

高密度 DSM を用いた列車無線シミュレーション

中嶋幸宏, 谷 憲樹, 森 崇

Radio propagation simulation for train using high density digital surface model

Yukihiro NAKAJIMA, Norishige TANI, Takashi MORI

Abstract: In the design of wireless base station arrangement for train, the radio propagation simulation by statistical method has been used. However it might not obtain an enough accuracy, because terrain and features influence it. So, we executed the simulation by knife edge diffraction model using high density DSM that is made by aerial photos that railway company has. When having compared it with the actual measurement data, it was confirmed the influence of the feature was predictable.

Keywords: 電波伝搬シミュレーション (radio propagation simulation), 列車無線 (train radio system) 数値地表モデル (digital surface model), ナイフエッジ回折モデル (knife edge diffraction model)

1. はじめに

列車無線は, 鉄道の安全な運行を維持するための情報伝達手段である. 指令所と列車乗務員の連絡が常に可能となるよう無線基地局を適切に配置し, 適切な音声品質を保つように保全する必要がある.

車上局は線路上を移動するため, 伝搬路の地形や地物の条件は列車位置により変動する. したがって, 無線基地局の配置 (置局設計) は, 机上シミュレーションおよび現地調査で検討する.

シミュレーションの計算モデルは, 過去に多くの研究がなされてきた. 地形・地物の地理空間情報も, 近年は様々な形で得られるようになってきた.

そこで, 本研究では計算モデルと地理空間情報を整理し, 列車無線シミュレーションへ適用することにより, 机上検討の予測精度向上を目指した.

2. 計算モデルと地形・地物データの概要

2.1 計算モデル

電波伝搬シミュレーションの計算モデルは, 統計的手法と決定論的手法に分類することができる.

統計的手法は, 実測データから伝搬損失の推定式を作成するものである. 実測条件により, 伝搬路の距離や周波数等の適用条件が定まる (表-1).

表-1 代表的な統計的計算モデル

推定式	周波数	距離	参考文献
Egli 式	30MHz-1GHz	1-50km	Egli, 1957
奥村-秦式	150MHz-1.5GHz	1-20km	奥村ほか, 1967
Walfisch-池上式	800MHz-2GHz	20m-5km	Walfischほか, 1988
坂上式	450MHz-2.2GHz	500m-10km	坂上ほか, 1991

決定論的手法は, 地形・地物による電波の回折や反射等を厳密に考慮するものである. 代表的な手法にレイトレーシング法がある. この手法では, 地形および建造物の形状等の地物モデルが必要である.

中嶋: 〒215-0004 神奈川県川崎市麻生区万福寺 1-2-2

アジア航測株式会社 空間技術開発室, 044-967-6192

谷: 株式会社ジェイアール西日本テクノス

森: 西日本旅客鉄道株式会社

地形等の障害物が、横方向に無限に広がった壁（ナイフエッジ）に近似できる条件では、ナイフエッジ回折モデル（渋谷，1976）を用いることができる。

置局設計の立場では、地形を直接考慮できる決定論的な手法が理想である。

2.2 地形・地物データ

全国を整備した数値地形モデル（DTM: Digital Terrain Model）として、基盤地図情報に 10m メッシュ（標高）が公開されている。これは 1/25,000 地形図の精度である。

一方、地物を含む数値地表モデル（DSM: Digital Surface Model）も利用が進んでいる。航空機によるレーザ計測のほか、ステレオ航空写真の自動マッチングによる計測も、画像パターン認識技術の向上により精度・生産性が向上している。

地物データとしては、その他に CAD モデルが考えられる。しかし、都市の CAD モデルが整備されていることはほとんどなく、コストが問題となる。

ここで、地形・地物データと計算モデルの対応を表-2 にまとめる。

表-2 地形・地物データと計算モデル

地形・地物	データソース	計算モデル	特徴
—	—	統計的手法（表-1）	地形データ不要
DTM	日本地図センター 国土地理院	決定論的：ナイフエッジ回折モデル	軽量の計算 粗密度メッシュ
DSM	航空写真 航空レーザ計測	—	高密度メッシュ 樹木・建物
CAD	航空写真やレーザ計測点群、施設設計情報	決定論的：レイトラシング	計算精度：高 データ入手：難 計算量：多

3. 列車無線シミュレーションへの適用

統計的手法の一つである Egli 式は列車無線をよく近似しており、列車無線の置局設計において実績がある。しかし、地形等の条件により実際の電波状態と一致しない問題があった。

一方、JR 西日本では線路平面図のために線路に沿って航空写真を撮影している。航空写真は 10cm の解像度がある。これを活用することにより、50cm メッシュの高密度 DSM を低コストで作成することができ、沿線建造物等の影響を考慮した精度の高いシミュレーションを期待できる。しかし、DSM に対して適用できる計算モデルがない（表-2）。

本研究では高密度 DSM へのナイフエッジ回折モデル適用を検討する。DSM をナイフエッジとみなして計算するため、その効果を実測値と比較し、置局設計への利用可能性を考察する。

4. 数値地表モデル（DSM）の準備

航空写真を用い、デジタルステレオ図化機によるステレオマッチング法で DSM を作成した（図-1）。

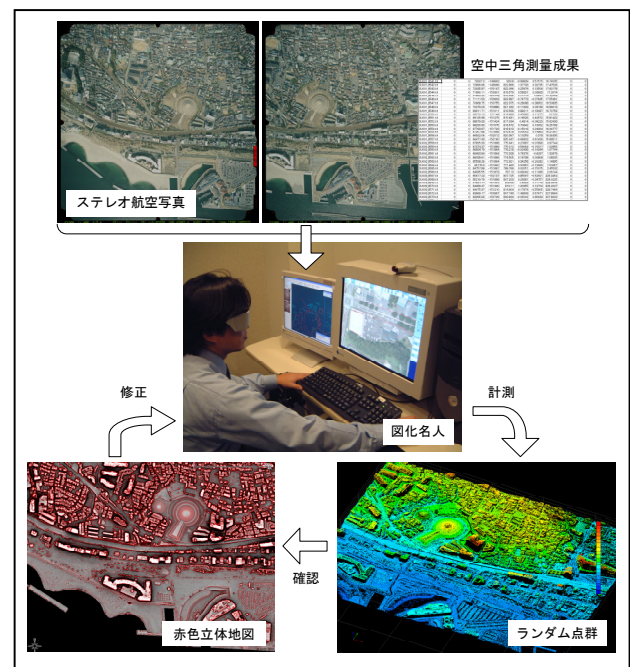


図-1 DSM 作成フロー

水部はマスク処理を行い、マッチングエラーで大きな地物が欠落した箇所は図化機で修正した。また、航空写真で不足する線路から離れた地域は、基盤地図情報 10m メッシュ（標高）で補った。

5. 列車無線シミュレーション

5.1 受信レベル計算

シミュレーションに必要な無線基地局の諸元として、以下を揃えた。

- 基本諸元（周波数，基地局座標，送信出力）
- アンテナ（指向性パターン，利得，方位・高さ）
- その他（給電線損失，その他損失）

周波数は約 350MHz である。シミュレーションは山陽本線から 10km，関西本線から 10km，和歌山線から 3km の各区分について，DSM を作成し実施した。車上局については，ステレオ航空写真から図化した三次元線路中心線データを使用し，10m 間隔の受信位置で計算することにした。

本研究ではナイフエッジ回折モデルにより回折損失および近接リッジ損失を計算し，受信機入力電圧 P_r (dB μ V) を求める（図-2）。

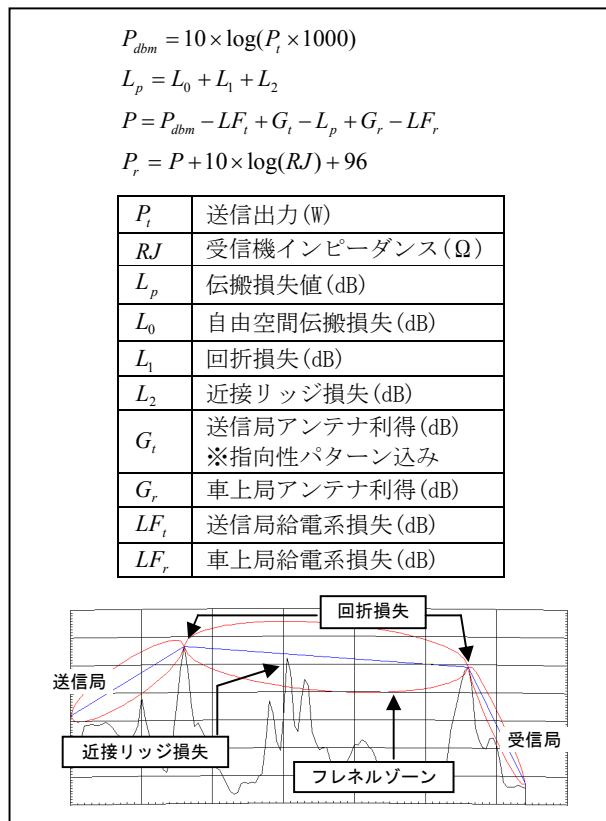


図-2 受信機入力電圧計算式

山陽本線の対象区間では無線基地局が 4 局ある。いずれもアンテナは線路の上り・下り方向に向けて設置されている。これら 8 通りの送信条件について各車上局位置で計算した結果を，図-3 に示す。横軸は車上局の位置，縦軸は受信機入力電圧であり，基地局別に色分けした。また，車上局の受信レベルを到来波の最大値と仮定し，図-3 を最大値で合成した結果を図-4 に示す。

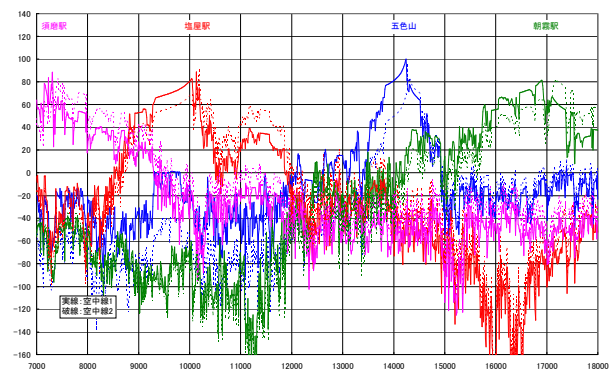


図-3 受信レベル計算結果（無線基地局別）

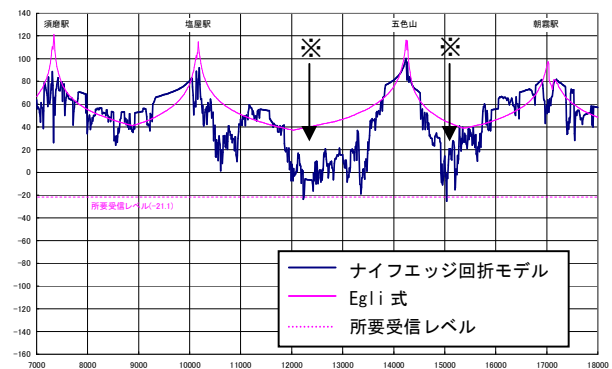


図-4 受信レベル計算結果（最大値合成）

全体として，ナイフエッジ回折モデルの結果と Egli 式の結果には良好な相関が見られるが，図-4 に※印で示す地点ではナイフエッジ回折モデルの数値が大きく下がる。これは地形・地物の影響を予測したものである。無線を使用する列車乗務員の知見とも一致することがわかった。

5.2 干渉検討

関西本線において、干渉検討を実施した(図-5)。

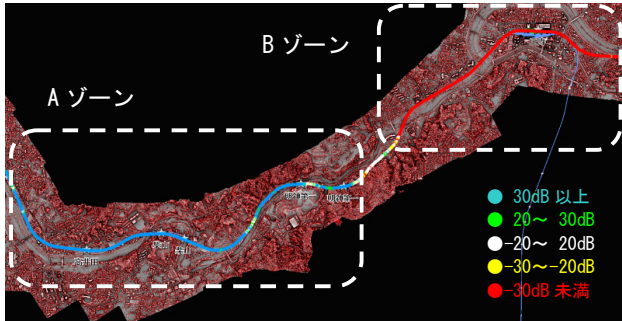


図-5 ゾーン間の D/U 計算結果

AゾーンとBゾーンでは通信内容が異なる。周波数は同一とし、空間波伝搬のみを考慮するものとする。ゾーン間の干渉を検討するため、それぞれの受信レベルを最大値で合成し、AゾーンからBゾーンの受信レベルの差(混信保護比: D/U)を計算した。その結果、ゾーンの境界に存在する急峻な地形が、干渉を小さくしていることが確認された。

6. 実測値による検証

和歌山線において、実測値との比較を行った結果を図-6に示す。

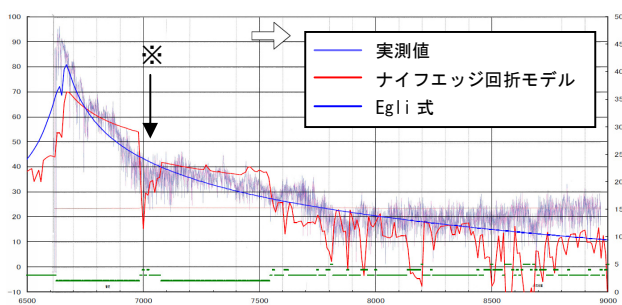


図-6 受信レベル計算結果と実測値の比較

この地域には地形の障害がほとんどなく、受信レベルの変動の要因は主に地物の影響と考えられる。図中の※印の地点では、実測値、ナイフエッジ回折モデル計算結果ともに受信レベルが低下している。

ここは陸橋が交差しており、その影響を予測したと考えられる。

ナイフエッジ回折モデルの結果は、実測値に対して定誤差となっており、また上下変動が大きいと言える。これは、伝搬路の中心縦断のみに着目するナイフエッジ回折モデルを採用した影響と考えられる。具体的には、ナイフエッジと見なせないフレネルゾーン内の複雑な横断形状や、マルチパスを考慮していない点が挙げられる。

7. おわりに

航空写真から 50cm メッシュ DSM を作成し、列車無線シミュレーションを試みた。計算に用いたナイフエッジ回折モデルは高密度 DSM を十分に生かすことはできない。しかし、比較的軽い計算量で傾向を把握できる点は、机上検討に有用である。

今後は実測による検証を進め、傾向を把握するとともに、実用式としての補正方法や他の計算モデルの適用を検討し、精度を向上させたい。

参考文献

- J. Egli (1957): Radiowave propagation above 40 Mc over irregular terrain, Proc. IRE, pp. 1383-1391
- 奥村義久, 大森英二, 河野十三彦, 福田倚治 (1967): 陸上移動無線における伝搬特性の実験的研究, 通研実報, [16], 9, pp. 1705-1764.
- J. Walfisch and H. L. Bertoni (1988): A theoretical model of UHF propagation in urban environment, IEEE Trans. Antennas Propagat., AP-36, 12, pp. 1788-1796
- 坂上修二, 久保井潔 (1991): 市街地構造を考慮した伝搬損失の推定, 信学論, J74-B- II [1], pp. 17-25
- 渋谷茂一 (1976): 電波伝搬基礎図表, コロナ社