



観測面前後に複数の方が存在する場合の伝搬損失特性に関する数値的検討

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 宮崎大学工学部 公開日: 2020-06-21 キーワード (Ja): キーワード (En): Propagation Loss Properties, Human Bodies Model, FDTD method 作成者: 田中, 保剛, 横田, 光広, Tanaka, Yasutake メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10458/5563">http://hdl.handle.net/10458/5563</a>

# 観測面前後に複数の人が存在する場合の 伝搬損失特性に関する数値的検討

田中 保剛<sup>1)</sup>・横田 光広<sup>2)</sup>

## Numerical Examination on Propagation Loss Properties When Human Bodies Exist Backward of Receiver

Yasutake TANAKA, Mitsuhiro YOKOTA

### Abstract

So far, the propagation loss properties for one or two persons from the experimental and numerical points of view have been studied. In this report, the propagation loss properties when the human bodies exist in the front and backward of the receiver are examined numerically. A human body is modeled by a lossy dielectric cylinder, and the propagation loss properties for the passerby density and distance between the transmitter and receiver are examined numerically. It is found that the averaged received power approaches to a certain value when the propagation distance becomes longer.

**Keywords:** Propagation Loss Properties, Human Bodies Model, FDTD method

### 1. まえがき

セルラー移動通信では、昨今、地下街や屋内等の閉空間での使用が急増している。屋外の伝搬損失特性に関しては多くの検討がなされ、伝搬モデルや推定法が標準化されている。一方、地下街等の通路での伝搬損失特性に関しては、実験に基づく推定式が提案されており、通路の大きさや通行人の数（通行人密度）、人体モデルを直接考慮できる新たな伝搬モデルも提案され、実験的な検証が行われている。著者等はこれまで人体の数が一人あるいは二人の場合、数値的に検討を行ってきた<sup>1)~6)</sup>。本論文では、伝搬方向が長い場合について、人体を損失誘電体柱と仮定し電磁界理論に基づく数値的な立場から散乱電磁界の計算を行い、通行人密度や伝搬距離に対する伝搬損失特性について FDTD 法によって検討する。同様に、受信面の後方からの影響について、検討を行う。

### 2. 問題の設定

本報告では、送受信間及び受信面後方に人体を解析領域の移動幅を固定し配置をし、受信面前後の密度を一定に保ちながら伝搬距離を伸ばしていき、FDTD 法を用いて数値解析を行い伝搬特性並びに受信面後方に人体が存在する場合の影響についてについて検討する。

図 1 に本報告での解析モデル図を示す。人体を 2 次元損失誘電体円柱と仮定しモデル化する。2 次元損失誘電体円柱は、直径  $w$ 、比誘電率  $\epsilon_r$ 、導電率  $\sigma$  とし、入射波は円筒波を使い、次式で表現される。

$$\text{円筒波} \quad E^i = E_0 \sin(2\pi ft) \quad (1)$$

入射波の振幅  $E_0 = 1.0[\text{V/m}]$  とする。図 1 に示すように、線波源から放射された電界が領域  $(lx \times 2) \times ly$  に配置された円柱に入射する場合の散乱電界を計算する。円柱中心は  $-lx/2 + w/2 < X < lx - w/2$  および  $-ly/2 + w/2 < Y < ly - w/2$  の範囲内に設置する。送信点と受信面との距離を  $X_a[\text{m}]$  とし散乱電界を観測する。円柱の電気定数として、比誘電率および導電率を  $\epsilon_r = 50$  および  $\sigma = 2[\text{S/m}]$  とし<sup>7)</sup>、線波源の中心が  $(X_c, Y_c) = (0, ly/2), [\text{m}]$  の場合について検討する。また、周波数を  $f = 3.35\text{GHz}$ 、円柱直径  $w$  を  $0.35[\text{m}]$  に設定している<sup>8)</sup>。

$lx = ly = 2[\text{m}]$  の領域について検討を行う。また、通行人密度は、単位面積当たりの人数 (=  $\eta$ ) で定義され、 $\eta = 1[\text{人}/\text{m}^2]$ 、 $\eta = 3/2[\text{人}/\text{m}^2]$ 、 $\eta = 2[\text{人}/\text{m}^2]$ 、 $\eta = 5/2[\text{人}/\text{m}^2]$ 、 $\eta = 15/4[\text{人}/\text{m}^2]$  の場合について検討する。なお、平均的な受信電力を評価するため、円柱をランダムに配置し試行回数を 30 回としている。円柱をランダム配置する場合、円柱が重なる場合は外している。また、受信電力は全電界から求められ、次式で計算している。

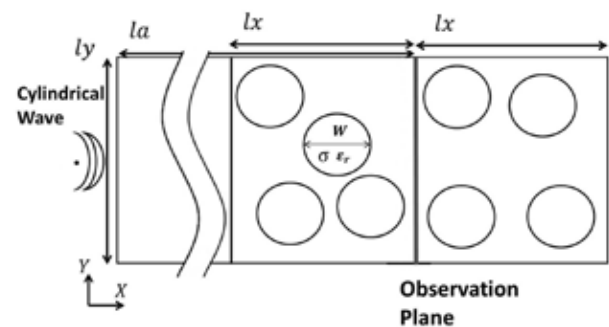


図 1 問題の座標系

<sup>1)</sup> 電気電子工学専攻大学院生

<sup>2)</sup> 電気システム工学科担当教授

また、図2のように受信面の前方にのみ人体モデルが存在している場合のモデルをモデル1、図3のように受信面の前方及び後方にも人体モデルが存在している場合のモデルをモデル2として扱い、上記に述べた  $lx \times ly$  を基本領域として送受信間距離  $la$  を伸ばしていく。

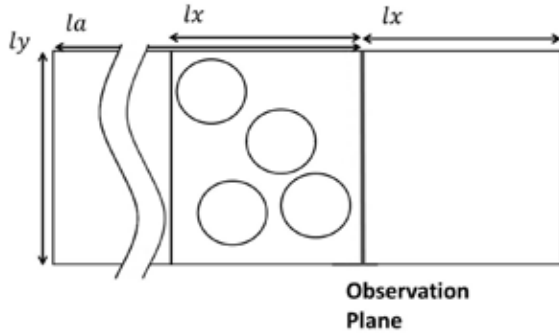


図2 受信面前方にのみ人体モデルが存在するモデル1

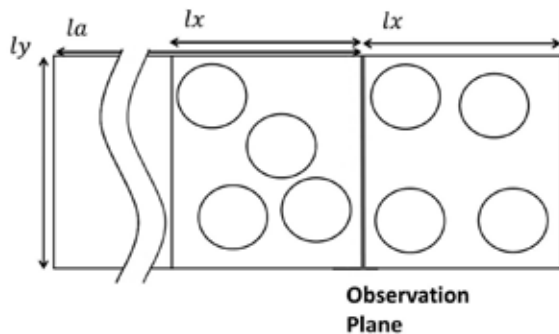


図3 受信面前方及び後方にも人体モデルが存在するモデル2

### 3. 数値計算結果

本節では、送受信間距離が比較的短い 2[m]、4[m] の場合とやや長い 14[m] の場合の受信電力分布を調べ、その後、伝搬距離に対する人体による損失特性について検討を行う。

#### 3.1 送受信間距離 $la = 2$ [m] の場合

送受信間距離  $la = 2$ [m] の場合の通行人密度  $\eta$  を  $\eta = 1$ [人/m<sup>2</sup>]、 $\eta = 3/2$ [人/m<sup>2</sup>]、 $\eta = 2$ [人/m<sup>2</sup>]、 $\eta = 5/2$ [人/m<sup>2</sup>]、 $\eta = 15/4$ [人/m<sup>2</sup>] と変化させたときの各観測点における平均受信電力を、受信面前方にのみ人体モデルを配置した場合と受信面後方にも人体モデルを配置した場合の結果としてそれぞれ図4と図5に示す。図4、図5は横軸は観測面、縦軸は平均受信電力を示している。

モデル1とモデル2のどちらの場合においても通行人密度が大きくなるにつれ平均受信電力が小さくなっていること

が分かる。通行人密度の高い  $\eta = 15/4$ [人/m<sup>2</sup>] の場合はモデル1では受信面の中央部分での平均受信電力が受信面の両端に比べ低くなっており、中央部分の  $-0.5$ [m] から  $0.5$ [m] の間の最小値と両端の  $-1$ [m] から  $-0.5$ [m] と  $0.5$ [m] から  $1$ [m] の間の最大値の差が  $22.5$ [dB] である。通行人密度の低い  $\eta = 1$ [人/m<sup>2</sup>]、 $\eta = 3/2$ [人/m<sup>2</sup>]、 $\eta = 2$ [人/m<sup>2</sup>] ではモデルの変化による特性の変化は見受けられない。

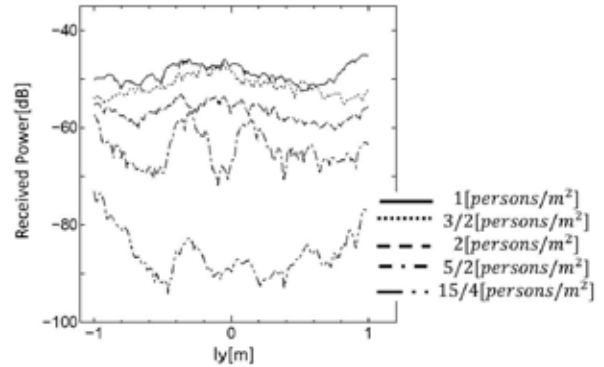


図4 送受信間距離  $la = 2$ [m] の場合のモデル1における平均受信電力

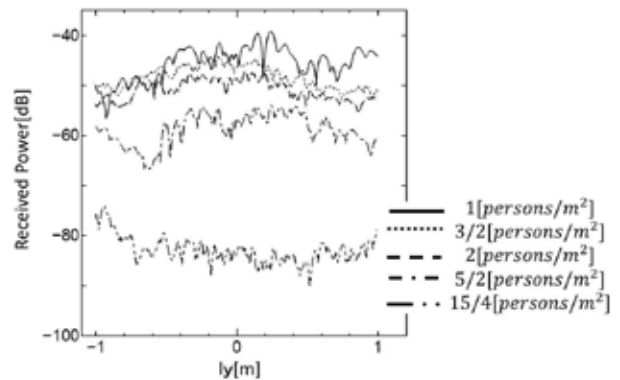


図5 送受信間距離  $la = 2$ [m] の場合のモデル2における平均受信電力

#### 3.2 送受信間距離 $la = 4$ [m] の場合

送受信間距離  $la = 4$ [m] の場合の通行人密度  $\eta$  を変化させたときの各観測点における平均受信電力を、受信面前方にのみ人体モデルを配置した場合と受信面後方にも人体モデルを配置した場合の結果としてそれぞれ図6と7に示す。送受信間距離  $la = 2$ [m] の場合と同様にモデル1とモデル2のどちらの場合においても通行人密度が大きくなるにつれ平均受信電力が小さくなっていることが分かる。 $la = 2$ [m] の通行人密度  $\eta = 15/4$  のモデル1で見られた受信面の中央が両端に比べ低くなっている現象がモデル1モデル2の両方で起きており、中央部分の  $-0.5$ [m] から  $0.5$ [m] の間の最小値と

両端の  $-1[\text{m}]$  から  $-0.5[\text{m}]$  と  $0.5[\text{m}]$  から  $1[\text{m}]$  の間の最大値の差がモデル 1 では  $26.3[\text{dB}]$ 、モデル 2 では  $21.7[\text{dB}]$  であった。

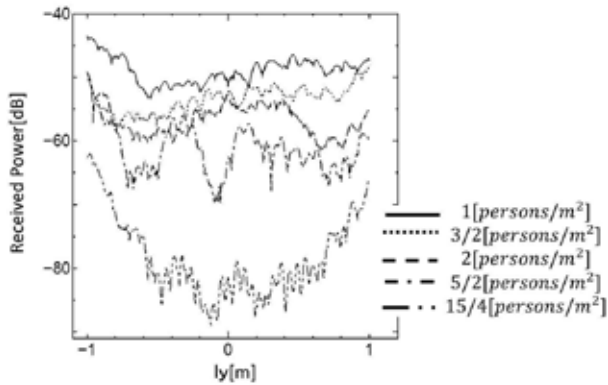


図 6 送受信間距離  $la = 4[\text{m}]$  の場合のモデル 1 における平均受信電力

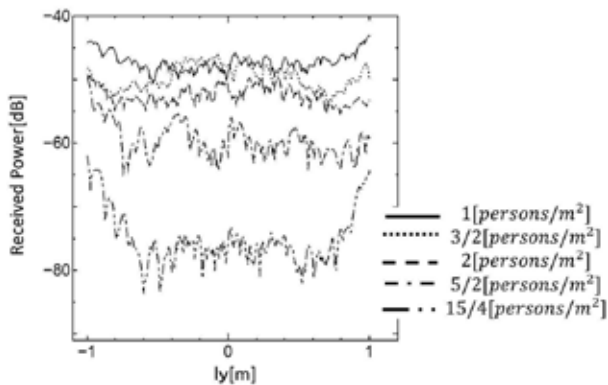


図 7 送受信間距離  $la = 4[\text{m}]$  の場合のモデル 2 における平均受信電力

### 3.3 送受信間距離 $la = 14[\text{m}]$ の場合

送受信間距離  $la = 14[\text{m}]$  の場合、通行人密度  $\eta$  を変化させたときの各観測点における平均受信電力を、受信面前方のみに人体モデルを配置した場合と受信面後方にも人体モデルを配置した場合の結果としてそれぞれ図 8 と 9 に示す。

モデル 1 とモデル 2 のどちらの場合においても通行人密度が大きくなるにつれ平均受信電力が小さくなっていることが分かる。またこの場合でも  $la = 4[\text{m}]$  の通行人密度  $\eta = 15/4$  でのモデル 1、モデル 2 両方で見られた受信面の中央が両端に比べ低くなっている現象が同様に起きており、中央部分の  $-0.5[\text{m}]$  から  $0.5[\text{m}]$  の間の最小値と両端の  $-1[\text{m}]$  から  $-0.5[\text{m}]$  と  $0.5[\text{m}]$  から  $1[\text{m}]$  の間の最大値の差がモデル 1 では  $29.5[\text{dB}]$ 、モデル 2 では  $23.6[\text{dB}]$  であった。

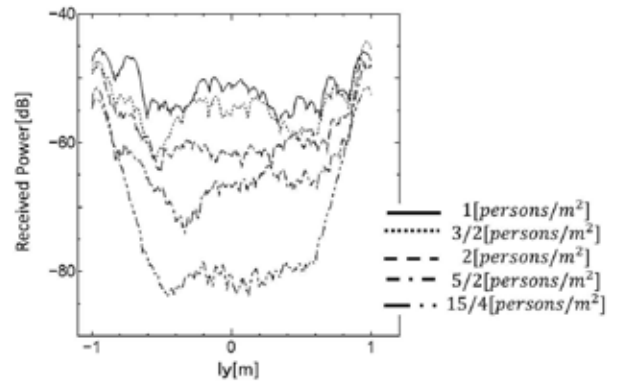


図 8 送受信間距離  $la = 14[\text{m}]$  の場合のモデル 1 における平均受信電力

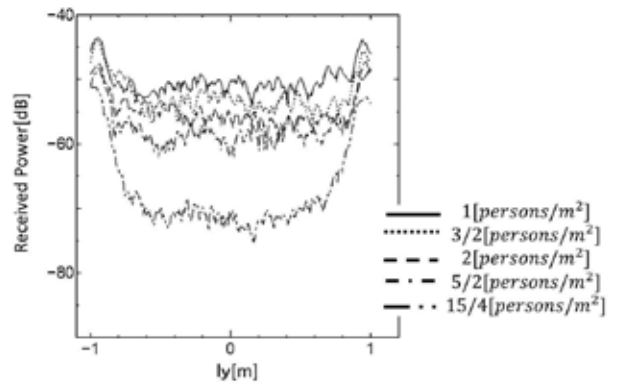


図 9 送受信間距離  $la = 14[\text{m}]$  の場合のモデル 2 における平均受信電力

### 3.4 受信面後方に人体モデルが存在することによる影響

本節では、前節で得られた受信電力を受信面ごとに平均化し受信面後方に人体モデルが存在している場合の受信面への影響について検討を行う。

図 10 は、単位面積当たりの人数が  $\eta = 1[\text{人}/\text{m}^2]$ 、 $\eta = 3/2[\text{人}/\text{m}^2]$ 、 $\eta = 2[\text{人}/\text{m}^2]$ 、 $\eta = 5/2[\text{人}/\text{m}^2]$ 、 $\eta = 15/4[\text{人}/\text{m}^2]$  で横軸が送受信間距離  $la[\text{m}]$  縦軸が各受信面での平均受信電力を示している。図 10 からモデル 2 の受信電力は  $\eta$  や送受信間距離  $la$  に関わらずモデル 1 よりも値が大きくなっており、受信面後方に存在する人体モデルからの反射による影響が出ていると考えられる。また、送受信間距離  $la[\text{m}]$  を伸ばすことにより、通行人密度  $\eta$  の増加に応じて、一定値に収束していることが分かる。

また、図 10 から通行人密度  $\eta$  が  $\eta = 5/2[\text{人}/\text{m}^2]$ 、 $\eta = 15/4[\text{人}/\text{m}^2]$  の場合に、送受信間距離  $la$  を伸ばすと受信面後方からの影響に関係なく、平均受信電力が上昇している事が確認できる。これは通行人密度  $\eta$  が高い場合、人体モデルが障害物となる。そのため入射波が直接受信面に到達する事がなくなり、受信面で観測できる電波が人体モデルの間を反射

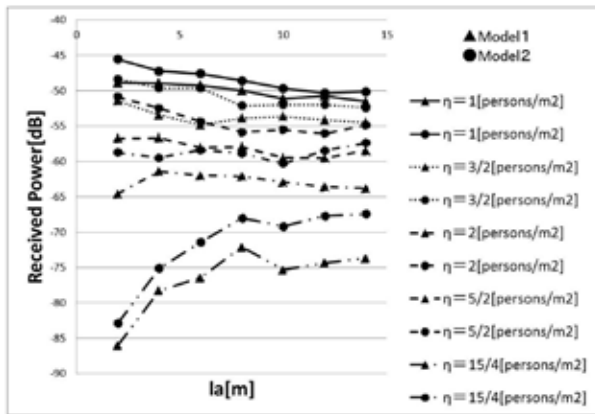


図10 モデル1とモデル2の受信電力の平均

してきたものと、人体モデルを配置している領域外からの回折波に限られる。入射波源と人体モデルの距離が近い場合、人体モデルによる入射波の受信面の方向に対する影境界の角度が大きくなり、受信面へ到達する回折波が減少する。この状態から送受信間距離を延ばすことで入射波の受信面の方向に対する影境界の角度が小さくなり、受信面へ到達する回折波が増加している。自由空間での伝搬損失が、送受信間距離を延ばすことによる回折波の増加を下回ったため、通行人密度  $\eta$  が  $\eta = 5/2$  [人/m<sup>2</sup>]、 $\eta = 15/4$  [人/m<sup>2</sup>] の場合に受信電力が上昇する結果になったと考えられる。

#### 4. まとめ

本論文では、送受信間および受信面後方に複数の人体が存在する場合における伝搬損失特性の検討を行った。

伝搬損失特性の検討については、送受信間及び受信面後方に複数の人体をランダムに配置し、通行人密度を単位面積当たりの人数を増加させ、伝搬距離を伸ばしていくと、送受信間のみならず人体モデルが存在している場合も送受信間及び受信面後方にも人体モデルが存在している場合も平均受信電力は小さくなることが分かった。また、受信面後方からの影響について、送受信間および受信面の後方にも人体モデルが存在した場合、送受信間のみ人体モデルが存在している場合よりも受信電力が高くなることが分かり、通行人密度に依存して一定の値に収束する可能性を示した。

今後の課題として、伝搬損失特性の検討については、様々な環境に対応できるように通行人密度のデータ数を増やすことや、地下街などの周りに壁が存在する場合の伝搬損失特性の検討が挙げられる。また、送信点の後方にも人体が存在する場合の検討については、y軸方向の要素も取り入れて検討を行うことや、実験と比較して検証を行うことが必要である。

#### 参考文献

- 1) 太田, 藤井, “屋内・周辺環境下における伝搬変動モデルの提案 (その1)”, 電子情報通信学会信学技報, AP2006-

55, 2006.

- 2) 太田, 藤井, “屋内・周辺環境下における受信レベル変動特性”, 電子情報通信学会信学技報, AP2006-54, 2006.
- 3) T. Fujii and Y. Ohta, “Dynamic Channel Modeling for Static Mobile Terminals in Indoor NLOS Environments”, Proc. of IEEE 2007VTC fall, 2007.
- 4) 太田, 藤井, “人体による電波の遮蔽特性に関する実験的検討”, 電子情報通信学会信学技報, AP2008-159, 2009.
- 5) M. Yokota, T. Ikegami, Y. Ohta, T. Fujii, “Numerical Examination of EM Wave Shadowing by Human Bodies Between Transmitter and Receiver”, Proc. of 2010 International Symposium on Antennas and Propagation, pp. 555-558, 2010.
- 6) 友永, 横田, 太田, 藤井, “送受信間に複数の人が存在する場合の電波損失特性の数値解析に基づく検討”, 電子情報通信学会信学技報, AP2011-95, 2011.
- 7) C. C. Johnson and A. W. Guy, “Nonionizing electromagnetic wave effects in biological materials and systems”, Proc. IEEE, vol.60, pp.692-718, 1972.
- 8) 太田, 藤井, “人体による電波の遮蔽特性に関する実験的検討”, 電子情報通信学会信学技報, AP2008-159, 2009.