

AIS電波の回折伝搬

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2023-04-16 キーワード (Ja): キーワード (En): Diffraction loss, Diffracted wave, AIS 作成者: YAMAMOTO, Atsushi メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15053/0000000096

【論文】

AIS電波の回折伝搬

山本 淳¹

The Diffraction Propagation of AIS Radio Wave

Atsushi Yamamoto¹

Abstract

Compared to radar, AIS has lower frequency and two stations(ships) not in line-of-sight may be able to communicate by diffracted wave. From the viewpoint of grasping the movement of another ship, which is the original purpose of AIS, non-line-of-sight propagation due to mountain diffraction is investigated in this study. Using the AIS data obtained at Japan Coast Guard Academy, the different states of the obstacles on propagation path, when it was able to receive and when it was not possible, are investigated. The diffraction losses of some different conditions are calculated and compared. We aim to contribute to maritime traffic safety by estimating the receivable condition using the results.

Keywords: Diffraction loss, Diffracted wave, AIS

1 はじめに

AIS (船舶自動識別システム) 電波の伝搬については、AIS の情報から電波の送信位置が特定でき、かつ送信点が広範囲に数多く存在するという特性を生かし、これまでスプラディック E 層、流星散乱、ラジオダクトによる異常伝搬現象について研究を進めてきた^{1) 2) 3)}。本研究では AIS の本来の目的である船舶の動静把握という観点から、常に発生している山岳回折による見通し外伝搬について解析を行う。

他船の動静を把握する手段は、従来目視やレーダーによっていたが、目視は視界の良い時に限られ、またレーダーは使用する周波数が高く直進性が強いいため、島影など見通し外の船舶の情報は得られなかった。これに対し近年利用されている AIS は、レーダーと比較すると周波数が低く回折波が受信されるため、島影であってもある程度他船の動静を把握することが可能である。島影の他船の動静が把握できれば早目の危険回避行動が可能となり、船舶交通安全の向上に有効と考えられる。しかしながら、このような島影からの AIS 電波の受信状況について詳しく検討した結果は見当たらない。島影からの電波(回折波)が受信できるかどうかは、主に距離による減衰(基本伝送損)と回折損で決まるため、本研究では特にこれらの損失に着目し、実際に取得したデータを利用して、受信できた場合とできなかった場合

の伝搬路上の山岳(島)の状況(回折損の差)などを比較する。

2 使用データ

AIS は自船の位置情報を送信するため、どの船舶が送信したものであっても取得したデータから送信位置がわかるので、送受信点間の伝搬路の状況を知ることができるが、使用機器やアンテナについては情報がないため、本研究ではこのような情報が得られる練習船こじま(こじま)に関するデータを使用することとした。

図 1 は海上保安大学校(JCGA)で 2010 年 5 月 10 日に取得した AIS データのうち、こじまが送信したデータから得られた位置を地図上にプロットしたものである。こじまは、図 1 上に小さな円で示しているとおおり、右側の海上保安大学校を出港し、上方(北側)の広島方面に向かった後、江田島(中央右側)の裏側を経由して南東方向に、A~E 点付近を順に航行した。江田島などの島の裏側は影となるため、海上保安大学校からこじまは見通し内には無いが、図 1 からわかるように、所々電波が受信できている海域が存在する。A~E は伝搬路の状況を示すために設定したポイントで、状況については後述する。本研究では、これらの海域と海上保安大学校間の伝搬路上の障害物(島(山))の状況、位置関係を調査し、

Received November 15, 2017

*1 海上保安大学校 yamamoto@jcgga.ac.jp

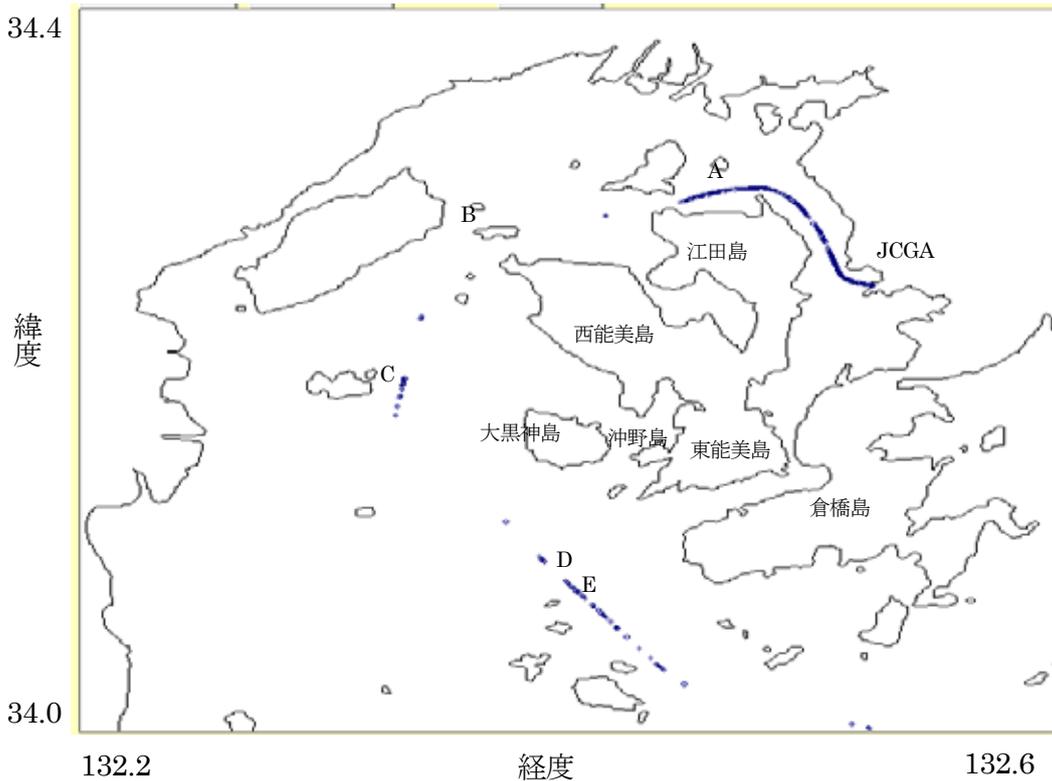


図1 2010年5月10日の練習船こじまの航跡（海上保安大学校（JCGA）で取得したAISデータを利用）

回折によって受信できた海域、できなかった海域の伝搬路の状況にどのような差があるのかを示す。この結果から、電波伝搬のモデルを利用して回折損などを求め、実際の伝搬状況と比較する。また、このようなモデルを利用して、各種条件下の伝搬損失を求め、AIS電波の受信可能な条件を推測する。

3 伝搬損失について

本章では、本研究に関する電波の伝搬損失について記す。

3.1 基本伝送損

電波は直線として伝搬するのではなく、進行に伴って広がっていくため、伝搬路上やその付近に障害物等の損失を与える要素が全くなかったとしても、伝搬距離が長くなるにつれて単位面積当たりの電力（電力密度）は小さくなる。これを損失と考えたものが基本伝送損で

$$L = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (1)$$

で与えられる⁴⁾。ここで λ は波長[m]、 d は送信点からの距離[m]であり、距離 d の地点では電力密度が L 倍になることを意味する。

3.2 フレネル帯

図2のように送受信点間を直線で結んだ伝搬路TRの距離を d とし、波長を λ とすると、 n を正の整数として、距離 D が、

$$D = d + \frac{n\lambda}{2} \quad (2)$$

となる点の集まりを第 n フレネル楕円体といい、第 $n-1$ フレネル楕円体と第 n フレネル楕円体で囲まれる領域を第 n フレネル帯という。

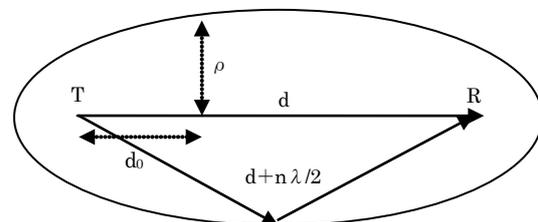


図2 フレネル帯

電波は広がりを持って伝搬するが、一番内側の第1フレネル帯内 ($D=d+\lambda/2$ より内側) は電力が大きいため、損失を少なくするには第1フレネル帯内に障害物が存在しないような伝搬路が望ましく、通信回線設計時においても考慮されている。送信点から

の距離が d_0 [m] の地点での第一フレネル帯の深さ ρ [m] は、

$$\rho \doteq \sqrt{\lambda \left(\frac{d_0(d-d_0)}{d} \right)} \quad (3)$$

である⁵⁾。ここで d は送受信点間距離[m]、 λ は電波の波長[m]である。

もし第 1 フレネル帯に障害物が存在した場合の損失については山岳のかたちなどによって差が出るが、ここでは、簡略化のためフレネル帯の断面（送信点から d_0 の点を中心とする半径 ρ の円）内で電波の電力密度が一定と仮定し、次の (a)～(c) の手順で損失を求める。

- (a) 山岳が存在する地点の第 1 フレネル帯の深さを (3) 式から求める。
- (b) (a) で求めた深さを使い、この地点での第 1 フレネル帯の断面の面積を求める。
- (c) 山岳をナイフエッジ（衝立状の障害物）と考え、(b) の面積をどの程度覆うか割合を求め、これを dB に換算して損失とする。

3.3 回折損

山岳は丸みを持っているため実際の回折損を求めるには複雑な計算が必要になるが、本研究では無限長ナイフエッジとして簡略化して考えることとする。単一のナイフエッジによる回折損は近似的に、

$$J(v) = 6.9 + 20 \log \left\{ \sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right\} \quad (4)$$

$(v > -0.7)$

と表すことができ、 v は次式で与えられる⁶⁾。

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \quad (5)$$

h は送受信点を結ぶ直線とナイフエッジ頂上との距離[m]（直線が頂上より下の場合が正）、 λ は電波の波長[m]である。 d_1 、 d_2 はそれぞれ送信点からナイフエッジ頂上までの距離[m]、ナイフエッジ頂上から受信点までの距離[m]であるが、実用上は送受信点を結ぶ直線上の距離で近似することが多い⁵⁾。

また図 3 のように、伝搬路上にナイフエッジが少し距離を置いて 2 つ (N_1 、 N_2) ある場合は複雑な計算が必要となるが、実用上十分な精度が得られる簡便な計算法が考案されている。この方法の一つは第 1 エッジが第 2 エッジの波源となっていると考え、それ

ぞれのエッジによる単一ナイフエッジの場合の回折損を順次求めていくというものである。

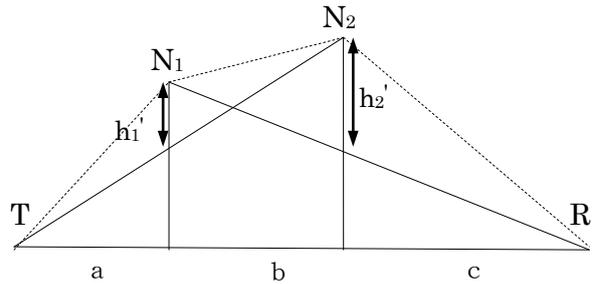


図 3 2重ナイフエッジ

まずナイフエッジの高さを h_1' 、 h_2' [m] としてそれぞれによる回折損を (4) 式により求める。次に次式により付加損失を求める。

$$L_c = 10 \log_{10} \left\{ \frac{(a+b)(b+c)}{b(a+b+c)} \right\} \quad (6)$$

a , b , c はそれぞれ、送信点 (T) から N_1 まで、 N_1 から N_2 まで、 N_2 から受信点 (R) までの距離[m]である。全回折損は、以上で求めた 2 つのナイフエッジそれぞれによる回折損と付加損失の合計となる。ただし、この方法で求める場合は、それぞれのエッジによる回折損が両方とも 15dB 以上のときに信頼できる結果を与えると言われている⁷⁾。

どちらかのナイフエッジの影響が主と考えられる場合は、主となる側のナイフエッジによる回折損をこのナイフエッジが単独で存在すると仮定して求め（ナイフエッジの高さを送信点と受信点を結ぶ直線からの高さとする）、もう一方については前記の高さ (h_1' (h_2')) を使って回折損を求める。この場合は付加損失は使わず、これら 2 つの回折損の合計が全回折損となる^{5) 7)}。

以上のように複数のナイフエッジがある場合には、当然ではあるが単独のナイフエッジの場合と比較して大きな回折損となる。

4 観測システム

観測システムは、アンテナ（海上保安大学校第 1 実験棟（4 階建）屋上に設置）、ブースター、同軸ケーブル（25m）、AIS 受信機（AI3000）、データ取得・保存用 PC で構成され、受信系に関する利得を表 1 に示す。なお、この観測システムはスプラディック E 層観測を主たる目的としており、南西方向の観測に主眼を置いているため、アンテナの向き（指向性係数が最大となる方向）は南西付近である。このため表 1 に示したアンテナの利得はこの方向についてで

あり、実際の AIS 電波は様々な方向から到来するため一般的には表で示した値より小さくなる。

表1 観測システムの利得

	形式	利得
アンテナ	VHF テレビ用 八木アンテナ (112C-8)	6[dBi]
ブースター	VUB40N	35[dB]
ケーブル	5C-FVA	-3[dB]
合計		38[dB]

5 解析結果

図4 (カシミール3D[®]) を使用して作図) に受信点である海上保安大学校 (大学校) から図1の各地点方向を見たときの山の状況を示す。江田島などの島に隠され、どの地点についても見通し内にはないため、これらの地点からの電波が受信される場合は一般的に山岳回折によるものであると判断できる。図1からわかるように、A点とE点付近では比較的安定して連続的に受信できているが、その他の海域ではほとんど受信できていない。

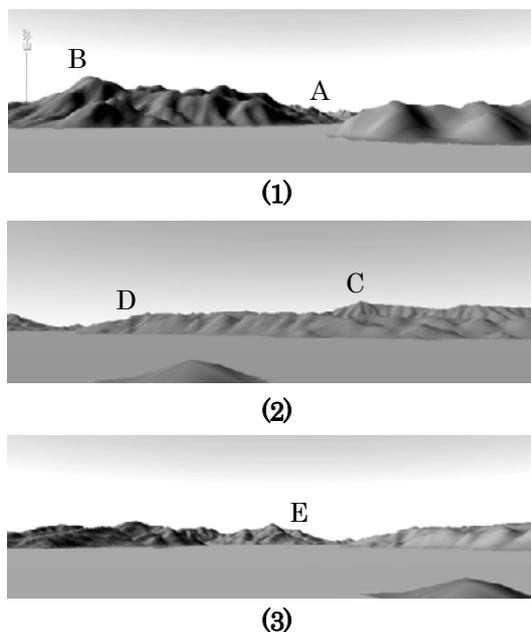


図4 海上保安大学校から各地点方向の山の状況

図4を見るとA点～C点の範囲では回折源となる山の標高が高くなっている。またこの図ではわからないが、この範囲は江田島 (図4に表示されている山並み) の後に西能美島があり、これらの影響で回折損が大きくなるため受信できていないと考えられる。また、C点～E点間は図4に表示されている江田島、東能美島の標高は比較的低くなっているが、これらの後に大黒神島や沖野島が

あるため、損失が大きく受信できていないと考えられる。ただし、B、C、D点付近ではわずかではあるが受信できている、受信可能な限界付近の条件 (損失) であると考えられる。

図5 (カシミール3D[®]) を使用して作図) に、大学校と図1で示した各地点間の断面図を示す。伝搬損失計算の例として、これらの地点での障害物の特徴を示し計算方法を記す。図5各図の左端が大学校、右端が各地点、縦軸が標高、横軸が距離を示す。

図5 (1) は大学校～A点間の断面図であるが、標高約240mのピークA1の左に標高約120mのピークA2が存在する。大学校とピークA1を結ぶ直線からピークA2は70m程度 (第1フレネル楕円体の中心線からの距離) 離れており、(3) 式からこの地点での第1フレネル帯の深さを計算すると約40mであることから第1フレネル帯を遮蔽しておらず、このピークA2による伝搬への影響は大きくないと考えられる。このため第1フレネル帯遮蔽による損失は考えず、ピークA1のみ存在するとして回折損のみを対象とする。

図5 (2) は大学校～B点間の断面図であり、中間に複数のピークがあるのがわかる。標高約240mのピークB1の右側の標高約170mのピークB2については、このピークの地点での第1フレネル帯の深さが約30mで第1フレネル楕円体の中心線からピークまでは約50mであることから、図5 (1) の場合と同様に第1フレネル帯に入らないため無視し、左側の標高約200mの連続した2つのピークB3とB1の2つの回折損を対象とする。

図5 (3) は大学校～C点間の断面図であり、他の図と比べ縦軸の目盛りが2倍となっているが、標高約510mのピークC1とその左側に標高約140mのピークC2があるのがわかる。ピークC2はこのピークの地点での第1フレネル帯の深さが約75m、第1フレネル楕円体中心線からピークまでは約50mとなっており第1フレネル帯の一部を塞いでいるため、これによる損失を加味する。回折損についてはピークC1のみ存在するとして求める。

図5 (4) は大学校～D点間の断面図であり、中間に標高の低い多数のピークがあることがわかる。この中で、左端の標高約110mのピークD1と中央付近の標高約120mのピークD2が高いため、この2つのピークを回折損の対象とする。また、右端の約50mのピークD3の地点でのフレネル帯の深さは約74m、第1フレネル楕円体の中心線からピークまでは約25mであり、第1フレネル帯の一部を塞いでいるためこれによる損失を加味する。なお、他の小さなピークは第1フレネル帯を塞いでいないため無視する。

図5 (5) は大学校～E点間の断面図であり、中央付近に標高約240mのピークE1が1つだけ存在するため、このピークによる回折損のみ対象とする。

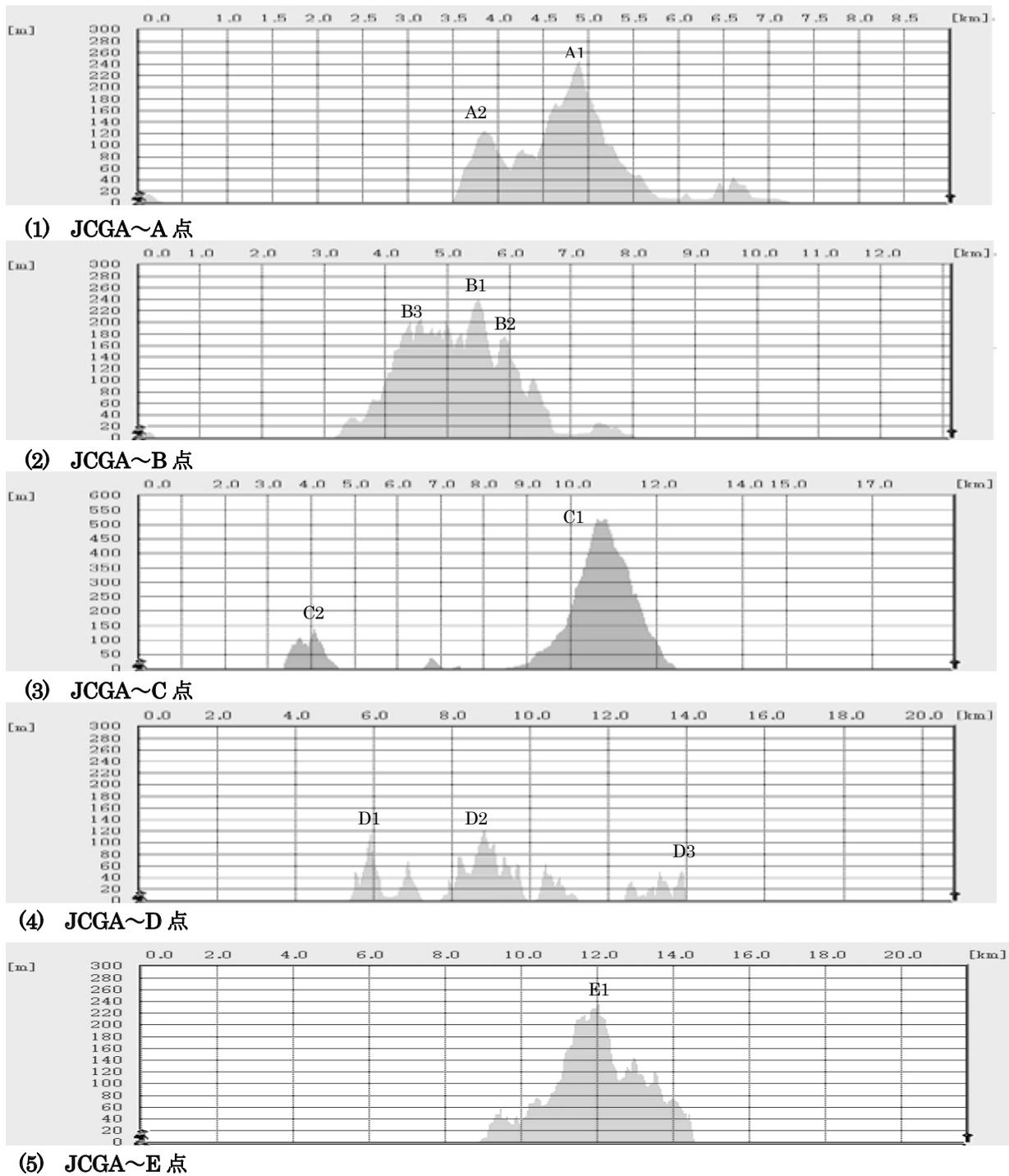


図5 海上保安大学校と各地点間の断面図

表2に各地点毎の基本伝送損、回折損、フレネル帯を塞ぐための損失、これらを合計した総損失を示す。なお、ナイフエッジが2つ存在する場合には、付加損失を用いる方法を利用して求めた個々のナイフエッジによる回折損が高々10dB程度であった。これは計算結果の信頼性が高くなる目安として先に記した15dBより低く、全体の損失を過小評価してしまう虞があったため、付加損失を使用する方法は使わず、片側のナイフエッジの影響を主として考える方法を採用して計算した。なお、計算を簡略

化するため、アンテナ高については、大学校側、こじま側の両方を15mとしたが、アンテナ高の設定を15m変えて0mとした場合でも損失の差は最大で1dB程度であり、大学校側とこじまの実際のアンテナ高の差や潮汐によるこじまのアンテナ高の変化は、今回の結果に大きな影響は与えないと考えられる。

この表を見ると、当然ではあるがエッジ高の高いC点に関する回折損が大きくなっている。また、複数のエッジがあるB点、D点はエッジ高がC点の場合の1/2~1/4程度であっても回折損は高めとなっており、特に200m級の

山が連続しているB点については大きな損失となっている。なお、B点に関しては伝搬路上の連続した2つのピークについて、簡略化のため1つのピークとして計算したので、実際の伝送損はこれより更に大きくなると考えられる。A点、E点については障害物は単一エッジであり、エッジ高は両点とも約240mでC点の場合と比べて低いため回折損も低めである。ただし、A点までの距離はE点の半分未満であり、A点はE点より基本伝送損は当然小さいが、同じエッジ高であっても仰角が高く妨害される程度が大きいため回折損はE点よりも大きくなっている。

表2 海上保安大学校と図1で示した各点間の損失

地点	距離 [m]	第1エッジ高 [m]	第2エッジ高 [m]	基本伝送損 [dB]	回折損 [dB]	第1フレネル帯遮蔽 [dB]	総損失 [dB]
A	9000	240	—	95.6	26.7	—	122.3
B	13200	200	240	98.9	31.3	—	130.2
C	19000	510	—	102.1	30.5	0.5	133.1
D	20400	110	120	102.5	26.7	1.5	130.7
E	21700	240	—	103.3	22.8	—	126.1

こじま側の送信電力が12.5[W] (41dBm)、送信アンテナはホイップアンテナ (約 $\lambda/2$ 長) で利得が2dB程度であることから、表1で示した観測システム全体での利得38dBを勘案すると、全体としては送信電力1[mW]に対して81dBの利得となる。この利得を考慮すると表2で示した130dB程度の伝搬損失があっても、受信機への信号入力は-50dBm程度となり、これは使用したAIS受信機の感度 (-112dBm) に比べかなり大きいので、信号強度だけを考えれば十分受信可能なレベルとなる。しかしながら、受信可能かどうかはS/N (信号対雑音比) にも関係するため、信号のレベルだけで決まるのではなく、受信システム内で発生するものなどを含んだ雑音のレベルも影響するが、少なくとも受信アンテナ付近の信号レベルが雑音よりも大きい必要がある。

海上保安大学校第1実験棟屋上で測定した160~165MHzの周波数スペクトルの一例を図6に示す。これは、2017年12月2日午前9時0分に、アンリツ製スペクトラムアナライザMS2711Eと自社製アンテナMP534B ($\lambda/2$ ダイポールに調整して使用) を利用して測定したものであり、横軸が周波数[MHz]、縦軸が強度 (電力密度) [dBm]を示している (アンテナの利得については、スペクトラムアナライザのアンテナ設定で調整済)。162MHz付近のピークはAIS電波のものであり電力密度が約-71dBmと大きく

なっているが、それ以外の部分は雑音のみで約-101dBmとなっている。

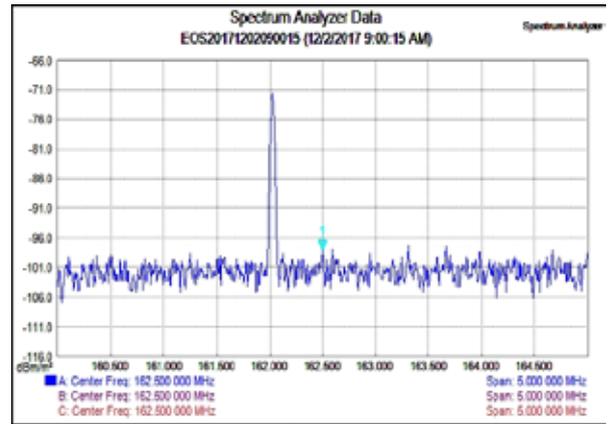


図6 第1実験棟屋上での電力密度

このように大学校付近では、背景雑音が-100dBm程度存在するため、受信可能なのは受信アンテナ付近での電力密度がこの背景雑音よりも大きい場合であると考えられる。このため、受信系での利得を除外した信号強度を背景雑音と比較する必要がある、利得は送信電力及び送信アンテナに関する利得を合計した43dBのみとする。すなわち、伝搬損失が130dB程度であれば、受信点付近の電力密度は-90dBm程度となる。

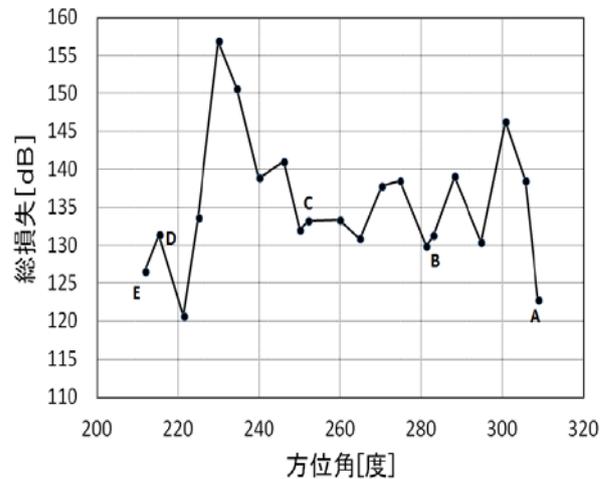


図7 海上保安大学校からの方位角と損失

図7は大学校からこじまの通過海域方向を見た場合の損失の変化を示したものであり、カシミール3D[®]を使用し、約5度毎に図5と同様の断面図を描き損失を計算した結果を用いて作成した。なお、方位角260~270度付近は、第1実験棟の構造物や大学校構内の三石山が伝搬路を遮蔽しているため、実際の損失はここに示したものより大きくなっている。

図8はこじまのAIS電波の受信間隔の変化を示したものであり、A~E点について図7との対応がわかりやすくなるように、横軸 (時間軸) を通常と逆方向に設定している。これらのグラフ中のA~Eは図1と対応している。

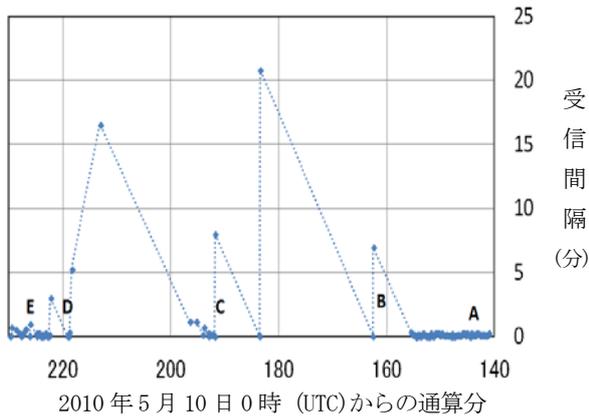


図8 受信間隔の変化

航走中のAISによる位置情報の送信間隔は2から10秒であるが、A点付近とE点付近では比較的安定して受信できているようであり、これら以外ではほとんど受信できていないことが図8からわかる。ただし、例えば図7の220度付近（D点近く）では総損失が小さくなっており、図1や図8を見るとD点付近でも稀に受信できていることがわかる。このように、ほとんど受信できていない海域であっても、稀に回折損が小さい条件となる位置が存在し、受信できている場合もある。このような例外はあるものの、B, C, D点付近はほとんど受信できなかった海域であり、総損失は130dB以上となっているが、これに利得43dBを加えると、受信アンテナ付近の電力は-90dBm程度となる。ただし、実際の丸みを持った山岳による回折の損失はナイフエッジ回折よりも大きくなるためここで求めた値より大きく、受信アンテナ付近の電力はより小さくなっている可能性が高い。この値は背景雑音のレベルに近いので、受信できなかつたり受信状況が不安定になつたりすると考えられる。このようなことから、受信できる場合の伝搬損失の上限は130dB程度と推測される。

6 考察

前章の解析結果から、総損失130dBが受信可能かどうかのひとつの目安であることがわかった。ただし、前記のように山岳回折損失について過小評価している可能性も高いため、安定して受信するためには、図7、8を参考にすると、これより損失が5~10dB低い120~125dBを目安とすることが望ましいと考えられ、ここではこれを基準として、伝搬距離、ナイフエッジ高、ナイフエッジ位置と損失の関係について考察する。

図9は送受信点間の距離を2000m一定とし、その中点（送信点から1000m地点）にナイフエッジがある場合に、ナイフエッジの高さ変化による損失の変化を示したものである。ただし、総損失には約83dBの基本伝送損が含まれている。送信点（受信点）からナイフエッジまでの

距離にも関係するが、この例の場合ではナイフエッジ高が300m程度に上がるまでの損失の上昇が大きく、その後はゆるやかになっていることがわかる。これは中間のナイフエッジの高さ変化が送信点（受信点）からナイフエッジを見上げた仰角の変化に与える影響（損失に与える影響）が、ナイフエッジ高がある程度高くなると大きな差を生まなくなってくるためである。

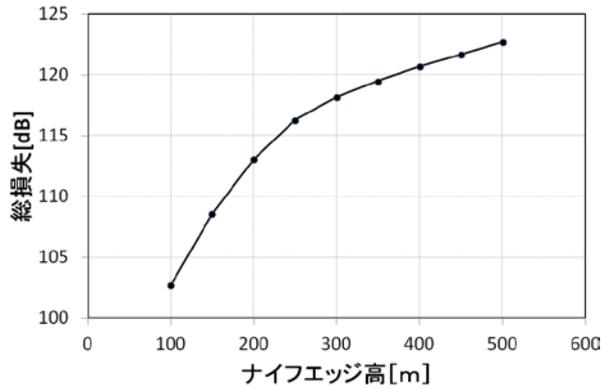


図9 ナイフエッジ高による損失の変化

この例は伝搬距離が2000mと比較的近距離の例であるが、近距離で基本伝送損が小さくても近くに400m以上の山が存在し伝搬路を遮る場合には、損失が120dBを超えてしまう。これは近距離であっても伝搬路上に高い山が存在する場合には安定した受信ができなくなる可能性があることを示すが、実際の海域でこのような状況となっていることは稀であると考えられる。

実際にこじまが大学校出港後から図1のA地点付近に達するまでは、大学校北側の岬の山に伝搬路が遮られ見通し外となっている。図10（カシミール3D[®]）を使用して作図）に大学校からこの間のこじまの航行海域方向（広島方面）を見たときの山の状況を示す。

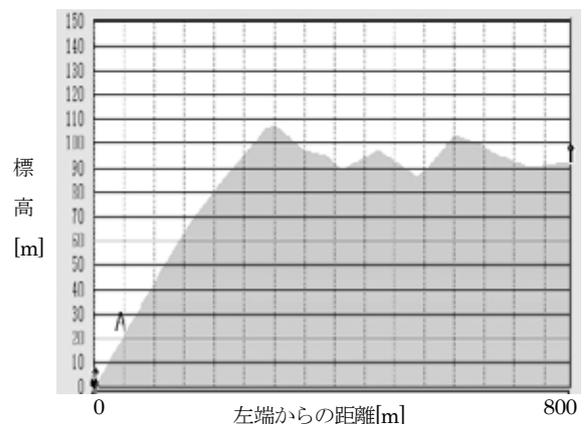


図10 大学校から広島方面を見たときの山の状況

大学校から山までの距離は約1600mであり、山の高さは100m程度である。図中のAは図1のA点方向を示しており、こじまはこの図の左端から中央付近の間の方向を順

次航行し、A点に至っている。このように見通しのない状況であっても、図1を見ると比較的安定して受信できていることがわかる。実際に大学校から山を見た感覚では、完全に伝搬路が遮断されてしまい大きな損失を生じるように感じるが、前述の損失が120dBを超える場合の伝搬路上の山の状況（距離1000mのところには高さ400mのナイフエッジがある場合）が仰角としては20度を超えるのに対し、この場合の仰角は5度未満しかない。このため損失の程度は、受信状況に大きな影響を与えるレベルには至っていないと考えられる。

以上のことから、基本伝送損が小さい近距離であれば、ほとんどの海域で受信が可能であると考えられる。

図1 1は送受信点間の距離が5000m、ナイフエッジ高が300mの場合のナイフエッジの位置（送信点からの距離）による損失の変化を示したものである。ただし、総損失には基本伝送損が約90dB含まれている。送信点、受信点から見たナイフエッジの状況が同じ場合の回折損は同じであるため、グラフは2500mを中心として左右対称になっている。

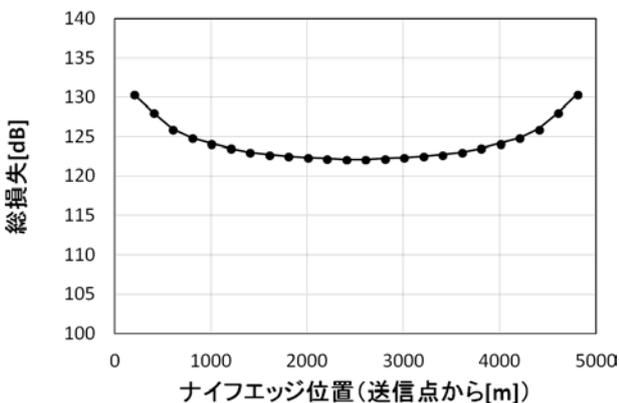


図1 1 ナイフエッジ位置による損失の変化

この図を見ると、ナイフエッジが伝搬路の midpoint にある場合と送信点または受信点に接近している場合では損失に10dB近い差があることがわかる。これも前記のように、送信点または受信点に近い場合は、ナイフエッジを見上げた仰角が大きくなるため、遮蔽の影響が大きくなるからである。

この例の場合の損失は常に120dBを超えているが、これは伝搬距離が長く基本伝送損が大きいためである。例えば距離2000mの場合は、回折損は増加するが基本伝送損が減少するため総損失は図9で示したように120dBを下回る。実際の海上交通を考えた場合は、船舶同士が時間とともに接近してくると回折損の増加以上に基本伝送損が減少するため、回避動作が十分可能な距離での受信には大きな影響はないと考えられる。

図1 2は送受信点間の伝搬路の midpoint に高さ300mのナイフエッジがある場合、送受信点間の距離によって損失がどのような変化をするか示したものである。当然では

あるが基本伝送損は距離が長くなるにつれて大きくなっている。回折損については前記のように送信点、受信点からナイフエッジを見上げた仰角が問題となるため、距離が長くなり仰角が低くなると次第に下がってきている。

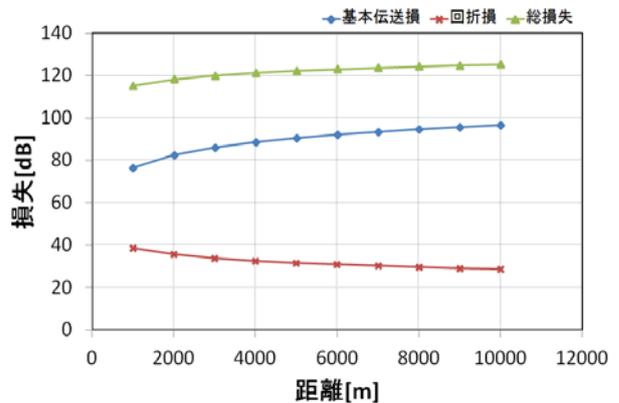


図1 2 伝搬距離による損失の変化

この例の場合には伝搬距離が5000mを超えると損失が120dBを超えるが、前述のように、ナイフエッジの位置が送信点や受信点に近づいたり、ナイフエッジ高が高くなったりすれば損失が120dBを超える距離は当然短くなる。

以上のように総損失は、伝搬路の長さ、障害物の高さや位置という条件によって変化するため、安定して受信できる条件を簡潔に示すことはできないが、一般的な海域での航行の安全性には問題ない程度の受信が可能であると推測される。

7 おわりに

AISでは、従来他船の動静把握に主として使われてきた目視やレーダーでは得られなかった多くの情報を得ることが可能となり、更に夜間や見通し外の船舶の情報も得ることができる。しかしながら、島影の船舶のAIS電波が受信されることは広く知られているものの、どのような状況であれば受信可能かを示した研究結果は見当たらない。これが明らかになれば、必要な海域に対応したりピーター設置など更なる安全対策が可能になると考えられ、本研究ではAIS電波の回折伝搬について考察した。

実際の観測結果から、近距離ではほとんどの場合で受信できており、また江田島のような比較的大きな島の裏側でも状況によっては受信できていたことから、一般的な状況では十分回避行動が間に合う位置関係での動静把握が可能と考えられることを示した。

電波伝搬モデルを利用した様々な条件下での解析結果から、総損失は、伝搬通路の長さ、障害物の高さや位置という条件によって変化するため、安定して受信でき

る条件を簡潔に示すことはできないが、特殊な地理的条件下や雑音強度が高い場合等を除き、一般的な海域での航行の安全性には問題ない程度の受信が可能であると推測されることを示した。

本研究では簡単な回折モデルを利用したが、前記のように山は丸みを持っており、また伝搬路上に複数存在する場合がほとんどであり、実際の伝搬損失は本研究で算出したより大きくなると推測される。このような実際の状況についてより正確に解析するには複雑なモデルを導入する必要がある、これについては今後の検討課題である。

今後、実際の船舶での山岳回折波の受信状況を把握するため、練習船こじまで取得したデータと海上保安大学校で取得したデータの比較などの解析を進めていく予定である。

謝辞

実際の船舶での AIS 情報の利用状況や海上交通等について教示して頂いた海上保安大学校海事工学講座山田多津人教授、田中隆博教授に感謝します。

参考文献

- 1) 山本淳, 田中隆博, 山田多津人, 長澤明, AIS (船舶自動識別システム) を利用した VHF 伝搬の観測, 海上保安大学校研究報告第 2 部, 第 49 卷 (2005), 第 1・2 号, pp.21-32.
- 2) 富澤一郎, 横山貴文, 山幡琢也, 大谷厚志, 奥埜竜一, 山本淳, 津川卓也, 西岡未知, 齊藤真二, HF~UHF 帯電波観測から求めた Es の構造と移動特性, 電気通信大学宇宙・電磁環境研究センター研究集会 (予稿集), 2013, pp.47-48.
- 3) 富澤一郎, 齊藤真二, 山本淳, HF~UHF 帯電波観測による中緯度電離圏の研究, 電気通信大学宇宙・電磁環境研究センター研究集会 (収録), 2012, pp.28-34.
- 4) 諏訪欣也, 古谷恒雄, 「空中線系および電波伝搬～電波伝搬～」, 啓学出版, 1991.
- 5) 細矢良雄監修, 「電波伝搬ハンドブック」, リアライズ社, 1999.
- 6) International Telecommunication Union, *Propagation by diffraction*, Recommendation ITU-R P.526-12, 2012.
- 7) 進士昌明編著, 「無線通信の電波伝搬」, 電子情報通信学会, 1997.
- 8) カシミール 3D, <http://www.kashmir3d.com>.