

## ETS-V 衛星による移動体からの多元医用情報伝送

清水 孝一\*<sup>1</sup> 村上 肇\*<sup>2</sup> 山本 克之\*<sup>1</sup> 三上 智久\*<sup>1</sup>  
 星宮 望\*<sup>2</sup> 門脇 直人\*<sup>3</sup> 近藤喜美夫\*<sup>4</sup>  
 (平成元年11月20日受理)

### MULTIPLE MEDICAL DATA TRANSMISSION FROM MOBILE STATION USING ETS-V

By

Koichi SHIMIZU, Hajime MURAKAMI, Katsuyuki YAMAMOTO,  
Tomohisa MIKAMI, Nozomu HOSHIMIYA, Naoto KADOWAKI,  
and Kimio KONDO

To provide emergency medicine in moving vehicles, a new technique of telemedicine using mobile satellite communication was proposed. Problems were identified and solved through theoretical and numerical analyses. A system which transmits the signals of color-video, audio, 3 channels ECG and blood pressure was developed. In experiments, the error characteristics of the system was measured. It was confirmed that the system works well in the range of practical  $C/N_0$ . Using a satellite (ETS-V) the above signals were transmitted from a navigating ship and a flying airplane to a fixed ground station. Through these analyses and experiments, promising possibility of this technique was demonstrated.

#### 1. ま え が き

近年、心循環器系・脳血管系疾患の増加傾向の中で船舶や航空機内での発病例が増加しており、操縦中のパイロットの急性心臓死という極端な例さえ報告されている。しかし現在のところ、遠洋航海中の船舶や国際線の航空機のように陸地から遠く離れる移動体については、乗員・乗客の急な発病に対する即応体制は充分とは言えず、より充実した救急医療の供給が望まれている。

我々はこのような要請にこたえるため、Telemedicine (遠隔医療)<sup>(1)</sup>の手法を移動体衛星通信の手法と結合させることを考えた。Telemedicineは離島や豪雪地のように医師が不在となる地域に対し電話回線等の通信手段を用いて医療を行う手法である。従来のTelemedicineは、そのほとんどが固定局間を有線で結ぶことによって構成されており、また心電図や音声のような伝送情報量

の比較的小さいものに限られていた。これに移動体衛星通信の技術を応用することによって、広い範囲に渡って移動する船舶・航空機内であっても短時間で患者の状態を把握し、専門医の適切な判断に基づく指示を得ることができる。また災害地など地上回線の使用が制限される場合にも、短時間のうちに高度な救急医療を供給することが可能となる。

現在までのところ、このような移動体衛星通信によるTelemedicineについては、実用例の報告は見あたらない。固定局間の衛星通信の医療応用にしても、医学教育等を目的としたテレビ会議や衛星放送が実用化され始めている程度であり、直接診療についてはまだ研究段階である<sup>(2)~(6)</sup>。移動体については実験報告も少なく、わずかに接岸中の船舶から車載型地球局を経由して行った実験の報告が見られる程度である<sup>(7)</sup>。

移動体衛星通信によるTelemedicineが試みられてこなかった理由の一つには、以下のように一般のデータ通信や従来のTelemedicineとは異なる原理的・技術的制約がある。

①移動体衛星通信であることから、一般的な実用化を考

\*<sup>1</sup> 北海道大学工学部 生体工学専攻

\*<sup>2</sup> 東北大学工学部 通信工学科

\*<sup>3</sup> 鹿島宇宙通信センター 第二宇宙通信研究室

\*<sup>4</sup> 宇宙通信部 移動体通信研究室

える場合、そのデジタル通信路は 10 kbps~100 kbps 程度であり、カラー画像のように情報量の大きな信号を伝送するのは容易ではない。

②0.5 秒程度の伝搬遅延が生じ、複雑なハンドシェイクによるデータ伝送の信頼性確保が困難である。

③対象となるデータには vital sign (心電図等、生命に直接関わる基本的な情報) が含まれており、伝送路には特に高い信頼性が要求とされる。

④患者監視という目的上、基本的に実時間伝送が要求される。

我々はまずこれらの特殊性を考慮して伝送方式の設計を行い、本手法の原理的可能性を確認した。次にその結果に基づき伝送システムの基本部分を開発し、衛星通信路を介した伝送実験を行った。ここではこれらの結果を示し、本手法の実現可能性を実証する<sup>(9)</sup>。

### 2. 伝送情報の設定

我々の目的とする救急医療実現のためには、少なくとも以下の情報が必要と考えられる。それらを第1図に示す。即ち移動体において患者から収集する医用情報は、患者の状態を示す画像・音声、生理的パラメータである心電図・血圧とする。これらは病院の ICU・CCU における患者監視の基本的な情報でもある<sup>(9)</sup>。これらにより、脳血管系・心循環系の急性疾患、及び外傷によるショック状態等に応急的に対処することが可能となる。救急医療における様々な状況に対応するためには、これらの情報は多重化され、全て実時間で伝送される必要がある。また、それに要する機器はできるだけ小規模であることが望ましい。そこで、これら4種類の信号をパーソナルコンピュータに取り込み、符号化・多重化等を行った後に衛星回線の変調器へと送る構成を考えた。ここで

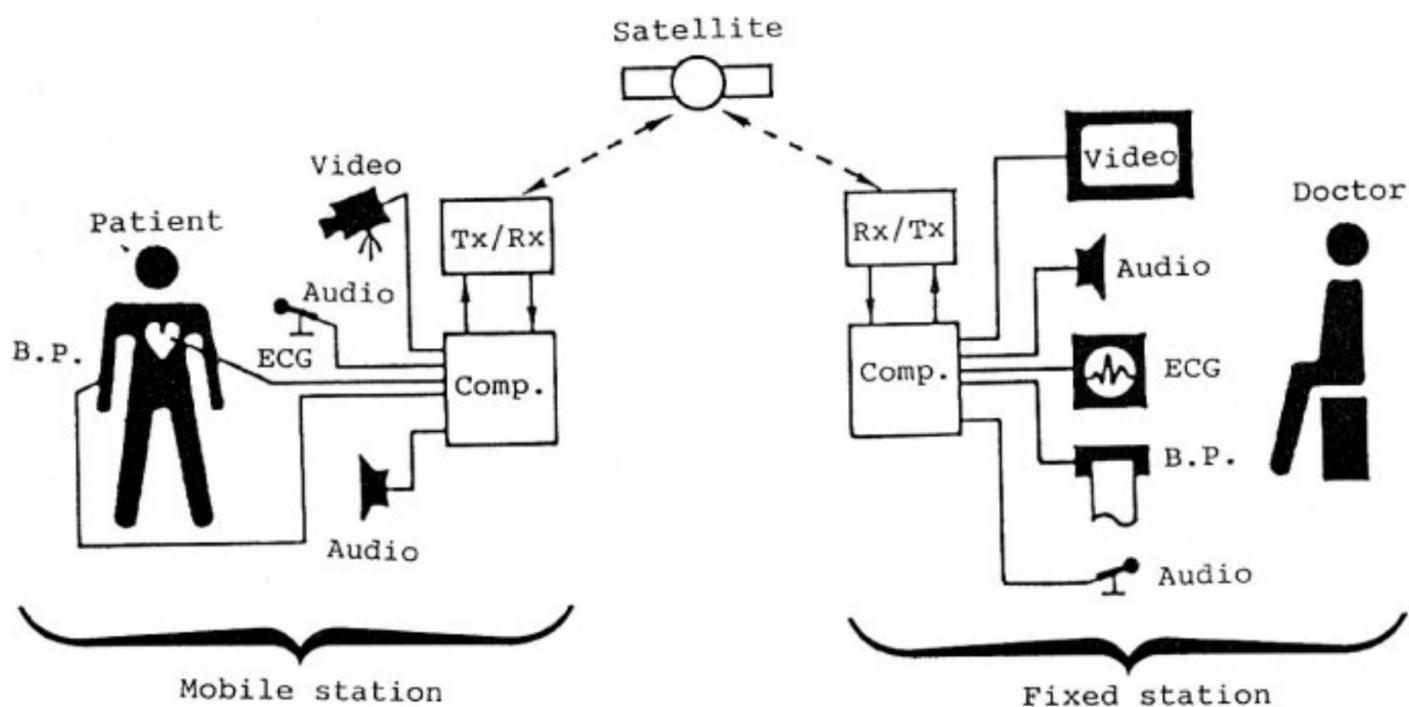
問題となるのは、これらの情報を現実的な、または実用的な回線容量内で伝送できるかどうかという点である。この点を考慮しつつ、以下のような設定を行った。

画像については、伝送容量の制限からカラー静止画像かモノクロ動画画となり、それぞれ医療上の利用目的の違いによって使い分けられる。救急医療において医師がまず必要とする視覚的情報には、肌・口唇・爪・出血等の色、及び外傷部位の様子等がある。そこで本研究ではできるだけ良質のカラー画像伝送を目的とし、20秒~1分の間隔で順次連続伝送するカラー静止画像を対象とした。これにより、医師は患者の状態に関し、速やかにある程度の状況判断が可能となり、適切な指示を行うことができる。

音声信号は、主として問診に用いられることから極端に高い伝送品質は要求されず了解性の良さを第一の目的とする。そこで予め 1.5 kHz に帯域制限した後、サンプリング周波数 10 kHz にて適応デルタ変調する。

心電図の圧縮方法としては、時間軸で隣接した標本間の差分を伝送する DPCM がよく知られている。しかし本システムではより効率の高い圧縮法である拍動間差分を利用する方法<sup>(10)</sup>を採用した。この方法は心電図波形の各拍動間の相関の高さに着目し、拍動毎に切り出した波形間の差分をとるものである。本システムでは、この拍動間差分波形を折れ線近似することによって圧縮を行う。心電図信号は使用頻度の高い3チャンネルの心電計を想定し、3チャンネルの同時伝送を行う。もし標準12誘導が必要な場合には通常の3チャンネル心電計と同様に4回に分け、順次測定を行う。

血圧は、最高値・最低値を1分毎に測定し、その数値を伝送する。血圧値は他の信号に比べてそのビットレートが充分小さいことから、特に圧縮は施さない。



第1図 移動体衛星通信による医用情報伝送

以上4種の医用情報を時分割多重化して、移動体から地上の固定局へと伝送し、医師に提示する。医師は固定局から移動体への音声回線を通じて状況に関する質問、送信に関する指示、患者の処置に関する指示等を行う。このようにして移動体 Telemedicine が実現される。

ここで vital sign である心電図及び血圧値は、医療上重要なパラメータであるということ、また自動解析装置の入力となる場合もあること等を考慮すると、伝送誤りは大きな障害となる。そこで高い信頼性を確保するために誤り制御が必要となる。

心電図については自動再送要求方式 (ARQ) を採用した。ARQ はデータ伝送の信頼性が高くなる反面、誤りが発生した場合には当該データが再送されるまでの遅延が生ずる。従って心電図モニタリングのように実時間伝送が要求される場合にはその対策が必要となる。ここでは送・受信両局にバッファメモリを設け、再送処理に要する時間をバッファ時間より充分短くする<sup>(11)</sup>ことによつてこの問題を解決した。

血圧値に関しては誤り訂正符号化方式 (FEC) を用い、多数決論理による誤り制御を採用した。

これらの設定をもとに伝送情報のビットレートを求めた。上記の圧縮を行った場合、画像信号のビットレートは 9.6 kbps に、音声・心電図・血圧値はそれぞれ 10 kbps, 1.2 kbps, 0.3 bps にすることができる。この結果より、21 kbps 以上の容量を有する通信路によって我々の目的とする医用情報の伝送が可能なが分かる。なお固定局から移動体への回線については、心電図再送要求信号と医師の音声を多重化して伝送するだけであることから、この容量以下で充分である。

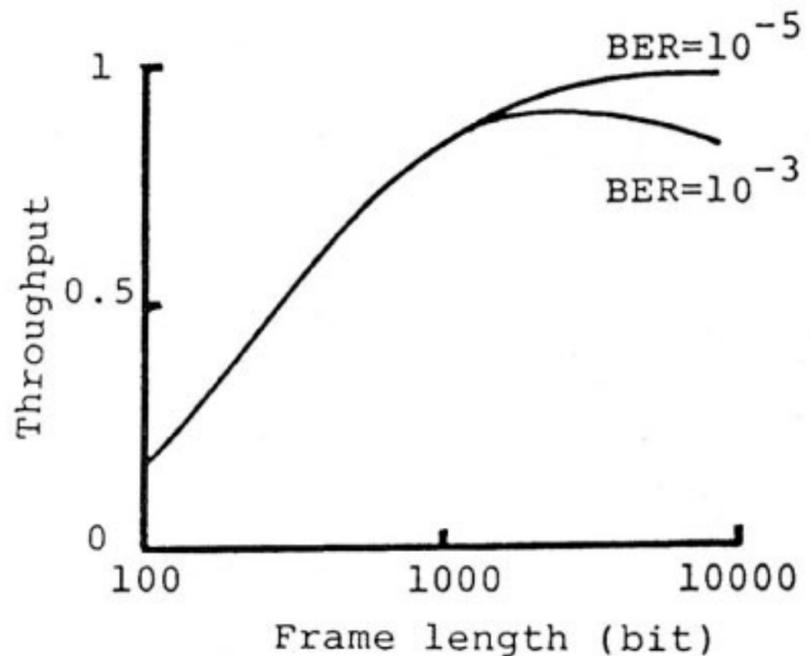
本システムの衛星通信路には技術試験衛星 V 型 (ETS-V) の MSK 回線 (伝送速度 24 kbps) を使用した。この伝送速度は、現在インマルサットで導入を予定しているデジタル回線のそれとも等しく、今後の移動体衛星通信の伝送速度として現実的なものと考えられる。

### 3. 伝送方式の設計

#### 3.1 フレーム設計

伝送方式としては、実時間伝送が容易であり、同期はずれ発生確率が小さい固定ビットレート割当方式を採用した。その際に問題となるのは伝送フレームのブロック長である。ここでは vital sign としての重要性を考慮し、心電図のスループットを評価関数として最適化を図った。

心電図データのブロック長を  $L_{ECG}$ 、回線のビット誤り率を  $P$  とおくと、パリティ検査による心電図データのブロック誤り率  $P_{ECG}$  は次式のようになる。



第2図 フレーム長に対する心電図のスループット

第1表 フレーム構成

	ビットレート (bps)	データブロック長 (bit)
合計	24000	1200
画像	11360	568
音声	10080	504
心電図	1280	64
血圧値	20	1
その他	1260	63

$$P_{ECG} = \sum_{i=0}^K L_{ECG} C_j \cdot P^j \cdot (1-P)^{L_{ECG}-j} \dots\dots(1)$$

但し、 $j=2 \cdot i+1$

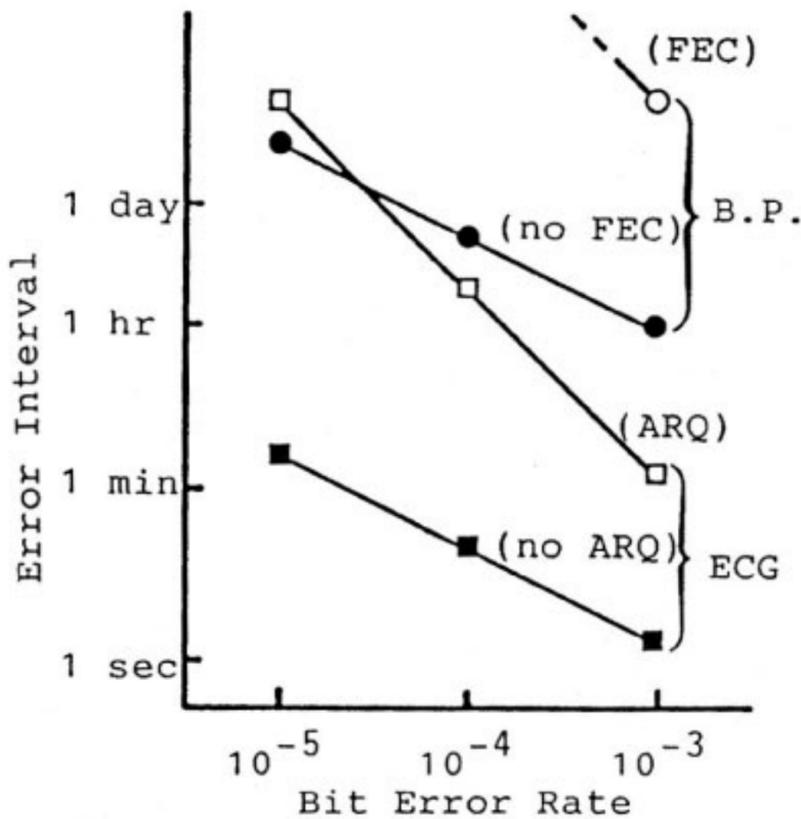
$K$  は  $L_{ECG}/2-1$  を越えない最大の整数

心電図スループット  $\eta$  の解析には、Bruneel らの手法<sup>(12)</sup>を参考にし、更にデータ順序番号格納部とパリティビットを考慮すると次式が得られる。

$$\eta = \frac{1-P_{ECG}}{1+s \cdot P_{ECG}} \cdot \frac{L_{ECG}}{L_{ECG}+1+\log_2 s} \dots\dots(2)$$

但し、 $s$ : 往復伝搬遅延に要するフレーム数

固定ビットレート割当方式の原理より、フレームのビット長  $L_{TOTAL}$  と心電図部分のブロック長  $L_{ECG}$  は比例関係にある。そこで上の2式を解き、フレーム長と心電図スループットの関係を得た。その結果を第2図に示す。本システムで考慮する最悪の条件として回線のビット誤り率 (BER) を  $10^{-3}$  と想定し、さらに伝送制御の容易さを考慮して各信号部のブロック長を8の倍数となるように配慮した。その結果、フレーム長  $L_{TOTAL}$  の最適値を 1200 bit と定めた。これを各信号のビットレートに基づいて配分することにより、本手法におけるフレーム構成が決定される。その結果を第1表に示す。



第3図 BER に対する平均誤り発生間隔

3.2 信頼性の解析

次に、伝送した信号の信頼性について検討する。信頼性評価のパラメータとして、Error Interval (平均誤り発生間隔, 以下 EI) を次のように定義する。

$$EI = \frac{1}{E_{DATA}} \cdot \frac{L_{DATA}}{R_{DATA}} \quad \dots\dots(3)$$

但し、 $E_{DATA}$ : データのブロック誤り率  
 $L_{DATA}$ : データのブロック長  
 $R_{DATA}$ : データのビットレート

ここで  $E_{DATA}$  はデータの符号化の方法によってそれぞれ異なる。心電図の  $E_{DATA}$  は式(1)より求められる。また血圧値に関しては 16 bit のデータを 3 回繰返し伝送して多数決をとることより次式のようなになる。

$$E_{DATA} = 1 - \{(1-P)^3 - 3 \cdot P \cdot (1-P)^2\}^{16} \quad \dots\dots(4)$$

但し、 $P$ : 回線のビット誤り率

心電図、血圧値について、データ誤り率の計算をもとに理論的に EI を求めた結果を第 3 図に示す。我々が対

象とする通信路におけるビット誤り率として、最悪の場合で 10<sup>-3</sup>、一般に 10<sup>-5</sup> 以下であると仮定すると、図から分かるように、誤り制御を行うことによって実用上支障のない程度の信頼性が得られることになる。

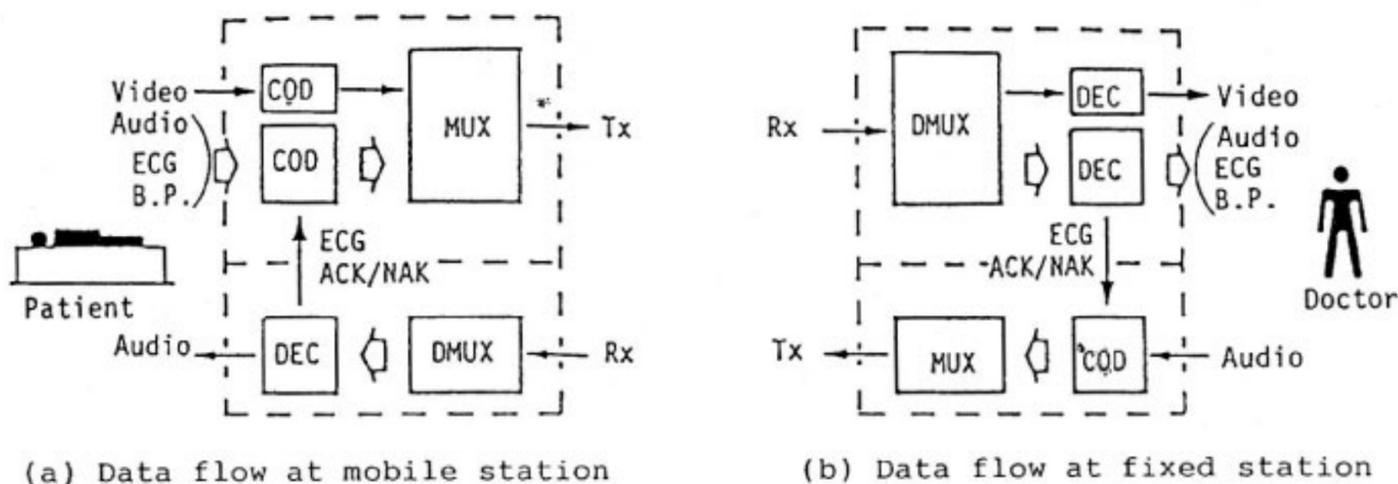
同様の方法で画像・音声について EI を計算すると、これらについては数秒～数十秒に 1 回の誤りが発生することが分かった。このことを実際のデータに当てはめて考えてみると、画像の場合、画面のごく一部に誤りが生ずるが、これは画面全体に比べて充分小さく特に問題とはならない。また音声の場合でも一瞬誤りが生ずるものの、会話全体の了解度としては支障がないと考えることができる。これらの情報は受け取る側のヒトの視覚や聴覚に対して提示されるものであり、認識可能な範囲では誤りに対して許容の幅が比較的大きい。

4. システム設計

以上の理論的な解析をもとに、実際のシステムの設計を行った。

データの多重化等を考慮すると、伝送に関する制御を集中的に行う必要がある。また移動体内部での使用を考えると、本システムはできるだけ小型であることが求められる。そこでパーソナルコンピュータを中心に、各信号の圧縮・符号化・多重化、あるいは伝送制御を行うこととした。画像信号については、その原信号の情報量が非常に大きいこと、またカラーとモノクロの 2 種類を使い分けることなどから、実験では既存の画像圧縮装置 (NEC DFP-850, 370×160×460 mm, 10 kg) を使用した。

本システムの概略図を第 4 図に示す。移動体から固定局へのデータの流れは次の通りである。移動体内部では患者の音声・心電図 (3 チャンネル)・血圧値の各信号が所定の周期で取り込まれ、パーソナル・コンピュータで符号化される。画像については画像圧縮装置で符号化された後、パーソナル・コンピュータに送られ、他の信号



第4図 データの流れ

と多重化されて衛星回線の変調器の入力となる。

地上の固定局では、復調器からの信号はまずパーソナル・コンピュータで分離される。その後、画像信号は画像圧縮装置へと送られて復号、表示される。他の信号はパーソナル・コンピュータでそのまま復号され、出力される。このうち心電図信号については、復号の際に誤りが検出されれば再送要求信号が生成される。血圧値信号についてはパーソナル・コンピュータで誤り訂正が行われる。

固定局から移動局へのデータの流は次のようになる。固定局では医師の音声はパーソナル・コンピュータに取り込まれ、符号化された後、心電図の誤り検出器からの再送要求信号と多重化されて変調器へと送られる。

移動局では、復調器からの信号が分離、復号され、音声信号についてはそのまま出力される。心電図再送要求信号はパーソナル・コンピュータ上の心電図符号化器に送られ、それによって予め保存されていた当該データが送信用バッファに転送される。そのデータが固定局へと伝送されることによって再送が行われる。

### 5. 衛星回線を用いた伝送実験

本手法の具体的な可能性を調べるため、試作システムを用いて基礎的実験を行った。本システムの衛星通信路には技術試験衛星V型(ETS-V)の24 kbps, MSK回線を使用した。

#### 5.1 固定局での基礎的伝送特性の測定

まず衛星回線を含むシステム全体の伝送特性を評価するため、データブロック誤り率特性を測定した。伝送実験は郵政省通信総合研究所鹿島支所の衛星回線系を用いて行った。パーソナル・コンピュータ(PC 9801 VM)2台を用意し、それぞれを送信部、受信部と見なして以下の手順で実験を行い、復号後のデータのブロック誤り率を測定した。

##### ① ベースバンド接続による測定

送・受信部を伝送誤り発生器を介して接続し、伝送路のビット誤り率を変化させてデータブロック誤り率を測定する。

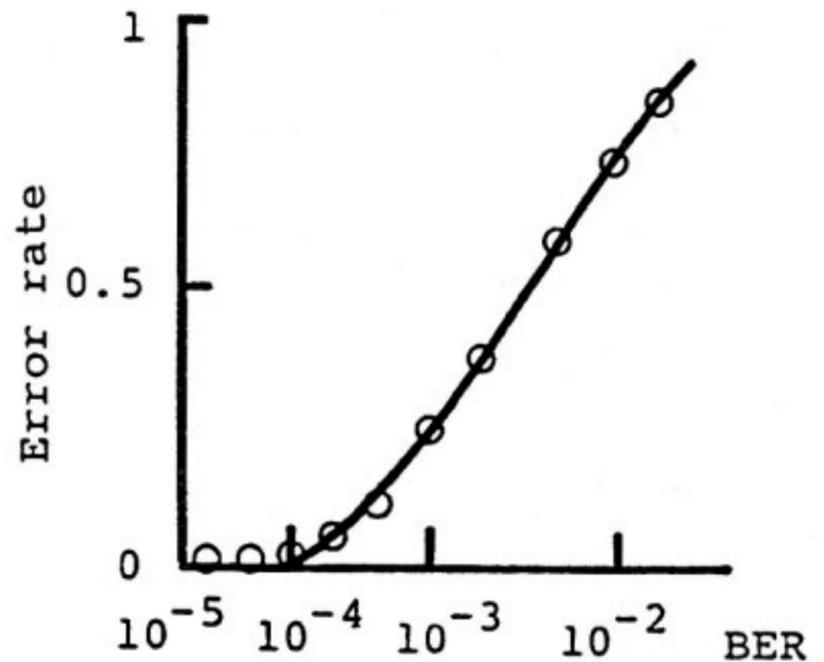
##### ② モデム折返しによる測定

送・受信部をそれぞれ変調器・復調器に接続し、さらに変調器出力と復調器入力を接続して、データブロック誤り率を測定する。受信側復調器の直前に雑音を付加して伝送回線のC/N<sub>0</sub>を変化させる。

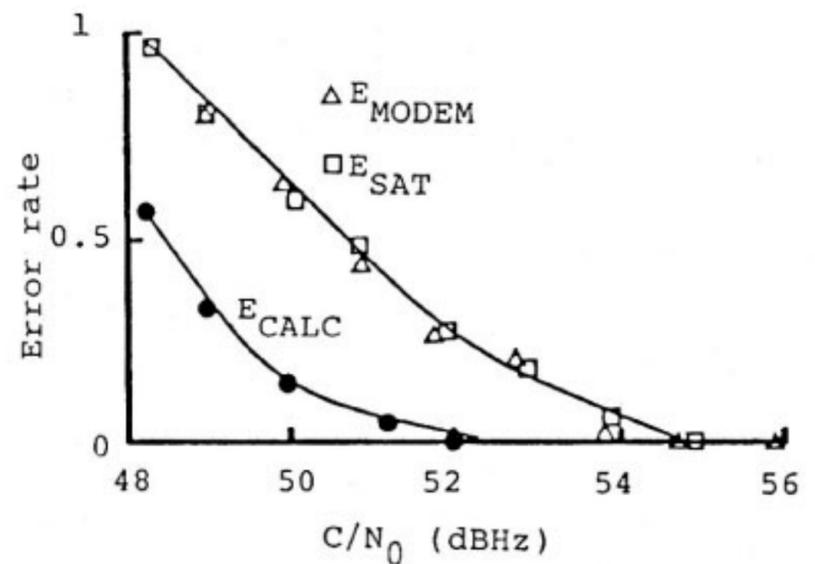
##### ③ 衛星折返しによる測定

衛星回線(L/C回線)を介し、②と同様にC/N<sub>0</sub>を変化させてデータブロック誤り率を測定する。

①で得られた測定結果(E<sub>0</sub>)を第5図に示す。この図



第5図 BERに対するデータブロック誤り率



第6図 C/N<sub>0</sub>に対するデータブロック誤り率

は、送受信端末及びそれらを衛星回線系に接続するため用いた外部機器(パーソナルコンピュータの入出力インタフェース装置)の信号伝送特性を示している。

次に②, ③の結果(E<sub>MODEM</sub>, E<sub>SAT</sub>)、及び理論値(E<sub>CALC</sub>)を第6図に示す。E<sub>CALC</sub>は、次式で示すように、最も単純なモデルに基づく計算値であり、データブロック誤り率の下方推定値を示す。E<sub>CALC</sub>と実測値との差は、上記外部機器の信号伝送特性及び同期ヘッダの誤検出等によるものと考えられ、本システムを使用した場合の伝送特性の劣化量は2 dBHz以下であることが分かる。

$$E_{CALC} = P \cdot (1 - P_H) + P_H \quad \dots\dots(5)$$

但し、P: 回線のビット誤り率

P<sub>H</sub>: 同期ヘッダの位置に誤りが生ずる確率

同期ヘッダは40ビットであるから

$$P_H = 1 - (1 - P)^{40} \quad \dots\dots(6)$$

である。

予想された通り E<sub>MODEM</sub> と E<sub>SAT</sub> はほぼ同じ値になった。また両者共 55 dBHz 以上の C/N<sub>0</sub> ではほぼ0をと

ることが分かった。ETS-V がカバーする実験区域内での標準的な回線設計例<sup>(13)</sup>では、船舶からの L/C 回線での総合 C/N<sub>0</sub> は 56.5~65.0 dBHz という値をとる。従ってこの区域内での伝送においてデータブロック誤り率はほぼ 0 となり、ほとんど誤りのない医用情報伝送が実現できることが確認された。

この他、心電図チャンネルに強制的にデータブロック誤りを発生させ、自動再送要求方式が有効に機能することを確認した。

## 5.2 船舶・航空機からの医用情報伝送実験

固定局での衛星折返し実験において本システムの基本的な動作が確認されたので、次に航海中の船舶および飛行中の航空機からの伝送実験を行った。船舶実験は日本沿岸を航行する北海道大学水産学部練習船「おしよる丸」から、航空機実験は成田-アムステルダム間を往復するジェット機 (JALCARGO, Boeing 747F) から、それぞれ ETS-V を介して鹿島地球局 (通信総合研究所鹿島支所) にデータを伝送した。データは予め A/D 変換し、フロッピーディスクに格納した。これを移動局で符号化し、衛星回線を通じて伝送した。今回の実験では一方向 (移動体→固定局) のみの伝送であったため、心電図信号については再送要求のない伝送を行った。

移動体からの伝送においても、固定局での実験と同様、受信側復調器直前に雑音を付加して回線状態を強制的に変化させ、実験を行った。実験では画像・音声・心電図・血圧値それぞれの医用情報を個別に伝送して復号後のデータに対する影響をみた。これらの伝送結果をもとに実用上支障のない伝送を行うのに必要な C/N<sub>0</sub> を求め、医用情報伝送の際の閾値とした。また上記 4 種類の信号を多重化して伝送し、実時間での分離再生機能の確認も行った。

実験結果を第 2 表に示す。これにより C/N<sub>0</sub> にして 55 dBHz 細胞値が、本システムによって医用情報伝送を行う際に伝送回線に要求される閾値と考えられる。この値は③の実験における結果とも一致している。血圧値については、誤り訂正を行うことによって信頼性が向上し、50dBHz 付近でも十分な伝送が可能であることを確認した。血圧値は第 3 章の理論解析においても高い信頼性が得られることが示されており、誤り制御の必要性については今後の実用化に当たって検討すべき点の一つと考える。

多重化伝送の実験では、カラー画像・音声・心電図・血圧各信号の、実時間における多重化及び分離再生の性能を確認した。その結果 C/N<sub>0</sub> 55 dBHz 以上では、どの信号チャンネルもクロストーク等の影響もなく、良好な多重化伝送が行えることを確認した。

第 2 表 医用情報の伝送閾値 (C/N<sub>0</sub>)

	誤りの無い伝送 (dBHz)	許容できる伝送 (dBHz)
画 像	57.1	55.1
音 声	56.9	55.0
心 電 図	55.0	—
血 圧 値	49.9	—

航海中の船舶からの伝送実験は函館港停泊中・下北半島東岸沖航行中・高知港停泊中・紀伊水道航行中・豊後水道航行中・鹿児島湾停泊中に行った。実験中は気象条件や波浪の条件が特に悪化したことはなかったが、実験結果からどの信号も船舶の位置や状況によらず基本的に良好な伝送が可能であることを確認した。ただ船上に備え付けたアンテナがブロッキング特性評価のためメインマストの基部近くに設置されていたため、船体の方向によっては、マストによる通信のブロッキング現象がみられた。これは、アンテナを適切な位置に設置することにより、容易に解決できる。

飛行中の航空機からの実験においては、機体上部にアンテナが配置されていることから、機首の方向により信号の強度が変化する程度で、ブロッキングのような現象はなく、良好な伝送が行われた。

## 6. む す び

以上、遠洋航海中の船舶や国際線の航空機のような移動体に対する救急医療の供給を目的として、衛星通信を利用した移動体 Telemedicine を試みた。また具体的な伝送方式の設計、システムの設計、並びに理論的・実験的解析を行い、その実現可能性を示した。

まず、移動体 Telemedicine を実現する上で必要な情報として画像・音声・心電図・血圧値を設定した。そしてそれらを伝送する際の圧縮方式、心電図や血圧値については誤り制御の方式について検討した。次に衛星回線で医用情報を伝送する際の伝送方式について検討し、心電図のスループットを評価関数として伝送方式の最適化を図った。また信頼性評価のパラメータとして Error Interval を定義し、心電図や血圧値の伝送誤りを理論的に解析して、実用上支障のない伝送を行えることを確認した。

これらの解析結果に基づいて具体的なシステム設計を行い、移動体 Telemedicine の試作システムを作成した。この試作システムを用いて固定局での衛星折返し実験を行い、基本的な伝送特性を測定した。その後、船舶および航空機からの伝送実験を行い、移動体 Telemedicine を行う上での基本的な動作を確認した。両実験を通し、実用上十分な品質の伝送を行うために必要な

C/N<sub>0</sub>を求め、約 55 dBHz がその閾値となることを確認した。これらの結果から本論文冒頭で述べた移動体 Telemedicine の基本的な可能性が示されたと考えられる。

但し今回の実験では各医用情報の多重化は行っておらず、個別の伝送であった。また心電図伝送は誤り制御を行わない形式であった。今後はこれら2点を含め、本システムをより実用的なものに近づけていく予定である。

### 謝 辞

本研究を進めるに当たって御助力を頂いた郵政省通信総合研究所関係諸氏、特に研究計画に関する調整を担当して下さい長俊男氏（現在、電気通信局計画課）、浜本直和氏に深謝する。また伝送実験について御助力を頂いた北海道大学水産学部関係諸氏、日本電気・上野昭利氏に深謝する。本研究全般に渡って有益な御助言を頂いた北海道工業大学・松本伍良教授、北海道大学・栗城眞也助教授に深謝する。

### 参 考 文 献

- (1) 大島・開原, “テレメディシン”, 同文書院 (1983).
- (2) 高橋 隆, “テレメディシン”, ME 誌, 25, 特, p. 64 (1987-04).
- (3) 三好克彦, “アメリカにおける衛星を使った医学教育の現状”, BME, 1, 6, pp.470-475 (1987-06).
- (4) 中島・長・森河, “通信衛星を利用した医療ネットワークの検討”, BME, 2, 2, pp.96-103 (1988-02).
- (5) 中島・十蔵寺・中嶋・沖野・長, “衛星ネットワークにおける医療用プロトコール MX.25 の検討”, ME 誌, 26, 特, p. 473 (1988-04).
- (6) J. Moller, “Health care via satellite”, Computer graphics world, 11, 6, p. 69-70 (1988-06).
- (7) 乙津祐一, “衛星利用救急医療通信システム”, 信学誌, 69, 1, pp. 50-53 (1986-01).
- (8) 村上・清水・山本・三上・星宮・近藤, “移動体衛星通信による医用情報伝送”, 信学論文誌, J72-B-II, 7, pp. 262-268 (1989-07).
- (9) 鈴木 勇, “患者監視装置”, BME, 2, 9, pp.574-586 (1988-09).
- (10) 津田・清水・松本, “Beat to beat variation を利用した心電図データ圧縮法”, 信学技報, MBE85-37, pp. 29-36 (1985-10).
- (11) 小田切・津田・清水・松本, “光空間伝搬による多元生体情報伝送システムの開発”, 信学技報, MBE85-36, pp. 21-28 (1985-10).
- (12) H. Bruneel and M. Moeneclaey, “On the throughput performance of some continuous ARQ strategies with repeated transmissions”, IEEE Trans. Commun., COM-34, 3, pp.244-249 (1986-03).
- (13) 長谷・久保田・井家上, “ETS-V/EMSS実験システムの構成”, 電波季, 34, 特6, pp.15-28 (1988-03).

