

# 小型船舶用位置通報装置に関する研究

松田 真司・田中 隆博・山田 多津人・山本 淳

## 1. はじめに

海上交通の安全を確保するためには、一定のエリア内に存在する全船舶の状況が把握できる体制を整えることが重要である。船舶自動識別装置 (AIS) や簡易型 AIS (Class B AIS) がその役割を果たすと期待されたが、コストや設置上の問題などの問題があるため小型船舶については普及が見込めない。本研究では AIS の普及が望めない小型船舶をターゲットとした AIS に類似した位置通報装置について検討し、実験装置を作成して海上での電波やデータの伝搬状況や伝送距離などの性能評価を行うものである。

## 2. 小型船舶用の位置通報装置の現状について

### 2.1 概要

輻輳海域での海上交通管制や衝突事故の防止のため、一定の大きさ以上の船舶に対しては AIS の搭載が義務化されている。加えて、非搭載義務船への普及を図るために簡易型 AIS (Class B AIS) の規格が制定され、数年前から Class B AIS の実機が市場に出回っている。総トン数 500 トンクラス未満の小型船についてはごく一部で任意で Class B AIS を搭載しているケースが見られるようになったが、プレジャーボートや漁船

といった小型船舶への搭載は皆無に等しい。小型船への普及が進まない理由は、コストや設置上の問題に加え、AIS を装備してしまうと遠方まで情報が送られることによるプライバシーの問題があると考えられ、今後もこの状況の改善は見込めない。

このように、海上交通を管理する上で重要な位置通報装置は、大型船については AIS や一部では Class B AIS が位置通報装置として装備され安全管理上の強力なツールとなっている。小型船舶での使用を想定している AIS のような位置通報の機能を有した装置についてはこれまでにいくらか検討されている。その概要をまとめると、表 2. 1 に示すように、①Class B AIS ②小型漁船救急支援システム ③GPS・DSC 機能付き国際 VHF 無線機 が挙げられる。

①については総トン数 500 トン未満クラスの内航船などへの装備については問題ないものの、前述のとおり小型船舶についてはコストや設置場所の問題がある。②については海中転落などの事故が発生したときの緊急時位置通報装置であり常時運用する位置通報装置システムではないことと、漁業無線局を有していることが前提となっているため小型漁船やプレジャーボート

表 2. 1 位置通報装置の比較

	①Class B AIS	②小型漁船救急支援システム	③GPS・DSC 機能付き国際 VHF 無線機
無線局免許	必要	必要 (別途沿岸局への送信のための無線設備)	必要
無線従事者免許	不要	同上	必要
出力	2W	1W～ (無線設備) / 10mW (発信器)	1W～
コスト (Class B AIS を基準)	—	追加装置のみであれば比較的安価	安価

への装置の普及が見込めない。③については、無線従事者免許や船舶無線局免許の取得が前提となっており、普及のためのハードルが高いこと、また、位置通報装置のように常時運用するシステムではないといったそれぞれ問題を抱えており、コストや機能面でプレジャーボートや漁船といった小型船舶用としてふさわしい位置通報装置が存在していない。

海上交通の安全化のためには、一定のエリア内に存在する全船舶の状況が把握できる体制を整えることが重要であり、小型船舶用の装置を新たに考案する必要があると考える。

## 2.2 Class B AIS の普及状況

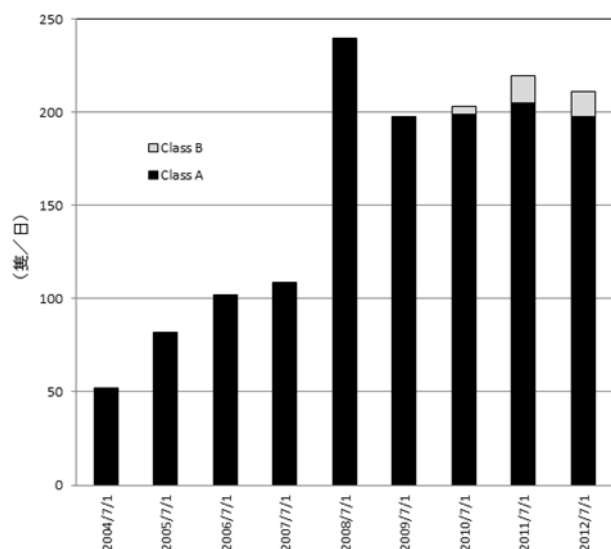


図2. 1 来島海峡付近を航行する AIS 搭載船の推移

当初小型船舶への普及も期待されていた Class B AIS の普及状況について説明する。図2. 1は来島海峡の西口付近を通航した AIS 搭載船を海上保安大学校から継続観測している結果を示している。来島海峡には1日あたり約700隻の通航船があることから、この付近の AIS 搭載率でも30%程度にしか達していない。2010年頃から Class B AIS 搭載船の通航が確認されるようになったものの、その隻数は1日あたり15隻程度であり、現状では AIS 搭載義務のない総トン数500トン未満の内航船などへの Class B AIS

すら普及が進んでいないことがわかる。なお、この海域を航行するプレジャーボート、漁船への Class B AIS の搭載は皆無といってよい状況にある。

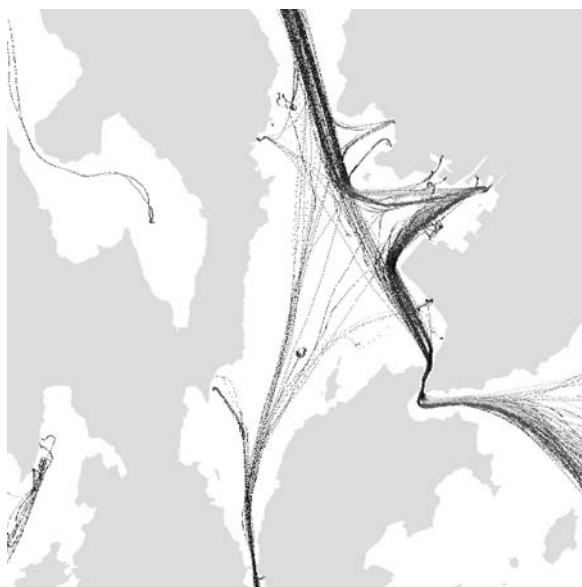


図2. 2 呉湾周辺の AIS 搭載船の航跡 (2012年7月1日00時~72時間観測)



図2. 3 Class B AIS 搭載船の航跡 (2012年7月1日00時~72時間観測)

図2. 2は、総トン数500トン未満の船舶の通航船の割合が比較的大きい呉湾において AIS の72時間観測をした結果である。同図の航跡のほとんどが搭載義務船によるものである。同じ

データから Class B AIS のみを抽出したものが図 2. 3 であり、両図からも Class B AIS が普及していない様子が見て取れる。

### 3. 実験装置の作成

本研究では、機器の使用に際して、無線局免許、無線従事者免許とも不要な特定小電力無線局に含まれる機器（以降、これらの制度及び機器を総称して「特小無線」と呼ぶ。）を使って実験装置を作成することとした。特小無線は 0.01W 程度の出力を有し、各メーカーのカタログスペックによれば、FM のハンディトランシーバタイプ無線電話の場合は陸上で 500m 程度、海上で 1km 程度の通話距離があるとされている。

この特小無線機をデジタルデータ伝送に用いた場合には環境によっては陸上での伝送距離が数 km 到達することもあるとされているため、海上のように見通しの良い場所であれば数海里程度の伝送距離が期待できる。数海里の伝送距離があれば衝突などの海上交通事故を予防するための装置としても、また、プライバシー保護の観点からもほどよい伝送距離と言えよう。総務省によれば平成 22 年に 400MHz 帯のテレメーター・テレコントロール・データ伝送用として出荷された特小無線機器の台数は 145 万台にも及ぶとされ、陸域においては近距離データ伝送用の通信システムに広く利用されている。

この特小無線は免許が不要であり、装置が安価である一方で、

- ・特小無線は日本独自の制度である。
- ・技術基準の検査時の状態で使用しなければならず、空中線の変更すら許されない。
- ・出力が小さく、遠距離の直接通信には向かない。

などの制約があるため、一定の距離を隔てて直接通信を必要とする海上でのデータ通信に利用された例が見られず、その利用可能性を含め、海上で使用した場合の伝送距離などの実態がよくわかっていない。

そこで、図 3. 1 のような小型船舶位置通報

実験装置（以下、「実験装置」と呼ぶ。）を作成して海上での実験を試みることにした。同図において、データを送受信するための特小無線モデムは表 3. 1 に示す仕様の市販の汎用品（サーキットデザイン製 MU-1N）を使用した。

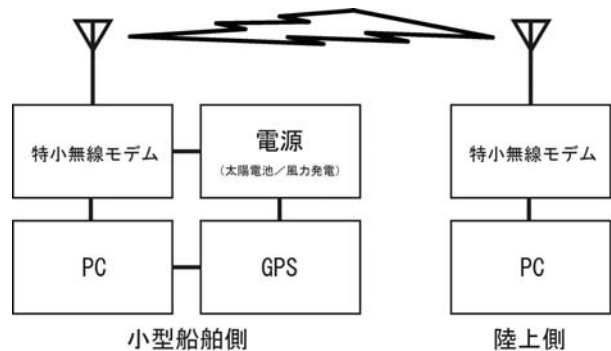


図 3. 1 実験装置概要図

表 3. 1 特小無線モデム (MU-1N) の主な仕様

周波数	429.2500~429.7375MHz
送信出力	10mW
変調方式	2値FSK
受信感度	-115dBm

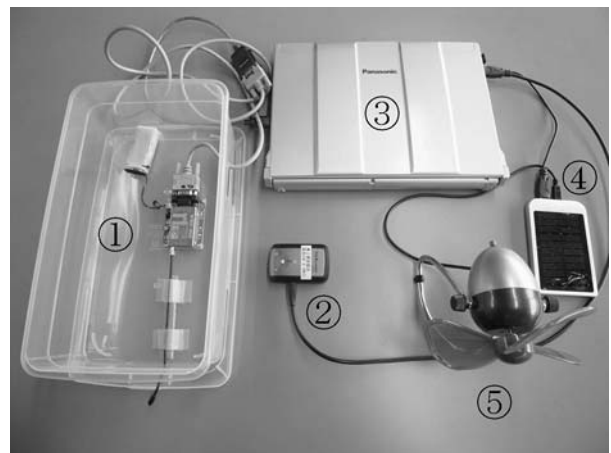


写真 3. 1 実験装置 (小型船舶側)

写真 3. 1 が、今回作成した装置であり、その概要を説明する。同写真において、

①は表 3. 1 のスペックを持つ特小無線モデムであり、モデム本体から伸びているワイヤー状の物は  $\lambda/4$  空中線である。

②は NMEA 出力ができる GPS 受信機であり、市場

に普及している安価な GPS ロガーを使用した。この手の装置は本体に一定期間の位置情報の記録機能があるため、小型船舶に搭載しておくだけでも事故が発生した場合の原因究明などの検証手段として有効であろう。

③はパーソナルコンピュータであり、GPS 受信機からの NMEA データを特小無線モデムに受け渡す役割と特小無線モデム等の種々の設定の変更を行うためのものである。

④は蓄電池付き太陽電池であり、今回は最大発電能力 0.7W、蓄電池容量 2,600mA/h の物を用いている。

⑤は USB ファンをベースに変圧回路と逆流防止用装置を組み込んで作成した風力（航走風）発電装置である。自然風によって必要な電力を発電することは難しいため、この装置は航走時に得られる風によって発電して蓄電池に蓄えるコンセプトの発電装置であり、今回作成した装置であれば 6kn 程度の前進速力から充電を開始していた。小型船舶に搭載することを想定すると機器の設置場所の問題以外に電源をどのように確保するかも大きな問題になる。晴天の日中であれば今回使用した④⑤程度の容量の蓄電池と航走風発電装置があれば、Class B AIS と同程度の送信レート（30sec. 毎）であれば特小無線モデムと GPS の電力を継続的に賄うことができた。小型船舶の場合、船内電源が確保できない場合が多く、このような電源装置を使用すれば蓄電池の電力がなくなるまで、また、蓄電池の電力が尽きた後であっても航走中であれば夜間でも情報を送信できる（夜間航行の可能性のある小型船舶の場合は、舷灯などから電源を導いてくることも考えられる。）。なお、図 3. 1 の陸上側の装置は写真 3. 1 の装置から②④⑤を除き、商用電源を使用したものである。

## 4. 実験装置の海上での実験

### 4.1 データの取得

前章の実験装置を用いて、海上での実験を実施した。実施日等は表 4. 1 のとおりであり、機器のセッティングの状況を写真 4. 1 に示す。

表 4. 1 海上実験概要

実施日	平成 24 年 11 月 10 日
場所	海上保安大学校前面海域
アンテナ高	約 2m（小型船舶、陸上とも）

図 4. 1 に示すとおり、陸上側の受信装置を浮棧橋に設置し、小型船舶（船体 FRP 製、全長 7.91m、幅 2.41m）に実験装置を搭載し、海上保安大学校前面海域の大麗女島（島頂の標高約 31m）周辺を航走させて送受信データ等を収集した。



写真 4. 1 海上実験での機器セッティング状況

### 4.2 航跡（船位情報）から見た伝送状況の分析

VHF を使用している AIS は 9,600bps の伝送速度、そのほか VHF～UHF 帯の packet 通信では 1,200～9,600bps 程度の伝送速度が使われていることが多いため、実験では伝送速度を 1,200、4,800、9,600、19,600bps の 4 段階で変化させた。

小型船舶側から 1 秒に 1 回船位情報を送信し、陸上側の受信装置で受信した。陸上側で得られた船位情報を図 4. 1～図 4. 4 に示す。図 4. 1 に示す区間 A は、陸上側の受信点と海上の小型船舶上の機器との間に障害物のない区間であり、区間 B は大麗女島等の遮蔽物が存在する区間である。

一般的には伝送速度を高くすると最大伝送距離が短くなる傾向があるものと考えられるが、区間 A においてはいずれの伝送速度でも 1,000m を超えるあたりから受信状態が急に悪くなった。いずれも

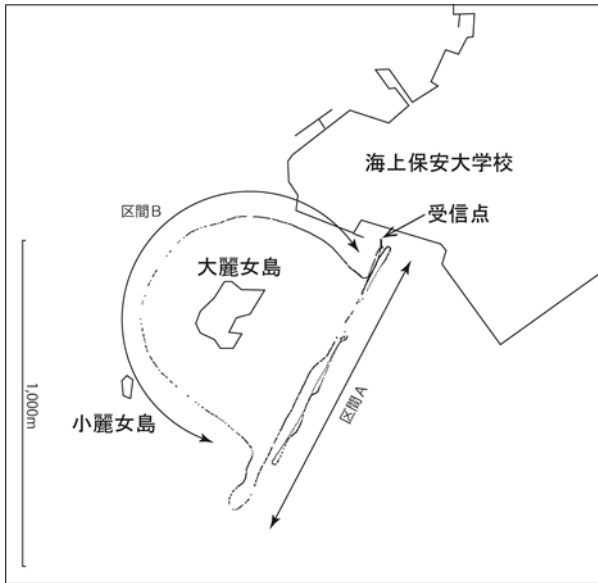


図4. 1 海上実験の場所の概要および伝送速度 1,200bps で得られた航跡

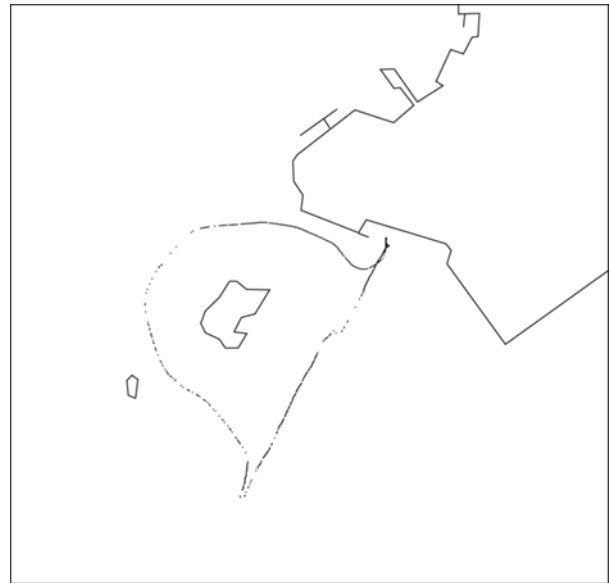


図4. 2 伝送速度 4,800bps で得られた航跡

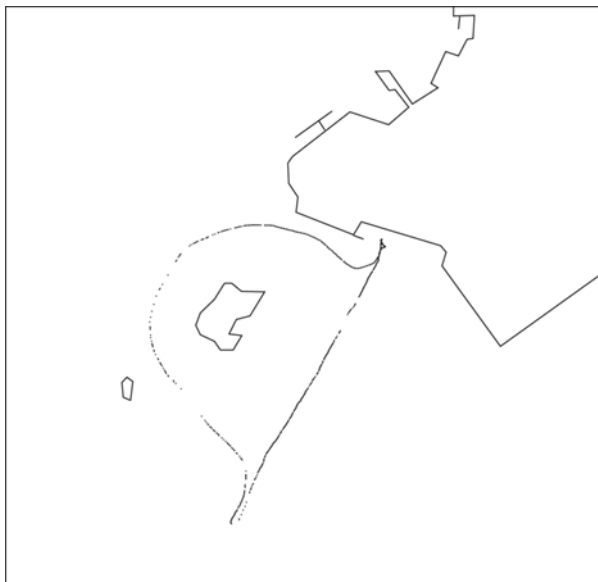


図4. 3 伝送速度 9,600bps で得られた航跡



図4. 4 伝送速度 19,200bps で得られた航跡

最大伝送距離は約 1,100m であり、伝送速度による明確な違いが生じず、伝送速度と伝送距離との間に明確な関係は見られなかった。この理由は次節で考察を加える。

障害物の少ない海上においては数海里程度の伝送距離があると期待されたが、今回の海上実験の結果はその伝送距離の数分の 1 程度であり、また、ハンディトランシーバタイプの特小無線電話の伝送距離との差もないことから考えても、この伝送距離はかなり低い値のように思われる。

図 4. 5 は伝送距離に対しての伝送率 (=100×受信データ数/送信データ数) を示した結果である。伝送距離 800m までは 70% 以上の伝送率があるものの、800m を超えると伝送率が低下している様子がわかるとともに、伝送速度による明確な差がないことがわかる。また、同図において、200-400m 区間で極端に伝送率が低下していることに関しては、次節でスペクトラムアナライザを用いて取得した受信電力の観点から考察を加える。

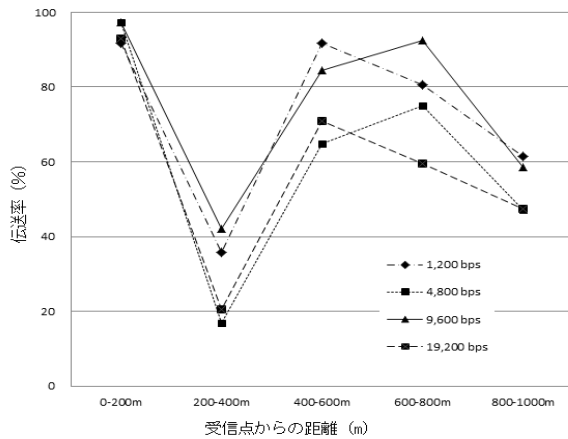


図 4. 5 受信点からの距離と伝送率

遮蔽物が存在する区間 B については、距離的な解析ができないため、航跡の途切れ具合から判断すると、伝送速度 1,200bps と 4,800bps が比較的良好な結果を示している。今回のデータだけでははっきりしたことは言えないものの、また、遮蔽物の様態やアンテナ高にもよるが、あまり通信速度を上げることは好ましくなく、特小無線の周波数や出力を考えると、小型船舶用位置通報装置に活

用する場合は、せいぜい 4,800bps が実用通信速度の上限となろう。

また、いずれのケースも区間 B に向かうために区間 A の南端で装置を搭載した小型船舶が反転した直後に受信状態が良くなっている様子が伺えたため、船上のセッティング（アンテナ高というよりはむしろ船上の構造物との関係）によって受信状態に大きく影響を与えている可能性が否定できないため、設置方法による影響の調査を今後実施したい。

#### 4.3 受信電力から見た伝送状況の分析

##### 4.3.1 背景雑音との比較

海上実験において、船位情報の取得に併せてスペクトラムアナライザ（アンリツ製 MS2711E）によって測定した結果について述べる。

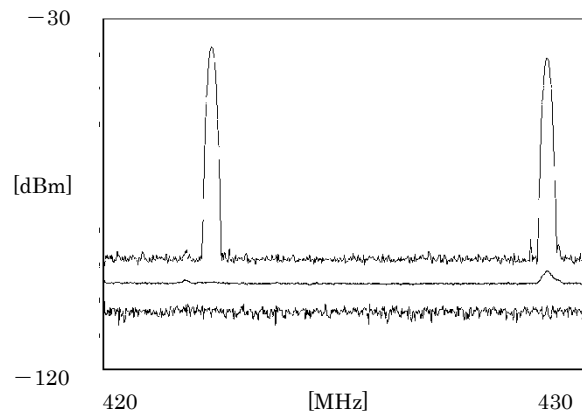


図 4. 6 420~430MHz の周波数スペクトル

図 4. 6 は 2012 年 10 月 20 日 1456 から約 20 分間の観測で得られた 420MHz から 430MHz の周波数スペクトル（受信電力）を示したもので、グラフ内の線は上から順に、最大値、平均値、最小値を表している。最大値の右側の大きなピークが実験装置に利用した特小無線モデム（MU-1N）によるもので、左側の大きなピークは海上実験中に陸上と海上間の連絡に使用したハンディトランシーバタイプの特小無線電話のものである。この周波数帯でのテストサイト（海上保安大学構内）における背景雑音レベルは、

-90 から -100dBm となっているが、特小無線モデムの仕様による受信感度が -115dBm となっているため、雑音を上回る -90 から -100dBm 以上の受信電力が得られれば、情報伝送が可能と考えられる。

#### 4.3.2 実海域での測定結果

図4.7(a)～図4.7(d)は海上実験を行った際の、実験装置で伝送された位置情報から求めた伝播距離とスペクトラムアナライザで測定した受信電力の関係をプロットしたものである。すなわち、同図のプロットは情報伝送が成功したときの受信電力を示している。各図とも -100dBm の付近にデータ点が集中しているのが見て取れる。これは実験装置の送信タイミングとスペクトルアナライザの走査タイミングのズレが主な原因と考えられるが、距離が離れた場合にほとんどが -100dBm 程度となっていることから、背景雑音と同じ程度であっても伝送が行われたと考えられる。

また、伝送速度を 19,200bps まで上げた結果を見ても、他の伝送速度の増加と受信結果とに明確な差が現れていないことがわかる。この結果は前節の航跡の観点からも言及したことであるが、今回の海上実験での最大速度 (19,200bps) がシャノンの式による理論値 (最大値) の 1/10 程度であったため、伝送速度の違いによる差が現れなかったものと考えられる。

#### 4.3.3 測定値と理論値との比較

図4.8は障害物のない自由空間伝播における距離と受信電力の関係を示す理論曲線である。特小無線モデムの仕様に基づき、送信電力を 10dBm (10mW)、アンテナゲインを 2dBi (送受信とも) として計算している。この結果をみると、特小無線モデムの仕様での受信感度が -115dBm であるため、自由空間であれば 4km (約 2 海里) 以上の伝送は十分可能であると考えられる。これは、当初本研究で求めていた伝送距離を満たす値である。

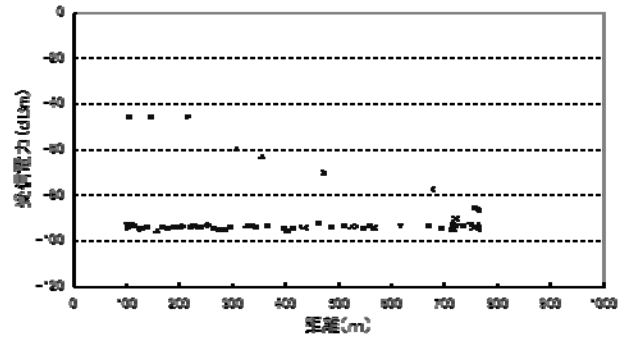


図4.7(a) 伝播距離と受信電力 (1,200bps)

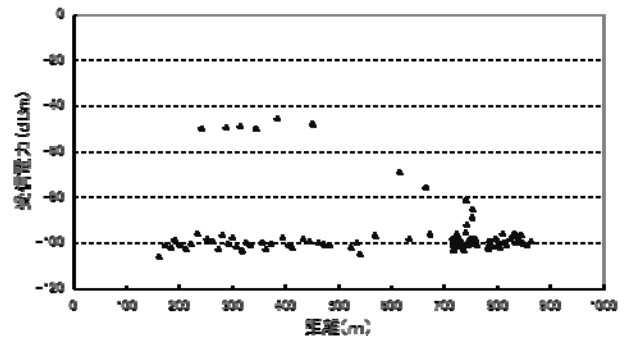


図4.7(b) 伝播距離と受信電力 (4,800bps)

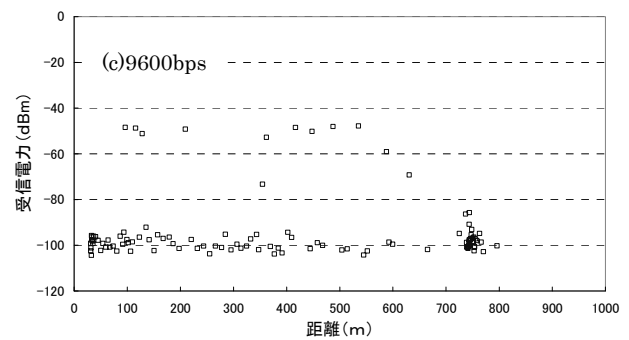


図4.7(c) 伝播距離と受信電力 (9,600bps)

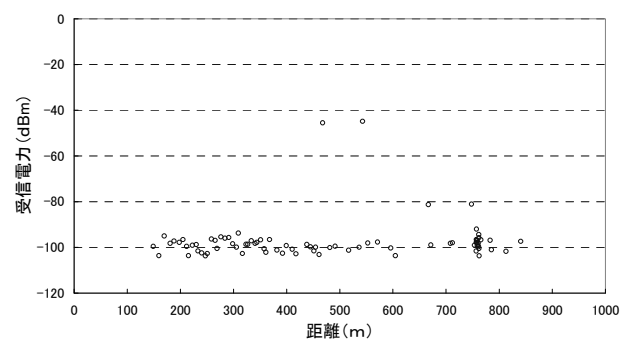


図4.7(d) 伝播距離と受信電力 (19,200bps)

しかしながら、実際の測定結果は図4.7に示したとおりであり、減衰が激しく、予想よりかなり低い受信電力しか得られなかった。この原因のひとつとしてフレネル帯（フレネルの半波長帯）の問題が考えられる。

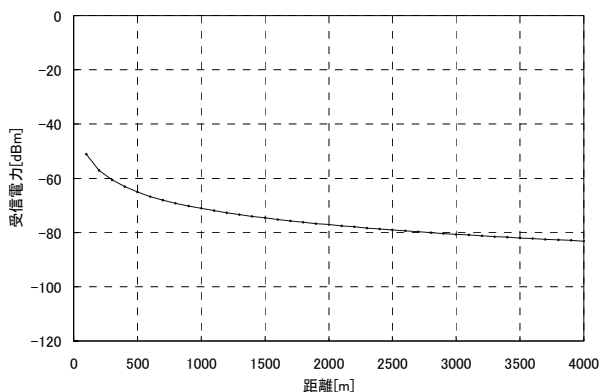


図4.8 特小モデムの仕様に基づく自由空間伝播時の受信電力変化の予想

ここでは詳しい説明は省略するが、送信点 T から受信点 R に電波が伝播するとき、直線的に伝播する場合からの伝播距離の伸びが、半波長以内となる領域を第1フレネル帯と呼んでいる。この第1フレネル帯の範囲内に障害物があると減衰が激しくなるため、通信回線の設定に関して注意を要するものとされている。

このフレネル帯は、図4.9に示すように、送信点 T と受信点 R を焦点とする回転楕円体の内部を示すことになり、同図のフレネル帯の深さ  $d$  を求めることにより障害物の影響の有無を判断することができる。

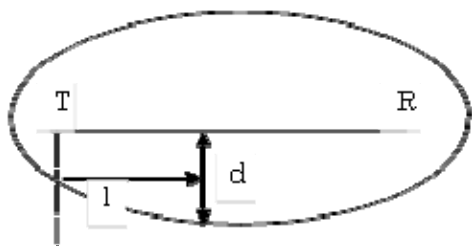


図4.9 第1フレネル帯の深さ

本海上実験の場合、使用周波数約 430MHz（波

長約 70cm）では TR 間の距離が受信点から 50m 離れると、中点の第1フレネル帯の深さは約 3m となるため、送信アンテナ高が約 2m、スペクトラムアナライザの受信アンテナ高が約 4m であったことを考えると、50m 以上離れると第1フレネル帯が海面にかかり始めることになる。TR 間の距離が 600m 以上になると中点の第1フレネル帯の深さは 10m を超えるようになるため、送信アンテナや受信アンテナを高い場所に設置できない場合は減衰が激しくなると考えられる。

また、伝播距離と受信電力の関係は、理論的には送受信点間の距離が 10 倍になると 20dB 減衰することになるが、実験時の測定結果は図4.7のようになっており、実際の減衰は理論値の2倍以上（真数の変化として 2 乗以上）となっている。また、図4.7のように距離に単純に比例する横軸とした場合は、グラフは距離が離れるに従って（デシベル表示した）受信電力の変化が緩やかになるはずであるが、実際にはこのような特徴は見られなかった。これらについては、前記のフレネル帯の問題、海面の状態、送信アンテナや受信アンテナ付近の構造物等が相互に作用した結果による影響等が関わっていると考えられるが、現在のところ原因を明らかにするには至っていない。

#### 4.3.4 特小無線（430MHz 帯）の利用状況の調査

つぎに、スペクトラムアナライザを利用して特小無線周波数帯の利用状況を調査した結果を示す。図4.10および図4.11は2012年10月31日1000~1100および同日1100~1200に、今回使用した特小モデムの使用周波数帯を包含する周波数帯（429.1750~429.7375MHz）のダイナミックスペクトルを示している。受信電力 -74dBm 以上を白、-134dBm 以下を黒とし、その間の電力をグレースケールで区分して示している。図4.10はほとんどが雑音の状態であり、計3日間程度の観測をした結果、大多数の時間帯が同様の状態であった。

図4.11は通信が行われたのが観測された



事例である。縦に伸びる白いスジが何本かあるのが分かるが、これは受信電力が大きかったことを示しており、何らかの通信に使用されたことを意味している。このような状況が観測された時間帯に、受信機で信号を音声化して調査したところ、これらはなんらかのテレメーター・テレコントロール・データ伝送用の信号または秘話化された工場内での連絡に使用されていると思われるような信号音であった。このようなチャンネルが使用されている時間帯に同じ周波数を本研究の目的のような通信で使用した場合には競合が起こり、既存の設備に障害を与えてしまうことになるため注意が必要である。ただし、特小無線の伝搬距離を考えれば、海上移動用に専用チャンネルを割り当てるまでもなく、本研究の実験装置のような小型船舶用に位置通報装置としての特小無線の利用形態が他の特小無線局へ影響を及ぼしたり、逆に影響を及ぼされたりすることは少ないものと考えられる。

## 5. まとめ

小型船舶用を想定した特小無線を用いた位置通報装置の実験装置を作成し、海上実験を行った。このような簡易的な装置の要請は海上交通の安全の観点のみでなく、漁業資源管理、領海警備といった分野でも要請があるものと考えられる。

当初、10mW 程度の出力でも海上のデジタル通信であれば数マイル程度の伝送距離があることを見込んでいたものの、今回の実験装置では伝送距離は 1km 程度しか得られなかった。この伝送距離については理論値との乖離が大きく、フレネル帯の影響のみでは説明できないため、その原因の究明が急がれる。この点が解明されれば、海上においては少なくとも特小無線 430MHz 帯の利用はあまりなされていないことから、新たな周波数を確保することもなく、この周波数帯を利用した低コストで実用的な装置の開発も可能と考える。

今後は、今回の実験装置を活用して以下を考慮したシステムへの展開を考えたい。

- ・ AIS と互換性を考慮した送信情報のデータ構造

- ・ 接近船舶に対する注意喚起、警報機能
- ・ 事故発生時の記録装置（ドライブレコーダ、航海情報記録装置のような機器）としての機能

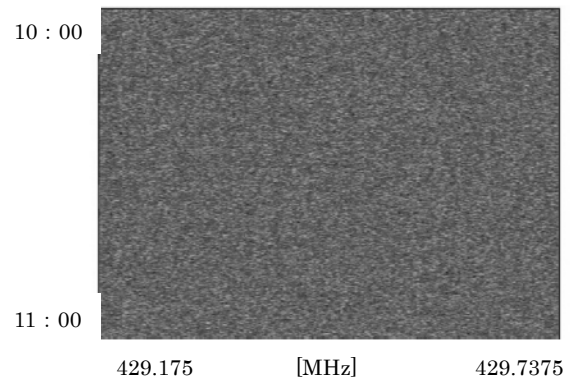


図 4. 10 ダイナミックスペクトル (1)  
(2012 年 10 月 31 日 10~11 時)

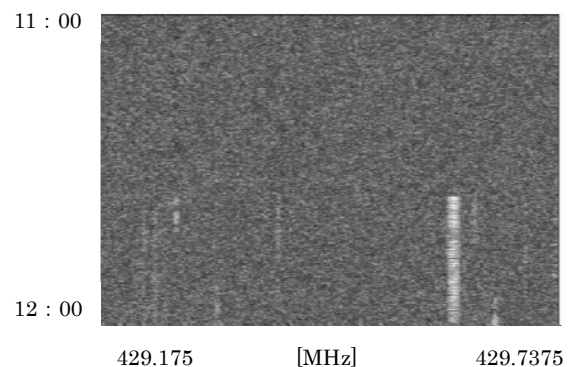


図 4. 11 ダイナミックスペクトル (2)  
(2012 年 10 月 31 日 11~12 時)