

## 参考資料2

### 実地試験結果報告 (KDDI)

第1章 実地試験の報告書 (KDDI 実施分)	2
1-1 はじめに	2
1-2 実地試験内容	2
1-2-1 試験場所	2
1-2-2 ネットワーク構成	3
1-2-3 使用船舶及び機材配置図	4
1-2-4 機器構成	5
1-2-4-1 基地局側の構成及び使用機器	5
1-2-4-2 測定側の構成及び使用機器	8
1-2-4-3 衛星設備	9
1-2-5 実験スケジュール	10
1-2-6 気象データ、潮位変化、海面状況	11
1-2-6-1 気象データ	11
1-2-6-2 潮位変化	12
1-2-7 船舶航跡	13
1-2-8 電波伝搬試験	16
1-2-8-1 概要	16
1-2-8-2 測定結果	17
1-2-8-3 シミュレーション	25
1-2-8-4 考察	28
1-2-9 回線品質試験	28
1-2-9-1 概要	28
1-2-9-2 音声試験の結果	29
1-2-9-3 音声試験の考察	29
1-2-9-4 データ通信試験の結果	31
1-2-9-5 データ通信試験の考察	31
1-2-10 混信保護	33
1-2-11 考察	33
1-2-11-1 潮位変化、送受信アンテナ高による影響	33
1-2-11-2 海面状況による影響	35
1-2-11-3 他の通信距離におけるエリアについて	36
1-3 まとめ	38

## 第1章 実地試験の報告書(KDDI 実施分)

### 1-1 はじめに

携帯電話基地局の船上開設に向けた技術検証を行うため、海上保安庁の船舶に携帯電話基地局及び衛星設備の無線設備を開設し、実環境で海上伝搬試験を行った。

陸上と比べて海上の場合に異なるのが、船の揺れや向き、また潮位変化による通信品質への影響である。これら海上伝搬特有の条件が、通信品質に影響するかという観点で実験を行った。受信信号強度等の電波伝搬試験のほか、船上の携帯電話基地局と陸上の交換機を接続し、音声通信・データ通信の品質についても測定した。

### 1-2 実地試験内容

#### 1-2-1 試験場所

本実験は災害時における携帯電話基地局の船上開設を目的としていることから、実際の提供モデルに近い環境で行うこととした。実サービスで利用している周波数帯を使用することとし、現用サービスに影響を及ぼさない場所を現地調査した結果、最終的に広島県呉市倉橋島の大迫港沖を選定した。

大迫港沖では、異なる船舶位置からの海上伝搬特性を得るために、図 1に示す1km沖、3km沖の2地点を選定し、各地点に船舶を停泊させた。また、陸上の測定地点は大迫地区の東端と西端の2か所とした。西端の測定地点から見た停泊中の船舶写真を図 2に、船舶から見た測定地点の風景を図 3に示す。

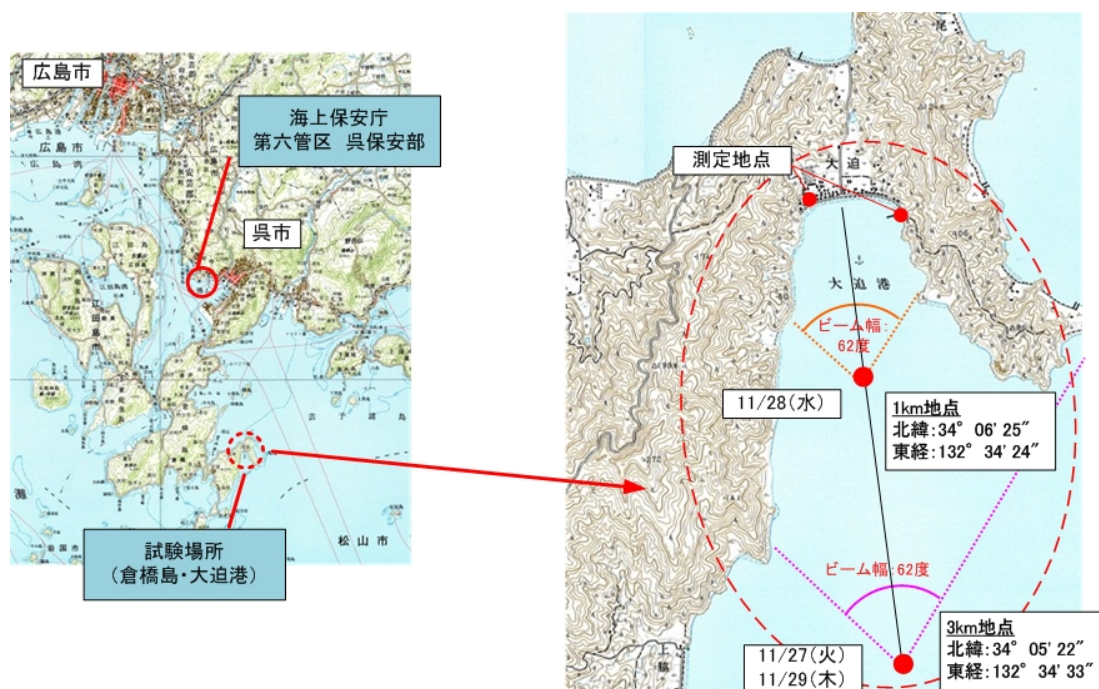


図 1 実地試験の場所



図 2 停泊中の船舶（呉市大迫港・1km沖地点）



図 3 船舶から見た測定地点（呉市大迫地区）

#### 1-2-2 ネットワーク構成

船舶上及び陸上を含めた、全体のネットワーク構成図を図 4に示す。まず、船舶には携帯電話基地局と基地局アンテナ、及び衛星機器と船舶用衛星アンテナを設置した。これら機器の詳細は後述する。また陸上には、携帯電話基地局と通信を行う携帯電話端末（移動局）や測定機器類を配置した。

基地局からの信号は、船舶用衛星アンテナー固定衛星ー陸上地球局ー中継伝送路の経路をたどって携帯ネットワークの交換機に接続され、音声通信については一般電話網へ、データ通信についてはインターネットへ接続される。

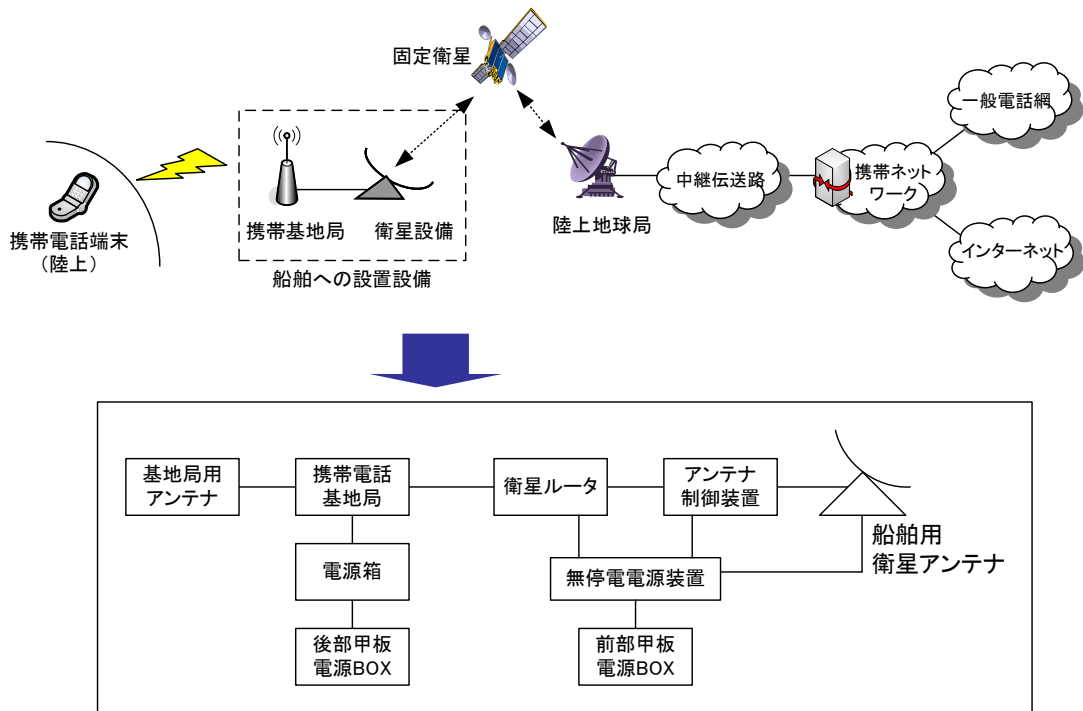


図 4 全体のネットワーク構成図

### 1-2-3 使用船舶及び機材配置図

本実験は海上保安庁第六管区海上保安本部の全面的な協力のもと実施した。呉海上保安部所属の巡視船くろせ（図 5）に通信機器一式を搭載して実験を行った。

船舶に設置した機器の配置図を図 6に示す。携帯電話基地局の機器は船舶後部、船舶用衛星アンテナは船首に設置し、アンテナ以外の衛星機器（アンテナ制御装置、衛星ルータ）は操舵室前部の場所に配置した。衛星ルータと携帯電話基地局間は30m程度離れており、この間はEthernetケーブル（UTPケーブル）で接続した。

また、船舶設置の機器については、船舶の電源BOXから受電して動作させた。



図 5 巡視船くろせ

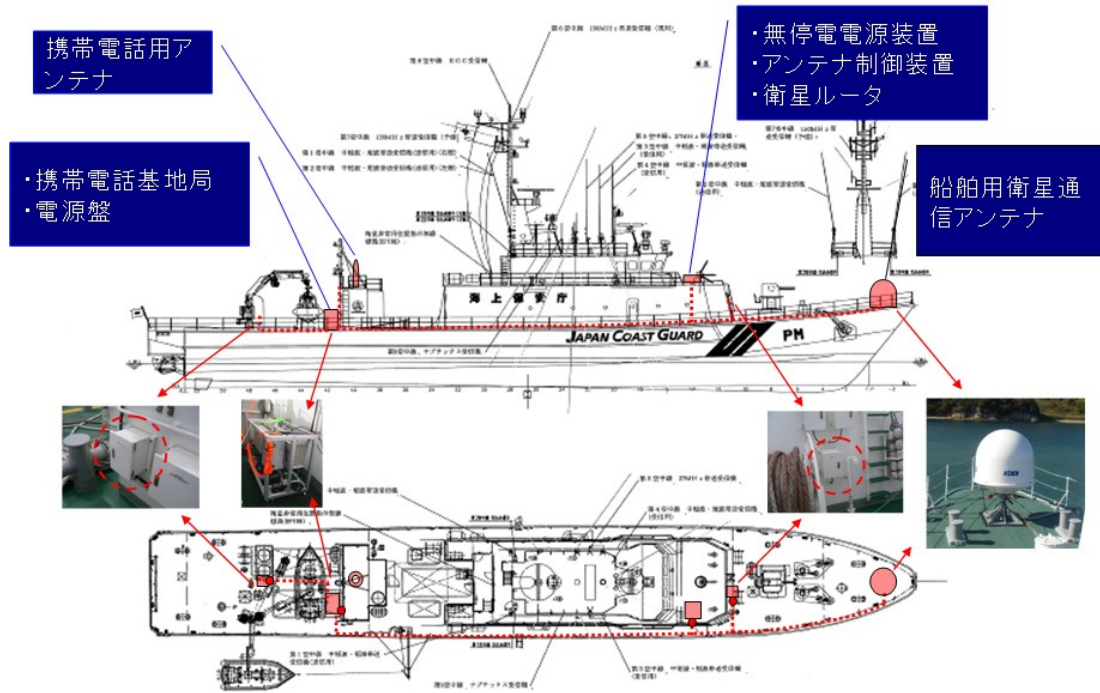


図 6 船舶への機器配置図

### 1-2-4 機器構成

#### 1-2-4-1 基地局側の構成及び使用機器

実地試験では、実サービスで使用しているものと同等の携帯電話基地局を使用し、実験試験局免許を取得して試験を行った。基地局の諸元を表 1 に、設備構成を図 7 に示す。基地局装置は、アンテナ設備、送受信装置、変復調装置、インタフェース変換装置、及び付帯設備により構成される。

基地局装置、基地局アンテナの写真を図 8、図 9 に示す。基地局及びアンテナは音声通信用とデータ通信用で独立しており、写真に示すとおり各々2台ずつ設置されている。また、基地局アンテナの指向特性図を図 10 に示す。

表 1 基地局の諸元

項目	性能・諸元等
識別符号	KDDI せんぱくきちきょくじっけんきち
機種	音声通信用 (cdma2000 1x) : ノキア製 データ通信用 (cdma2000 1x EV-DO) : 日立製
実効出力	音声通信用 : 2.5W (34dBm) ※1 データ通信用 : 10W (40dBm)
送信周波数	871.20MHz、873.66MHz
受信周波数	826.20MHz、828.66MHz
アンテナ利得	9.14dBi
ケーブル損失	2.09dB
アンテナ指向特性	半値幅 : ±31度 (図 10参照)
アンテナ高 (海拔)	・ 15.5m (11月27日、28日) ・ 8.5~15.5mの1mステップ (11月29日)
インタフェース変換装置	RAD製 IPmux (Ethernet-T1変換装置)
船舶停泊地点	・ 1km地点 (11/28) :

	北緯 : 34° 06' 25"、東経 : 132° 34' 24" ・ 3km 地点 (11/27, 11/29) : 北緯 : 34° 05' 22"、東経 : 132° 34' 33"
--	---

※ 1 : パイロットパワーの出力。CDMA方式の特性上、出力は使用チャネル数により変動するため、免許状の出力と実効出力には差が生じる。

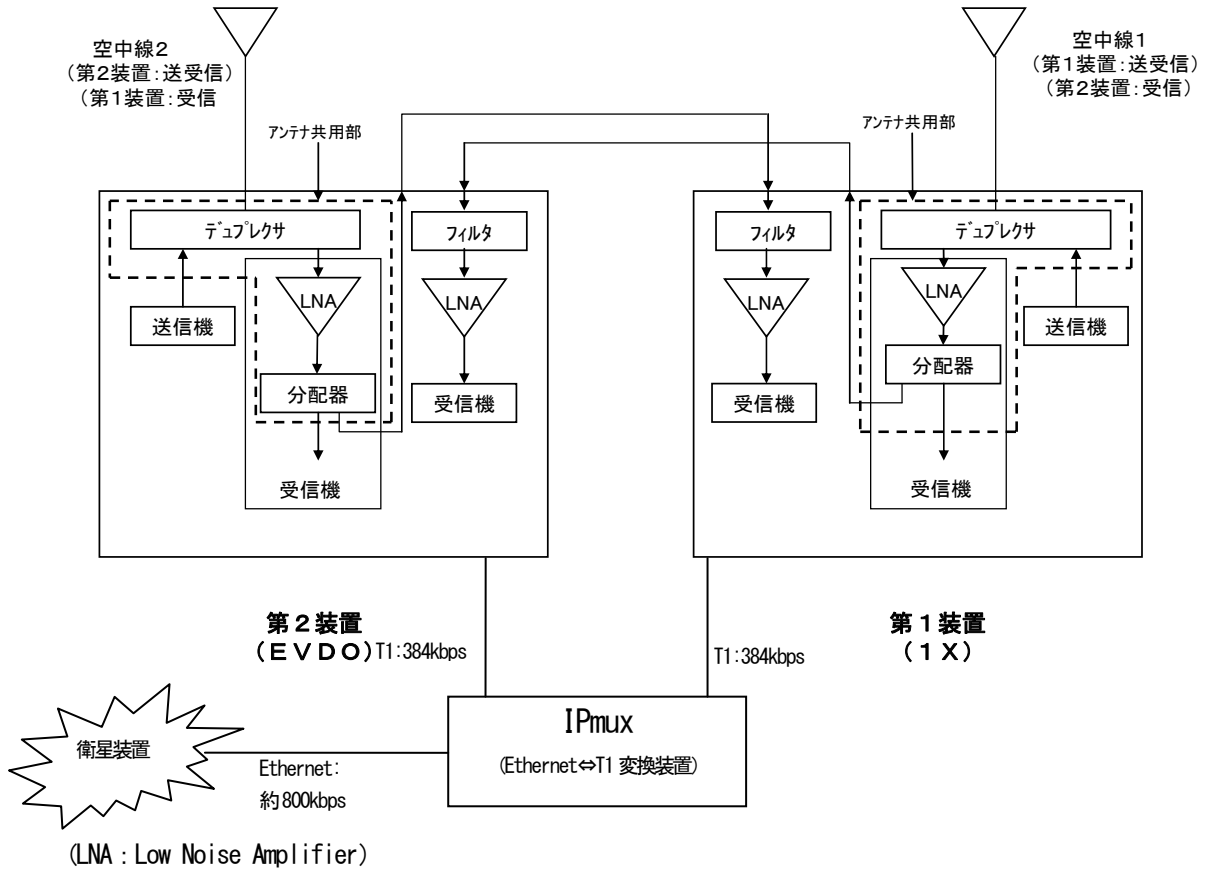


図 7 基地局側の設備構成



図 8 船舶に設置した携帯電話基地局

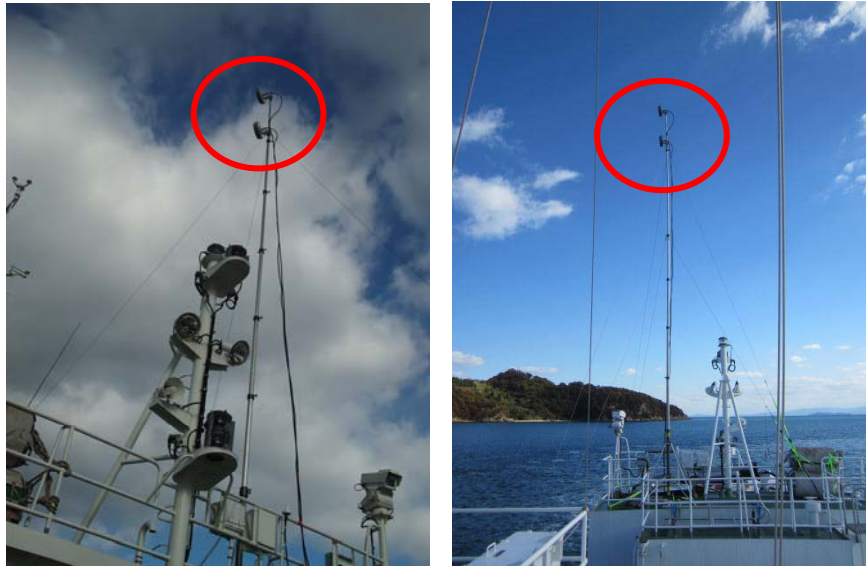


図 9 船舶に設置した携帯アンテナ、上段が空中線 1（垂直偏波・音声通信用）、下段が空中線 2（水平偏波・データ通信用）

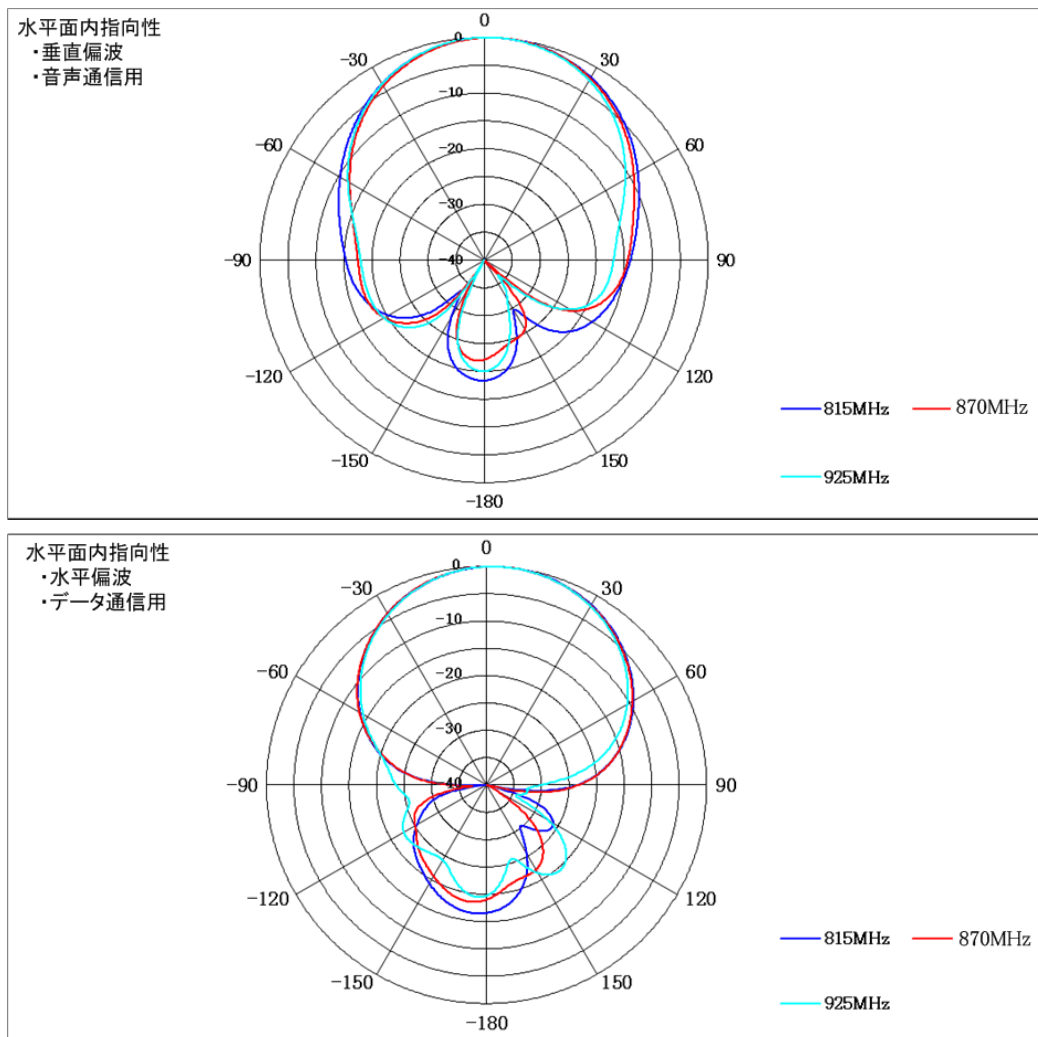


図 10 船舶に設置した基地局アンテナの指向特性図



### 1-2-4-2 測定側の構成及び使用機器

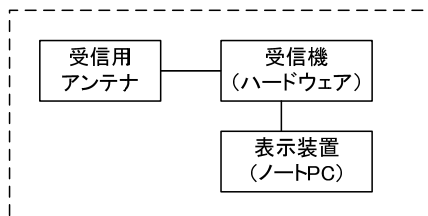
陸上の測定場所で用いた測定機器の諸元を表 2に示す。このうち携帯電話端末は、船上の携帯電話基地局（実験試験局）と通信を行うため、同様に実験試験局の免許を取得した。

測定機器の設備構成を試験構成ごとに図 11に示す。大きく分けると、受信電力等を測定するための専用測定器、音声品質測定のための携帯電話端末と専用測定器、及びスループット測定用の携帯電話端末である。測定機器などの写真を図 12～図 13に示す。

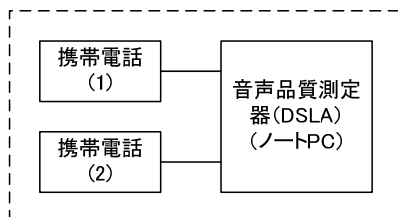
表 2 測定機器の諸元

試験項目	項目	性能・諸元等
電波伝搬試験	使用機器	受信電力等の専用測定器：KICOAL
	アンテナ利得	0dBi
	受信周波数	871.20MHz、873.66MHz
	ケーブル損失	1.5dB
回線品質試験 (音声、データ)	識別符号	KDDI せんぱくきちきょくじっけんいどう
	使用機器（音声品質）	・京セラ製 SA001 ・Malden Electronics 製 Digital Speech Level Analyzer (DSL A)
	使用機器（データ品質）	京セラ製 SA001 のみ
	実効出力	200mW
	送信周波数	826.20MHz、828.66MHz
	受信周波数	871.20MHz、873.66MHz

#### ●電波伝搬試験



#### ●回線品質試験(音声)



#### ●回線品質試験(データ)



図 11 測定機器の設備構成

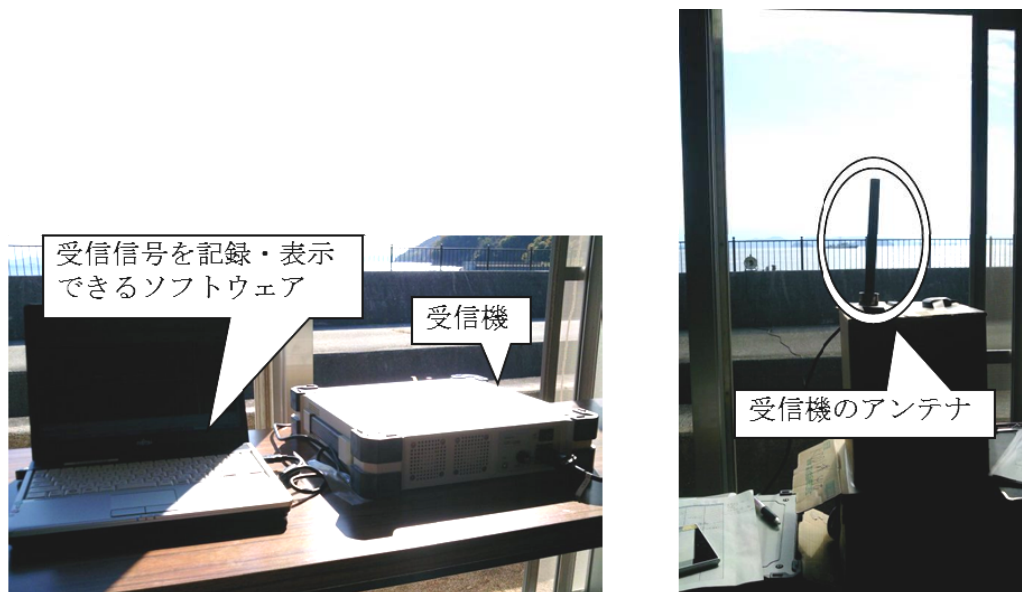


図 12 受信電力等の専用測定器の写真

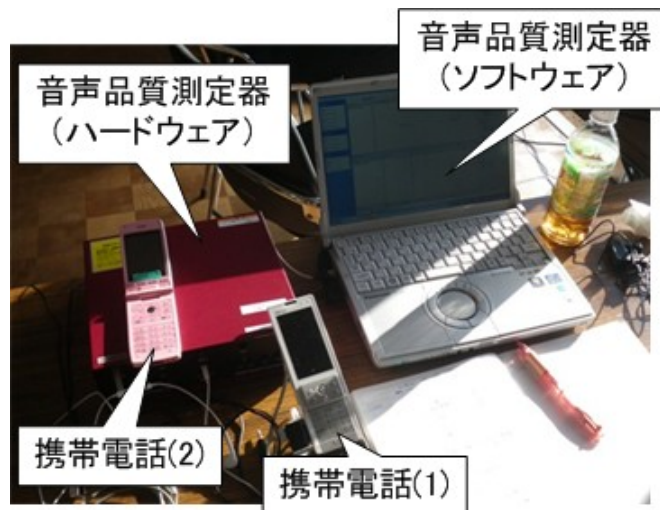


図 13 音声品質測定器の写真

### 1-2-4-3 衛星設備

本実験では、衛星回線を携帯電話基地局のエントランス回線として用いた。使用した衛星設備の構成を図 14、諸元を表 3に示す。衛星設備は、船舶用衛星アンテナ、アンテナ制御装置、衛星ルータ（変復調装置）、ジャイロコンパスにより構成される。アンテナ制御装置は衛星追尾を行う装置であり、船舶位置と衛星軌道を与えれば、衛星アンテナを±0.2度の精度で追尾することができる。更にジャイロコンパスからの信号を与えることで、船首方向の変化などにも高精度で追尾することができる。実験期間中、音戸の瀬戸大橋を通過する時に生じた瞬断を除き、船首方向変化、動揺などには影響されず、常に衛星方向を指向していた。

船舶用衛星アンテナ、アンテナ制御装置、衛星ルータの写真を図 15に示す。

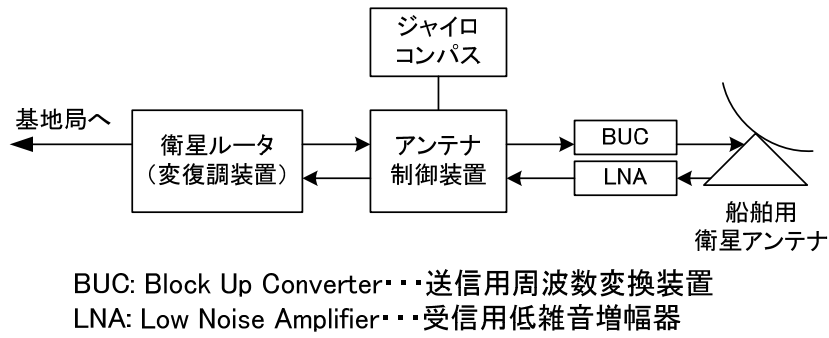


図 14 衛星設備の設備構成

表 3 衛星設備の諸元

項目	性能・諸元等
識別符号	KDDI ひろしまいどうちきゅう 1
機種	衛星アンテナ、アンテナ制御装置：KNS 製 SuperTrack Z12mk2 衛星ルータ：iDirect 社製 Evolution X5 Satellite Router
送信出力	8W
送受信周波数	Ku 帯
衛星追尾精度	0.2 度 (ITU-R 決議 902 準拠)

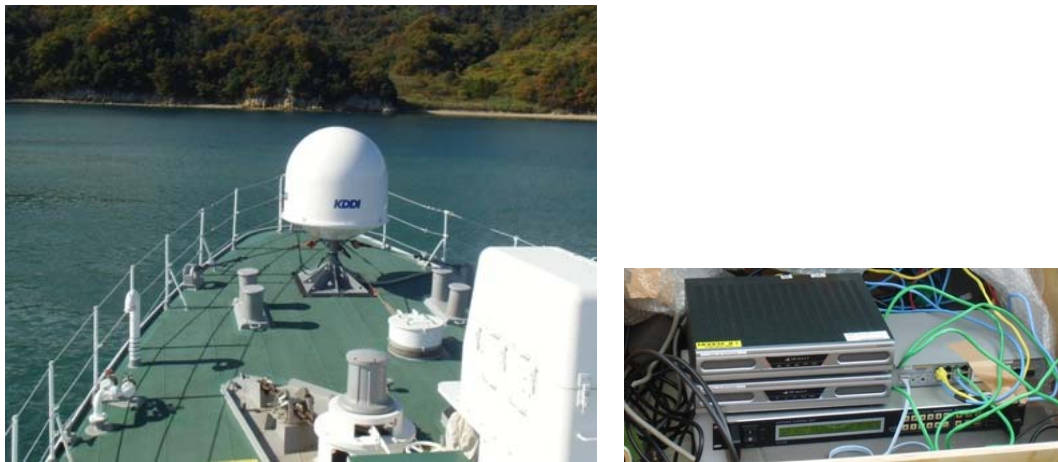


図 15 船舶用衛星アンテナ（左）、アンテナ制御装置（右下段）・衛星ルータ（右上段）の写真

#### 1-2-5 実験スケジュール

4日間の実験期間中の作業内容は図 16のとおりである。

		1日目(11/26)		2日目(11/27)		3日目(11/28)		4日目(11/29)	
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
準備作業	携帯電話基地局設備搬入・据付	■							
	衛星設備搬入・据付	■							
	ケーブル類配線・接続		■						
	携帯電話基地局の動作確認		■						
3km沖地点	衛星設備の動作確認		■						
	受信電力測定(RSSI、Ec/Io)				■				
	通信品質測定(音声通信)				■				
1km沖地点 (潮汐変化)	通信品質測定(データ通信)				■				
	受信電力測定(RSSI、Ec/Io)					■			
	通信品質測定(音声通信)					■			
3km沖地点 (アンテナ高変化)	通信品質測定(データ通信)							■	
	受信電力測定(RSSI、Ec/Io)							■	
	通信品質測定(音声通信)							■	
撤収作業	通信品質測定(データ通信)							■	
	ケーブル類撤去							■	
	携帯電話基地局設備撤去							■	
	衛星設備撤去							■	

図 16 実験期間中の作業内容

## 1-2-6 気象データ、潮位変化、海面状況

### 1-2-6-1 気象データ

実験期間中の気象データを表 4～表 6に示す。全般的に穏やかな気象条件であったが、唯一、11月28日 13:35付近の時間帯は8.5m/sと強風となり、船舶が流される影響を受けた。波高についてはほとんど変化なく、波高による顕著な影響は見られなかった。波高の影響については後の章で考察する。

表 4 11月27日(火)の気象データ

11月27日	時刻	風向	風速(m/s)	波高(m)	波の方向
		11:00	北北西	2.5	0.1~0.2
	11:30	北北西	4.5	0.1~0.2	北北西
	12:00	北	4.5	0.1~0.2	北北西
	12:30	北北東	2.5	0.1以下	北
	13:00	北	4.0	0.1以下	北
	13:40	北	3.5	0.1~0.2	北
	14:00	北	3.5	0.1~0.2	北
	14:30	北北西	4.5	0.1~0.2	北
	15:00	北北西	1.5	0.1~0.2	北
	15:30	西北西	3.5	0.1以下	北西
	16:00	北北西	1.0	なし	

表 5 11月28日 (水) の気象データ

11月28日	8:30	北西	2.0	0.1以下	北
	9:00	北北西	2.5	0.1以下	北
	9:30	南南西	3.5	0.1~0.2	南
	10:00	南西	3.5	0.2~0.3	南
	10:30	西南西	2.5	0.1~0.2	南
	11:00	西南西	1.0	0.1以下	南
	11:30	南	4.0	0.1~0.2	南
	12:00	南	3.5	0.1~0.2	南
	12:30	南	5.0	0.2~0.3	南
	13:00	南	4.5	0.2~0.3	南
	13:35	南	8.5	0.5~0.7	南
	14:00	南西	6.0	0.5~0.7	南
	14:30	南西	6.0	0.5~0.7	南
	15:00	南西	4.5	0.5~0.7	南
15:30	南西	4.5	0.5~0.7	南	
16:00	南西	2.5	0.2~0.3	南	

表 6 11月29日 (木) の気象データ

11月29日	10:00	北	4.0	0.1~0.2	北
	10:30	北	3.0	0.1~0.2	北
	11:00	北	3.0	0.1~0.2	北
	11:30	北	3.0	0.1~0.2	北
	12:00	北	3.0	0.1~0.2	北
	12:30	北	1.5	0.1以下	北
	13:00	北	3.5	0.1以下	北

### 1-2-6-2 潮位変化

11月27日から29日にかけての潮位変化(実測値)を図17~図19に示す。潮位変化による通信品質への影響の測定は11月28日に行うこととし、同日は図18に示すように満潮が10時頃、干潮が16時頃であることから、これらの時間帯を対象に連続測定した。なお、図17~図19は呉港の潮位変化であるが、実験場所(呉市倉橋島大迫港)もほぼ同様である。

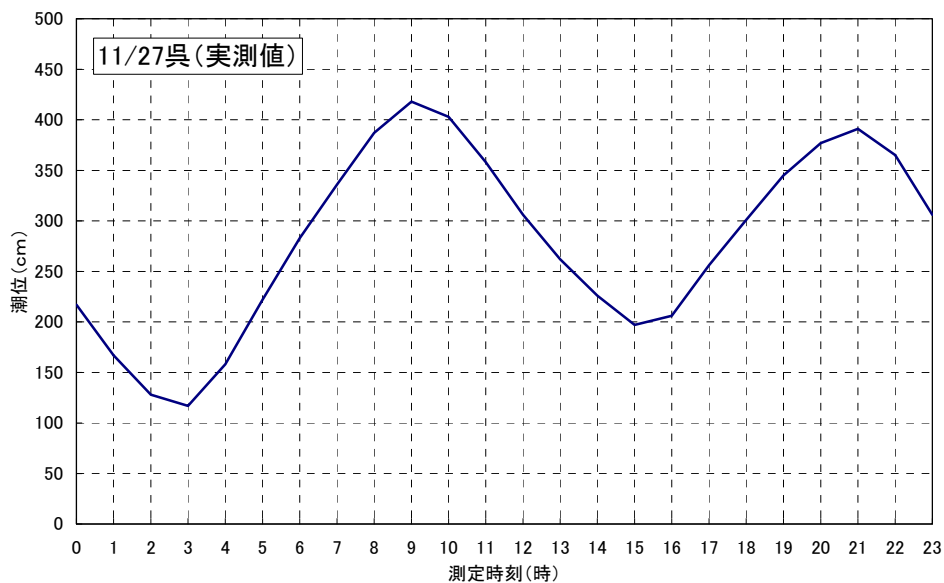


図 17 11月27日の潮位変化(呉港、実測値)

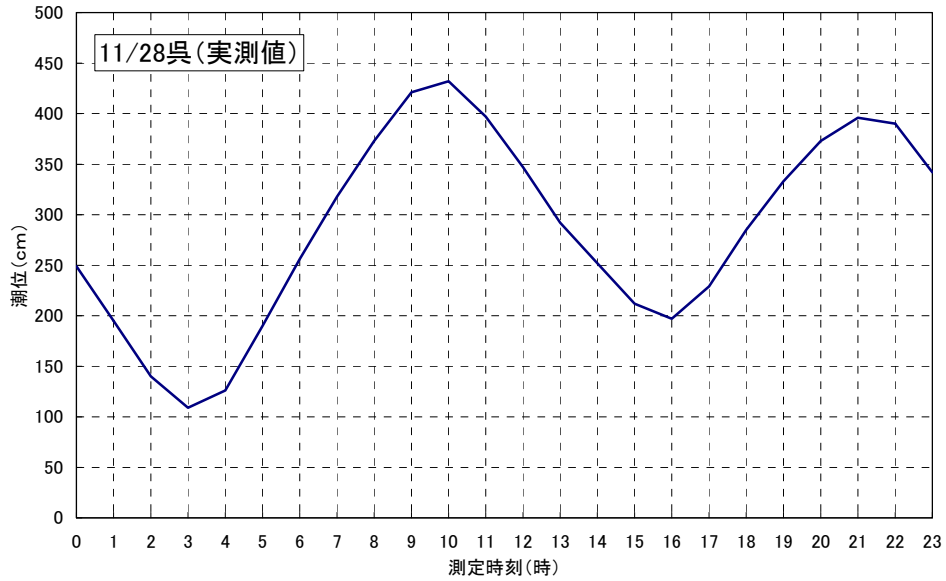


図 18 11月28日の潮位変化 (呉港、実測値)

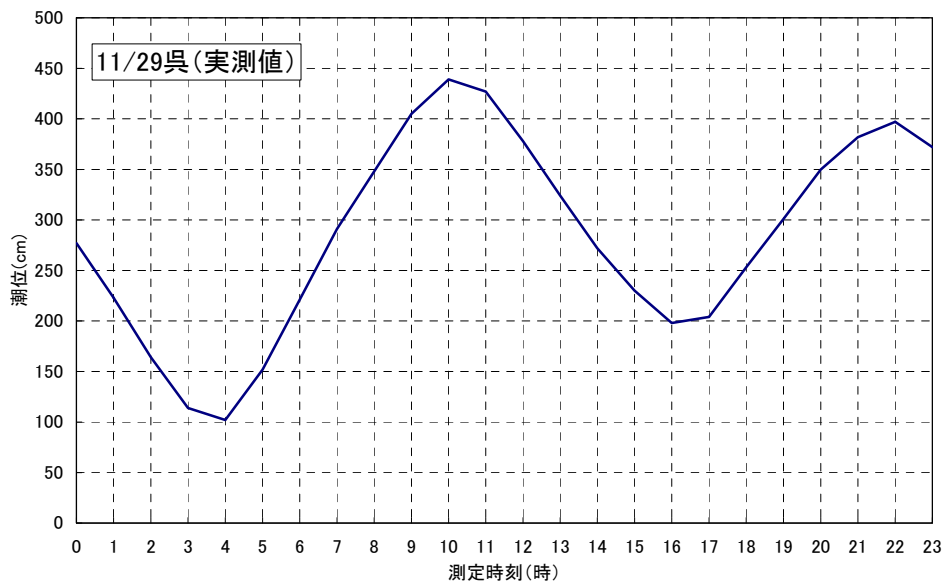


図 19 11月29日の潮位変化 (呉港、実測値)

### 1-2-7 船舶航跡

船舶位置の変動はGPSロガーを用いて測定した。その結果を図 20～図 22に示す。図 20は11月27日の3km沖地点、図 22は11月29日の3km沖地点であり、船舶位置変動はほとんどなく安定して静止している。図 21に示す11月28日は、「1-2-6-1 気象データ」に記したとおり、13:35付近の時間帯に8.5m/sの強風が観測された。この時間帯は船舶が流される事象が発生し、船舶姿勢の修正を余儀なくされた。

また、船舶方位 (真北に対する船首方向の方位) の変動を図 23～図 25に示す。測定器の仕様により連続的な測定ではないものの、11月27日 (図 23) はほぼ280度方向と安定している。11月28日 (図 24) は13時過ぎまでは安定しているものの、13:30付近で気象条件により船が流されたことによる船舶方位変化がみられる。

14時頃以降は船首を風上方向に向けて姿勢を安定させたため、船首方向が210度方向に変わった。ただし、基地局アンテナの方向は陸上側を向くよう修正した。11月29日（図 25）は全時間帯を通じて、ほぼ安定していると言える。いずれも細かく見ると船舶方向に多少のぶれはあるが、アンテナビーム幅（62度）から考えると、影響が出るものではないと考えられる。



図 20 11月27日の船舶位置変動（3km沖地点）

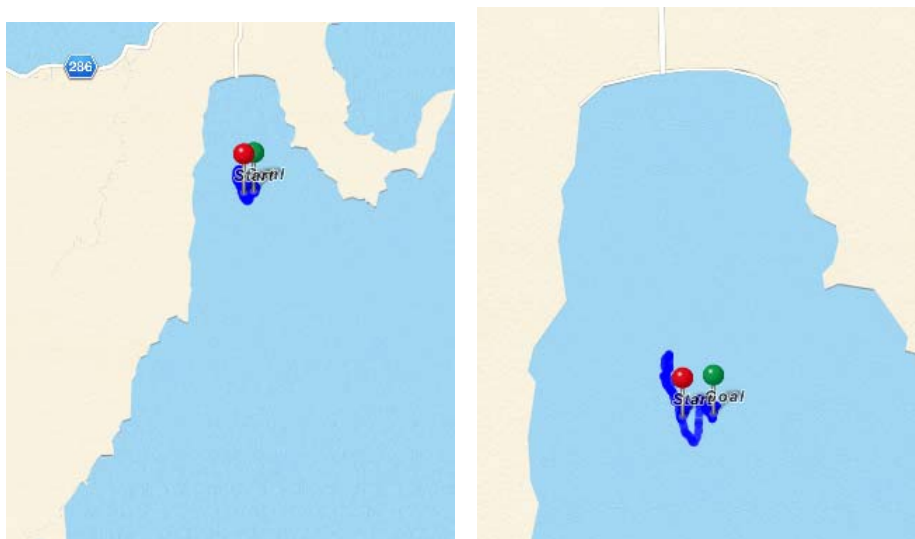


図 21 11月28日の船舶位置変動（1km沖地点）（右：拡大図）



図 22 11月29日の船舶位置変動 (3km沖地点)

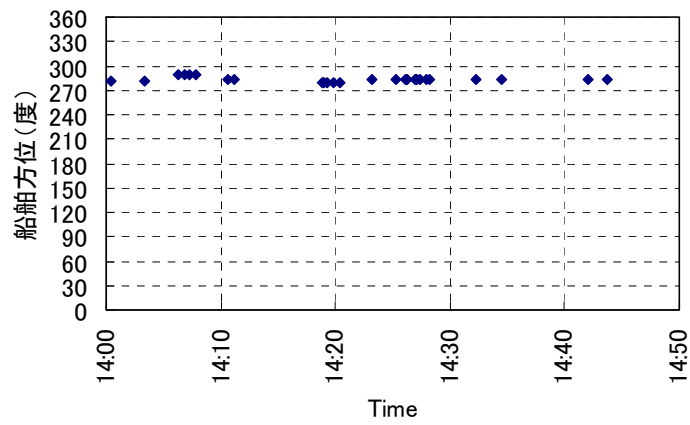


図 23 船舶方位変動 (11月27日)

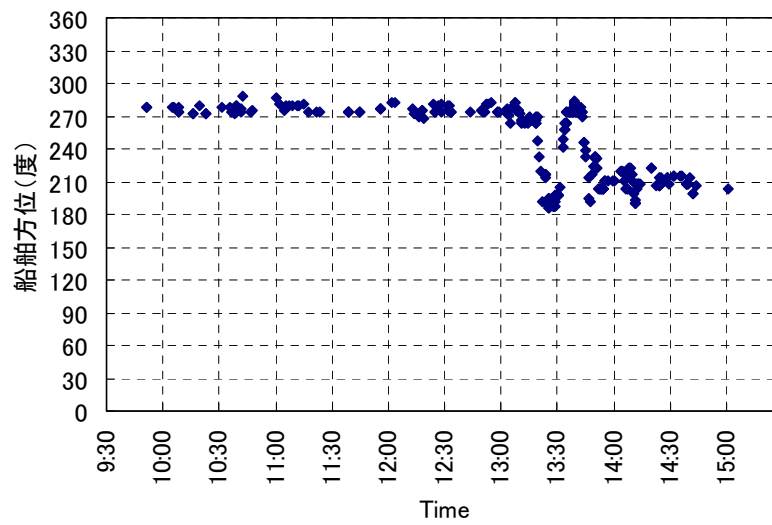


図 24 船舶方位変動 (11月28日)



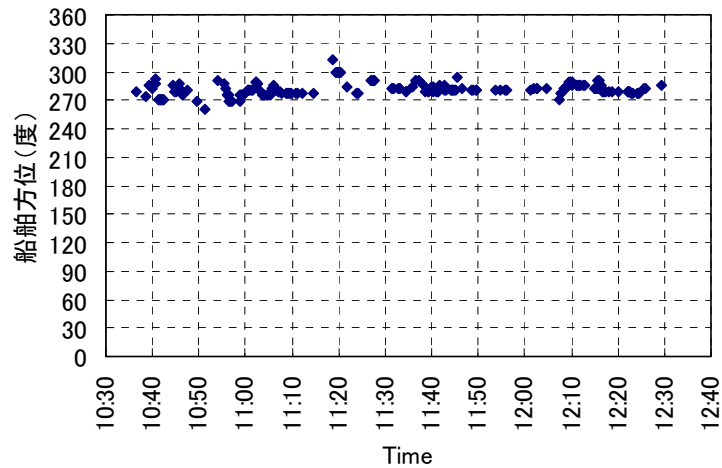


図 25 船舶方位変動 (11月29日)

### 1-2-8 電波伝搬試験

#### 1-2-8-1 概要

船上基地局から電波を発射し、電波伝搬試験を行った。測定した項目は次の4種類である。

- 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 ( $E_c/I_o$ )
- フレーム誤り率 (FER)

測定日毎の条件 (測定地点、送信アンテナ高、空中線電力) を表 7 にまとめた。11月29日には、アンテナ高を変化させた測定、及び送信出力を低下させた測定も行った。

表 7 測定日毎の測定地点、送信アンテナ高、空中線電力

測定日時	測定地点	アンテナ高	空中線電力 (音声通信用)	空中線電力 (データ通信用)
11/27 14:00~14:45	3 km	15.5 mH	34 dBm	40 dBm
11/28 09:45~15:00	1 km	15.5 mH	34 dBm	40 dBm
11/29 10:37~10:41	3km	15.5 mH	34 dBm	40 dBm
11/29 10:44~10:48		14.5 mH		
11/29 10:51~10:55		13.5 mH		
11/29 10:59~11:03		12.5 mH		
11/29 11:08~11:12		11.5 mH		
11/29 11:15~11:19		10.5 mH		
11/29 11:21~11:25		9.5 mH		
11/29 11:27~11:31		8.5 mH		
11/29 11:54~11:58	3 km	15.5 mH	9 dBm	15 dBm
11/29 12:02~12:05			7 dBm	13 dBm
11/29 12:08~12:14			5 dBm	14 dBm
11/29 12:19~12:22			3 dBm	13 dBm
11/29 12:25~12:30			2 dBm	14 dBm

### 1-2-8-2 測定結果

陸上測定地点における通信品質を調査するため、上記のRSSI、Ec/Io、Ecの値変動を受信機と受信信号強度を記録・表示できるソフトウェアを用いてデータを測定した。また、フレーム誤り率に関しては、携帯端末を用いて測定を行った。以下では、音声通信の結果は通信方式の呼称である「1X」、データ通信の結果は呼称の「EVDO」と表記して結果をまとめる。

1Xの各測定結果を図 26～図 38に示し、EVDOの各測定結果を図 39～図 47に示す。なお、各測定において、データ欠損やデータ変動が見られるため、表 8に詳細情報をまとめた。また、これらの測定結果のまとめを表 9～表 11に示す。

表 8 グラフの詳細情報

通信方式	測定日	時間帯	測定値	対応図	備考
音声通信 (1X)	11/27	14:20～14:32	RSSI	図 26	船舶基地局とは別の基地局を受信していたためデータ欠落 (※1)
			Ec	図 27	
			Ec/Io	図 28	
	11/28	13:20～13:40	FER	図 29	測定器不具合によるデータ欠落 (※2)
			RSSI	図 30	
			Ec	図 31	
	11/29	11:32～11:58	Ec/Io	図 32	船舶移動によるデータの変動 (※3)
			RSSI	図 35	
Ec			図 36		
11:32～12:30		Ec/Io	図 37	測定場所移動に伴うデータ欠落 (※4)	
FER	図 35	測定場所移動及び測定器不具合に伴うデータ欠落 (※5)			
データ通信 (EVDO)	11/27	14:00～14:32	RSSI	図 39	測定器不具合に伴うデータ欠落 (※6)
			Ec	図 40	
			Ec/Io	図 41	
	11/28	13:20～13:40	RSSI	図 42	船舶移動によるデータの変動 (※3)
			Ec	図 43	
			Ec/Io	図 44	
	11/29	11:32～11:58	RSSI	図 45	測定場所移動に伴うデータ欠落 (※4)
			Ec	図 46	
			Ec/Io	図 47	

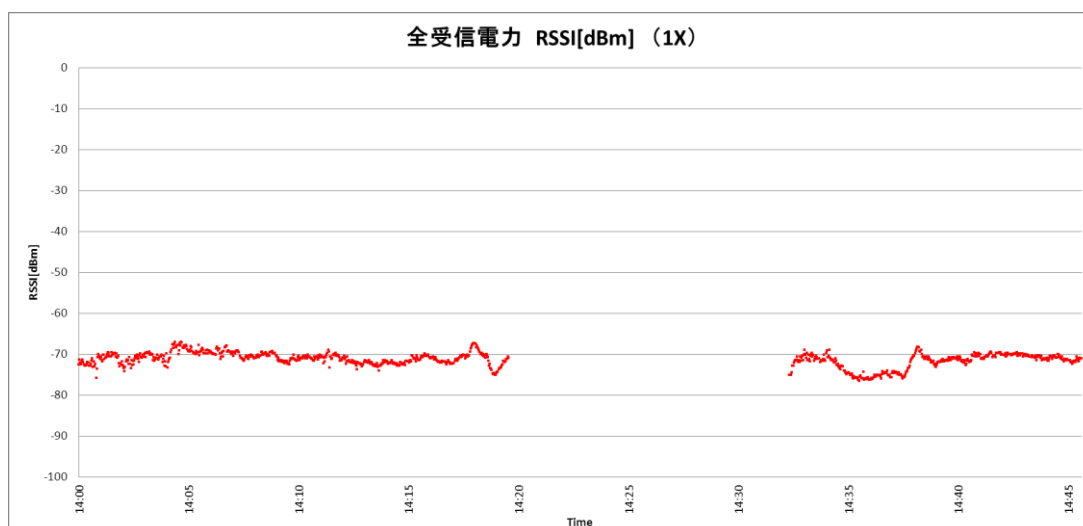


図 26 RSSI測定結果 (11月27日) <※1 : 14:20～14:32 データ欠落>

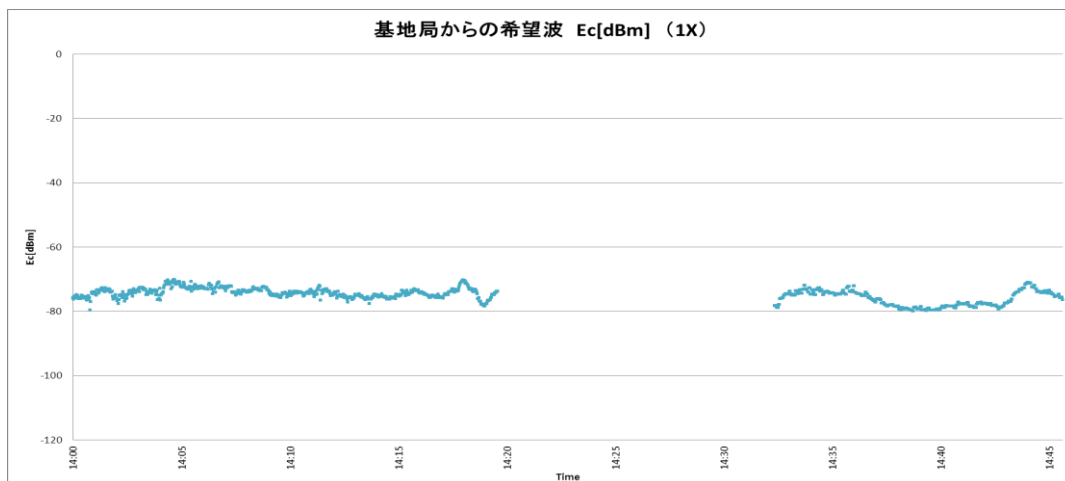


図 27  $E_c$ 測定結果 (11月27日) <※1 : 14:20~14:32 データ欠落>

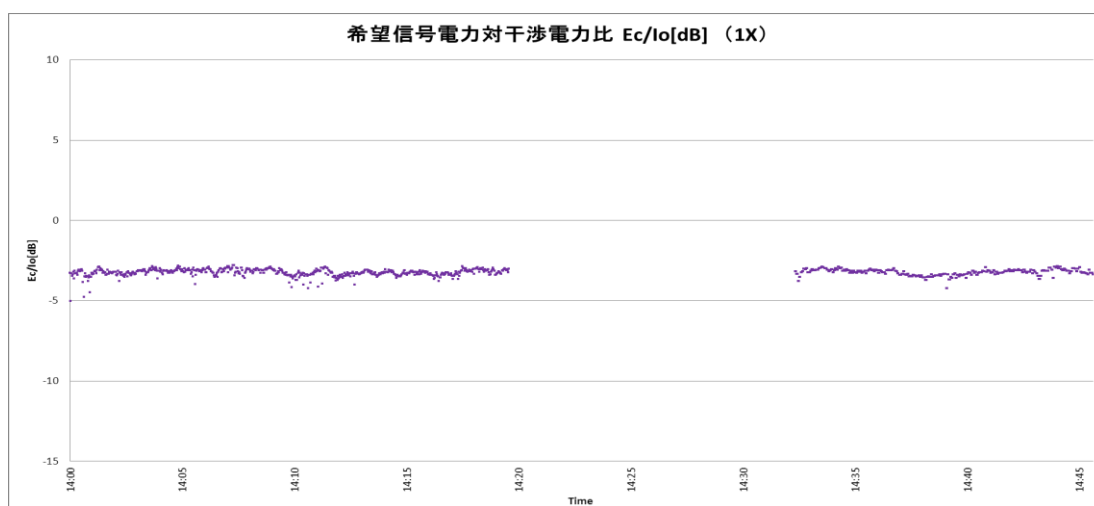


図 28  $E_c/I_o$ 測定結果 (11月27日) <※1 : 14:20~14:32 データ欠落>

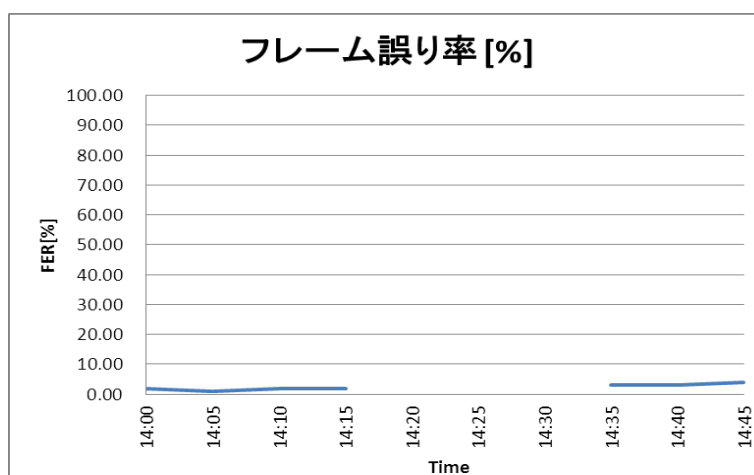


図 29 FER測定結果 (11月27日) <※2 : 14:15~14:35 データ欠落>

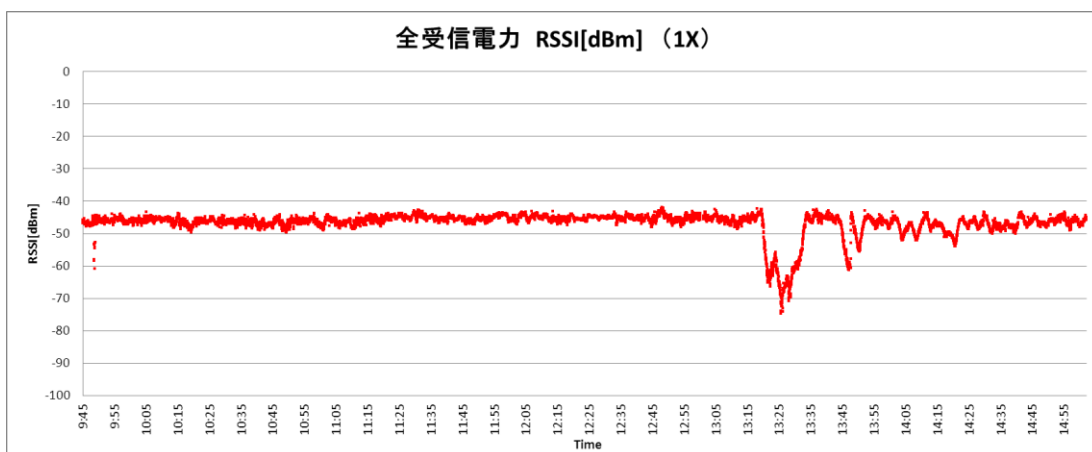


図 30 RSSI測定結果 (11月28日) <※3 : 13:20~13:40 船舶移動による変動>

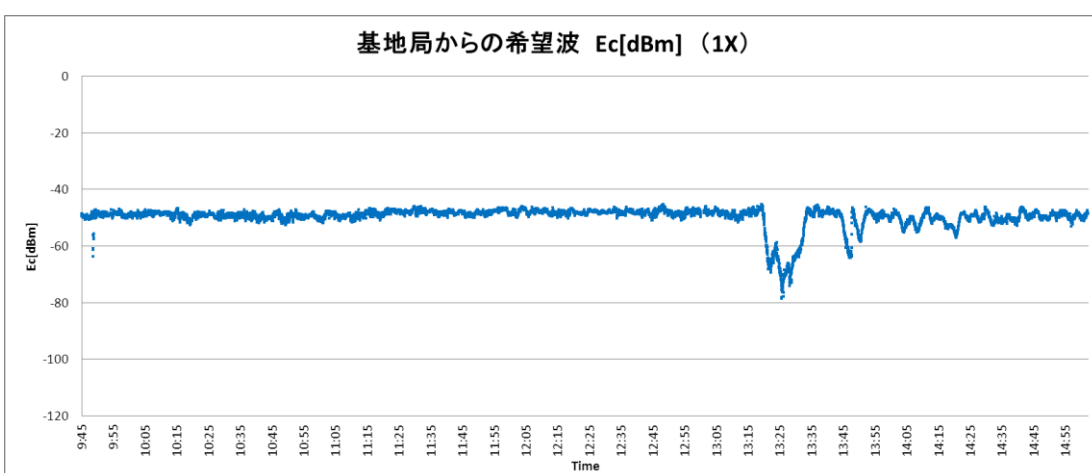


図 31 Ec測定結果 (11月28日) <※3 : 13:20~13:40 船舶移動による変動>

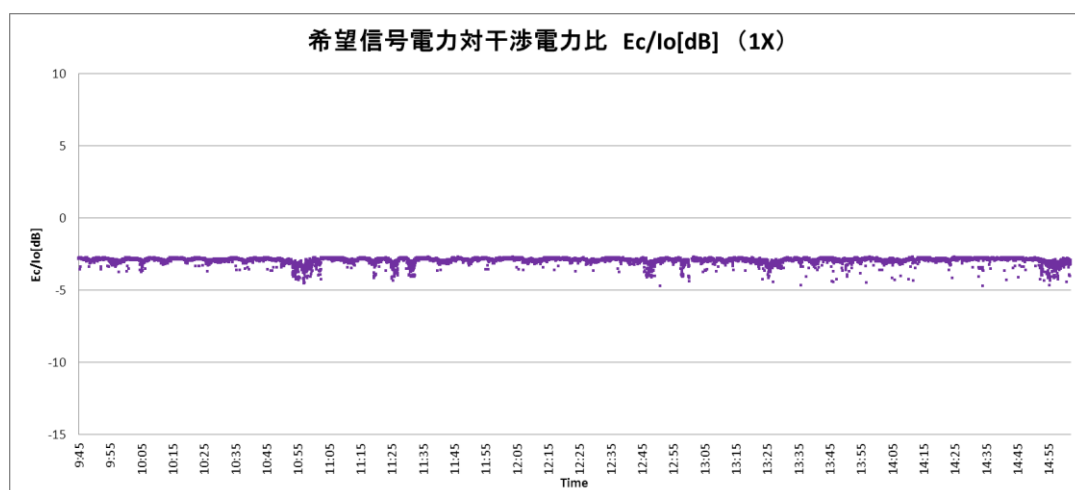


図 32 Ec/Io測定結果 (11月28日) <※3 : 13:20~13:40 船舶移動→変動なし>

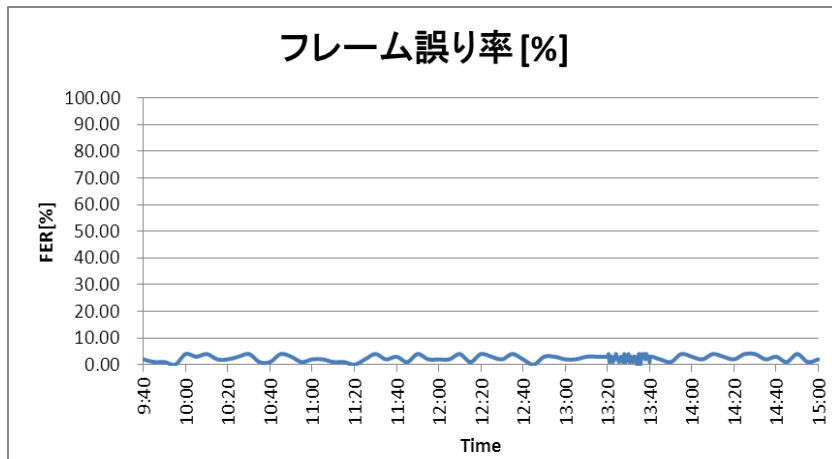


図 33 FER測定結果 (11月28日)

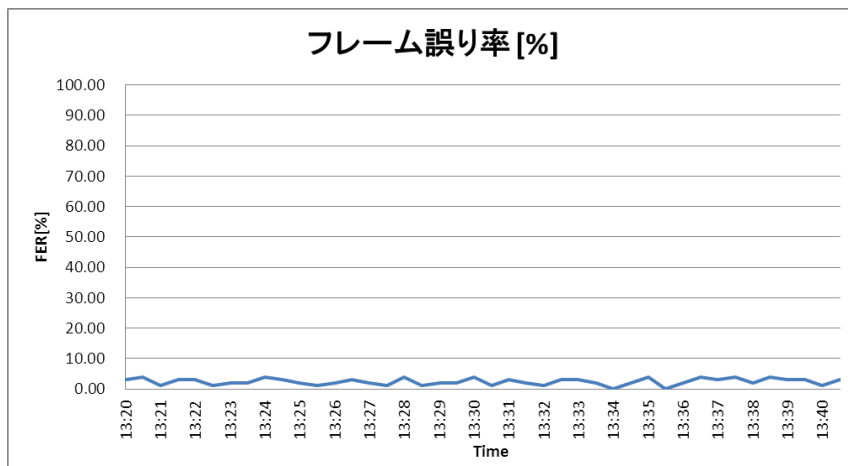


図 34 FER測定結果13:20~13:40 (船舶移動時) 拡大 (11月28日)

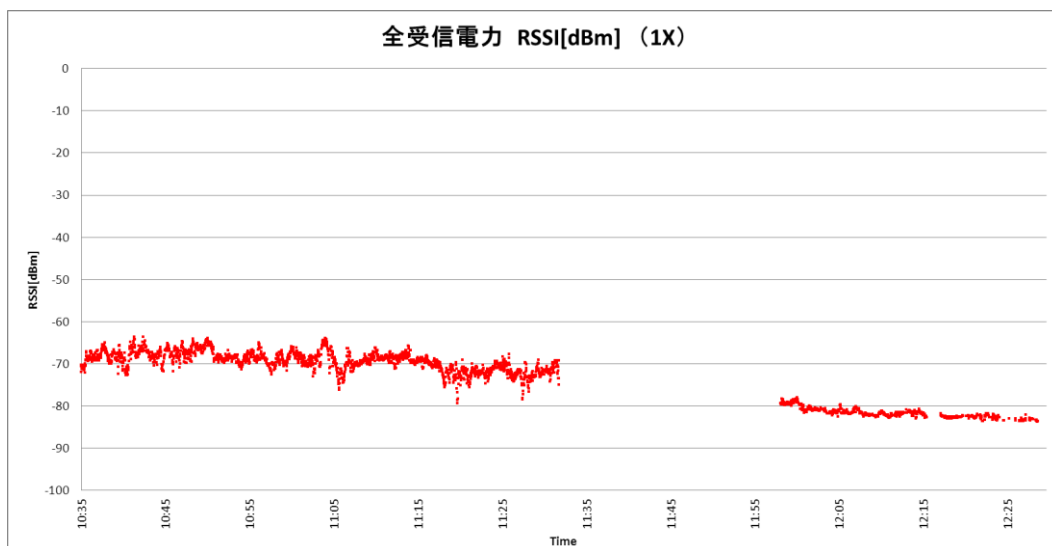


図 35 RSSI測定結果 (11月29日) <※4 11:32~11:58 測定場所移動に伴うデータ欠落>

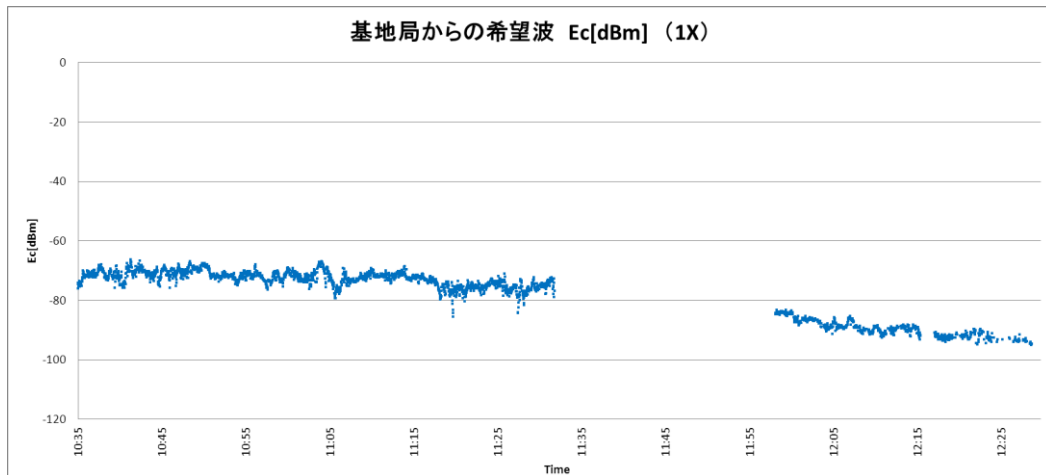


図 36 Ec測定結果 (11月29日) <※4 11:32~11:58 測定場所移動に伴うデータ欠落>

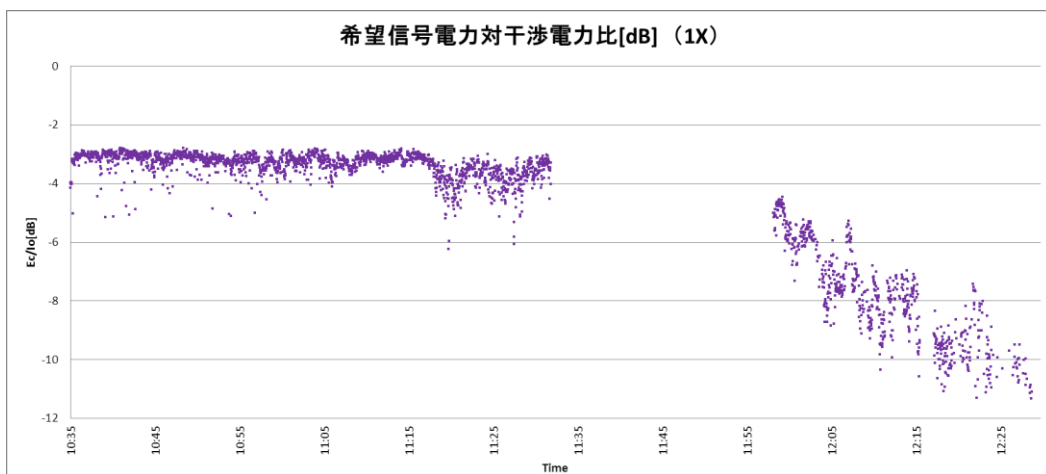


図 37 Ec/Io測定結果 (11月29日) <※4 11:32~11:58 測定場所移動に伴うデータ欠落>

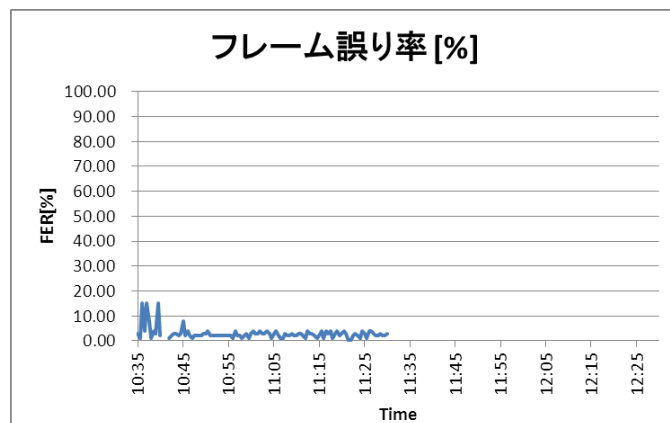


図 38 FER測定結果 (11月29日)

<※5 11:32~12:30 測定場所移動及び測定器不具合に伴うデータ欠落>

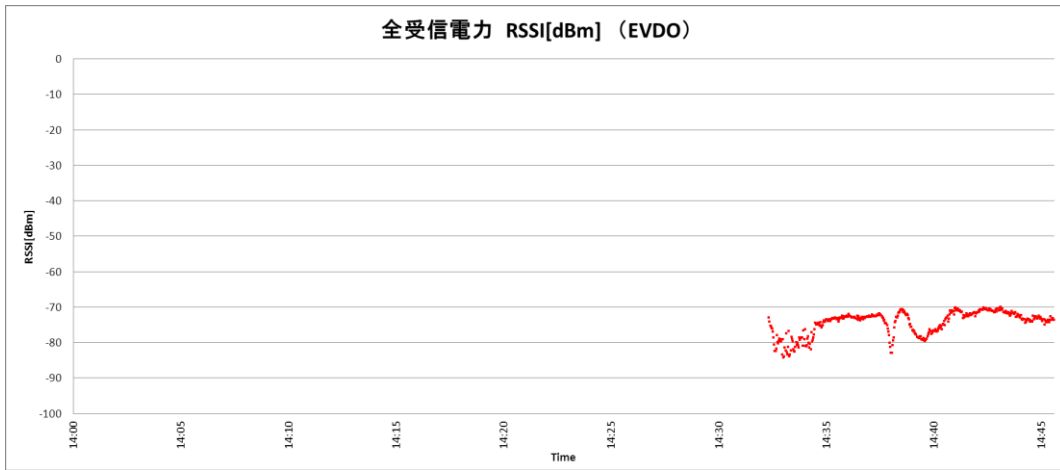


図 39 RSSI測定結果 (11月27日) <※6 14:00~14:32 測定器不具合に伴うデータ欠落>

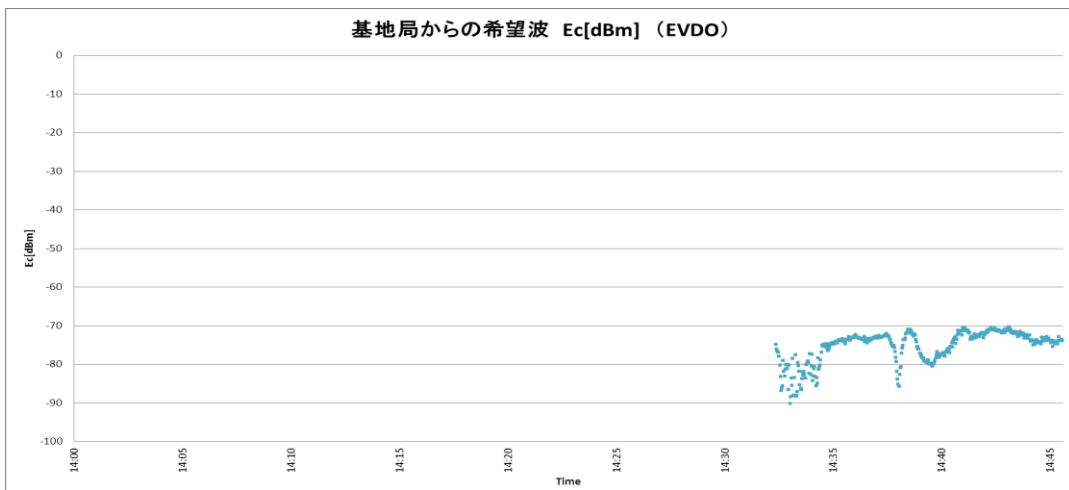


図 40 Ec測定結果 (11月27日) <※6 14:00~14:32 測定器不具合に伴うデータ欠落>

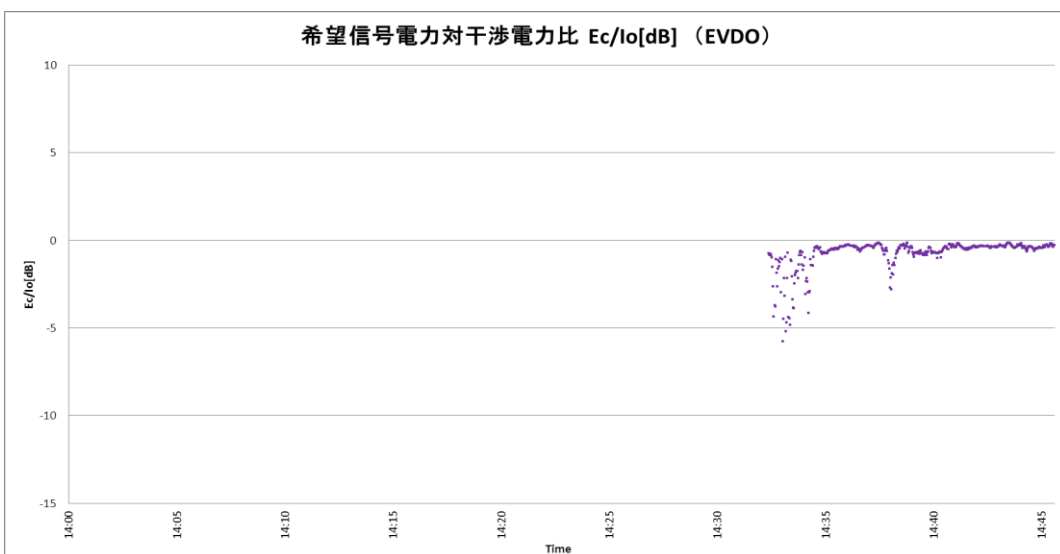


図 41 Ec/Io測定結果 (11月27日) <※6 14:00~14:32 測定器不具合に伴うデータ欠落>

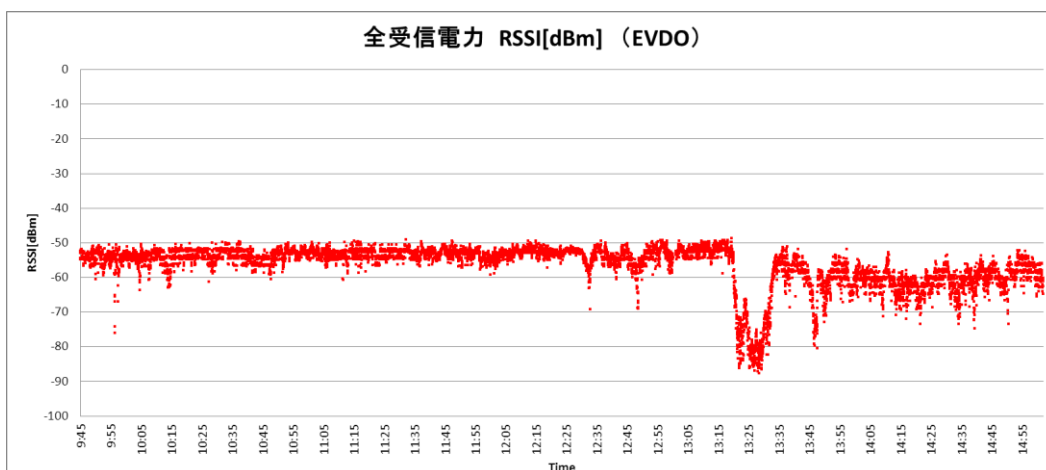


図 42 RSSI測定結果 (11月28日) <※3 : 13:20~13:40 船舶移動による変動>

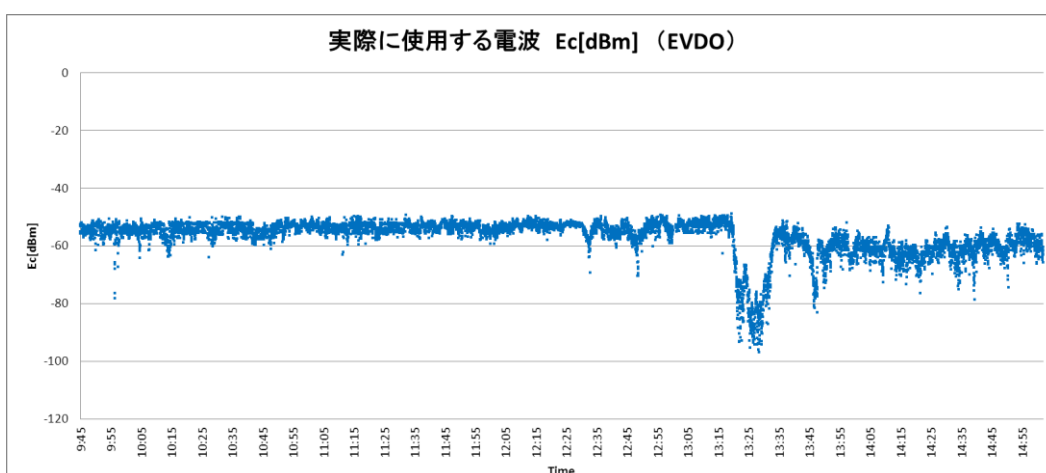


図 43 Ec測定結果 (11月28日) <※3 : 13:20~13:40 船舶移動による変動>

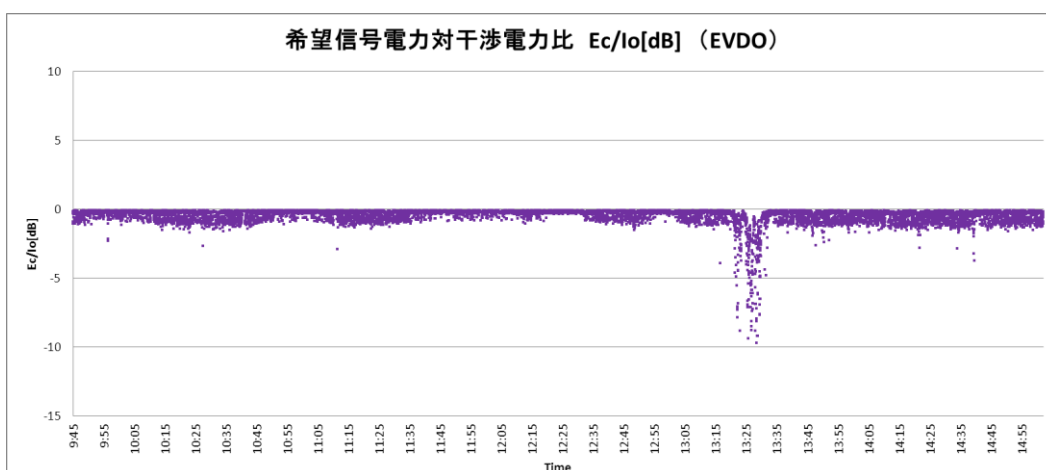


図 44 Ec/Io測定結果 (11月28日) <※3 : 13:20~13:40 船舶移動による変動>



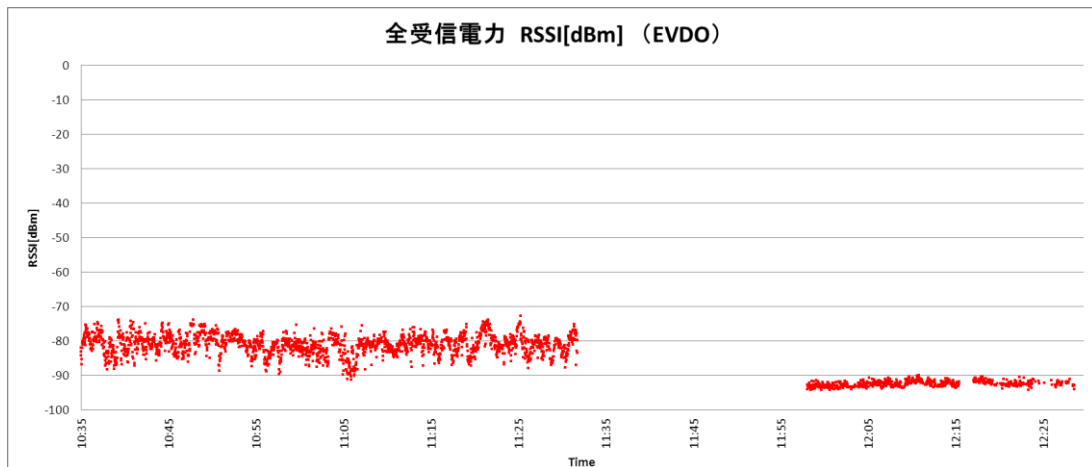


図 45 RSSI測定結果 (11月29日) <※4 11:32~11:58 測定場所移動に伴うデータ欠落>

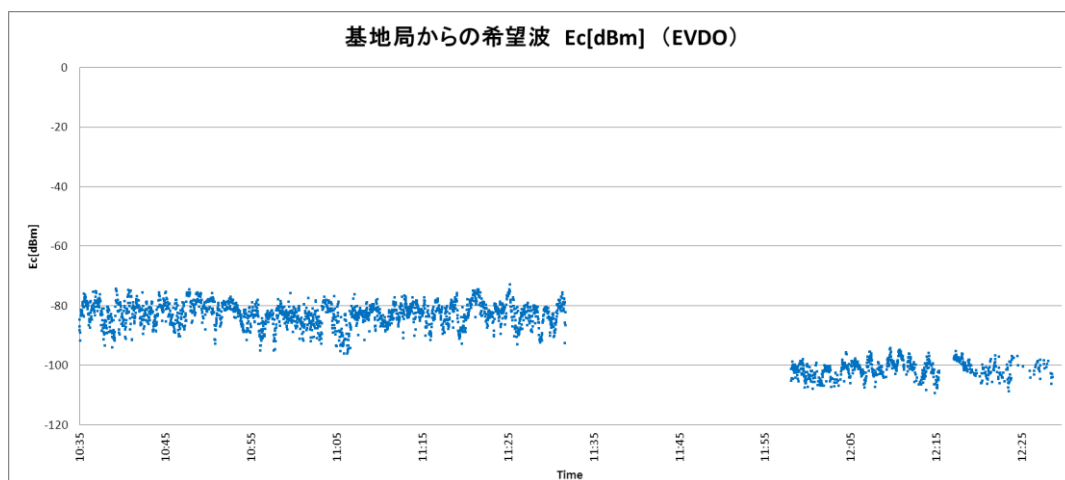


図 46  $E_c$ 測定結果 (11月29日) <※4 11:32~11:58 測定場所移動に伴うデータ欠落>

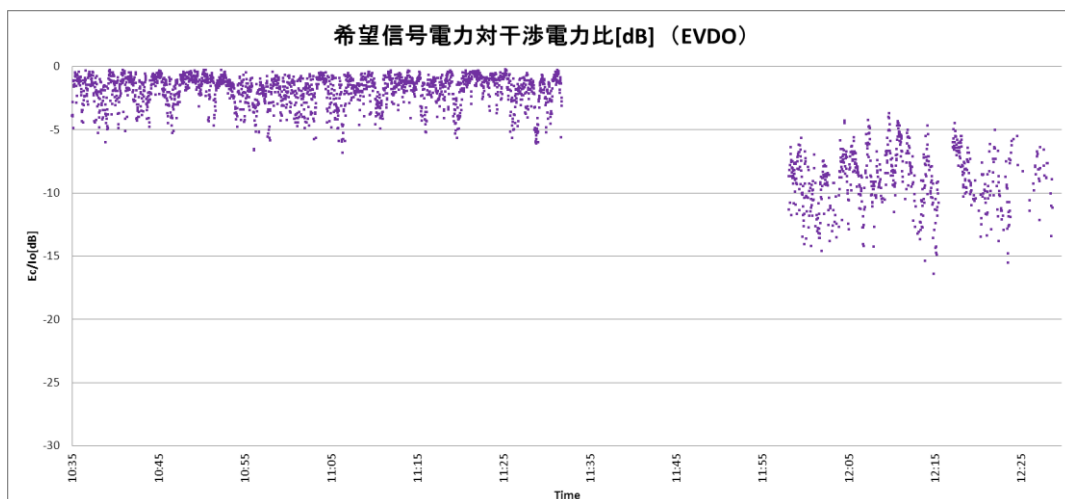


図 47  $E_c/I_o$ 測定結果 (11月29日) <※4 11:32~11:58 測定場所移動に伴うデータ欠落>

表 9 測定結果まとめ (11月27日の結果)

	種別	RSSI	Ec/Io	Ec	FER
平均	1X	-71.33	-3.241	-75.020	2.09
	EVDO	-74.51	-0.743	-75.264	-
最大	1X	-67.00	-2.810	-70.150	4.00
	EVDO	-70.10	-0.130	-70.38	-
最小	1X	-76.54	-4.78	-79.96	1.00
	EVDO	-84.37	-5.78	-90.15	-

表 10 測定結果まとめ (11月28日の結果)

	種別	RSSI	Ec/Io	Ec	FER
平均	1X	-46.95	-0.474	-49.849	2.42
	EVDO	-56.41	-0.516	-56.886	-
最大	1X	-39.42	-2.700	-45.330	8.00
	EVDO	-48.71	-0.090	-48.950	-
最小	1X	-104.78	-30.97	-106.240	0.01
	EVDO	-87.73	-28.17	-96.960	-

表 11 測定結果まとめ (11月29日の結果)

	種別	RSSI	Ec/Io	Ec	FER
平均	1X	-74.37	-5.448	-79.666	2.89
	EVDO	-85.54	-5.014	-90.488	-
最大	1X	-63.57	-2.800	-66.461	15.0
	EVDO	-72.72	-0.260	-72.990	-
最小	1X	-84.96	-27.020	-111.150	0.01
	EVDO	-94.36	-22.700	-115.730	-

### 1-2-8-3 シミュレーション

次に、実地試験で用いたパラメータを用いて計算機シミュレーションを行った。使用したシミュレーションソフトでは海上伝搬に合致するモデルが無かったため、最も近いと考えられる平地等で用いるモデル（呼称：rural flat）を代わりに利用して、近似のシミュレーションを行った。11月28日(3km沖地点、空中線電力音声通信用:34dBm データ通信用:40dBm)の条件下でのEc、Ec/Ioを図 49～図 52に示す。

エリアカバーを示すのは図 49や図 50のEc値であり、青色～緑色～黄色であれば、携帯電話のアンテナ本数表示が出て通信可能なエリアとみなせる。

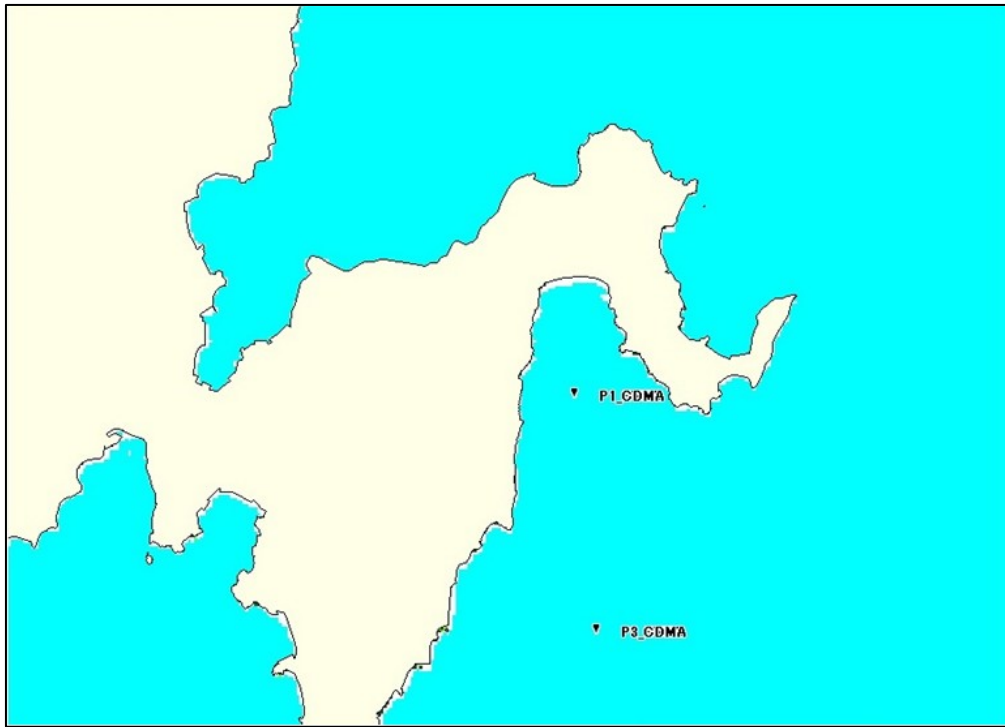


図 48 シミュレーション場所

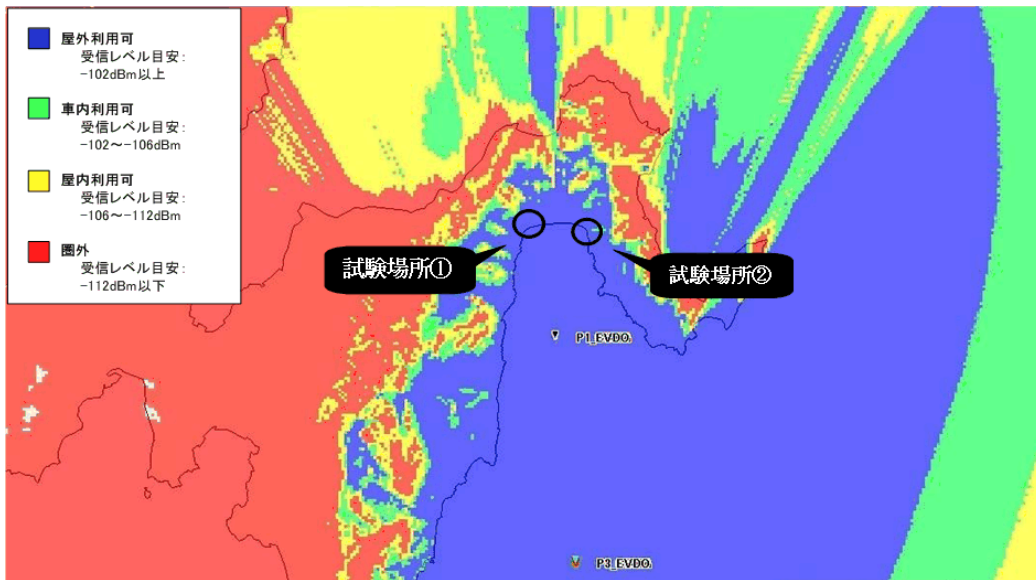


図 49 シミュレーション 1X Ec (ポイント3km、パワー34dBm) [単位dBm]

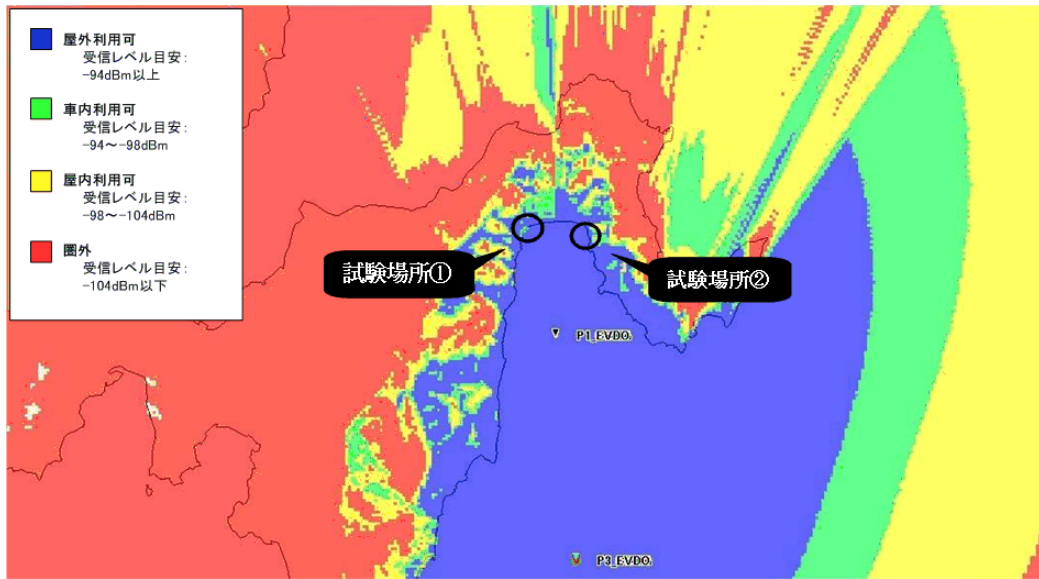


図 50 シミュレーション EVDO Ec (ポイント3km、パワー40dBm) [単位dBm]

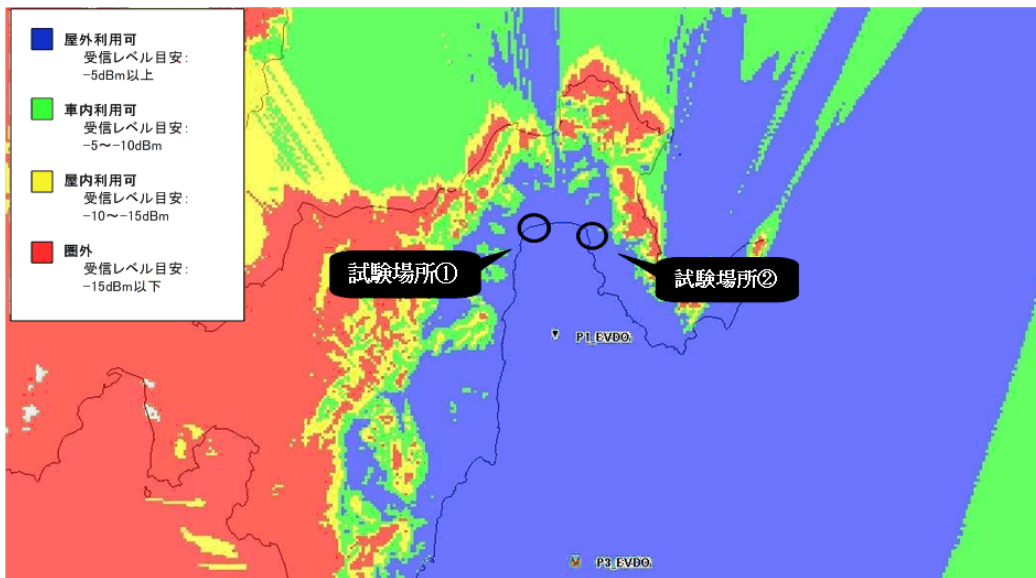


図 51 シミュレーション 1X Ec/1o (ポイント3km、パワー34dBm) [単位dBm]

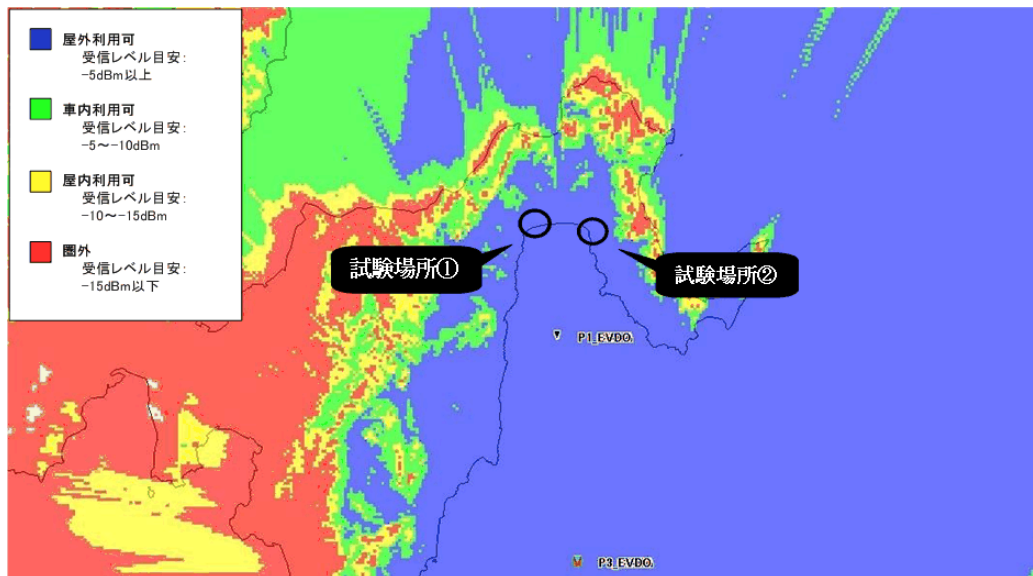


図 52 シミュレーション EVDO Ec/Io (ポイント3km、パワー40dBm)[単位:dBm]

#### 1-2-8-4 考察

全体を通して船舶が安定して停泊しており、各測定結果 (図 26～図 47) を見ると潮位変動の影響を受けず、安定して良好な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にかけては船舶位置を修正するために移動したため、値の変動が見られる。

希望波からの受信電力 ( $E_c$ ) は、1Xでは20dB程度、EVDOでは35dB程度の変動が見られる。図 10に示す通り、1X用送信アンテナとEVDO用送信アンテナでは指向特性図が異なること、1X用送信アンテナが垂直偏波、EVDO用送信アンテナが水平偏波であるのに対し、受信側は垂直偏波のみであること、等の影響が出たものと考えられる。

希望信号電力対干渉電力比 ( $E_c/I_o$ ) は、干渉源となる他の基地局信号等がないためほぼ一定の値になっている。ただし、1XとEVDOでは算出方法が異なるため、EVDOでは若干の値変動が見られる。また、11月29日の11:54～12:30は空中線電力を低下させた測定であり、RSSI、 $E_c$ 、 $E_c/I_o$ いずれも徐々に値が低下している。

次に、シミュレーション結果について考察する。通信エリアを示すのは $E_c$ のシミュレーション結果であり、結果図の色調のうち、青色～緑色～黄色であれば携帯電話のアンテナ本数表示が出て通信可能なエリアと言える。実際に通信可否は干渉波の存在による $E_c/I_o$ 値にも依存するため一概に言えないが、音声通信の場合は $E_c=-110$ dBm程度以上、データ通信の場合は $E_c=-100$ dBm程度以上が一つの目安となる。

結論として、シミュレーション結果よりも今回の実測値のほうが良い結果が得られた。今回の実験は限られた測定地点であることや、伝搬モデルが海上伝搬を厳密に反映したものではないため、シミュレーションとの正確なエリアの比較は困難であるが、実測値から換算すると十分な受信電界が得られたため、シミュレーション結果以上のエリアが確保されているものと期待される。

#### 1-2-9 回線品質試験

##### 1-2-9-1 概要

ユーザが体感する品質としての音声通信品質、データ通信品質を測定した。測定は、電波伝搬測定と並行し、別の携帯電話端末を用いて実施した。表 12に測定条件と対応する結果図の対応を示す。

表 12 回線品質試験の測定条件

測定日時	測定地点	アンテナ高	空中線電力 (音声通信用)	空中線電力 (データ通信用)	結果図 (音声通信)	結果図 (データ通信)
11/27 14:00~14:45	3 km	15.5 mH	34 dBm	40 dBm	図 54	図 57
11/28 09:45~15:00	1 km	15.5 mH	34 dBm	40 dBm	図 55	図 58
11/29 10:37~10:41	3km	15.5 mH	34 dBm	40 dBm	図 56	図 59
11/29 10:44~10:48		14.5 mH				
11/29 10:51~10:55		13.5 mH				
11/29 10:59~11:03		12.5 mH				
11/29 11:08~11:12		11.5 mH				
11/29 11:15~11:19		10.5 mH				
11/29 11:21~11:25		9.5 mH				
11/29 11:27~11:31		8.5 mH				
11/29 11:54~11:58	3 km	15.5 mH	9 dBm	15 dBm		
11/29 12:02~12:05			7 dBm	13 dBm		
11/29 12:08~12:14			5 dBm	14 dBm		
11/29 12:19~12:22			3 dBm	13 dBm		
11/29 12:25~12:30			2 dBm	14 dBm		

### 1-2-9-2 音声試験の結果

音声品質測定における装置構成を図 53に示す。音声品質はITU-Tでも用いられ、数値評価が可能なPESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality) 値で評価することとし、専用の音声品質測定器を用いた。音声品質測定器には2台の携帯端末が接続され、片方が送話側、もう片方が受話側である。送話側は陸上の携帯基地局に接続され、受話側の携帯端末が船舶上の携帯基地局に接続される。音声品質測定器から評価用音声を送話側の携帯端末に流し、陸上の携帯基地局→陸上中継伝送路→衛星回線→船舶上の携帯基地局と經由して、当該音声を受話側の携帯端末に届く。送話側の音声波形と受話側の音声波形を比較することにより、音声品質を測定することができる。送話側波形が忠実に受話側に届くと高いPESQ値が得られ、逆に途中で音声波形が劣化して届くとPESQ値が悪くなる。

測定条件と対応する結果図の対応は、表 12に示すとおりである。

### 1-2-9-3 音声試験の考察

通信サービスにおけるPESQの基準値は、電気通信事業者やシステム毎に多少の差異はあるが、固定電話並にPESQ=3.4、会話に支障が出ない最低基準がPESQ=2.5として代表値が設けられている。ただし、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。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。更に詳しく結果を見ると、11月27日の結果(図 54)は安定した品質が得られている。11月28日は満潮の時間帯(10時頃)から干潮の時間帯(15時頃)まで測定し、数か所だけPESQ=2.5程度となっているが、全体を通じては潮位に影響を受けず、安定した品質である。13:35前後の時間帯は強風で船舶が流され、船舶姿勢を戻すため操船を行ったため、図 30や図 31に示したとおりRSSIやEcIには20dB程度のレベル低下が見られた。この場合であっても、Ec/Ioには低下は見られなかった(図 32)。通信品質を決定づけるのはEc/Ioであるため、Ec/Ioが安定している限り音声品質も安定するのは、妥当な結果と言える。

11月29日の10:40~11:30の時間帯はアンテナ高を変化させた測定であり、電波伝搬的には潮位変動と同じような変化となる。アンテナ高の影響は受けず、非常に良好な結果が得られている。

一方、空中線電力を変化させた11:55~12:30の測定では最後の箇所（12:25~12:30）にPESQ値の低下がみられる。このときの空中線電力は2dBmであり、通常出力より32dBも低い値（1/1500の値）である。この時は $E_c/I_0$ が-12dB程度まで低下しており、音声回線を維持するギリギリの値であったためである。逆に言えば、空中線電力が通常出力より31dB低い値（1/1250の値）である3dBまでであればPESQ値は安定して3.5付近であり、極めて小出力でも音声品質を保つことができた。これは例えば、電源容量が十分でない船舶においても小出力の基地局を用いることにより、エリアカバーして良好な音声品質を提供可能であることを示している。

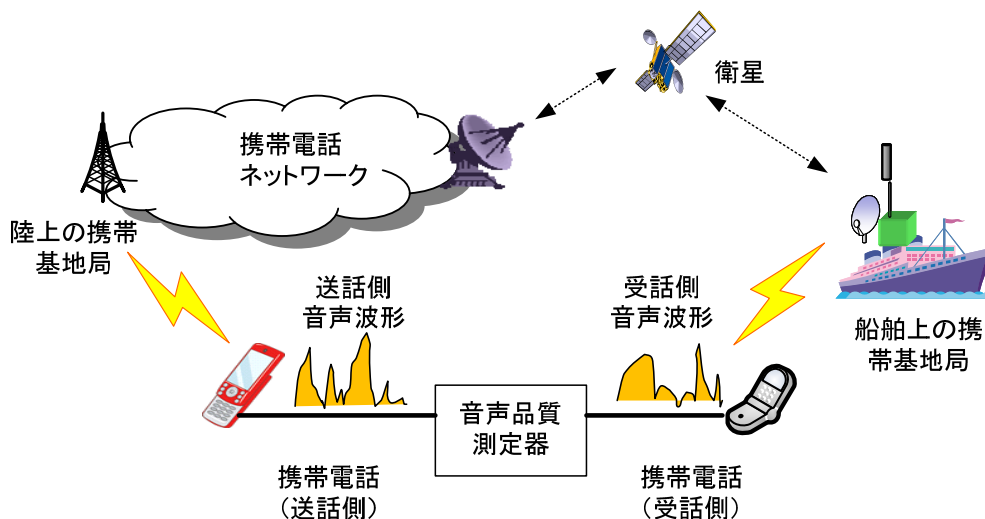


図 53 音声品質測定構成

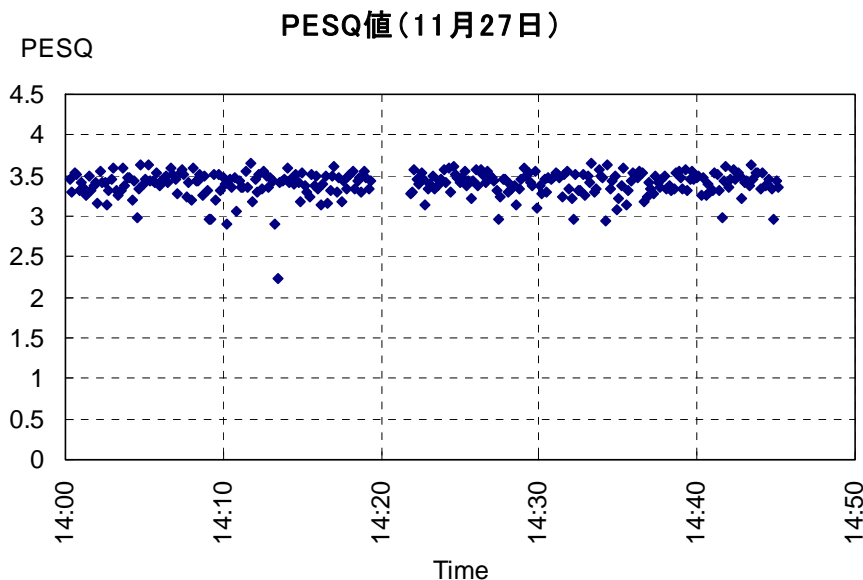


図 54 PESQ値の結果 (11月27日)

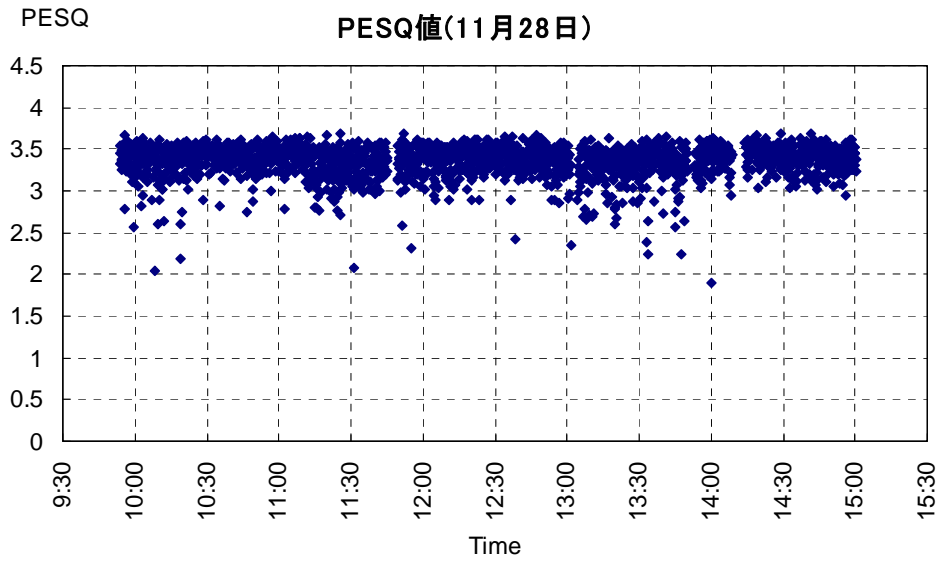


図 55 PESQ値の結果 (11月28日)

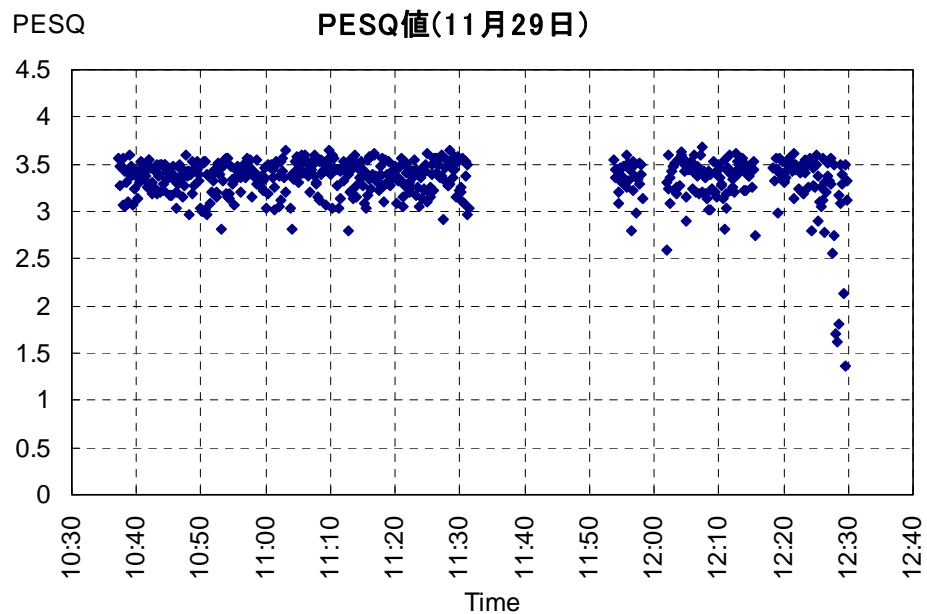


図 56 PESQ値の結果 (11月29日、アンテナ高変化時)

#### 1-2-9-4 データ通信試験の結果

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。測定条件と対応するスループット測定結果の対応は、表 12に示すとおりである。

#### 1-2-9-5 データ通信試験の考察

本試験の目的は、潮位変動や船舶揺動に伴うスループットへの影響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。

ところで、データ通信用エントランス回線は384kbpsであるが、これに対して得られたスループット値は数



10kbpsと低い値となっている。TCPスループットは（受信ウィンドウサイズ） / （往復遅延時間）で規定されるので、衛星経由では地上回線よりもスループットは低下してしまう。スループット高速化については改善手法があり、TCPアクセラレータと呼ばれる機能を具備した機器を用いることにより、衛星遅延による影響を低減できる。ただし、今回の測定はTCPスループット向上が目的ではないため、その試験は実施していない。

また、いずれの測定結果も、スループット結果は40kbps付近と70kbps付近に偏った結果となっている。TCP制御フローでは相手側ノードからのACK返答の時間に応じて受信ウィンドウサイズを変化させる仕組みである。TCPフローのタイミングにより、受信ウィンドウサイズを一定レートで変化させた結果、結果のような特定値への偏りが出たと考えられる。このように、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であり、潮位変動によるものではない。Ec/Ioが安定している環境下のスループット試験では、値変動がないことは妥当と言える。

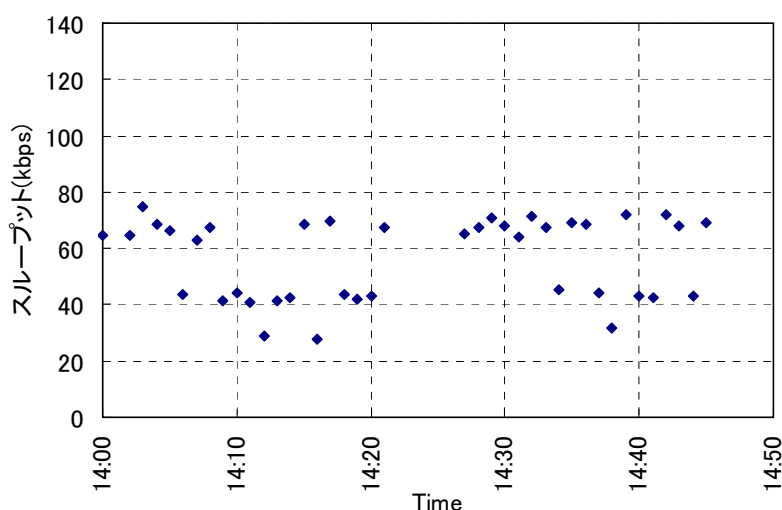


図 57 スループット測定の結果（11月27日）

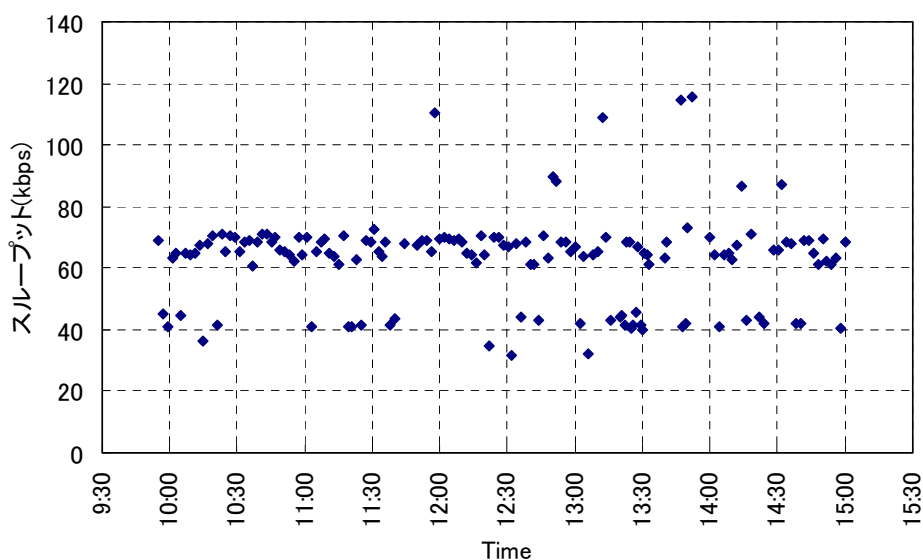


図 58 スループット測定の結果（11月28日）

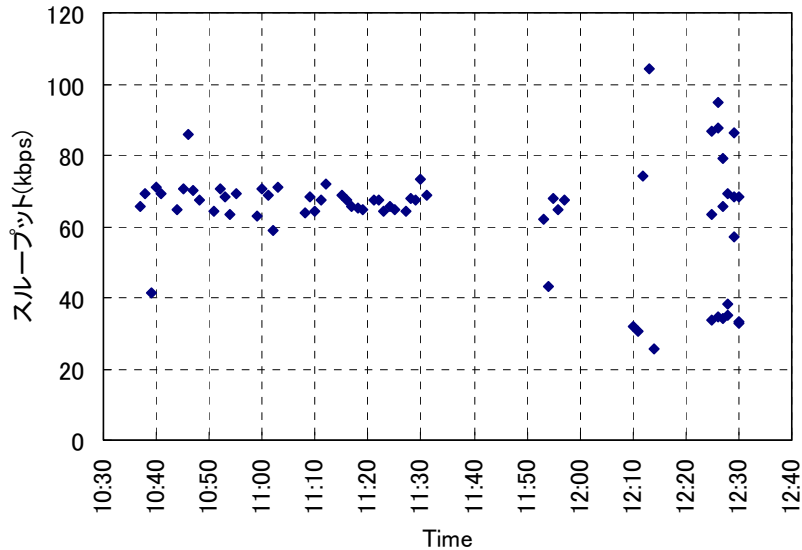


図 59 スループット測定の結果 (11月29日)

### 1-2-10 混信保護

船舶搭載の超短波帯、中波帯及び短波帯の無線設備、搭載レーダに対して、実地試験に使用した携帯電話基地局や衛星通信機器との干渉が発生するかどうか、くろせ乗組員による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、逆に、船舶搭載の無線設備や搭載レーダから、携帯電話基地局や衛星通信機器への影響も認められなかった。

### 1-2-11 考察

#### 1-2-11-1 潮位変化、送受信アンテナ高による影響

送信アンテナから放射された電波は空間を伝搬していくが、海面のような反射率がほぼ1となる鏡面反射する条件下では、直接波と海面反射波の合成波として受信される(図 60)。直接波と反射波が同位相だと強めあい、逆位相だと弱めあうことになり、潮位変動やアンテナ高変化により受信レベルが変動することとなる。受信レベルが著しく落ち込むと、通信品質に影響を及ぼすため、潮位変動やアンテナ高変化について考察した。

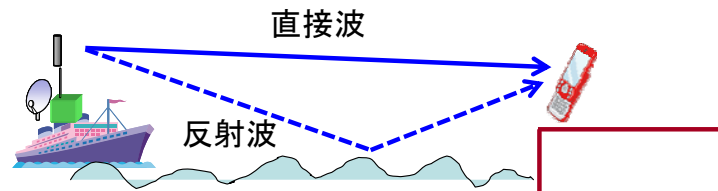


図 60 海上伝搬2波モデル

今回の実験は、船上基地局の送信アンテナ高が15.5mであり、受信側アンテナ高は海岸沿いの海拔(3m)に人体の高さ(1.5m)を加えて4.5mとした。この送受信アンテナ高に対する受信レベルを距離に応じて描画したのが図 61である。同図には試験で用いた800MHz帯と共に、2GHz帯についても描画した。800MHz帯の場合に、受信レベルの大幅な落ち込み(ヌルと呼ばれる)が観測されるのは、距離が500m以下の範囲である。実地試験を行った1kmや3km近辺にはヌルが発生する距離は見られない。

次に、受信アンテナ高を4.5mに固定し、送信アンテナ高を変化させた時の結果を図 62に示す。距離3kmを見

ると、送信アンテナ高が15.5mと8.5mでは5dB程度の差があるが、ヌルは見られない。11月29日の実験ではアンテナ高を15.5mから8.5mまで変化させたが、大きな受信レベル変動は見られなかった。図 62の結果はそれを裏付けていると言える。また、潮位変動は送信アンテナ高とみなすことができるため、図 62の結果によれば1kmや3km地点では潮位変動は無視し得ると言える。実際、11月28日の実験では潮位変動による影響は見られなかった。

更に、送信アンテナ高を15.5mに固定し、受信アンテナ高を変化させた時の結果を図 63に示す。受信アンテナ高が4.5mの場合には、距離500m以下の範囲でしかヌルを観測しなかったが、受信アンテナ高が15mの場合には距離1.4km付近、受信アンテナ高が30mの場合には距離1.4km付近や2.7km付近でヌルが見られる。

以上から考えると、800MHz帯の場合、海岸に近い場所で受信する限りは船舶位置を500m以上離れていれば、潮位変動や送信アンテナ高変化は影響ないと言える。送信アンテナ高は船舶に据え付けるため必ずと限界（最大でも20m程度）があるが、受信アンテナ高は陸上の標高や建物階数で異なってくる。よって、図 63でヌルが見られる条件に一致すると通信品質に影響が生じうる。しかし、受信アンテナ高や距離が少し異なれば受信レベルは大きく改善するため、人が少し移動するだけで受信レベルの改善が期待できる。災害時などでは、携帯電話を使用できる場所（避難所）が限定される場合が想定されるが、受信レベルが芳しくない場合には少しだけ標高の異なる場所（建物の階を変える等）で試してみるといったユーザへのアナウンスや運用が効果的と考えられる。

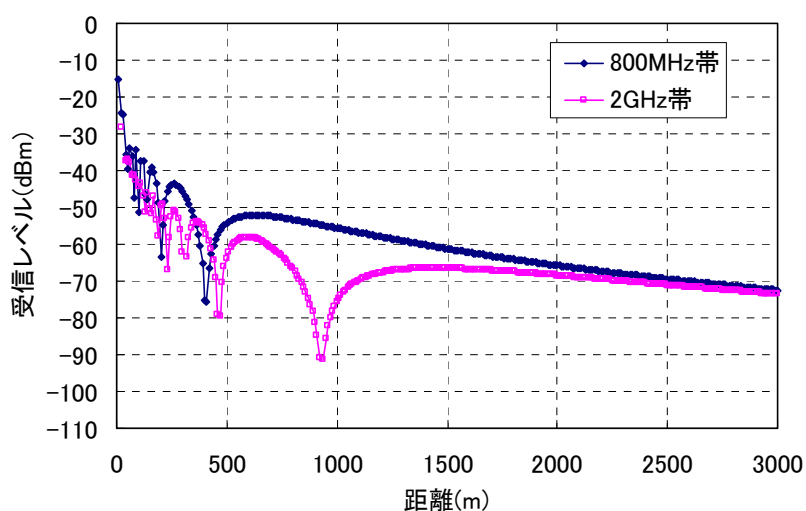


図 61 海上伝搬2波モデルの受信レベル（理論値）：800MHz帯、2GHz帯

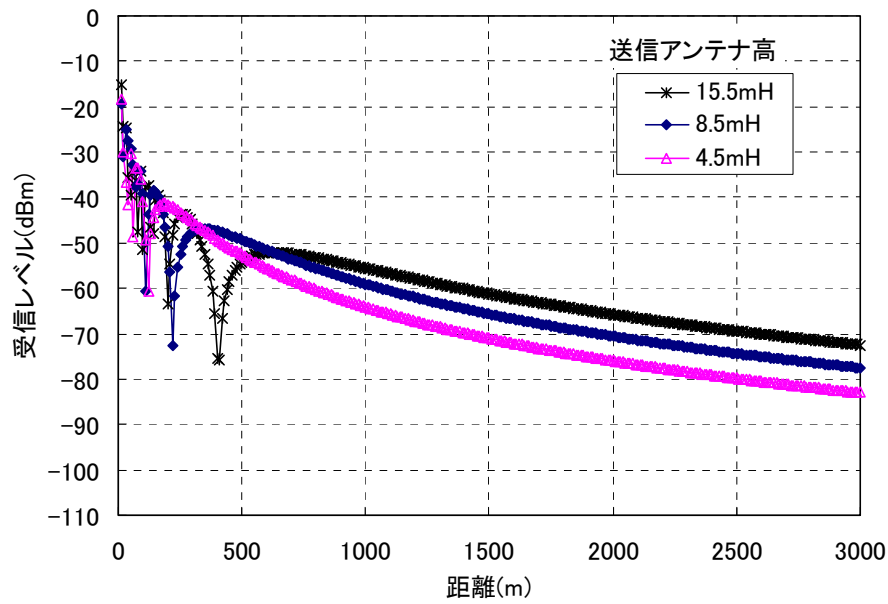


図 62 海上伝搬2波モデルの受信レベル (理論値) : 送信アンテナ高変化 (800MHz帯)

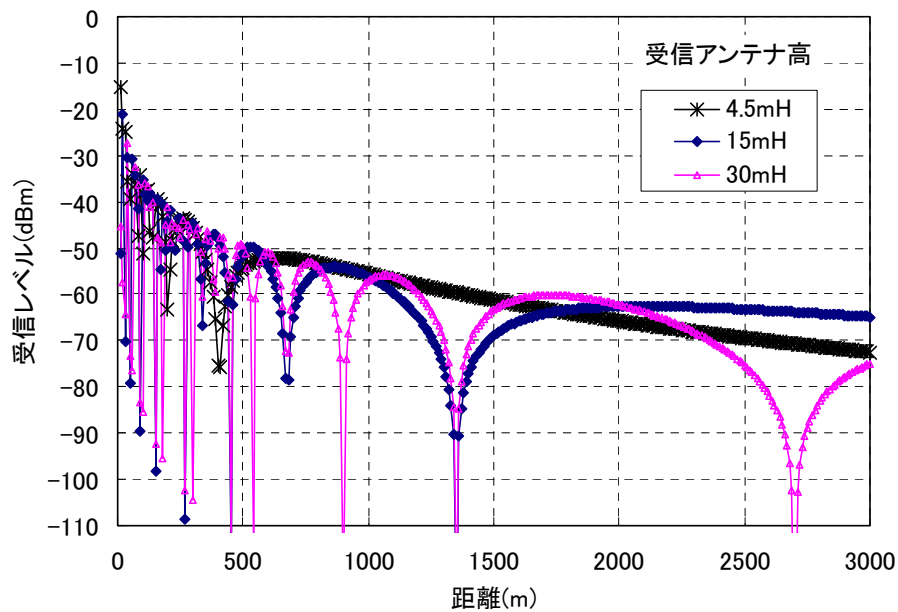


図 63 海上伝搬2波モデルの受信レベル (理論値) : 受信アンテナ高変化 (800MHz帯)

### 1-2-11-2 海面状況による影響

海上伝搬では、2波モデルのほかに海面の荒れによる影響も考えられる。反射点付近における起伏 (波浪) の高低差 $T_{\Delta}$ が、次式で与えられる鏡面反射の限界起伏高 $T_c$ より小さい場合は、鏡面反射と考えることができる。

$$T_c = \frac{\lambda}{16 \sin \psi} \quad (\text{ただし、}\psi \text{ は反射波の入射角である。図 64参照。}) \quad \dots \text{式 (1)}$$

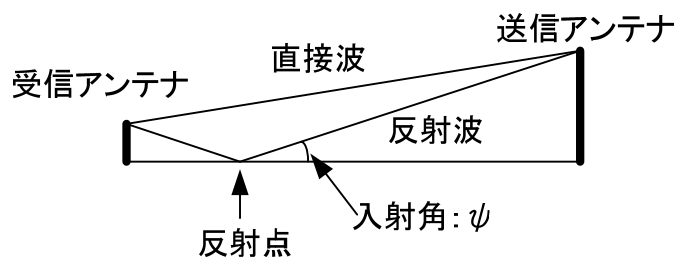


図 64 反射点と入射角

実地試験では、送信アンテナ高：15.5m、受信アンテナ高：4.5mであるから、入射角を計算すると約0.38度となる。式（1）より、 $T_c$ を求めると約3.3mとなる。「1-2-6-1気象データ」に示したとおり、実地試験当日の波高は最大でも0.7mであったことから、海面の荒れによる影響はなかったと言える。

### 1-2-11-3 他の通信距離におけるエリアについて

本実験では、実験期間等の制約から通信距離が1km、3kmの2ポイントに対してのみ測定を行った。一方、災害が発生した際には沿岸近くまで近づけるとは限らず、海岸から一定距離離れた場所から電波発射せざるを得ない場合も考えられる。そこで、他の通信距離や場所における通信エリアについて、シミュレーションにより検証した。

ここでは、今回の試験海域を中心とし、下記3か所について追加シミュレーションを行った。なお、基地局諸元は基本的には本実験と同様の表1を用いており、更に沖合からの電波発射になるためアンテナチルト角のみ $5^\circ$  から $3^\circ$  に変更してシミュレーションを行っている。建物データも反映している。

- ・ 大迫港沖（陸までの距離：6km）： 図 65
- ・ 呉港沖（陸までの距離：4km）： 図 66
- ・ 広島市宇品沖（陸までの距離：3km）： 図 67

青色～緑色～黄色となるエリアを見ると、沿岸付近は十分カバーしている。内陸部にもカバーエリアは伸びているが、現在の状況と災害時の状況が同一とは限らないため、災害時のカバーエリアは一概には言えない。避難所などの場所が明確であれば、それら重要地点がエリアカバーされるよう、船舶上の携帯基地局の位置やアンテナ指向方向を選定するなどが重要となってくる。

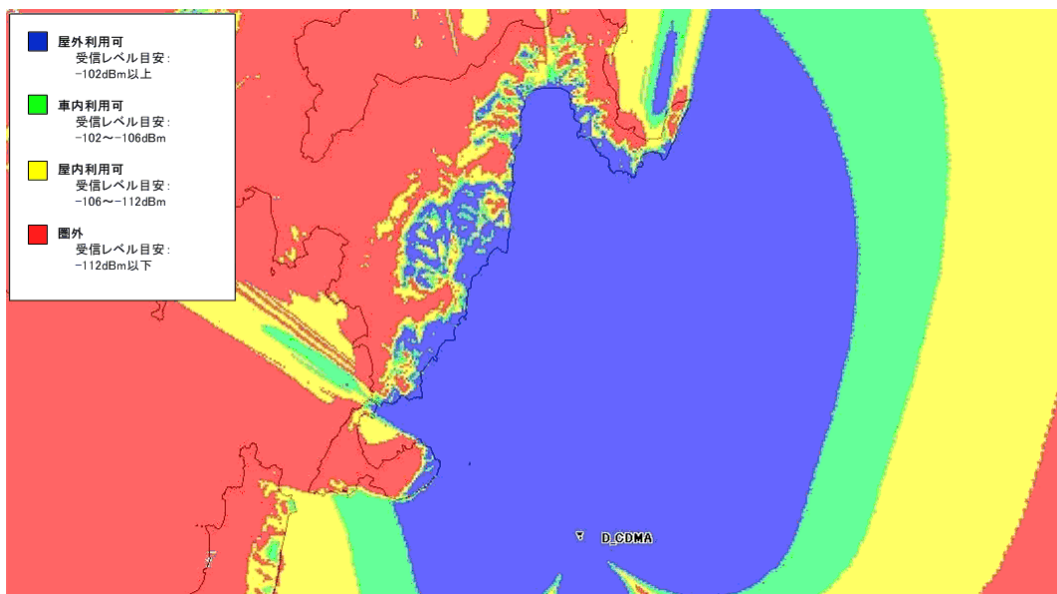


図 65 大迫港沖シミュレーション 1X Ec  
 (北緯: 34° 03' 51" 東経: 132° 34' 45"、空中線電力: 34dBm)

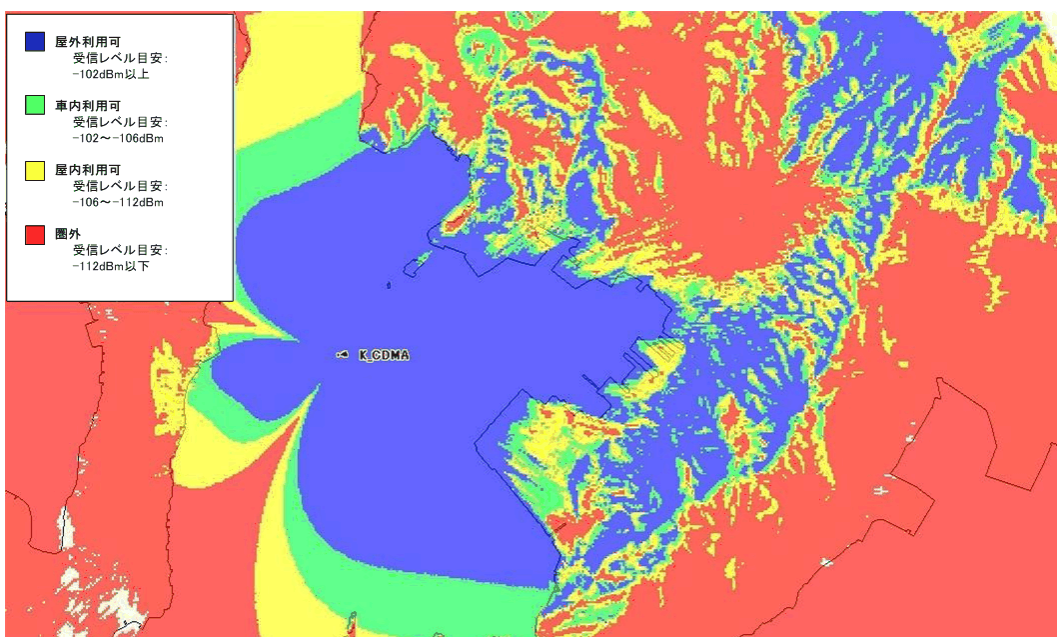


図 66 呉港シミュレーション 1X Ec  
 (北緯: 34° 13' 55" 東経: 132° 30' 44"、空中線電力: 34dBm)

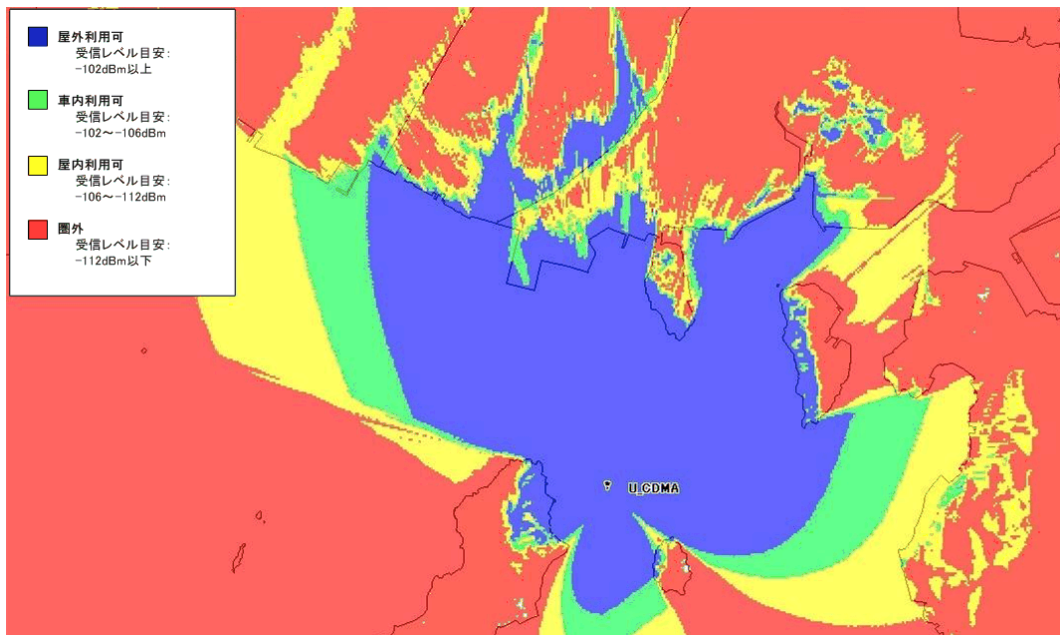


図 67 宇品港シミュレーション 1X Ec  
(北緯: 34° 19' 21" 東経: 132° 27' 12"、空中線電力: 34dBm)

### 1-3 まとめ

携帯電話基地局の船上開設に向けた技術検証を行うため、海上保安庁の船舶に携帯電話基地局及び衛星設備の無線設備を開設し、実環境で海上伝搬試験を行った。

実地試験の結果、気象条件や潮流等により船舶位置や船首が変化し、それに伴い受信電力 (RSSI) や希望波電力 (Ec) は低下が見られたが、通信品質の指標となる希望信号電力対干渉電力比 (Ec/Io) は安定していた。通信品質については、船舶動揺に関わらずEc/Ioが安定している条件であるため、音声通信品質 (PESQ値) やデータ通信品質 (スループット) も安定した結果が得られた。

潮位変動の影響について理論検討した結果、今回測定した1kmや3km地点は受信レベルの大幅な落ち込み (ヌルと呼ばれる) が観測される箇所ではなく、実験結果はそれを裏付けている。1つの目安として、船舶位置が500m以上離れていれば、潮位変動や送信アンテナ高変化は影響ないと言える。ただし、受信アンテナ高によっては、受信レベルの落ち込みが生じる可能性があるため、受信レベルが芳しくない場合には少しだけ標高の異なる場所 (建物の階を変える等) で試してみるといった運用が必要と言える。

また、実測値はシミュレーション計算より良い結果を示していた。他の通信距離や海域についてはシミュレーション計算することで、およそのカバーエリアを把握することが可能であり、実測値との比較から考えると、シミュレーション計算より広い範囲をエリアカバーできる可能性がある。

以上、実地実験全体 (気象条件、船舶動揺等の条件を含む) を通じてはおおむね良好な結果が得られ、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ことが確認できた。