

総務省委託研究「車車間通信技術を活用したネットワーク
構築に関する研究開発」実証実験成果報告②
高度電波環境データベースの構築と
協調スペクトラムセンシングへの応用

電気通信大学

先端ワイヤレスコミュニケーション研究センター
(AWCC)

藤井 威生

2014年6月20日

電波利活用セミナー2014

謝辞および本報告の位置づけ

- ◆ 本報告は総務省電波資源拡大のための委託研究「車車間通信技術を活用したネットワーク構築に関する研究開発」の研究成果である。
- ◆ トヨタIT開発センター、情報通信研究機構、電気通信大学の三機関が共同受託
- ◆ 本報告は本研究開発のうち、電気通信大学の担当した下記の2つの研究課題についてまとめたものである
 - 課題ア システム間動的周波数管理技術の開発
 - ア-2: 実観測を元にした電波環境データベース構築の研究開発
 - 課題ウ 二次利用システム間通信技術の開発
 - ウ-2: 車車間通信向けデータベース協調センシング技術の研究開発
- ◆ 「高度電波環境データベースの構築と協調スペクトラムセンシングへの応用」に関する研究活動を実施

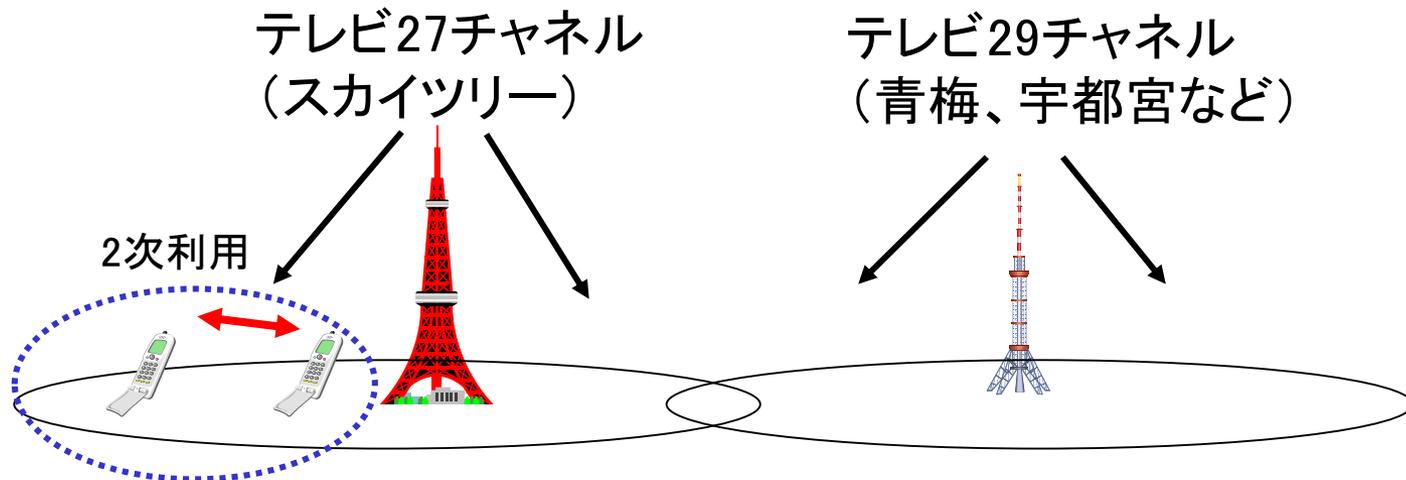
ホワイトスペース

◆ ホワイトスペース

- 既存無線システムに割り当てられているが、空間的・時間的に利用されていない周波数
- 電波の隙間を活用することで新たな周波数資源を発掘

◆ ホワイトスペースの代表例:テレビホワイトスペース

テレビ放送帯域での例(実際の電波利用を表しているものではない)



29チャンネルはスカイツリー周辺では利用されていない

テレビ以外のホワイトスペース候補

- ◆ 公共系無線：防災無線・鉄道・警察・消防無線・MCAなど、大ゾーン方式を利用しているものの、時間的に利用される割合の低い無線システムの時間的空きを活用
- ◆ 無線LANなど常に帯域を時間的に常に占有するわけではない無線システム
- ◆ 船舶レーダなど地上では活用されていない周波数
- ◆ 衛星通信の衛星⇒地上リンクで近傍に地上局のないエリア

ホワイトスペースにおける既存システム保護

- ◆ ホワイトスペースの活用には、既存システムに影響を与えないように運用する必要

- ◆ スペクトラムデータベース
 - 二次的に利用するシステムが、その場所でどの周波数を利用しても問題ないかを、スペクトラムデータベースから提供
 - 米国のテレビホワイトスペースではFCCの基準に従ったデータベースの試験運用が始まっている
 - 空間的な空きを確実に把握できる利点がある

- ◆ スペクトラムセンシング
 - 既存システムの信号を二次システムが直接検出することで既存システムの信号送信状態を確認する
 - 時間的な空きを検出するのに適する

本委託研究で考える高度電波環境データベース

FCC規範のデータベースの課題

- ◆ 車両間通信のような移動環境で利用した場合にデータベースアクセス頻度が高まり実用的な運用ができない
 - 移動環境に対応したデータベース設計・運用規範の検討
 - 情報通信研究機構が担当

- ◆ 電波伝搬モデルに基づき利用可否を判断するデータベースを構築しているため、実際の電波状況での設計に比べて多くのマージンが必要
 - 二次利用ユーザのアクセスを過剰に制限
 - 実測に基づく電波環境データベースを構築することでマージンを最小限に抑える検討
 - 電気通信大学が担当

「実観測を元にした電波環境データベース構築」

技術課題

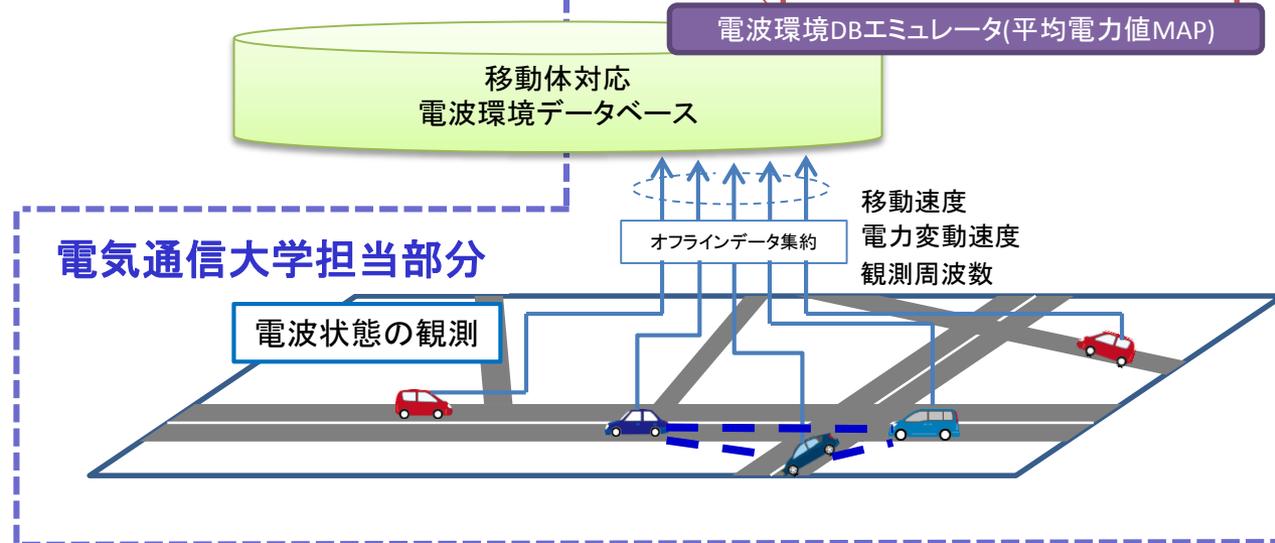
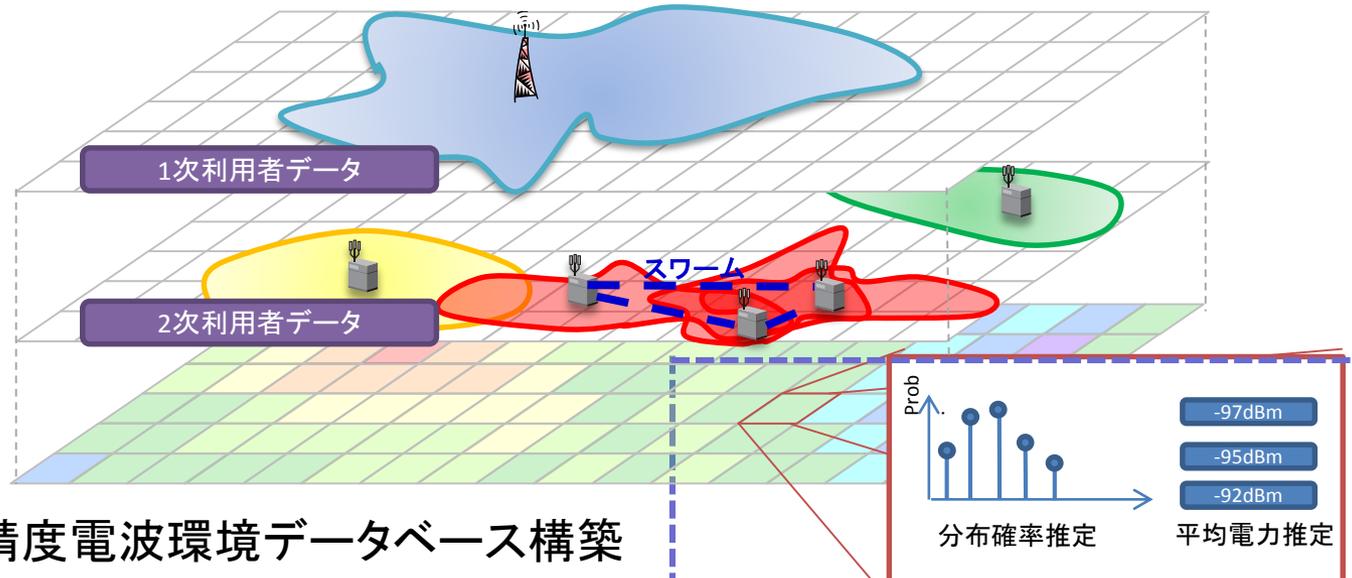
実無線環境と電波伝搬モデルとの差を補償するための実観測に基づく電波環境データベースが必要

目標

実観測に基づいた高精度電波環境データベース構築

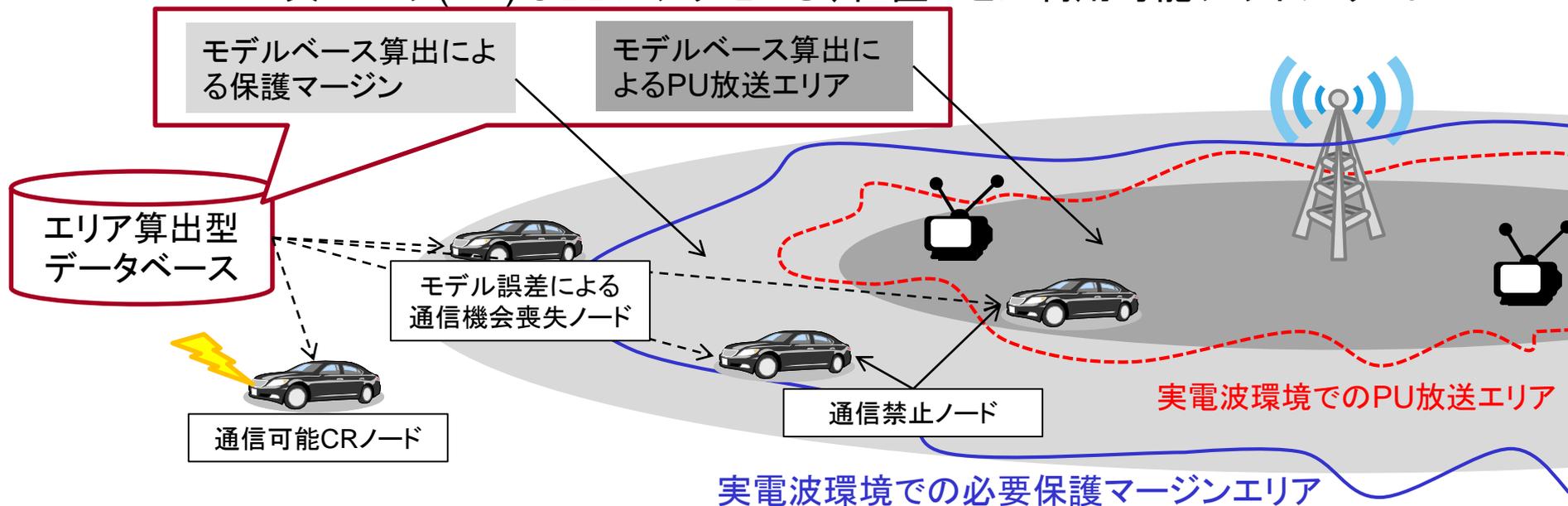
研究開発手法

- 車載電波観測センサに基づく電波環境データベース構築手法の確立
- 電波環境データベースエミュレータの構築
- 実観測データを元にした電波環境データベースの精度検証



従来技術: エリア算出型DBによる周波数共用

- ◆ コグニティブ無線通信におけるPU保護にデータベース(DB)を活用
 - DBに位置に応じたチャンネルの利用可否情報を保存
 - 二次ユーザ(SU)はDBにアクセスし、位置ごとに利用可能チャンネルリスト



- 一次利用エリア & 保護エリア内のSUはそのチャンネルの利用不可
- 保護エリアの外に存在するSUがそのチャンネルを二次利用可能

エリア算出型DB(FCC型DB)では伝搬予測誤差を考慮したマージン設定のため周波数共用可能エリアが縮小

実観測を元にした電波環境データベースコンセプト

◆ 実測値に基づいた電波環境データベースのコンセプト

- 世界中に存在する無線機車載車両を観測用プローブカーとして活用
- 電波環境データベースは登録された観測データを基に蓄積情報を作成
- 実観測に基づいた統計処理を活用し正確な電波環境情報を取得可能

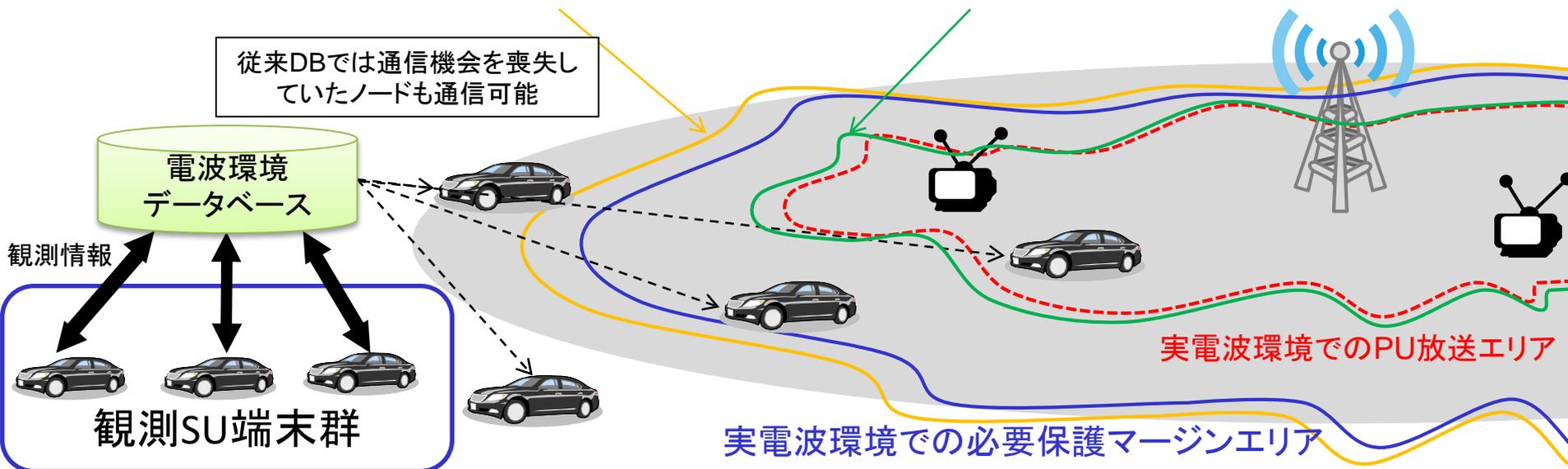
◆ 実測値を元にしたPU保護によりSUの周波数共用性能向上が期待

- マージン過不足による周波数利用効率低下の低減、高信頼PU保護

正確なPU放送エリア判定による余剰マージンの減少(周波数利用効率の向上)

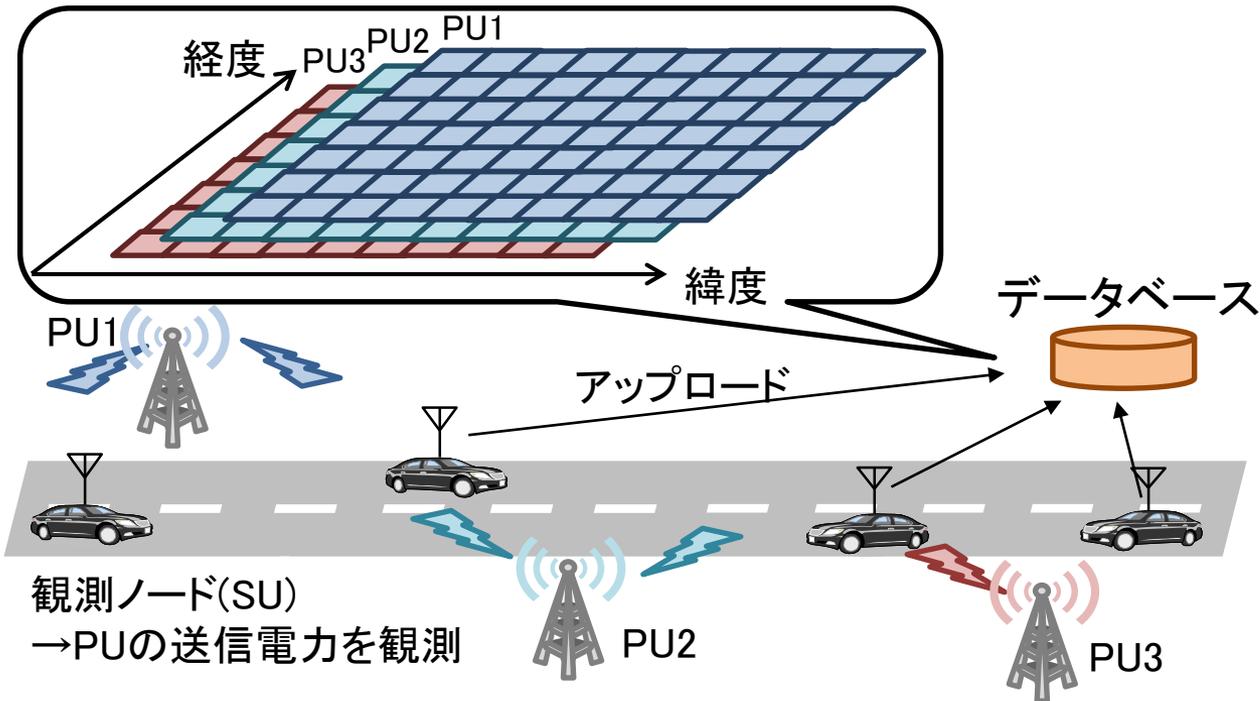
観測データにより判定したPU放送エリア(高精度なエリア判定が期待)

従来DBでは通信機会を喪失していたノードも通信可能



実観測に基づく電波環境データベース

- ◆ 目的: 高精度な電波環境認識による高効率周波数共有
 - セカンダリユーザを電波観測端末として活用
- ◆ 蓄積した観測値から実環境の電波伝搬特性を推定
 - 従来の統計伝搬モデルに基づくDBと比較して高精度



今回構築したデータベースサーバ

[参考]北村, 大上, 稲毛, 藤井, 信学技報SR2013-75, Jan.2014.

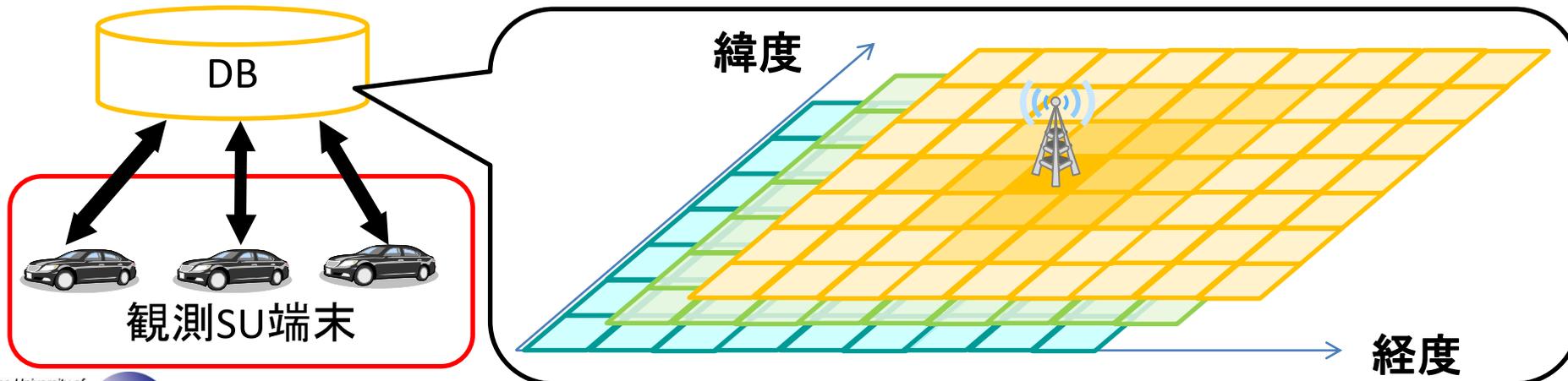
実観測を元にした電波環境データベース構築実験

◆ 実測値に基づいた電波環境データベース

- 電力値を蓄積し、統計的な傾向を保有するデータベースを構築
- 観測は、通信を行っていないSU端末を活用し、センシング情報をローカルメモリに蓄積してまとめてデータベースに登録するような環境を考える
- 周波数共用時には、SUの位置情報をクエリとしてデータベースに送信し、周辺の電波環境を受け取り、センシングや電力制御を実施

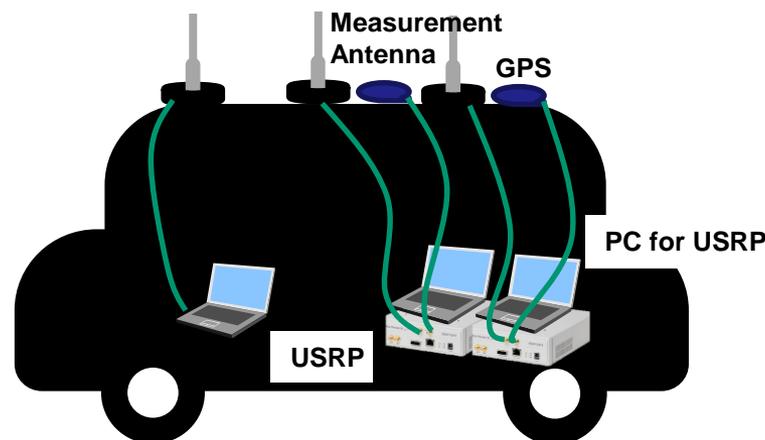
◆ 実験構成

- 複数台の車両にソフトウェア無線機を搭載し、電力値を位置・時刻情報と共に記録する実験装置を構築
- 測定実験終了後、外付けHDDを介してデータベースへ観測情報を登録



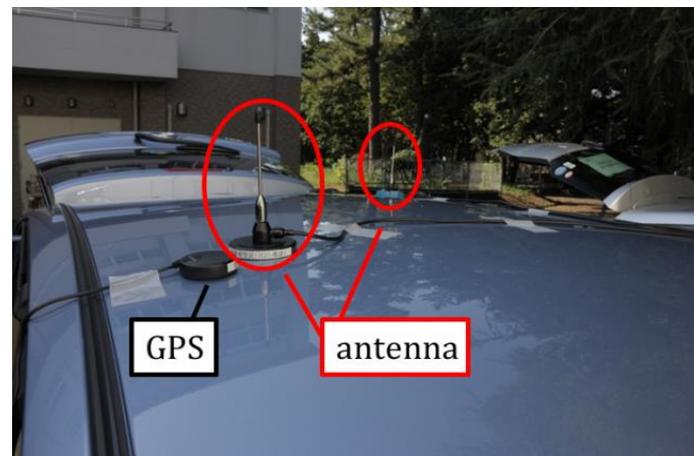
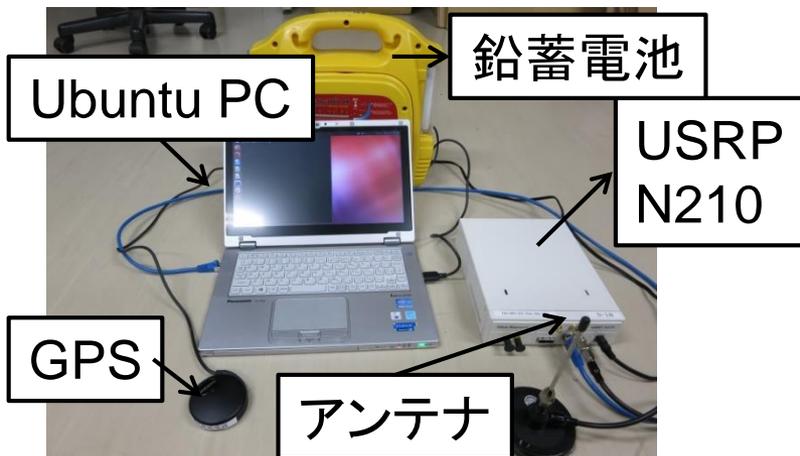
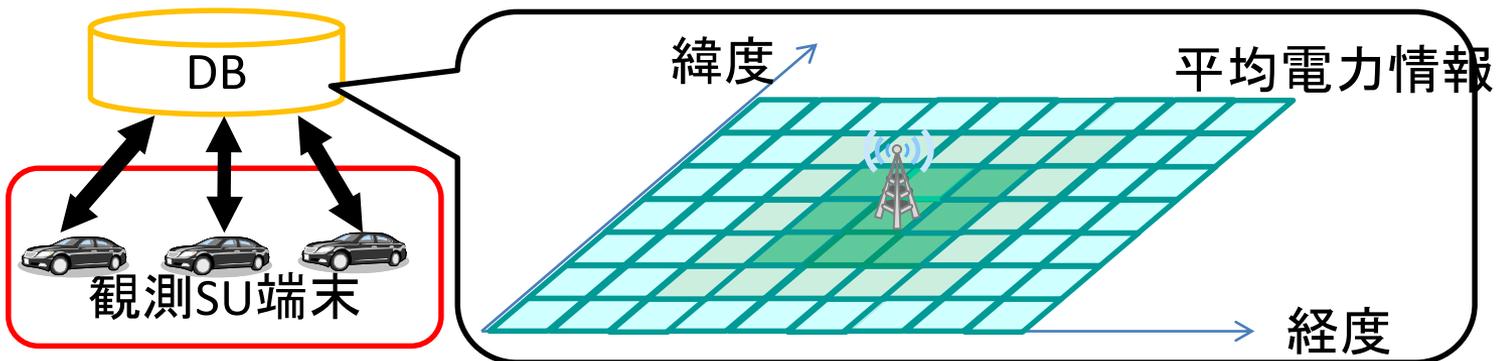
電波環境データベース構築実証実験

- ◆ 実測データに基づいた電波環境データベース構築
 - 統計的なデータを取得するため1週間の測定を実施
 - 測定エリア: 埼玉県熊谷市・行田市・深谷市内
 - 測定対象: 垂直偏波のTV放送局(児玉中継局)
 - 測定機器: USRP(ソフトウェア無線機)、GarminGPS
 - 数量: 自動車 5台、測定機器 10台
- ◆ 右図の主要道路を5台で隊列走行
- ◆ 特定箇所はメッシュ構築のための分散走行

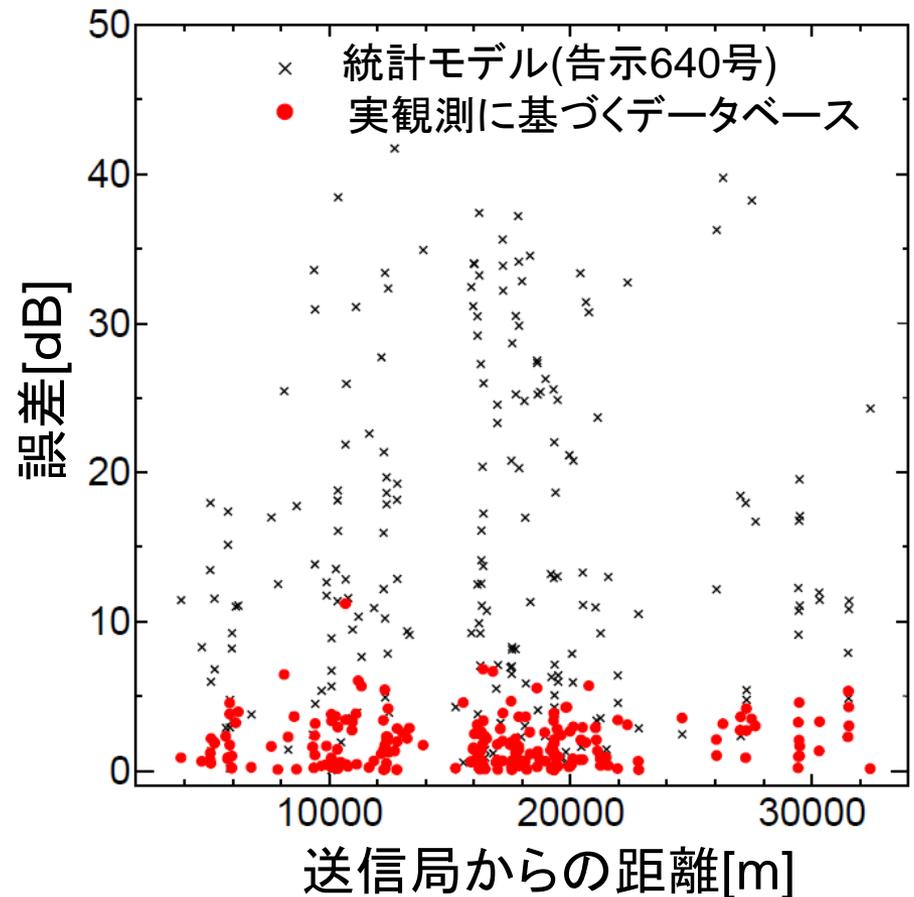
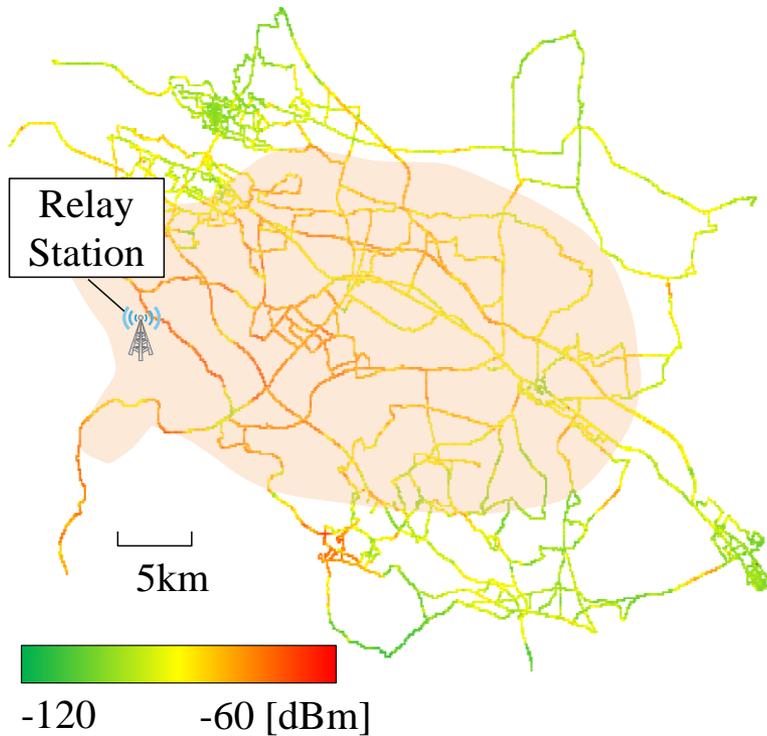


実験機器構成

- ◆ 平均電力情報を1週間にわたり5台の車で観測
- ◆ 観測後、オフラインでデータベースに登録



1回目実験: テレビ帯域を対象とした電波観測実験 (2013年10月)



瞬時受信電力値を構築したDB&TV帯域用統計モデルと比較
⇒従来手法と比較して高精度な電波伝搬状況を把握できることを確認

2回目実験：電波環境データベース精度確認および 応用実験(2014年2月)

1回目と同じエリアで実用性を確認するための2回目実験を実施

- ◆ 異なる時期での観測値を取得することによる季節変動特性の確認
- ◆ 1回目に構築した電波環境データベースの応用に関する検討
 - 協調スペクトラムセンシングの信頼性重み計算に活用

期間別測定結果比較

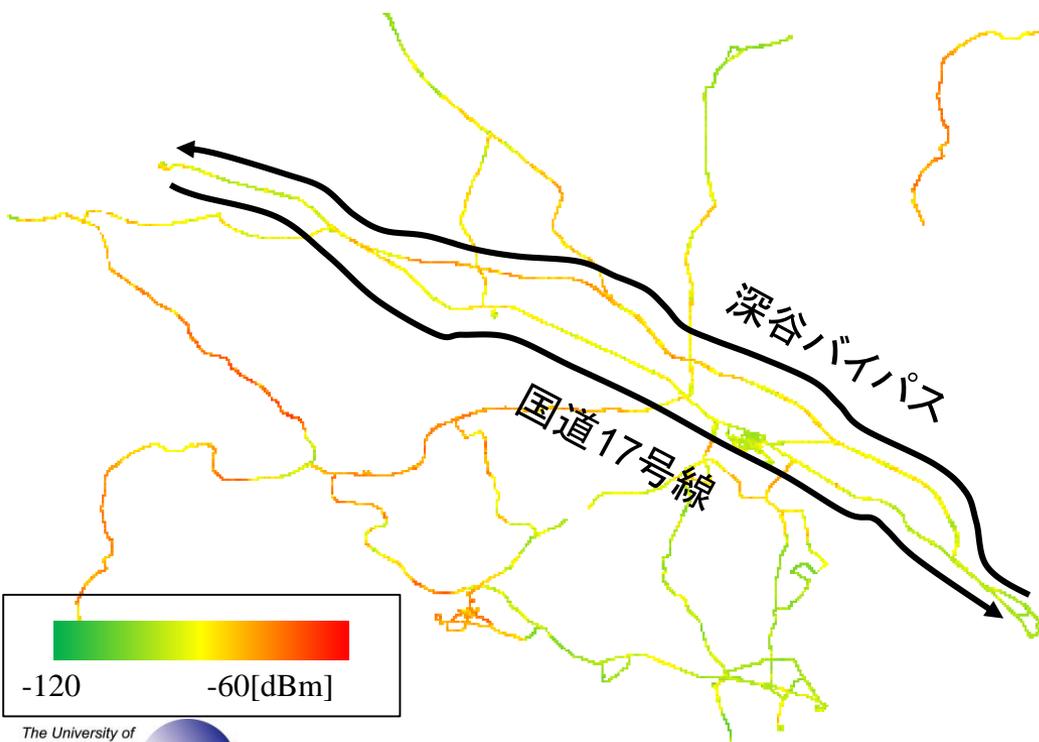
第1回熊谷実験

- 期間: 10/28~11/1
- 目標: 熊谷市内1%の測定



第2回熊谷実験

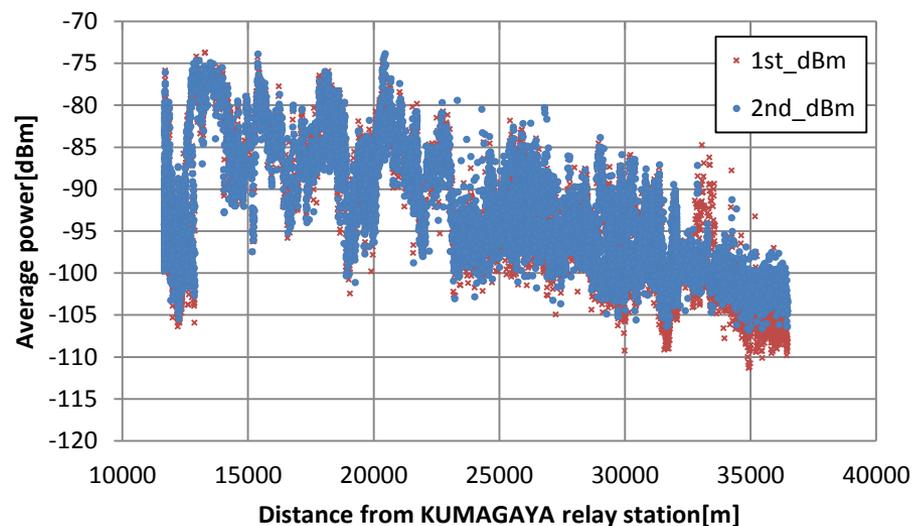
- 期間: 2/10~2/14
- 目標: ASDB協調センシング
時間的変化の確認
DBエリアの拡大



深谷バイパス

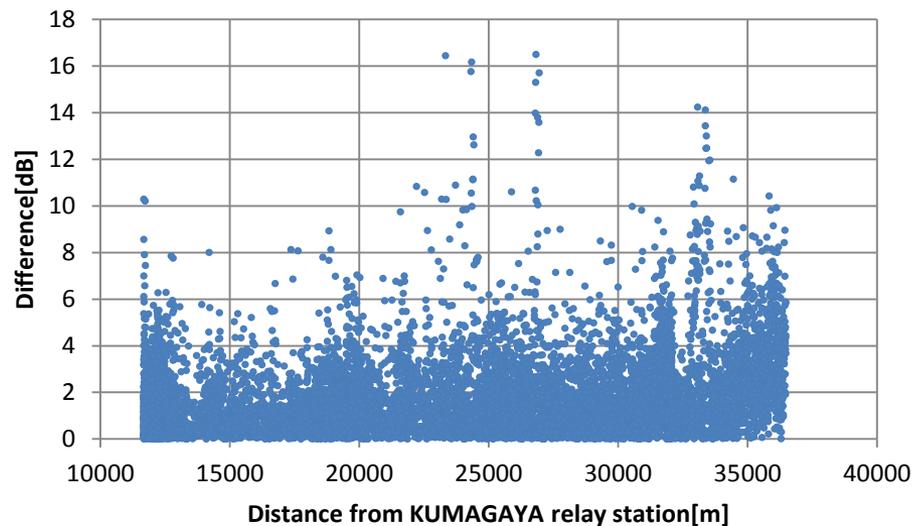
◆ 平均受信電力

- 傾向の変化みられず



◆ 電力比

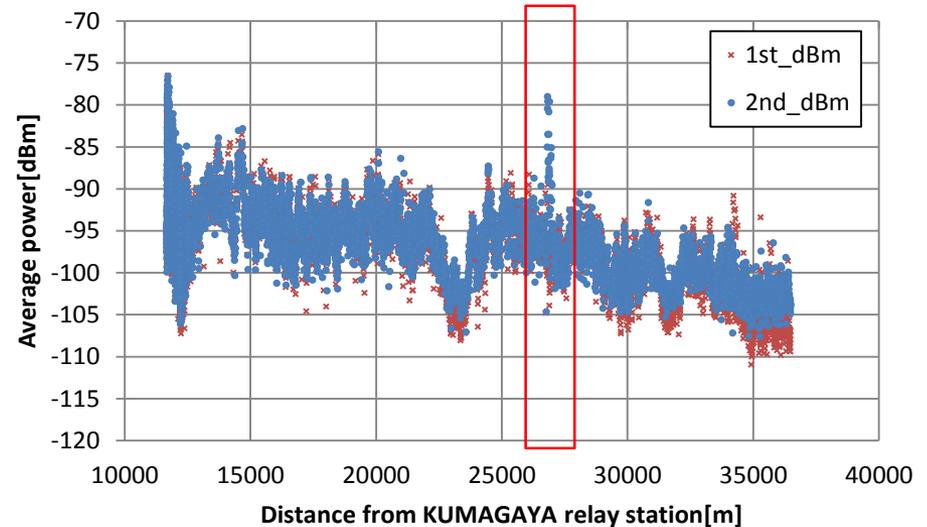
- 平均: 1.86 dB
- 最大: 16.51 dB
- 最小: 0.00040 dB



国道17号線

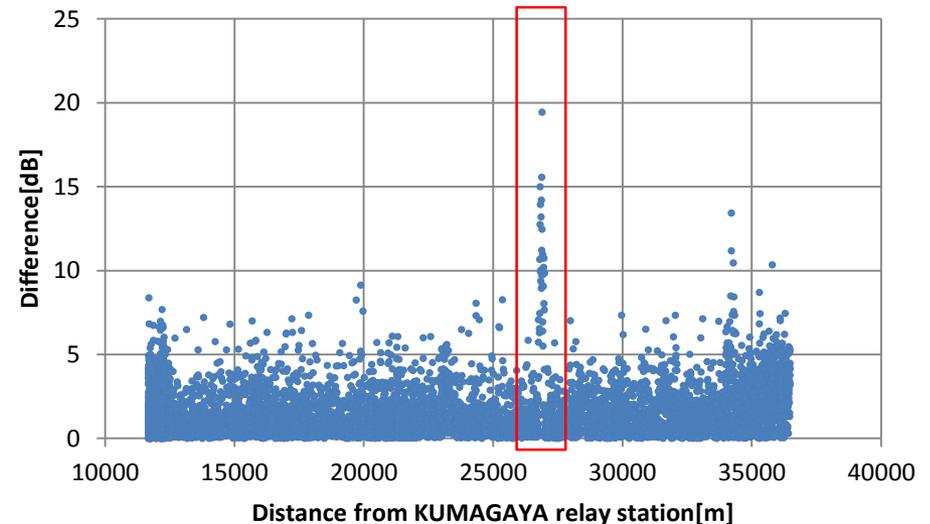
◆ 平均受信電力

- 傾向の変化みられず
- 局所的に電力値が増大している箇所あり(26km周辺)



◆ 電力比

- 平均: 1.65 dB
- 最大: 19.44 dB
- 最小: 0.00081 dB



「車車間通信向けデータベース協調 センシング技術の研究開発」

技術課題

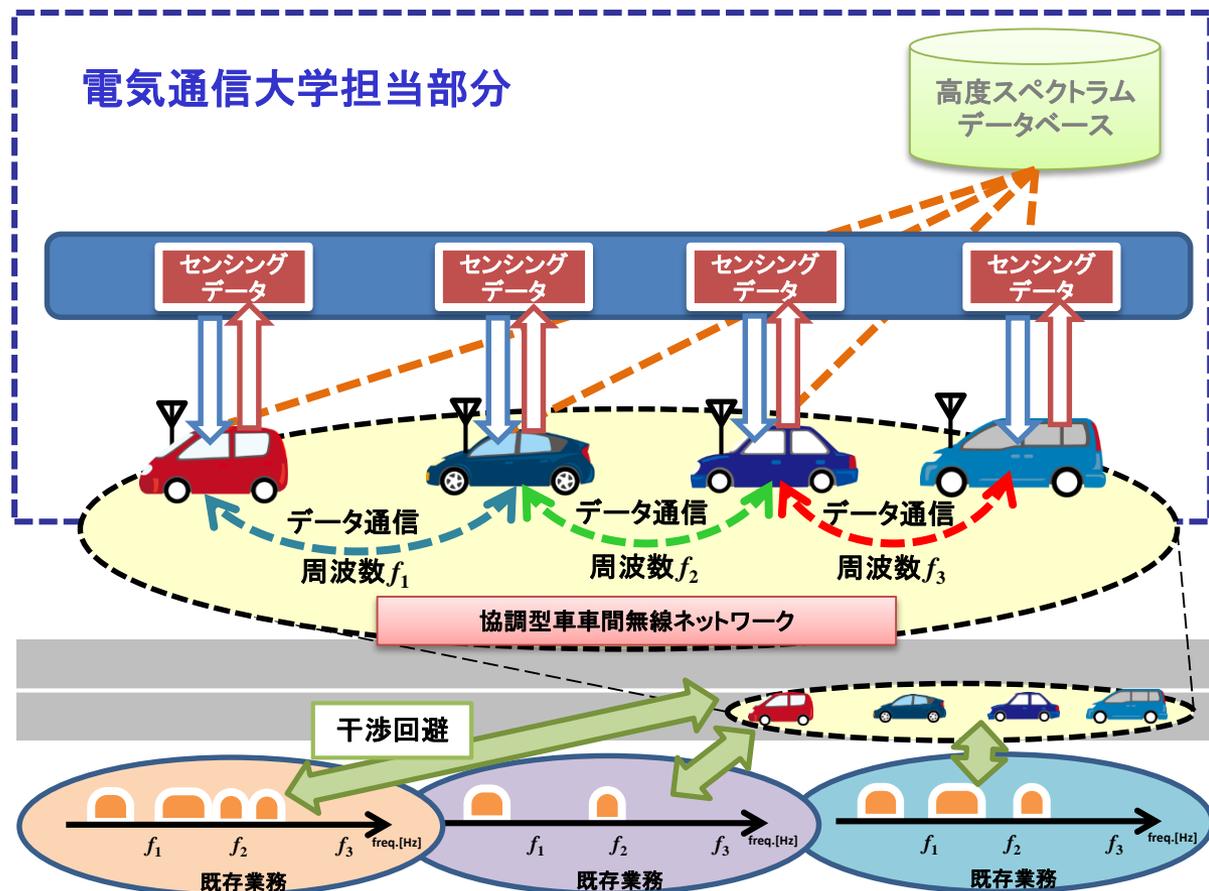
高い移動性を有する車車間通信のための高精度スペクトラムセンシング技術による既存システム保護

目標

データベース連携による環境多様性を活かした高精度協調スペクトラムセンシングの確立

研究開発手法

- 電波環境データベースを活用した協調センシングアルゴリズムの確立
- 実観測に基づくデータベースとシミュレーションによる有効性検証



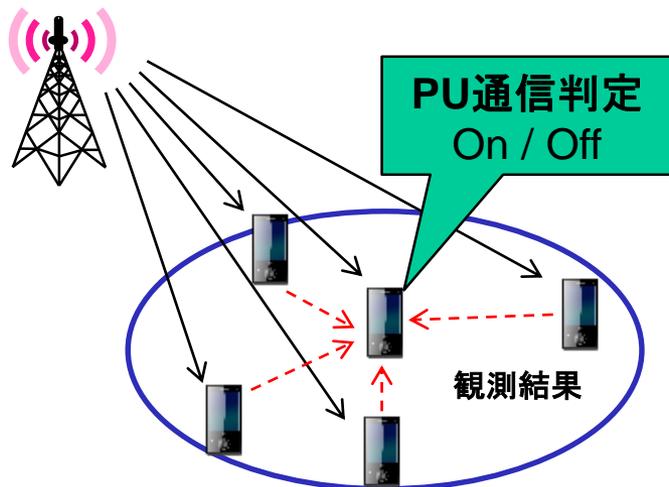
周波数二次利用におけるPU検出

◆ 周波数共用では、既存システム保護が重要な課題

- 二次利用を希望するチャンネルで、PU通信の有無を正確に検出する必要
- チャンネル変動の影響を低減するため、複数ノードと協調することで多数の観測結果を利用し検出性能を向上

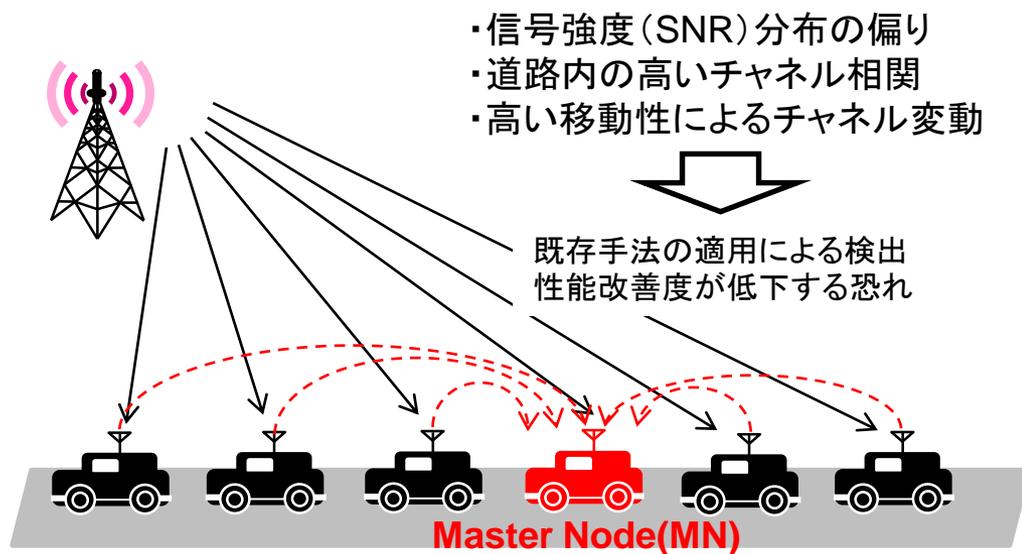
既存手法(協調センシング)環境

Primary User (PU)



協調ノードは検出を希望するノードの周辺に一樣分布し低い移動性を仮定

車間通信における環境



協調ノード配置は道路の形状によって制限されかつ高速に移動

高度電波環境データベース連携型 重み付け協調センシング

- ◆ 電波環境データベースによる統計情報を活用
 - 任意のエリアにおけるPU通信の受信状態を継続的に記録
 - 実観測に基づいた任意のエリアの統計的性質(平均値など)を把握可能
- ◆ 初期検討として各ノード位置における平均受信電力により重み付け

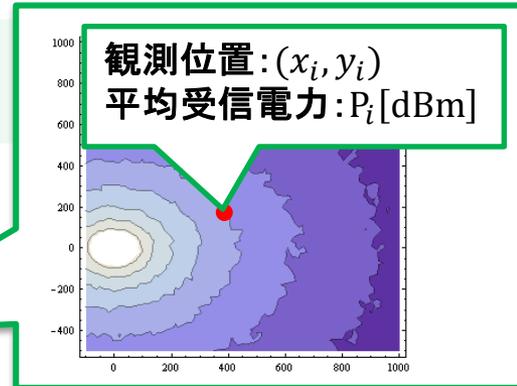
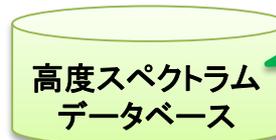
重み係数はDB保存受信電力から計算 w_i

$$T = \sum_{i=1}^N w_i \cdot u_i$$

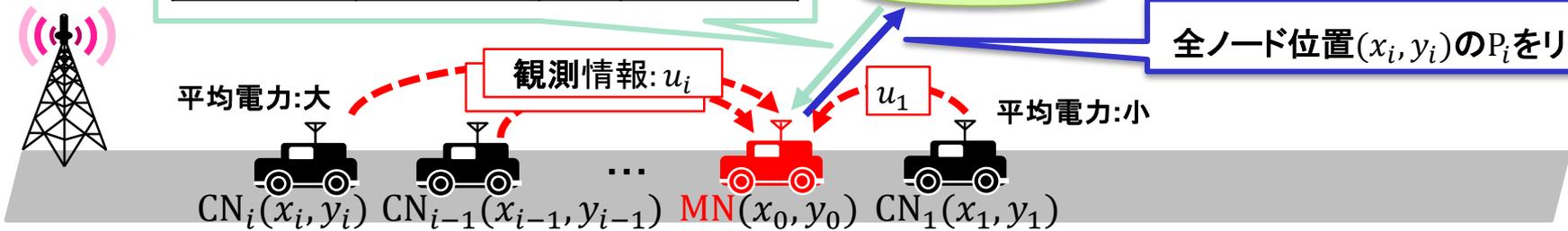
$$T \geq \gamma \rightarrow \begin{array}{l} \text{PU: ON} \\ \text{PU: OFF} \end{array}$$

i : ノード番号 ($i = 1, 2, \dots, N$) w_i : 重み係数 P_i : 平均受信電力[dBm] u_i : 観測情報 T : 検定統計量

(x_0, y_0)	(x_1, y_1)	...	(x_i, y_i)
P_0 [dBm]	P_1 [dBm]	...	P_i [dBm]



全ノード位置 (x_i, y_i) の P_i をリクエスト



MNは周辺の協調ノード(CN)からの観測情報, 自身の観測情報とDB情報を利用して加重平均による検定統計量を計算

高い平均SNRの観測情報を優先する重み付け → PU検出性能向上

データベース連携型重み付け協調センシング(2014年2月)

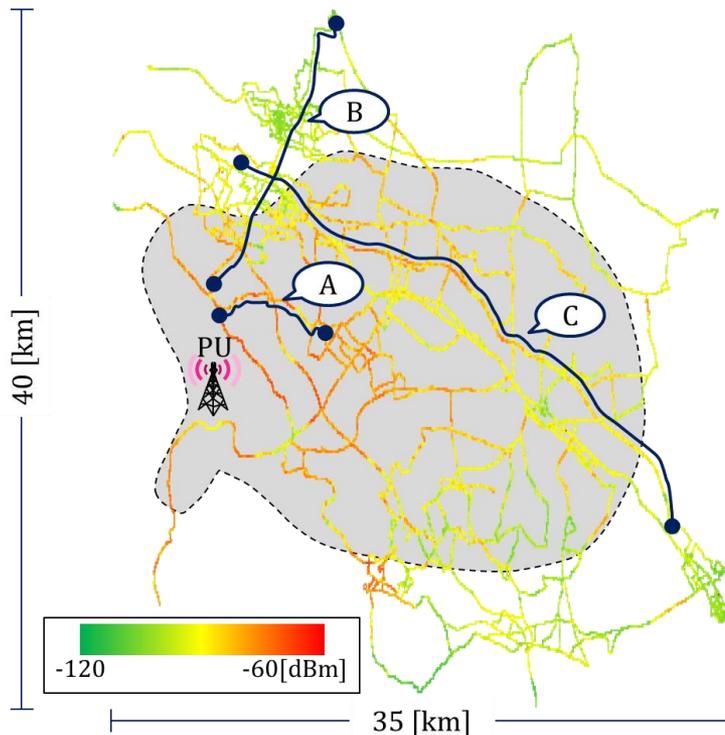
- ◆ 熊谷市にてテレビ帯域を対象とした実証実験(2014年2月)
- ◆ センサ値交換用車車間通信: 920MHz特定省電力無線規格のモジュール
- ◆ DBへのアクセス: セルラ回線経由



従来の協調センシングと比較してPU検出性能向上

実観測に基づくエミュレーション評価

- ◆ 実観測の信号強度を用いて単独・協調・電波環境データベース連携型重み付け協調(提案)の3つのセンシング判定を実施
 - 電波観測実験によりセンシングに用いる観測情報と電波環境データベースに登録する情報を取得
 - 観測車両5台で情報収集し、最後尾の車両(MN)でセンシング判定
 - 以下では各センシング手法で閾値を-105dBmに設定して判定



プライマリシステム観測成功数

	単独	協調	提案
Route A (2810)	2236	2327	2335
Route B (2857)	1670	1936	2000
Route C (5245)	4263	4893	4960

実験の様子



ビデオで紹介

おわりに

- ◆ 平成25年度に実施した総務省委託研究「車車間通信技術を活用したネットワーク構築に関する研究開発」のうち、電気通信大学の担当する二つの研究テーマの研究成果を報告
 - 実観測を元にした電波環境データベース構築の研究開発
 - 車車間通信向けデータベース協調センシング技術の研究開発
- ◆ 車両をプローブカーとみなし、観測結果を蓄積した電波環境データベースを構築することで正確な電波伝搬状況の把握が可能
- ◆ 2回の実験の間での誤差はわずかであり、安定した電波状況の把握が可能
- ◆ 応用例として協調センシングの重み計算に利用する例を示し、その有用性を確認
- ◆ 将来はスマートフォンなどあらゆる無線機で観測した結果の活用が期待できる。