

ETS-V 衛星を用いた TDM/TDMA 実験結果

坂齊 誠*¹ 新垣 吉也*² 森川 栄久*² 松本 泰*¹

(平成元年11月20日受理)

EXPERIMENTAL RESULTS OF TDM/TDMA SYSTEM VIA THE ENGINEERING TEST SATELLITE V (ETS-V)

By

Makoto SAKASAI, Yoshiya ARAKAKI, Eihisa MORIKAWA,
and Yasushi MATSUMOTO

Engineering Test Satellite-V (ETS-V) was launched in 1987. This satellite is instrumental in the construction of the Experimental Mobile Satellite System (EMSS). Several kinds of mobile satellite communication experiments have been conducted using EMSS. The simplified TDM/TDMA communication terminal equipment developed by CRL has been used in ship experiments in the North Pacific Ocean and South China Sea.

This article describes the bit error rate, synchronization holding and initial acquisition characteristics resulting from these experiments.

1. はじめに

我が国は漁業が盛んで、特に30トンクラスの船舶が母船と一団となり、北洋のサケ、マス漁や南洋のマグロ漁へと出漁している。また、日本近海に於ては、単独で数日間程度の漁に出かけている。このときに使用可能な通信手段としては、一般に質の悪い短波による無線通信があるのみで、緊急時に必要な質の良い確実な通信手段を確保するには、Lバンド(1.5~1.6GHz)による移動体衛星通信に頼るほかはない。ところが、現用の移動体衛星通信システムである国際海事衛星機構(INMARSAT)によるシステムは、そのサービスを対象とする船舶地球局として、現在、大型船舶に搭載可能な標準Aタイプ(アンテナ径85cmφ)のほか、このクラスの船舶を対象とした地球局としてデジタル通信対応の構準Bタイプ(Aタイプと同一アンテナ使用)の導入が計画されている。また、1990年初頭には更に小型化した船舶地球局として標準Cタイプの導入が決定しており、地球規模での船舶通信としての移動体衛星通信は更に底辺を広げようとしている。

小型船舶への衛星通信の適用をめざし開発が進められ

た技術試験衛星V型(ETS-V)による移動体衛星通信実験システム(EMSS)では、独自に簡易型の時分割多元接続(TDM/TDMA)通信端局装置を開発した。この装置を使用した実験システムによる船舶実験が太平洋上で行われたので、その結果について報告する。

本報告では、同実験で明かとなった諸特性のうち伝送特性と初期接続特性について述べる。

2. 実験システムの概要

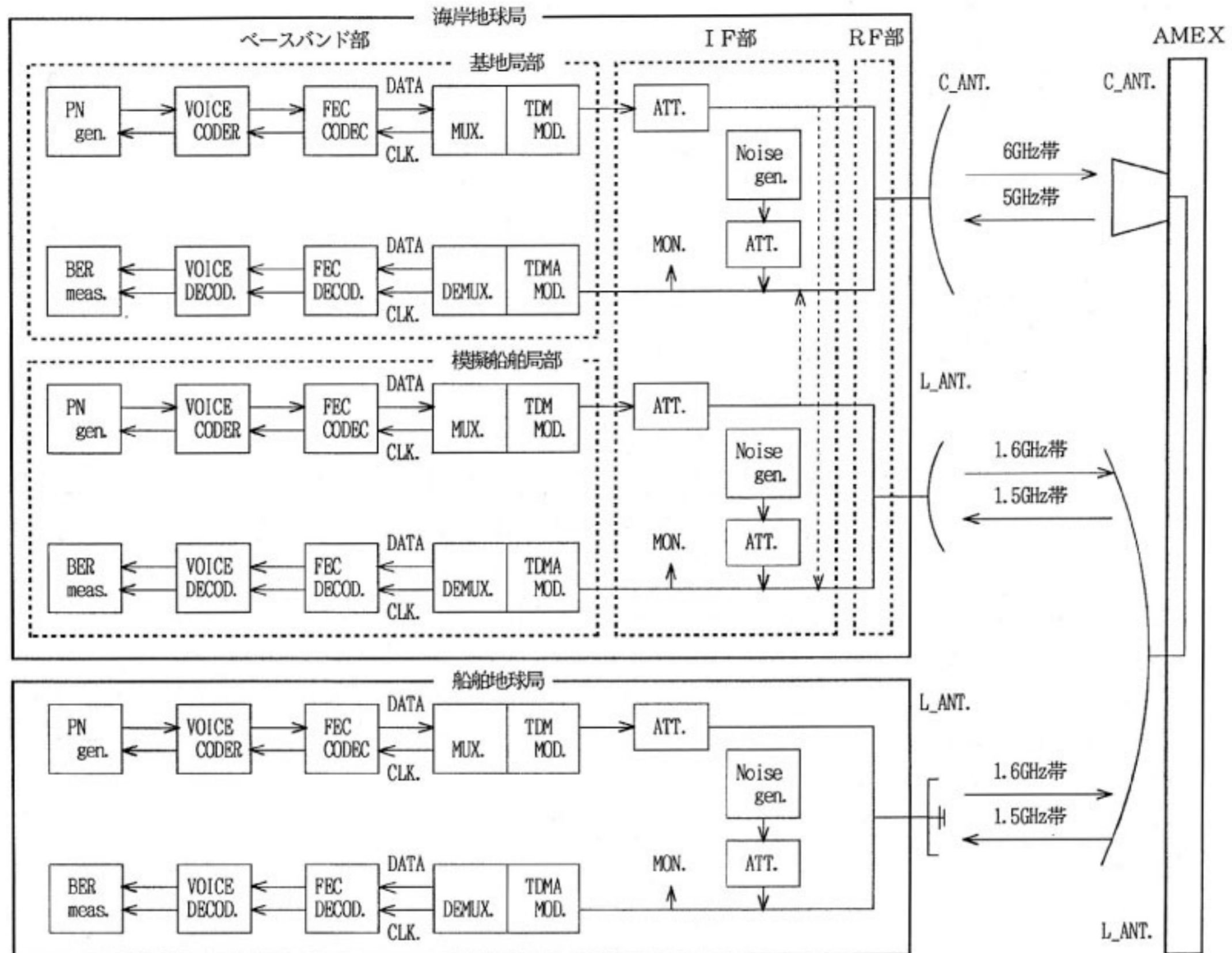
今回使用したTDM/TDMA通信端局装置は、船舶を対象とした移動体衛星通信を行うための実験用端局装置であり、音声とデータの同時伝送や測距等の機能を有しており実用性の高いシステムとなっている。

本装置及び本実験システムで使用する海岸/航空地球局、船舶地球局及びETS-Vに搭載された移動体通信実験機器(AMEX)の基本構成については、当研究所季報の技術試験衛星V型を用いた移動体衛星通信実験システム(ETS-V/EMSS)特集号(第34巻 特6号 昭和63年3月)に記載されていることから、ここでは第1表に本装置の主要諸元のみを記すこととする⁽¹⁾。

さて、ここで本実験システムの構成を第1図に示す。本実験システムは、宇宙局としてAMEX、地球局として海岸/航空地球局(基地局:茨城県鹿島町, 当所関東

*¹ 宇宙通信部 移動体通信研究室

*² 鹿島宇宙通信センター 第二宇宙通信研究室



第1図 実験システム構成

第1表 回線設計例

	TDM	TDMA
地球局 EIRP (dBW)	64.2	32.3
上り C/N ₀ (dBHz)	85.5	64.5
衛星局 EIRP (dBW)	28.6	6.7
下り C/N ₀ (dBHz)	60.7	69.8
総合 C/N ₀ (dBHz)	60.7	63.3
Eb/N ₀ (dBHz)	8.7	11.3
所要 C/N ₀ (dBHz)	62.0	62.0
マージン (dBHz)	-1.3	1.3

(a)南方海域 (10.00 N, 155.97 E)

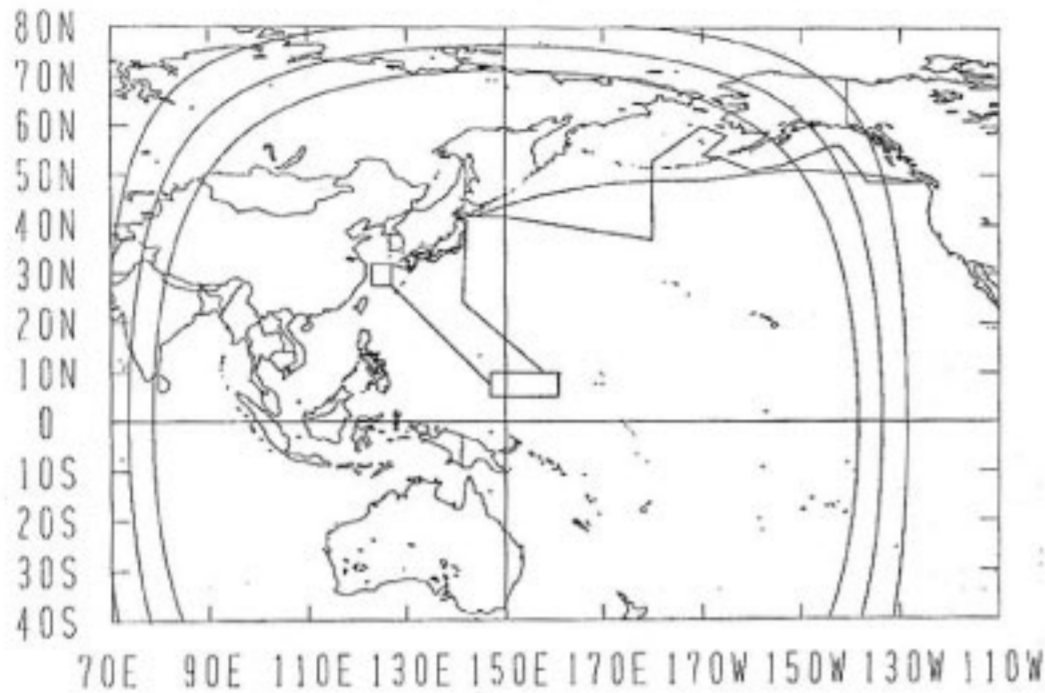
	TDM	TDMA
地球局 EIRP (dBW)	64.2	32.3
上り C/N ₀ (dBHz)	85.0	67.9
衛星局 EIRP (dBW)	30.6	9.8
下り C/N ₀ (dBHz)	77.7	72.4
総合 C/N ₀ (dBHz)	77.0	66.6
Eb/N ₀ (dBHz)	25.0	14.6
所要 C/N ₀ (dBHz)	62.0	62.0
マージン (dBHz)	15.0	4.6

(b)北方海域 (38.55 N, 174.21 E)

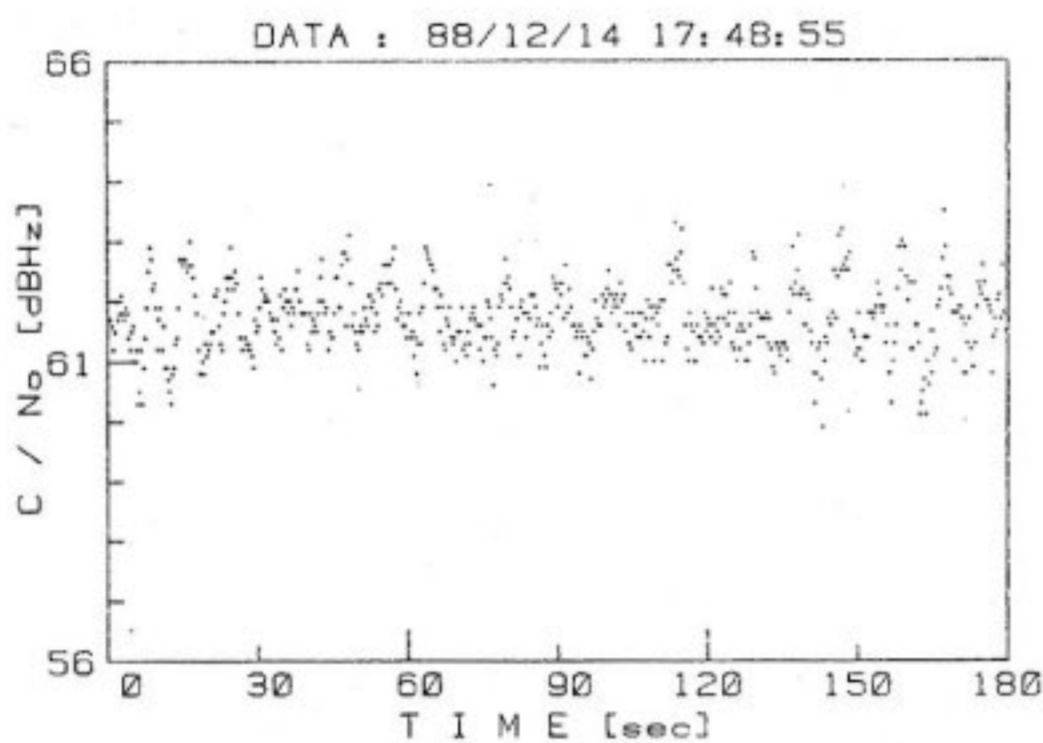
支所宇宙通信センター内に設置), 船舶地球局 (移動局 : おしよろ丸に搭載) があり, TDM/TDMA システムとしては, 基地局を親局とし, 移動局を子局とする構成であり, 複数の子局を模擬するため基地局には模擬船舶局も設置されている. 子局受信側には等価的に受信 C/N₀ の設定変更を可能とするため, 受信信号に IF 段で雑音を付加できる構成となっている. また, 伝送実験中の誤りデータ収集時に, 信号波の受信レベル変動を同時に取得することを目的として, 基地局から TDM 信号波より 10 dB 下げたレベルで電測用の無変調波を同時に送信し, 子局受信側でメジャリングレーバにより無変調波のレベルをデータ収集系で連続収集することで, 子局側受信レベル変動を等価的に取得する方法を用いた.

3. 実験の実施

今回報告する航海上での実測結果は, おしよろ丸が毎年2度行っている北海道大学水産学部学生の漁業実習のための長期航海を利用し, 船舶地球局装置を同船舶に搭載し, 当所職員が乗船して実験を行ったものである. 船



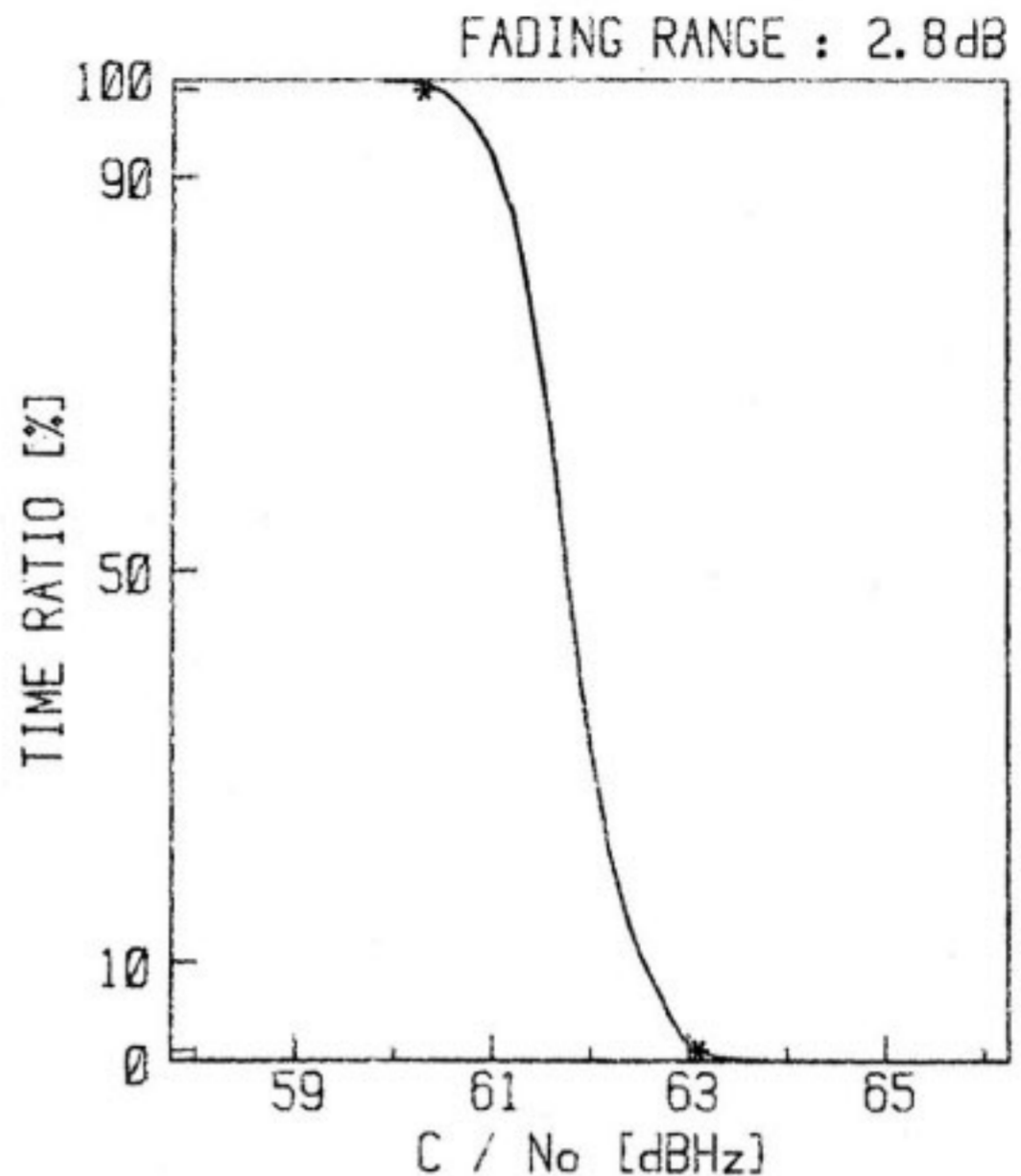
第2図 実験航路



第3図 受信レベル時系列変動特性

船実験はすでに計4回（南方海域，北方海域各2回）実施されており，その内第3回（南方海域：昭和63年10月20日～同年12月22日）と第4回（北方海域：平成元年6月3日～同年8月11日）の2回分についての TDM/TDMA システムを用いて取得したデータを使用した。実験航路を第2図に示す。実測時の海面状態は穏やかであり，その時の波高は南方海域で最大振幅 2 m，標準偏差 0.7 m，北方海域でそれぞれ 1.5 m，0.5 m であった。受信レベル変動特性の一例として時系列変動特性を第3図に，その時の受信 C/N_0 の累積分布（時間率）特性を第4図に示す。これは，南方海域でデータバーストの伝送特性を差動符号化して取得したときのデータである。フェージングレンジ（1～99%値）は 2.8 dB であった。また，回線設計例については十分な所要 C/N_0 が得られていることから，ここでは各航路についてデータ取得位置の中で回線設計上最も厳しい場合のみを第1表に示す。なお，ここで用いる所要 C/N_0 とは，ビット誤り率 1×10^{-4} を与える理論 C/N_0 の値に装置マージンとして 1.6 dB 付加した値である。

実験項目としては伝送特性としてビット誤り率特性，



第4図 受信レベル時間率

同期保持特性を測定した。また，TDM/TDMA システムの評価に重要な初期接続特性についても測定を実施した。以下に，各測定項目について，実験の内容をその機能と共に述べる。

3.1 初期接続特性

TDM/TDMA システムでは通信回線を設定するために，まず，回線接続制御により通信回線を接続する必要がある。この制御は親局発呼と子局発呼の二通り有り，親局発呼の場合 TDM フレーム中に子局への接続要求情報を載せ，子局では親局からの要求を受け初期接続バーストを送出し，親局で同バースト受信後直ちにタイミング補正値を算出し TDM フレーム中にこの誤差情報を載せ子局へ伝える。子局では同情報によりバースト送出タイミングを補正し，情報バースト（音声またはデータバースト）を送出し TDM/TDMA 回線の接続を完了する。また，子局発呼の場合には子局，衛星，親局の各位置情報から親局受信系でのバーストタイミングを予測し，初期接続バーストにより予測接続した後に親局発呼と同様の手続きを経て回線の接続を行う。なお，初期接続バーストと TDM フレームの制御情報には (63,51) の BCH 符号による誤り訂正が用いられている。

初期接続特性としては，親局，子局の何れか一方から接続要求を行い，受信系の C/N_0 の変化に対する回線接続の成功率を示す。

3.2 ビット誤り率特性

本システムは第2表に示すように，伝送チャネルとし

第2表 主要諸元

変調方式	TDM-BPSK (親局) TDMA-BPSK (子局)
伝送速度	160 kbps
フレーム長	0.1秒
秒フレーム効率	87%
収容チャンネル数	24 kbps 音声 5 CH 4.8 kbps データ 4 CH (音声CHをデータ4CHに変更可)
回線接続方式	予測接続
バースト同期方式	親局からの誤差情報を用いた簡易同期方式
回線割当方式	親局制御によるデマンドアサインメント

てデータチャンネルと音声チャンネルを持つ。両チャンネルとも差動符号化の設定が可能で、また、データ信号は同期式⁽²⁾の V35 スクランプラを通す設計となっている。音声チャンネルは誤り訂正を付加することも可能である。

本特性は、各チャンネル設定についてデータ収集系より得られた1800サンプルの C/N_0 と同時に取得された誤りパターンデータを使用して求めている。 C/N_0 と誤りパターンデータは時系列上で1対1に対応させ、データ処理に必要な C/N_0 値は、ある値を中心として一定範囲内でデジタルフィルタリングすることによりサンプリングし、そのときに得られた値を平均化して求めている。また、同時にそのサンプリング時に収集された誤り数をカウントしビット誤り率を算出している。

3.3 同期保持特性

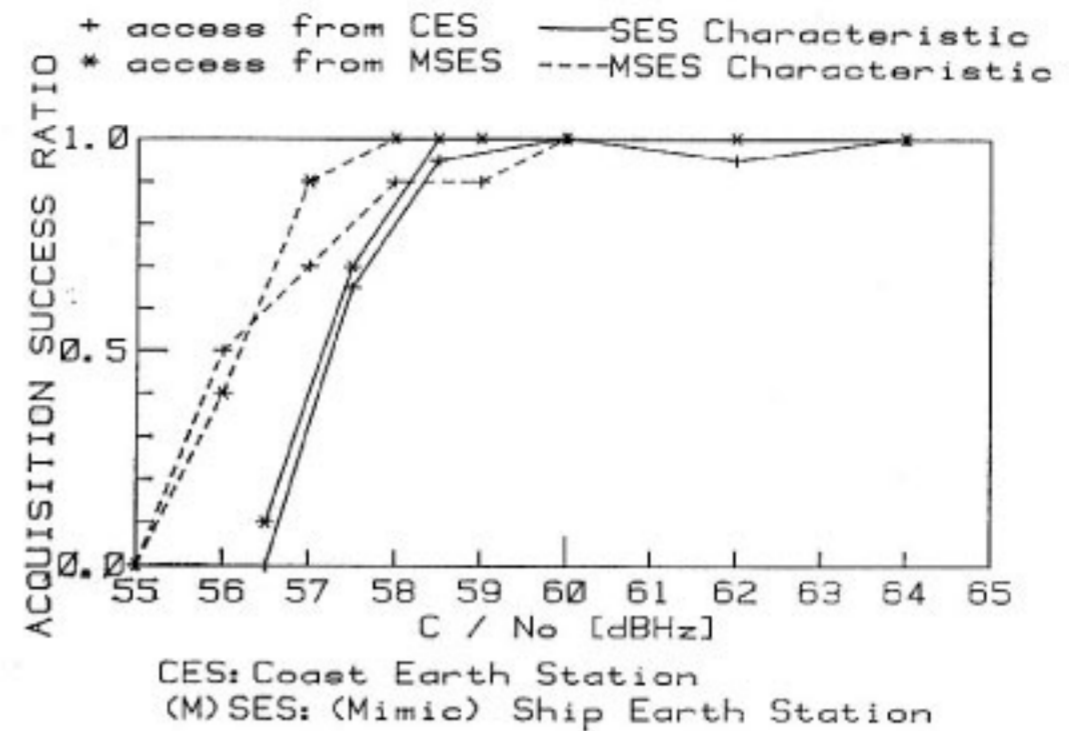
TDM/TDMA 回線が接続されると各復調器の SYNC ランプが点灯する。この状態で回線状態が悪化し、受信信号の品質がある一定レベル以下になるクロック再生の失敗、あるいはユニークワード不検出といった現象が起き SYNC ランプは点滅を始める。このときのスレッシュホールド値を測定し、同期保持特性とした。

4. 実験結果及び評価

本システムによる実験で得られた特性を以下に示す。各特性は、模擬船舶局の他、実際に海上を航行中の船舶に搭載した船舶地球局を使用しデータを取得し、それぞれ模擬船舶局特性、船舶局特性として示している。また、各船舶局側の受信特性に重点を置くこととし、移動体衛星通信システムに於て問題となる移動地球局側の受信特性について結果を得た。

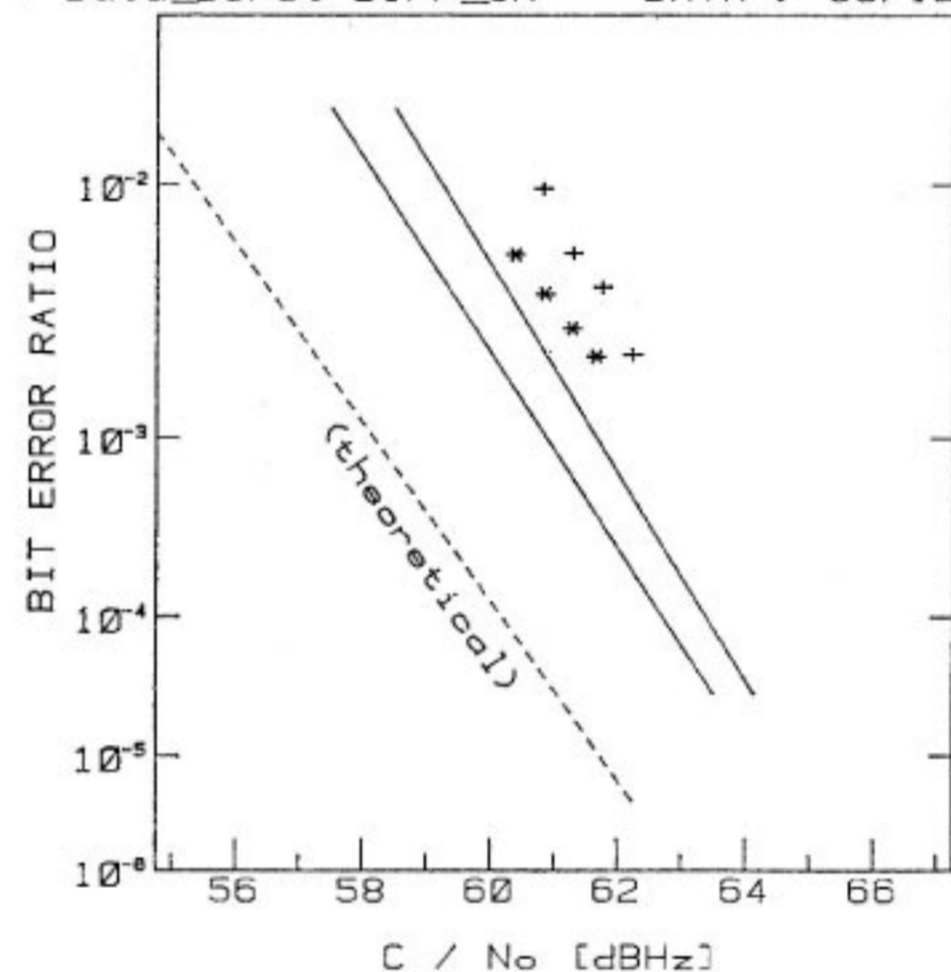
4.1 初期接続特性

移動局側受信系での信号品質の変化による C/N_0 対初期接続成功率特性を第5図に示す。測定中、船舶地球局は北方海域を航行していた。このときの変復調器のパラ



第5図 初期接続成功率

* Data_Burst DIFF_off DATA : 88/12/14
+ Data_Burst DIFF_on DATA : 88/12/14



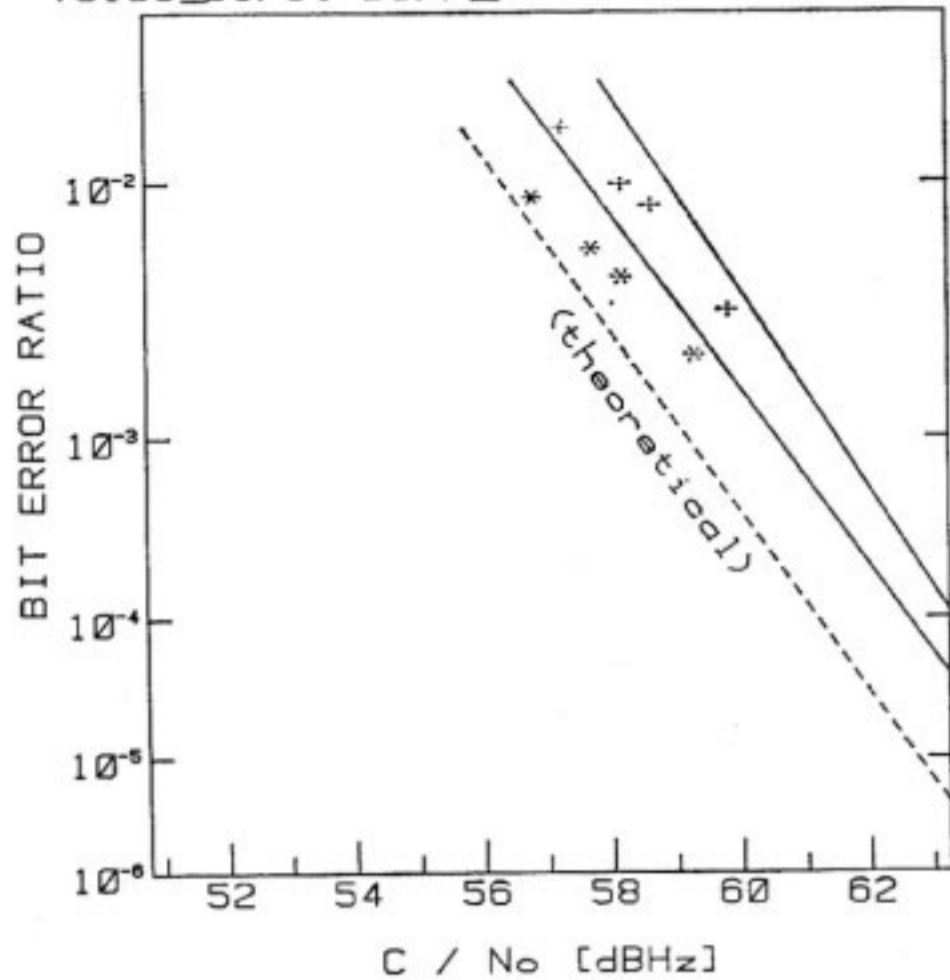
第6図 ビット誤り率特性(南方航路, データバースト)

メータは差動符号化 OFF、自動利得制御 ON の設定である。差動符号化は誤り訂正符号化を行う場合通常 OFF とする。また、自動利得制御は海面反射フェージングによる受信信号レベル変動を補償するために用いる。

第5図によると、親局、子局の何れからの発呼でもほぼ同様の特性が得られている。また、模擬船舶局特性と比較して、船舶局特性では約 1.5 dB の劣化が認められた。

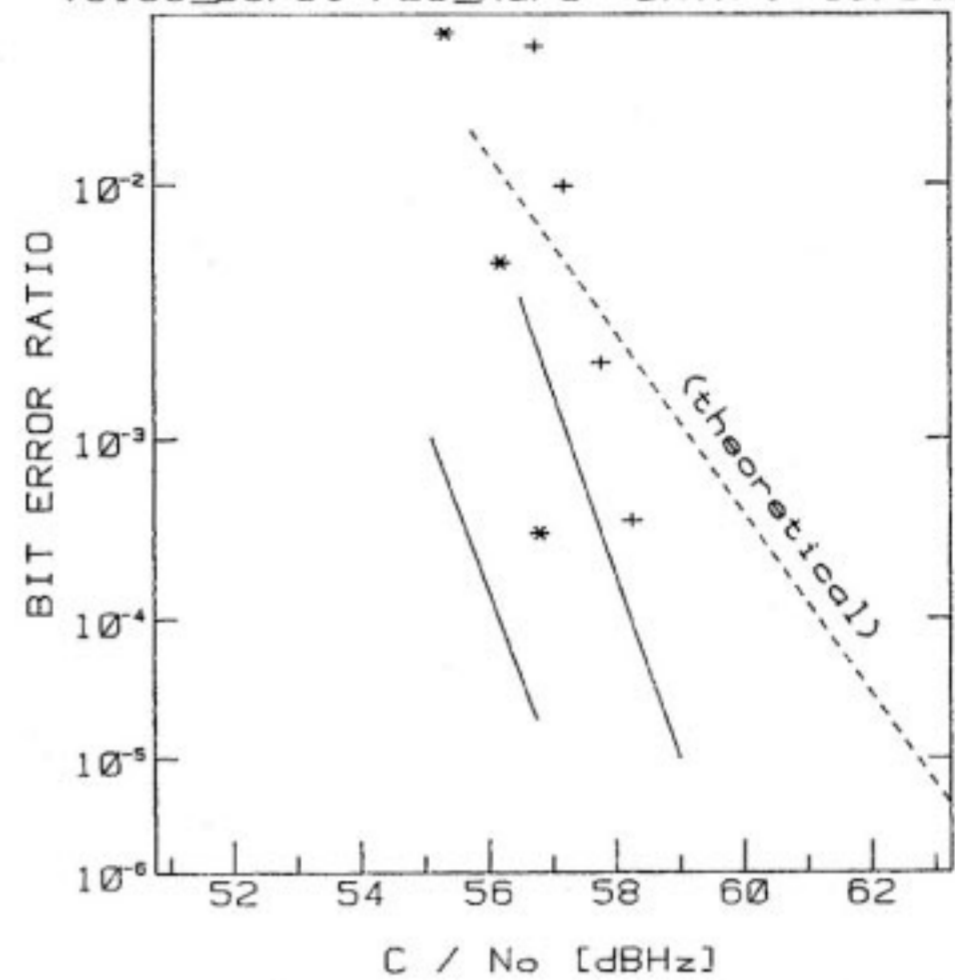
なお、測定中、基地局側受信 C/N_0 は、移動局側の測定に影響を及ぼさないように充分高い値に設定した。また、各測定値は模擬船舶局特性が10サンプル、船舶局特性が20サンプルをその母数として算出している。初期接続失敗の原因としては、システム的には①フレーム同期確立失敗、②初期接続バーストの搬送波再生失敗、③同、クロック再生失敗、④ユニークワード不検出が考え

* Voice_Burst DIFF_off DATA : 88/11/22
 + Voice_Burst DIFF_on DATA : 88/11/22



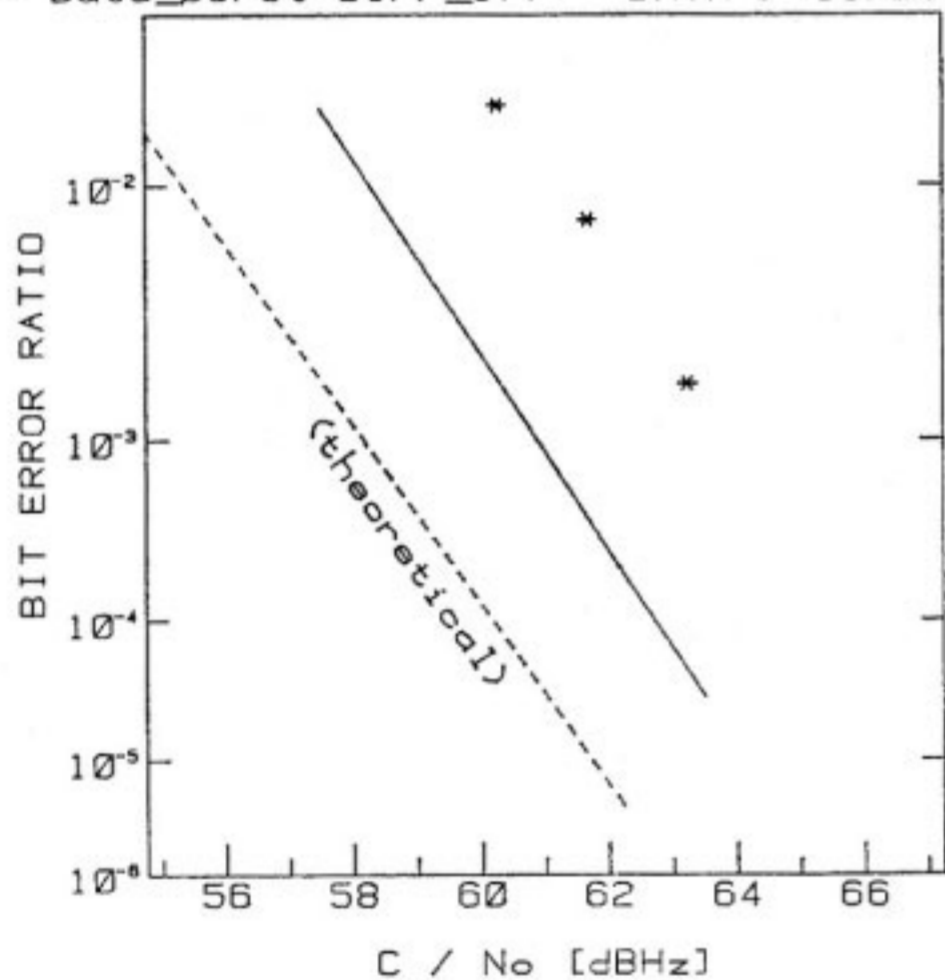
第7図 ビット誤り率特性 (南方航路, 音声バースト)

* Voice_Burst FEC_soft DATA : 89/06/08
 + Voice_Burst FEC_hard DATA : 89/06/07



第9図 ビット誤り率特性 (北方航路, 音声バースト)

* Data_Burst DIFF_off DATA : 89/06/08



第8図 ビット誤り率特性 (北方航路, データバースト)

られる。これらは、移動局側受信信号の C/N_0 値の絶対量の不足、あるいは伝送路上でのシャドウイング等による影響で何れかの復調器に於ける受信信号が劣化したために起こったものと考えられる。

4.2 ビット誤り率特性

C/N_0 対ビット誤り率特性を第6図～第9図に示す。

第6図、第7図は南方海域に於て測定された結果⁽³⁾であり、測定パラメータはデータ、音声各バーストの差動符号化 ON、OFF の各設定で行っている。実線は模擬船舶局受信系の特性で、プロットして示した測定値は船舶局受信系の特性である。破線は 160 k BPSK の理論特性で、音声バーストの場合、模擬船舶局受信特性との差

は装置劣化によるものである。データバーストの場合には、その差は装置劣化の他にデスクランブルによる誤りが他ビットに波及する効果による影響が含まれているため、 C/N_0 でさらに 1 dB 以上劣化している。また、差動符号化を行った場合、理論的には誤り数が2倍となり、 C/N_0 換算で 1 dB 弱の劣化となることから、これらの結果は測定誤差内で理論特性と一致していることが分かる。

第8図及び第9図に北方海域に於て測定された結果を示す。測定パラメータはデータバーストが差動符号化 ON、音声バーストが誤り訂正符号付加で軟判定、硬判定の復号という設定により行っている。誤り訂正符号化を行った場合、符号化利得により C/N_0 換算で数 dB の改善があり、また、軟判定と硬判定では理論的に C/N_0 で 2 dB の特性の差が生じる⁽⁴⁾が、第9図によると取得した特性は測定誤差内で理論特性と一致していることが分かる。

これらの結果をまとめると、模擬船舶局受信特性と比較して船舶局受信特性は南方海域で約 1.5 dB、北方海域で約 3 dB 以内の劣化量を示している。南方海域と北方海域での測定結果の差は、衛星仰角がそれぞれ約 76°、約 39° と異なることから、北方海域で海面反射フェージングやマストのブロッキング等による劣化が大きくなるためと考えられる。

4.3 同期保持特性

第3表に同期保持限界値の一覧表を示す。特性は TDM/TDMA 回線接続後、船舶局側受信信号にノイズを加え等価的に C/N_0 を劣化させて測定した。このとき、船舶局側には C/N_0 換算で 2 dB 程度の受信信号レ

第3表 同期保持限界値(船舶局受信特性)

差動符号化	ON		OFF	
	ON	OFF	ON	OFF
同期ランプ点滅時の C/N ₀ [dB·Hz]	56	56	54.5	54

第4表 同期保持限界値(模擬船舶局受信特性)

折り返し	衛星		I F	
	ON	OFF	ON	OFF
同期ランプ点滅時の C/N ₀ [dB·Hz]	56.0	53.9	55.8	53.8

ベルの変動があった。船舶局側の測定値は船舶に乗船している測定者がモニタ上に表示される C/N₀ 値を読み取ったものである。また、第4表には模擬船舶局で取得した特性を示す。衛星折り返し特性と自局 IF 折り返し特性の双方とも自動利得制御 ON の状態で測定した。

これらの測定結果は何れの場合もほぼ一致した値となっており、変復調器の特性のみに依存していることが分かる。この測定ではフェージング量が少なくシャドウイングによる影響もなかったため、途中の回線状態に依存しなかったものと考えられる。以上の結果から、システムのフレームフォーマットの設計が、回線接続後、同期を保持する目的を十分に果たし、実用レベルで成功していることが分かる。また、船舶局特性の内の自動利得制

御特性に注目すると、ON 状態と OFF 状態による特性の変化は測定誤差内に収まっていることが分かる。

5. おわりに

今回示した実測データは基地局取得の比較データと一致するところが多く、当所で開発した TDM/TDMA システムの海事通信に於ける高仰角衛星運用時の動作の確認とフェージングマージンの推定をすることが出来た。

謝 辞

最後になりましたが、実験全般に御協力頂いた当所の関係各位、船舶実験に御協力頂いた北海道大学水産学部の関係各位に深謝致します。

参 考 文 献

- (1) “技術試験衛星 V 型を用いた移動体衛星通信実験システム特集号”, 電波季, 34, Special Issue 6, March 1988
- (2) 副島俊雄編, “新・データ伝送システム”, 産業図書
- (3) 坂齋 誠他, “TDM/TDMA 船舶実験”, 平元信学(春)季全大
- (4) J. A. Heller and I. M. Jacobs, “Viterbi Decoding for Satellite and Space Communication”, IEEE Trans. Commun. Technol., Vol. COM-19, Oct. 1971, pp. 835-848.

