

# 公共ブロードバンド移動通信システムの 海上利用について

(第1回作業班 ご指摘事項反映版)

平成28年12月15日  
公共ブロードバンド移動通信システム  
高度化作業班事務局

- 海上電波伝搬モデルの検討については、陸上における電波伝搬モデルと比較し、回線設計や技術的条件の検討に必要なパラメータについて検討
  - ・ 検討にあたり、考慮すべき事項は以下のとおり
    - ✓ 海面での海面反射は陸上での大地等の反射と異なる特性を持つのか
    - ✓ 船舶の揺れが回線設計(フェージング)にどれほどの影響を与えるか
    - ✓ 海上における環境雑音の振る舞い(環境雑音の有無、品質への影響 等)
- 以下の項目について、平成26年度から平成27年度にかけて実施した技術試験事務において取得したデータを元に検討
  - ・ 200MHz帯の周波数の海上での伝搬特性
  - ・ フェージングモデル及びフェージングマージン
  - ・ 受信ダイバシティ効果
  - ・ 海上単一回線における回線設計例
  - ・ (海上での)環境雑音

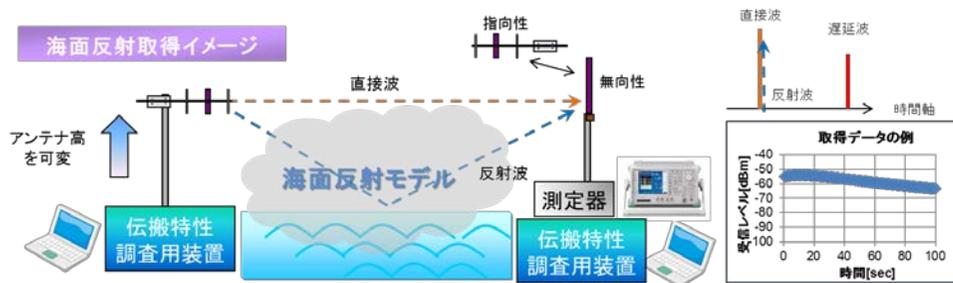


海上単一回線(例)

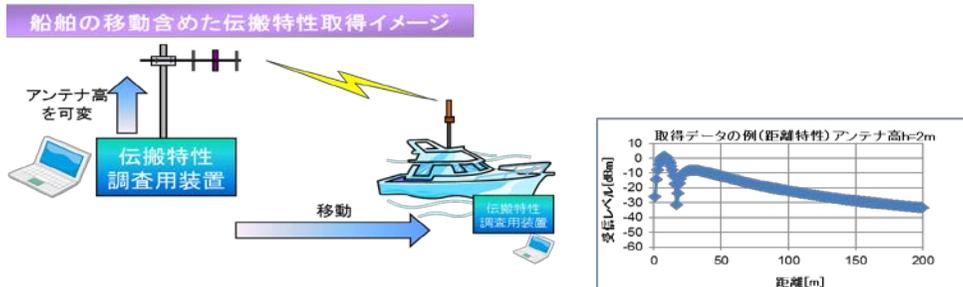
- 検証の前提条件
  - データ取得に用いる電波は、現行の公共ブロードバンド移動通信システムで定められている技術基準に従うこととする
- 取得データ
  - ハイトパターン、受信電力の長期変動
    - ✓ 陸上に設置した送信側のアンテナ高を変化させ、海を挟んだ対向の陸上に設置したアンテナで受信波形及び受信電力を測定
    - ✓ 直接波と海面からの反射波の相関を確認するため、受信電力の長期変動データについても取得
    - ✓ 指向性アンテナと無指向性アンテナ双方で測定を実施

システム諸元

項目	諸元
周波数	195MHz (チャンネル間隔:5MHz)
送信電力	5W
通信/多重化方式	TDD/OFDM,OFDMA
変調方式	QPSK,16QAM,64QAM
電波の型式	4M90 X7W



- 伝搬損失距離特性
  - ✓ 送信側のアンテナを船舶に搭載し、船舶の移動にともなう伝搬損失を測定



- 環境雑音

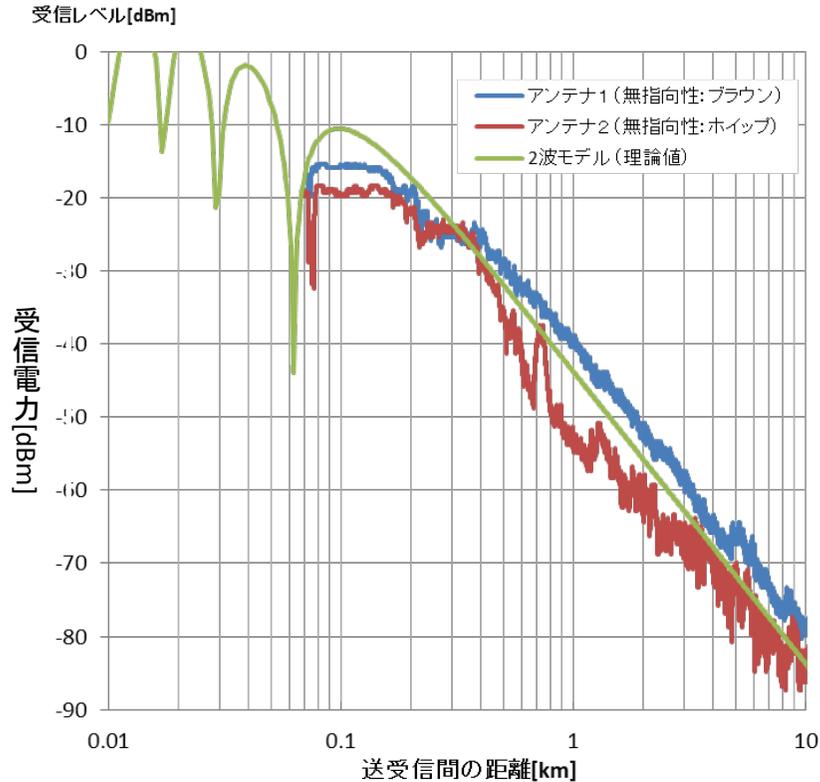


八木アンテナでの環境雑音測定風景

## 【伝搬損失距離特性】

測定条件

送信アンテナ	受信アンテナ1	受信アンテナ2	受信アンテナ間距離
八木(指向性)	ブラウン(無指向性)	ホイップ(無指向性)	アンテナ1~アンテナ2間
4 m (海拔約2.0m)	2.43 m (海拔約9.0m)	2.38 m (海拔約9.0m)	約4.5m

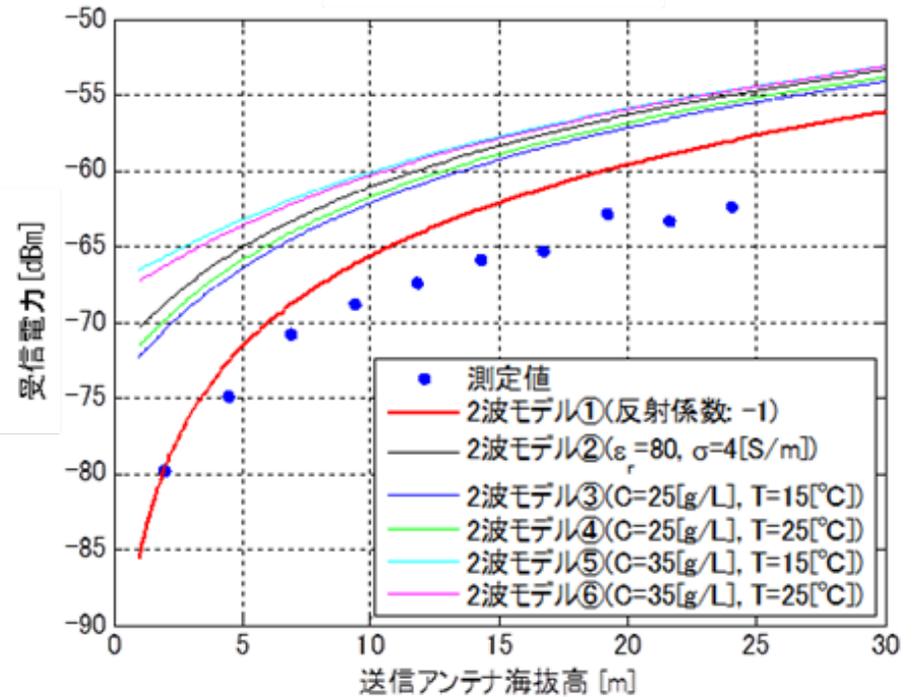


⇒ 伝搬損失距離特性は、2波モデル(理論値)に一致

## 【ハイトパターン】

測定条件

送受アンテナ間距離: 8.6km  
 送信アンテナ: アンテナ高: 1.8m~23.85m  
 受信アンテナ: アンテナ高: 2.38m(固定)



⇒ ハイトパターンは、2波モデルのうち反射係数を-1とするものにほぼ一致

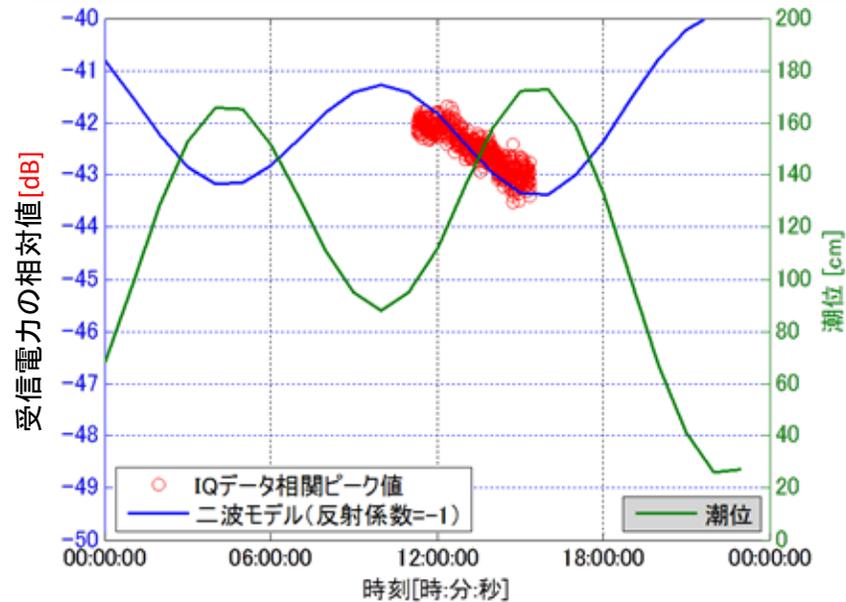
## 【受信電力長期変動】

測定条件

送受アンテナ間距離: 1.56km

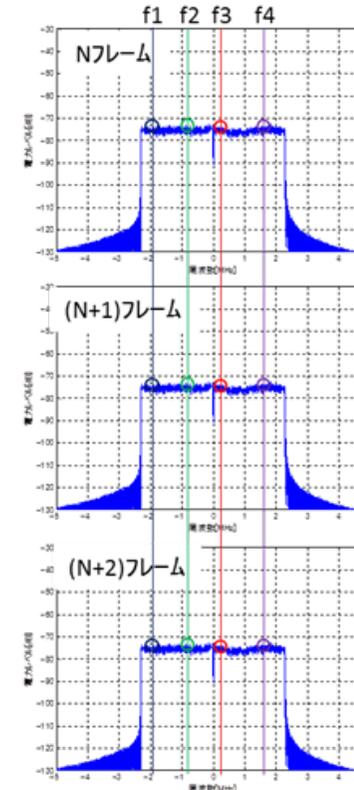
送信アンテナ: アンテナ高: 5.9m(海拔: 2.9m、アンテナ設置高: 3.0m)

受信アンテナ: アンテナ高: 6.35m(海拔: 3.2m、アンテナ設置高: 3.15m)



⇒ 受信電力の長期変動データから、潮位による受信レベルの変動は、2波モデル(反射係数: -1)に近似

## 【周波数軸方向の変動】



f1:193.053[MHz]

f2:194.158[MHz]

f3:195.159[MHz]

f4:196.526[MHz]

⇒ 周波数軸方向においては、フラットな変動であることを確認

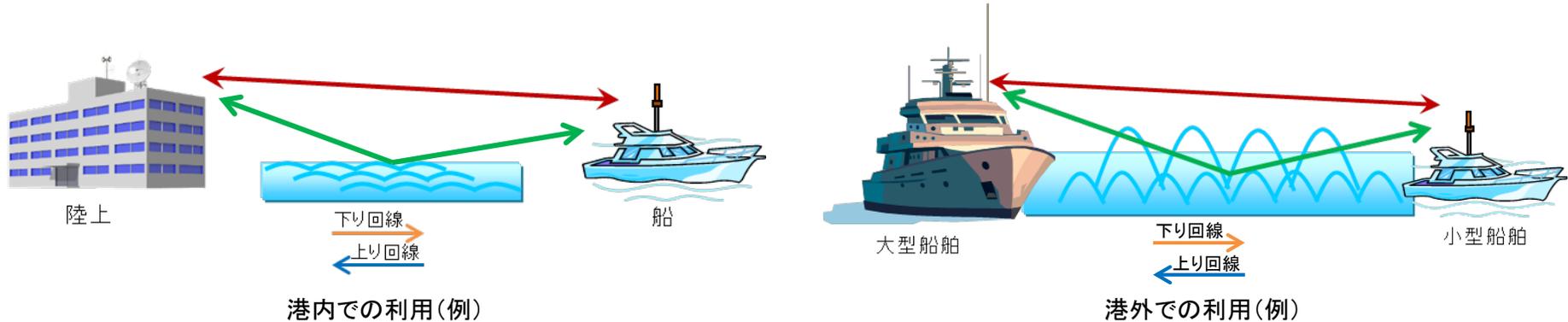
- 200MHz帯周波数の海上での伝搬特性は、直接波+海面反射波(反射係数: -1)の2波モデルで表すことが可能
- 海上でのフェージングモデルについては、代表的な2波モデルである仲上-Riceモデルを適用

○ 海上利用におけるフェージングモデル及びフェージングマージンについては、それぞれ以下について検討

## 【フェージングモデル】

利用環境	想定される通信形態	波による影響	その他の要因
港内	陸上に設置した無線局との通信が多くなる	比較的穏やか	・陸地の建造物や橋等による反射
港外	船舶間の通信が主になる	港内と比べて厳しくなる	—

※中継での利用は、「港内」と「港外」を組み合わせたと想定

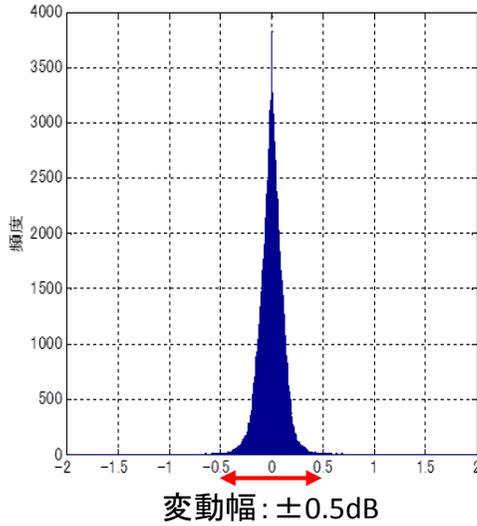


## 【フェージングマージン】

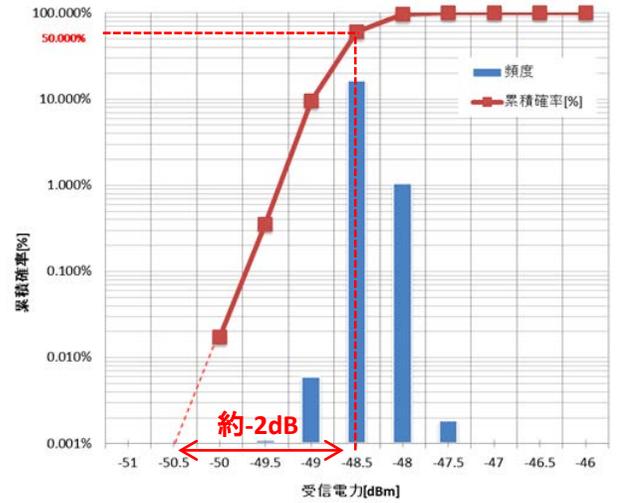
フェージングマージンに影響を与える要因は以下の3点

- ・ 波による影響
- ・ 船舶の揺れによる影響
- ・ 船舶が通過するときの影響

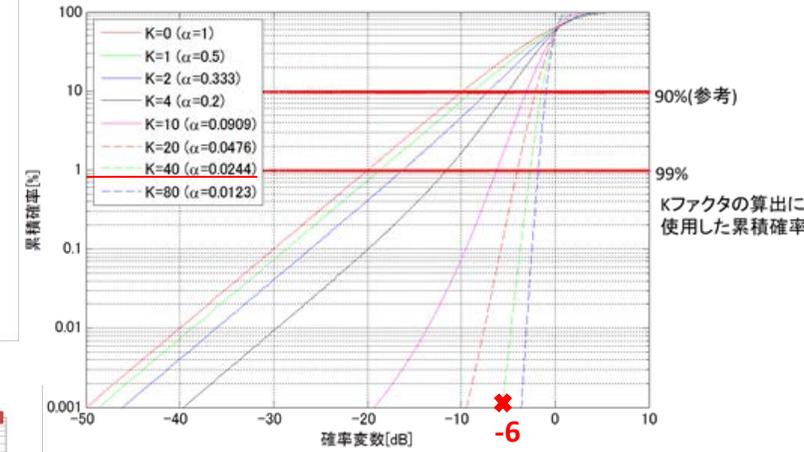
【短期間レベル変動分布】



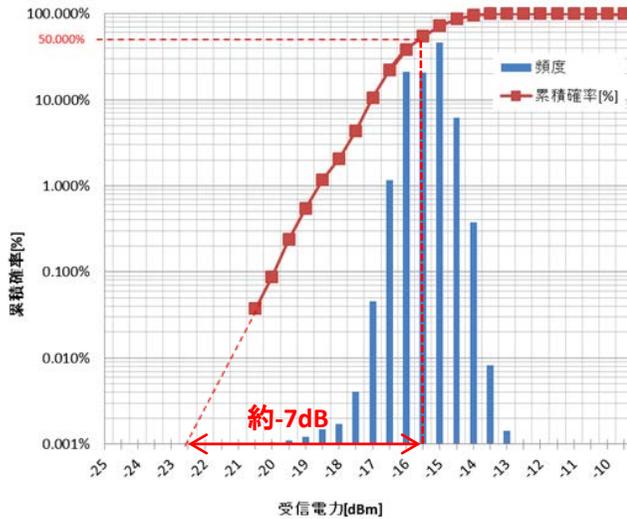
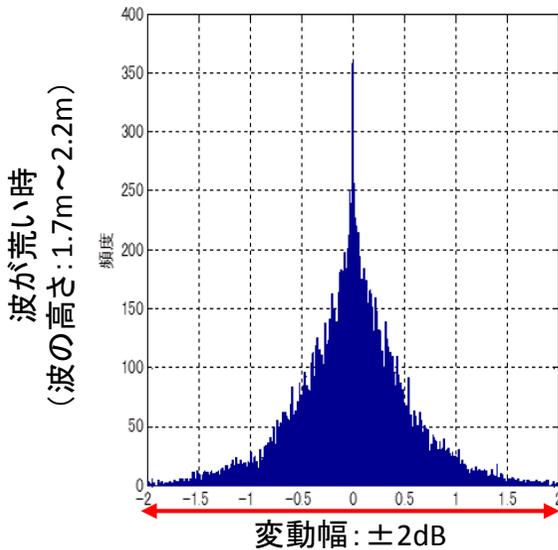
【累積確率分布】



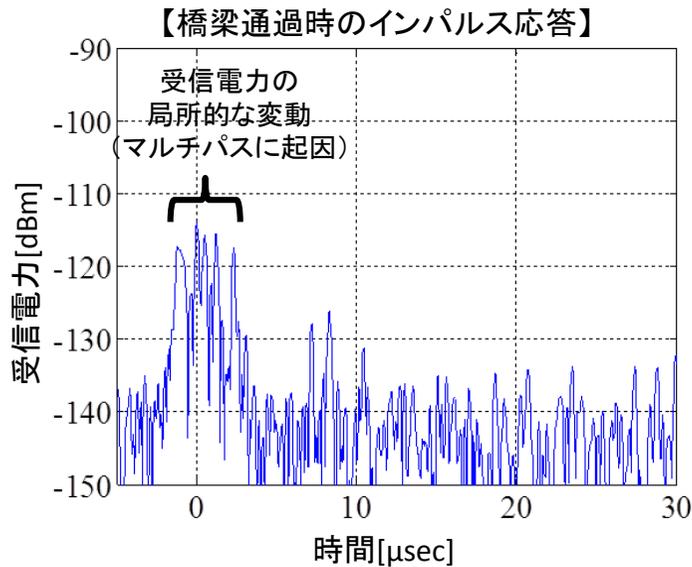
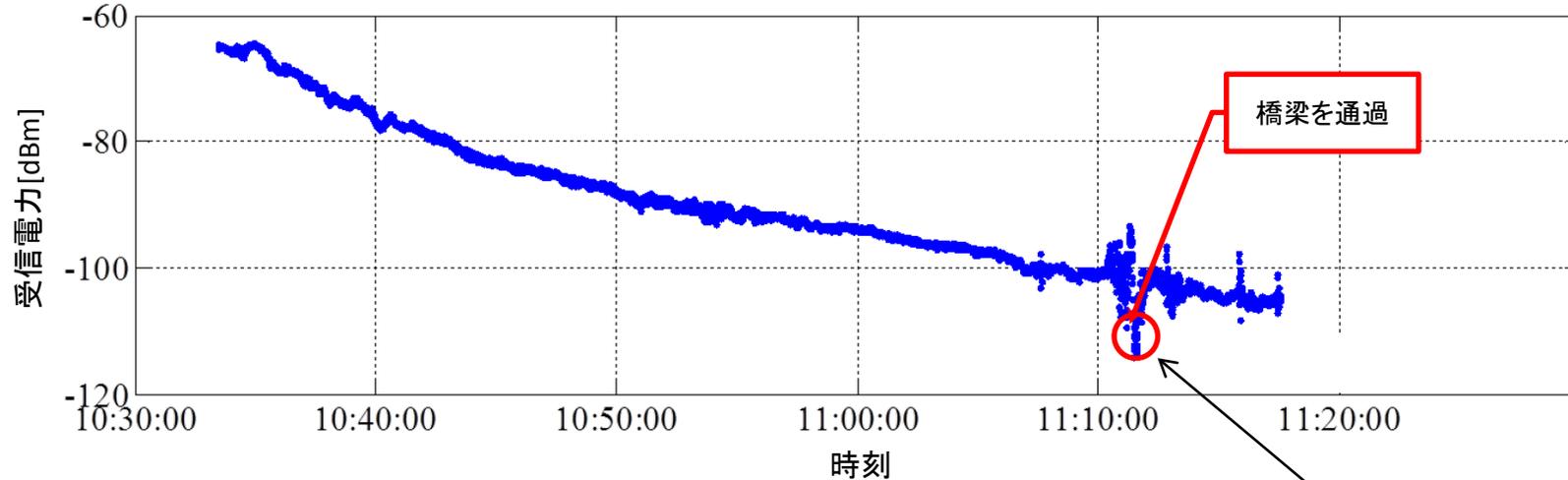
【仲上-Riceの累積確率分布】



- ・ 仲上-Riceの累積確率分布による検証結果より、Kファクタ(直接波と反射波の電力比)=40[dB]の時に、確率変数は-6dB(累積確率0.001%)
- ・ 波が荒い時のレベル差が約-7dB
- ・ このため、波による影響を考慮する場合のフェージングモデルは、K=40[dB]としたときの仲上-Riceモデルで近似が可能



⇒ 波の影響を考慮するフェージングモデルは、K=40[dB]としたときの仲上-Riceモデルで表すことが可能



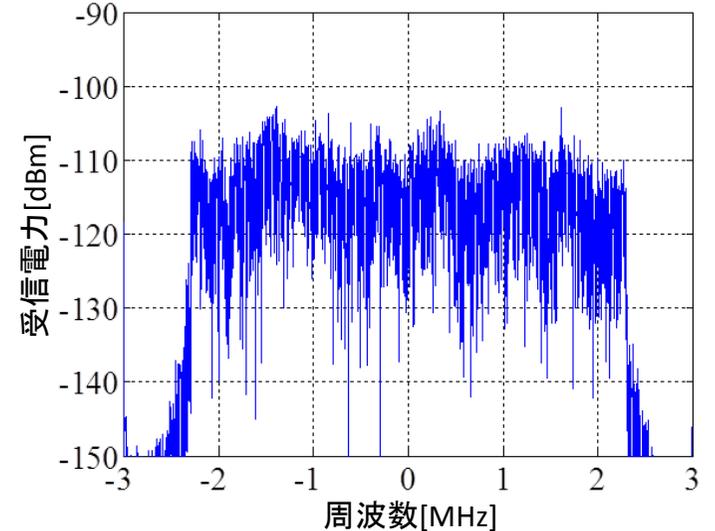
- ・ 直接波よりも高い電力レベルの複数の反射波が到達し、電波が打ち消しあうことにより電力レベル低下(橋梁による反射が支配的)

⇒ 橋梁の通過により受信電力のレベルが低下していることから、港内では、陸地の建造物や橋梁等からの反射波によるマルチパスの影響について考慮が必要

【Riceモデルを含むフェージングモデル(例)】

モデル名	フェージングモデル	Riceモデルの直接波と反射波の電力比[dB]	パス数
TETRA Rural Area	Riceモデル	0	1
COST 207 Rural Area	Riceモデルを含むマルチパスモデル	6.9	6
3GPP Rural Area	Riceモデルを含むマルチパスモデル	-5.9	10

【FFT処理による橋梁通過時の受信電力スペクトラム波形】

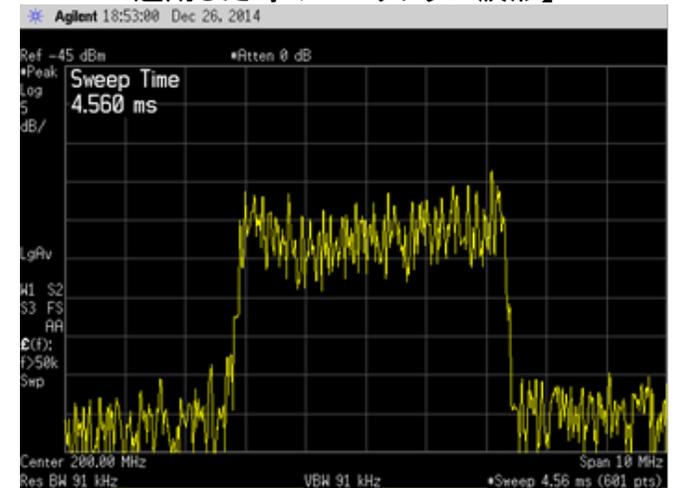


【COST 207 Rural Areaのパラメータ】

モデル	直接波と反射波の電力比[dB]	Riceモデルからの遅延量[nsec]	Riceモデルとの電力比[dB]
Rice	6.9	-	-
Classical	-	100	-4
Classical	-	200	-8
Classical	-	300	-12
Classical	-	400	-16
Classical	-	500	-20

(出典) 3GPP TS 45.005 v12.3.0(2014-08) C.3.1 Typical case for rural area (RAX)

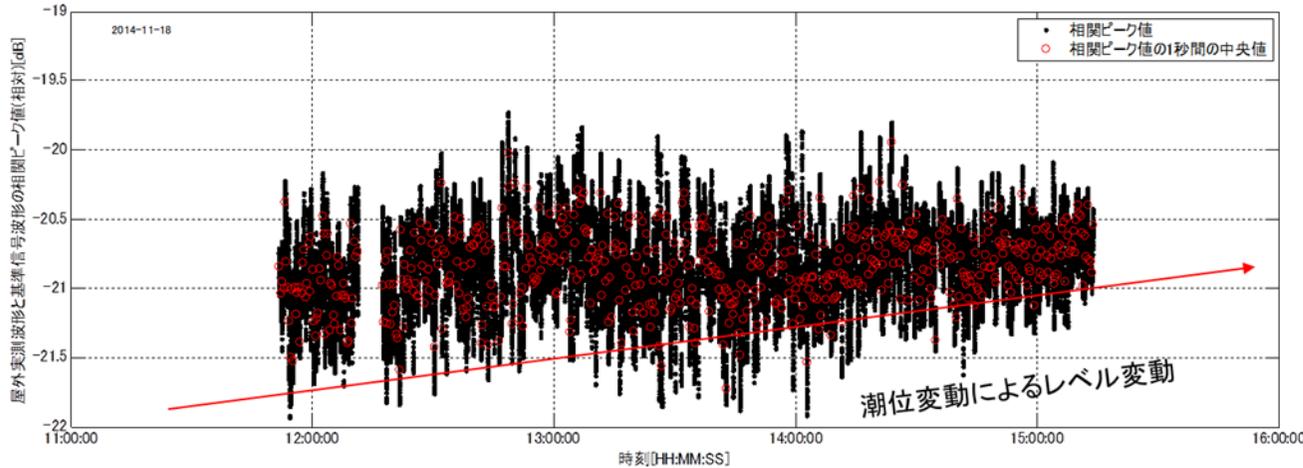
【OFDM波にCOST 207 Rural Areaモデルを適用した時のスペクトラム波形】



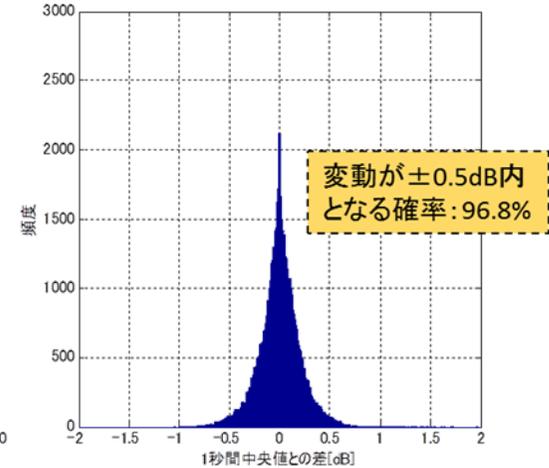
⇒ 港内のような、陸地の建造物や橋梁等からの反射波による影響が考慮される環境におけるフェージングモデルとして、仲上-Riceモデルを含むマルチパスモデル(COST 207 Rural Areaモデル)を使用することが適当

## ① 海面反射による受信レベル変動

【長期間レベル変動(直接波+海面反射波)】

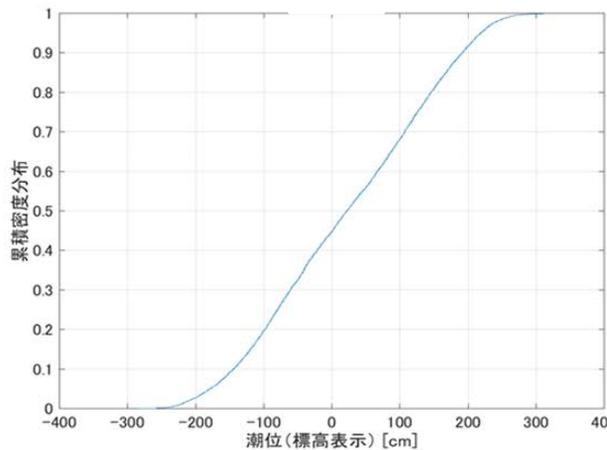


【短期間レベル変動(潮位変動排除)】

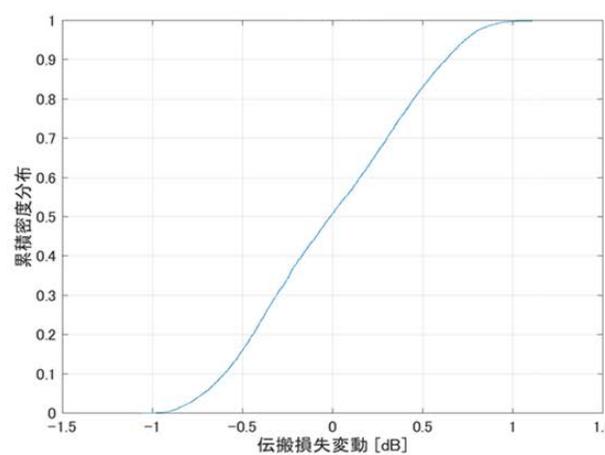


## ② 潮位に起因する受信レベル変動

【受信1年間の潮位変動(2015年大浦)】



【2波モデルにより計算した伝搬損失変動】

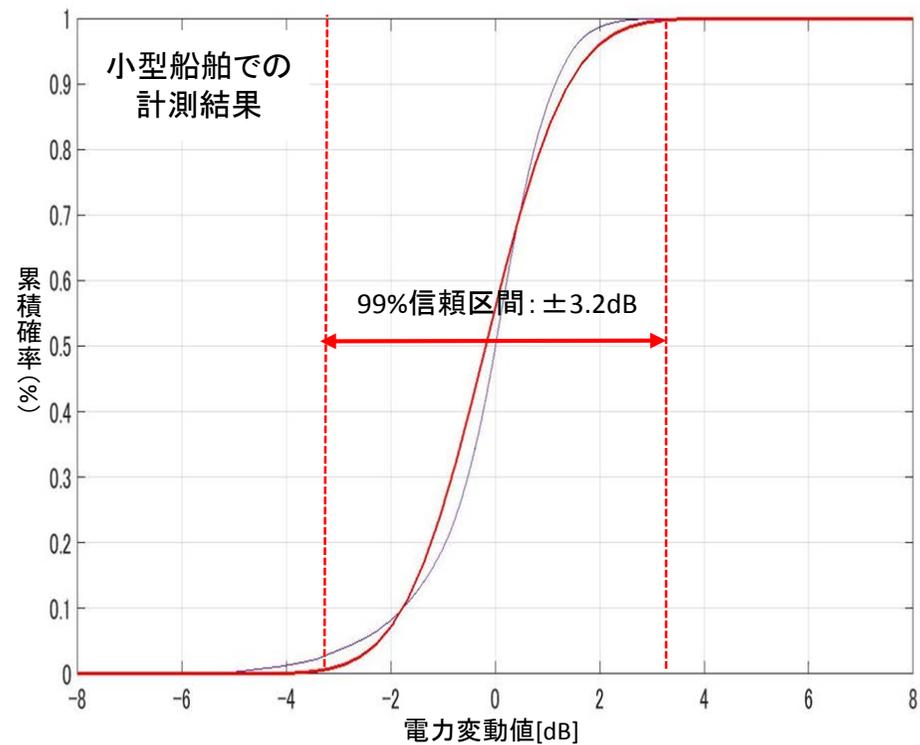
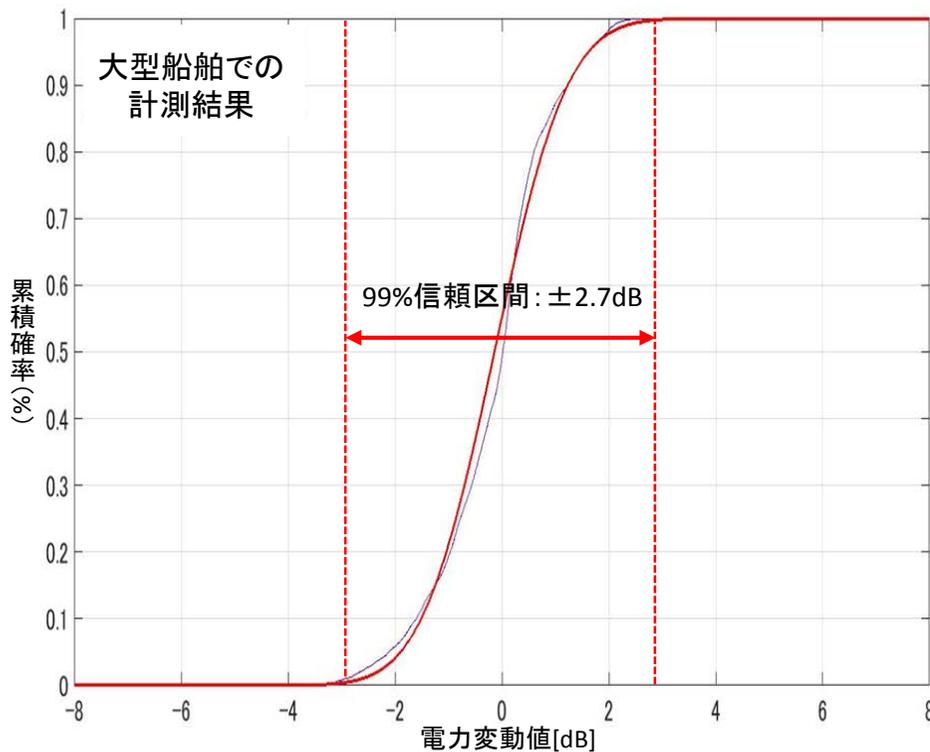


累積確率[%]	電力変動値 [dB]
0.5	-0.90
1	-0.87
5	-0.71
95	0.73
99	0.89
99.5	0.94

・ 潮位の最大最小差が最も大きな観測結果であった大浦において、潮位による受信電力変動予測(計算値)は1dB以内

⇒ 波による影響は、潮位による受信電力変動を含めた場合、±0.5dB(波の反射による変動) + 1dB(潮位による変動)と考えることができるため、±2dBのフェージングマージンを確保することが適当

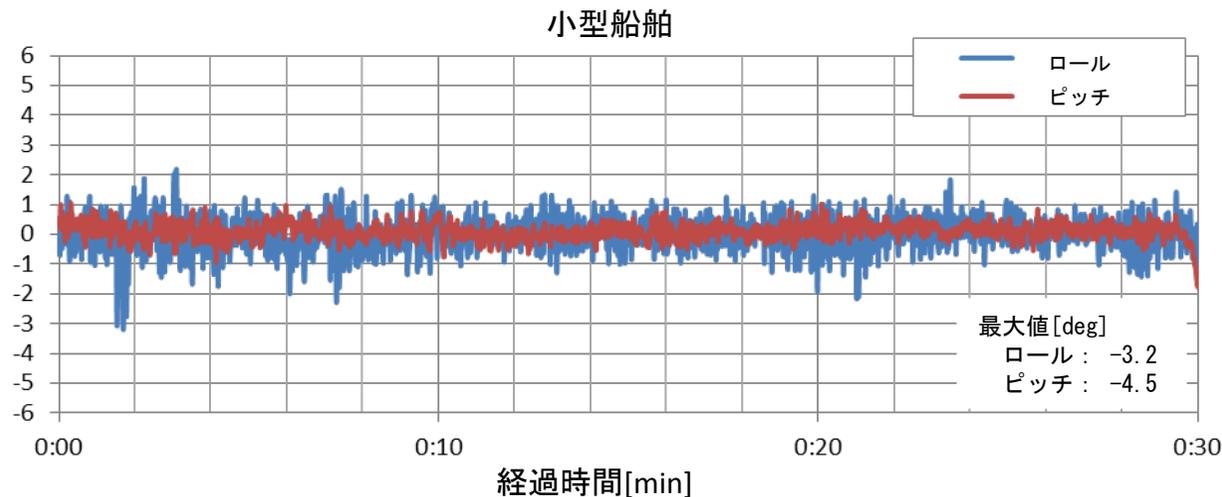
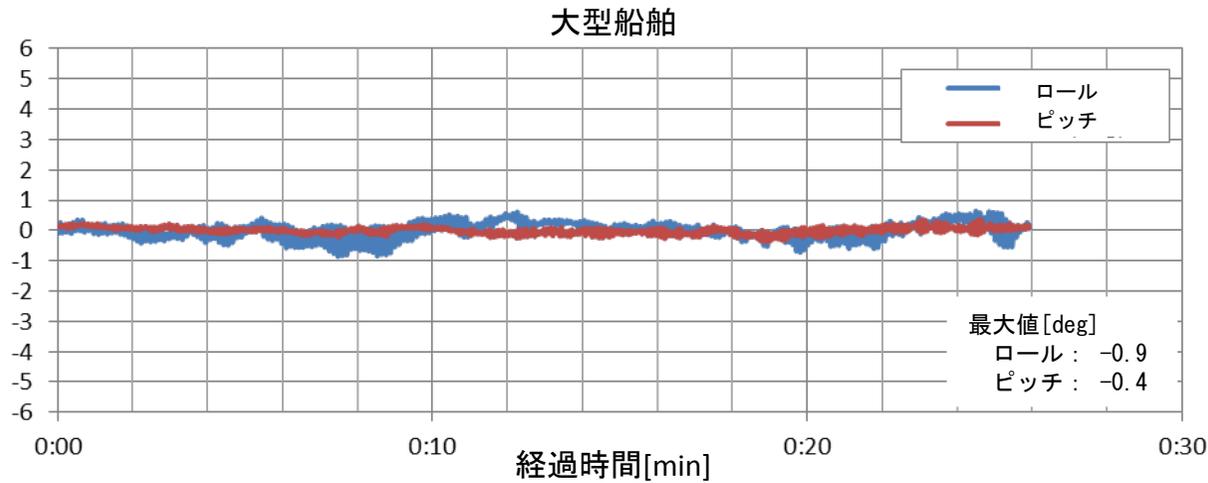
使用した船舶の諸元	大型船舶	小型船舶
総トン数	425トン	19トン
全長	49.9m	17.8m
全幅	10.0m	4.3m
海面からのアンテナ高	約15.2m	約7.3m
受信ダイバシティのアンテナ間距離	約2.8m	約3.5m
計測時の状況	停泊中	停泊中



⇒ 船舶の揺れによる影響として、船舶と陸上間の通信においては大型船舶が $\pm 2.7\text{dB}$ 、小型船舶が $\pm 3.2\text{dB}$ であることを踏まえ、 $\pm 4\text{dB}$ のフェージングマージンを確保することが適当

## 計測条件

	測定日	風速[m/s]	風向	有義波高[m]	周期[s]
小型船舶	11月20日	1.6	北	(0.68)	(1.4)
大型船舶	12月9日	1.7	北北東	0.31	3.6



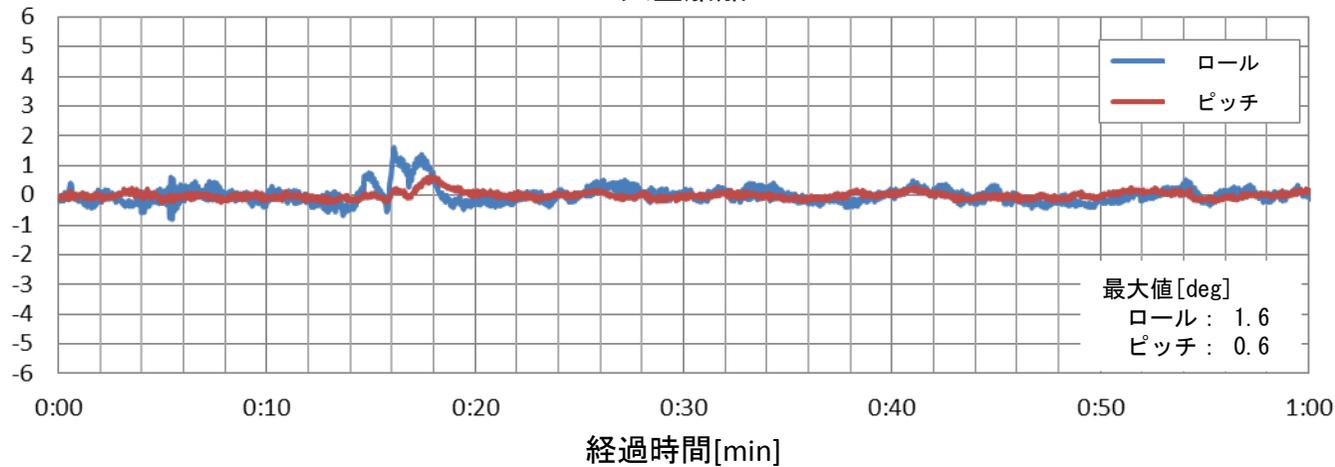
計測地点(赤丸部分)

出典: Geospatial Information Authority of Japan  
 「(国土地理院の地理院地図(電子国土Web)  
 『東京湾、浦賀水道付近』掲載)」

## 計測条件

	測定日	風速[m/s]	風向	有義波高[m]	周期[s]
大型船舶	12月10日	1.1	北西	0.24	3.7
小型船舶	11月30日	3	北北西	0.26	3.6

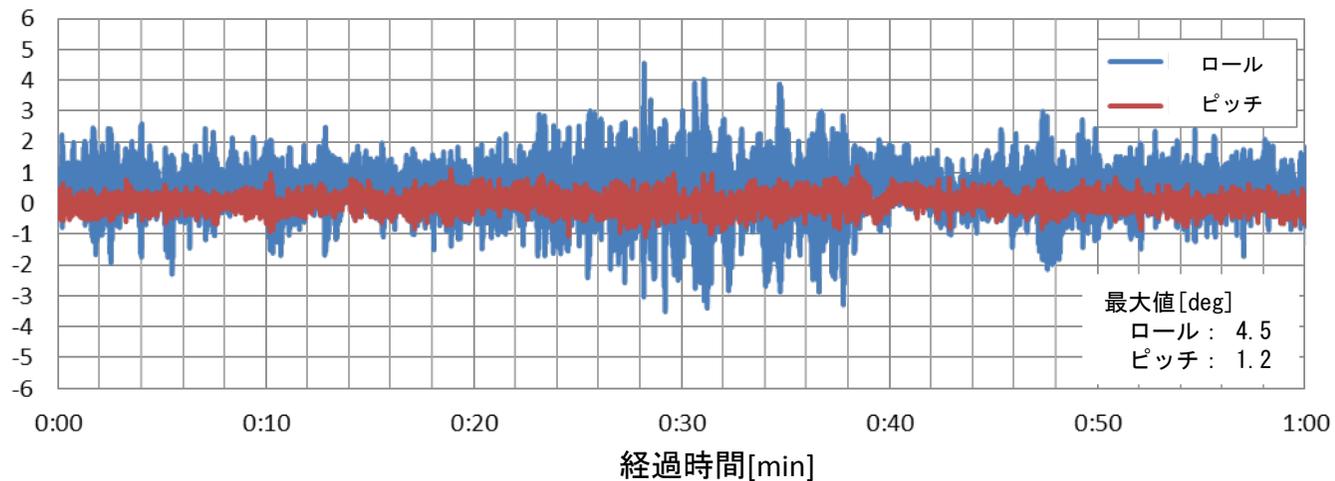
### 大型船舶



大型船舶の計測ルート

出典: Geospatial Information Authority of Japan  
 「(国土地理院の地理院地図(電子国土Web)『東京湾、浦賀水道付近』掲載)」

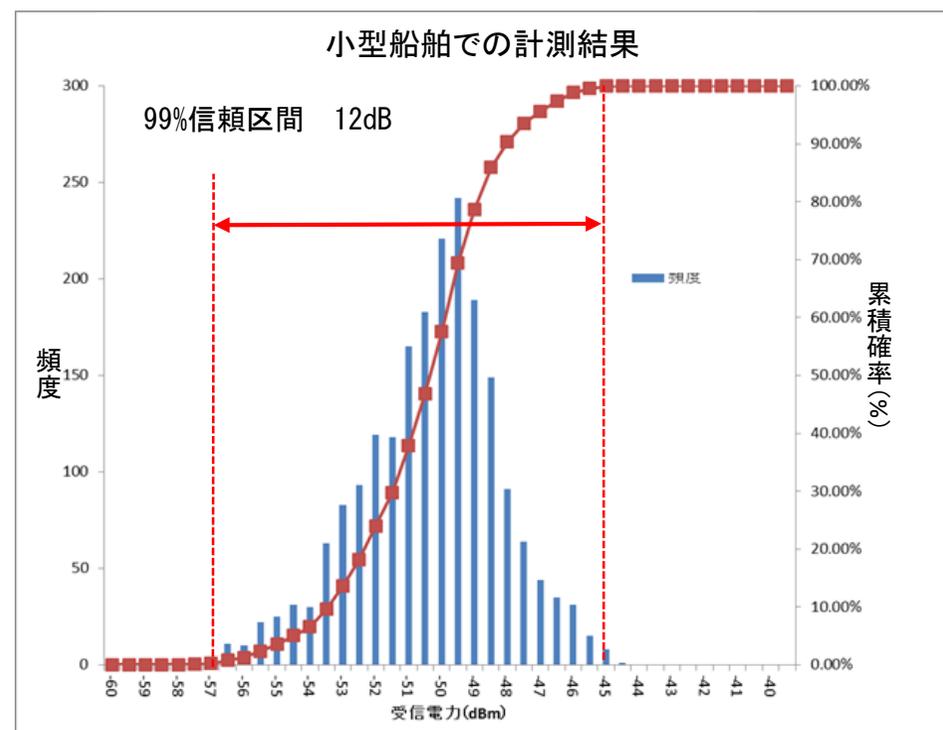
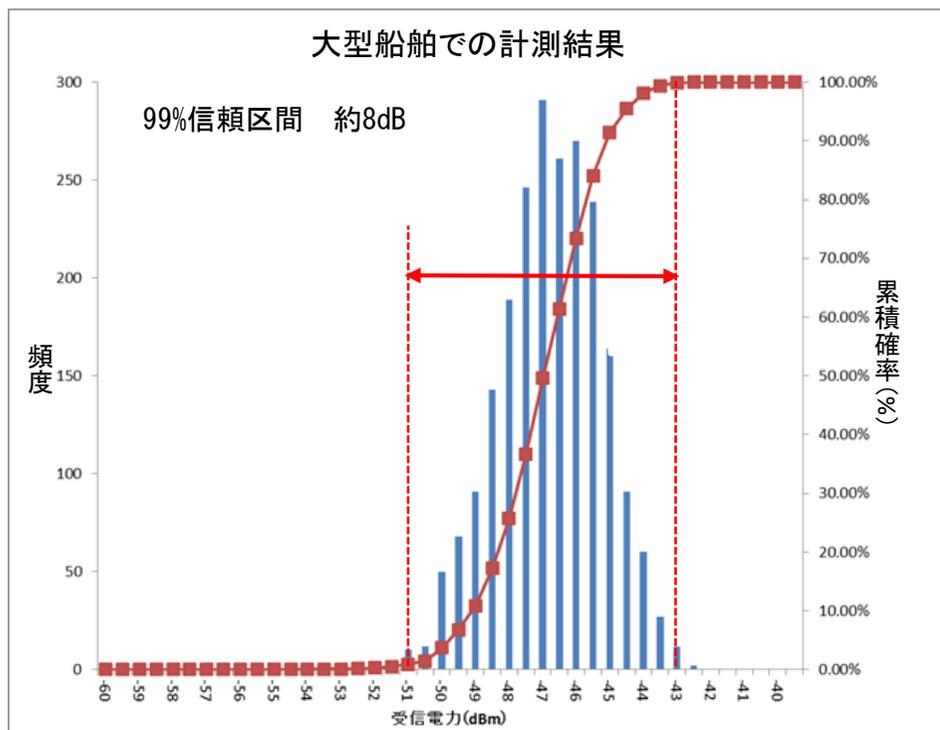
### 小型船舶



小型船舶の計測ルート

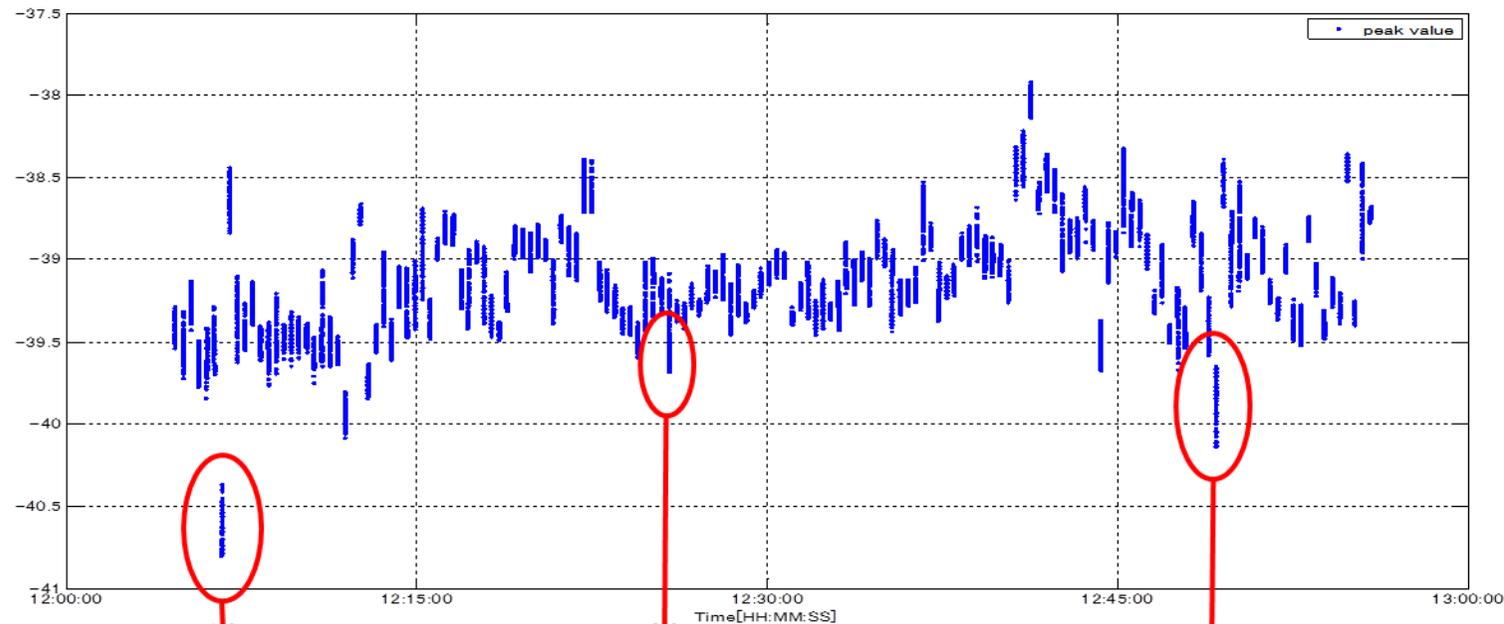
出典: Geospatial Information Authority of Japan  
 「(国土地理院の地理院地図(電子国土Web)『東京湾、浦賀水道付近』掲載)」

使用した船舶の諸元	大型船舶	小型船舶
総トン数	8687トン	3トン
全長	128.6m	6.0m
全幅	19m	2.6m
海面からのアンテナ高	約20.2m	約4.0m
受信ダイバシティのアンテナ間距離	約6.1m	約5.3m
計測時の状況	停泊中	移動中



⇒ 船舶の揺れによる影響として、船舶間の通信においては大型船舶が±4dB、小型船舶が±6dBであることを踏まえ、±6dBのフェージングマージンを確保することが適当

## 【大型船舶の場合(東京湾上)】



12:06  
大型船舶通過による  
約1dBのレベル低下



12:23  
大型船舶通過

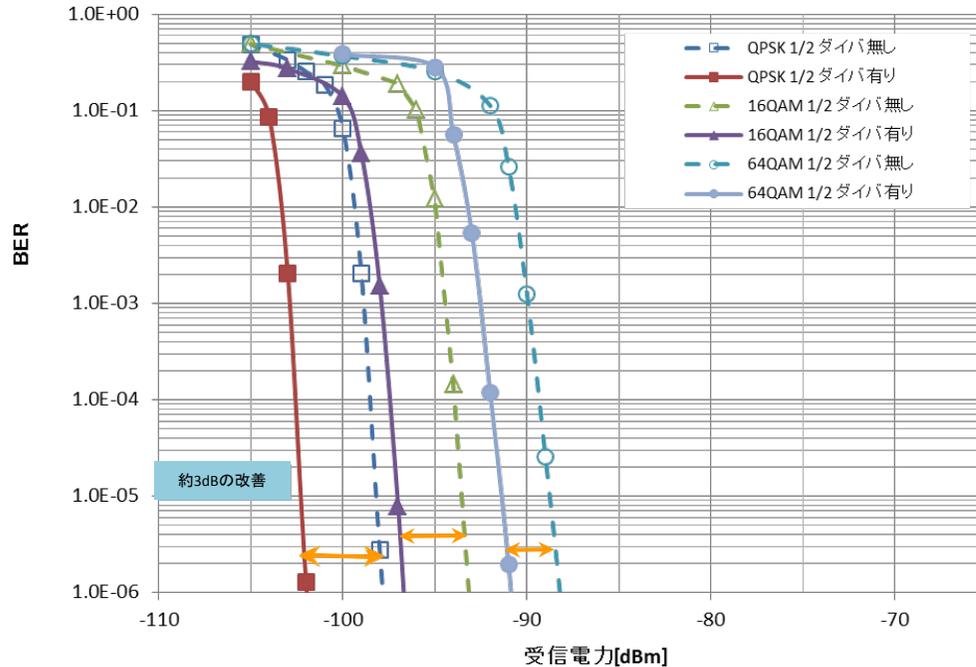


12:49  
大型船舶通過による  
約1dBのレベル低下

⇒ 大型船舶が通過したときに約-1dB程度受信電力が低下していることから、船舶の通過については-1dBのフェージングマージンを確保することが適当

- 港外モデルを仲上-Riceモデル、港内モデルをCOST 207 Rural Areaモデルとした場合の受信ダイバシティ改善効果についてBER特性から検討

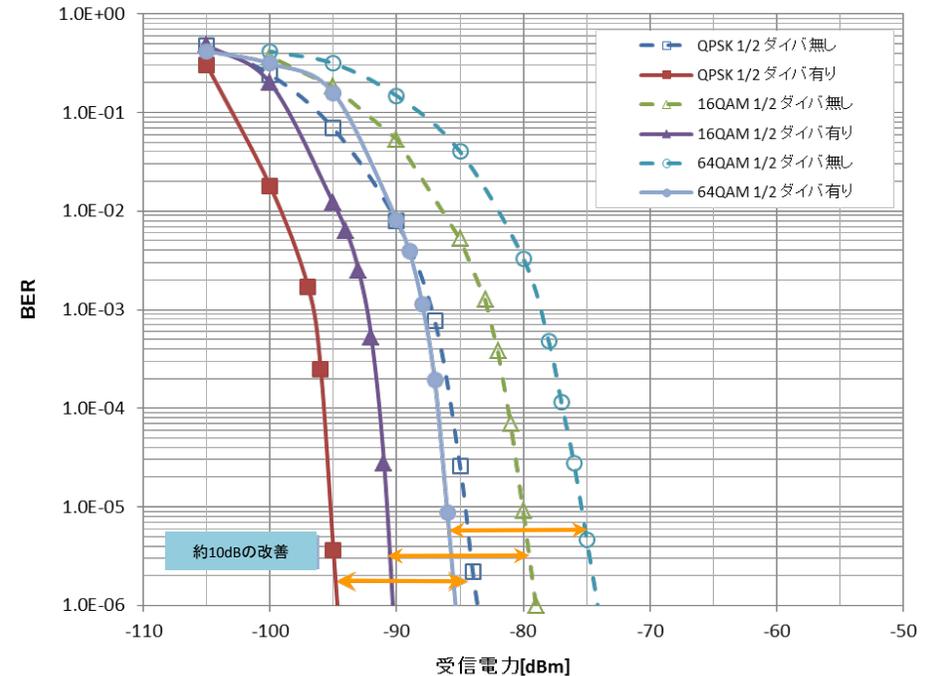
### 【RiceモデルのBER特性】



受信ダイバシティにより、BER $1.0E^{-6}$ において約2~3dBの改善が見られる

⇒ Riceモデルにおける受信ダイバシティ合成利得は3dBとすることができる

### 【COST 207 Rural AreaモデルのBER特性】

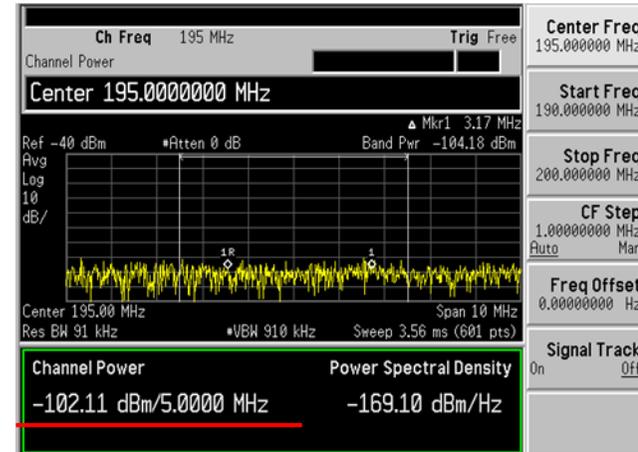


受信ダイバシティにより、BER $1.0E^{-6}$ において約10dBの改善が見られる

⇒ COST 207 Rural Areaにおける受信ダイバシティ合成利得は10dBとすることができる

⇒ フェージングモデルを踏まえた受信ダイバシティの改善状況について検討した結果、フェージングモデル毎に異なる受信ダイバシティ合成利得(3dB~10dB程度)となる

【八木アンテナでの測定結果】



測定箇所	測定時刻	dBm/5MHz
アンテナ無し(測定フロアノイズ)	11/28 10:15	-104.02
八木アンテナ(猿島) ①	11/28 10:20	-102.11
八木アンテナ(富津) ②	11/30 9:40	-103.91
八木アンテナ(海辺つり公園) ③	12/6 10:30	-101.64
八木アンテナ(金谷港付近) ④	12/3 10:10	-100.28



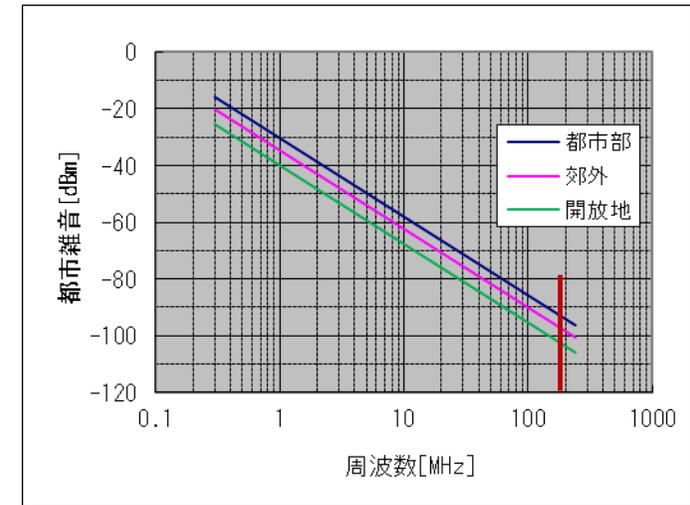
出典: Geospatial Information Authority of Japan  
「(国土地理院の地理院地図(電子国土Web)『東京湾、浦賀水道付近』掲載)」

⇒ 熱雑音(kTB)のみを考慮した場合の雑音電力は-107dBmであることを踏まえると、環境雑音の測定値は熱雑音よりも3~5 dB程度高い

ITU-R勧告P.329-9 Fig.10 から算出

周波数[MHz]	195
地域[MHz]	5
気温[°C]	6
都市雑音 (dBm/5MHz)	
都市部	-93.79
郊外	-98.09
開放地(ルーラル)	-103.39

ITU-R勧告P.329-9 Fig.10 都市雑音



⇒ 海上で生じる環境雑音電力は開放値環境(ルーラル)のモデルに近くなる

- 200MHz帯の周波数の海上での伝搬特性は、直接波と海面反射波で構成される2波モデルと一致
- 海上の環境雑音は、郡部環境の雑音のモデルに近い
- 海上利用におけるフェージングモデルは、波の影響のみを考慮する環境(港外)のモデルとして仲上-Riceモデルを、陸地の建造物や橋梁等からの反射波による影響が考慮される環境(港内)のモデルとしてCOST 207 Rural Area 50km/hを適用することが適当
- 海上利用におけるフェージングマージンは、通信区間毎に3dBから7dBを見込むことが適当

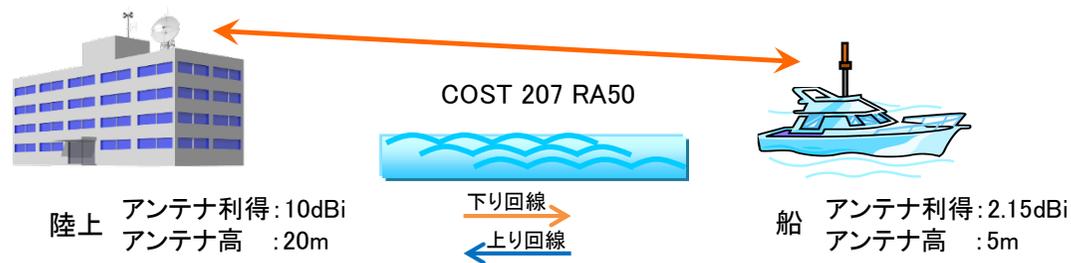
	陸上⇔陸上(海上を挟む)	陸上⇔船舶	船舶⇔船舶
波の影響	±2dB(潮位変動含む)	—	—
船舶の揺れによる影響	—	±4dB	±6dB
船舶通過時の影響	-1dB	-1dB	-1dB
合計	-3dB	-5dB	-7dB

- 受信ダイバシティは、フェージングモデルにより3~10dB程度の合成利得を見込むことが適当

⇒ 海上単一回線での利用は、陸上とほぼ同様の伝搬特性であるため、技術的条件(空中線電力、隣接チャネル漏えい電力 等)は、現行の技術的条件を準用することが可能

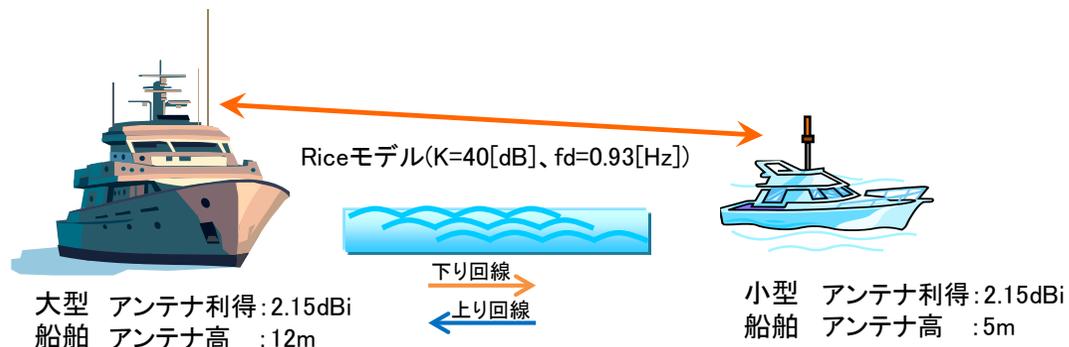
# 検討結果(回線設計例 ①)

(例1) 港内での利用



項番	項目	単位	海上単一回線(港内での海上伝搬モデル)			
			QPSK通信		16QAM通信	
			船→陸上	陸上→船	船→陸上	陸上→船
1	周波数帯	MHz帯	195	195	195	195
2	変調方式(符号化率)		QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	16QAM(1/2)	16QAM(1/2)
3	最大送信電力	dBm	37	37	37	37
4	送信アンテナ利得	dBi	2.15	10	2.15	10
5	受信アンテナ利得	dBi	10	2.15	10	2.15
6	送信給電線損失	dB	2	4	2	4
7	受信給電線損失	dB	4	2	4	2
8	受信NF	dB	3	3	3	3
9	受信熱雑音	dBm/5MHz	-104	-104	-104	-104
10	環境雑音(海上)	dBm/5MHz	-102	-102	-102	-102
11	総雑音電力	dBm/5MHz	-98.5	-98.5	-98.5	-98.5
12	所要SNR	dB	14	14	19	19
13	所要受信電力	dBm	-84.5	-84.5	-79.5	-79.5
14	フェージングマージン	dB	5	5	5	5
15	受信ダイバシティ合成利得	dB	10	10	10	10
16	送信アンテナ高	m	5	20	5	20
17	受信アンテナ高	m	20	5	20	5
18	その他損失(陸上側の樹木等の影響)	dB	5	5	5	5
19	伝送距離(2波モデル計算)	km	13.8	13.8	10.3	10.3

## (例2) 港外での利用



項番	項目	単位	海上単一回線(港外での海上伝搬モデル)			
			QPSK通信		16QAM通信	
			大型→小型	小型→大型	大型→小型	小型→大型
1	周波数帯	MHz帯	195	195	195	195
2	変調方式(符号化率)		QPSK(1/2)	QPSK(1/2)	16QAM(1/2)	16QAM(1/2)
3	最大送信電力	dBm	37	37	37	37
4	送信アンテナ利得	dB	2.15	2.15	2.15	2.15
5	受信アンテナ利得	dB	2.15	2.15	2.15	2.15
6	送信給電線損失	dB	3	2	3	3
7	受信給電線損失	dB	2	3	2	2
8	受信NF	dB	3	3	3	3
9	受信熱雑音	dBm/5MHz	-104	-104	-104	-104
10	環境雑音(海上)	dBm/5MHz	-102	-102	-102	-102
11	総雑音電力	dBm/5MHz	-98.5	-98.5	-98.5	-98.5
12	所要SNR	dB	3	3	8	8
13	所要受信電力	dBm	-91.5	-91.5	-86.5	-86.5
14	フェージングマージン	dB	7	7	7	7
15	受信ダイバシティ合成利得	dB	3	3	3	3
16	送信アンテナ高	m	12	5	12	5
17	受信アンテナ高	m	5	12	5	12
18	その他損失(陸上側の樹木等の影響)	dB	0	0	0	0
19	伝送距離(2波モデル計算)	km	8.54	8.54	6.4	6.4