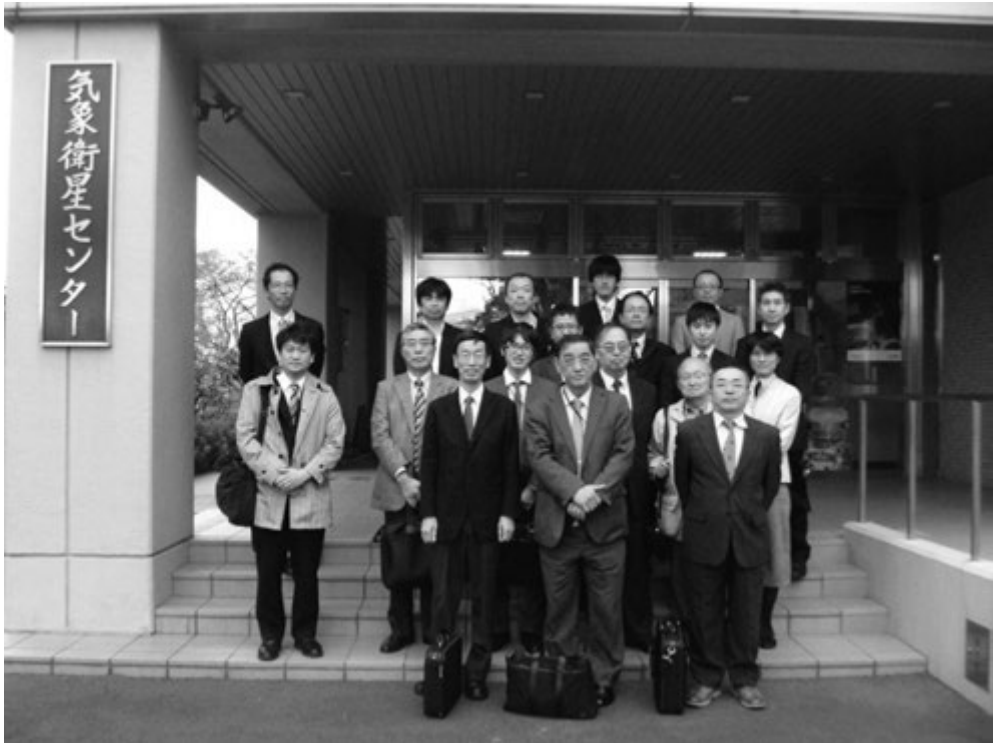


図5. 集合写真

臨時研究会 「第3回次世代AIS国際標準化のためのワークショップ」講演及びパネルディスカッション参加報告

海上保安庁交通部整備課安全システム開発室
小野 正虎

1 はじめに

2014年12月1日から5日にかけて、海洋政策研究財団及び海上保安庁により、「第3回次世代AIS国際標準化のためのワークショップ」が開催された。ワークショップ初日には、一般の参加者を対象とした、専門家による講演及びパネルディスカッションが実施された。

電波航法研究会では、この講演及びパネルディスカッションを臨時研究会と位置づけ、会員各位の参加を募った。

本稿では、臨時研究会の概要について述べる。

2 「次世代AIS国際標準化のためのワークショップ」開催の背景

船舶自動識別装置(Automatic Identification System:AIS)は、2002年7月に発効した海上における人命の安全のための国際条約(SOLAS74)に基づき、2008年7月までに対象船舶への搭載が完了している。AISは、船舶-船舶間及び陸上-船舶間の安全航行に資する情報を自動的に交換するシステムであり、近年、航路標識AIS、AISクラスB、捜索救助用位置指示送信装置(AIS Search and Rescue Transmitters:AIS-SART)等、その用途の多様化が図られている。

また、AISは船舶の安全航行への寄与の

ほか、物流の効率化、船舶の捜索救助活動等の分野でも、その有用性が世界的に認識されるようになっている。今後、AIS利用の更なる拡大が期待される一方で、通信トラフィックの増大も予測される。

そこで、国際海事機関(International Maritime Organization:IMO)や国際航路標識協会(International Association of Aids to Navigation and Lighthouse Authorities:IALA)では、通信トラフィックの課題を解決し、拡大する利用者のニーズに対応するため、次世代AISの検討が開始されている。

我が国においても、次世代AISにかかる検討を始めており、2012年12月及び2014年1月に「次世代AIS国際標準化のためのワークショップ」⁽¹⁾⁽²⁾が東京で開催された。第1回ワークショップにおいては、次世代AISをVDES(VHF Data Exchange System)と呼称することを提案し、VDESの概念を定めた。VDESという名称、その概念はIALA等において広く受け入れられ、以後の国際的な検討を加速させた。

第3回となる今回のワークショップでは、取り纏めの年として、VDESの性能基準試案の策定を中心に議論が行われた。

3 講演及びパネルディスカッション概要

「第3回次世代AIS国際標準化のためのワークショップ」の講演及びパネルディスカッションは、2014年12月1日にTKPガーデンシティ永田町(東京都千代田区)にて開催された。

第1部では、7名の専門家によるVDESの現状や課題、そして将来性に関する講演があった。第2部では、VDESに係る最新のトピックスについて登壇者が回答する形式で、パネルディスカッションが実施された。

講演の様子を写真1に示し、各講演及びパネルディスカッションの概要を以下に記す。

3.1 講演者の紹介

講演者は以下のとおりである。(発表順)

- ・竹内 謹治氏
(日本・海上保安庁)
- ・William David KAUTZ氏
(アメリカ・沿岸警備隊)
- ・Stefan Karl BOBER氏
(ドイツ・連邦水路海運庁)
- ・Margaret Jean BROWNING氏
(カナダ・exactEarth社)
- ・中川 裕康氏
(日本・古野電気株式会社)
- ・今田 吉彦氏
(日本・日本無線株式会社)
- ・Jillian CARSON-JACKSON氏
(オーストラリア・海洋安全庁)

3.2 Result of the 1st and 2nd Workshops

竹内 謹治氏

竹内氏は、2012年12月に行われた第1回ワークショップ及び2014年1月に行われた第2回ワークショップの成果について講



写真1 講演

演した。

まず、第1回ワークショップの成果として、次世代AISの呼称としてVDES(VHF Data Exchange System)を提案したこと及びVDESの基本概念が合意されたことを挙げた。

次に、第2回ワークショップの成果として、実証実験の情報を共有する枠組みを構築したことを挙げた。その結果、VDES開発の加速が期待される。さらに、利用者要件や運用概念の重要性について合意形成がなされたことにも言及した。

3.3 VHF DATA EXCHANGE SYSTEM(VDES)

William David KAUTZ氏

KAUTZ氏は、VDESに関する国際電気通信連合(International Telecommunication Union:ITU)の動向について講演した。

まず、2015年世界無線通信会議(World Radiocommunication Conference 15: WRC-15)の議題1.16⁽³⁾について触れ、ITU無線通信部門の5B作業部会(ITU Radiocommunication Working Party 5B)でのVDESの周波数チャンネルの構成案について説明があった。

次に、2015年3月に開催される会議準備

会合 (Conference Preparatory Meeting: CPM) において、用途特定メッセージ (Application Specific Message: ASM)、地上波 (Terrestrial)、衛星 (Satellite)、地域 (Regional) のそれぞれのチャンネルプランについて検討されると述べた。さらに、その検討結果を踏まえ、VDES に係る勧告の初版が、ITU-R において 2015 年 7 月に承認予定であることを述べた。

最後に、2019 年世界無線通信会議 (WRC-19) では、海上における遭難及び安全に関する世界的な制度 (Global Maritime Distress and Safety System: GMDSS) の見直し及び IMO にて提唱されている e-Navigation⁽⁴⁾ のチャンネルプランについて議論されると述べた。

3.4 The development of VDES (VHF Data Exchange System)

Stefan Karl BOBER 氏

BOBER 氏は、VDES に関する IALA の動向について講演した。

現在、IALA では、IMO 及び ITU に向けた VDES の技術的な要件に係る書類を作成していると報告した。その中で、WRC-15 に提出予定である VDES チャンネルプランの初版勧告の作成が、最終段階に入ったと述べた。チャンネルプランが決定した後、実証実験を通じて無線通信に関する技術課題が解決されるとの見解を示した。

最後に、IALA を始め、IMO 及び ITU における VDES 開発のロードマップについて説明した。そして、VDES は将来的に、信頼性・可用性・完全性を備え、低コストかつ自由度の高い通信環境を実現するものになると将来の展望を述べた。

3.5 Challenges for VDES Development Margaret Jean BROWNING 氏

BROWNING 氏は、VDES の開発に係る課題について講演した。

まず、技術的な課題として、既存の通信機器への影響を挙げた。アナログ通信に干渉せず、新しく追加される情報によって運航者が混乱を招かないようなインターフェースを設計しなければならないと指摘した。

次に、IMO における課題として、VDES 装置は e-Navigation の要件を満たす一方で、導入への強制力がないことを挙げた。国際的に普及させるため、導入が容易で利用価値のある装置を開発し、結果的に開発者への収益が確保される流れが e-Navigation の成功につながると述べた。

さらに、ITU における課題として、現状の通信容量の課題解決だけでなく、将来の利用用途を踏まえたチャンネルプランの策定について、議論を深める必要があると指摘した。

最後に、VDES の導入によって解決が見込まれる具体的事例として北極海における通信、船舶状態のモニタリングを挙げた。

3.6 Development of VHF Data Exchange System (VDES) slot simulator

中川 裕康氏

中川氏は、メーカーにおける VDES シミュレータの開発状況について講演した。

まず、AIS 及び VDES のチャンネル方式の技術的検討に際し、新しく追加されるチャンネルが、既存の AIS のチャンネルに対し影響を及ぼさないことが重要であると指摘した。

次に、AIS 及び VDES のスロットマップを

図示し、混雑海域での通信ふくそうの事例を挙げ、シミュレータの開発が必須である旨を述べた。現在、複数のスロットマップに対応した VDES スロットシミュレータを開発していると言及した。

最後に、同シミュレータに海上交通状況を解析する機能を付加させることで、世界中のさまざまな海域の交通流モデルの下で VDES 通信シミュレーションが実現できると述べた。

3.7 Development of VHF Data Exchange System (VDES)

今田 吉彦氏

今田氏は、VDES の開発にかかる海上実証実験について講演した。

まず、沿岸部周辺の建物や地形により発生するシャドウイング及びマルチパスフェージングの原理を説明し、それらが通信性能に与える影響について解説した。

実証実験は、都市部の東京湾北部及び横浜港、山に囲まれた水域の小土肥海水浴場(伊豆市)及び戸田港(沼津市)においてそれぞれ実施した。各結果から共通するものとして、障害物からの距離が 2 km を越えるとマルチパスの影響が現れると説明した。また、見通し距離が確保されない場合、近距離でも影響が現れる懸念も示した。

最後に、今回の実験結果を基に、変調方式の選択や通信プロトコルの開発を推進すると述べた。

3.8 Expectations for VDES

～VDE Communication Protocol～

Jillian CARSON-JACKSON 氏



写真2 パネルディスカッション

CARSON-JACKSON 氏は、VDES の将来性について講演した。

まず、IMO で提唱されている e-Navigation について、航海に必要なデジタルデータを総合的に運用するという解釈を示した。次に、航行経路の決定に資する情報提供の具体例としてオーストラリアのトーレス海峡にみられる複雑な潮汐をとりあげ、VDES で提供することで安全航行に寄与できると提案した。

最後に、安全航行に必要なデータを効率的かつ切れ目なく交換できる Maritime Cloud を利用することにより、インターネットや VDES 等を通じて自動的にデータ交換し航行安全の向上が可能となると述べた。

3.9 パネルディスカッション

パネルディスカッションは、KAUTZ 氏、BOBER 氏、BROWNING 氏、中川氏、今田氏、CARSON-JACKSON 氏、計 6 名の講演者が登壇し、進行役として海上保安庁の野口英毅氏が加わり実施された。パネルディスカッションの様子を写真 2 に示す。

3.9.1 VDES 装置の実現時期

VDES 装置開発の進捗状況について、国内外のメーカーから発言があった。

中川氏は、装置の開発には着手しているが、実現時期の見通しは立っていないと述べた。今田氏は、2015年に技術的な問題を解決し、その後製品化に向け段階的に開発を進めていくと発言した。一方、Johan LINDBORG氏(スウェーデン・SAAB社)は、2014年にプロトタイプ機を開発済みであり、2016年にVDESに係る実証実験を計画していることを明らかにした。

BROWNING氏は、VDESに係る衛星開発の進捗について、欧州宇宙機関(European Space Agency:ESA)の例を紹介した。ESAでは、2018年までにVDESの衛星を打ち上げ、ダウンリンク側を拡大する計画であると述べた。また、VDES装置の開発は、AIS装置の開発の延長になるが、実証実験を基に開発を進めなければならないとの見解を示した。

最後に、Jonny SHULTZ氏(アメリカ・L-3社)は、チャンネルプランについて、メーカーによるVDES装置の開発を促進するには、VDESチャンネルプランの改正が第一であるとの発言があった。それを受けて、BOBER氏は、IALAとITUがVDESチャンネルプランの標準化に取り組んでおり、勧告の初版が2015年に策定予定であり、VDESの開発に有益なものになると述べた。CARSON-JACKSON氏は、VDESチャンネルプランは、VDES装置の開発を促す為に必要不可欠であると発言した。

3.9.2 VDESの運用と商業利用

BROWNING氏は、VDESの運用と商業利用の関わりについて、商業利用を考えずにVDESを運用するのは難しいとの見解を示した。

BOBER氏は、VDESに商業的なニーズを考慮すべきであると指摘した。

また、CARSON-JACKSON氏は、VDESの実現は海上安全を確保し、さらにASMのような革新的なアイデアの活用ができると付け加えた。

3.9.3 搜索救難装置としてのVDES

VDESの搜索救難装置としての利用について、各国の状況が述べられた。KAUTZ氏は、アメリカでは、新規開発されるVDES装置の承認をIMOに対して促していると発言した。CARSON-JACKSON氏は、搜索救難を目的としたVDES装置の利用は、国際的な利用基準が必要となることから、オーストラリアは慎重な姿勢であると述べた。

それに対し、BROWNING氏は、技術的な課題よりも政策的な課題が問題となっていると見解を示した。吉田公一氏(日本・一般財団法人日本舶用品検定協会)は、IMOは、海上安全情報と警報システムの提供について非常に保守的であり、新しいシステムの導入には消極的であると指摘した。

また、BROWNING氏は、GMDSSを運用するための衛星の必要数について衛星の必要数は、衛星の軌道に大きく依存すると答えた。Gaëtan FABRITIUS氏(フランス・CLS社)は、衛星の必要数は、地上局のネットワークに影響されると付け加えた。

3.9.4 VDESの制御モード

BOBER氏は、VDESの制御モードについて、現行のAISからの変更点は、チャンネル管理の部分であると述べた。同氏は、VDESチャンネルのフィルタリングを国際仕様とすることで、チャンネル管理の必要が無くな

り、同時に VDES の信号を音声通信から保護することができる」と発言した。

SHULTZ 氏は、将来的に陸上から船舶搭載の VDES 装置を制御する可能性があり、今後の為にそのチャンネルを確保するべきであると指摘した。

3.9.5 聴講者からの質疑

得丸久文氏(日本・一般財団法人リモート・センシング技術センター)から、「デジタル」の定義について質問があった。BROWNING 氏は、根本的な解釈としてアナログ信号から「0」「1」に変換した信号であるとした上で、IALA における理解は、デジタル変調のような無線通信技術と関連するものであると回答した。

次に、池田保氏(日本・一般財団法人日本航路標識協会)から、VDES のインターフェースのあり方について質問があった。BROWNING 氏は、IALA にて、メーカーと協力し、インターフェース構築の議論をするべきと発言した。CARSON-JACKSON 氏は、オーストラリアでは、運航者の目線で AIS 開発を進めており、VDES の機能が追加された場合でも、運航者にとって扱いが煩雑になるものであってはならないと見解を示した。

4 おわりに

電波航法研究会では、「第3回次世代 AIS 国際標準化のためのワークショップ」の初日に開催された講演及びパネルディスカッションを臨時研究会として位置づけ、会員各位の参加を募った。本研究会では、多くの会員が参加され、VDES に対する活発な意見交換があり、非常に有意義な研究会となった。

最後に、多大なるご支援を賜りました海洋政策研究財団を始め、講演者並びに関係各位にこの場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- (1) IALA e-Nav 13/38:Workshop on International Standardization of Next Generation AIS (VDES) 2013. 3.
- (2) 竹内謹治:「第2回次世代 AIS 国際標準化のためのワークショップ開催報告」日本航海学会誌 NAVIGATION 第188号 pp87-91 2014. 4.
- (3) RESOLUTION 360 (WRC-12): Consideration of regulatory provisions and spectrum allocations for enhanced Automatic Identification System technology applications and for enhanced maritime radiocommunication, 2012
- (4) MSC 85/26/Add.1 Annex20: STRATEGY FOR THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF E-NAVIGATION, 2009

電波航法研究会 平成 26 年度事業報告

Record of work carried out by the Japanese Committee for Radio
Aids to Navigation in fiscal 2013

電波航法研究会事務局
Secretariat office of the JACRAN

総会

平成 26 年度総会は、平成 26 年 5 月 16 日 14 時 15 分から東京海洋大学越中島キャンパス越中島会館で開催された。会員総数 86 名のうち、出席者 17 名、委任状提出者 26 名の計 43 名であり規約第 10 条第 4 項の規定により総会は成立した。各議題の審議結果は次のとおりであった。

1. 平成 25 年度事業報告が事務局により行われた。
2. 平成 25 年度決算報告及び監査報告が事務局から行われ、承認された。
3. 平成 26 年度会長選出に関して、全国船舶無線協会 水洋会部会 中村氏からの推薦により長岡氏の会長就任が満場一致で了承された。副会長については長岡会長からの推薦により、渡邊氏及び池田氏の副会長就任が満場一致で了承された。なお、各幹事の委嘱については事務局案のとおり了承された。
4. 平成 26 年度事業計画案について事務局から説明が行われ、原案どおり承認された。
5. 平成 26 年度予算案について事務局から説明が行われ、原案どおり承認された。

研究会

1. 第 1 回研究会は、平成 26 年 5 月 16 日、東京海洋大学越中島キャンパス先端科学技術センターで総会に引き続き開催され、東京海洋大学教授 井上 一規氏案内のもと「船員教育と操船シミュレータ」について施設見学を実施した。その後、越中島会館講堂にて、海上保安庁交通部整備課長 五十嵐耕氏から「海上保安庁の交通政策について～第 3 次交通ビジョン～」と題する講演が行われた。出席者は 38 名であった。
2. 第 2 回研究会は、平成 26 年 9 月 19 日、東京海洋大学越中島キャンパス越中島会館で開催され、電子航法研究所 航法システム領域 福島荘之介氏から「PPD（個人用保護デバイス）による GPS への干渉」及び、交通安全環境研究所 吉永純氏から「鉄道の制御のための GNSS による信頼性向上について」と題する講演が行われた。出席者は 21 名であった。
3. 第 3 回研究会は、平成 27 年 2 月 13 日、東京海洋大学越中島キャンパス越中島会館で開催され、信州大学 中島厚氏から「ぎんれいプロジェクト-超長距離可視光通信への挑戦-」及び、宇宙航空研究開

発機構 篠原 季次氏から「JAXA の衛星 AIS 実験(SPAISE1&2)について」と題する講演が行われた。出席者は25名であった。

特別研究会

平成26年11月7日に東京都清瀬市の気象衛星センターを訪問し、同センターの業務説明を受けたほか、運用室などの施設見学を行った。参加者は18名であった。

臨時研究会

平成26年12月1日に海上保安庁及び海洋政策研究財団が開催した「次世代 AIS 国際標準化のためのワークショップ」の講演及びパネルディスカッションを臨時研究会と位置づけて参加した。

幹事会

幹事会は、平成26年4月25日、5月16日、9月19日、平成27年2月13日に開催され、事業計画、講演テーマ、会誌発行等について審議が行われた。

会誌等発行

会誌「電波航法」第56号を発行した。

会員数

平成27年3月31日現在

正会員 23名 45口

個人会員 8名

(8名のうち年会員5名、終身会員3名)

推薦会員 19名

特別会員 36名

計 86名

会員の異動

入会 個人会員 小野 房吉

退会 個人会員 渋谷 和男 (死亡)

個人会員 任 政彬

電波航法 ————— ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW —————

平成27年 3月17日 印 刷 2014
平成27年 3月20日 発 行 No.56

編集・発行 電波航法研究会
 Japanese Committee for Radio Aids to Navigation

印 刷 東京都千代田区飯田橋2-15-5
 日経印刷株式会社
