

固定無線アクセス用 32GHz 帯都内降雨減衰特性

沢田浩和 浜口 清 小川博世

独立行政法人 情報通信研究機構

〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 3-4

E-mail: {sawahiro, hamaguti, hogawa}@nict.go.jp

あらまし 本研究は世界無線通信会議 (WRC-2000) において加入者系無線アクセスシステムとしての使用が新たに認められた 32GHz 帯の周波数について, 実験を通して当該アクセスシステムへの適用可能性を明らかにするものである. 特にミリ波帯を用いた高速無線アクセスシステムでは, トラフィックの輻輳時や降雨減衰が大きい場合に適応的なルーティングを行うことによって回線信頼度を向上できるようメッシュ状にリンク構成することが考えられる. そのために単一のリンクに対する影響だけでなく, 複数のリンクに連動する降雨の影響を解明することが重要となる.

1. まえがき

短期間で低コストに通信網を構築する方法として, 固定無線アクセスリンク (FWA) の使用は有効な一手段と考えられる. 特に準ミリ波やミリ波を利用する場合には, 波長の短さを生かして装置を小さくかつ軽量に構成できることや, その広帯域性を活かした大容量通信が可能になる長所がある[1]. 但しミリ波帯では降雨による減衰が大きな問題となる[2]. そこで回線設計を行うためには降雨の影響を推定する必要がある.

回線の稼働率を推定するためには, まず基本的な特性として降雨減衰確率分布が必要である. その場合の降雨量と降雨減衰量の関係は降雨減衰係数として表され, 同様な気候地域での回線設計に利用される. また近年の通信ではパケット化された情報による通信が一般的となっており, このような状況では降雨減衰量と降雨継続時間の関係が通信品質を決める重要な要素となる.

また回線の信頼度向上を図るために, 大きな減衰が発生したリンクを避けて通信品質を確保するルートダイバーシティが考えられており[3], その有効性を検討するには隣接するリン

ク間の降雨減衰差や降雨同時発生確率などを知る必要がある. 更にはシステムの最終的な構成としてFWAをメッシュ状に配置したFWAメッシュネットワークが考えられており[4], この場合に異なる偏波を利用した干渉抑制や広帯域化なども検討項目となる.

本報告ではこれらの各項目に対し, 高密度のFWAメッシュネットワークの設置候補として考えられる都市部を測定環境とした場合の結果を報告する.

2. 測定システム

使用周波数としては世界無線通信会議 (WRC-2000) にて承認され, 高密度 FWA への使用が検討されている 32 GHz 帯の周波数を選んだ. 試験はメトロポリタンネットワーク (MAN) での利用を想定し, 東京都内の青山を中心とした地域にトポロジをスター型とした 3 リンクを設置して行った[5, 6]. 測定機器の配置を図 1 に示す. 青山に受信機が設置されており, そこから南北 (麻布, 四谷) と東方向 (赤坂) に送信機を配置した 3 リンクで構成している. その中の赤坂-青山のリンクでは垂直, 水平偏波を受信できるようにしてあり XPD の測定が可能である. 各リンクは少なくとも第 1 フレネル内に障

害物はなく、伝搬距離は既存の降雨減衰理論とシステムの降雨マージンを考慮して 2 km 程度とした。分岐角については直角に近い 70.4° 、 107.2° が確保できたため、基本的な方形メッシュ状の配置を検討するには適した値と言える。また降雨量を測定するための雨量計も設置している。雨量計は送受信機と同じ場所とリンクの中間部、リンクの延長線上に配置されており合計 10 台で降雨量を毎秒測定している。測定は 2002 年 4 月から 2005 年 11 月現在まで継続されており、今回は主に 2005 年 3 月までの 3 年間の測定データに基づいた集計結果を利用している。

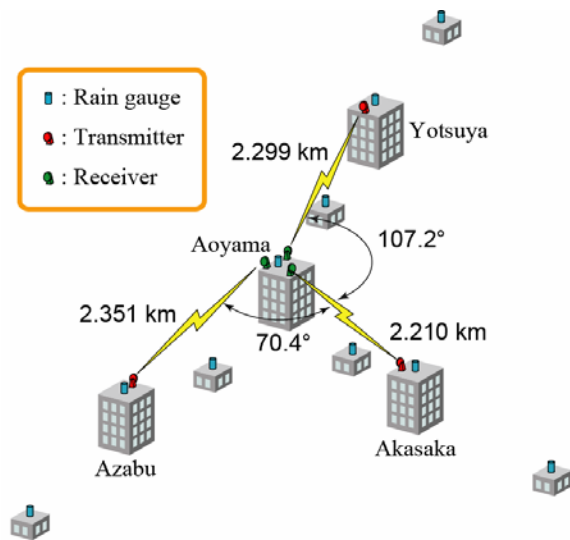


図 1 測定システム

表 1 測定機器諸元

測定装置	パラメータ	
ミリ波無線装置	周波数	32 GHz 帯
	変調	なし (CW)
	送信電力	200 mW
	偏波	垂直
	アンテナタイプ	パラボラ
	アンテナ利得	33 dBi
	アンテナ半値角	2.2 度
降雨計	検出方法	雨滴計数型
	最小計測精度	0.5mm/hr

3. 測定装置諸元

各測定機器の諸元を表 1 に示す。送信装置は、送信周波数 31.8GHz, 32.6GHz, 33.4GHz が各 1 台あり、送信波は無変調の正弦波 (CW) である。また送信偏波は垂直偏波であり、送信出力は 200mW である。赤坂-青山リンクについては水平偏波成分も測定している。アンテナは 25.5 mm ϕ のパラボラアンテナを使用し、アンテナ利得は 33dBi, 半値角は 2.2° である。ダイナミックレンジは 55dB 以上、水平偏波で 25 dB 程度を確保している。雨量観測装置は雨滴計数型を使用し、分解能は 0.0083mm/pulse であり、1 分降雨強度に換算すると 0.5mm/hr となる。また測定精度は $\pm 10\%$ である。

4. 降雨減衰分布

図 2 に年間平均の降雨減衰分布を示す。但し麻布-青山リンクについては諸事情により平成 16 年のみ 11 月～12 月のデータしか取得出来なかったため、2 年間で 2 ヶ月のデータを用いた結果を示している。図より、累積確率約 0.04% より小さい領域では四谷-青山間の減衰量が少なく、区間による差が表れている。それより累積確率の大きな領域では全領域にわたって近い値を示している。

5. 降雨減衰係数

単位距離あたりの減衰量を表す降雨減衰係数は降雨減衰分布を推定するのに基本となる量である。ここでは区間降雨強度と単位距離

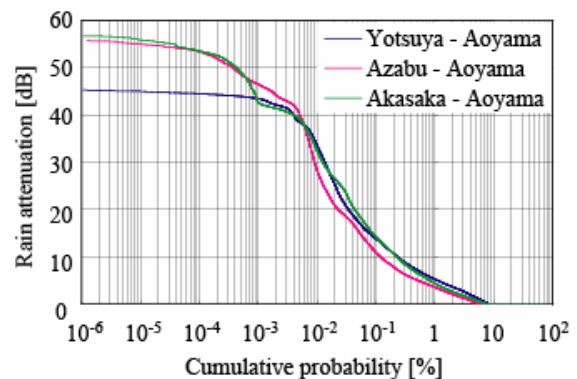


図 2 降雨減衰分布 (年間平均)

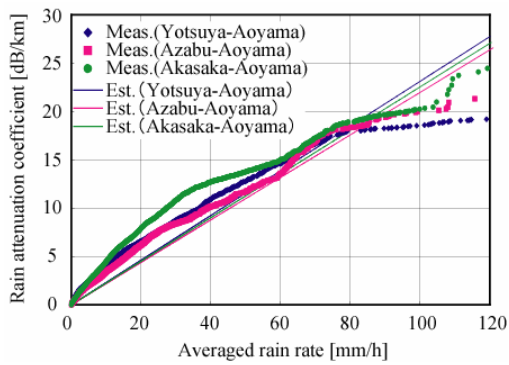


図 3 降雨減衰係数 (年間平均)

当りの減衰量の等確率値を用いた関係により降雨減衰係数を求めた。図 3 に年間平均の降雨減衰係数を示す。図には審査基準(P.727)に実測結果に基づく補正 ($\gamma \times 1.1$) を加えた推定値も併記した。この推定値は 3 区間において僅かに周波数が異なるため各区間により異なった推定曲線となっている。実測結果と推定結果を比較すると、赤坂-青山区間の実測結果が推定結果よりも 5dB 程大きくなるが、区間降雨強度が約 80 mm/h まではよく一致している。

6. 降雨減衰継続時間累積回数

図 4 に 3 リンクの 3 年間分データを総合した年間平均の降雨減衰継続時間累積発生回数を示す。降雨減衰量が大きくなると共に継続時間は短くなる傾向が見られる。またこの推定式は ITU-R P.530-11 修正案で議論されており、本データをもとにパラメータ推定した結果、次式が推定式として求められた。式(1)の緑部は日本の降雨気候区分のパラメータであり、赤部が今回推定したパラメータである。

$$N_A(D_A/A) = 2.32 \times 10^4 R_A^{-1.49} \exp \left[-\frac{\left[\ln(1.6D_A^{0.8}) - 3.17R_A^{-0.09} \right]^2}{2(2.42R_A^{-0.13})^2} \right] \quad (1)$$

7. 隣接区間降雨減衰差

局所的な降雨が存在する場合には各リンク間の降雨減衰量の差が大きくなり、リンク間干渉の原因となる。この干渉量を評価するための降雨減衰差の累積確率分布を図 5 に示す。

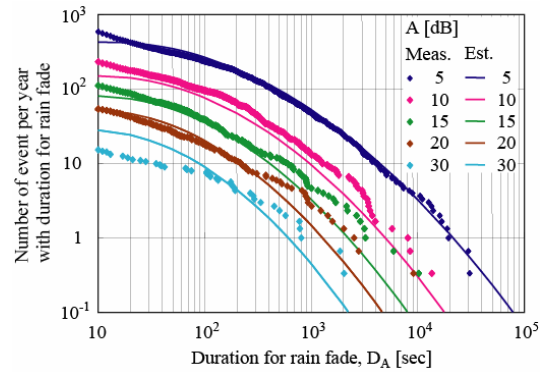


図 4 降雨減衰継続時間累積回数 (年間平均)

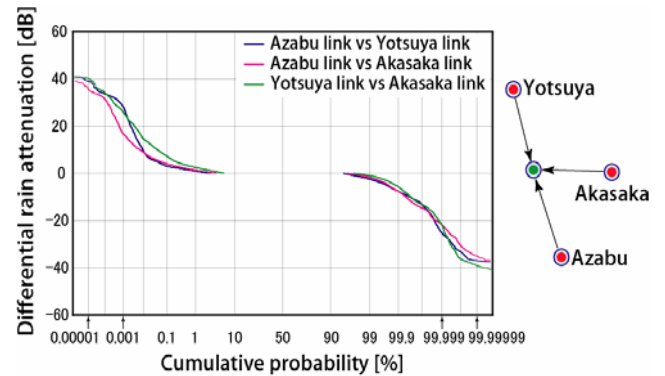


図 5 降雨減衰差分布 (年間平均)

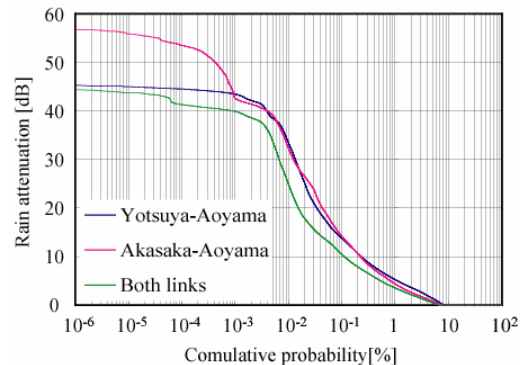


図 6 降雨減衰同時確率分布 (年間平均)

各リンクの伝搬距離が同程度のため降雨減衰差の正負の領域は対称な曲線を示している。また累積確率の低い範囲では降雨減衰差の飽和現象が見られるが、これは測定期間を更に増やすことで改善されると考えられる。同図の結果から最大 40 dB 以上の降雨減衰差が観測されており、平均して年間 175 時間以上は降雨減衰差が 10 dB 以上存在していることがわかる。これより降雨時のルートダイバーシチ効果について考えると十分に有効性があると判断

できる. また降雨マージンが大きく設計された回線では, 送信電力の制御を行うことで降雨減衰差による干渉問題を軽減することも可能と考えられる.

8. 降雨減衰同時確率分布

最適なルーティングや各種のダイバーシチ効果を評価するには, いくつかの回線や時間差における降雨減衰同時確率を計算する必要がある. 図 6 に四谷-青山, 赤坂-青山の 2 リンクに対する降雨減衰同時確率を示す. ダイバーシチ利得としては最大 5dB が得られており, 広域のメッシュネットワークとなった場合には大きな効果が期待できる.

9. 交差偏波識別度

次に降雨時の交差偏波識別度(XPD)について述べる. 直接見通しのある伝搬路を利用するミリ波帯 FWA において, XPD を劣化させる要因には降雨時の雨滴による散乱以外にアンテナや給電系の不完全性がある. 今回使用した送受信装置のハードウェア的な特性を含んだ通常時の XPD は 40 dB が得られていた. XPD の測定は 2005 年 4 月から行っており, 今回使用したデータは 3 ヶ月分のデータに基づき集計を行った.

測定では垂直偏波を主偏波として送信し, 垂直・水平偏波を受信している. よって 2 偏波の受信電力($|P_v|$, $|P_h|$)から次式により XPD を計算した.

$$XPD[dB] = 10 \log_{10} \frac{|P_v|}{|P_h|} \quad (2)$$

測定例として降雨時の両偏波の受信電力レベルを図 7 に示す. これは 1 時間程度の中に集中した降雨があった日の測定結果である. 垂直偏波の減衰に伴い水平偏波も連動して減衰している様子が確認できる. ただし降雨減衰が非常に大きい場合は水平偏波の受信レベルは測定装置の測定限界値まで下がり正確な減衰量が得られていない. 本測定での水平偏波の通常受

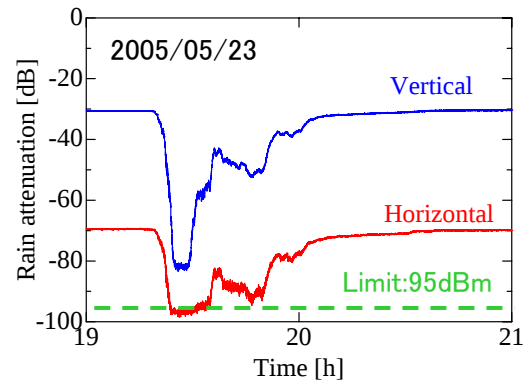


図 7 垂直/水平偏波減衰例

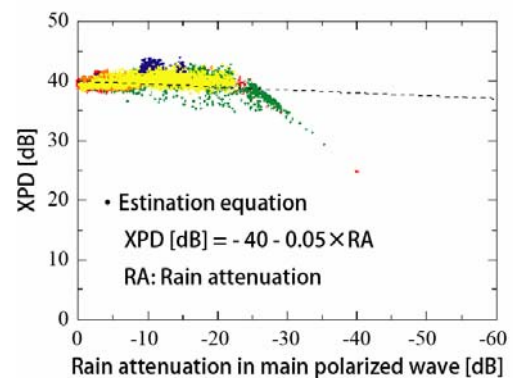


図 8 XPD 特性

信レベルは -70 dBm 程度である. また測定結果から判断して受信レベルの下限許容値は図中の破線で示した -95 dBm 程度である. よって有効な水平偏波のダイナミックレンジは 25 dB 程度である. そこで無効なデータを取り除いた後の XPD を求めた結果が図 8 となり, XPD は主偏波の降雨減衰量に比例し減衰していく傾向が見られるが, その傾きは小さく XPD の劣化量はそれほど大きくない. また降雨時の交差偏波識別度の推定式は経験的に次式の関係があることが報告されている[7,8].

$$XPD[dB] = A + B \times RA[dB] \quad (3)$$

ここに, RA は主偏波の降雨減衰量である. そこで本測定で得られた XPD の推定式を求めることを行った. 推定式として求めた回帰直線を測定結果と共に図に示す. この場合の推定式のパラメータは最小二乗法により求められ,

A= -40, B= -0.05 となった.

降雨時に XPD がそれほど劣化しない測定結果は過去の報告[9]にもあり, 23, 38 GHz での XPD の測定結果を示した文献では 23 GHz では垂直偏波の減衰に対して XPD が劣化する傾向が見られるが, 38 GHz ではほとんど XPD は変化していない. 本実験で行った 32 GHz 帯での測定結果はこれらの中間的な傾向を示していると言える.

9. まとめ

FWA の回線設計のための降雨減衰特性について示した. またルートダイバーシチの評価に必要な隣接リンク間の降雨減衰差と降雨同時確率の測定を行った. また将来的に 2 つの偏波を使用することを考慮し交差偏波識別度の測定結果について示した.

降雨減衰継続時間累積回数などの特性は現在の回線設計には使用されていないようだが, 今後は検討されるべき項目と考えられる. 都内実験結果では, 隣接リンク間の降雨減衰差は最大で 40dB を観測しており, 3 年間の測定結果より減衰差が 10 dB 以上となる確率は年間で 175 時間以上となることがわかった. この結果は回線設計時の干渉雑音量の推定値として利用が期待できる. また降雨減衰同時確立と併用し, FWA メッシュネットワークにおけるルートダイバーシチ効果の有効性や送信電力制御の必要性を検討するデータとなる. 交差偏波識別度については, 主偏波の降雨減衰に比例して劣化する傾向が見られたが, その劣化量は僅かでありほとんど一定値となることがわかった. また XPD の推定式についても求めた. 今後も測定を継続しデータの信頼性を高め, 精度の良い推定式の導出を行う必要がある.

参考文献

- [1]W. Webb, "Broadband fixed wireless access as a key component of the future integrated communications environment," Proc. of WAS2000, pp.26-33, Dec. 2000.
- [2]Tomohiro OGUCHI, "Electric Wave Propagation and Scattering in Rain and Other Hydrometeors," Proc.IEEE, vol.71, no.9, Sept.1983.
- [3]O.Sasaki, I.Nagamune, "Route Diversity Effect on 20 GHz Band Radio Relay Links," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.1, no.4, pp.680-685, Sept. 1983.
- [4]岸洋司, 田畑慶太, 小西聡, 野本真一, "適応ネットワーク制御機構をもつメッシュ型マルチホップ無線アクセスシステムの提案," 信学論(B), vol.J85-B, no.12, pp.2025-2036, Dec. 2002.
- [5]吉川誠, 佐々木収, 明山哲, 高橋直人, 岡本英二, 小川博世, "広帯域ミリ波無線アクセスシステムの開発 -(3)降雨時伝搬特性の検討-", 信学総大, B-5-326, Mar.2002.
- [6]吉川誠, 佐々木収, 石田未央, 高橋直人, 明山哲, 高梨謙一郎, 金澤亜美, 小川博世, "ギガビットミリ波無線アクセスシステムの開発(II) -(4)32GHz 帯降雨減衰係数の検討-", 信学総大, B-5-295, Mar.2004
- [7]細矢良雄, 佐々木収, 白土正, 森田和夫, "20GHz 帯降雨伝搬特性の推定," 研実報 33-6, 1984
- [8]森田和夫, 井上武夫, 明山哲, 細矢良雄, 加藤修一, 藤田武敏, 菊島政司, 佐々木収, "降雨時における 20GHz 帯伝搬特性," 研実報 22-7, 1973
- [9]滝沢俊之, 八木学, 吉田敏之, "広帯域デジタル無線アクセスシステムによる伝搬特性," 信学技報, AP96-101,MW96-202, Nov.1996