

## 船舶衛星通信におけるデータ通信実験

門脇 直人\*<sup>1</sup> 川又 文男\*<sup>1</sup>

(平成元年11月20日受理)

### ETS-V/EMSS MARITIME EXPERIMENTS ON DATA TRANSMISSION

By

Naoto KADOWAKI and Fumio KAWAMATA

In data transmission through mobile satellite links, successive frame errors cause degradation of throughput performance and increase of transmission delay. A new effective error recovery technique is necessary in order to achieve highly efficient data transmission under such a condition, because many protocols used today are designed without taking account of unstable mobile satellite communication links.

A data transmission experiment is performed as a part of ETS-V/EMSS maritime communication experiments to investigate frame error characteristics.

A new frame format whose data field is divided into small parts called parcels is used in order to identify erroneous part in a frame.

The experimental results shows that errors occur in a few part of a frame, and instantaneous link state in transmission can be presumed by a received parcel error pattern. Moreover, the appropriate parcel length is estimated by the time duration statistics of degraded link state.

#### 1. はじめに

これまで衛星通信用誤り制御方式については固定衛星通信の分野で様々な提案がなされてきた。これらはフレームの誤りがランダムに起こることを前提に、大きな伝播遅延の条件下でも効率的な誤り回復を行なうことを目的としている<sup>(1)~(3)</sup>。

一方、移動体衛星通信においてデータ伝送を行なう場合、回線品質の変動に伴い誤りがパースト的に発生し、スループットの低下及び送達確認や再送に伴う伝送遅延時間の増加を引き起こす。このような状況のもとで効率的なデータ通信を行なうためには、連続的なフレーム誤りに対して効率のよい誤り回復方式が必要となる。

当研究所では技術試験衛星5型(ETS-V)を用いた総合的な移動体衛星通信実験(ETS-V/EMSS)を行なってきたが、船舶実験において、移動体衛星通信に適した誤り回復方式の開発を目的として、低仰角時のフェージングに伴うデータフレームの伝送誤り特性を取得し

た<sup>(4)(5)</sup>。その結果、従来一般的に用いられているフレーム長で伝送した場合、1フレーム中の誤り発生部分はフレーム中のごく一部であること、及び回線品質劣化状態の継続時間を測定することにより、フェージングの周期の違いによるフレーム伝送誤り特性の差異を明らかにすることができた。

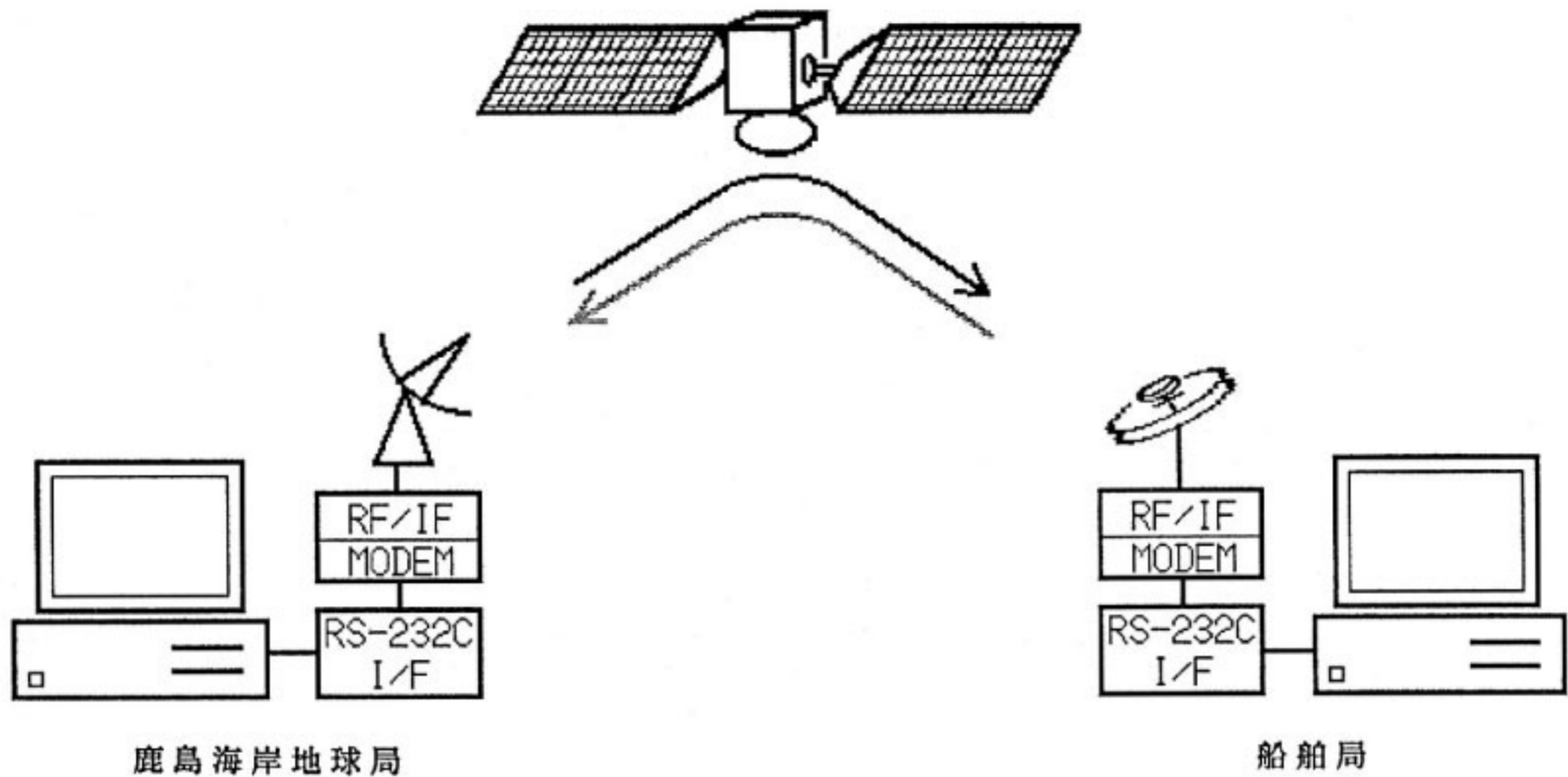
本論文ではその実験内容と実験結果、及び解析結果について述べる。

#### 2. 実験システム

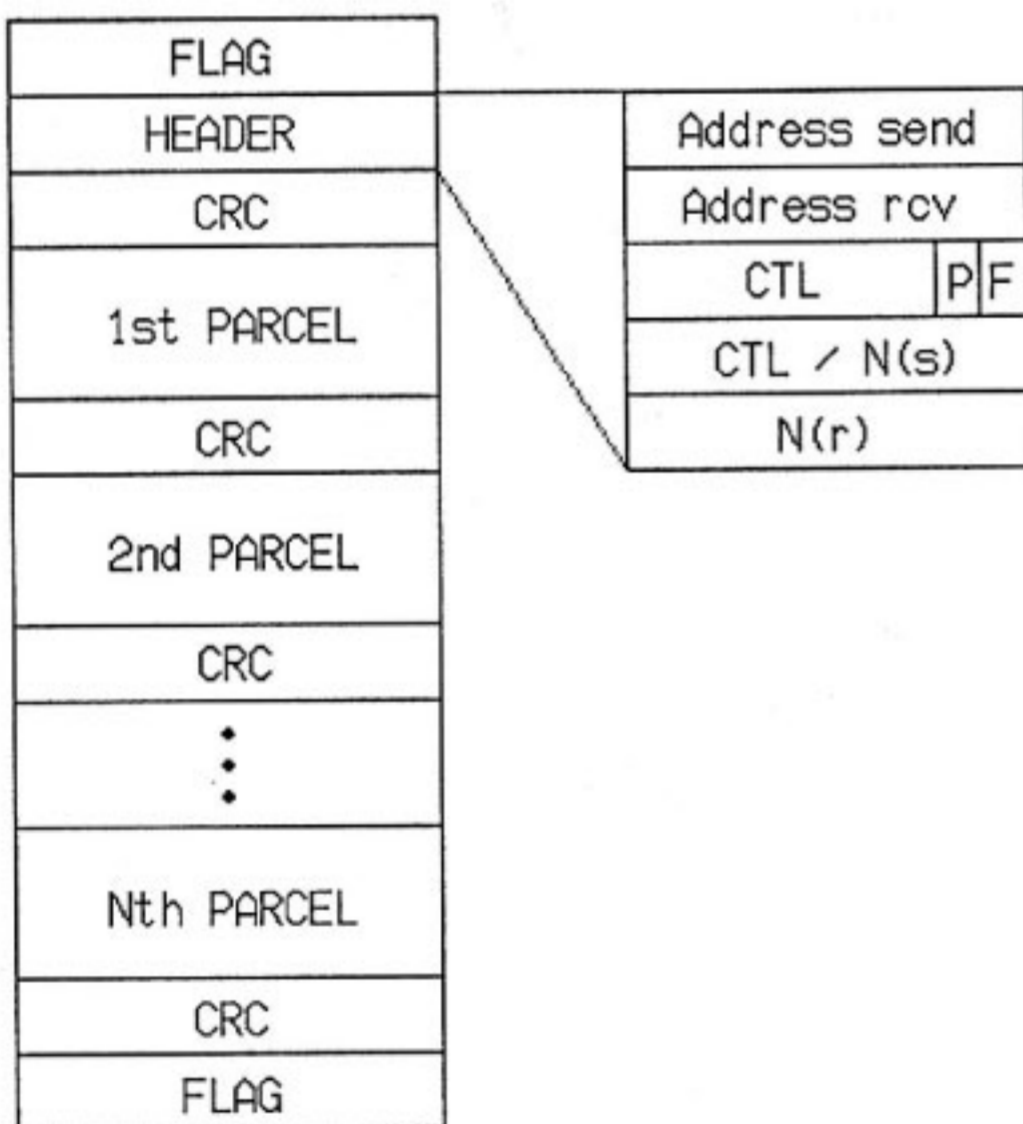
##### 2.1 システム構成

本実験システムは、第1図に示すように関東支所鹿島宇宙通信センターに設置された基地局(以下鹿島海岸地球局と記す)と北海道大学水産学部練習船おしよる丸に設置された船舶局、及びETS-Vで構成されている。鹿島海岸地球局とETS-V間はCバンド、ETS-Vと船舶局間はLバンドの周波数帯を使用しており、鹿島海岸地球局から船舶局向けの回線をC/L回線、船舶局から鹿島海岸地球局向けの回線をL/C回線と呼ぶ。

\*<sup>1</sup> 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



第2図 フレームフォーマット

鹿島海岸地球局及び船舶局では、パーソナルコンピュータが RS-232C/TTL インターフェイスを介して 4.8 kbps BPSK モデム、IF 系及び RF 系装置に接続されている。鹿島海岸地球局と船舶局の各パーソナルコンピュータ間で、フレーム化したデータを連続的に片方向伝送し、受信側でこれを全てフロッピーディスクに記録する。記録されたデータは、実験後オフラインで解析する。

2.2 フレームフォーマット

移動体衛星通信では、回線状態が良好時にできるだけ多くのデータを伝送することが効率を高める上で重要で

第1表 実験パラメータ

使用回線	C/L, L/C
変調方式	BPSK 4.8 kbps 差動符号化 ON
フレーム長	256 [octet]
パーセル長	16/32/64/128 [octet]
誤り検出符号	CRC 16
フレーム送信	片方向連続送信

ある。そのためにはフレーム長は短い方がフレーム誤りの発生確率、及び再送効率の点で有利であるが、フレーム効率は低下する。

このような観点から、本実験では、送信されるデータは第2図に示すようにヘッダ部と複数のデータブロック部（以下パーセル：PARCEL と称す）で構成されたフレームにフォーマットされ、ヘッダ部及び各パーセルは個別の誤り検出用巡回符号（CRC）が付加されている。

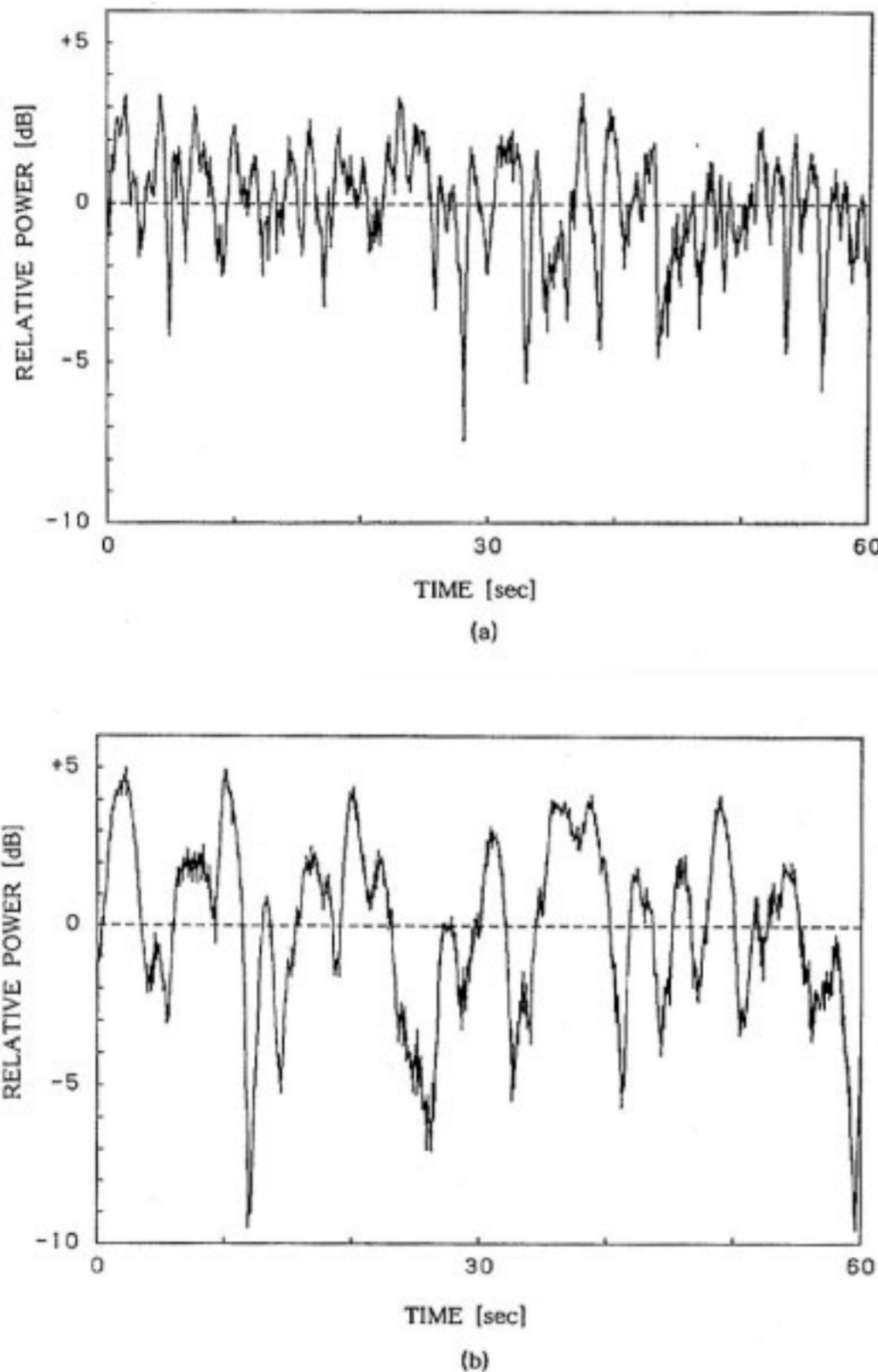
このようなフレームフォーマットを用いることにより、データ部を細かく分割した際のヘッダ部分のオーバーヘッドを少なくすることができ、かつ1フレーム中の誤り発生状況をより詳細に把握する事ができる。但し、ヘッダ及びパーセルに CRC を付加することによるフレーム効率の低下は依然解消されてはいない。

第1表に実験パラメータを示す。

フレーム長は1フレーム内に格納可能なデータ部分の量であり、フラグ、ヘッダ部、CRC を除き、256オクテット (octet)\*1としている。これは、パーセル単位で伝

\*1 1 [octet]=8 [bits]





第3図 受信電力変動の様子

送誤りを把握することができるためフレーム長は任意であること、及び現在地上系パケット網で主に256オクテットのフレーム長が使用されていることを意識したためである。

尚、フレームフォーマットはパーセル長によって4通りのタイプがあるが、説明を簡略にするため、以下パーセル長×オクテットのフレームをF256-xと記すこととする。

### 3. 実験結果

海事衛星通信では、衛星仰角が低い場合海面反射によりフェージングが大きくなることが指摘されている<sup>(6)</sup>。そこで、実験は衛星仰角が約9~3度となるアラスカ湾を航行中に実施した。実験時の受信電力は、海面反射あるいは船体の影響によりその変動の様子が様々に異なっている。データ伝送ではフェージングの周期がフレームの誤り特性に直接影響することから、フェージング周期が長周期と短周期の2つの場合について実験結果を解析した。尚、受信側で符号誤り率(BER)が平均で $2\sim 5 \times 10^{-4}$ になるようノイズを付加している。

#### 3.1 受信電力の変動と誤りパーセル発生の様子

実験時の受信電力の変動の様子を第3図に示す。

(a)は仰角9度の地点における受信電力であり、常時5~7 dBの変動が見られた。(b)は仰角4度の地点での受信電力の変動の様子であり、常時10 dB以上の変動があった。変動の周期は(a)に比べ大きくなっている。このようなフェージングの性質の違いにより、データフレームの誤り方も差異が生じている。

フレームタイプF256-16の受信データより、連続した8パーセルを抽出し、その中の誤りパーセル数を時系列表示したものが第4図である。横軸はパーセル単位で時間を表示している。以下各図の(a)(b)は第3図の(a)(b)に対応している。

第4図に示したように、受信電力の変動の周期が長い(b)において誤りパーセルの多発する時間が長い様子がわかる。

#### 3.2 1フレーム中の誤りパーセル数の分布

1フレーム中の誤りパーセル数の分布を第5図に示す。横軸は誤りパーセル数の1フレーム中の全パーセル数に対する比率(以下誤りパーセル比)、縦軸は確率密度である。

(a)(b)共に各フレームタイプにおいて、誤りパーセル比が最も小さいものが最も多い。これは1フレーム中1パーセルのみ誤っているものの比率が最も多く、フレームの大半は誤りなく伝送されているものが多いことを示している。ただし、この傾向は(b)の場合やや弱まっている。これは受信電力の変動周期が長いために複数のパーセルにまたがって誤りを引き起こす確率が高いためである。

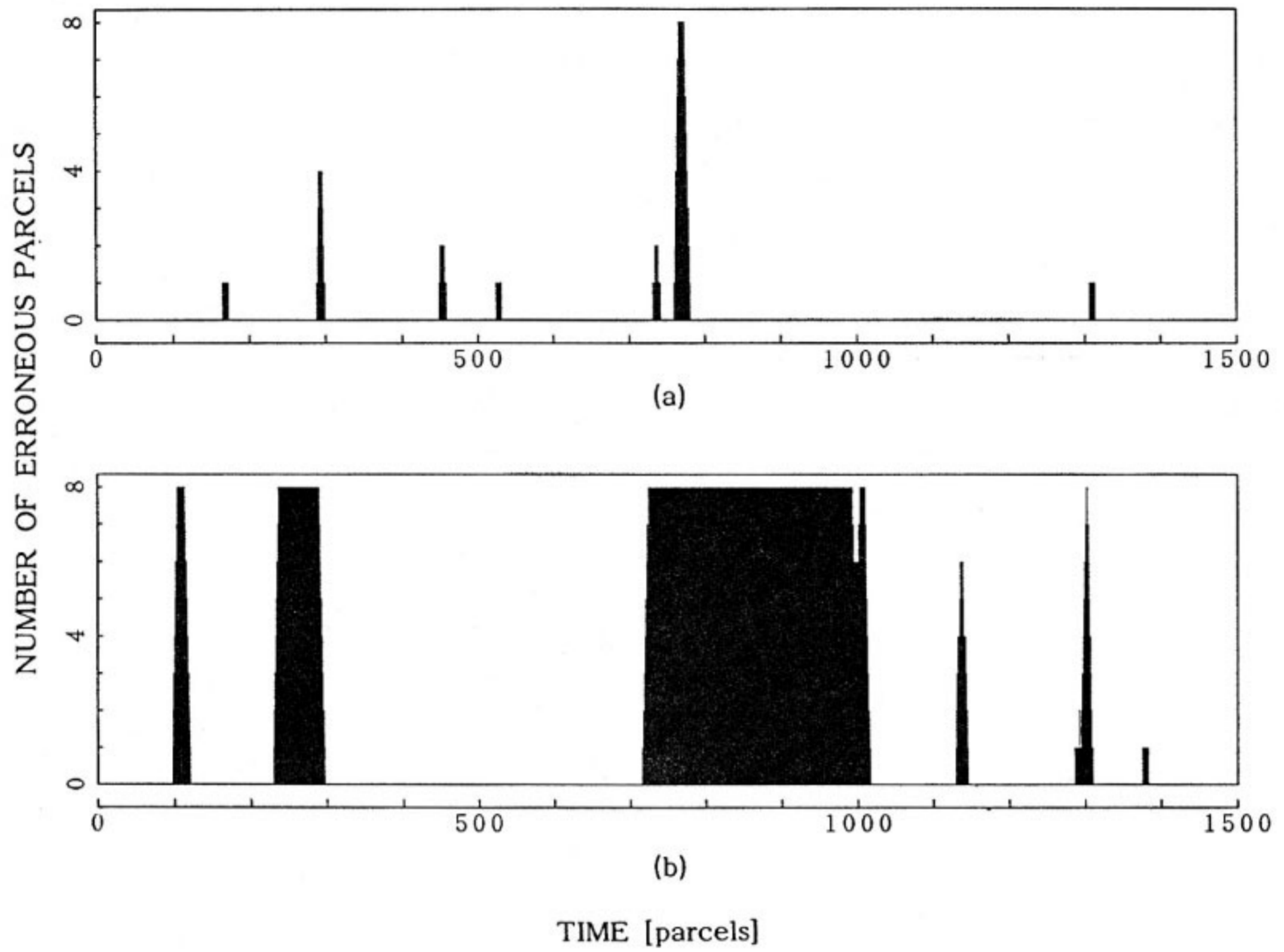
いずれの場合もフレーム長あるいはパーセル長を適切に設定し、誤っていない部分を救済することができれば効率的なデータフレームの伝送が実現可能である。

#### 3.3 回線品質劣化特態の継続時間分布

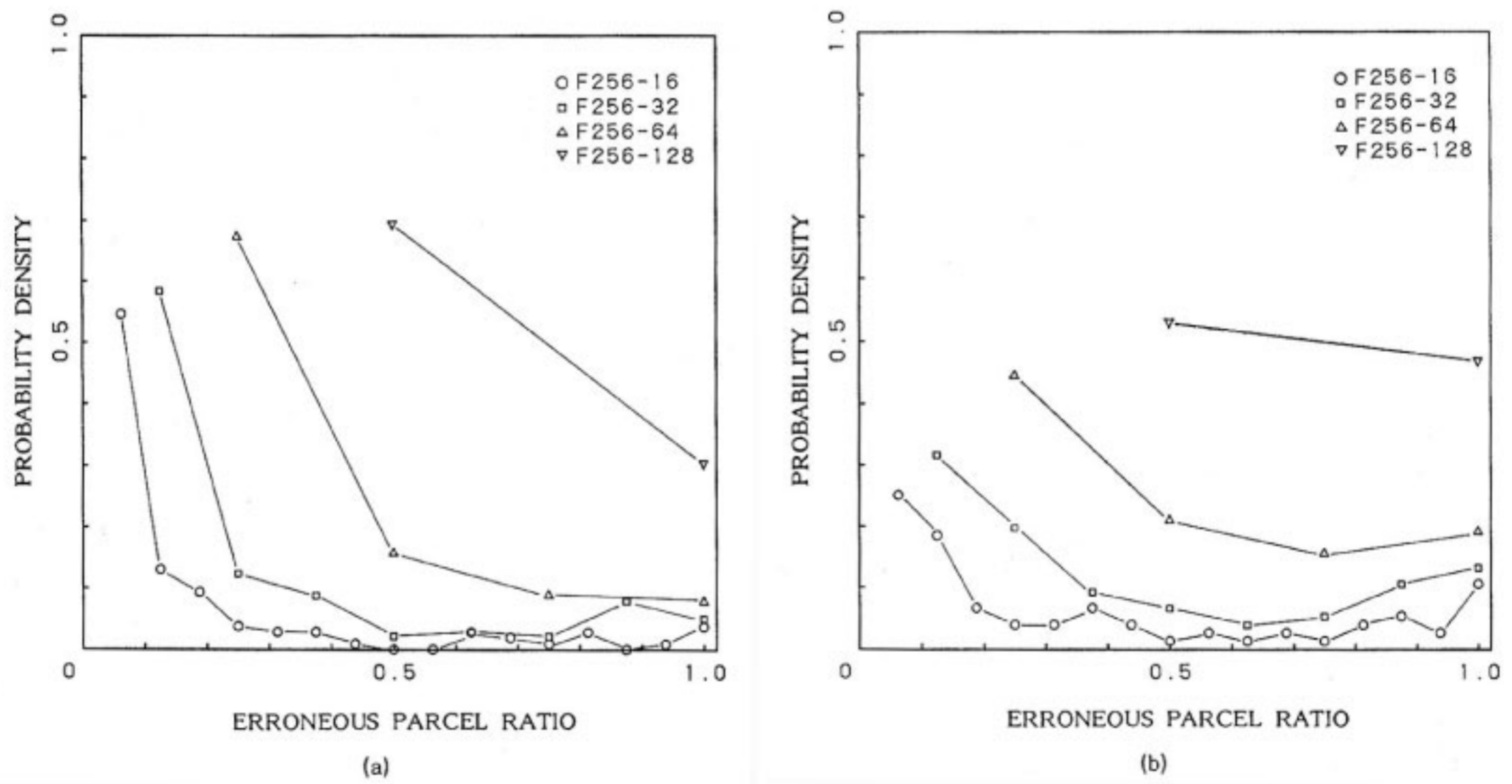
回線状態が良好で安定しており誤りがランダムに起こる場合は、誤りパーセルが連続的に起こる確率は低いが、フェージングによって回線品質が劣化している場合は連続的に誤りパーセルの発生する確率が高くなる。そこで連続した3パーセル中2パーセル以上誤っている状態を回線品質劣化状態と定義し、その継続時間の累積分布を測定した。この回線品質劣化状態は通信回線のBER特性が同一であってもパーセル長によって変化するため、パーセル長の適正値を求めるための定量的な指標となり得る。

実験結果を第6図に示す。横軸は回線品質劣化状態の継続時間であり、比較を容易にするためフレーム長で正規化している。縦軸はその累積分布である。

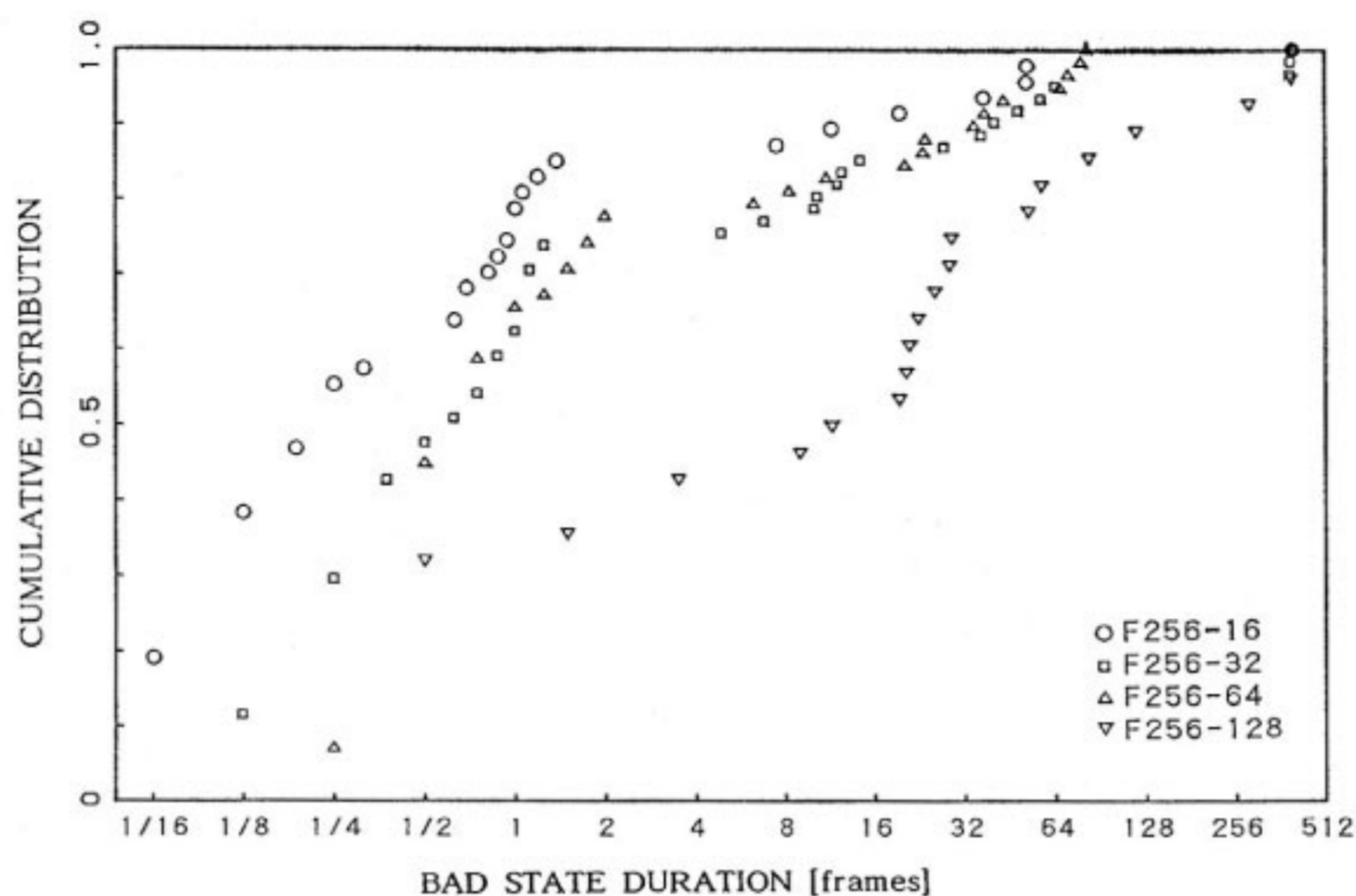
(a)では累積分布で90%となる回線品質劣化状態の継



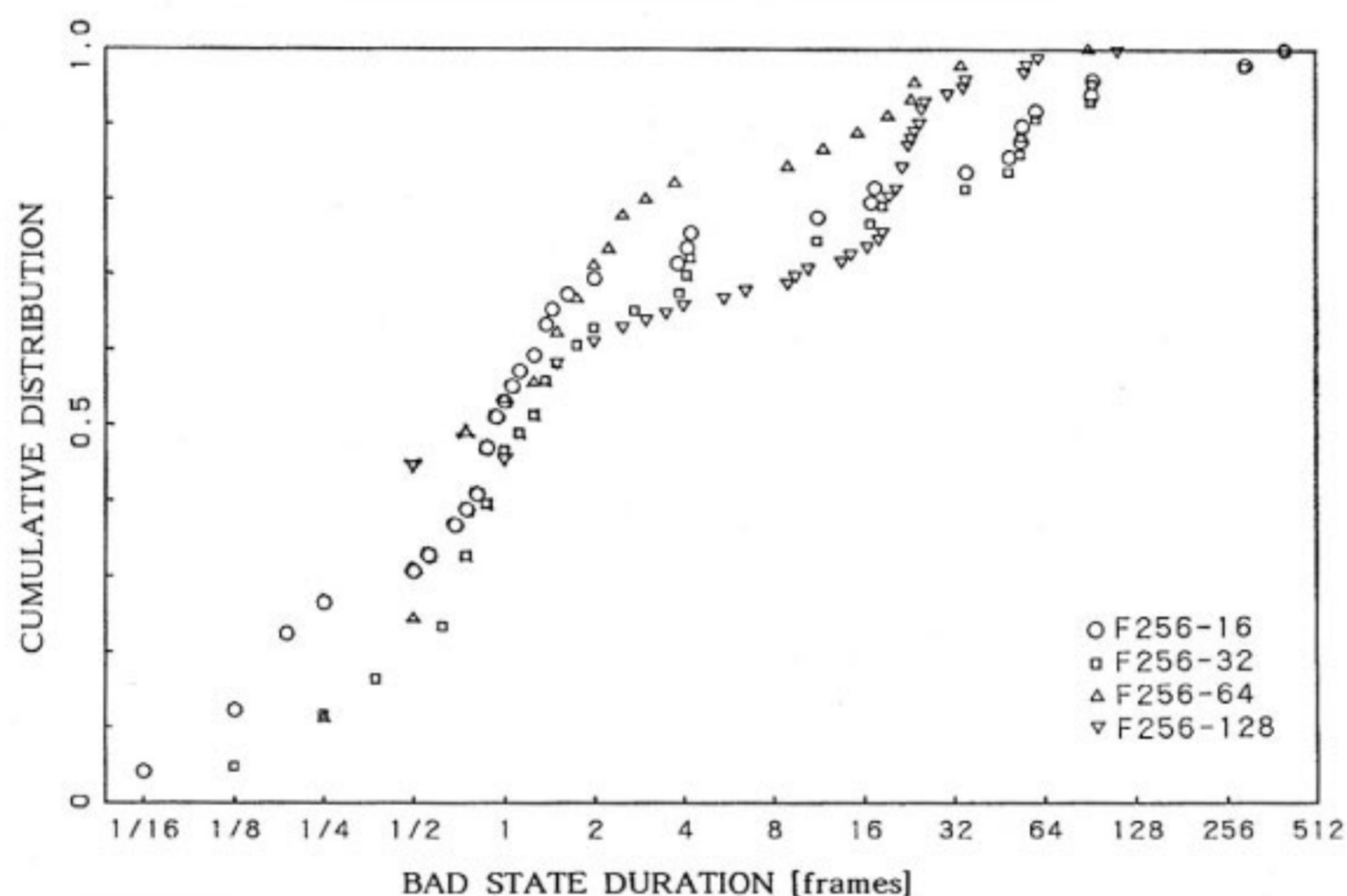
第4図 誤りパーセル数の時系列変動



第5図 誤りフレーム中の誤りパーセル数分布



(a)



(b)

第6図 回線品質劣化状態継続時間の累積分布

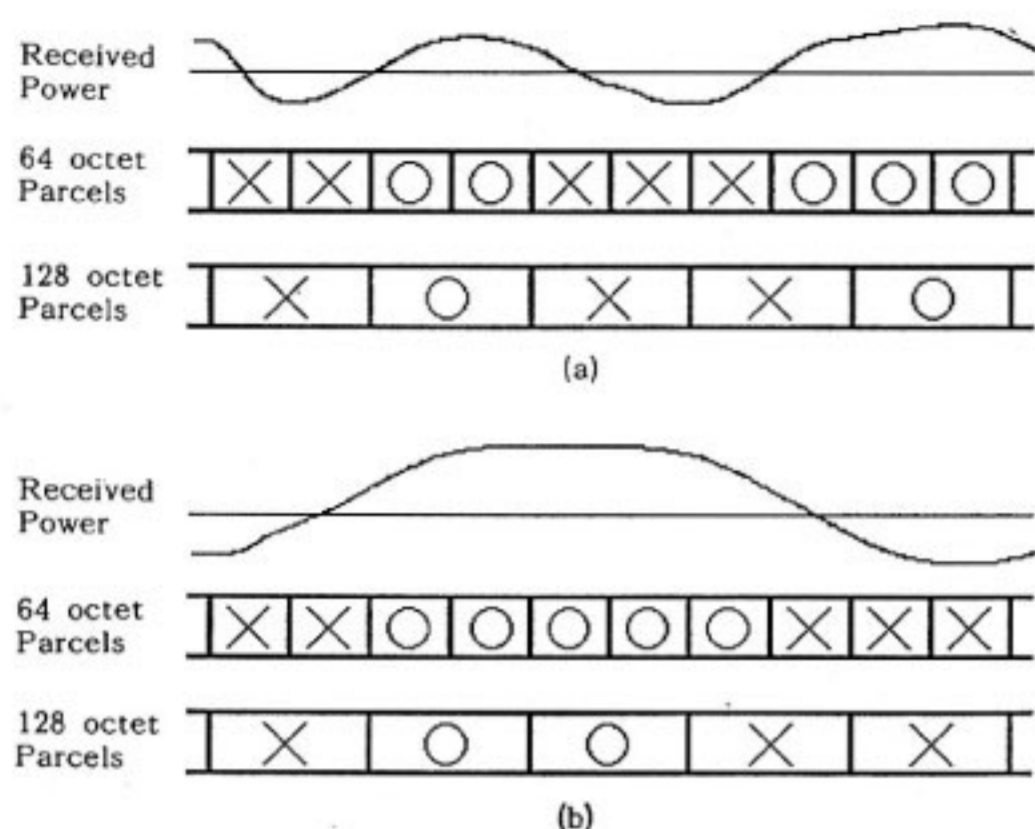
継続時間は、F256-16、F256-32、F256-64、F256-128でそれぞれ約11、25、40、130フレーム以下である。このようにパーセル長が長くなるにしたがって回線品質劣化状態の継続時間が長くなっている。特にF256-128の場合に著しく継続時間が長いのは、第7図(a)に示すように64オクテット以下のパーセルに対しては2個以上連続的に誤り無く伝送できる確率は高いが、受信電力の変動周期が比較的短いため、128オクテットのパーセルに対しては2個以上連続的に誤り無く伝送できる確率が低かったことによると考えられる。

このような条件下で伝送効率を上げるためには、パーセル長は128オクテットより短く設定することが必要で

ある。

一方第6図(b)ではパーセル長による差が少ない。これは、第7図(b)に示すように、受信電力の変動周期が比較的長く、良好な受信状態にあっては128オクテットのパーセルにおいても2個以上誤りなく伝送できる確率が高かったため、全てのフレームタイプで大きな差が表れなかったものと思われる。このような場合、パーセル長を128オクテット以下にすることによる伝送効率の改善は期待できない。更に大きなパーセル長を用いて、第6図(a)におけるF256-128の場合のような著しい劣化の見られない範囲で最大のパーセル長を選択することが適切であると言えよう。





第7図 フェージング周期とパーセル誤り発生特況

このように、回線品質劣化状態の継続時間を用いることによって、1フレーム中の誤りパーセル数の分布でみられた以上に、明確に伝送特性の違いを表すことができた。

今回は、回線品質劣化状態の判定基準として3パーセル中2パーセル誤った状態を用いたが、この妥当性には検討の余地がある。しかし、パーセル長の最適値を選ぶ指標として、回線品質劣化状態の継続時間の累積分布を用いる方法は有効な手段であると思われる。

#### 4. おわりに

船舶衛星通信におけるデータ通信実験について、実験内容、結果及びその解析結果を述べた。

本実験では、パーセル化したフレームフォーマットを導入し、ヘッダ部分のオーバーヘッドを減少させ、またフレーム内の誤り発生状況を詳細に把握できた。

その結果、フレーム状のデータを伝送する場合、受信電力の変動周期の影響がその誤り特性に大きく影響している様子がわかった。特に回線品質劣化状態の継続時間を用いることにより、フェージングの状態の差異によるデータ伝送特性の違いが明確になった。また、効率的な伝送を行なうための適切なパーセル長を推定することも

できた。

今回の実験は船舶局を対象としたものであったが、移動体衛星通信では移動局の種類、あるいは周囲の状況によってもフェージングの性質は大きく異なってくる。したがって状況の変化に柔軟に対応可能な誤り回復方式が必要とされるものと思われる。

現在この実験結果をもとに、適切なパーセル長と送信手順の改善による、効率の向上及び伝送遅延の低減を目指した新しい誤り回復方式の研究を進めている。

#### 謝 辞

実験実施にあたり御協力頂いた ETS-V/EMSS グループの関係各位に感謝致します。また、日頃有益な御助言をいただく手代木関東支所長、大森第二宇宙通信研究室長及び実験の遂行に御協力頂いた第二宇宙通信研究室の室員各位に感謝致します。

#### 参 考 文 献

- (1) A. K. kaul, "Performance of High level Data Link Control in Satellite communication", COMSAT Technical Review, 8, 1, 1978.
- (2) 松尾, 飯作, 滝塚, 小野, "衛星用高能率誤り制御プロトコルの提案", 信学論, (B), J67-B, No. 8, 1984.
- (3) 伊藤, 加藤, "衛星回線用データリンク制御手順", 電波季, 32, 163, pp. 153-163, 1987.
- (4) 門脇, 川又, 川崎, "ETS-V/EMSS データ通信実験の概要", 昭63信学会秋季総全大 B-95, 1988.
- (5) 門脇, 川又, 川崎, "移動体衛星通信におけるデータフレーム伝送誤り特性", 1989年信学会春季総全大 B-249, 1989.
- (6) D. J. Fang, F. T. Tseng, and T. O. Calvit, "A low elevation angle propagation measurements of 1.5 GHz satellite signals in Gulf of Mexico", IEEE Trans. Antennas Propag., vol. AP-30, no. 1, pp. 10-15, Jan. 1982.