

RadioTwin: 3D都市モデルを活用した 電波環境可視化技術

須藤 克弥 (Katsuya Suto)

電気通信大学 大学院情報理工学研究科 准教授

k.suto@uec.ac.jp

はじめに



ビッグデータ収集により都市空間のリソース・サービスを管理

認識

- ・ 携帯端末、車両、ロボット
- ・ センサ情報、映像、位置情報

制御

- ・ 車両・人の交通制御
- ・ 公共サービス・治安
- ・ 都市設計



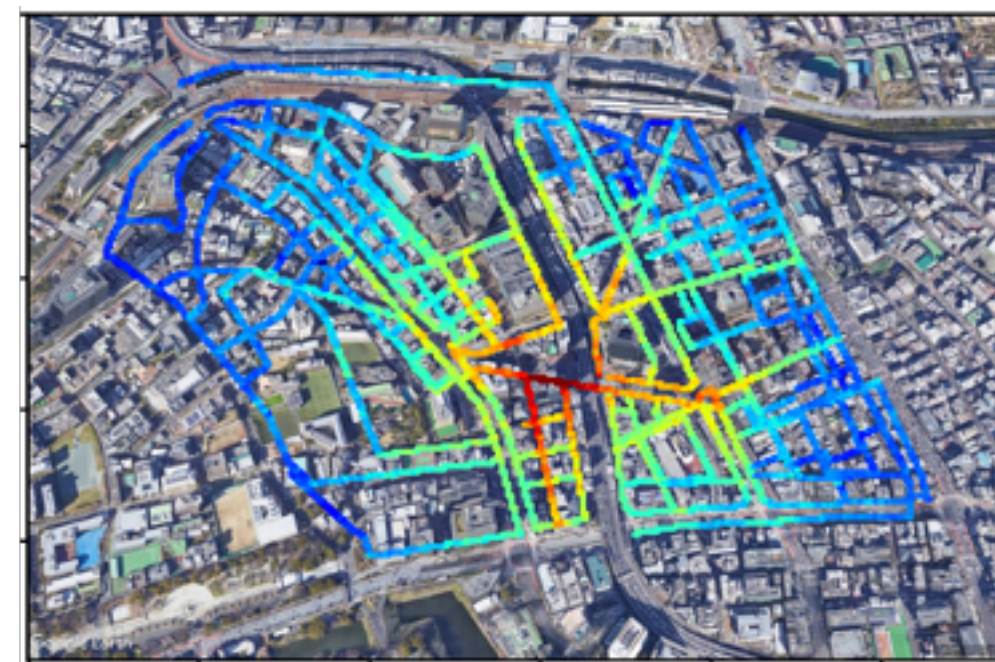
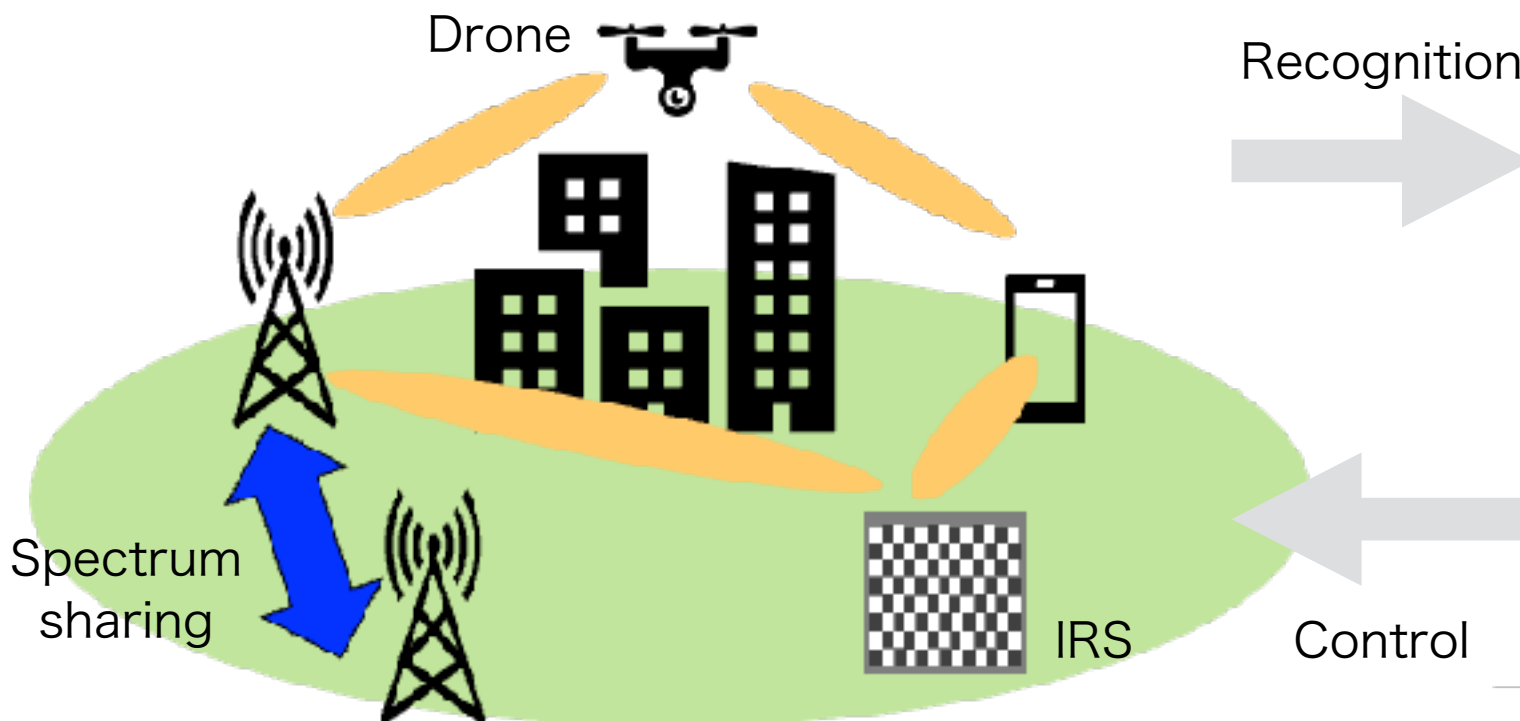
RadioTwin : プログラマブルな無線制御

5次元（平面、高さ、時間、周波数）の電波環境を認識・制御

- ・ 4次元の電波マップにより知的な電波環境制御が可能
- ・ ドローンや車両通信の高信頼化
- ・ 本発表では、2次元の電波環境可視化にフォーカス

物理空間における
電波環境制御

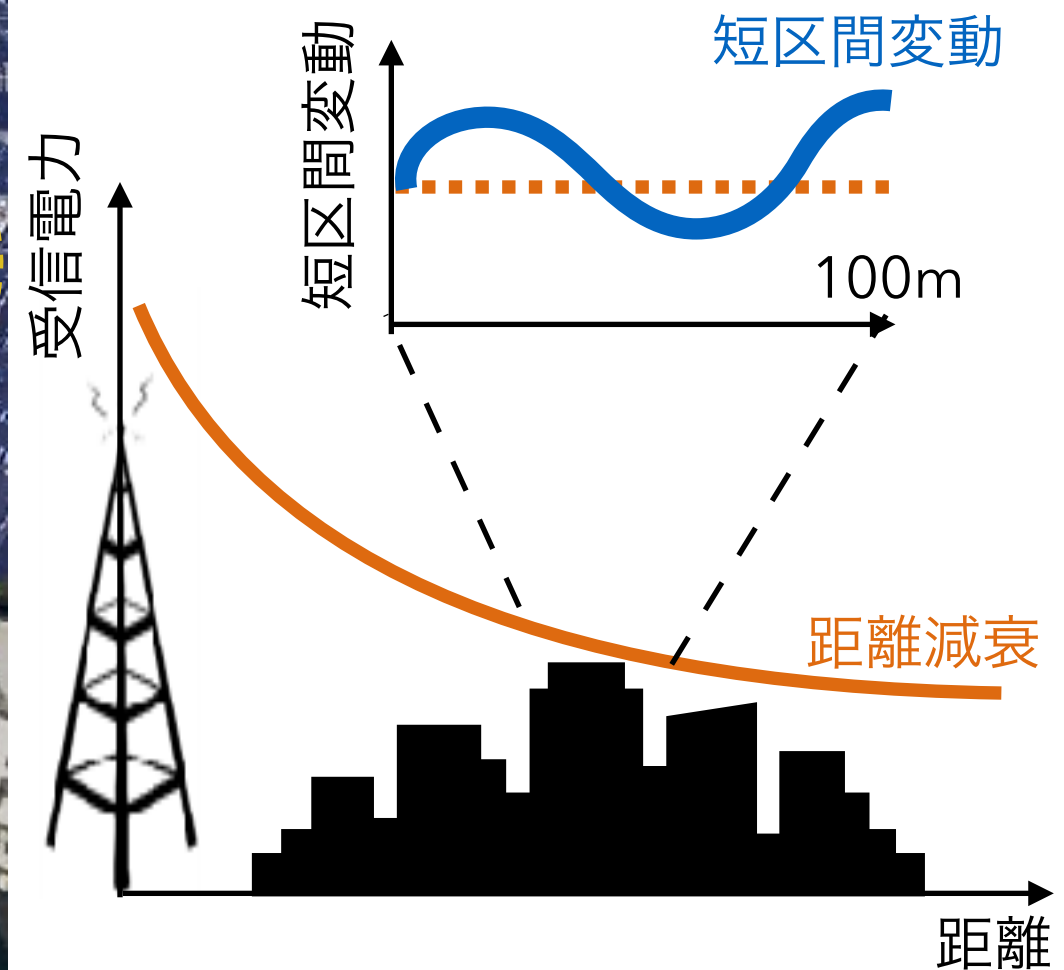
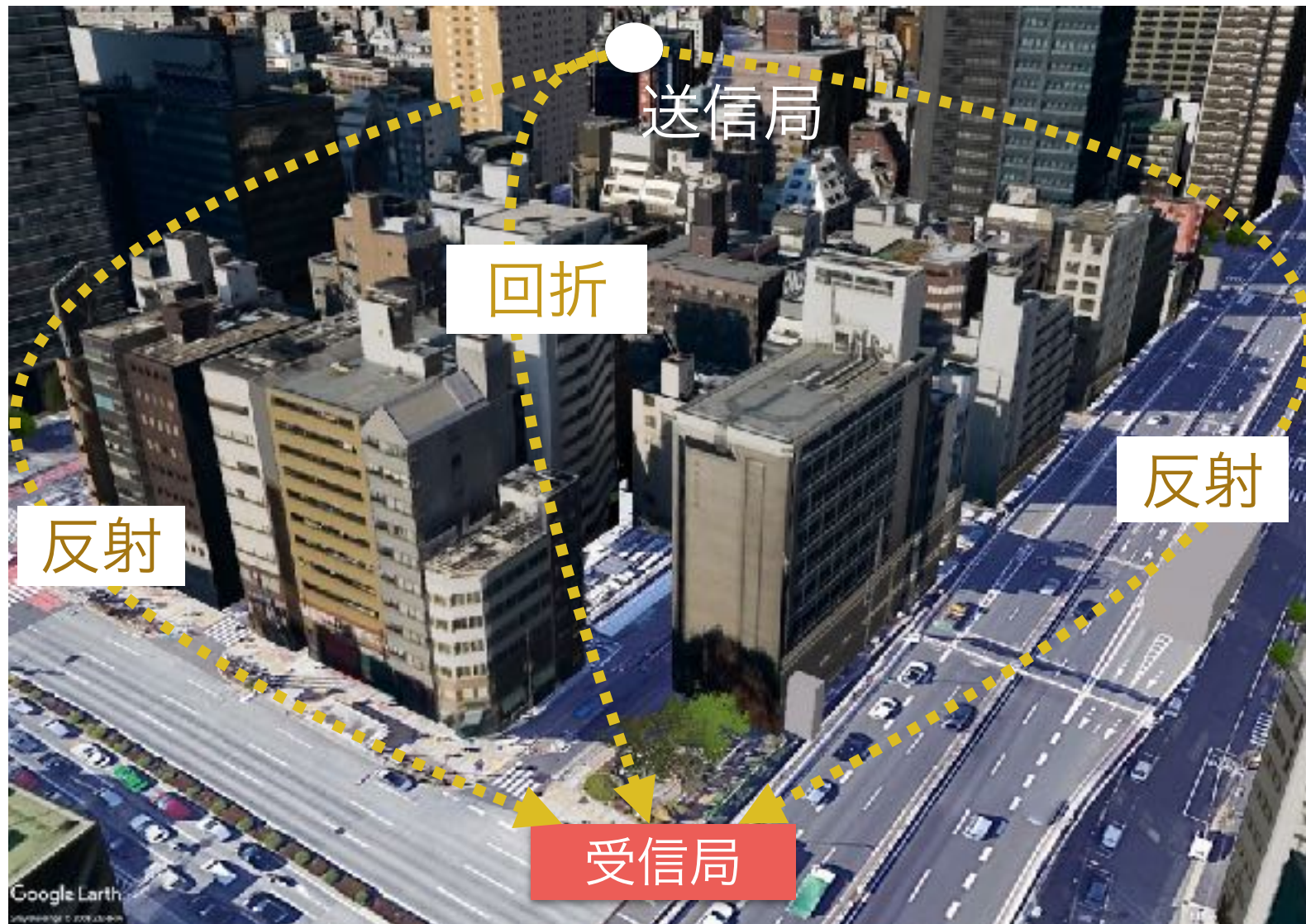
サイバー空間における
電波環境認識



Received signal strength

空間的な電波環境の正確な把握が重要

都市における複雑な電波環境



構造物により変化する複雑な電波環境（短区間変動）を推定できる技術が必要

従来技術とその問題点

物理現象を
基にしたモデル

2波モデル

自由空間
伝搬モデル

実測値に基づく
数理モデル

拡張秦
モデル

ITU-R
P.1411

高度な計算を
要するモデル

レイトレー
シング

コスト・負荷大

ユーザ参加センシング
と3D地図を用いた深層
学習モデル

簡易

都市構造の複雑さへの対応度

複雑

距離減衰
を推定

都会・郊外など
を区別

構造物の影響を考慮

深層学習の導入により、
初心者でも低コストで電波環境を模擬できる技術を実現

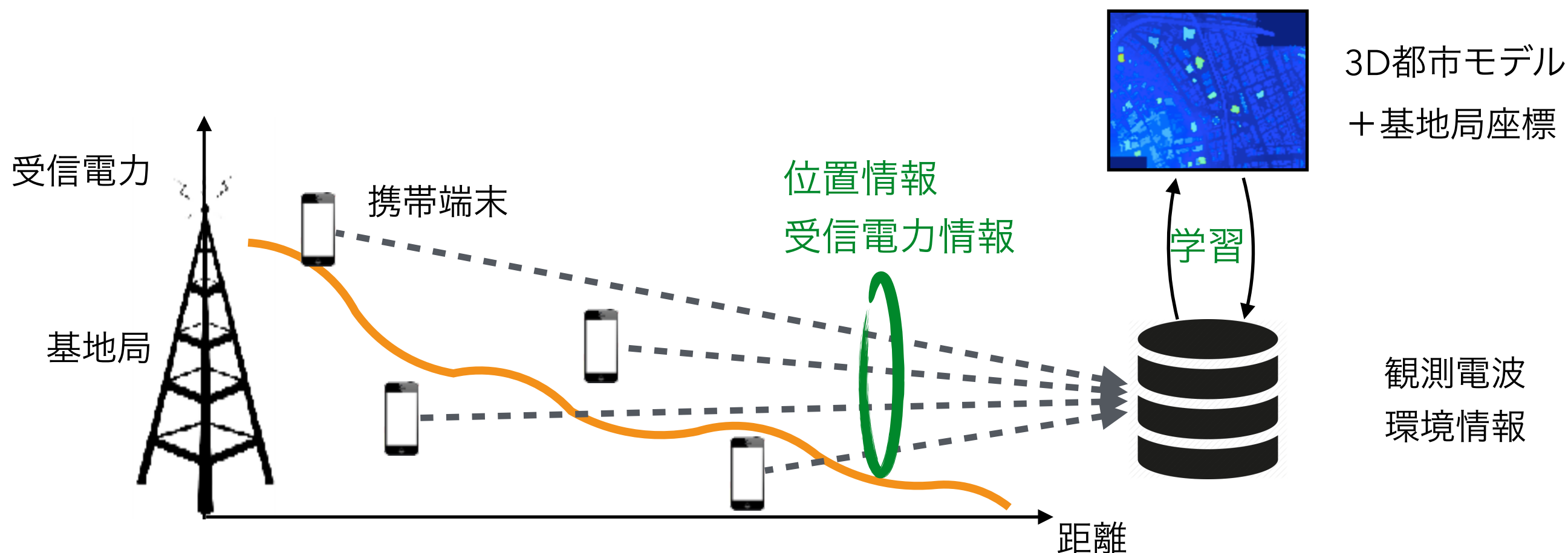
低コストで電波環境を予測するために

データがあるエリアは？

- ・ ユーザ参加型センシング/観測情報の統計処理

データが無いエリアは？

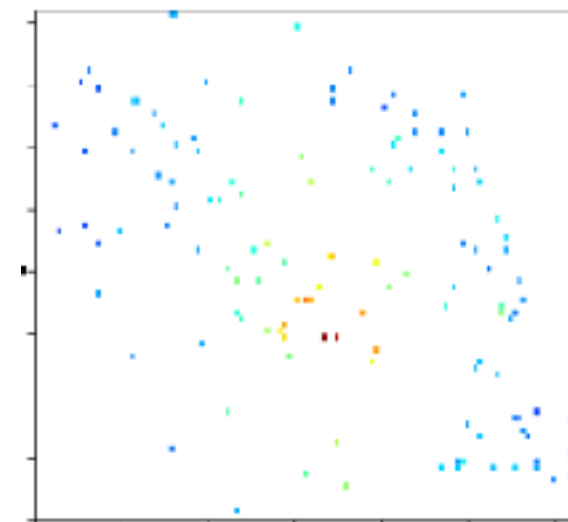
- ・ 観測エリアの3D都市モデルと観測電波情報を用いて学習した深層学習モデルで予測



新技術の特徴・従来技術との比較

技術1：空間補間モデル

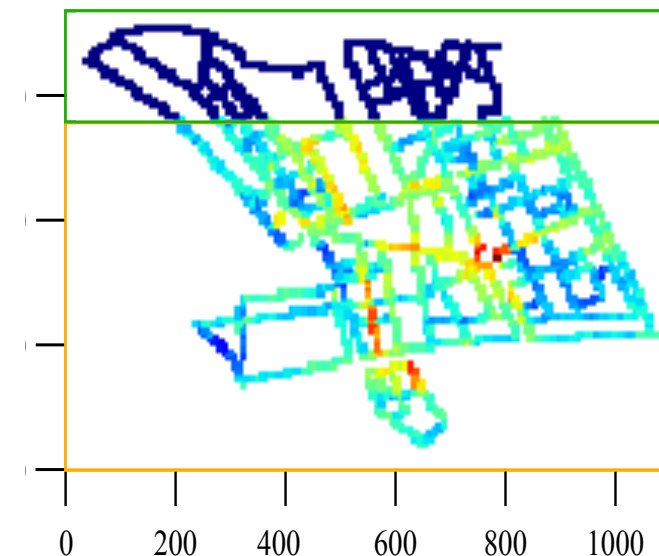
- 従来技術では困難な0.25%のスパース観測情報でエリア全域の電波環境情報を予測



空間補間

技術2：空間補外モデル（特許提案）

- 従来技術で実現されていなかった基地局カバレッジ外の電波環境を予測



空間補外

技術3：伝搬過程再現モデル

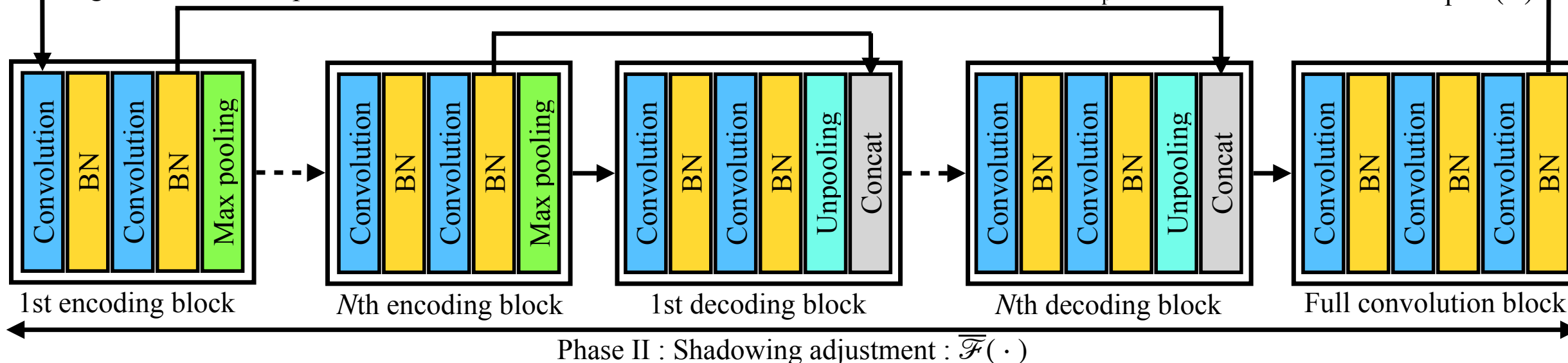
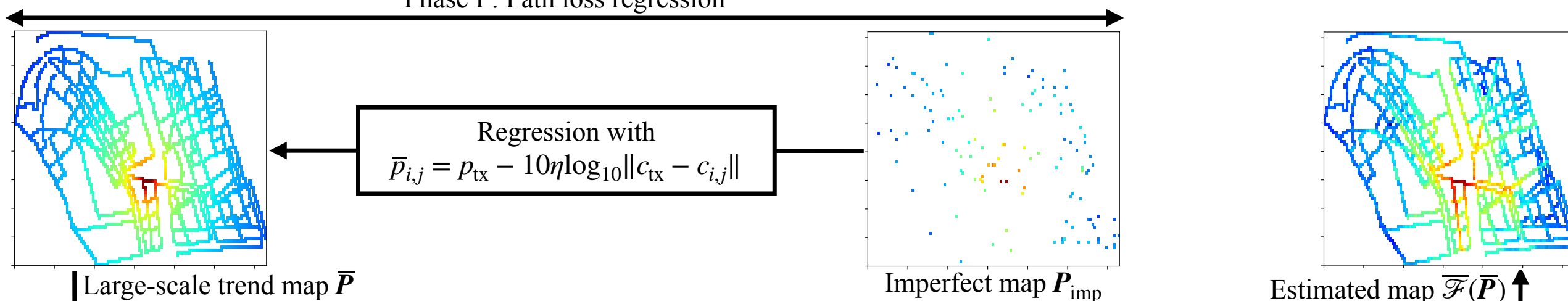
- レイトレーシングと比較して1/20の計算速度で未観測地域の電波環境を予測

技術1：スパースな観測環境に対応した手法

空間補間問題をシャドウイング補正問題に変換

1. スパースな観測信号から距離減衰を推定し、距離減衰マップを構築

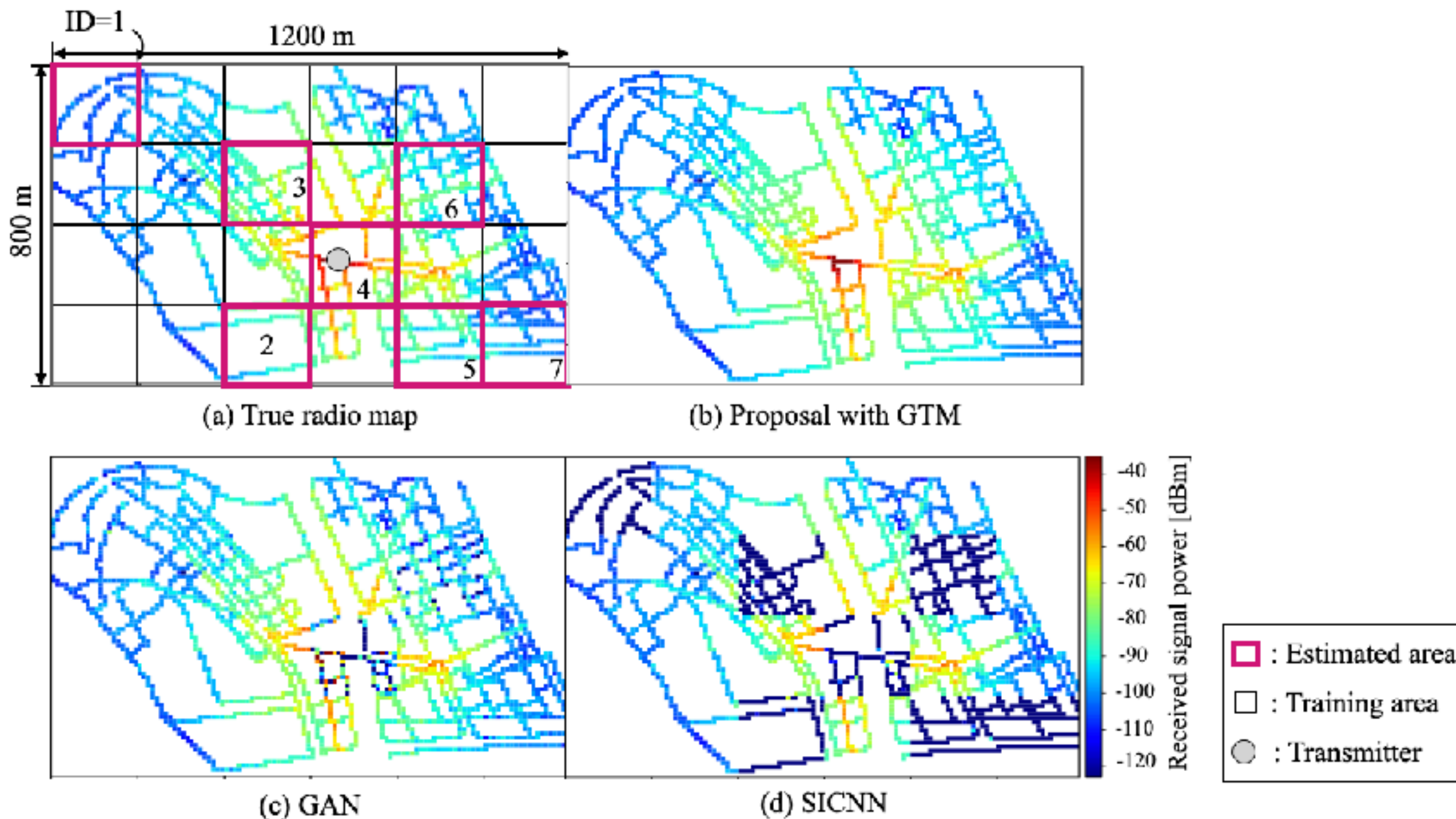
Phase I : Path loss regression



K. Suto, S. Bannai, K. Sato, K. Inage, K. Adachi, and T. Fujii, "Image-Driven Spatial Interpolation With Deep Learning for Radio Map Construction," IEEE Wireless Communications Letters, vol. 10, no. 6, pp. 1222–1226, Jun. 2021.

九段下における性能評価（0.25%の観測）

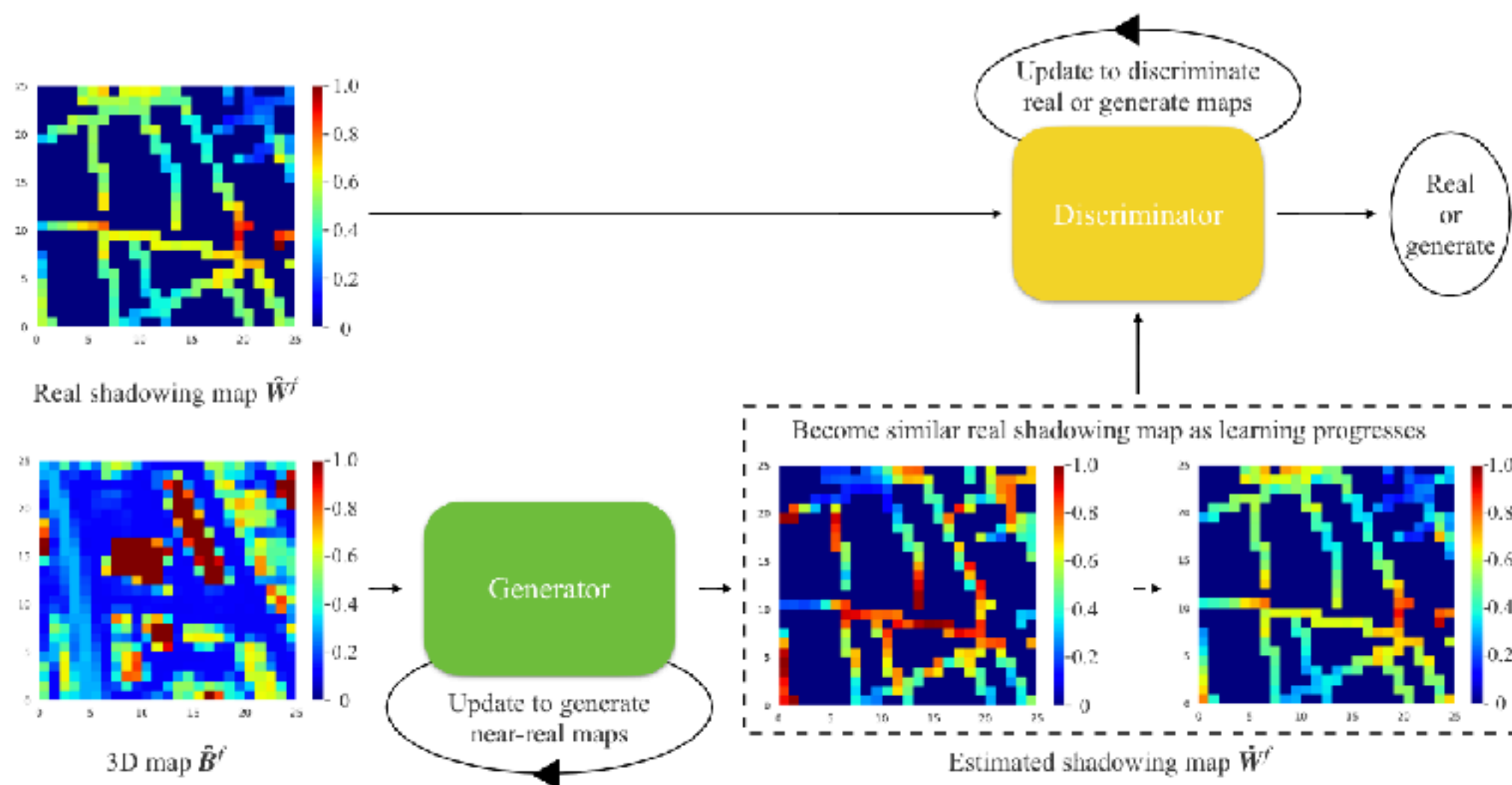
従来技術（GAN）と比較して推定精度を10dB以上改善



技術 2：画像変換によるシャドウイングマップ構築

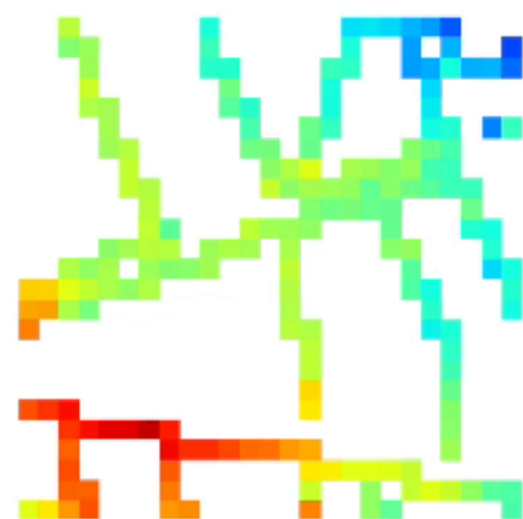
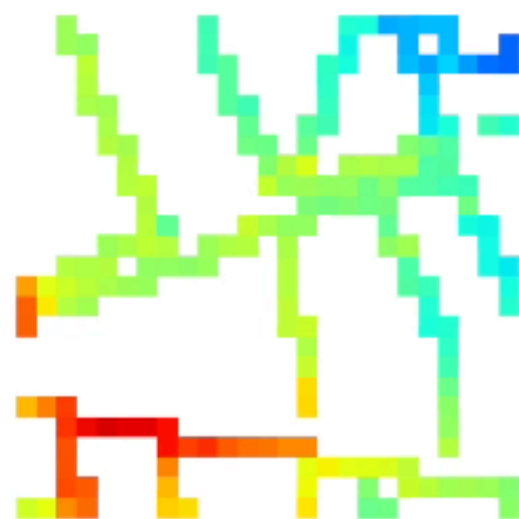
通信エリア外の3次元マップからシャドウイングマップを構築

- 判別器：シャドウイングマップが本物か偽物を判別
- 生成器：判別器を騙せるように本物に近いシャドウイングマップを生成



学習エポックごとの予測

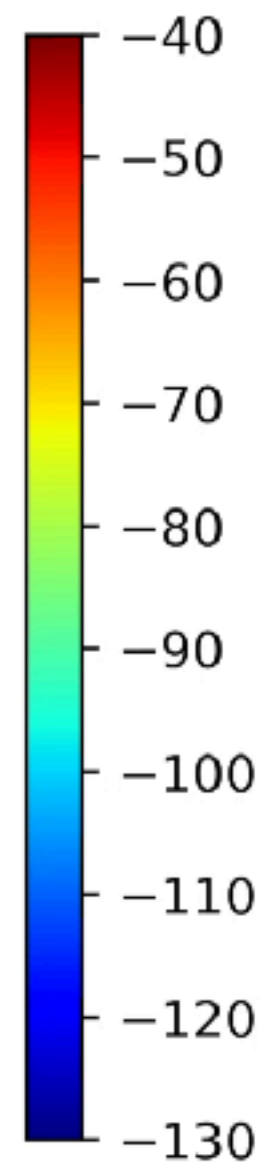
真の電波マップ



提案モデル



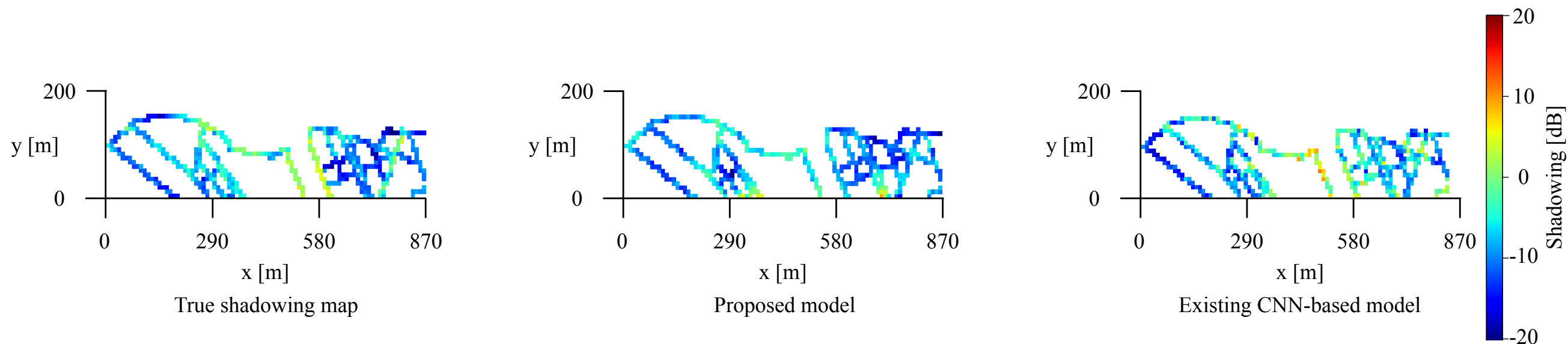
従来モデル



九段下における性能評価

CNNを用いた距離減衰補正手法との比較 [Thrane, Access'20]

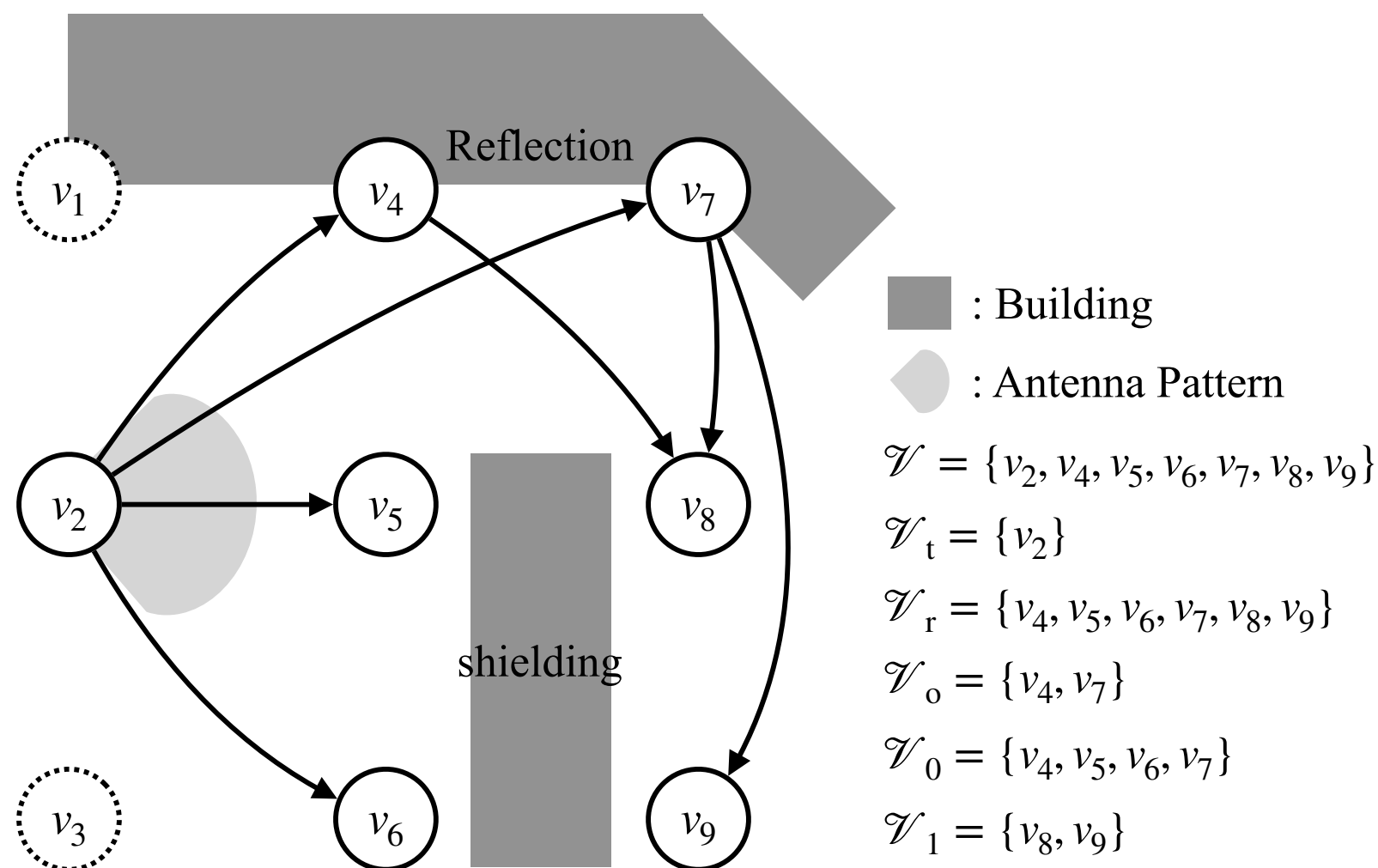
- 提案手法：RMSE = 5.48 [dB]
 - 局所的な変動を推定可能
 - 画像変換を用いているため空間相関を維持した補外推定が可能
- 既存手法：RMSE = 6.00 [dB]
 - ある程度の局所的な変動を推定は可能
 - グリッド単位で大きく/小さくシャドウイングを誤推定



技術3：グラフ表現による伝搬過程再現

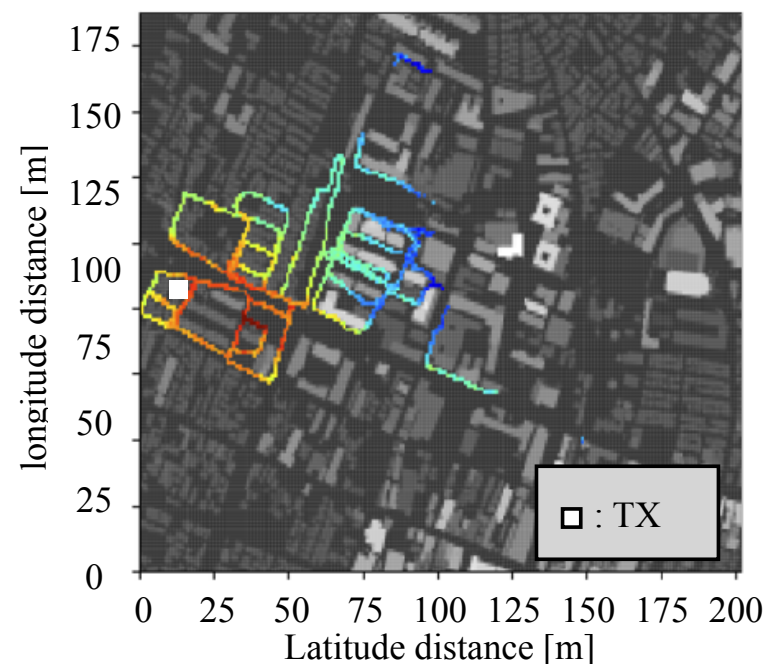
グラフ表現により送信局から受信地点までの伝搬を表現

- ・ ノード：ある 3 次元座標の受信電力
- ・ エッジ：ノード間のパスの存在確率

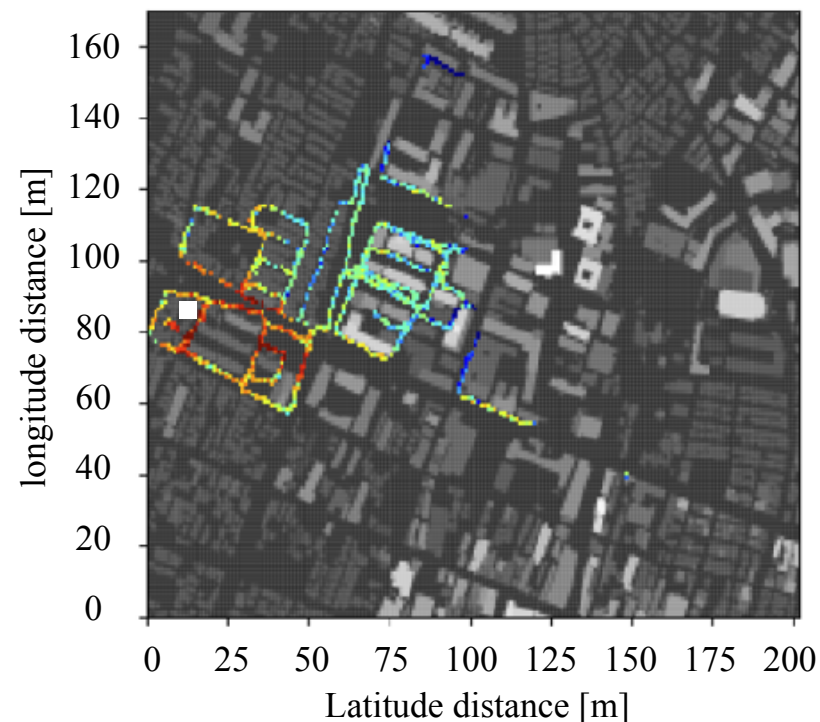


調布における性能評価

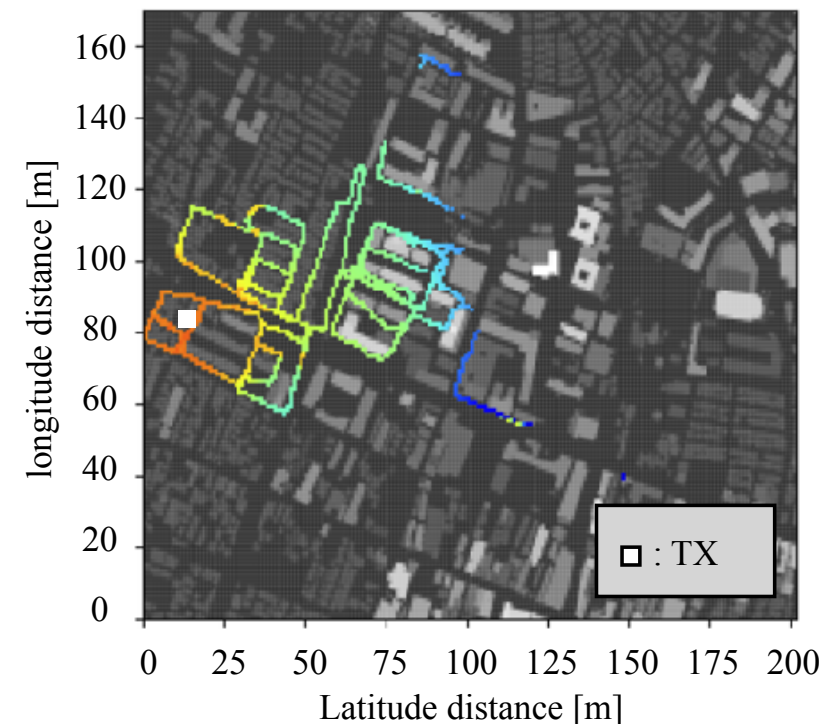
真の電波環境



レイトレーシング



提案手法



予測精度：レイトレーシングと比較して、提案手法は1dB程度改善

計算速度：レイトレーシングが18503秒かかるのに対し、提案手法は1245秒

想定される用途

無線信頼性を保証した通信サービスの設計

- ・ B5G車両通信の高度化
 - ・ 通信状況の完全把握による事故ゼロを目指した無線設計
- ・ ドローン遠隔操作
 - ・ 通信範囲外に移動しないようなセーフティ設計
- ・ 安定した映像配信技術
 - ・ 通信状況予測により映像が止まらないような配信レート設計



実用化に向けた課題

データの拡充・リポジトリのオープン化

高さ方向・高周波数における推定手法の導入

自己位置推定技術の高度化

予測の高速化 & 対応環境の追求

企業への期待

一般ユーザ向けの観測・学習ソフトウェア

通信品質保証が求められるアプリケーション事業者との連携

- ・ ドローン遠隔監視、車両通信、映像配信など

技術課題に対する共同研究

- ・ 高精度な自己位置推定技術、特に屋内環境
- ・ 点群データ・グラフ信号処理などに強みのある企業

本技術に関する知的財産権

発明の名称：電波伝搬推定システム、電波伝搬推定方法
および生成部の製造方法

出願番号：特開2022-092181

出願人：電気通信大学

発明者：須藤克弥、坂内信允

お問い合わせ先

国立大学法人電気通信大学
産学官連携センター
産学官連携ワンストップサービス

TEL 042-443-5871

FAX 042-443-5725

E-mail onestop@sangaku.uec.ac.jp