

# 屋内事務所環境の無線 LAN で測定した受信電力データに モーメント法を適用して推定した仲上-ライス分布の $K$ ファクタ - 最適なデータ数を探るための計算機実験と測定データの解析 -

松戸 孝<sup>†</sup> 中野 清隆<sup>†</sup> 丸田 竜一<sup>††</sup> 山下 聖太郎<sup>‡</sup> 力石 靖<sup>‡‡</sup>

田中 政満<sup>†</sup> 大石 太郎<sup>†</sup> 宇都宮 光之<sup>‡</sup>

† ネットワンシステムズ株式会社 ビジネス推進本部 応用技術部 ENT\_IT チーム

†† カスタマーサービス本部 テクニカルサポート部 第 5 チーム

‡ 市場開発本部 市場開発部 技術第 1 チーム

‡‡ カスタマーサービス本部 エキスパートオペレーション部 第 2 チーム

†, ††, ‡‡ 〒140-8621 東京都品川区東品川 2-2-4 天王洲ファーストタワー

‡ 〒100-7024 東京都千代田区丸の内 2-7-2 JP タワー

**あらまし** 屋内事務所環境の無線 LAN で測定した受信電力データから、仲上-ライスフェージングの特徴 ( $K$  ファクタ) を推定する際に、文献[1]に示されたモーメント法を適用することによって、効率的に推定できることを確認できた。その際、 $K$  ファクタをより正確に推定するためには、モーメント法を適用するデータ数は 500 より大きい必要があり、望ましくは、データ数は 1000 以上あったほうが良いことを計算機実験で確認できた。今般、得られた知見は、屋内事務所環境の無線 LAN において仲上-ライス分布するマルチパスフェージングによる受信電力の変動の状況を効率的に推定するために有益であり、ヒステリシスを考慮した各種しきい値を無線 LAN 機器に設定する際に貢献できる。

**キーワード** 仲上-ライスフェージング, 仲上-ライス分布,  $K$  ファクタ, モーメント法, 無線 LAN, Dual5GHz 帯

## *K*-Factor of Nakagami-Rice Distribution estimated by Moment-Method in analyzing Received Power Data Measured in Wireless LAN in an Indoor Office Based on Computer Experiment to find the optimum number of data for the Moment-Method

Takashi MATSUDO<sup>†</sup> Kiyotaka NAKANO<sup>†</sup> Ryuichi MARUTA<sup>††</sup> Seitaro YAMASHITA<sup>‡</sup>

Yasushi CHIKARAISHI<sup>‡‡</sup> Masamitsu TANAKA<sup>†</sup> Taro OISHI<sup>†</sup> and Mitsuyuki UTSUNOMIYA<sup>‡</sup>

† ENT\_IT Team, Applied Technology Engineering Department, Business Development Division,

NetOneSystems Co., Ltd.

†† Technical Support Department, Customer Service Division

‡ Solution Sales Department, Market Development Division

‡‡ Expert Operation Department, Customer Service Division

†, ††, ‡‡ Tennoz First Tower, 2-2-4 Higashi Shinagawa, Shinagawa-ku, Tokyo, 140-8621 Japan

‡ JP TOWER, 2-7-2 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100-7024 Japan

**Abstract** To estimate  $K$ -factor of Nakagami-Rice distribution in analyzing received power data measured in wireless LAN(WLAN) in an indoor office, we confirmed that moment-method estimation described in [1] was useful. We also confirmed that the optimum number of data for the moment-method was more than 500 and greater than or equal to 1000 preferably by running computer experiment. The knowledge is useful for us in order to operate WLAN in the indoor Office adequately.

**Keyword** Nakagami-Rice fading, Nakagami-Rice distribution,  $K$ -factor, Moment-method, Wireless LAN, LOS, Dual 5GHz operations

## 1. はじめに

2013年に策定が完了したIEEE802.11ac規約に対応する5GHz帯の無線LANアクセスポイント(以下APと記載する)の導入が企業向けの屋内事務所環境に進んでいる。その導入も有線LANを補完するという位置づけではなく、LANの主役を無線LANが担う状況が増加している。それゆえ、無線LANで伝送されるコンテンツも必然的にリッチコンテンツ(テキストだけでなく動画等のデータ容量が大きいコンテンツ)になっている。また、無線LANの利用者1人あたりにおいて、複数の無線LANクライアント端末(以下、無線端末と記載する)を机上に置いて同時に使う(例:ノート型PCの他にタブレット端末やスマートフォンも同時に利用)状況も増加してきているために、1台のAP(5GHz帯の1つの無線部)に収容する無線端末の数も増加している。一方、APと無線端末の等価等方輻射電力は、免許不要の無線局としての規定によって以前と同様であるから、1台のAP(5GHz帯の1つの無線部)の無線LANサービスエリアの広さは以前と同様である。従って、最近では、無線端末が高密度の配置状況になっていると理解できる。

無線端末が高密度の配置状況で、1台のAP(5GHz帯の1つの無線部)が各無線端末とリッチコンテンツの伝送を同時に快適に実現するためには、1台のAP(5GHz帯の1つの無線部)に収容する無線端末の数は、極力、少なくすることが基本的、効果的、かつ現実的な対処である[2]。さらに、高周波回路の実装技術の進化によって登場した1台のAP本体内に5GHz帯の2つの別の周波数チャネルの無線部を同時に動作できる機能(Dual5GHz帯モード)が実装されているAPの採用も有用である[3]。

Dual5GHz帯モードを実装したAPを屋内天井面(無線端末からAPが見える側)に設置した場合、1台のAPで、2つの異なる5GHz帯の無線LANサービスエリアを形成できる[4]。即ち、Dual5GHz帯モードにおける第1番目の無線部は、内蔵アンテナによって、APの直下周辺のやや狭い範囲(小セル、マイクロセル)を無線LANのサービスエリアに形成できる。一方、同モードにおける第2番目の無線部は、別の内蔵アンテナによって、APの直下から周辺のやや広い範囲(大セル、マクロセル)を同エリアに形成できる。従って、無線端末を2つの異なる同エリア(小セルまたは大セル)へ空間的に分離して収容できる仕組みがDual5GHz帯モードを実装したAPでは動作している。

最終的に、小セルまたは大セルのどちらへ接続するかの判断は無線端末に実装された制御仕様に依存するので、無線端末の挙動をAP側から完全に掌握した制御はできないが、AP側からの補助的な機能も実装され

てきている。高密度の配置状況にある無線端末からの接続を改善させるために、無線端末がDual5GHz帯モードで運用するAPに初めて接続する場合に大セルより小セルへ接続させることを促す機能や、無線端末が大セルと小セル間で円滑にローミングするための機能である[5]。この各機能の動作は、Dual5GHz帯モードで運用するAPの各無線部で受信した無線端末の受信電力が、設定したしきい値を超えることによって動作する。また、しきい値付近での同受信電力の変動による過敏で不適切な動作を避けるために、ヒステリシスも考慮されている。従って、受信電力のしきい値設定やヒステリシスを考慮するためには、瞬時的な受信電力の変動の特徴を理解する必要がある。

企業向けの屋内事務所環境における無線LAN構築では、APと無線端末間に見通しを確保すること(line-of-sight:LOS)が基本であるが、この場合、APや無線端末で受信された電波の瞬時的な受信電力の変動(フェージング)は、無線端末やAPで送信された電波からの定常的な直接波と周辺の様々な物体からの反射波や散乱波が合成された変動(マルチパスフェージング)になる。この受信電波の瞬時的な受信電力の変動は、仲上-ライスフェージングと呼ばれている[6],[7],[8]。

高密度の配置状況にある無線端末からの接続を改善させるために、Dual5GHz帯モードのAPを適切に運用する(例:受信電力のしきい値設定やヒステリシスを考慮する)際には、企業向けの屋内事務所環境の無線LAN構築の実務としても、仲上-ライスフェージングの特徴を意識した対応が必要な時代に入ったと考えられる。

本稿では、文献[1]に示されたモーメント法を使うことによって、屋内事務所環境における無線LANの実験で測定した受信電力データから、その実験環境における仲上-ライスフェージングの特徴( $K$ ファクタ)を推定する。第2章では、仲上-ライスフェージングの理論と特徴( $K$ ファクタ)を再確認する。第3章では、文献[1]に示されたモーメント法による $K$ ファクタの推定の概要を述べる。第4章では、データ数の違いがモーメント法による $K$ ファクタの推定に与える影響を計算機実験によって把握し、最適なデータ数を探る。第5章では、第4章で得た知見を認識してモーメント法を使うことによって、屋内事務所環境における無線LANの実験で測定した受信電力データから、その実験環境における仲上-ライスフェージングの特徴( $K$ ファクタ)を推定する。

## 2. 仲上-ライスフェージングの理論と特徴( $K$ ファクタ)の再確認

仲上-ライスフェージングの理論については文献[6]

に詳細に述べられており、とても有益である。ここでは、文献[6]を参考にして、本稿の検討に必要な仲上-ライスフェージングの理論について、以下に再確認する。

筆者らに対応している企業向けの屋内事務所環境の無線 LAN 構築の実務では、AP と無線端末間に見通しを確保すること(LOS)が基本である。図 1 は、屋内事務所環境の LOS の無線 LAN 通信における電波伝搬の様子のイメージ例(送信部が AP、受信部が無線端末(CL)の場合)である。

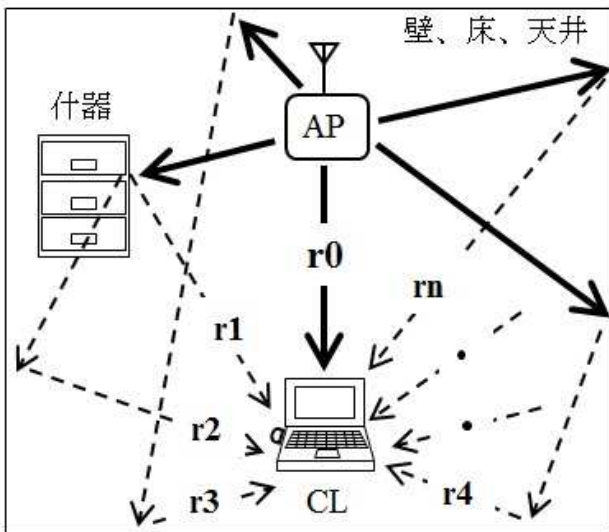


図 1 屋内事務所環境の LOS の無線 LAN 通信において直接波( $r_0$ )と複数の反射波や散乱波( $r_1, r_2, \dots, r_n$ )が伝搬する様子のイメージ例(送信部が AP、受信部が無線端末(CL)の場合)

無線端末や AP で受信されたある周波数の電波  $r$  の瞬時的な変動(フェージング)は、AP や無線端末で送信された電波からの定常的な直接波  $r_0$  と周辺の様々な物体からの反射波や散乱波( $r_1, r_2, \dots, r_n$ )が合成された変動(マルチパスフェージング)になる。この受信電波  $r$  の瞬時的な変動は、仲上-ライスフェージングと呼ばれている。また、仲上-ライスフェージングが発生する環境を、仲上-ライスフェージング環境とも呼ぶ。

ここで、直接波  $r_0$  と反射波や散乱波( $r_1, r_2, \dots, r_n$ )、及びこれらの合成波である受信電波  $r$  の瞬時的な変動(フェージング)(振幅  $r$ 、位相)は各波の振幅と位相という視点から、 $x$  成分と  $y$  成分を持つベクトルとして扱えると理解できるので、仲上-ライスフェージングのモデルは、図 2 に示すように表現できる。

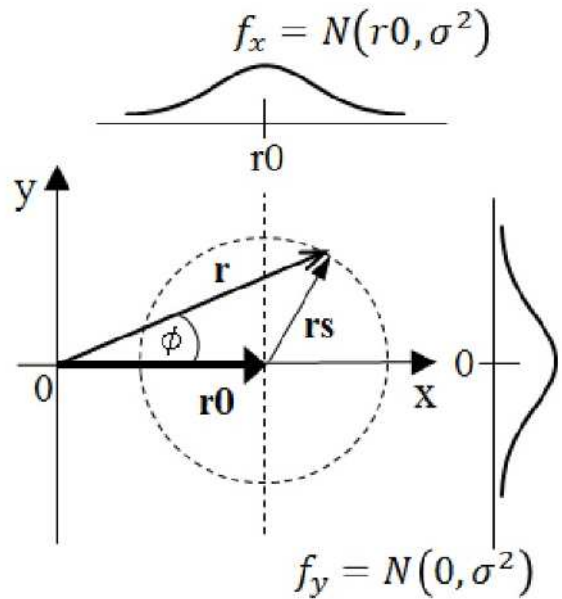


図 2 仲上-ライスフェージングのモデル。ある地点で受信したある周波数の受信電波ベクトル  $r$  を構成する直接波ベクトル  $r_0$  と複数の反射波や散乱波の合成ベクトル  $r_s$  の関係。 $r$  の  $x$  成分と  $y$  成分は、独立した正規分布 ( $f_x$  と  $f_y$ ) となる。文献[6]の図 6.2 を参照して本稿用に筆者にて作図

即ち、

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}_0 + \mathbf{r}_s \quad (1)$$

ここで、

$$\mathbf{r}_s = \mathbf{r}_1 + \mathbf{r}_2 + \dots + \mathbf{r}_n \quad (2)$$

$f_x = \mathbf{r}$  の  $x$  成分 ( $r_x$ ) の変動=平均  $r_0$  と、標準偏差の二乗の正規分布  $N(r_0, \sigma^2)$  に従う (3)

$f_y = \mathbf{r}$  の  $y$  成分 ( $r_y$ ) の変動=平均 0 と、標準偏差の二乗の正規分布  $N(0, \sigma^2)$  に従う (4)

ここで、

$f_x$  と  $f_y$  は、独立していて、また、

$$f_x(x) = N(r_0, \sigma^2) \equiv \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-r_0)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (5-1)$$

$$f_y(y) = N(0, \sigma^2) \equiv \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5-2)$$

$$r = |\mathbf{r}| = \sqrt{r_x^2 + r_y^2} \quad (6)$$

である。

そして、振幅  $r$  の確率密度関数  $f_r(r)$  は、式(7)で表現でき、この振幅  $r$  の分布を仲上-ライス分布と呼ぶ。

$$f_r(r) = \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2+r^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{r^2}{\sigma^2}\right) \quad (7)$$

ここで、 $I_0$  は、第 1 種の 0 次変形ベッセル関数である。

また、受信電波  $r$  を受信電力として測定する場合の検討には、電力次元での確率密度関数が判明していると便利である。 $z = r^2$  と変換した電力次元での確率密度関数  $f_z(z)$  は、式(8)で表現できる。

$$f_z(z) = \frac{1+K}{m_z} \exp\left\{-\frac{(1+K)z}{m_z} - K\right\} I_0\left\{2\sqrt{\frac{(1+K)Kz}{m_z}}\right\} \quad (8)$$

ここで、

$$m_z = z \text{ の平均値} = r^2 + 2\sigma^2 \quad (9)$$

$$K = \text{ライスファクタ} = r^2/2\sigma^2 \quad (10)$$

式(10)のライスファクタ  $K$  は、 $K$  ファクタとも呼ばれるが、定常的な直接波の電力と、複数の反射波や散乱波の平均電力の比であると理解できる。 $K$  ファクタが大きいくほど、直接波が複数の反射波や散乱波より卓越している環境であると理解できる。例えば、AP と無線端末間に見通しが完全でない状況では、直接波の大きさ  $r^2$  は 0 と考えられるので、 $K$  ファクタは 0 になる（この状況は、レイリーフェージングと呼ばれる）。 $K$  ファクタは、仲上-ライスフェージングとその発生環境の特徴を端的に表現できる有用な指標である。

### 3. モーメント法による $K$ ファクタの推定[1]の概要

測定した受信電力データから  $K$  ファクタを推定できると、その測定環境では、どの程度の仲上-ライスフェージングが発生しているかを推定できる。即ち、マルチパスフェージングによる受信電力の変動の状況（受信電力が劣化する発生確率）を推定できる。従って、例えば、高密度の配置状況にある無線端末からの接続を改善させるために、Dual5GHz 帯モードの AP を適切に運用する（例：受信電力のしきい値設定やヒステリシスを考慮する）際には、その運用環境における  $K$  ファクタを推定できることは有益である。

測定した受信電力データから  $K$  ファクタを推定するためには、例えば、測定した受信電力データの変動の発生確率の累積分布のグラフを、 $K$  ファクタをいろいろ

と変更した仲上-ライスフェージングの確率密度関数の理論式から導かれた累積分布のグラフと目視で比較することによって、測定データにおける  $K$  ファクタを推定する方法がある。この方法では手間と時間がかかることが課題である。

この課題解決に対して、文献[1]では、測定した受信電力データの平均値（原点のまわりの 1 次モーメント[9]）と標準偏差（平均値のまわりの 2 次モーメントの正の平方根[9]）に着目したモーメント法を適用することによって、効率的に  $K$  ファクタを推定している。この文献[1]に示されたモーメント法による  $K$  ファクタの推定は、例えば、文献[10]では VHF 帯航空通信において測定された受信電力データから  $K$  ファクタを推定する方法として採用されている。今般、筆者らも、屋内事務所環境における実験で測定した受信電力データから、その実験環境における仲上-ライスフェージングの特徴（ $K$  ファクタ）を推定するために、文献[1]に示されたモーメント法を採用した。ここでは、文献[1]を参考にして、本稿の検討に必要なモーメント法による  $K$  ファクタの推定の概要を示す。

受信信号  $g(t)$  は、振幅と位相の視点から複素数信号として捉えることができるが、仲上-ライスフェージング環境では、式(11)で表現できる。

$$g(t) = V + v(t) \quad (11)$$

ここで、

$V$ : 定数の複素数信号

$v(t)$ : 平均 0 で、時間的にランダム変動する複素数信号

この  $g(t)$  の受信電力  $G$  は、式(12)で表現できる。

$$G = |g(t)|^2 \quad (12)$$

そして、 $G$  の時間平均値（原点のまわりの 1 次モーメント） $G_a$  は、式(13)で表現できる。

$$G_a = |V|^2 + \overline{|v(t)|^2} \quad (13)$$

また、 $G$  の時間的な変動における標準偏差（時間平均値  $G_a$  のまわりの 2 次モーメントの正の平方根）は、式(14)で表現できる。

$$\begin{aligned} G_v &= \sqrt{(G - G_a)^2} \\ &= \sqrt{|v(t)|^2 + 2|V|^2|v(t)|^2} \end{aligned} \quad (14)$$

式(13)と(14)の左辺の  $G_a$  と  $G_v$  は、測定データから計算が可能なので、 $G_a$  と  $G_v$  を用いて、 $|V|^2$  は式(15)から、 $\overline{|v(t)|^2}$  は式(16)から計算が可能となる。

$$|V|^2 = \sqrt{G_a^2 - G_v^2} \quad (15)$$

$$|\overline{v(t)}|^2 = G_a - \sqrt{G_a^2 - G_v^2} \quad (16)$$

従って、測定データにおける  $K$  ファクタの推定値は、式(17)から計算可能となる。

$$K = |V|^2 / |\overline{v(t)}|^2 \quad (17)$$

そして、受信電力の測定データから推測された  $K$  ファクタと、同測定データから計算された  $G$  の時間平均値(原点のまわりの1次モーメント)  $G_a$  の両方を式(8)に用いることによって、受信電力の測定データにおける仲上-ライス分布の状況(確率密度関数)を把握することが可能となる。

#### 4. データ数の違いがモーメント法による $K$ ファクタの推定に与える影響を把握するための計算機実験

第3章で述べたように、屋内事務所環境における実験で測定した受信電力データから、その実験環境における仲上-ライスフェージングの特徴( $K$ ファクタ)を推定するために、文献[1]に示されたモーメント法の採用は、効率的であると思われる。

ここで新たな懸念点として認識することは、「モーメント法を適用して正確な  $K$  ファクタを推定する場合のデータ数はいくつ程度が適しているのか？」である。屋内事務所環境において測定実験を実施する場合には、例えば、測定実験にあてることができる時間数が短い等、様々な制約があることが一般的である。それゆえ、正確な  $K$  ファクタを推定したいが、1回の測定で記録できるデータ数は少なくしたい、同じ条件での繰り返しの測定回数を少なくしたい等の状況には、しばしば遭遇する。

##### 4.1. 計算機実験の目的

モーメント法を適用する場合のデータ数の違いが仲上-ライスフェージングの特徴( $K$ ファクタ)の推定に与える影響を計算機実験によって把握し、最適なデータ数を探る。

##### 4.2. 計算機実験の方法と手順

第2章で再確認したように振幅  $r$  の仲上-ライス分布は、式(3)で表現される  $x$  成分における正規分布と、式(4)で表現される  $y$  成分における正規分布の合成になると理解できる。そこで、計算機によって式(3)及び式(4)に従う正規分布の乱数を繰り返し発生させて、仲上-ライス分布するデータを、必要なデータ数の種類の数だけ用意する。計算機で正規分布の乱数を発生させるためには、平均と標準偏差を指定する必要があるので、 $K$  ファクタの理論値は式(10)によって判明する。一方、計算機によって用意された仲上-ライス分布するデ

ータに第3章で述べたモーメント法を適用して、 $K$  ファクタの推定値を計算する。従って、あるデータ数における  $K$  ファクタについて、理論値とモーメント法を適用して計算した推定値の比較が可能となる。

具体的な計算機実験の手順は、次のとおりである。

(Step1) 式(9)で、 $m_z = 1$  とする。

(Step2)  $m_z = 1$  とした式(9)と式(10)から  $r0$  を消去して、標準偏差  $\sigma$  を求める式(18)を導く。

$$\sigma = \sqrt{0.5/(K+1)} \quad (18)$$

(Step3)  $K = 20$  とし、式(18)から標準偏差  $\sigma$  を計算する。さらに式(9)から定常的な直接波の電力  $r0^2$  を計算する。

(Step4) データ数  $n = 50$  とする。

(Step5) 式(3)に従う正規分布の乱数を計算機で  $n$  個発生させて、 $n$  個の  $r_x$  とする。

(Step6) 式(4)に従う正規分布の乱数を計算機で  $n$  個発生させて、 $n$  個の  $r_y$  とする。

(Step7) 式(6)から仲上-ライス分布に従う  $n$  個の  $r$  を計算する。

(Step8) データ数  $n$  個の  $r$  について第3章で述べたモーメント法を適用して  $K$  ファクタの推定値を計算する。

(Step9) (Step5)から(Step8)を10回実施し、その推定された  $K$  ファクタの平均値と標準偏差(=不偏標準偏差)を把握する。

(Step10) (Step4)で、データ数  $n = 100, 500, 1000, 5000,$  及び  $10000$  の各場合に変更して、各データ数  $n$  の場合において(Step5)から(Step9)を実施する。

(Step11) モーメント法を適用して計算した  $K$  ファクタの推定値の平均値と標準偏差(=不偏標準偏差)が、データ数  $n$  の変化で、どのような特徴があるかを把握する。

(Step12) (Step3)で、 $K = 10, 5,$  及び  $2.5$  の各場合に変更して、各  $K$  の場合において、(Step4)から(Step11)を実施する。

##### 4.3. 計算機実験の結果

図3に  $K=20$  の場合について、モーメント法を適用して計算した  $K$  ファクタの推定値(平均値と±標準偏差(=±不偏標準偏差))とデータ数の関係を示す。また、図4に  $K=10$  の、図5に  $K=5$  の、及び図6に  $K=2.5$  の各場合について、同様に示す。

モーメント法を適用するデータ数が多くなると、 $K$  ファクタの推定値のパラッキが小さくなる傾向は、計算機実験を実施した4種類のすべての  $K$  ファクタの場合に見られる。

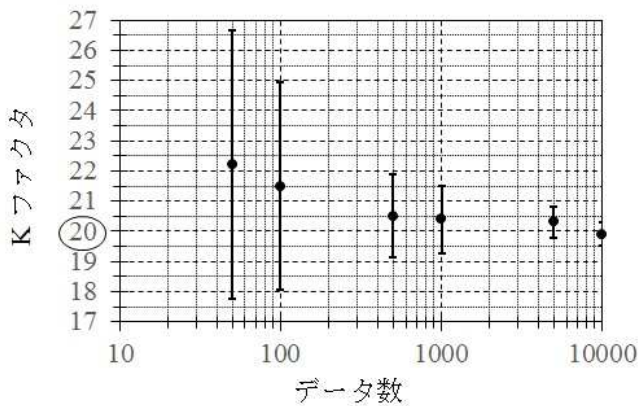


図 3 計算機実験 (各データ数で 10 回実施) による  $K$  ファクタの推定値 ( : 平均値と  $\pm$  標準偏差 (=  $\pm$  不偏標準偏差)) とデータ数の関係,  $K=20$  の場合

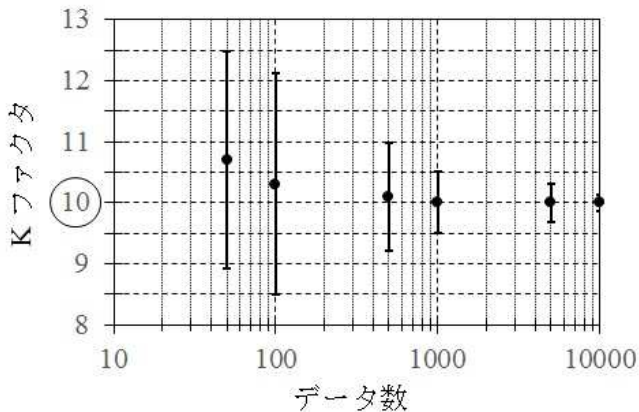


図 4 計算機実験 (各データ数で 10 回実施) による  $K$  ファクタの推定値 ( : 平均値と  $\pm$  標準偏差 (=  $\pm$  不偏標準偏差)) とデータ数の関係,  $K=10$  の場合

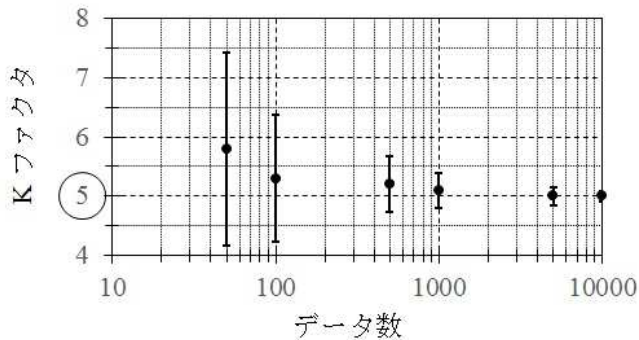


図 5 計算機実験 (各データ数で 10 回実施) による  $K$  ファクタの推定値 ( : 平均値と  $\pm$  標準偏差 (=  $\pm$  不偏標準偏差)) とデータ数の関係,  $K=5$  の場合

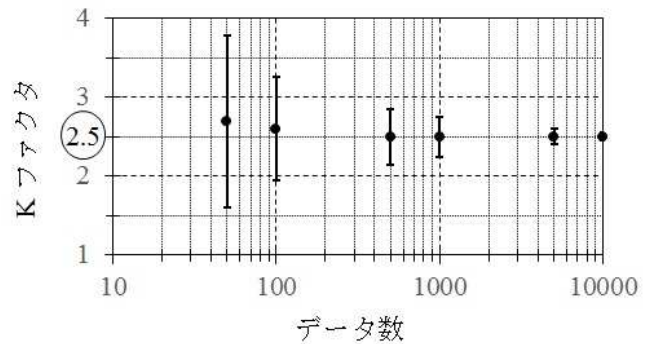


図 6 計算機実験 (各データ数で 10 回実施) による  $K$  ファクタの推定値 ( : 平均値と  $\pm$  標準偏差 (=  $\pm$  不偏標準偏差)) とデータ数の関係,  $K=2.5$  の場合

#### 4.4. 考察

$K$  ファクタをより正確に推定するためには, モーメント法を適用するデータ数は多いほど望ましいことがわかる. 1 つの見方としては,  $K$  ファクタの推定値の標準偏差 (= 不偏標準偏差) が, 推定された  $K$  ファクタの平均値の  $1/10$  以下になるデータ数は 500 より大きい必要があること, 望ましくは, データ数は 1000 以上あったほうが良いと理解できた.

#### 5. 屋内事務所環境における無線 LAN の実験で測定した受信電力データにモーメント法を適用して推定した仲上-ライスフェージングの特徴 ( $K$ ファクタ)

第 4 章の計算機実験によって, 測定した受信電力データにモーメント法を適用して仲上-ライスフェージングの特徴 ( $K$  ファクタ) をより正確に推定するためには, データ数は 500 より大きい必要があり, 望ましくは, データ数は 1000 以上あったほうが良いと理解できた. そこで, 第 4 章で得た知見を認識して, 本章では, 屋内事務所環境における無線 LAN の実験で測定した受信電力データにモーメント法を適用して, その実験環境における仲上-ライスフェージングの特徴 ( $K$  ファクタ) を推定する.

##### 5.1. 測定した無線 LAN の受信電力データの概要

モーメント法を適用して仲上-ライスフェージングの特徴 ( $K$  ファクタ) を推定した無線 LAN の受信電力の測定データは, 文献[11]で述べた屋内事務所環境の無線 LAN を使った実験で記録されたデータである. 実験についての屋内事務所環境, 測定システム, 及び測定方法等の詳細は, 文献[11]をご参照いただきたい. ここでは, 測定した無線 LAN の受信電力データの概要を述べる. 本稿で検討した 5GHz 帯のチャネル番号

60(中心周波数 5300MHz, 20MHz 幅伝送)の受信電力データは, 送信部(TX, AP1242AG(利得 3.5dBiの送信アンテナ数 1本, 床面からの高さ 0.72m))から距離が 11.7m 離れた地点の受信部(RX, LAP1242AG(利得 4dBiの受信アンテナ数 1本, 床面からの高さ 1.04m)で, 見通しあり(LOS)の状況で記録されている。

受信部(RX)の位置変化に伴うマルチパスフェージングの状況を測定するために, 受信部(RX)は, 送信部(TX)と受信部(RX)を結ぶ軸に対して, 水平面内で垂直方向に, 1回の測定として, 2.28mの距離を 10秒間かけてゆっくりと移動させている。この1回の測定によって概ね 489個の受信電力データが測定できる。0.0047m(=2.28m/489)毎の位置で1つの受信電力が測定できたことになる。送受信の周波数 5300MHzの波長は 0.0566mなので, 0.0047mは約 1/12波長に相当する。

### 5.2. 送信部(TX)も受信部(RX)も垂直偏波で測定した受信電力データにモーメント法を適用して推定した仲上-ライスフェージングの特徴(Kファクタ)

送信部(TX)と受信部(RX)の各アンテナの偏波を両方とも垂直偏波にそろえた状況(TX-垂直, RX-垂直)で測定記録した受信電力データ(データ数は, 測定2回分の 978)についてモーメント法を適用して仲上-ライスフェージングの特徴(Kファクタ)を推定した。その結果を受信電力(dBm)の累積確率分布(%)として図7に示す。測定記録した受信電力(dBm)を真数に変換してモーメント法を適用した結果, ライスファクタ  $K=6.0$ と推定された。

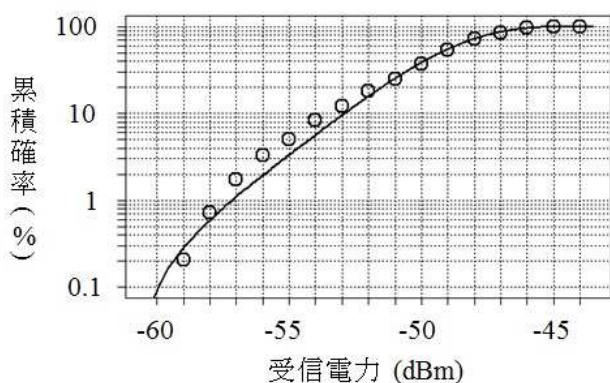


図7 受信電力の累積確率分布, 測定値(印, データ数=978)と推定値(実線,  $K=6.0$ ), 測定時の偏波:TX-垂直, RX-垂直, LOS, 5300MHz (CH-60)

図7の実線は, モーメント法によって推定された受信電力の仲上-ライス分布の累積確率分布であり, 印は測定記録した受信電力データの累積確率分布である。実線は, 印と概ね良い一致をしており(同じ累積確

率で見た実線と印の受信電力の差は 1dB以内である), 測定した受信電力データから仲上-ライスフェージングの特徴(Kファクタ)を推定するために, モーメント法は有益であると理解できる。

図7において, 累積確率 50%から同 0.1%への受信電力の劣化は約 10dBであるとわかる。これは, 累積確率 50%の受信電力を基準にすると, 10dB以上の受信電力の劣化の累積確率が 0.1%以下であると理解できる。従って, 図7の結果が得られた環境(推定されたKファクタが 6.0の環境)において送受信アンテナ数が各1本の無線LANシステムを運用する場合, 受信電力のしきい値を必要とするある機能では, 同じしきい値を累積確率 50%の受信電力値に設定したら, ヒステリシスを 10dB以上に設定すれば, 過敏で不適切な動作は避けられると考えられる。なお, もしも無線LANシステムの受信装置で複数のアンテナを利用した最大比合成(Maximal Ratio Combining:MRC)ダイバーシチ受信を採用した場合には, 同ダイバーシチ受信の利得分[6], [11], [12]を考慮してヒステリシスは上記の値より小さく設定することになると考えられる。

### 5.3. 送信部(TX)が水平偏波で, 受信部(RX)が垂直偏波で測定した受信電力データにモーメント法を適用して推定した仲上-ライスフェージングの特徴(Kファクタ)

送信部(TX)のアンテナを水平偏波に設定し, 受信部(RX)のアンテナを垂直偏波に設定した状況(TX-水平, RX-垂直)で測定記録した受信電力データ(データ数は, 測定2回分の 976)についてモーメント法を適用して仲上-ライスフェージングの特徴(Kファクタ)を推定した。その結果を受信電力(dBm)の累積確率分布(%)として図8に示す。測定記録した受信電力(dBm)を真数に変換してモーメント法を適用した結果, ライスファクタ  $K=4.4$ と推定された。

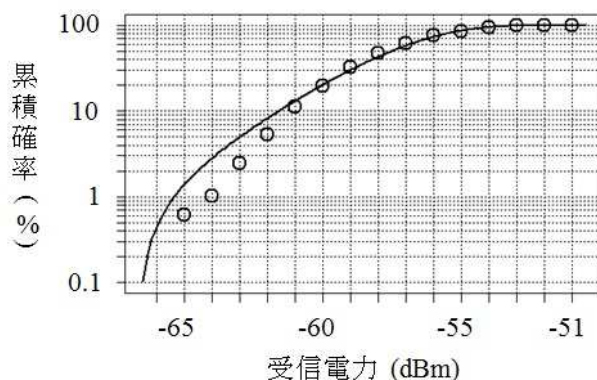


図8 受信電力の累積確率分布, 測定値(印, データ数=976)と推定値(実線,  $K=4.4$ ), 測定時の偏波:TX-水平, RX-垂直, LOS, 5300MHz (CH-60)

図 8 の実線は、モーメント法によって推定された受信電力の仲上-ライス分布の累積確率分布であり、印は測定記録した受信電力データの累積確率分布である。累積確率 10% 以下の受信電力の低下が大きくなる状況では、同じ累積確率で見た実線と印の受信電力の差が最大約 1.5dB になっているが、実線は、印の分布の概ねの傾向を表現できている。この図 8 の状況でも、測定した受信電力データから仲上-ライスフェージングの特徴 ( $K$  ファクタ) を推定するために、モーメント法は有益であると理解できる。

なお、図 8 のライスファクタ  $K=4.4$  が、図 7 の同  $K=6.0$  より小さい理由の 1 つは、図 8 の場合は、アンテナの偏波が、送信と受信で直交していているので、定常的な直接波の受信電力が図 8 の場合には、図 7 の場合より小さくなっているからと推測できる。

## 6. まとめ

屋内事務所環境の無線 LAN で測定した受信電力データから、仲上-ライスフェージングの特徴 ( $K$  ファクタ) を推定する際には、文献[1]に示されたモーメント法を適用することによって、効率的に推定できることを確認できた。また、計算機実験によって、測定した受信電力データにモーメント法を適用して仲上-ライスフェージングの特徴 ( $K$  ファクタ) をより正確に推定するためには、データ数は 500 より大きい必要があり、望ましくは、データ数は 1000 以上あったほうが良いと理解できた。

今般、得られた知見は、屋内事務所環境の無線 LAN 構築の実務において、例えば、高密度の配置状況にある無線端末からの接続を改善させるために、Dual5GHz 帯モードの AP を適切に運用する(例：受信電力のしきい値設定やヒステリシスを考慮する)際には、その運用環境における仲上-ライス分布するマルチパスフェージングによる受信電力の変動の状況(受信電力が劣化する発生確率)を効率的に推定することに貢献でき、有益である。

なお、現実の企業内における無線 LAN 運用の場面では、記録測定可能な受信電力のデータ数がどうしても少なくなる状況はありえる。従って、データ数が少ない状況(例えば、データ数が 500 より小さい状況)でも、効率的に仲上-ライスフェージングの特徴 ( $K$  ファクタ) をより正確に推定できる方法は必要とされ、今後の課題である。

## 謝 辞

文献[6]の仲上-ライスフェージングの理論の記載内容について詳細に解説していただいた電気通信大学の

唐沢好男 名誉教授(IEEE Fellow)に感謝する。無線 LAN 製品の様々なことで日頃よりお世話になっているシスコシステムズ合同会社の 大野奈津子様、竹林百合香様に感謝する。本検討の機会を与えていただいたネットワークシステムズ株式会社 ビジネス推進本部の篠浦本部長、同本部応用技術部の井上部長、及び、元同部エントプライズ SDN チームの大高マネージャー(現カスターマーサービス本部 テクニカルサポート部 第 5 チーム所属のエキスパート)に感謝する。

## 文 献

- [1] L.J.Greenstein, D.G.Michelson and V.Erceg, "Moment-Method Estimation of the Ricean  $K$ -Factor", IEEE Communications letters, vol.3, No.6, June, 1999, [https://www.researchgate.net/publication/3416286\\_Moment-method\\_estimation\\_of\\_the\\_Ricean\\_K-factor](https://www.researchgate.net/publication/3416286_Moment-method_estimation_of_the_Ricean_K-factor), 参照 May 3, 2017.
- [2] 丸田竜一, "第 2 回 無線 LAN を介して VDI を利用するための改善策", ネットワークシステムズ, [http://www.netone.co.jp/report/column/20150525\\_3.html](http://www.netone.co.jp/report/column/20150525_3.html), 2015 年 5 月 25 日, 参照 May 3, 2017.
- [3] 中野清隆, "Cisco IEEE802.11ac wave2 対応アクセスポイント Flexible Radio Assignment 機能のメリット", ネットワークシステムズ, <http://www.netone.co.jp/report/column/20160805-2.html>, 2016 年 8 月 5 日, 参照 May 3, 2017.
- [4] Cisco systems, "Cisco Aironet 3800 Series Access Points Data Sheet", <http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-3800-series-access-points/datasheet-c78-736498.html>, Mar.28, 2017, 参照 May 3, 2017.
- [5] Cisco systems, "Radio Resource Management White Paper, FRA and Dual 5 GHz Operations", [http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/controller/technotes/8-3/b\\_RRM\\_White\\_Paper/b\\_RRM\\_White\\_Paper\\_chapter\\_01000.html#concept\\_7817C865B286409E99E18C34E45B953](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/controller/technotes/8-3/b_RRM_White_Paper/b_RRM_White_Paper_chapter_01000.html#concept_7817C865B286409E99E18C34E45B953), 参照 May 3, 2017.
- [6] 唐沢好男, "改訂 デジタル移動通信の電波伝搬基礎", コロナ社, 2016 年 3 月 3 日。
- [7] 唐沢好男, "電波伝搬：物理現象とモデリング～先達の足跡を辿る～ (H27.12.10:A・P 研 5 0 周年記念講演)", [http://www.radio3.ee.uec.ac.jp/ronbun/AP\\_ken\\_karasawa\\_H271210.pdf](http://www.radio3.ee.uec.ac.jp/ronbun/AP_ken_karasawa_H271210.pdf), 2015 年 12 月 10 日, 参照 May 3, 2017.
- [8] Rec. ITU-R P.1057-4: "Probability distributions relevant to radiowave propagation modelling", ITU-R Recommendations P Series, <https://www.itu.int/rec/R-REC-P.1057-4-201507-I/en>, 2015, 参照 May 3, 2017.
- [9] 日野幹雄, "スペクトル解析", 朝倉書店, 1983 年 6 月 1 日。
- [10] 北折潤, 津田良雄, "VHF 帯航空通信におけるフェージング特性", 信学論 (B), vol.J88-B, no.6, pp.1112-1118, 2005 年 6 月。
- [11] 松戸孝, 宇都宮光之, 田中政満, 中野清隆, 丸田竜一, 力石靖, 山下聖太郎, "シスコシステムズ社製無線 LAN アクセスポイント CAP3602E の最大比合成 (Maximal Ratio Combining:MRC) ダイバースチ受信性能の実験的検討 - より信頼性の向



上した無線 LAN の実現を目指して", 第 1 回 シスコテクノロジー論文コンテスト最優秀賞受賞論文, 社員執筆記事, ネットワンスシステムズ, <http://www.netone.co.jp/report/press.html>,

[http://www.netone.co.jp/wp-content/uploads/2012/04/matsudo\\_et\\_al1.pdf](http://www.netone.co.jp/wp-content/uploads/2012/04/matsudo_et_al1.pdf), 2013 年 7 月 12 日.

受賞論文紹介, Cisco systems, <http://www.cisco.com/web/JP/partners/ronbun/1st/index.html#2>.

- [12] 松戸孝, "第 6 回 受信アンテナ数の違いによる最大比合成 (Maximal Ratio Combining: MRC) ダイバーシチ受信の性能 ~ 実験的検討に挑戦! どのメーカーも具体的に示していない無線 LAN 製品におけるダイバーシチ受信の性能状況 その 6 ~", ネットワンスシステムズ, <http://www.netone.co.jp/report/column/20160307.html>, 2016 年 3 月 7 日, 参照 May 3, 2017.