

衛星通信環境での
パーソナル移動通信に関する研究

平成11年11月19日（金）

東北学院大学工学部
越 後 宏

1. はじめに

21世紀を目前にして、通信はパーソナル化、モバイル化そしてグローバル化が進んでいる。特に近年は、衛星通信環境の充実化に伴い、これらの傾向が強まっている。パーソナル化にあつては、端末の小型化、少消費電力化が必然であり、モバイル化には多機能の無線システムが必要である。そしてグローバル化にあつては、広範囲にわたるモバイル性を維持しなければならず、衛星通信システムが適している。

このような観点から、衛星通信環境下での新たなパーソナル移動通信の在り方を探究する意図のもとに、今回V S A T衛星通信システムを中心にいくつかの実験的検討を行った。本報告では、その概要を紹介する。なお、この研究は、まだ緒に着いた所であり、今後さらに研究を進めなければならないものである。

2. パーソナル衛星通信における課題¹⁾

この十数年で、衛星通信の大衆化が急速に進み、個人の社会活動に直接かかわるようになってきた。すなわち、放送用静止衛星、商用通信衛星が実用化時期に入り、ますます多様なサービスが提供されつつある。さらに近年、周回衛星が見直され、多数個の衛星を用いたグローバル通信も実用化されてきている。

通信用衛星には、高度で分けて、低軌道衛星、中高軌道衛星、静止軌道衛星、長楕円軌道衛星などがある。パーソナル移動通信には、端末と直接リンクできる低軌道衛星が適していると考えられている。ただし、伝送情報容量や電力の問題は今後解決されなければならない。中軌道衛星と地上基地局にリンクを張り、この基地局を中心に構成された移動通信用地上回線とパーソナル移動端末を無線で接続する系も実用されている。

最近のインターネットの爆発的な発展により、従来よりも大量情報伝送が強く求められ、周波数帯も超短波からマイクロ波、ミリ波の領域の利用が進んできている。このとき衛星追尾の不要な静止衛星系が適している。しかしながら、マイクロ波、ミリ波帯域にあつては、降雨、降雪、降霜、霧、乱流など大気現象の影響が避けられず、その対処法が課題となっている。

パーソナル通信にあつては、少電力消費化と小型化が求められる。そこで、本研究では、受信にあつては、より小型のアンテナを多数用いることの妥当性を検討し、送信にあつては、送信電力制御すなわち、通常は送信電力を抑制しつつ、降雨減衰などの影響がある場合に、その送信電力を増加させるなどの制御手法について検討した。

本報告では、この2点について述べる。

3. 降雨減衰

ここでは、降雨減衰について基本的な事項を述べる。なお次を仮定する。

- 1) 電磁波の減衰は指数関数的である、
- 2) 雨滴は球状、
- 3) 一回散乱のみを考え、各水滴の寄与は互いに独立で加算的である。

簡単のために、半径 r の水滴が一様に分布しているとする。ここに、電力 P_t の平面波が入射した時、減衰し、受信電力 P_r は

$$P_r = P_t \exp(-kL)$$

で与えられる。ここに k は、その降雨部分における単位距離あたりの減衰係数である。減衰 A は、dB 表示にて、

$$A[\text{dB}] = 4.343 kL$$

である。減衰係数 k は、

$$k = nqt$$

と表わされる。ここに、 n は水滴密度 (数/体積)、 qt は水滴の減衰断面積で、水粒の寸法の関数であり、面積の単位で表わされる。すなわち、分布 $n(r)$ として与えられる。

qt は、水滴半径 r 、波長 λ 、水の複素屈折率 m の関数として与えられる。²⁾

波長に比べて粒子の寸法が充分小さいとき、 qt は、

$$qt = (8\pi^2/\lambda) \times \text{Im} \{ (m^2 - 1) / (m^2 + 2) \} \times r^3$$

で与えられるが、実際の雨粒は寸法が異なるので、雨粒寸法について積分することにより減衰係数が決定される。

$$k = \int qt(r, \lambda, m) n(r) dr$$

ここに $n(r)$ は、雨粒寸法の分布であり、雨粒半径 r が、 r と $r+dr$ の間に含まれる数 (単位体積あたり) は、 $n(r) dr$ で与えられる。

上記の k より、減衰率 α [dB/km] は、

$$\alpha[\text{dB/km}] = 4.343 \int qt(r, \lambda, m) n(r) dr$$

と与えられる。

伝搬方向距離 L [km] にわたり、降雨が一様でないとき減衰は、

$$A[\text{dB}] = \int \alpha dx$$

と与えられる。

一般に雨域中では、雨粒の大きさは一定ではなく、ある分布 $n(r)$ に従う。

また形状も完全な球ではなく扁平 (底の凹んだ扁平回転楕円体に近い形) といわれているが、寸法が小さいときは球形に近い。

雨滴寸法分布 $n(r)$ から、雨滴半径 r [mm] が r と $r+dr$ の間に含まれる個数 (単位体積あたり) は、 $n(r) dr$ で与えられ、これより地表面での雨粒の降下速度 (終端速度) $v(r)$ [m/s] を用いて、単位時間あたりの雨量 (降雨強度) R [mm/h] が、

$$R = 4.8\pi \times 10^{-3} \times \int v(r) r^3 n(r) dr$$

と与えられる。雨滴寸法分布 $n(r)$ としては、MarshallとPalmerが提案した、負の指数分布が良く知られている。

$$n(r) = N_0 \exp(-\Lambda r)$$

ここに

$$\Lambda = c R^{-d}$$

で、 c と d は実験定数である。MarshallとPalmer分布に対して、

$N_0 = 8 \times 10^3$, $c = 8.2$, $d = 0.21$ と与えられている。2)

このように、降雨減衰 Λ も降雨強度 R も雨粒分布 $n(r)$ により与えられることから、 Λ と R の間には統計的に密接な関係のあることが理解できる。

実際、多くの測定データによる統計から

$$\alpha = a R^b$$

の形が得られている。実は、この形は解析的にも導ける。

したがって、地上局の設置地点での降雨量の統計データから降雨減衰が推定できる。係数 a , b は、数表データと偏波面、仰角から算出できる。一方で降雨データから平均年の時間率0.01%となる降雨強度 $R_{0.01}$ が判れば、減衰率 α は

$$\alpha = a R_{0.01}^b \quad [\text{dB/km}]$$

であり、平均年の降雨減衰の0.01%値が

$$A_{0.01} = \alpha L_e$$

と与えられる。ここに L_e は等価経路長で、雨高度、仰角、 $R_{0.01}$ から求められる。他のパーセンテージ値については、

時間率パーセンテージ p として、

$$A_p/A_{0.01} = 0.12 p^{-0.546 + 0.043 \log p}$$

の様な近似式で与えられている。3) そのほか、各種の近似式が提案されている。

実測結果と推定曲線を図3-1に示す。

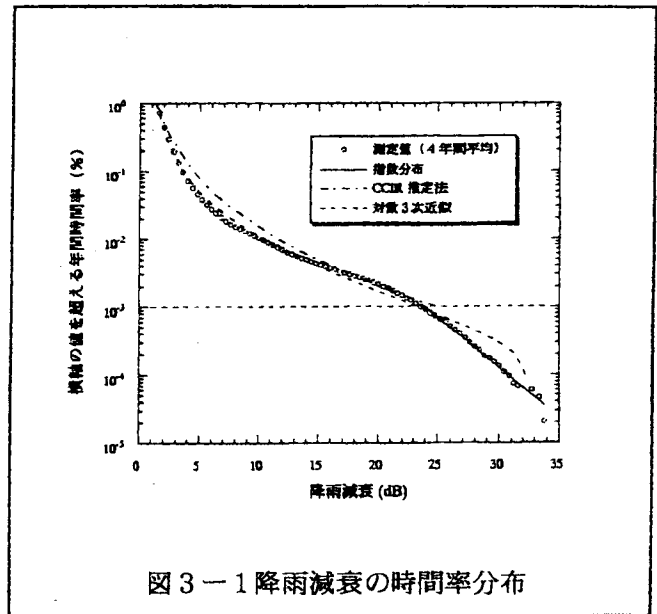


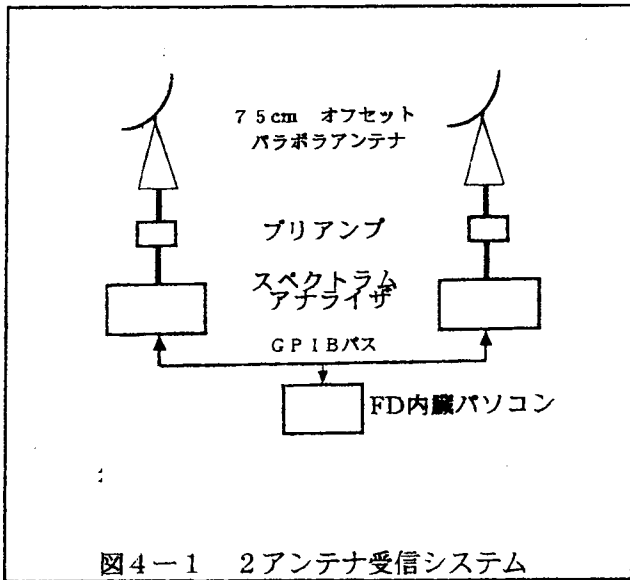
図3-1 降雨減衰の時間率分布

4. マルチアンテナ受信系

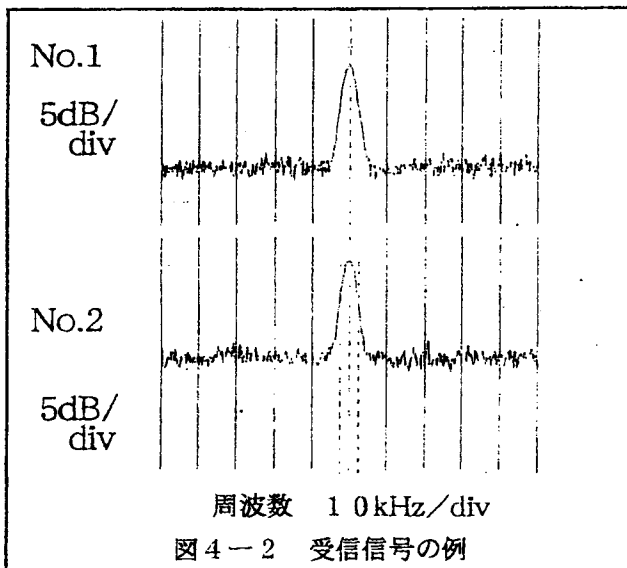
衛星通信を用いたパーソナル移動通信にあつては、小型化が要点となることは推測に難くない。そこでVSATシステムで用いたアンテナよりさらに小型のアンテナを使用し、衛星信号の受信の可能性を探ると共に、多チャンネル化によるダイバシティーの可能性について検討した。

図4-1にシステムの概要を示す。アンテナは径75cmの同規格のコンバータ付のメーカー製のものである。アンテナ間隔は約1000波長、約25m離して設置してある。2系統とも同じ型のスペクトラムアナライザを使用し、なるべく同じ受信系を

形成し実験測定している。各アンテナで観測した衛星信号の例を図4-2に示す。概ね同等の受信のできていることが判る。

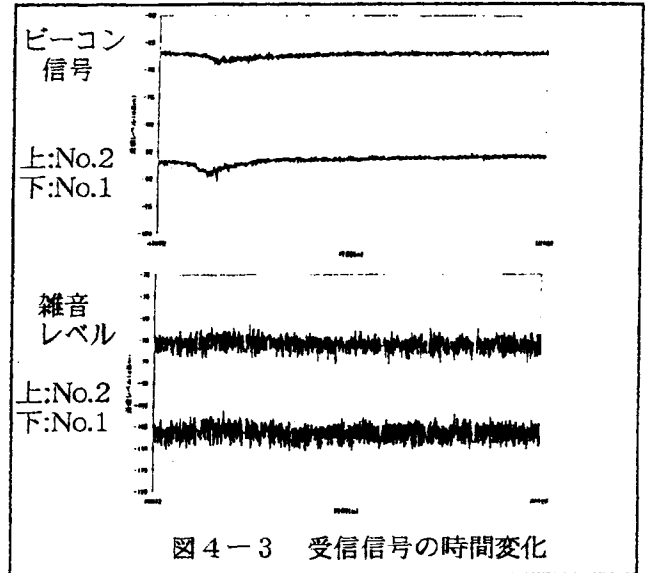


実際の測定には、パソコンを用い、2台のスペアナを設定、制御し、出力をデータとしてフロッピーに記録している。対象とした信号は、JCSAT1Bのビーコン信号で、ダウンリンク回線の減衰がわかる。



測定したデータの経時変化の様子を図4-3に示す。(a)は受信信号を、(b)は

雑音レベルの降雨時の変化の様子を示す。降雨減衰は極端に強いものではなかったことから、減衰もさほど大きくはない。



5. 送信電力制御の実験

前々章の通り、マイクロ波帯衛星回線においては雨による減衰が少なからず回線品質の低下を招いている。そこで、減衰に応じて回線品質を確保するため、送信電力を制御する事が考えられる。次に実回線における送信電力制御の実験ならびにシミュレーション結果について紹介する。

5-1 オープンループアップリンク電力制御

ダウンリンク信号の減衰量を知ることにより、アップリンクの減衰量を推定し、その減衰量を補償するようアップリンクの送信電力を制御する方法である。

系統図を図5-1に示す。

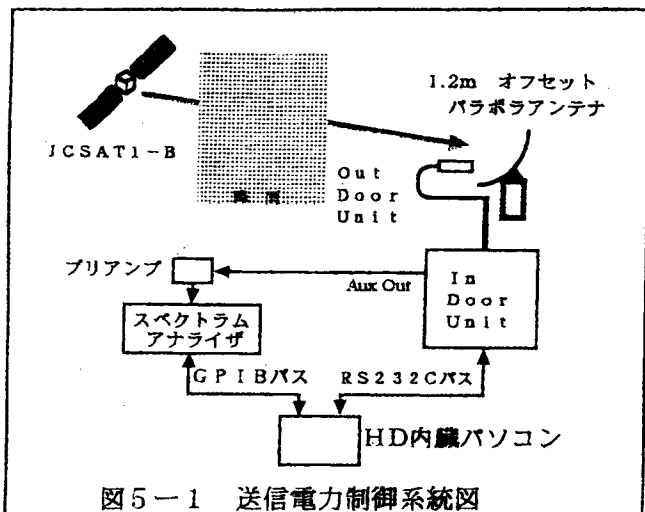


図5-1 送信電力制御系統図

この方式を採用するとき、あらかじめアップリンクのダウンリンクに対する降雨減衰比を知っておく必要がある。実測によれば、ダウンリンク信号が3 dB以上の降雨減衰を受けるとき、この減衰比は1.3となる結果を得ている。これをもとに、4秒毎に制御を行った結果を図5-2に示す。

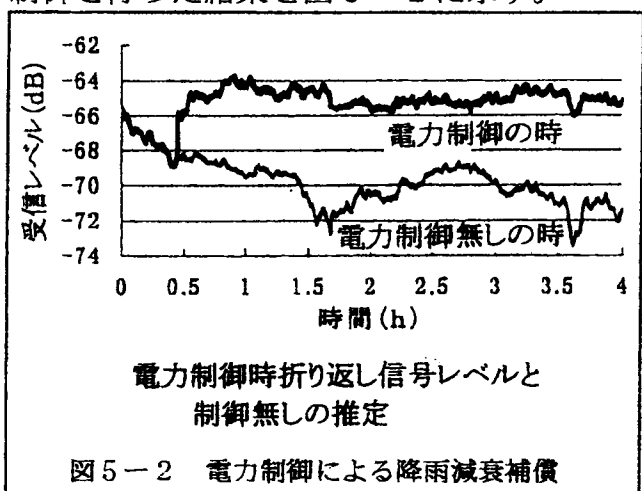


図5-2 電力制御による降雨減衰補償

制御範囲内で、±1.5dB以内の変動に抑え得ることができた。図中には、電力制御を行わなかったときの推定値（送信電力の制御量を差し引いた値）も合わせて示してある。なおこの実験では、結果を明らかにするため折り返し信号が一定となるよう送信

電力の制御を行っており、4秒毎のダウンリンク信号の受信レベルの30データ平均値を用い、送信電力を0.5 dBステップで制御している。

5-2 予測制御方式による電力制御のシミュレーション

良好な電力制御を実現するためには降雨減衰の変化の特性を知る必要がある。

4年間にわたり観測したデータを統計処理してもとめた降雨減衰変化速度の年間累積分布の平均結果を図5-3に示す。また降雨減衰量と変化速度とは例えば減衰量が大きくなるほど変化速度が速いという関連がある。そこで、降雨減衰に応じて送信電力を

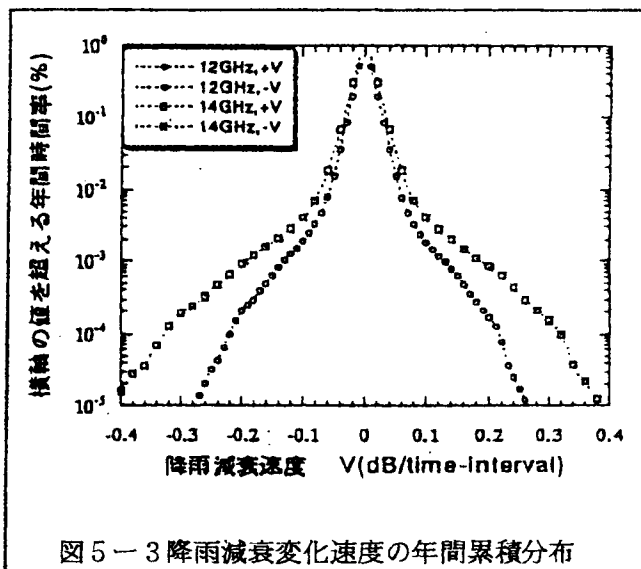
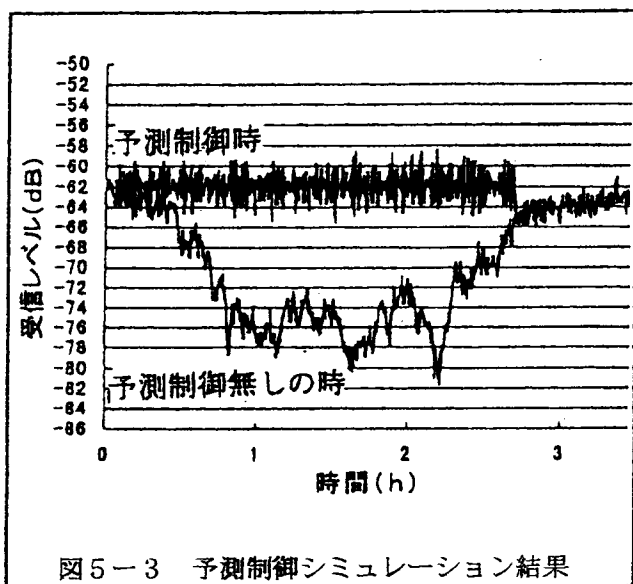


図5-3 降雨減衰変化速度の年間累積分布

制御するとき、この変化速度を考慮しつつ、過去のデータから制御量を予測し、制御することを考えた。シミュレーションの結果を図5-4に示す。総合制御誤差は、±2 dB以下となっている。この方式によれば降雨変化速度の速い場合に対しても、よ

り良好な制御が可能である。



6. むすび

衛星を活用したパーソナル移動通信は、将来とも広く普及することが予想されるが、その場合に利用されうる技法、すなわちマルチ受信アンテナ系と送信電力制御方式について検討した結果を紹介した。

前者についてはまだ実験検討すべき点が多く残されている。今後さらに精度の向上とアンテナ数の拡大などの検討を行う予定である。また後者にあつては、より簡便な方法の検討と電磁環境の問題等を検討して行く予定である。

最後に、多大な御支援を頂いた石田記念財団に、心より感謝申し上げます。

また、回線を使用させていただいた(株)日本サテライトシステムズと実際に設備の開発と実験に携わり、研究成果を上げた、本学の閻氏ならびに佐々木氏をはじめ、御協力いただいた諸兄に感謝致します。

[文献]

- 1) B.Miller, "Satellites Free the Mobile Phone", IEEE Spectrum (1998-03).
- 2) Ippolito, "Radiowave Propagation in Satellite Communications", VNR (1986).
- 3) J.Kang et al. "Three-Year Measurement by VSAT System and CCIR Estimation for Rain Attenuation in Ku Band Satellite Channel", IEICE Trans. Comm. Vol.E79-B, no.5 (1996-05).
- 4) 閻ほか, "Kuバンド衛星回線における送信電力制御の実験的検討", 1999年電子情報通信学会総合大会 B-3-27 (1999-03).
- 5) 康、大沼ほか, "Kuバンド衛星通信回線における降雨減衰変化速度の特性", 信学論B-II, Vol.J80-B-II, 2 (1997-02).
- 6) 閻ほか, "Kuバンド衛星回線における降雨減衰の予測制御に関する検討", 平成11年度電気関係学会東北支部連合大会 2D9 (1999-08).
- 7) 佐々木智之 "2チャンネル衛星信号観測システム構築に関する研究", 平成10年度卒業論文.