

特集

## 3. 宇宙通信の基盤技術

3-7

## 電波伝搬環境と高稼働率化技術

唐沢好男

唐沢好男：正員 (株)エイ・ティ・アール光電  
波通信研究所

Wave Propagation on Earth-Space Paths and Countermeasures of Propagation Impairment. By Yoshio KARASAWA, Member (ATR Optical and Radio Communications Research Laboratories, Kyoto fu, 619-02 Japan).

## ABSTRACT

衛星通信で問題となる電波伝搬環境を、「用いられる周波数に起因する現象」と「サービスが提供される環境がもたらす現象」とに大別し、衛星通信と電波伝搬の関係を整理して述べる。その中で、高い周波数帯が用いられる場合に最も重要な問題となる降雨減衰と、マルチメディア時代の一翼を担うと期待されるパーソナル衛星通信の電波伝搬環境を詳しく取り上げ、これら伝搬推定法確立に至る背景に焦点を当てる。また、高稼働率化技術として「サイトダイバーシチ」、「衛星資源適応分配技術」、「衛星ダイバーシチ」を紹介する。

キーワード：降雨減衰，移動体衛星伝搬，サイトダイバーシチ，衛星資源適応分配技術，衛星ダイバーシチ

## 1. はじめに

衛星通信には固定通信サービスや放送サービス、更には移動体を対象としたサービスがある。また、用いられる周波数も準マイクロ波帯からミリ波帯まで広範である。電波伝搬劣化をもたらす要因は、用いられる周波数によるもの（高い周波数帯で影響が大きい降雨減衰など）とサービスが提供される環境がもたらすもの（例えば、移動体衛星通信サービスに特有な伝搬遮へいやマルチパスフェージング）とがあり、二つの側面からみる必要がある。

2. では、このような衛星通信と電波伝搬の関係を整理して述べる。3. では、高い周波数帯電波が用いられる場合に最も重要な問題となる降雨減衰を取り上げる。原因となる降雨の性質（日本の降雨事情）や降雨減衰の推定法の研究を紹介し、その対策としてのサイトダイバーシチ、衛星資源適応分配（Onboard Resources Adaptive Sharing）技術を述べる。4. では、移動体（パーソナル）衛星通信に着目し、非常に

複雑な電波環境ながら新しい伝搬モデルが構築されつつある現状を紹介する。また、高稼働率化の切札と期待される衛星ダイバーシチを取り上げ、緒についたばかりの研究の一端を述べる。

## 2. 衛星回線における伝搬劣化要因

図1は衛星通信で問題となる各種伝搬劣化要因を現象別に示したものである。固定衛星通信サービスでは、伝搬路上に遮へい物が存在しない見通し内回線であるため大部分の時間においては電波伝搬上の問題はない。それでもこれが問題として取り上げられるのは、回線の高信頼度が求められるためである。例えば、回線の年間稼働率を99.99%以上とするためには、0.01%以下の時間（1年間で約52分）でしか回線断が許されない。このように、まれにしか起らないような事象に焦点を当てると、そこには豪雨によってもたらされる電波の減衰や偏波特性（交差偏波識別度、XPDともよばれる）の劣化<sup>(1)(2)</sup>、磁気嵐発生に伴う電離圏シンチレーション（信号強度が激しく変動する現象）、地

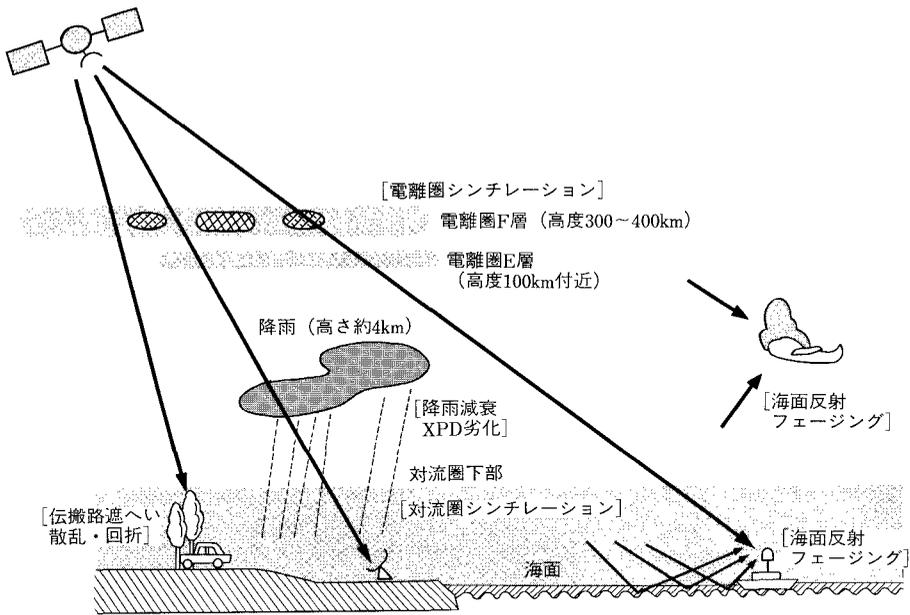


図1 衛星一地上伝搬路に発生する伝搬劣化要因

表大気の屈折率の揺らぎによって生じる対流圏シンチレーション等がある。どんなに元気な人でも、1年に1日くらいは風邪や二日酔いで体調を崩し、医者のお世話になろう。医者はこのようにして常時病人ばかりを診ることになるが、それは「一人一人がいつも不健康状態である」ということでは決してない。電波伝搬の問題認識は、医者視点と共通するところが多いと筆者は考えている。

固定衛星通信の場合には、自然現象（電波気象）の影響を受ける形で伝搬問題が発生し、そ

れぞれの現象特有の周波数・衛星仰角・地域・季節依存性をもつ。表1は、各現象について、その原因・特徴・対策をまとめている。それぞれの詳細については、本分野を対象としてまとめられた教科書<sup>1)</sup>を参照されたい。降雨減衰については3.で詳しく述べる。

移動体衛星通信の場合にはそのサービスの対象とする環境に起因して伝搬問題が生じる。表2は四つのサービス「海事衛星通信（船舶を対象とした通信：MMSS）、航空衛星通信（AMSS）、陸上移動体衛星通信（LMSS-V：Vehicular）、パーソナル衛星通信（LMSS-P：Personal）」について電波伝搬環境の特徴をまとめている<sup>2)</sup>。

海事衛星通信（MMSS）や航空衛星通信（AMSS）では直接波と海面からの反射波の干渉によって生じるマルチパスフェージング（海面反射フェージング）が主な伝搬劣化要因となる。移動局アンテナの小型化に伴って（すなわち、ビーム幅の広いアンテナが用いられるに従って）、直接波と海面反射波を共に主ビームで受信する低仰角運用時での信号強度の劣化が回線設計上の大きな問題となっている。また、

### 用語解説

**偏波特性の劣化** 偏波面（電界の振動方向）が本来の形からひずむこと。例えば、円偏波がだ円偏波に変るような現象。直交する二つの偏波に別々の情報を乗せて送ると干渉が生じる。

**等価通路長** 実効的な雨中伝搬距離。同じ時間率に対する二つの統計値（減衰量と降雨強度）を結び付ける仮想的な量である。時間の関数で与えられ、時間率が小さいところでは等価通路長も短い。

表1 衛星通信（移動体衛星通信を除く）の伝搬劣化現象とその特徴および対策

	降雨減衰	交差偏波識別度 (XPD) 劣化	対流圏シンチレーション	電離圏シンチレーション
発生原因	雨滴による吸収と散乱	雨滴の非球形（偏平）性 水晶	対流圏の屈折率の揺らぎ （主に水蒸気成分）	電離圏 F 層中の屈折率の乱れ（スプレッド F） スポラディック E 層の発生
特徴	周波数の増加と共に単調に増加 ( $f^{1.7}; f \leq 30 \text{ GHz}$ ) 周波数 10 GHz 以上で影響大 低仰角程減衰大 減衰の大きさは地域依存性大	周波数の増加と共に劣化増 低仰角では C バンドでも劣化が無視できない 発雷時に XPD が急変する観測結果もある	気温・湿度が共に高いときに大きなシンチレーションが発生する（熱帯地域や、中緯度地域の夏期に大） 仰角 $10^\circ$ 以下で仰角の低下と共に急激に増加 周波数依存性は比較的小さい ( $f^{0.5}$ 程度)	スプレッド F に起因するシンチレーションでは、太陽活動が盛んな年、その春分・秋分の季節、地方時の 20~24 時付近に発生しやすい（特に赤道地域）。 突然発生し 10 分~数時間持続する GHz 帯電波では低い周波数ほど影響大 ( $f^{-1.5}$ 程度) スパイク状変動もあり (QP シンチレーション: E 層の可能性大)
対策	サイトダイバーシチ 送信電力制御 衛星電力適応分配, 等	交差偏波補償装置 サイトダイバーシチ	特に積極的な対策は講じられていない	

表2 移動体衛星通信の電波伝搬環境とその特徴（表内の数値は L 帯での目安値）

サービス	MMSS 	AMSS 	LMSS-V 	LMSS-P 
性質				
通信環境	見通し内	見通し内	見通し内・見通し外混在	見通し内（一般に見通し外では通信成立せず）
伝搬劣化の主たる要因	海面反射フェージング	海面反射フェージング 大地反射フェージング	地勢, 地上構築物, 樹木による遮へい マルチパスフェージング	LMSS-V にほぼ同じ 人体（頭部）による遮へい
信号劣化の程度 （フェージング深さ*1） $C/M^{*2}$	10 dB 以内 6 dB 以上	8 dB 以内 7 dB 以上	環境条件により多様 （最大では 20 dB 以上） 0~10 dB~20 dB （多様）	10 dB 以内 6 dB 以上
変動の基本周波数成分	0.5~数 Hz 程度	20~数百 Hz	10~数十 Hz（マルチパスフェージング, 樹木遮へい） 1 Hz 以下長周期（地勢, 地上構築物遮へい）	数 Hz かそれ以下

\*1 フェージングの深さ: 信号強度累積分布の 50~99% 値

\*2  $C/M$ : 直接波成分電力と平均散乱波電力の比

航空衛星通信の場合には、直接波と反射波の伝搬遅延差が大きいので、周波数選択性フェージングの性質をもつようになる。

海面反射フェージングについては 1980 年代に国内外の各機関で精力的な研究がなされ、現在、回線設計に十分な精度を有する伝搬劣化推

定法が確立されている<sup>(3)</sup>。後述する陸上移動体・パーソナル衛星通信（総称して LMSS）に現れる複雑な電波伝搬環境に比べて現象が素直（＝粗面散乱理論が適用しやすい）であることがモデル化に幸いしている。

陸上移動体衛星通信（LMSS-V, -P）の場合は上記二つのサービス（MMSS, AMSS）の電波伝搬環境に比べて取り扱いが非常に難しい。市街地、郊外地といった大雑把な分類は可能であるが、中でも遮へい・回折・多重波伝搬などさまざまな伝搬劣化要因が混在して複雑多岐である。このため、伝搬モデルも、まだ個々の現象を表現するレベル（例えば、樹木による減衰や、孤立ビルの回折等）にとどまっている。一方で、パーソナル通信サービス（LMSS-P）の提供を目指した（低軌道）周回衛星システムの実現が目の前に迫っており<sup>(4), (5)</sup>、稼働率を精度良く評価するための電波伝搬モデルが早急に求められている。このようにニーズが先行する中で、その期待に応えるべく電波伝搬の研究が進められている。これに関しては、4. で詳しく述べる。

### 3. 降雨減衰と対策

#### 3.1 降雨の性質

降雨減衰は周波数が高いほど大きな影響を受け、10 GHz 以上の周波数が用いられる衛星通信においては回線設計上最も大きな伝搬劣化要因となる。降雨減衰の正確な把握は、降雨そのものの（統計的）性質を知ることには帰着する。これまでに、年間総降水量や1時間単位での降水量データについては、世界各国の気象観測機関によって膨大な蓄積がある。しかしながら、1時間より短い時間の変動まで精度良く推定するにはもっと短い時間間隔（＝積分時間）で測定した降雨強度分布が必要になる。これまで提案されている降雨減衰推定法の大部分は降雨情報として「1分間降雨強度」の統計値を入力値として計算を行う方法である<sup>(4)</sup>。ここで1分間降雨強度とは1分ごとの降雨量を60倍し、mm/hの単位で表した降雨強度である。

1分間降雨強度測定は気象観測機関の定常測定ルーチンに入っていないので、伝搬研究者が伝搬実験の一環として独自に取得したものや、気象台の膨大なチャート記録から読み取り、それを解析した結果が報告されている<sup>(6)~(8)</sup>。このようなデータがある地域は限られているので、日本全国、あるいは全世界を対象とする場合には、入手可能なデータからの推定が必要になる。年間総降水量や雷雨発生率から推定する Rice-Holmberg の方法<sup>(9)</sup>が世界的な標準になっているが、日本の場合には、雷雨よりは台風の影響が支配的であるため、むしろ年間総降雨量から推定の方が良いことが森田により明らかにされ、これに基づく推定法によって日本全国の1分間降雨強度マップも作成されている<sup>(6)</sup>。

ところで、日本では1975年から気象庁による地域気象観測システム（アメダス）が稼働しており、日本全国1,300か所以上（平均17 km 間隔）でオンラインによるデータ収集が行われている。アメダスの降水量測定は1時間ごとに行われるため、ここで得られる降雨強度データは1時間降雨強度データである。そこで、年間総降雨量よりはるかに情報量の多い1時間降雨強度データを用いた1分間降雨強度分布の推定法が、細矢および筆者らにより開発されている<sup>(10), (11)</sup>。後者の手法によってアメダスデータから求めた日本全国の1分間降雨強度のマップも作成されている<sup>(12)</sup>。

上述の推定法やそれに基づく推定値は、長い年月を対象とする平年値である。一方、年ごとにみると降雨強度統計値は20~30%程度ばらつくことが知られている<sup>(13), (14)</sup>。このため降雨強度分布の安定した推定値を得るには最低10年程度の観測が望ましい。それでも、非常に大きな集中豪雨に見舞われると、それまでの10年間の統計値をその1回の事象によって10%も変えてしまう例がある<sup>(12)</sup>。

#### 3.2 降雨減衰推定法

降雨減衰推定法の確立は衛星通信初期のころからの大きなテーマであり、これに必要な伝搬データの取得が国内外の機関で精力的に行われ

てきた。また、これらをベースとした種々の降雨減衰推定法が提案されているが、基本的には以下の概念（基本式）に集約できる。

$$A(p) = \gamma \{R(p)\} L_e(p) \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

すなわち、時間率 ( $p$ ) の関数で与えられる降雨減衰量  $A(p)$  は、その時間率に相当する 1 分間降雨強度  $R(p)$  が一定区間 (=1 km) 一様に存在するときの減衰量  $\gamma \{R(p)\}$  [減衰係数 (Specific attenuation), 単位 dB/km] と降雨伝搬路の等価通路長<sup>(14)</sup>  $L_e$  [単位 km] の積で表される。減衰係数  $\gamma$  には、上述の降雨強度のほか雨滴の粒径分布や落下速度が、等価通路長  $L_e$  には雨域の高さや広がり、衛星仰角がパラメータとなる。

降雨減衰推定法は、無線通信の国際的な諮問機関である ITU-R (旧 CCIR) の場で議論され、それに基づき勧告手法が定められている<sup>(15)</sup>。勧告手法は会議の都度、必要に応じて改訂されているが、現在の勧告手法は筆者等の提案<sup>(16)</sup> が反映されたものになっている。時間率 0.01 % 値に相当する減衰量を上記式(1)で求め、他の時間率に対しては時間率の関数のみで与えられる数式によって分布を決定する極めて簡易な手法である。より実際に近い物理的特徴を取り入れたり、複数の時間率の降雨強度データを使用した改良提案も盛んであるが、精度的に現行手法を明確に凌駕するものではなく、ここ数年、本質的な改訂はなされていない<sup>(15)</sup>。

最近では、その性質がまだ解明されていない熱帯地域（非常に激しい豪雨が多い）における降雨観測や減衰特性<sup>(17)</sup>、中緯度地域でもこれまで対象外であった時間率 0.001 % 以下の強雨による減衰特性の解明<sup>(18)</sup> に研究の視点が移っている。

### 3.3 降雨減衰対策

降雨減衰対策としては「サイトダイバーシチ」が最も効果が大きい。これは、降雨域（降雨セル）のサイズ以上に離れた複数地点（通常 2 か所）に地球局を置き、降雨減衰の小さい方の局を選択して通信を行う方式で、大きな効果が予想されることは直観的にも自明である。これに

についても実験データが積み重ねられ、実用的に十分な精度をもつサイトダイバーシチ効果推定法ができている<sup>(11)</sup>。

新しい技術として、次世代の放送型サービス等において検討が進められている「衛星資源適応分配技術 (Onboard Resources Adaptive Sharing)」<sup>(19)</sup>を紹介する。これは限られた衛星の資源 (Onboard resources, 例えば、電力や周波数) を全体の余剰分 (マージン) の中から、不足しているところに適応的に振り分けようとするものである。図 2 はそのイメージで、各々のマルチビームに対して降雨減衰のあるビームに多くの電力が振り分けられている様子を示している。衛星電力を適応分配するシステムでは放送型サービスのような衛星下り回線に対してのみの効果となるが、衛星の送受信アンテナの指向性を制御して降雨エリアに鋭いビームを向けることができるようになれば、上り下り両回線に対して効果が期待でき、通信への適用も可能となる。

この方式の効果は、

- ① ビーム数
- ② 全体での電力マージン
- ③ 平均降雨エリアの大きさがサービスエリアの大きさに占める割合
- ④ エリア全体における降雨情報の正確な入手方法

等に依存する。前述のアメダス降雨データやリアルタイムの降雨減衰データの利用を想定した効果の定量的な把握についても検討がなされている<sup>(20), (21)</sup>。予備的な検討ではあるが、日本全体をビーム数 12 でカバーするシステムでは、アメダスデータのみ利用によって、不稼働率を半分以下にできるという結果が得られている<sup>(20)</sup>。また、実際の受信強度情報を加えることによって、更に大きな効果を有することも、報告されている<sup>(21)</sup>。より詳細な検討のためには、降雨の大規模空間相関特性の把握等、電波伝搬の研究が重要である。

本方式は、資源の有効利用という点で非常に合理的な対策であるが、降雨域の大きさに比べ

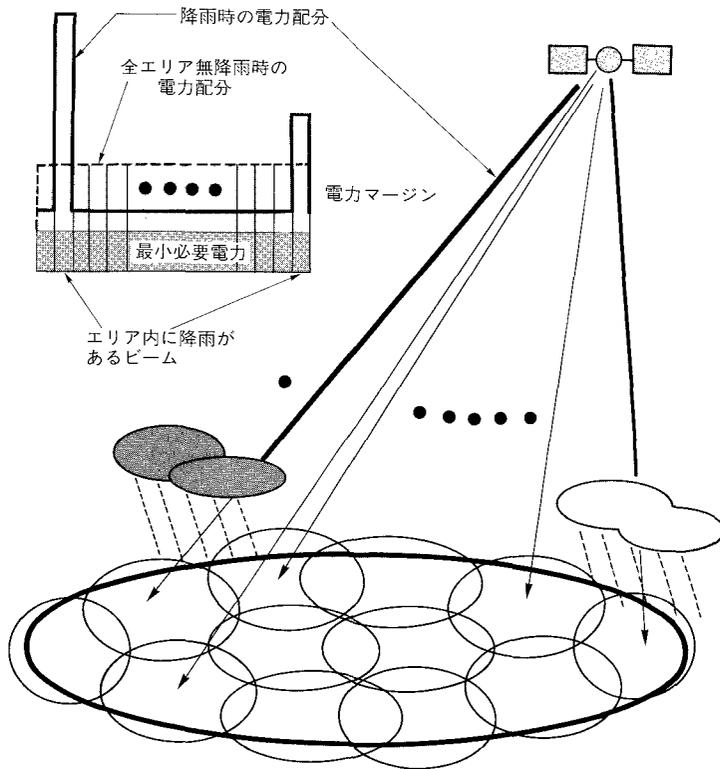


図2 衛星資源(=電力)適応分配による降雨減衰対策 全体の余剰電力の中から降雨によって信号が減衰しているビームに集中的に電力を割り振る。不足しているところに余裕のあるものが余剰分を提供する「助け合い精神」の実践

て十分広いエリアを多数のビームでカバーする方式に対して大きな効果が得られる原理であるため、日本の気象環境がそれに適しているか等、電波伝搬やシステム設計の観点から、更に検討が必要と思われる。

#### 4. パーソナル衛星通信の伝搬環境と衛星ダイバーシチ

##### 4.1 LMSS 電波伝搬環境

将来、マルチメディアサービスを移動通信環境で実現するための衛星通信ネットワークの一つの形態として多数の衛星で構成される周回衛星システムがある<sup>(4),(5)</sup>。通信リンクは「移動ISDN」を実現する一つのパイプを担うことになるため、固定系と同等に近い通信品質が望まれる。しかしながら、衛星回線は設計上 10 dB

以上の大きなマージンをとることが一般に困難であり、ビル等による遮へいがあると通信ができなくなる。

陸上移動体衛星通信の電波伝搬の研究に関しては、これまで自動車走行時(LMSS-V)の伝搬特性を明らかにするため、ETS-V衛星などの静止衛星を利用した伝搬実験や地上高所からの電波を擬似衛星信号とみなした伝搬実験により多くのデータが取得されている<sup>(22),(23)</sup>。それにもかかわらず、実用的な(すなわち、回線設計に利用できる)伝搬モデルはまだ確立されていない。これは、市街地、郊外地といった極めて複雑な電波伝搬環境でのモデル化が非常に難しいためである。加えて、最近では、非静止衛星によるパーソナル通信(LMSS-P)や衛星ダイバーシチ運用など、求められる電波伝搬モデ

ルも多岐にわたっている。そのような中で、筆者らのモデル化の試みを紹介する<sup>(24)~(26)</sup>。

図3はこれを示したもので、三つの伝搬状態（状態A：見通し内伝搬の状態，状態B：樹木等による中程度の遮へいが存在する状態，状態C：ビルや山等により直接波が完全に遮へいされている状態）によって表現する伝搬チャネルモデル（3状態モデル）である。それぞれの状

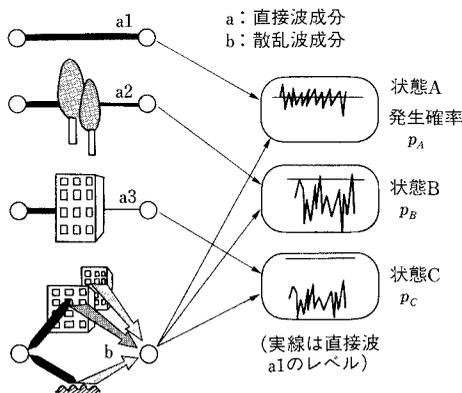


図3 陸上移動体衛星通信の伝搬劣化要因と3状態伝搬モデル 各々の状態でのレベル変動の確率分布を調べ、これを発生確率で重み付け加算すると全体の確率分布が求められる。3状態の遷移確率を調べれば、状態推移を表すマルコフモデルができる

態をその状態にあった確率密度関数で与え、各々の状態の発生確率を考慮して合成することにより全体の確率密度関数が求められる。このモデルによって、これまでの実測データをうまく説明づけることができる<sup>(24)~(25)</sup>。

上記モデルによって求められる伝搬劣化量に対する最も支配的なパラメータは衛星見通し率（すなわち、状態Aの発生確率）である。この値が小さいと信頼性の高いサービスが提供できない。日本の場合、仰角30°において、市街地ではおよそ50%、郊外地で80%と推定されている<sup>(26)</sup>。最近、海外では魚眼レンズカメラを用いて市街地等の画像データを取得し、これを解析して各状態の発生確率を明らかにするという研究が進められている<sup>(27)</sup>。今後、この種のデータが多く報告されてくるものと期待できる。

#### 4.2 衛星ダイバーシチ

上述のように陸上移動体衛星通信（LMSS）では伝搬路遮へいの確率がかなり高く、この克服が大きな課題となっている。

この対策として、衛星数に余裕をもたせ1地点で複数の衛星にアクセス可能とし、その中から常に最適な衛星（＝見通し内にある衛星）を

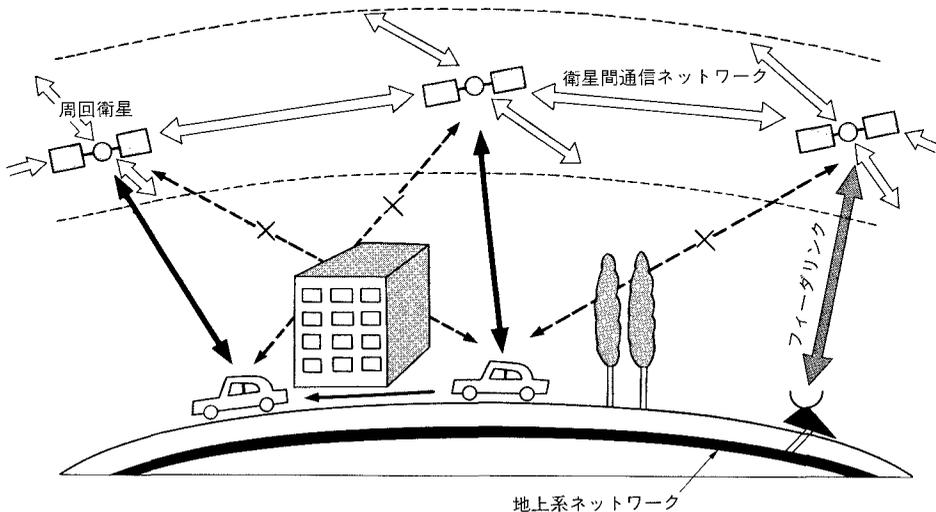


図4 非静止衛星通信システムにおける衛星ダイバーシチのイメージ 一つの地点が複数の衛星のゾーンでカバーされている。端末の移動や衛星の動きによって、伝搬状態は絶えず変化するが、常に伝搬状態が最も良好な衛星との通信を行うことによって、稼働率の高いシステムが実現する

選択しつつ通信を行う衛星ダイバーシチがある<sup>(28)</sup>。この衛星ダイバーシチは宇宙部分が衛星間通信で結ばれている構成によって初めて柔軟な通信制御が可能となる。図4は衛星ダイバーシチのイメージで地上の移動体が常に最適な衛星にパスを切り換えつつ通信回線を維持していく様子を示している。地上に端末をおいて通信する場合でも、周囲衛星では時々刻々衛星方向が変わっていくため、同様のダイバーシチ方式によって通信の高信頼化が実現できる。高度1,000 kmの軌道を想定した場合、仰角30°以上で最低2機見えるためにはおよそ400機の衛星が必要であるが、既に840機の衛星を用いるシステムの提案もなされており<sup>(29)</sup>、決して夢ではない。

現在は、まだ伝搬モデル構築の段階にあり、衛星ダイバーシチ方式の検討も緒についたばかりである。予備的な検討ではあるが、1機のゾーンでしかカバーされない状態において20 dB必要なマージン(郊外地)が、常時最低2機のゾーンでカバーされるとダイバーシチ適用によって5 dBに減少する結果も得られ<sup>(26)</sup>、高稼働率化の切札と期待できる。衛星ダイバーシチは、電波伝搬のみでなく、回線制御法等システム的な観点からの総合的な検討も必要である。

## 5. おわりに

高い周波数帯が用いられる場合に最も重要な問題となる降雨減衰と、マルチメディア時代の一翼を担うと期待されるパーソナル衛星通信の電波伝搬環境を取り上げ、推定法確立に至る背景に焦点を当てた。また、伝搬劣化の対策として本稿が取り上げた「サイトダイバーシチ」、「衛星資源適応分配技術」、「衛星ダイバーシチ」は、それぞれ形態は異なるものの、ダイバーシチ技術という点で共通する。これらの技術は新しいシステムに対する新しい試みであり、電波伝搬の研究がベースとなって、より深い検討がなされていくものと期待される。

## 文 献

- (1) 進士昌明(編)，“無線通信の電波伝搬”，電子情報通信学会，1992。
- (2) 唐沢好男，松戸 孝，南園健一，塩川孝泰，“移動ISDN時代の移動体衛星通信における不稼働率と稼働時間内信号劣化特性に関する考察”，信学論(B-II)，vol. J77-B-II，no.3，pp.121-129，March 1994。
- (3) ITU-R，“Propagation data required for the design of earth-space maritime/aeronautical mobile telecommunication systems,” Recs.680 (maritime) and 682 (aeronautical)，ITU-R SG 3，1994。
- (4) R.L. Leopold，“Low-Earth orbit global cellular communications network,” Mobile Sat. Comm. Sys. Conf., Adelaide, Australia, Aug. 1990。
- (5) H.-C. Haugli, N. Hart, and P. Posket，“Inmarsat's future personal communicator system,” Int. Conf. Mobile Sat. Comms., pp.303-304, 1993。
- (6) 森田和夫，“年間および強雨期における降雨強度分布の推定法,” 研実報(NTT), vol.27, no.10, pp.2249-2266, 1978。
- (7) 土井重行，“日本各地における1分間降雨強度の累積時間率分布(その1),” テレビ学技報, vol.12, no.47, pp.13-18, 1988。
- (8) 入江浩一，“1分間降雨強度累積時間分布とその推定法,” 信学論(B-II), vol. J72-B-II, no.10, pp.577-579, Oct.1989。
- (9) P.L. Rice, and N.R. Holmberg，“Cumulative time statistics of surface-point rainfall rates,” IEEE Trans. Commun., vol. COM-21, no.10, pp.1131-1136, 1973。
- (10) 細矢良夫，“日本各地の1分雨量分布の推定法,” 信学論(B), vol. J71-B, no.2, pp.256-262, Feb.1988。
- (11) 唐沢好男，松戸 孝，“日本全国を対象とする1分間降雨強度分布推定法,” 信学論(B-II), vol. J73-B-II, no.10, pp.518-527, Oct.1990。
- (12) Y. Karasawa, and T. Matsudo，“One-minute rain rate distributions in Japan derived from AMeDAS one-hour rain rate data,” IEEE Trans. Geosci. Remote. Sens., vol.29, no.6, pp.890-898, 1991。
- (13) 森田和夫，“降雨強度分布についての考察,” 研実報(NTT), vol.26, no.5, pp.1469-1480, 1977。
- (14) 唐沢好男，松戸 孝，“降雨減衰推定における安全係数の概念,” 信学論(B), vol. J71-B, no.6, pp.772-778, 1988。
- (15) ITU-R，“Propagation data and prediction methods required for the design of earth-space telecommunication systems,” Rec.618, ITU-R SG 3, 1994。
- (16) M. Yamada, Y. Karasawa, M. Yasunaga, and B. Arbesser-Rastburg，“An improved prediction method for rain attenuation in satellite communications operating at 10-20 GHz,” Radio Sci., vol.22, no.6, pp.1053-1062, 1987。
- (17) K. Nakamura, K. Okamoto, T. Ihara, J. Awaka, and T. Koza，“Conceptual design of radar for the Tropical Rainfall Measuring Mission,” Int. J. Satell. Commun., 8, pp.257-268, 1990。
- (18) 眞部利裕，吉田彰顕，“準ミリ波帯降雨減衰特性に関する一考察,” 信学論(B-II), vol. J78-B-II, no.1, pp.11-20, Jan.1995。
- (19) 正源和義，西田勇人，森下洋治，“放射電力可変型

- 21 GHz 帯全国放送衛星の検討,” 信学 '92 秋大, B-196, 1992.
- (20) 松戸 孝, 唐沢好男, 塩川孝泰, “AMeDAS データを利用した Onboard Resource Sharing による衛星回線降雨減衰補償効果,” 信学論 (B-II), vol. J76-B-II, no.5, pp.373-381, May 1993.
- (21) 西田 勇人, 正源和義, “放射電力可変型 21 GHz 帯放送衛星の電力分配シミュレーション,” 信学 '94 秋大, B-4, 1994.
- (22) J. Goldhirsh, and W. J. Vogel, “Propagation effects for land mobile satellite systems : Overview of experimental and modeling results,” NASA Ref. Pub, no.1274, 1992.
- (23) 郵政省通信政策局監修 (ETS-V/EMSS 実験推進会議編), “技術試験衛星 V 型 (きく 5 号) 実験.” (財) 電子通信振興会, 1990.
- (24) Y. Karasawa, K. Minamisono, and T. Matsudo, “A Propagation Channel model for personal Mobile-Satellite Services,” proc. 1994 progress in Electromagnetics Res. Symp. (PIERS '94), ESA, 11-15, July 1994.
- (25) 唐沢好男, “移動体衛星通信における衛星ダイバーシチと伝搬チャンネルモデル,” 信学技報, A.P 94-36, pp.9-16, 1994.
- (26) 唐沢好男, 木村和宏, “移動体衛星通信における衛星ダイバーシチと伝搬チャンネルモデル [II],” 信学技報, A 95-45, pp.37-44, 1995.
- (27) R. Akturan, and W. J. Vogel, “Elevation angle dependence of fading for satellite PCS in urban areas,” Elec. Letters, Vol.31, 14, pp.1125-1127, 1995.
- (28) P.P. Robet, and B.G. Evans, “Land mobile satellite communication channel model for simultaneous transmission from a land mobile terminal via two separate satellites,” Int. J. Satell. Commun., vol.10, pp.139-154, 1992.
- (29) E.F. Tuck, et al., “The CALLING<sup>SM</sup> network-Global wireless communication system,” Int. J. Satell. Commun., vol.12, pp.45-61, 1994.



からさわ よしお  
唐沢 好男 (正員)

昭 48 山梨大・工・電気卒, 昭 52 京大大学院修士課程了。同年国際電信電話(株)入社。以来, 同研究所において無線通信の電波伝搬およびアンテナの研究に従事。平 5-06 より(株)ATR 光電波通信研究所。現在, 同社無線通信第 1 研究室長。工博。昭 57 年度学術奨励賞受賞。