

第3章 実地試験

3.1 試験目的

船舶上に設置された携帯電話基地局による携帯電話サービス（エリアや通信品質等）が、船舶の動揺、方向変化及び潮位の変化等により、どの程度影響を受けるかを調査し、災害時における同サービスの有効性を検証する。

図表 3-1-1 移動測定車（左）、巡視船「くろせ」（右）



3.2 試験内容

試験は、巡視船「くろせ」（以下、巡視船）に実験試験局を設置し、沿岸から1 km～5 kmの距離において試験電波を発射し、陸上での受信電力等の測定及び実通話による通話品質等の検証を行った。

具体的には、2回の実地試験を実施しており、

- ・「試験1」（1回目の試験）として、主にエリア化の判定
- ・「試験2」（2回目の試験）として、主に通信品質の判定

を行った。

3.2.1 試験1

（1）試験方法

災害時を想定した地域を選定し、海上伝搬におけるエリア化の判定をするため、巡視船上の実験試験局から無変調波を送信し、陸上側で定点及び移動測定車による面的な受信電力を測定した。

なお、実験試験局の周波数は、2GHz帯である。

（2）日程

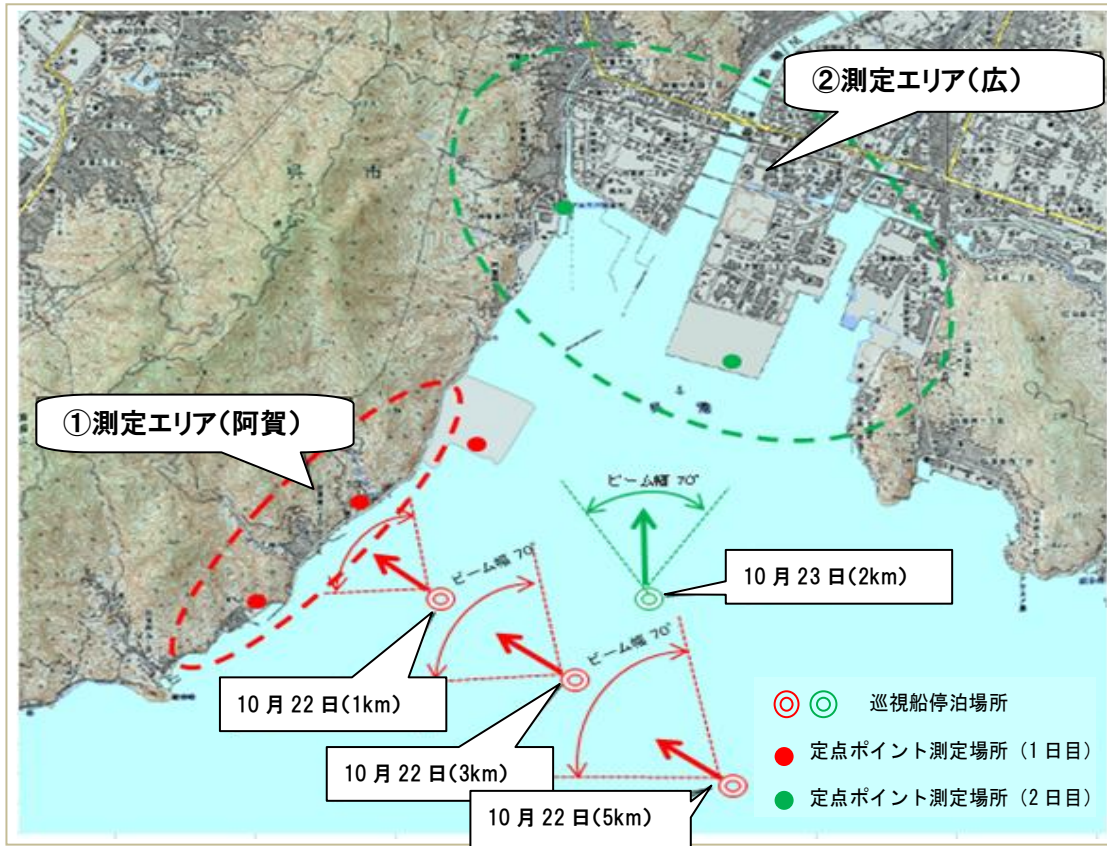
10月22日（月）～23日（火） 2日間

なお、機材設営に10月21日の午後、機材撤去に10月24日の午前を設定した。

(3) 試験場所

- 呉市阿賀地区 : 巡視船の陸上からの距離 1km、3km、5km
- 呉市広地区 : 巡視船の陸上からの距離 2km

図表 3-2-1 試験場所（呉市阿賀及び広地区）



「国土地理院の数値地図5万分の1（地図画像）『島根・広島』を使用」

3.2.2 試験 2

(1) 試験方法

巡視船に実験試験局及び衛星通信設備を設置し、変調波による実環境での陸上定点の受信電力及び各種データ測定（注）による回線品質等を測定。

なお、実験試験局の周波数は 800MHz 帯である。

- (注) 基地局からの希望波と干渉波を含んだ全受信電力・・・RSSI
- 基地局からの希望波電力・・・ E_c
- 希望信号電力対干渉電力比・・・ E_c/I_0
- フレーム誤り率・・・FER
- ITU-Tでも用いられている音声品質の数値評価値・・・PESQ

(2) 日程

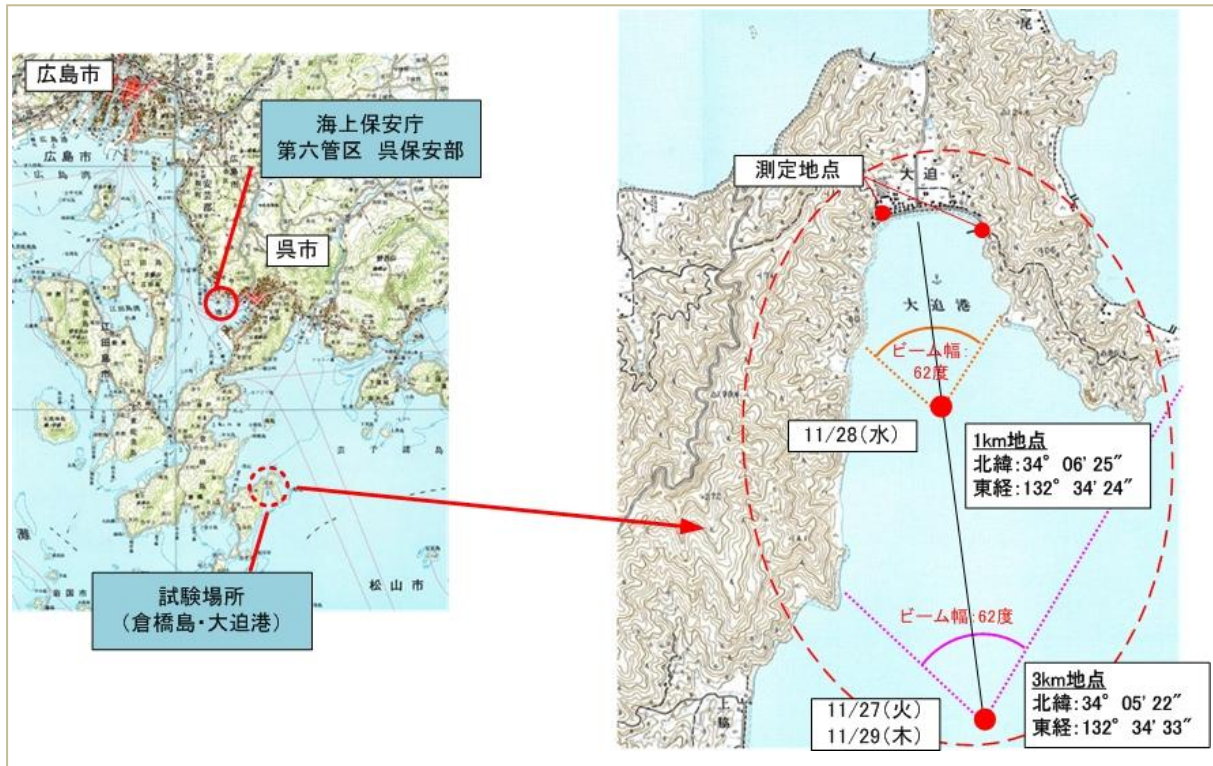
11月27日（火）～29日（木） 3日間

なお、機材設営に11月26日の全日、機材撤去に11月29日の午後を設定した。

(3) 試験場所

呉市倉橋町大迫地区 : 巡視船の陸上からの距離 1km、3km

図表 3-2-2 試験場所 (呉市倉橋町大迫地区)



「国土地理院発行の20万分の1地勢図（広島）及び2万5000分の1地形図（倉橋島）を使用」

3.2.3 参考情報

図表 3-2-3 測定ポイント等参考情報


項目	試験 1	試験 2
陸上の定点測定ポイント	屋外定点各5ポイントで連続測定 呉防災センター等屋内8ポイント	屋外定点2ポイントで連続測定
陸上の道路上の測定	道路上を走行し連続測定	測定なし
船上の無線設備	八木アンテナ 海拔高 20m アンテナ利得 7dBi ケーブル損失 6.75dB 電波の型式等 無変調波 空中線電力 1W	コーナーレフレクター 海拔高 15.5m アンテナ利得 9.14dBi ケーブル損失 2.09dB 電波の型式等 変調波 空中線電力 音声2.5W、データ 10W 衛星通信設備
船舶の位置	阿賀 : 1km、3km、5km 広 : 2km	倉橋町大迫 : 1km、3km
陸上の測定機材	受信電力測定器+電測ツール (パソコン) 受信アンテナ高 1.5m	実験用携帯電話+電測ツール (パソコン) 受信アンテナ高 1.5m
測定項目	受信電力	受信電力 RSSI, Ec, Ec/Io, FER, PESQ,スループット
船舶の変化等の記録 気象状況	GPSシステムによる 巡視船から提供	傾斜計、GPSシステムによる 巡視船から提供

図表 3-2-4 実験試験局一覧(免許状記載事項)

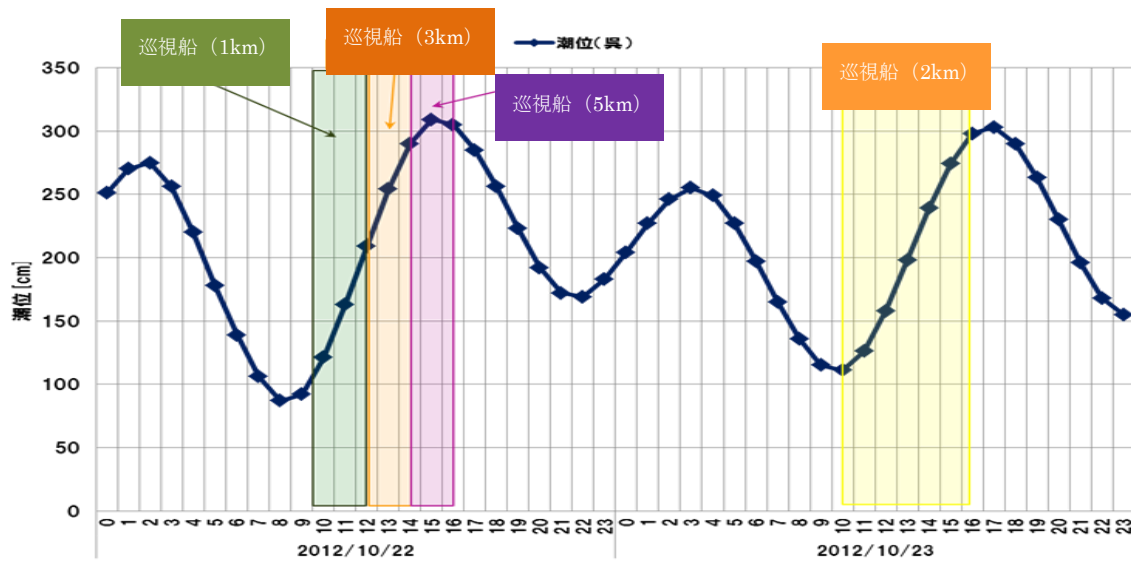
運用の形態	装置番号	電波の型式	周波数	空中線電力	備考
試験1	1	N0N	2,135.2MHzから 2,149.8MHzまで (200kHz間隔の 周波数74波)	3.16W	既設実験 試験局利用
試験2	1	G7W	871.20MHz	20W	CDMA2000- 1X (音声用)
		G7W	873.66MHz	10W	EVDO (データ用)
	1	G1A	826.20MHz 828.66MHz	0.25W	4台 陸上側測定 地点に常置
		G1B			
		G1C			
		G1D			
		G1E			
		G1F			
G1X					
G7W					

図表 3-2-5 気象状況及び潮位表

気象状況 試験1

日付	測定時間帯	時刻	風向	風速(m/s)	波高(m)	天候
10月22日(月)		9:00	-	0	0	晴れ
		10:00	-	0	0	
		11:00	-	0	0	
		12:00	西北西	0.5~1.5	0	
		13:00	北東	0.5~1.5	0	
		14:00	北	0.5~1.5	0	
		15:00	南西	3.4~5.4	0~0.5	
10月23日(火)		9:00	北	0.5~1.5	0	雨
		10:00	北	0.5~1.5	0	
		11:00	北	0.5~1.5	0	
		12:00	西南西	5.5~7.9	0.5~1.0	曇り
		13:00	南西	8.0~10.7	0.5~1.0	
		14:00	西	8.0~10.7	0.5~1.0	
		15:00	北	3.4~5.4	0.5~1.0	
16:00	北北西	3.4~5.4	0.5~1.0			

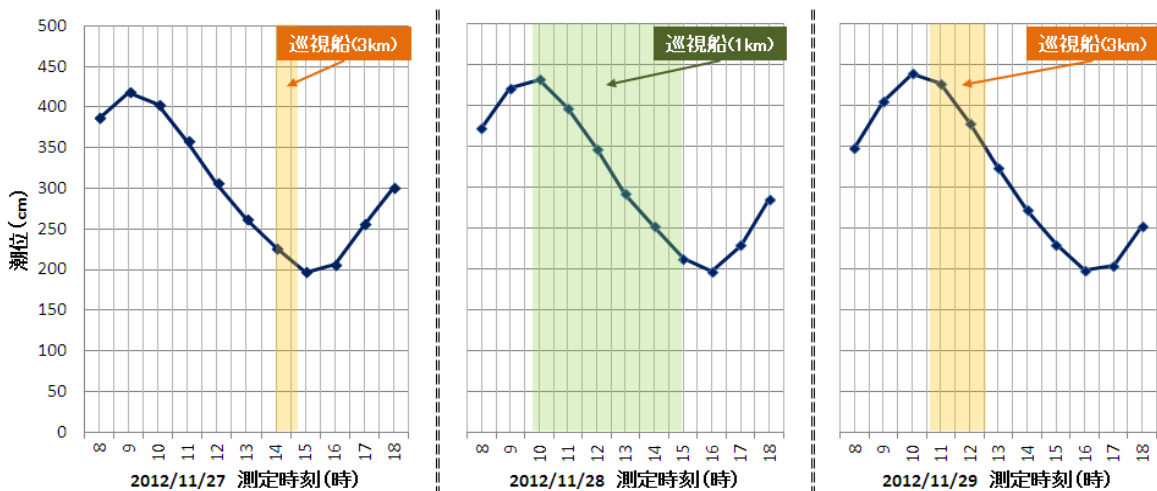
潮位表 試験 1



気象状況 試験 2

日付	測定時間帯	時刻	風向	風速(m/s)	波高(m)	天候
11月27日(火)	◇	11:00	北北西	2.5	0.1~0.2	晴れ
		12:00	北	4.5	0.1~0.2	
		13:00	北	4.0	0~0.1	
		14:00	北	3.5	0.1~0.2	
		15:00	北北西	1.5	0.1~0.2	
		16:00	北北西	1.0	0	
11月28日(水)	↑↓	9:00	北北西	2.5	0~0.1	晴れ
		10:00	南西	3.5	0.2~0.3	
		11:00	西南西	1.0	0~0.1	
		12:00	南	3.5	0.1~0.2	
		13:00	南	4.5	0.2~0.3	
		14:00	南西	6.0	0.5~0.7	
		15:00	南西	4.5	0.5~0.7	
16:00	南西	2.5	0.2~0.3			
11月29日(木)	↑↓	10:00	北	4.0	0.1~0.2	曇り
		11:00	北	3.0	0.1~0.2	
		12:00	北	3.0	0.1~0.2	
		13:00	北	3.5	0~0.1	

潮位表 試験 2



3.3 試験結果

3.3.1 通信エリア

(1) 試験 1

ア 走行による受信電力測定試験

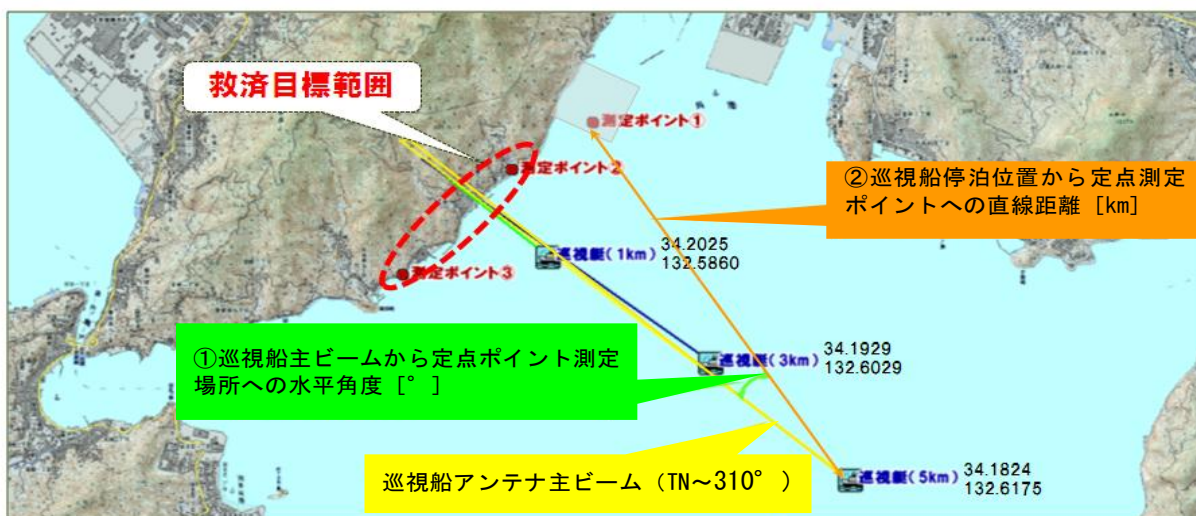
(ア) 阿賀地区

救済目標範囲の多くの地点で車内利用可能レベル以上を確認。

また、沖合 3km 及び 5km からの結果は、見通しの良い地点ではシミュレーション（注）より良い結果が出ている。

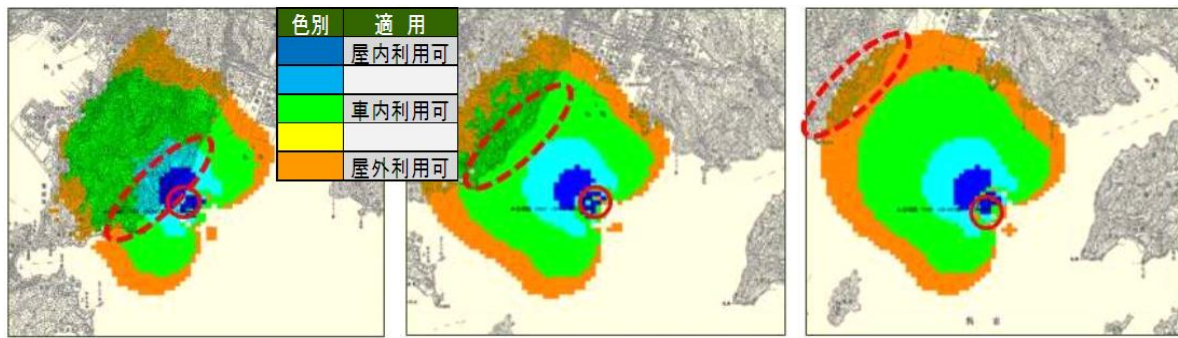
（注）：海上伝搬モデルを適用して PC により計算。現地地形は考慮。なお、建物高の影響は考慮せず。

図表 3-3-1 救済目標範囲（呉市阿賀地区）



「国土地理院の数値地図 5 万分の 1（地図画像）『島根・広島』を使用」

図表 3-3-2 距離別のシミュレーション値（上図）と測定値（下図）との比較（走行試験）



「国土地理院の数値地図 2 万 5000 分の 1（地図画像）『広島』を使用」



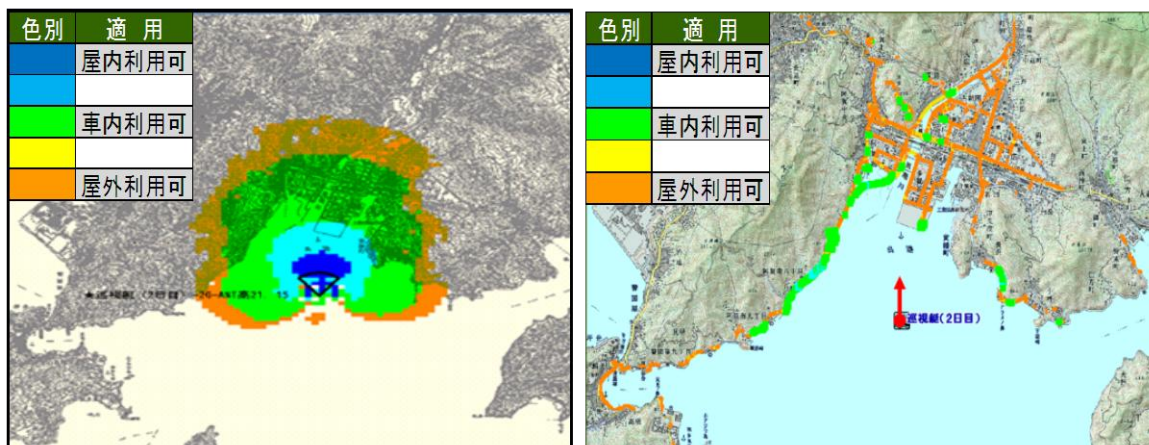
「国土地理院の数値地図 5 万分の 1（地図画像）『島根・広島』を使用」

(イ) 広地区

沖合 2km の地点に巡視船を停泊させ、建物が密集した広地区の受信電力を測定した。その結果として、

- ・ 巡視船から見通しのある道路上や高台で車内利用可能レベル以上を確認。
- ・ 市街地の多くで屋外利用可能レベルを確認。
- ・ 巡視船から見通しのある建物の一階入り口付近では携帯電話は使用可能であるが、建物が密集した地域の建物の奥まった所では使用は困難であった。

図表 3-3-3 沖合 2km のシミュレーション（左図）と測定値（右図）との比較（走行試験）



「国土地理院の数値地図 2 万 5000 分の 1『広島』及び 5 万分の 1『島根・広島』（地図画像）を使用」

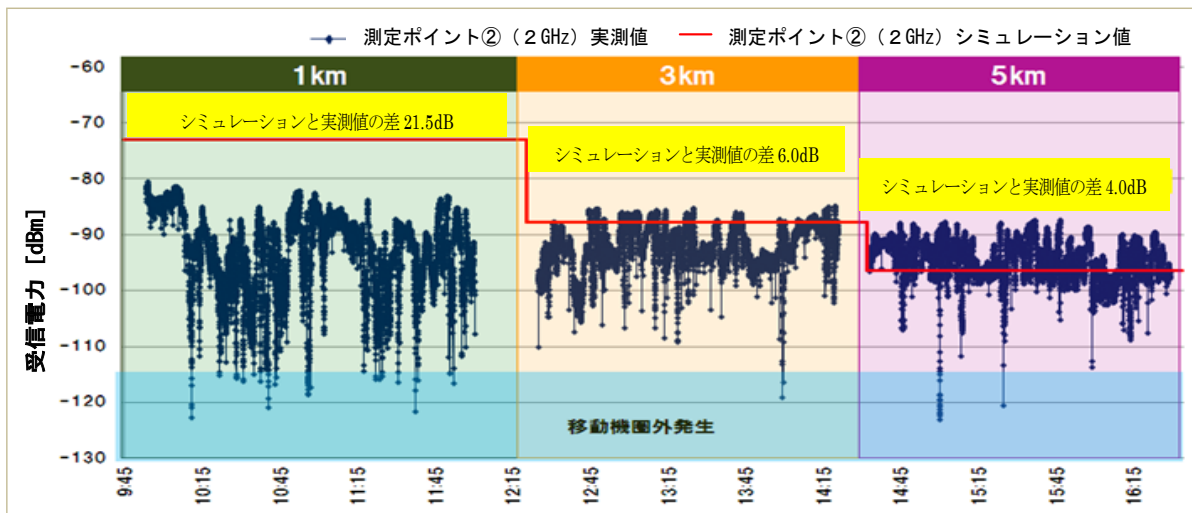
イ 定点ポイントにおける受信電力測定

呉市阿賀地区における測定ポイント②の受信電力は、

- ・ 巡視船が沖合 1km 地点の場合、シミュレーション値より低い値
- ・ 巡視船が沖合 3km 及び 5km の場合、ほぼシミュレーション値と近似との結果が出た。

沖合 1km の結果については、海面反射による影響が出たものと考えられる。

図表 3-3-4 距離別のシミュレーション値と測定値との比較（定点ポイント）

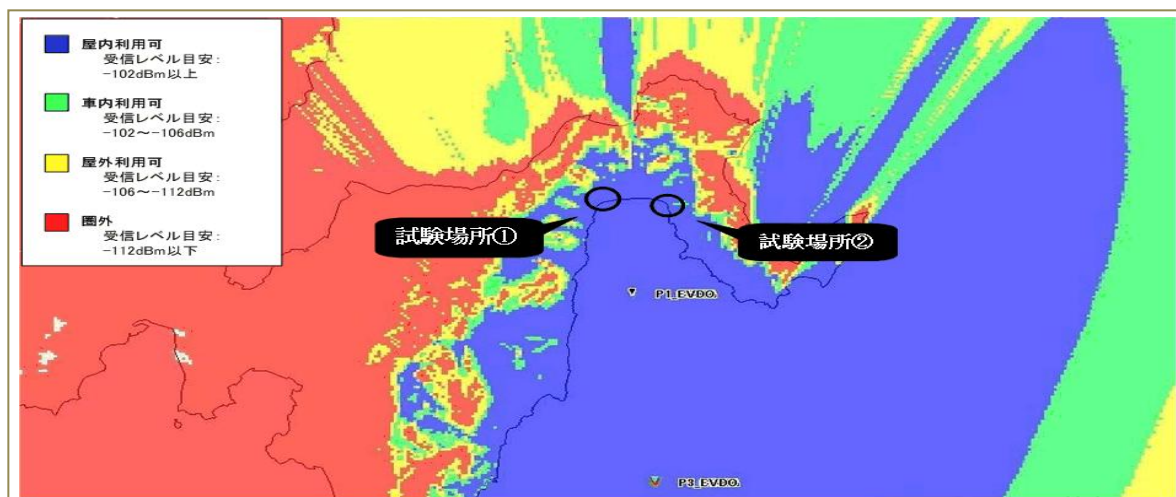


(2) 試験 2

試験 2 では、移動測定車による面的な受信電力測定は行っていないが、シミュレーション（注）結果は次のとおり。青、緑、黄色は通信可能なエリアであり、定点による実測値（ $-75\text{dBm} \sim -80\text{dBm}$ ）がシミュレーション結果より良い結果が出たことから、十分なエリアが確保出来るものと推定される。

（注）：現地地形を考慮して PC により計算。なお、建物高の影響は考慮せず。

図表 3-3-5 シミュレーション結果（呉市倉橋町大迫地区）



3.3.2 通信品質

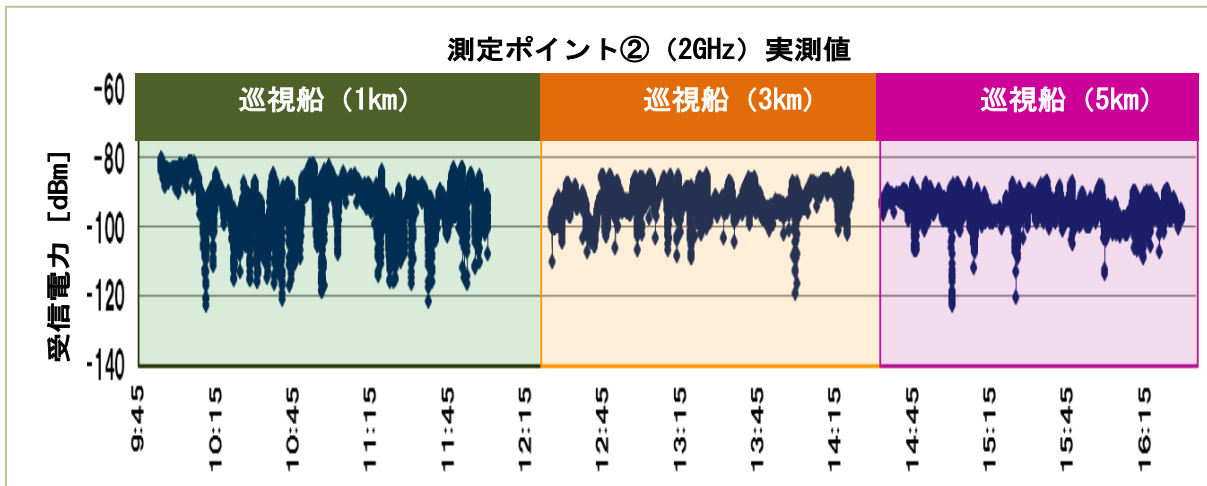
(1) 試験1

ア 受信電力変動幅

(ア) 阿賀地区 (1日目)

沖合1kmで受信電力変動幅標準偏差は大きく、3kmでは小さくなっているが、これは潮流等による巡視船の向きの変化に起因するものと考えられる。

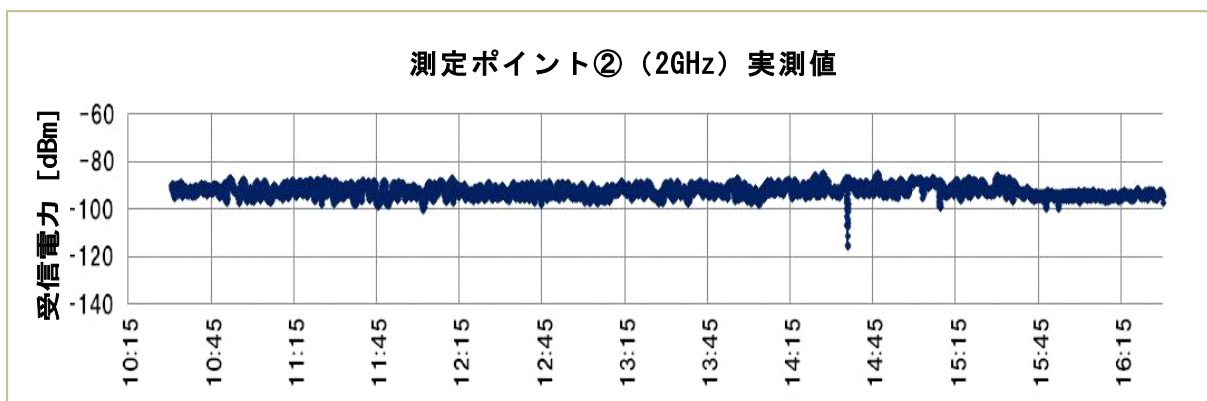
図表 3-3-6 距離別の受信電力連続測定結果 (定点ポイント)



(イ) 広地区 (2日目)

1日目と比べ、かなり安定している。

図表 3-3-7 距離別の受信電力連続測定結果 (定点ポイント)



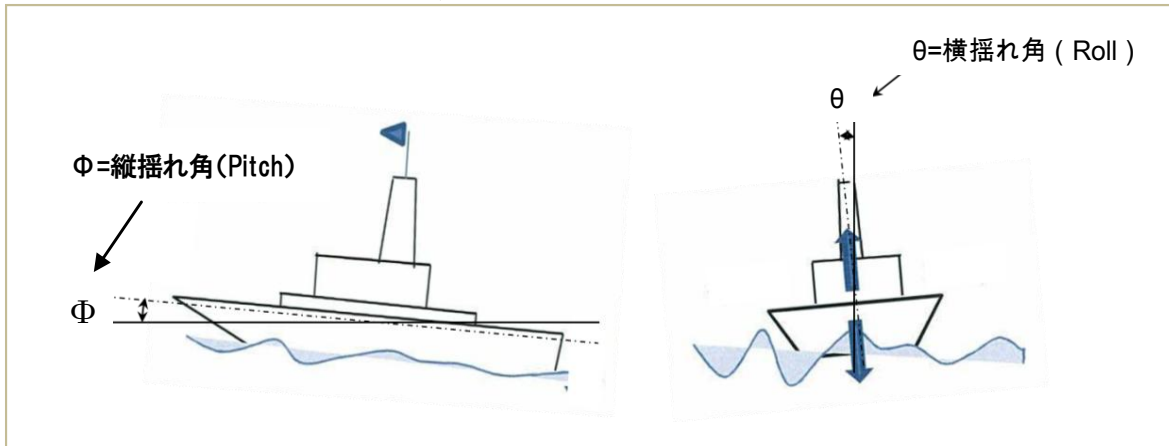
イ 巡視船の動揺による影響

巡視船上と陸上側に設置したGPSアンテナとの間で、巡視船の揺れ具合を連続的に測定し、定点での受信電力測定結果との対比を行うことで、巡視船の動揺による受信電力への影響を検証した。

結果として、巡視船の縦揺れ、横揺れ (縦揺れ $\pm 0.3^\circ$ 、横揺れ $\pm 1^\circ$) による受信電力への影響は立証できなかった。

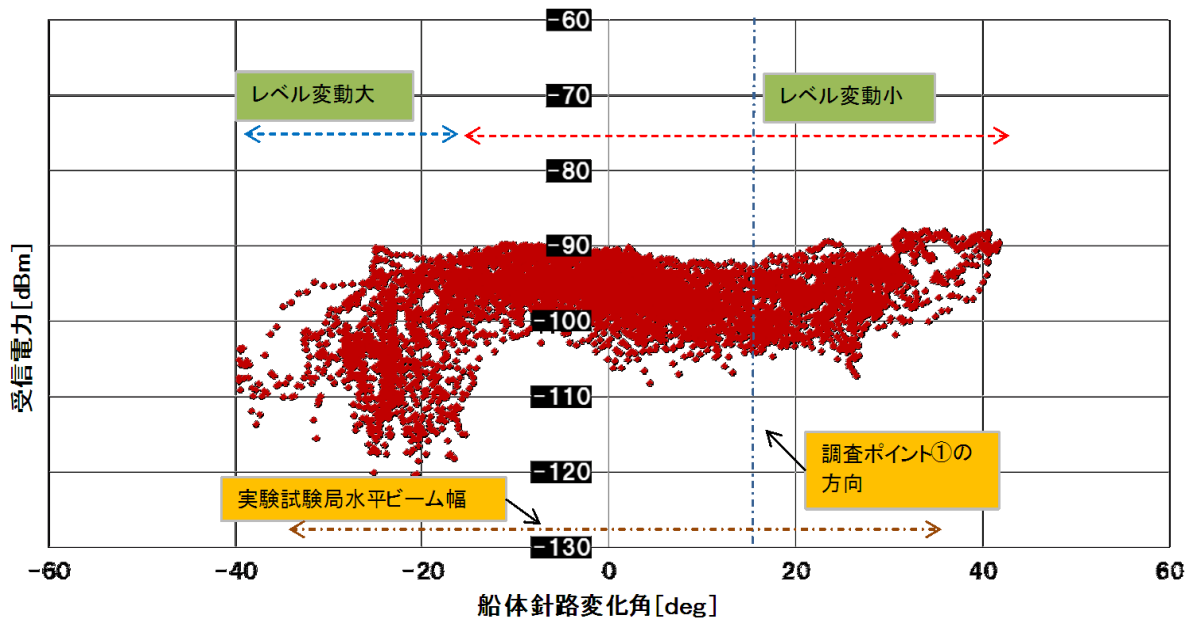
最も影響が大きかったのは、巡視船の針路変動による影響である。測定の結果、針路の変動範囲を一定以内に抑えると受信電力は安定することがわかった。

図表 3-3-8 船舶の揺れ (イメージ)



図表 3-3-9 巡視船の針路変化と受信電力との関係

阿賀地区定点ポイント① (巡視船停泊位置 5km)



図表 3-3-10 巡視船停泊位置との水平角・直線距離

項目	①巡視船主ビームからの水平角度 [°]			②巡視船停泊位置からの直線距離 [km]		
	巡視船 (1km)	巡視船 (3km)	巡視船 (5km)	巡視船 (1km)	巡視船 (3km)	巡視船 (5km)
測定ポイント①	67	28	17	1.392	2.63	4.339

(2) 試験 2

ア 電波伝搬試験

巡視船上の実験試験局から電波を発射し、以下を測定した。

- ・ 希望波と干渉波を含んだ全受信電力 (RSSI)
- ・ 希望波電力 (E_c)
- ・ 希望信号電力対干渉電力比 (E_c/I_o)
- ・ フレーム誤り率 (FER)

巡視船が安定して停泊している期間は、巡視船の動揺（縦揺れ、横揺れ、潮位変化）による影響は受けず、安定した受信結果が得られている。

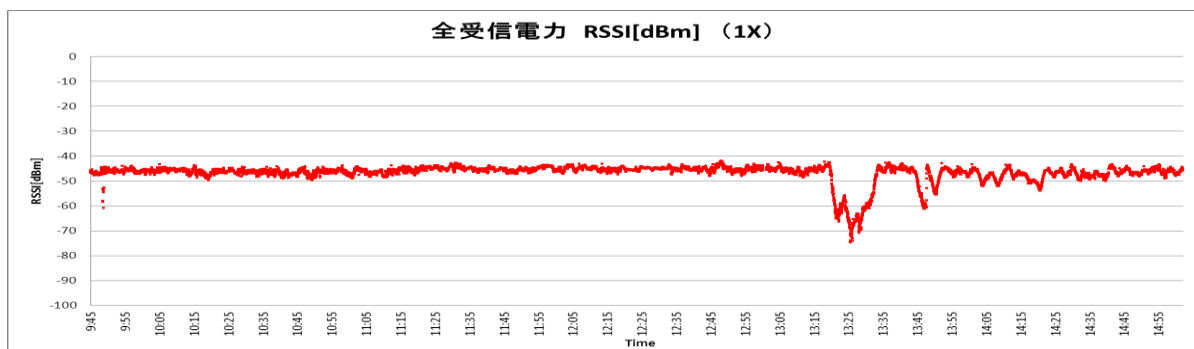
特徴的な点として、11月28日13:20～13:40にかけて、強風により巡視船の向きを修正した際の結果として、

- ・ 音声通信 (1X) は、RSSIと E_c の値が約20dB変動したが、 E_c/I_o 、FERは安定。
- ・ データ通信 (EVDO) は、RSSIと E_c の値が約35dB変動し、 E_c/I_o は若干の値変動。

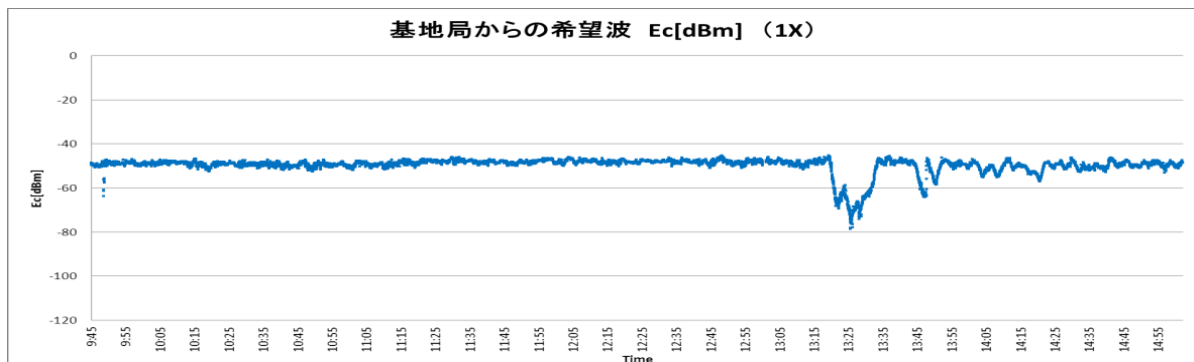
これは、1X用送信アンテナとEVDO用送信アンテナの指向特性図が異なること、EVDOの送信アンテナの偏波が水平偏波に対し、受信側の偏波が垂直偏波であったため等の影響が出たものと考えられる。

以下、巡視船が位置修正のため移動した時間帯を含む測定データ

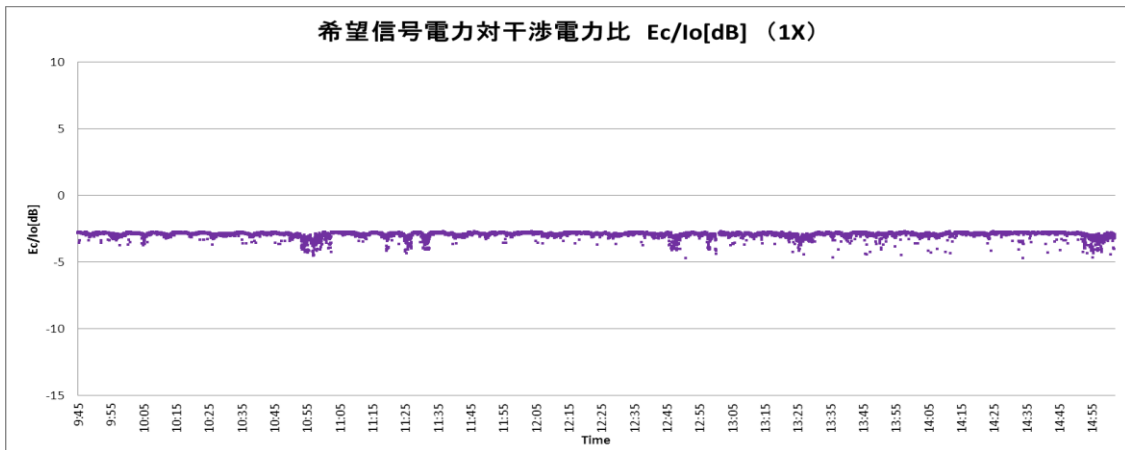
図表 3-3-11 RSSI 測定結果 (11月28日) <※13:20～13:40 巡視船移動による変動>



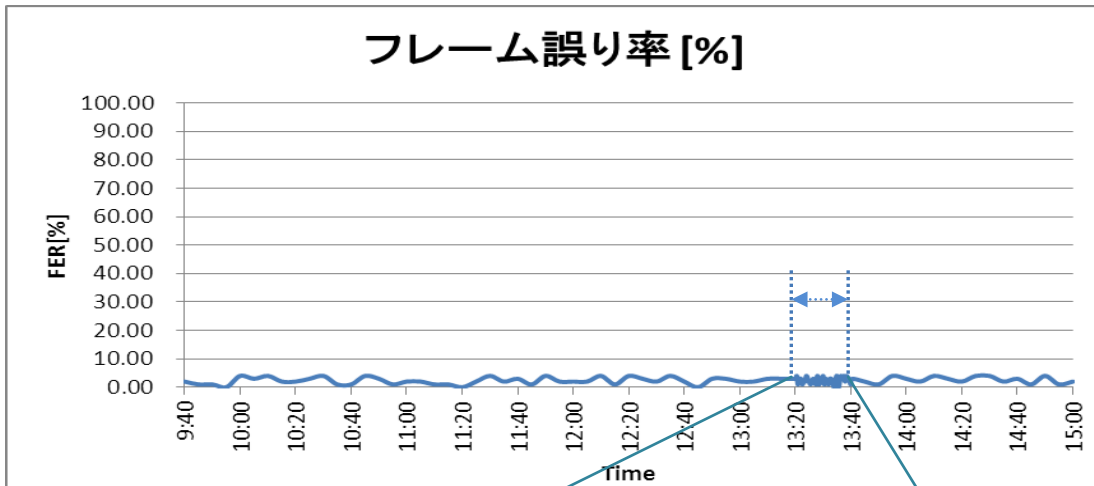
図表 3-3-12 E_c 測定結果 (11月28日) <※13:20～13:40 巡視船移動による変動>



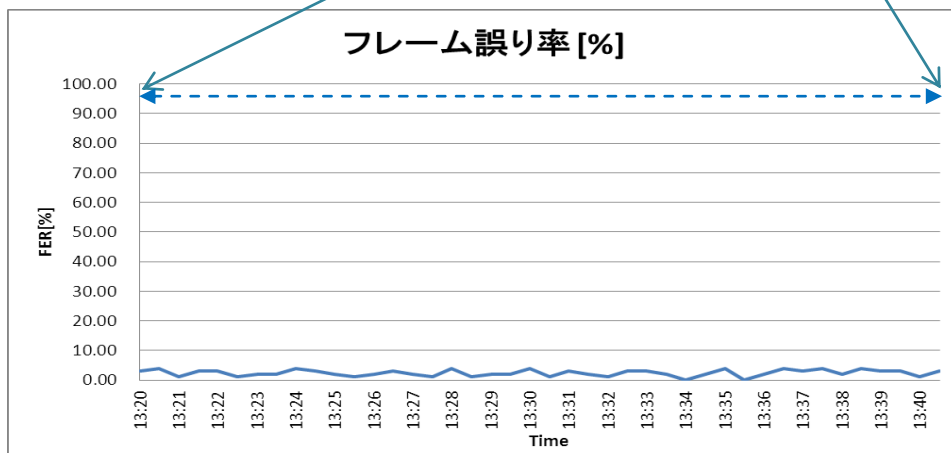
図表 3-3-13 E_c/I_o 測定結果 (11月28日) <※13:20~13:40 巡視船移動による変動>



図表 3-3-14 FER 測定結果 (11月28日)

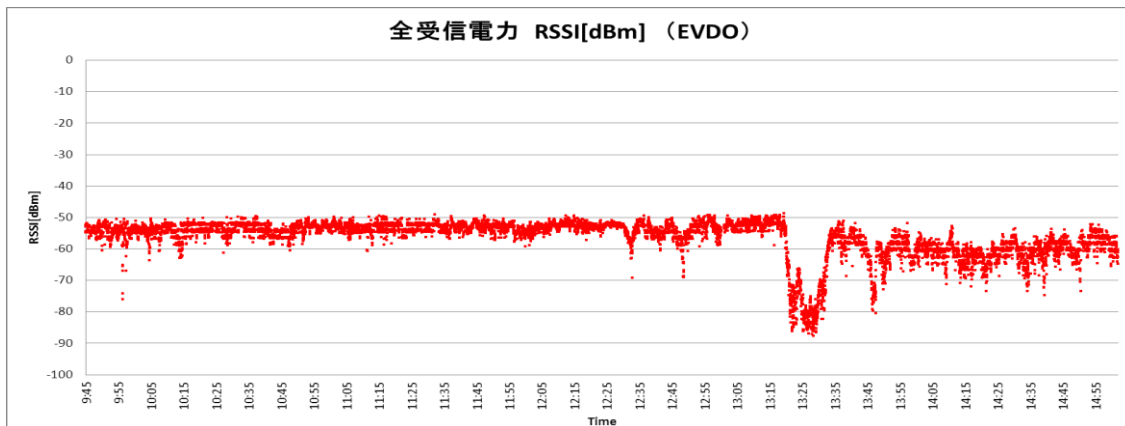


図表 3-3-15 FER 測定結果 (11月28日) <※13:20~13:40 巡視船移動による変動>

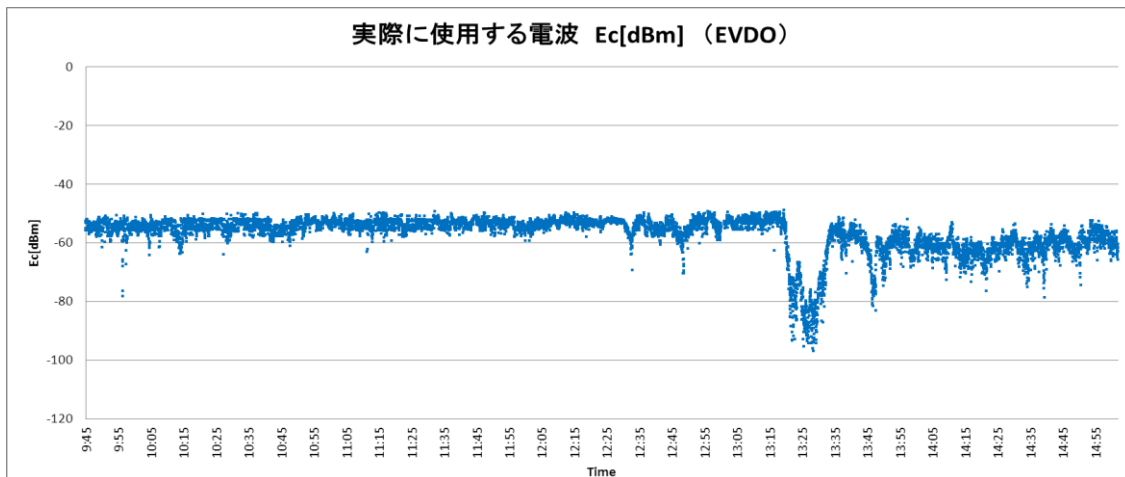


データ通信 (EVDO)

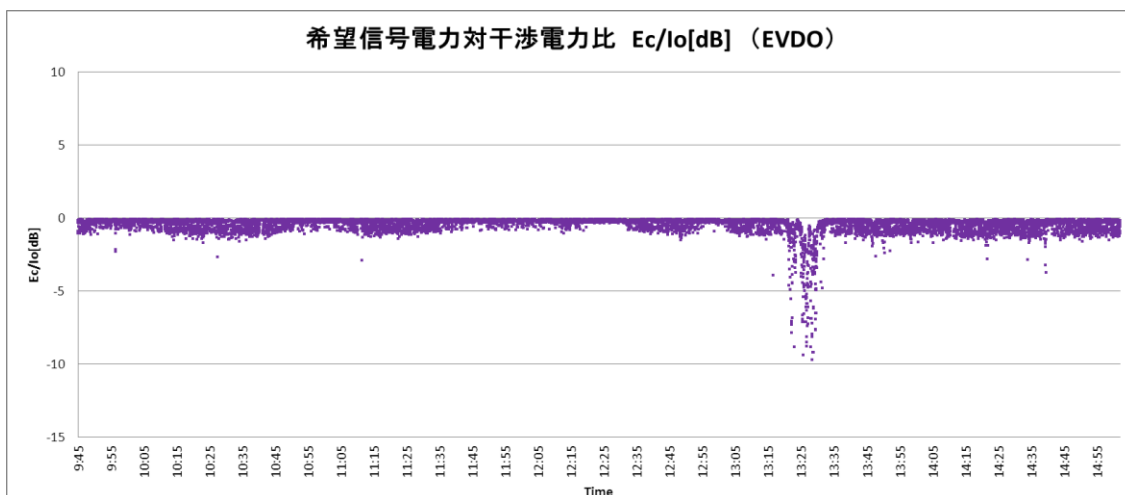
図表 3-3-16 RSSI 測定結果 (11月28日) <※13:20~13:40 巡視船移動による変動>



図表 3-3-17 Ec 測定結果 (11月28日) <※13:20~13:40 巡視船移動による変動>



図表 3-3-18 Ec/Io 測定結果 (11月28日) <※13:20~13:40 巡視船移動による変動>



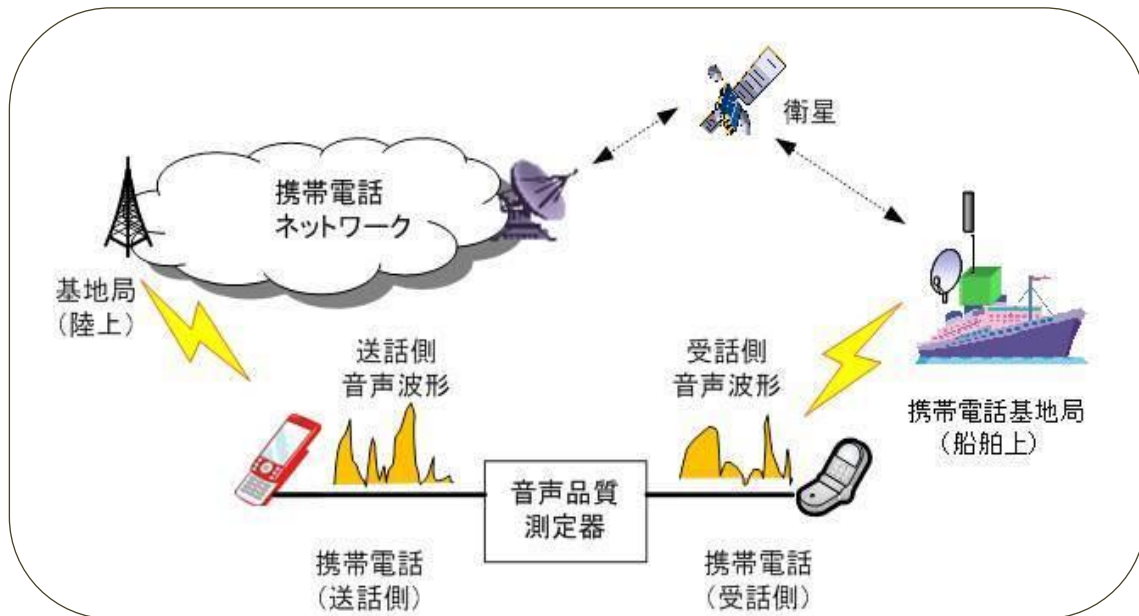
イ 回線品質試験

(ア) 音声試験

音声品質測定における装置構成は（図表3-3-19）のとおりである。

音声品質評価は、ITU-Tでも用いられ、数値評価が可能なPESQ（Perceptual Evaluation of Speech Quality）値で評価した。

図表3-3-19 音声品質測定の構成



通信サービスにおけるPESQの基準値は、固定電話並がPESQ=3.4、会話に支障が出ない低基準がPESQ=2.5として代表値が設けられている。

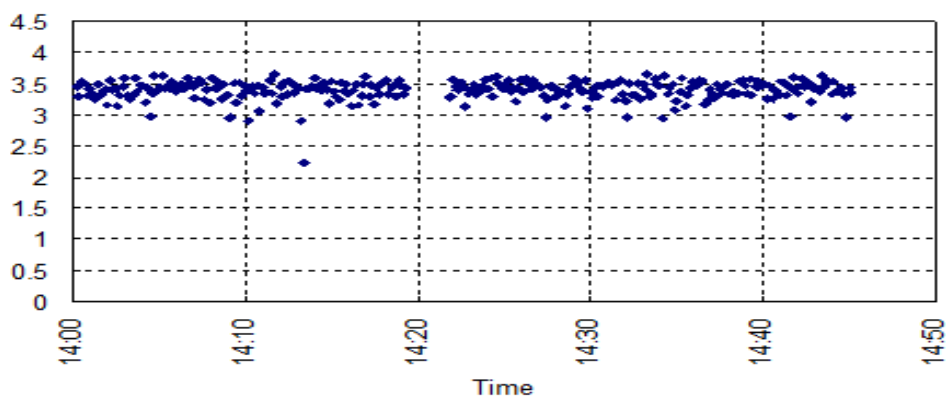
なお、PESQ値が2.5を下回ったとしても、多少の明瞭度低下は発生するものの会話自体は可能である。

ただし、PESQが1.5を下回ると音途切れ等が頻発するようになり、会話に支障が発生してくる。

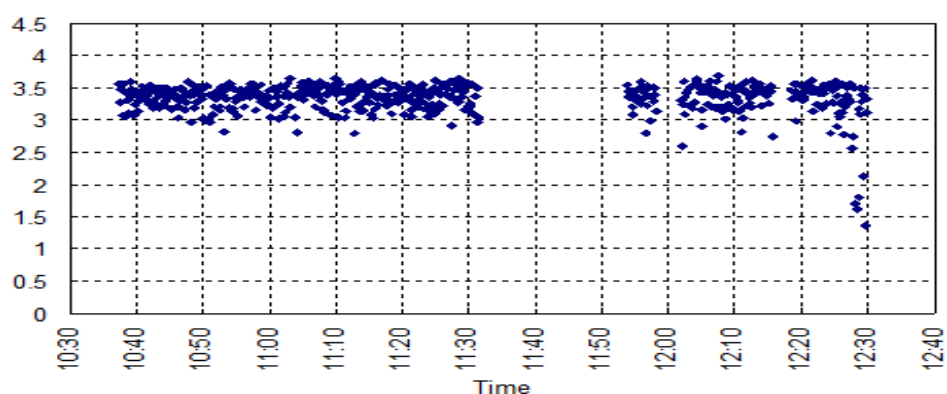
結果を見ると、いずれの測定も3.4程度の固定電話並と言える安定したPESQ値が得られている。

一方、空中線電力を変化させた場合、通常出力より31dB低い値の3dBmまであれば、PESQ値は安定して3.4付近であった。これは、極めて低い出力でも音声品質を保つことができ、電源容量のコンパクト化につながると考えられる。

図表 3-3-20 PESQ 値 (11月27日)



図表 3-3-21 PESQ 値 (11月29日)

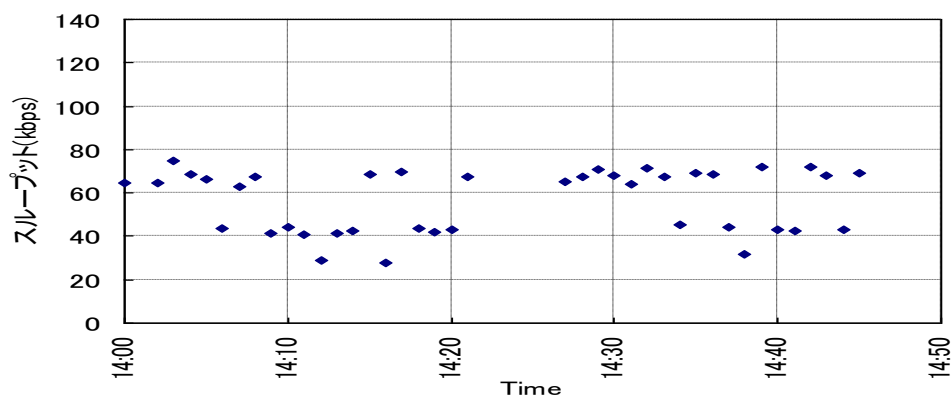


ウ データ通信試験

データ通信試験では携帯端末からスループット測定サイトに接続し、TCPスループットを測定した。結果は40kbps付近と70kbps付近に偏った結果となっており、これは受信ウィンドウサイズを一定レートで変化させる仕組みからこのような特定値への偏りが出たと考えられ、スループット値の変動は主としてネットワークの特性に起因するものと言える。

本試験の目的は、潮位変動や船舶動揺に伴うスループットへの影響の有無を確認することであるが、この観点からは影響はないと言える。

図表 3-3-22 スループット測定結果



3.3.3 混信保護

今回の実地試験局の巡視船搭載に伴う、既存の巡視船搭載の超短波帯、中短波帯及び短波帯の無線設備、搭載レーダーへの干渉などの影響については、目視等による確認を実施した結果、混信は認められなかった。

また、実験試験局の無線設備への影響についても認められなかった。

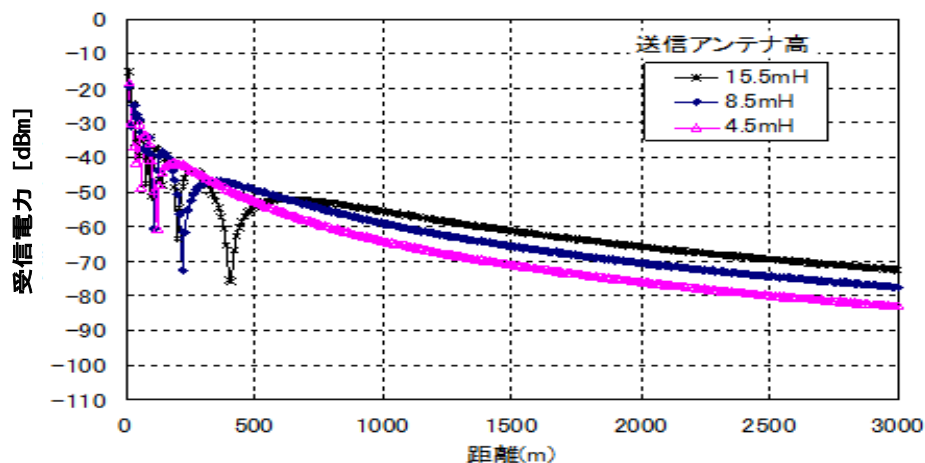
3.3.4 その他検討結果

海上伝搬による受信電力の変動

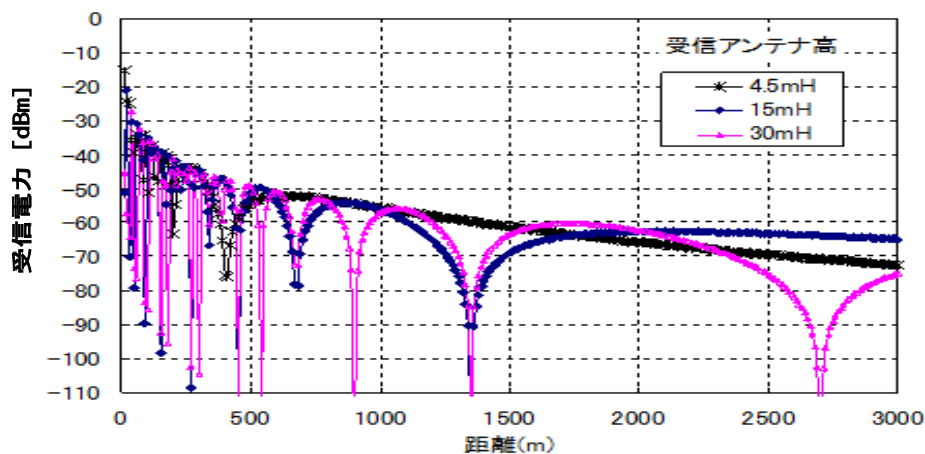
受信電力変動シミュレーションによれば、船舶が海岸から一定距離を離れば、潮位変動や船舶側の送信アンテナの高さ（海拔高およそ 20m が限界）の影響はなくなる。

一方で、受信側の高さは標高や建物の階数により大きく異なるため、図表 3-3-24 のとおり、距離によってレベル変動が見られることから、受信側（被災地や高台の避難所）では、受信位置を移動するなどの工夫が必要である。

図表 3-3-23 海上伝搬モデル受信電力シミュレーション値（受信アンテナ高（海拔高）4.5m）
送信アンテナ高（海拔高）変化（800MHz 帯）



図表 3-3-24 海上伝搬モデル受信電力シミュレーション値（送信アンテナ高（海拔高）15.5m）
受信アンテナ高（海拔高）変化（800MHz 帯）



3.4 実地試験のまとめ

実地試験の結果、試験当日の天候状況等の条件下では、船舶の向きが潮流等によって大きく変化した場合、受信点の受信電力に与える影響が確認されたものの、その他船舶の動揺（縦揺れ、横揺れ）による影響は確認できず、安定した通信が確保された。

また、通信エリアについては、高層建築物の多い市街地では、屋内において使用できないところもあるが、多くのポイントで車内、屋外で使用できることがわかった。

一方、実測値とシミュレーション値がおおむね近似した傾向となっていることが確認できたことで、被災地を想定した地域へのカバーエリア概要の事前把握が可能となり、船舶位置等の事前検討に反映できる。

このことから、船上に開設した基地局による携帯電話サービスは、災害時において極めて有効な通信手段であると考えられる。

これらの結果を踏まえ、今後さらに効率的、効果的に被災地における携帯電話サービスを提供するための課題を以下のとおり整理した。

(1) 迅速な設備の設置

設備の積み込み・設置・システム設定については、日程において半日から全日を要しており、災害時には迅速な対応が求められることから、時間短縮に向けた工夫が必要と考えられる。

特に設備の中には、衛星設備など重量物の設備も想定されることから、クレーンの手配、積み込み場所の確保等を含め、迅速な対応が求められる。

(2) 船舶の向きの安定化

風・潮流等により船舶が大きく動いた場合、アンテナ指向方向も変化し、エリア及び通信品質に影響を及ぼす。

そのため、方向変化の影響が少ない特性を持つアンテナの選定や方向変化の少ない船舶固定方法が必要である。

また、アンテナの指向性を船舶の向きの変化に合わせて随時変化させる等の技術開発も有効である。

(3) 船上の設置場所の確保

搭載する船舶によっては設備の設置場所の確保が困難な場合も想定されるため、あらかじめ、搭載可能な船舶を事前に確保し実際に設置を確認する等、実運用に向けた準備が必要である。

(4) 関係設備のコンパクト化

船舶上への設置を迅速かつ円滑に行うためには、送受信機やアンテナ、予備電源等のコンパクト化に向けた技術開発が必要である。

