



八木アンテナ 講演会
(H22.12.20)

電波信号処理 その未来にかける夢

唐沢好男

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)

講演内容

0) 私の研究遍歴

1) 電波のトータルレコーディング

2) 電波信号処理と伝搬環境計測

- 地デジ電波のダイバーシチ合成

- 電波到来方向推定

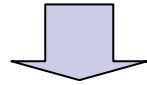
3) 電磁環境アーカイブ

4) ベースバンド無線

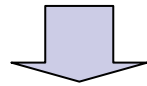
(ソフトウェア無線・コグニティブ無線・ベースバンド無線
融合先進的ワイヤレスシステム)

私の研究遍歴

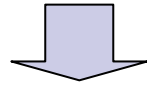
大学の卒研 (～1973) : 亜硝酸ナトリウムの結晶成長



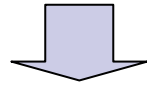
日立電子に就職(1973, 74) : 電子部品部半導体課(ハイブリッドICの開発・設計)



大学院修士課程に入学(1975) : 地球電磁気学(流星レーダーの研究)



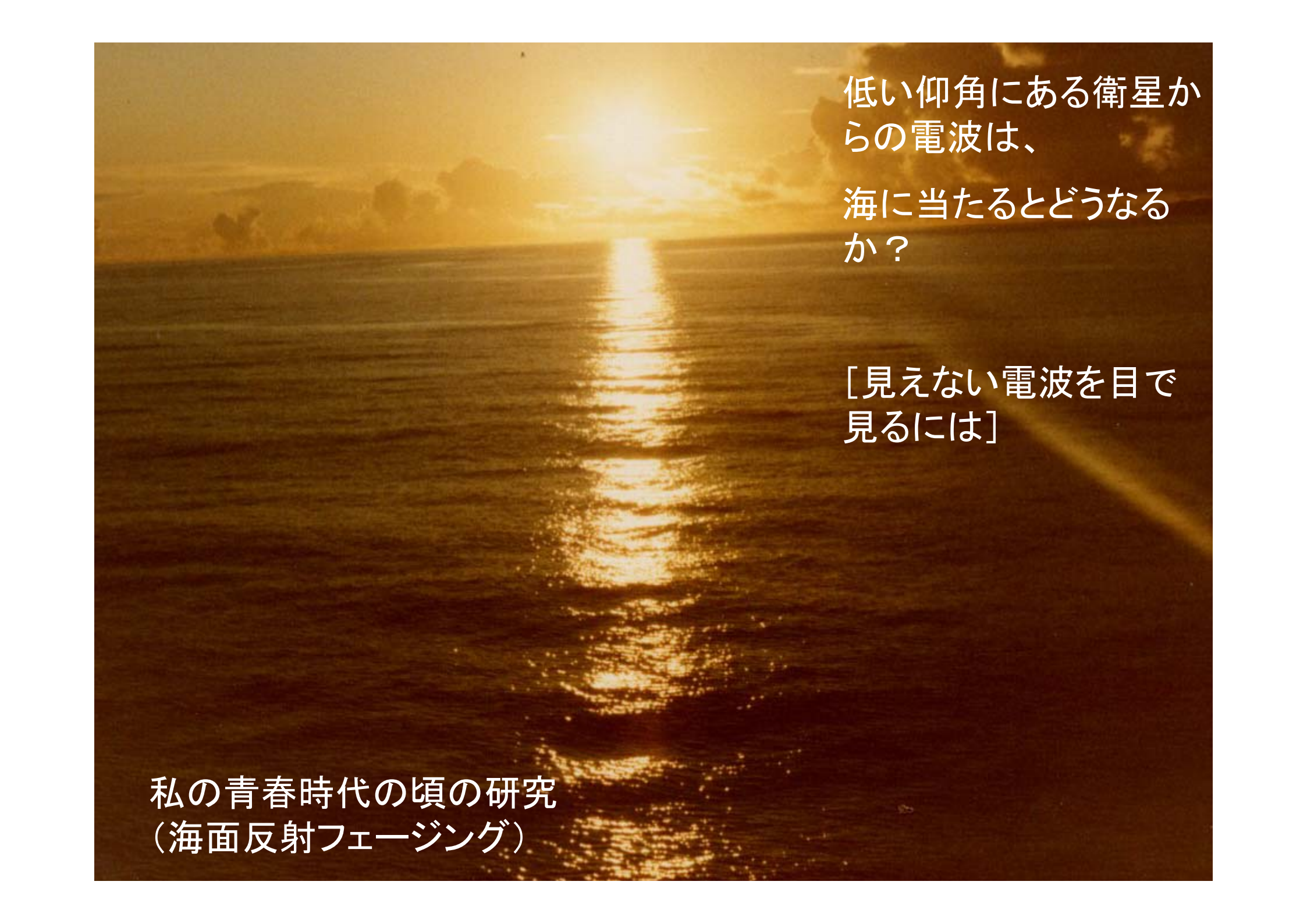
KDDに入社(1977) : 研究所にて衛星通信の電波伝搬の研究
衛星が低仰角になる場合に伝搬問題が顕在化(伝搬モデルの確立)



(1990年頃～) 地上系の移動通信の伝搬・アンテナ(アダプティブアレー・MIMO)・
システムの研究 : KDD → ATR (1993-1997) → 電気通信大学 (1999～現在)

(電波伝搬に軸足を置いたワイヤレス情報伝送技術の研究)



A photograph of a sunset over the ocean. The sun is low on the horizon, creating a bright, shimmering reflection that stretches down the center of the water. The sky is filled with soft, golden light and some clouds. The overall color palette is warm, dominated by oranges, yellows, and browns.

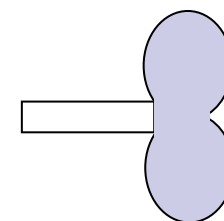
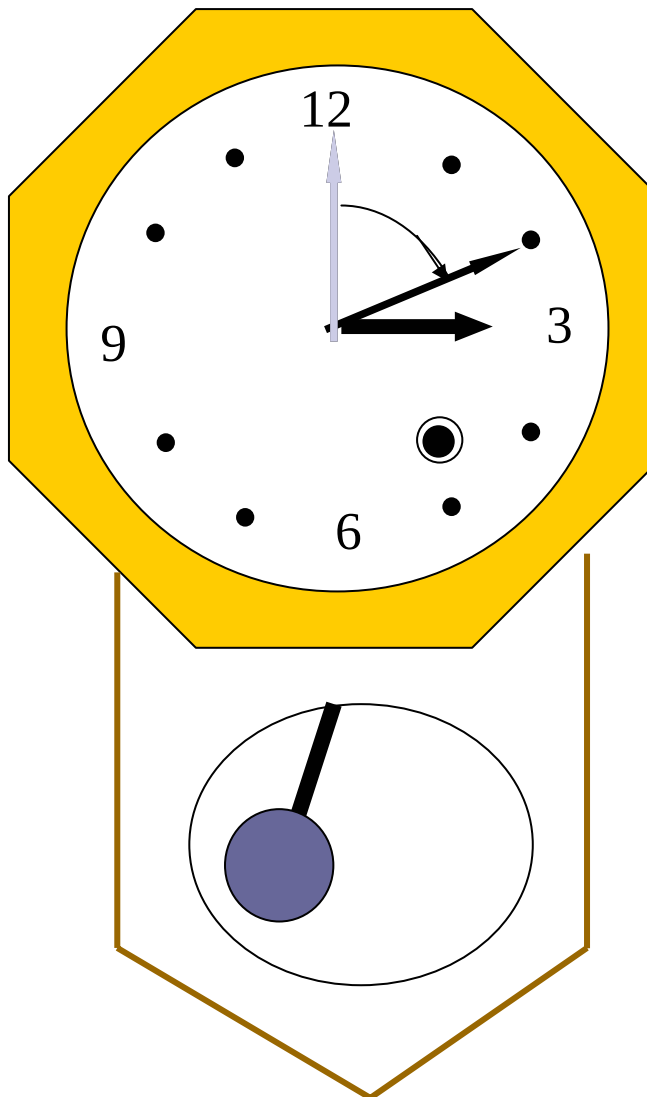
低い仰角にある衛星からの電波は、

海に当たるとどうなるか？

[見えない電波を目で見るには]

私の青春時代の頃の研究
(海面反射フェーシング)

むかし振り子、いまクォーツ



講演内容

0) 私の研究遍歴

1) 電波のトータルレコーディング

2) 電波信号処理と伝搬環境計測

- 地デジ電波のダイバーシチ合成
- 電波到来方向推定

3) 電磁環境アーカイブ

4) ベースバンド無線

(ソフトウェア無線・コグニティブ無線・ベースバンド無線
融合先進的ワイヤレスシステム)

電波信号の丸ごと記録

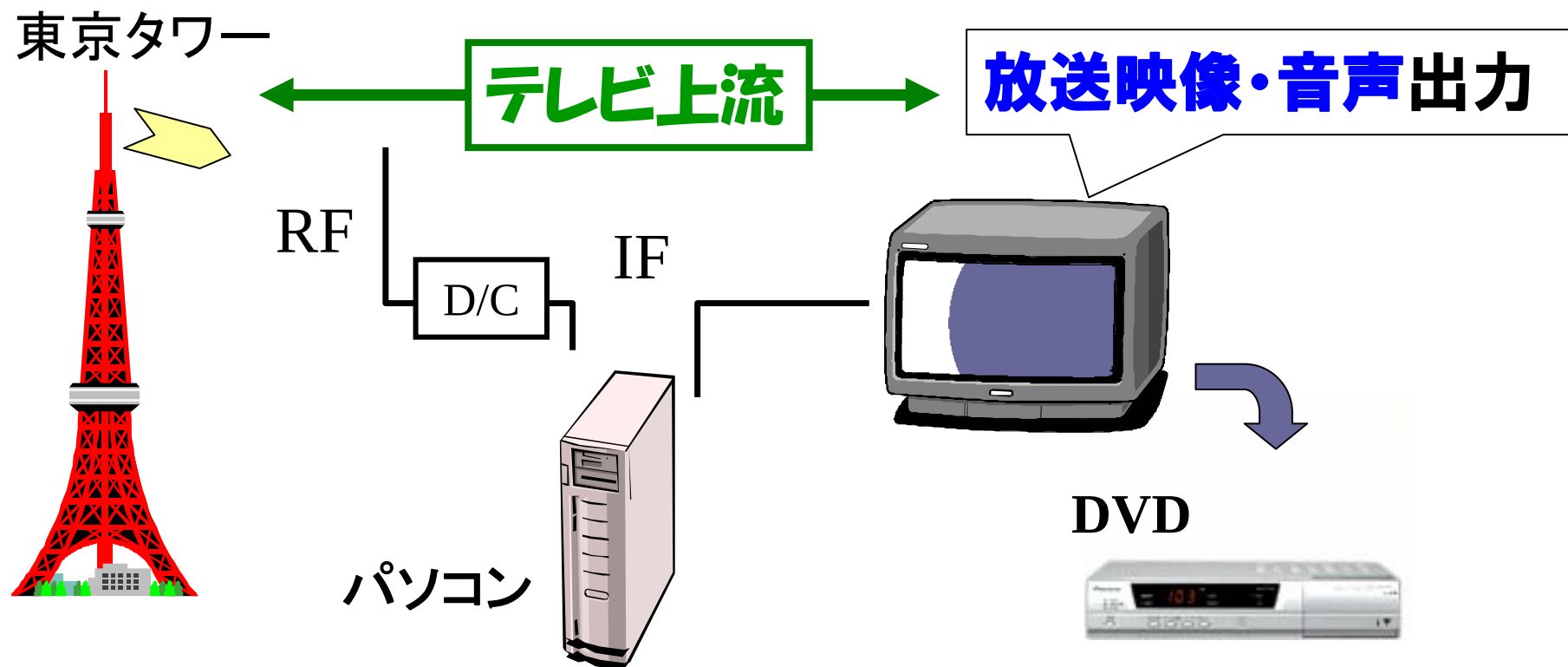
トータルレコーディング

きっかけ： 2004年、テレビ好きの学生との出会い

地デジの電波信号を、パソコンに取り込んでみたい

- ・コピーワンス問題
- ・タイムマシーンテレビ

TV放送波のトータルレコーディング



超大容量ハードディスクへ **電波のまま記録**

現時点での実力: 200MB/s (=100MS/s)のHDD直書

講演内容

0) 私の研究遍歴

1) 電波のトータルレコーディング

2) 電波信号処理と伝搬環境計測

- 地デジ電波のダイバーシチ合成

- 電波到来方向推定

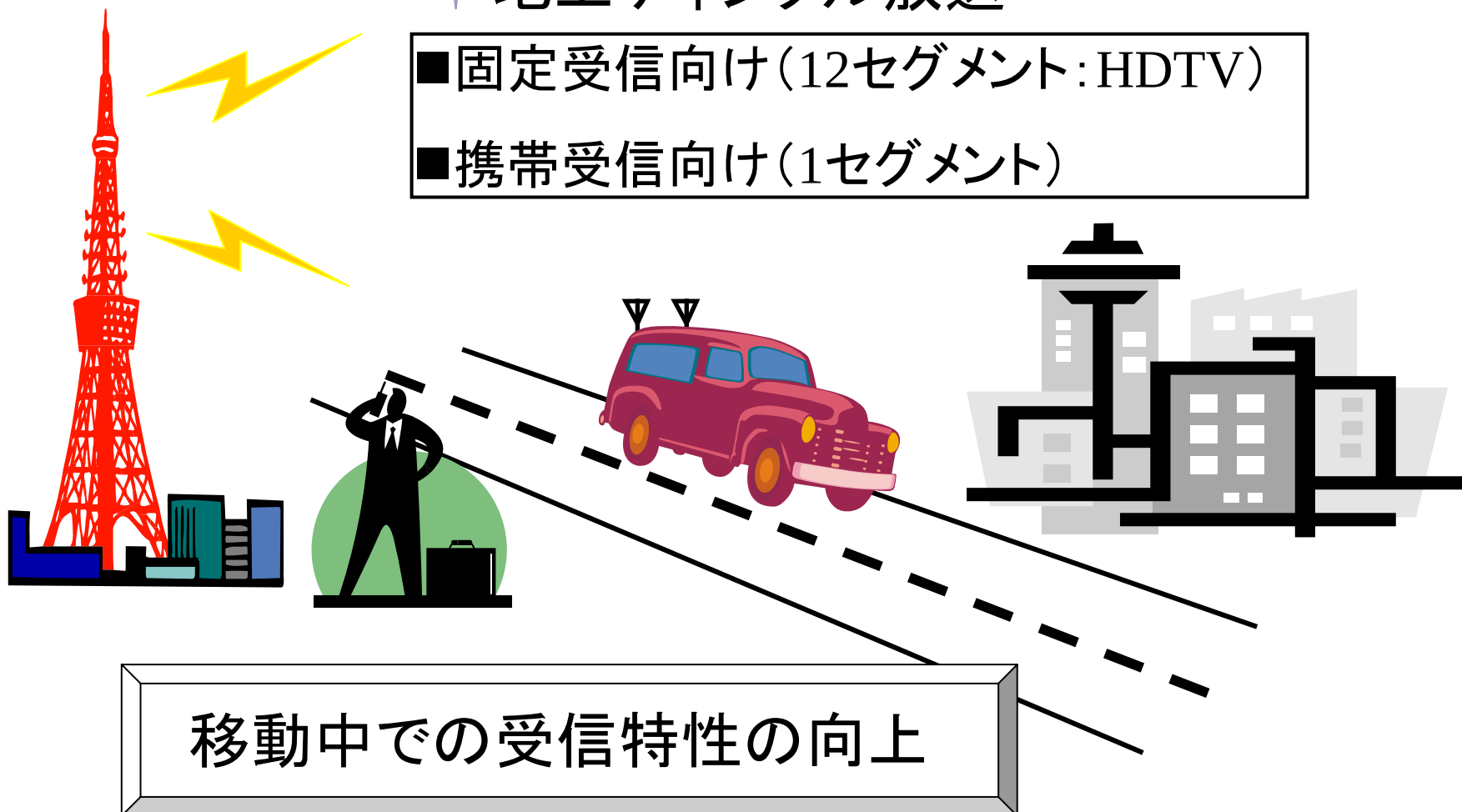
3) 電磁環境アーカイブ

4) ベースバンド無線

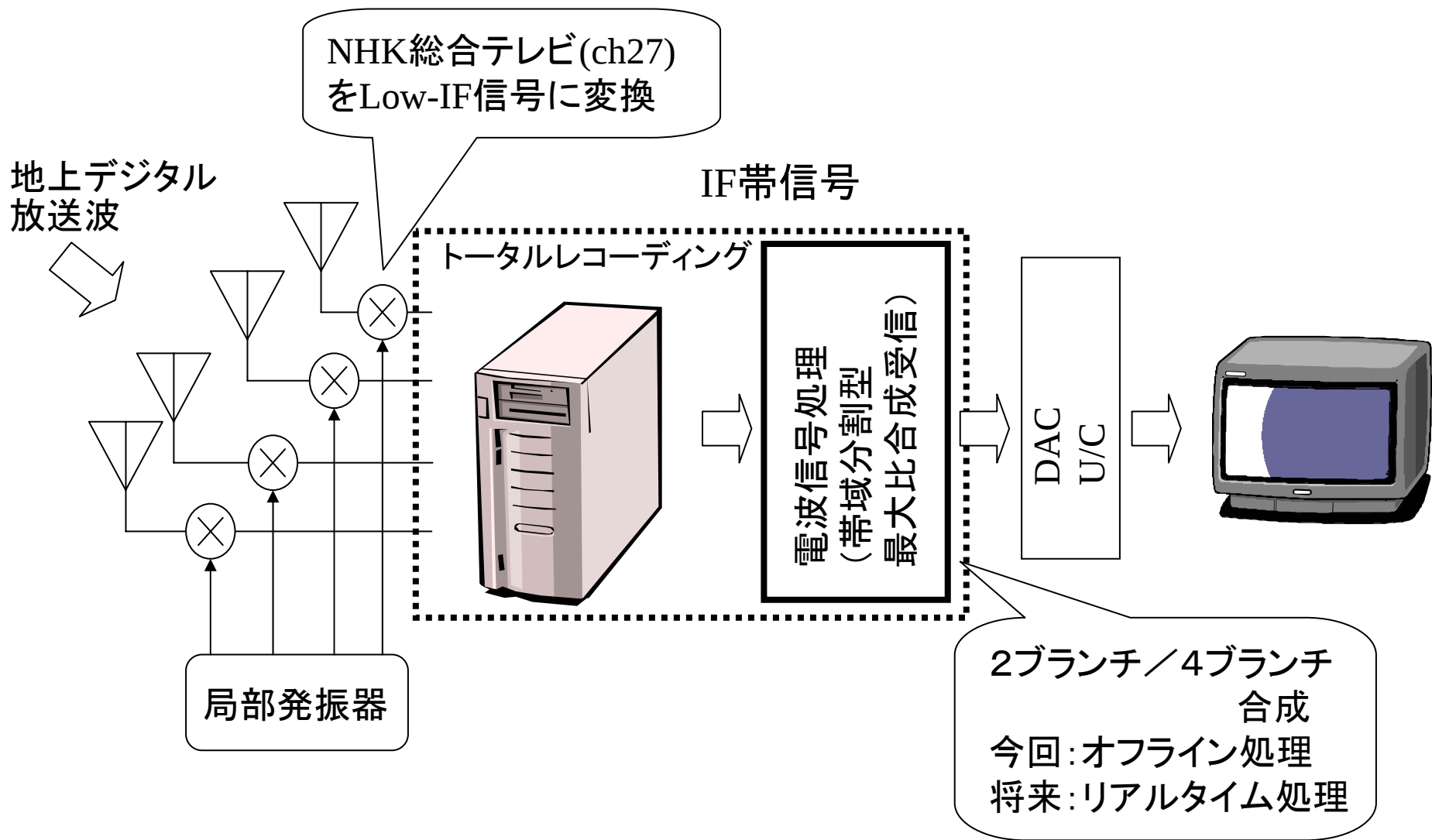
(ソフトウェア無線・コグニティブ無線・ベースバンド無線
融合先進的ワイヤレスシステム)

★ 地上デジタル放送

- 固定受信向け(12セグメント:HDTV)
- 携帯受信向け(1セグメント)

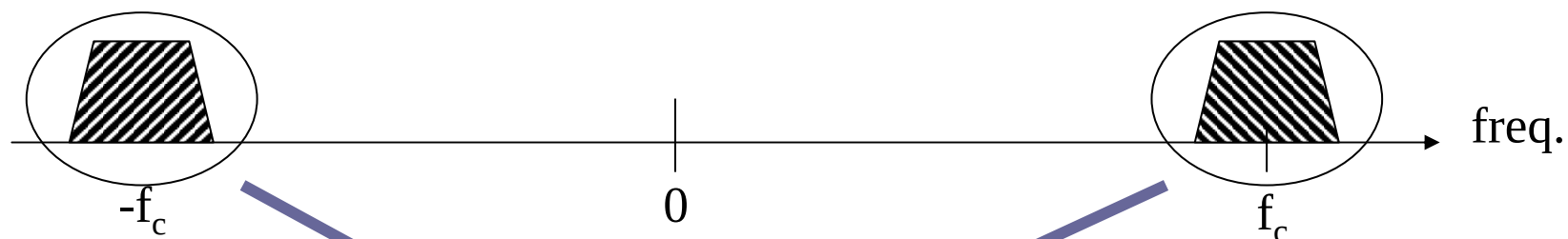


地上デジタル放送波の移動体受信と 電波信号処理による帯域分割型最大比合成

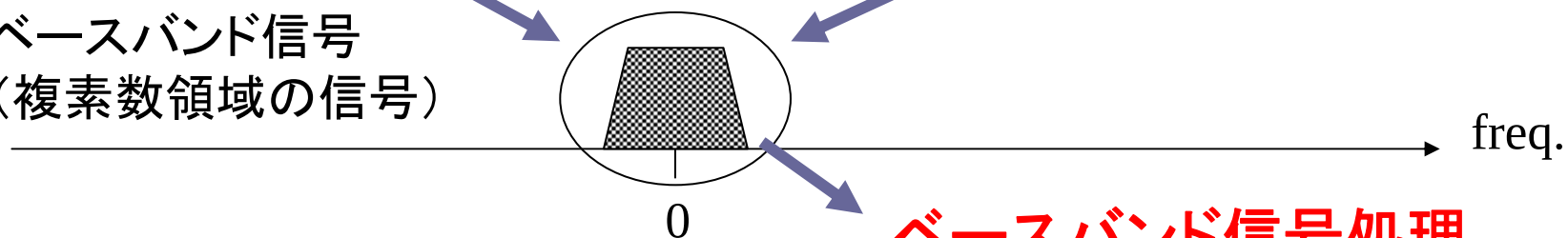


ベースバンド信号処理と電波信号処理

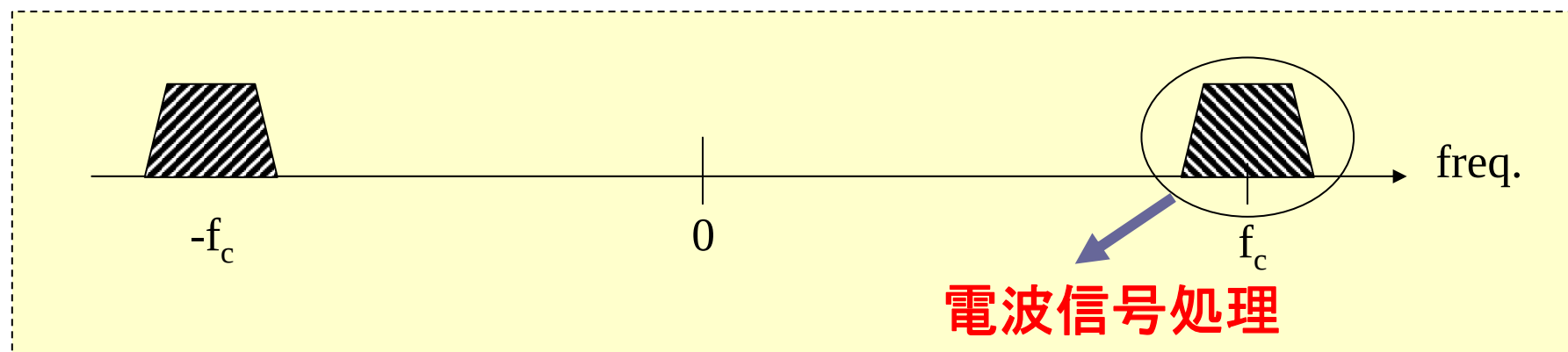
帯域通過型信号（実数領域の信号）



ベースバンド信号
（複素数領域の信号）



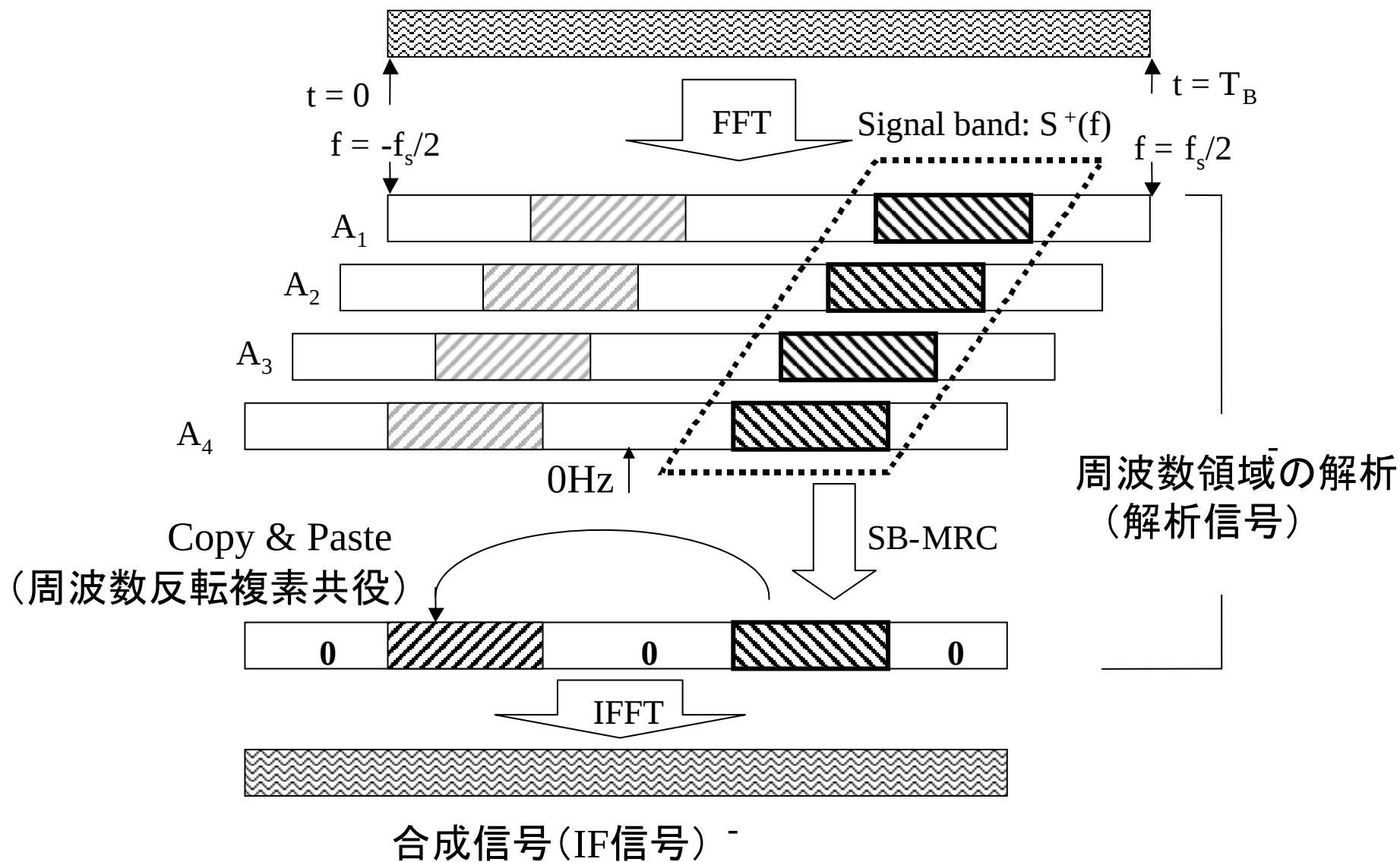
ベースバンド信号処理



電波信号処理

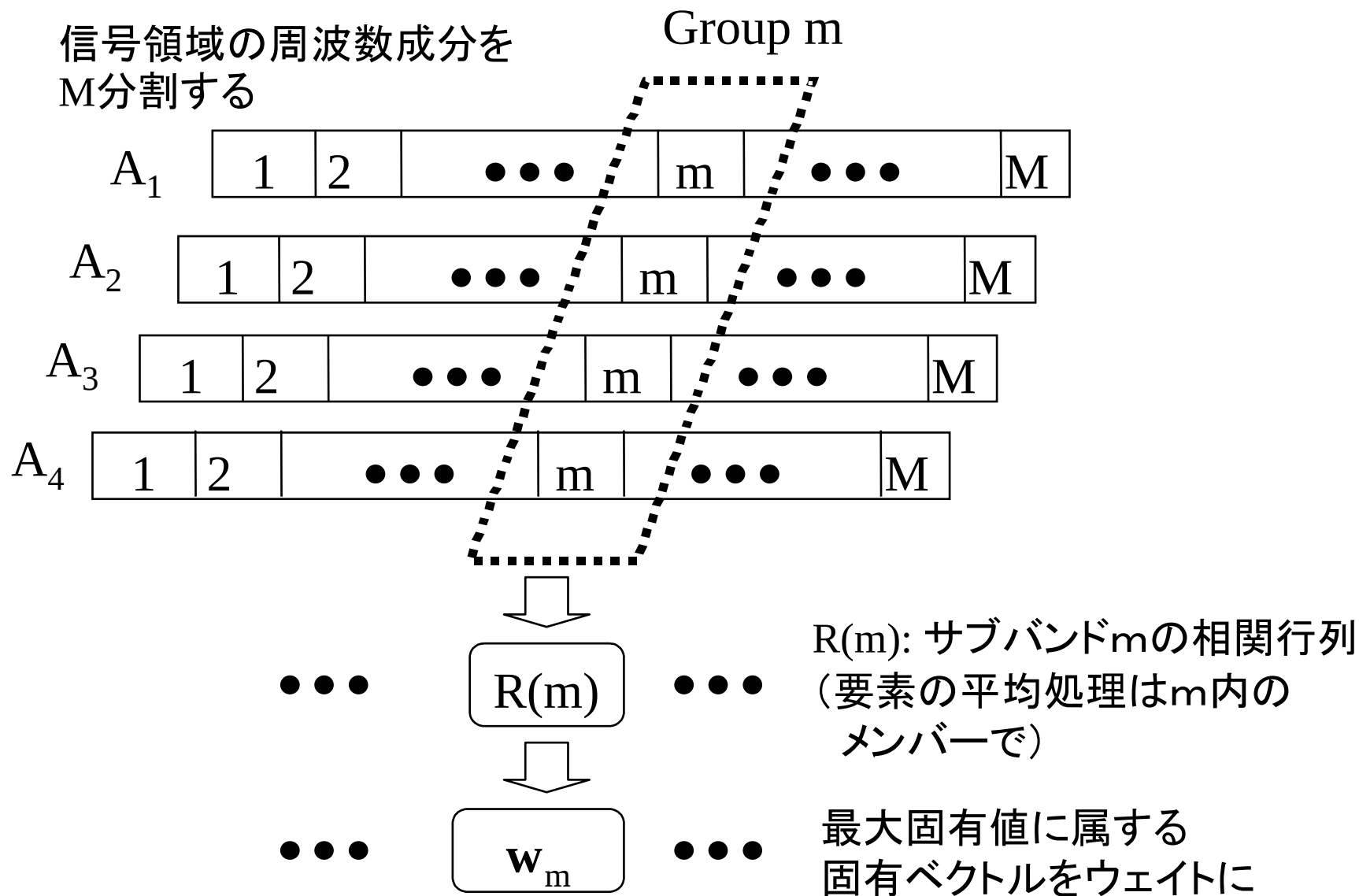
電波信号処理

アンテナA₁のIF信号（実数信号）



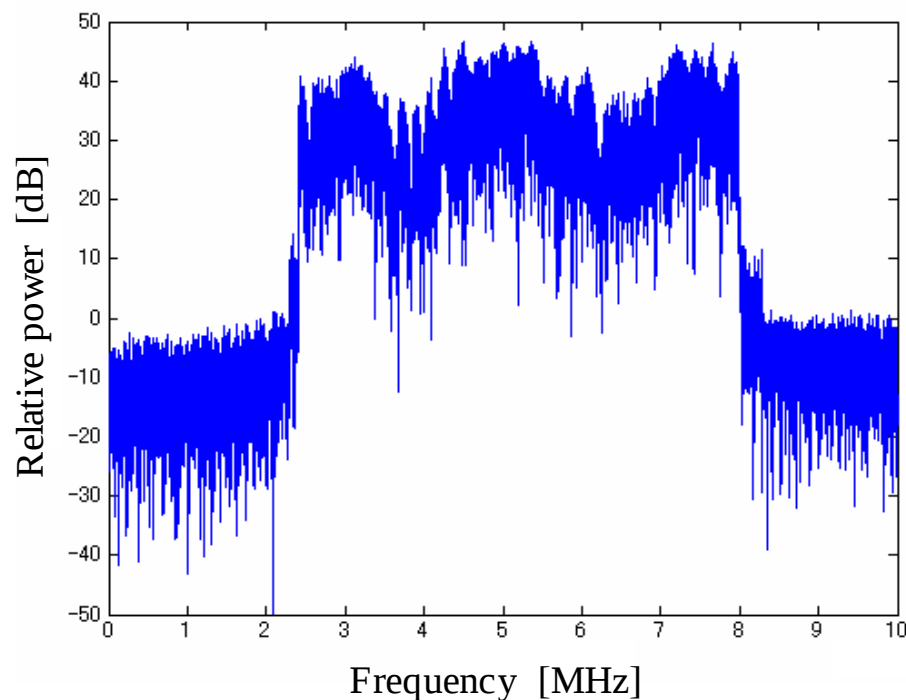


帯域分割信号処理型最大比合成(ベースバンド信号処理)

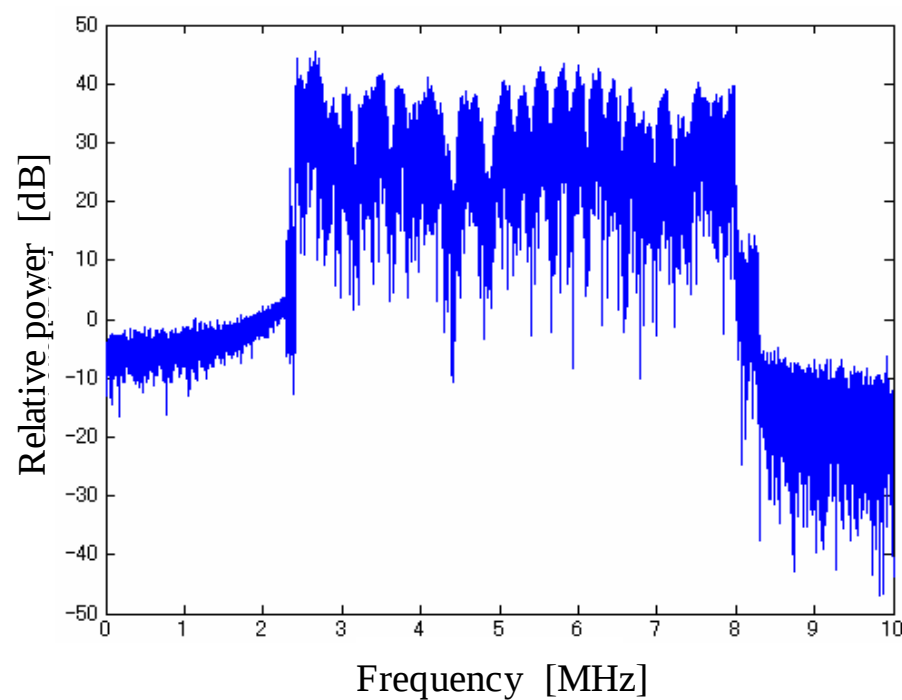




移動体受信時の周波数スペクトルの例



遅延広がりが小さい例

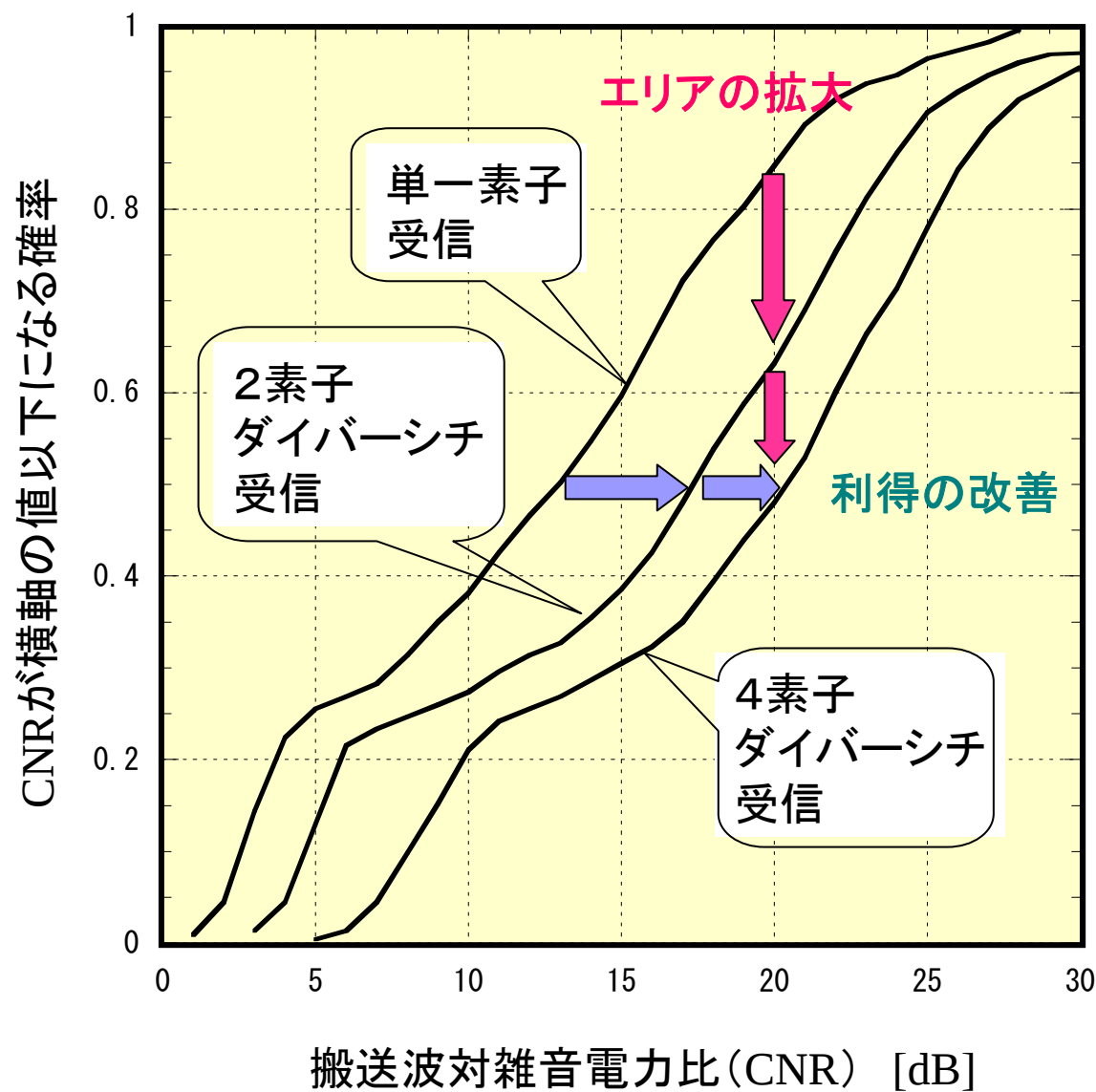


遅延広がりが比較的大きい例



(移動受信ダイバーシチ合成実験のデモ)

ダイバーシチ効果(電波信号処理による解析)



多摩地区
(電気通信大学周辺)

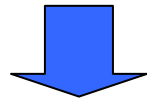
TRに基づく到来波角度の高分解能推定

- － 屋外測定
- － 屋内測定

背景

近年の地上デジタル放送の普及

固定受信向けハイビジョン放送の室内受信への需要高まる



- テレビ、またはアンテナの設置位置
- 必要アンテナ数

などの詳細な評価が必要

屋内環境での電波伝搬特性の把握が重要

- どの方向から？ ⇒ 到来方向
- どれくらい遅れて？ ⇒ 遅延時間

背景

＜地デジ放送波の到来方向推定＞

従来の到来方向推定

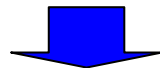
アレーアンテナを用いた到来方向推定

問題点

- 到来波数より多いアンテナ数
- アレー素子の特性のばらつき
- アレー素子間でのカップリング

提案手法

トータルレコーダを用いたバーチャルアレーによる
到来方向推定



1本のアンテナで実効的に複数のアンテナ
での測定と等価な方法

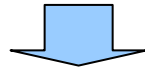
提案手法

1本のアンテナで空間分解能をあげた識別をするには...

⇒ 受信側で常に送信信号が既知である必要アリ

本研究

測定には実際の放送波を利用



受信側で送信信号を事前に知る術なし

提案手法

直接波のみが受信できる地点での受信信号 → **基準信号**

基準信号と**被測定信号**を同時に収録

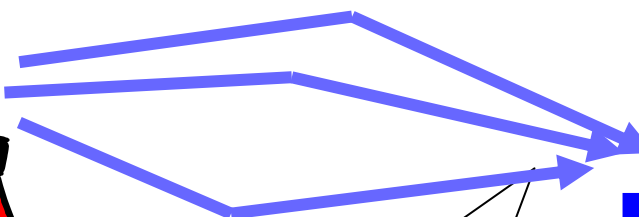
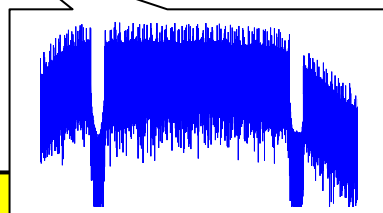
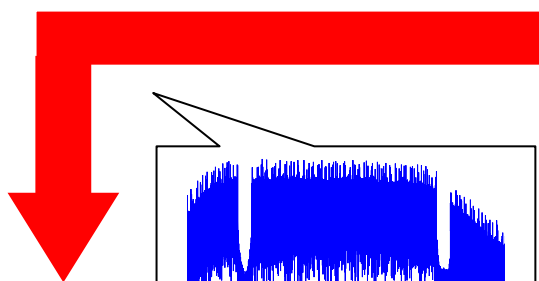
⇒ **基準信号**を基に**被測定信号**の**振幅位相特性**を把握

○トータルレコーダにより基準信号・被測定信号をそのままの形式で収録

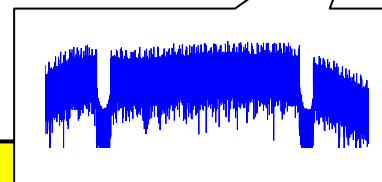
○オフライン信号処理で、MUSIC法等を用いて到来方向推定

新しい伝搬測定法 (信号の形式を問わない)

基準信号受信
(見通しのよい地点)



測定信号受信
(測定環境)

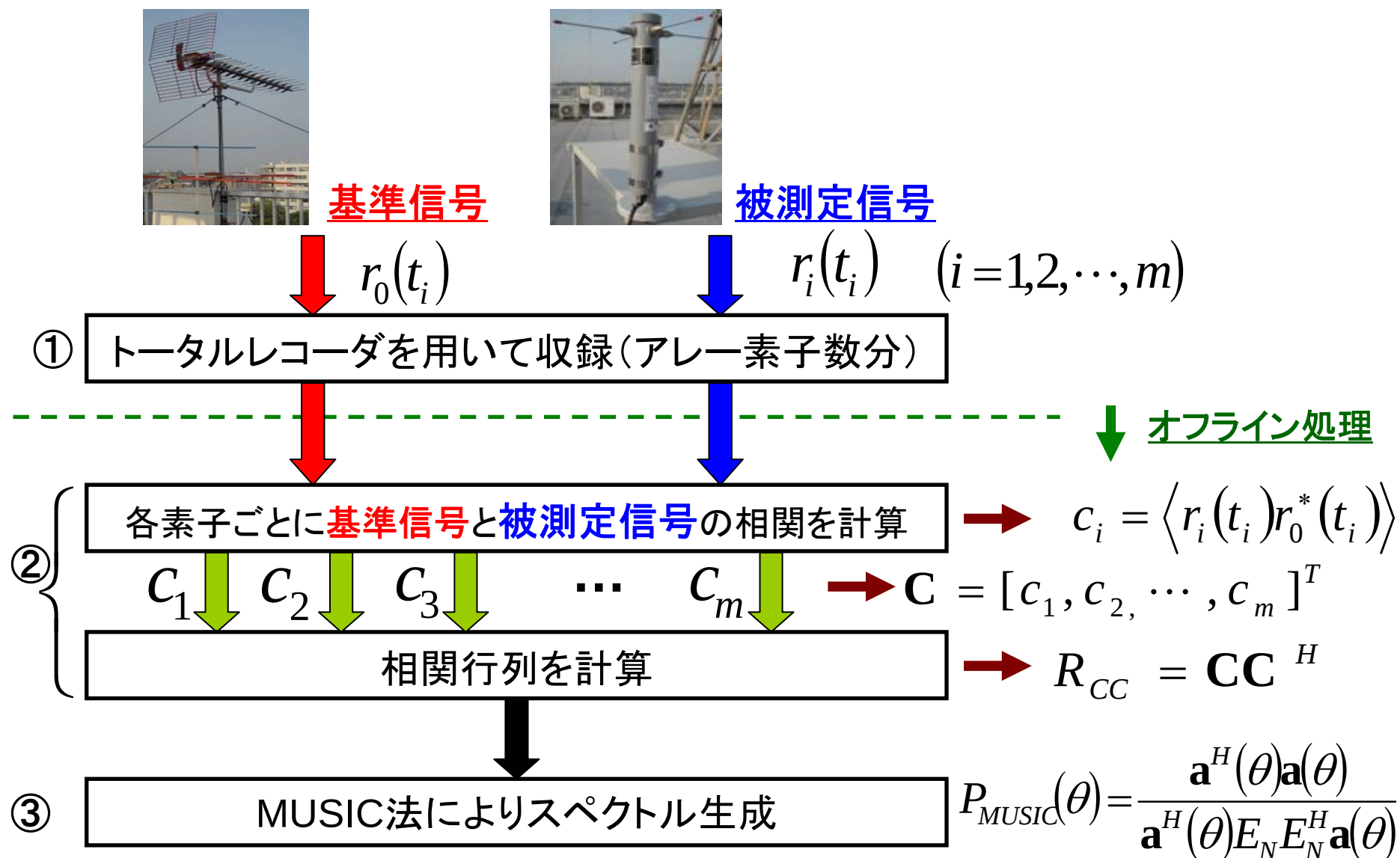


2信号を同時にパソコンへトータルレコーディング

空間領域信号処理
周波数領域信号処理

到来パスの視覚化

提案測定法の流れ



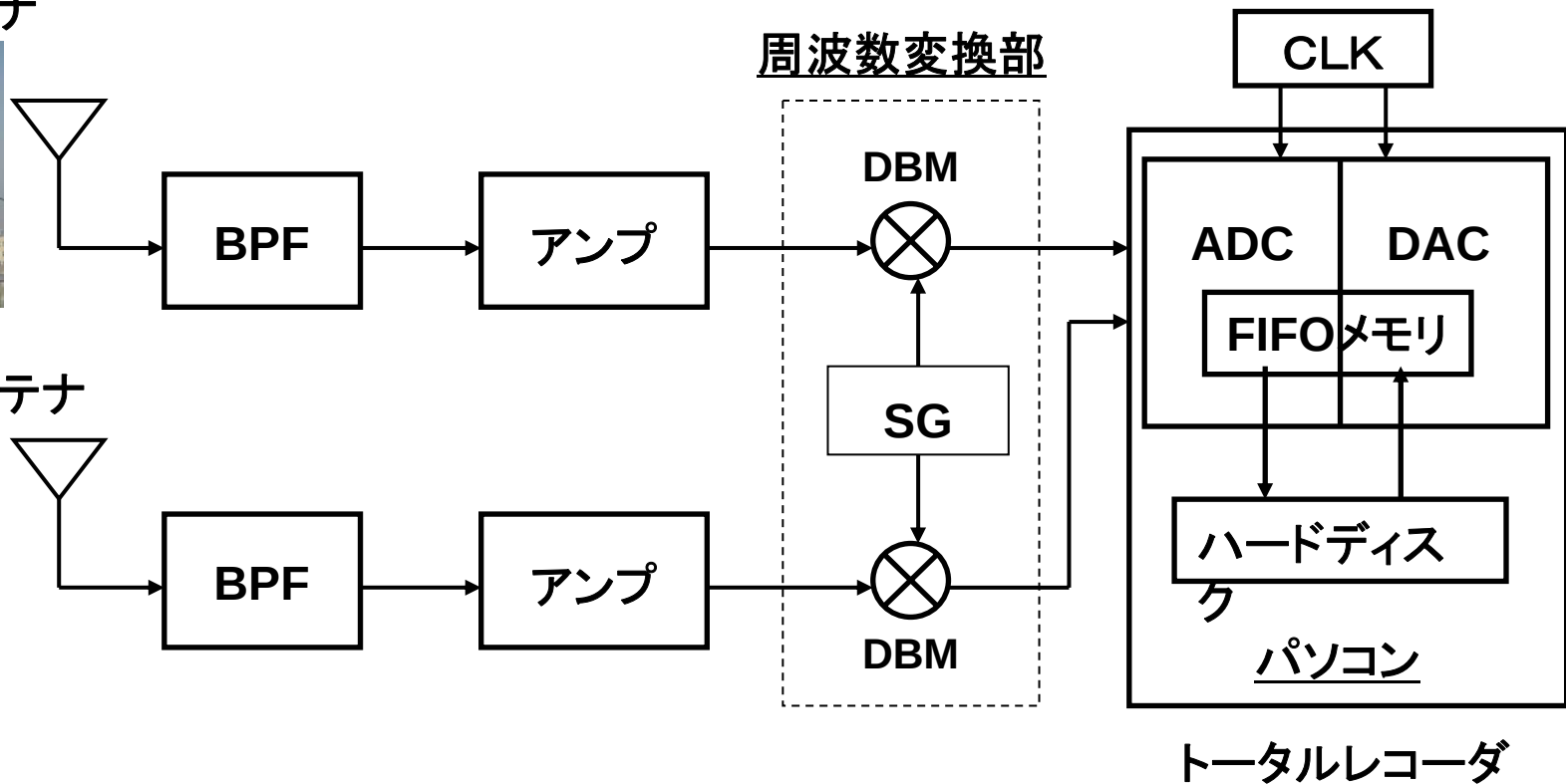
①トータルレコーダによる収録

RF帯の電波をサンプリング可能な周波数帯までダウンコンバートし、ADCを用いてコンピュータに収録

基準アンテナ



被測定アンテナ



電波の形式を崩さずに収録でき、オフラインでの処理が可能

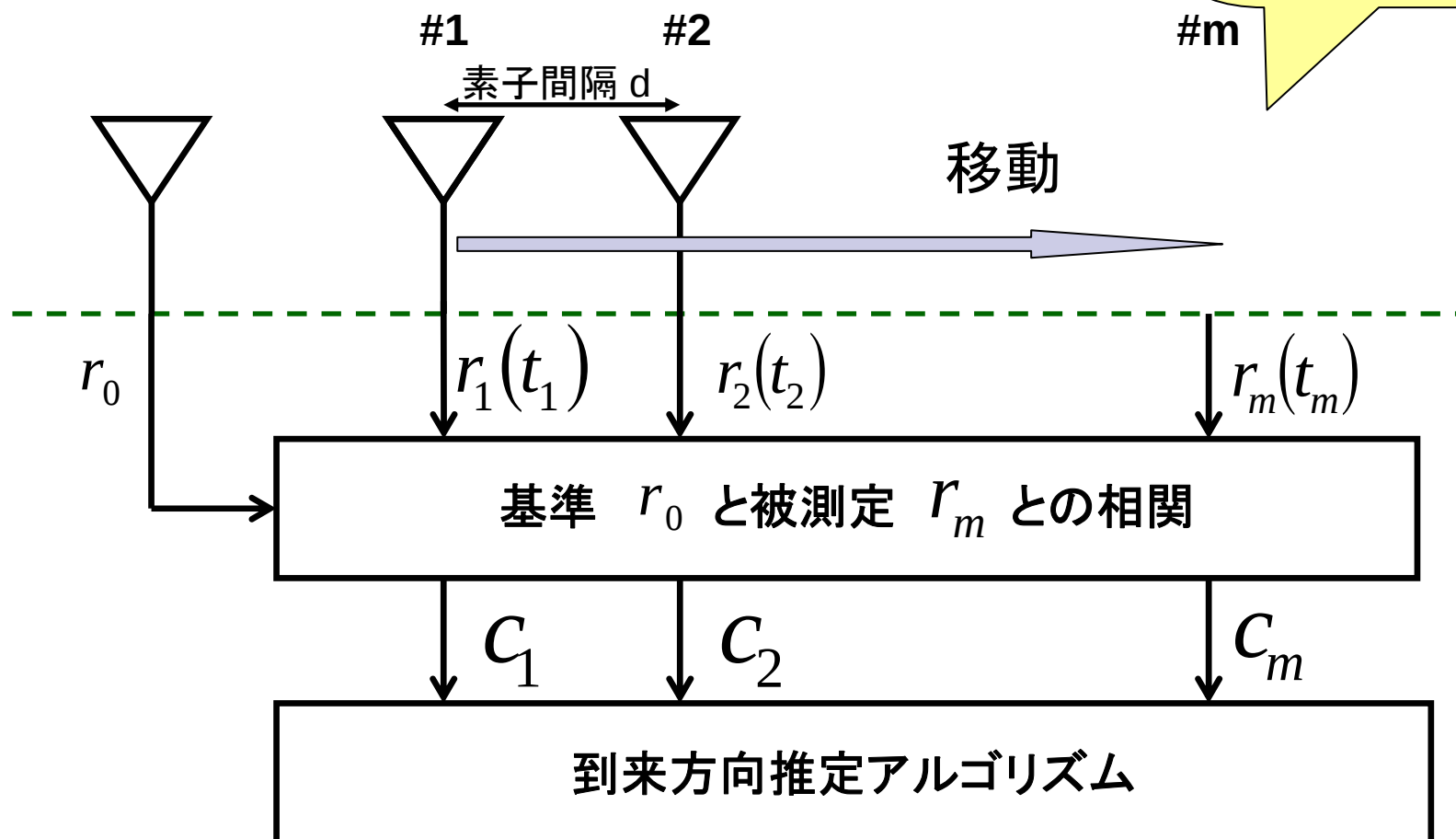
①トータルレコーダによる収録

基準

被測定

基準 $r_0(t_m)$ と
被測定 $r_m(t_m)$ のペア

#m



②相関行列の計算

$$\left(\begin{array}{l} \text{基準信号: } r_0(t_i) \\ \text{被測定信号: } r_i(t_i) \end{array} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \right)$$

基準信号と被測定信号の間の相関を計算

$$c_i = \langle r_i(t_i) r_0^*(t_i) \rangle$$
$$\mathbf{C} = [c_1, c_2, \dots, c_m]^T$$

これを用いて相関行列を計算

$$\mathbf{R}_{CC} = \mathbf{C} \mathbf{C}^H$$

比較

従来法 → アレー出力信号から直に相関行列を計算

$$\mathbf{R} = \langle \mathbf{r}(t) \mathbf{r}^H(t) \rangle$$

③MUSICアルゴリズム

先に求めた相関行列から固有値・固有ベクトルを計算

$$R_{CC} \mathbf{e}_i = \lambda_i \mathbf{e}_i \quad (i = 1, 2, \dots, M)$$

信号部分空間

雑音部分空間

このとき、固有値間の関係は $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_L > \lambda_{L+1} = \dots = \lambda_M = \sigma^2$

雑音電力よりも大きい固有値の数 → 到来波数 L の推定
従って、雑音部分空間行列は

$$E_N = [\mathbf{e}_{L+1}, \dots, \mathbf{e}_M]$$

これを用いてMUSICスペクトラムを計算

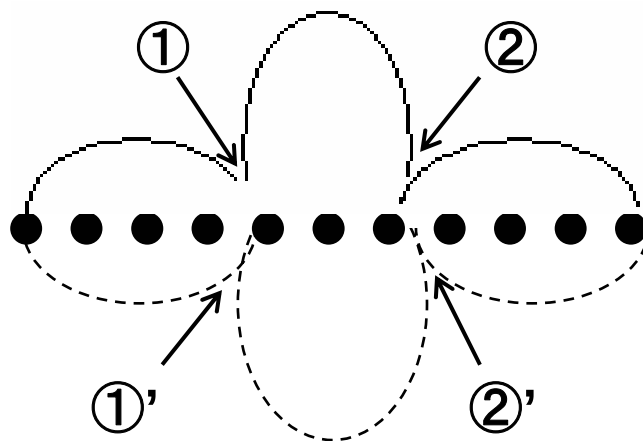
$$P_{MUSIC}(\theta) = \frac{\mathbf{a}^H(\theta) \mathbf{a}(\theta)}{\mathbf{a}^H(\theta) E_N E_N^H \mathbf{a}(\theta)}$$

$$\mathbf{a}(\theta) = \left[1, \exp\left\{-j \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta\right\}, \dots, \exp\left\{-j \frac{2\pi}{\lambda} (M-1) d \sin \theta\right\} \right]^T$$

測定法の概要

＜バーチャルアレーを用いた到来方向推定＞

1アレーだと...



鏡像の出現により、
到来角に2つの候補

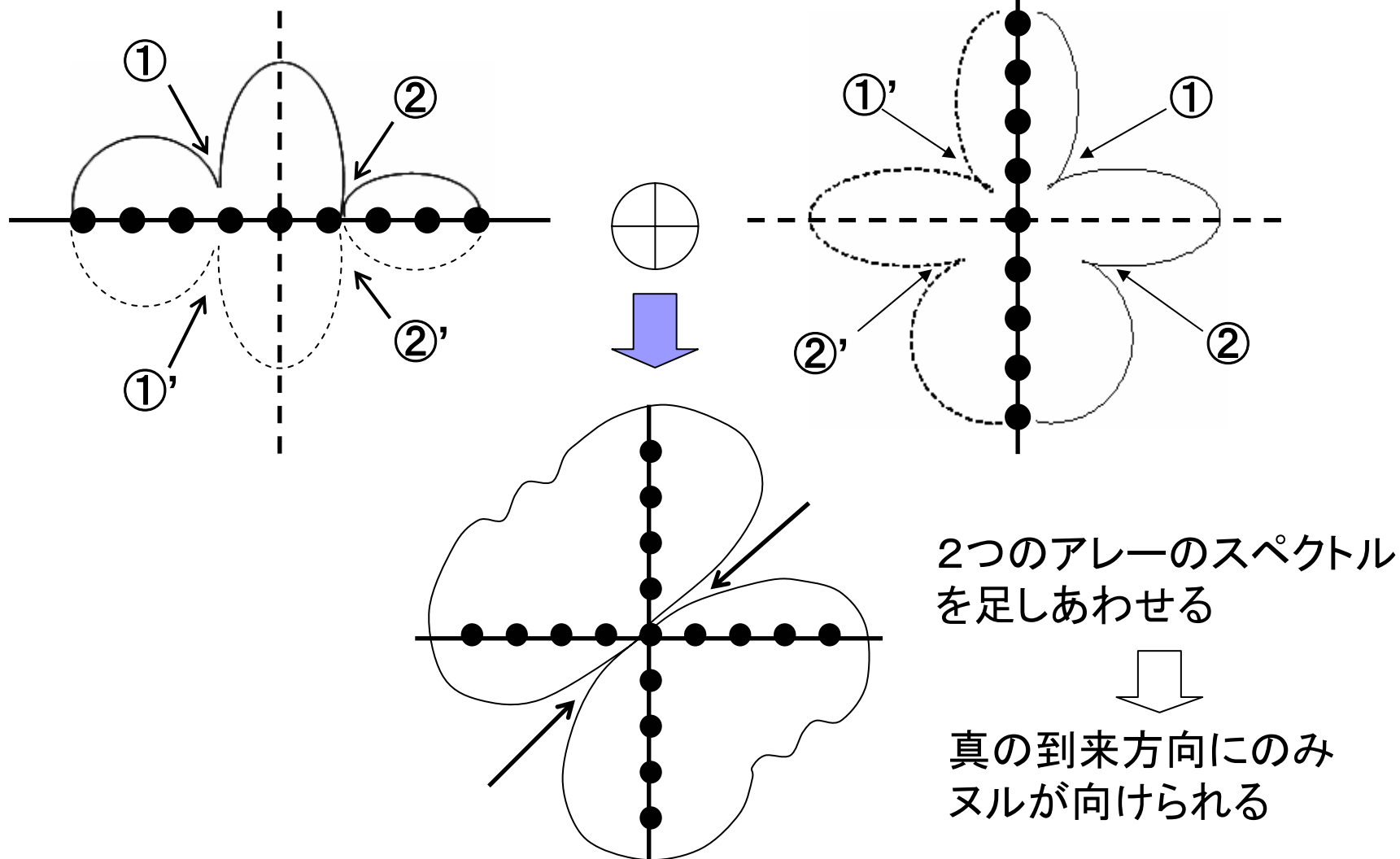
不確定性アリ

本研究

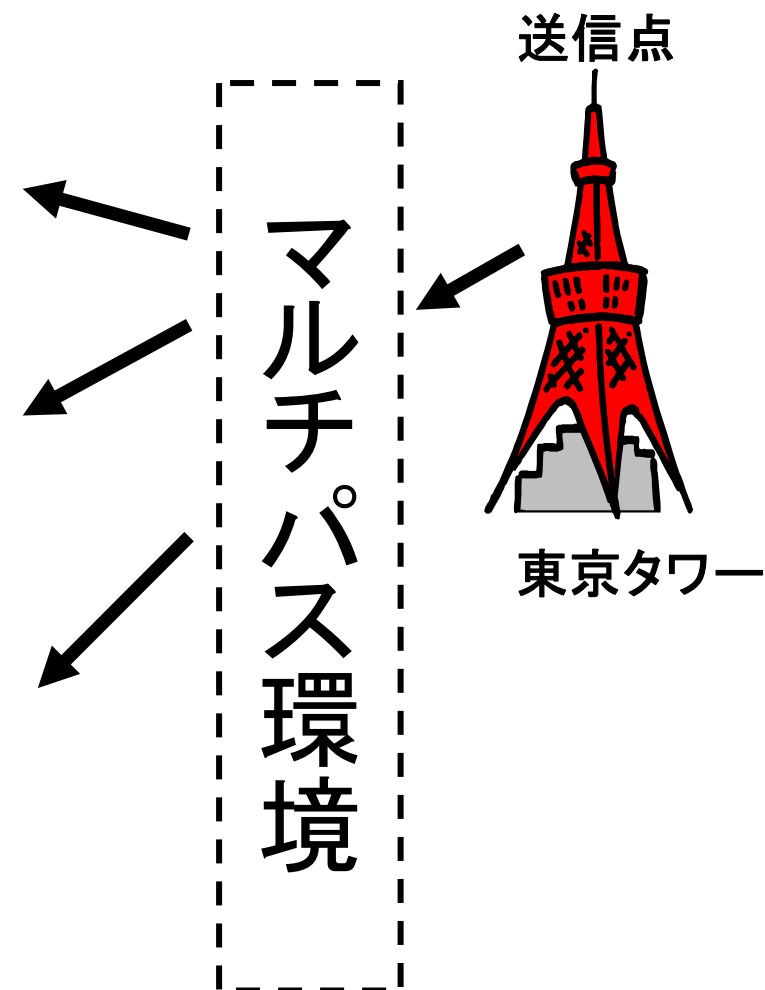
2つのバーチャルアレーを用いて、それぞれのアレーで求めた
スペクトラムを合成することで、不確定性を解消

測定法の概要

2バーチャルアレーによる推定原理イメージ



実環境での測定(屋外)



電通大 8 階建てビル: 屋上の風景



実環境での測定(屋外)

測定場所：西2号館屋上

(送信点である東京タワーが見渡せる環境)

被測定アンテナ
(水平偏波
無指向性)



基準信号受信
アンテナ

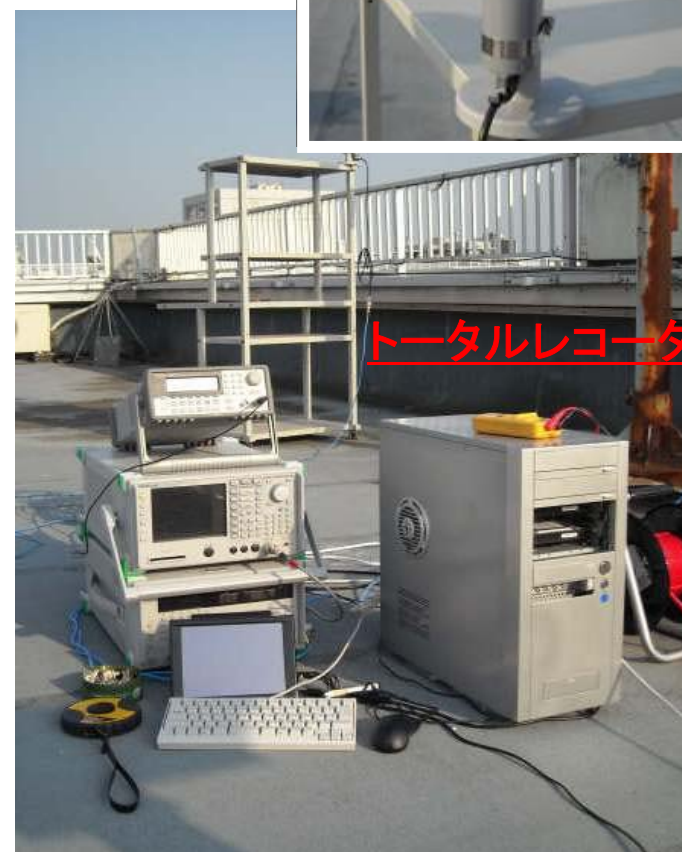
(20素子八木・
宇田アンテナ)



東京タワー

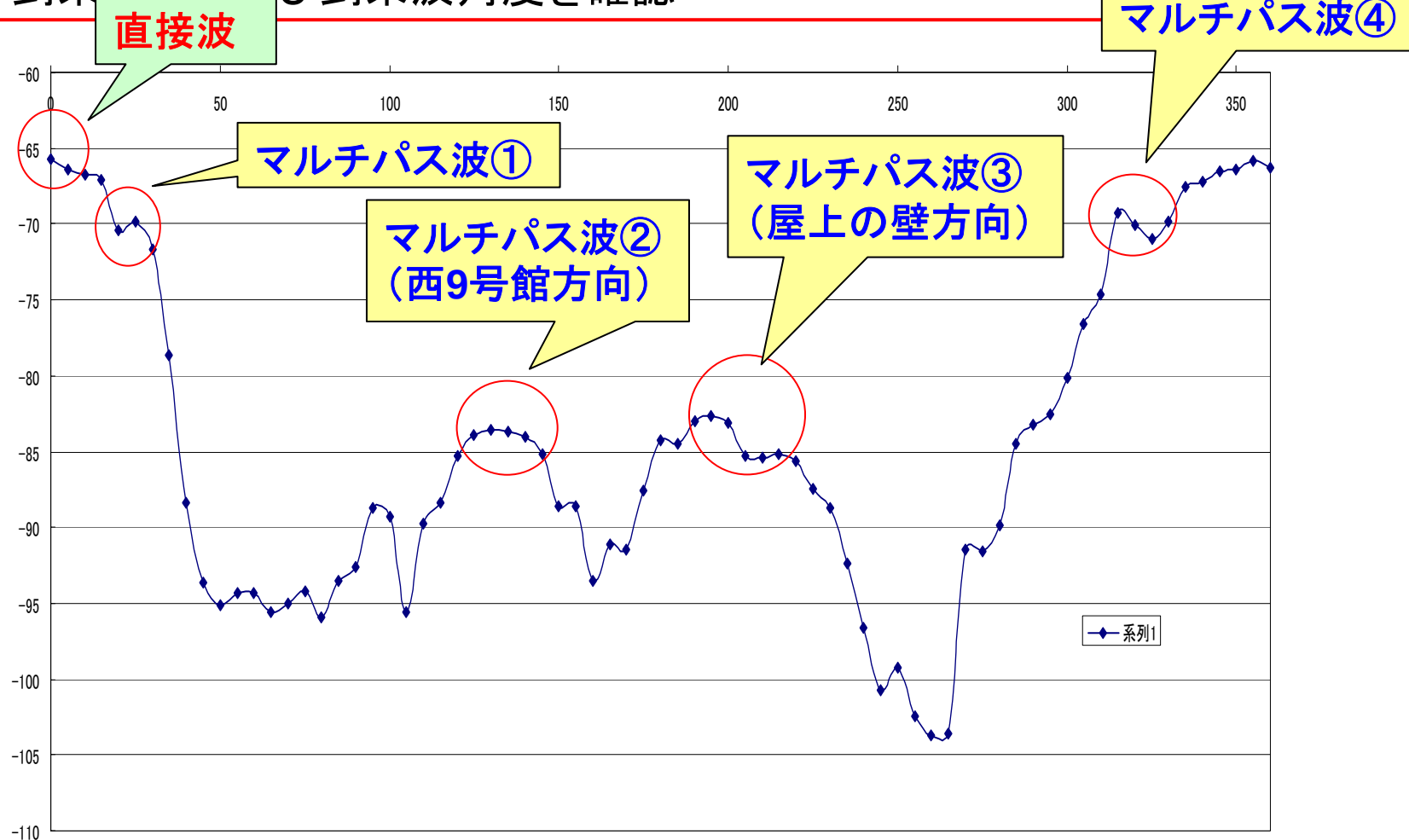


トータルレコーダ



到来波の事前確認

指向性アンテナ(12素子八木・宇田アンテナ)を回転させて
到来波数および到来波角度を確認



到来波の事前確認

参考 到来波(150° 付近)



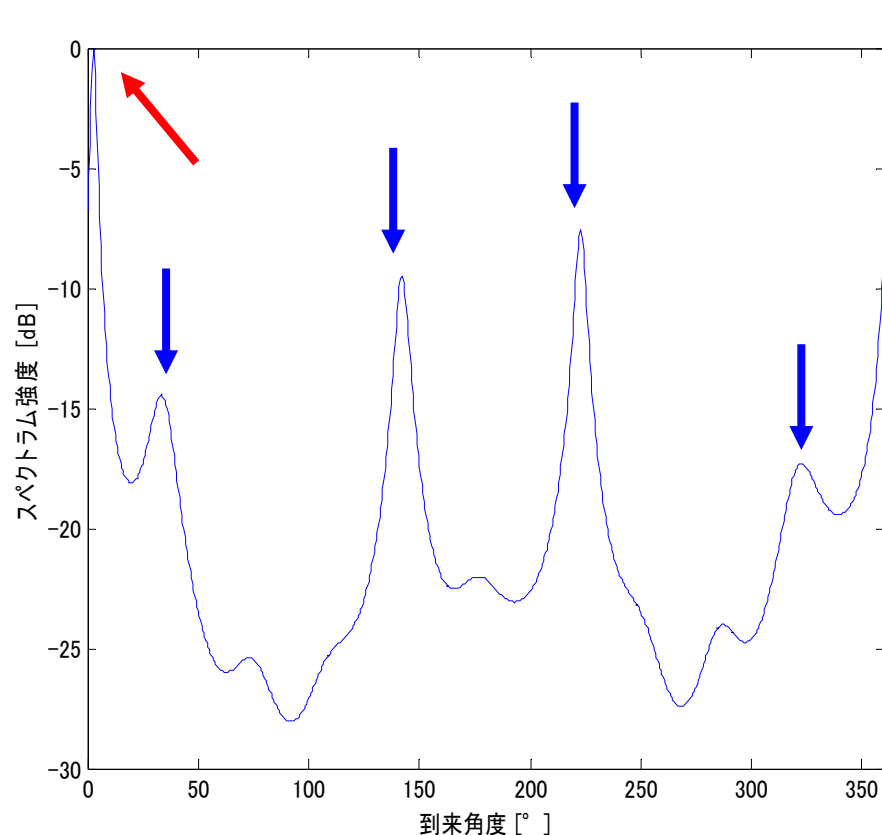
到来波の事前確認

参考 到来波(225° 付近)

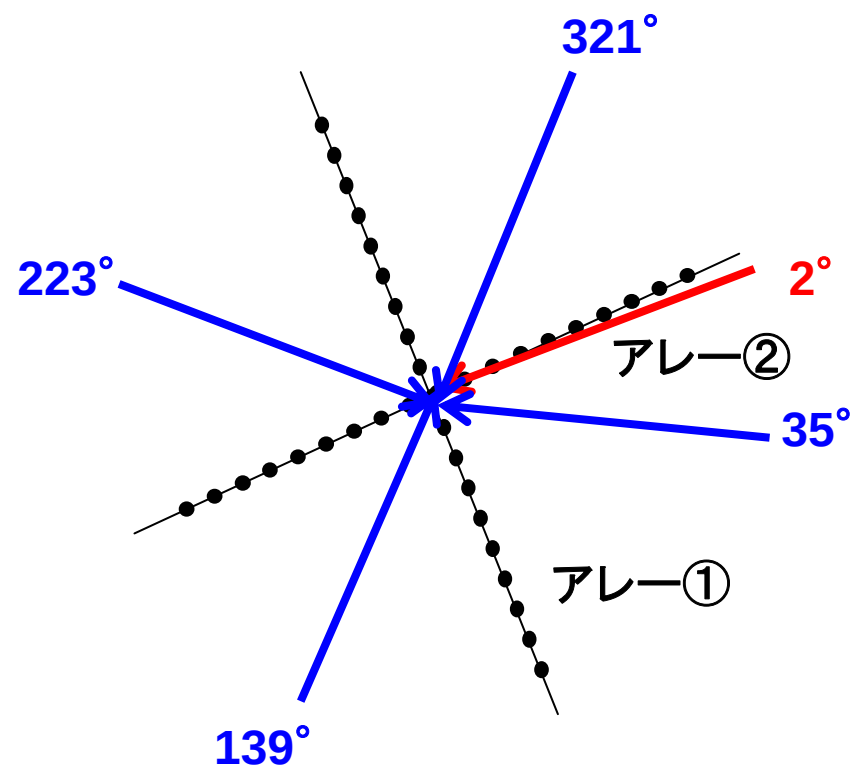


到来方向推定結果(屋上)

<MUSICスペクトラム(2アレー合成)>

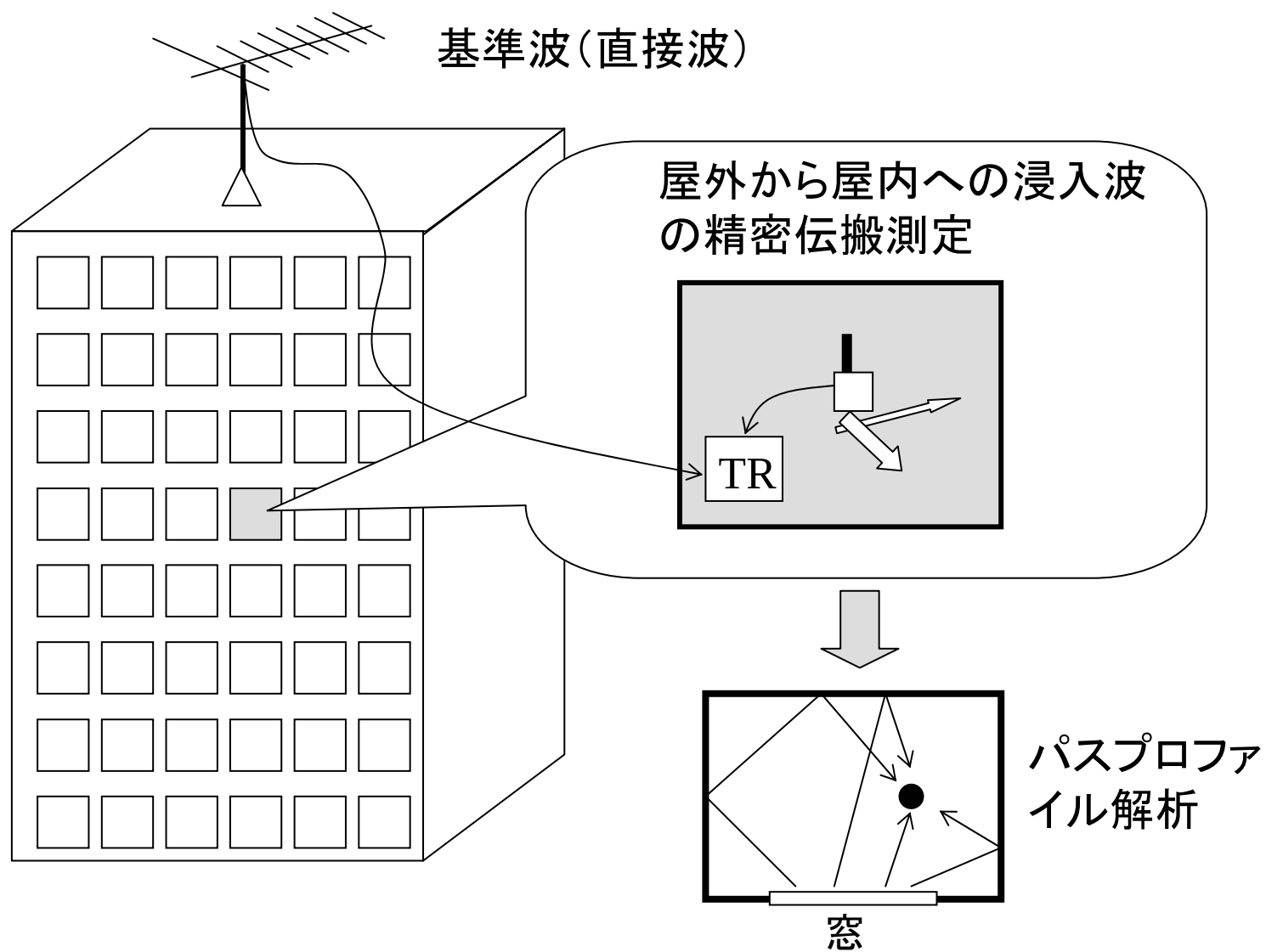


合成スペクトル(アレー①+アレー②)



到来波: 5波(直接波1波、マルチパス波4波)

実環境での測定(屋内)



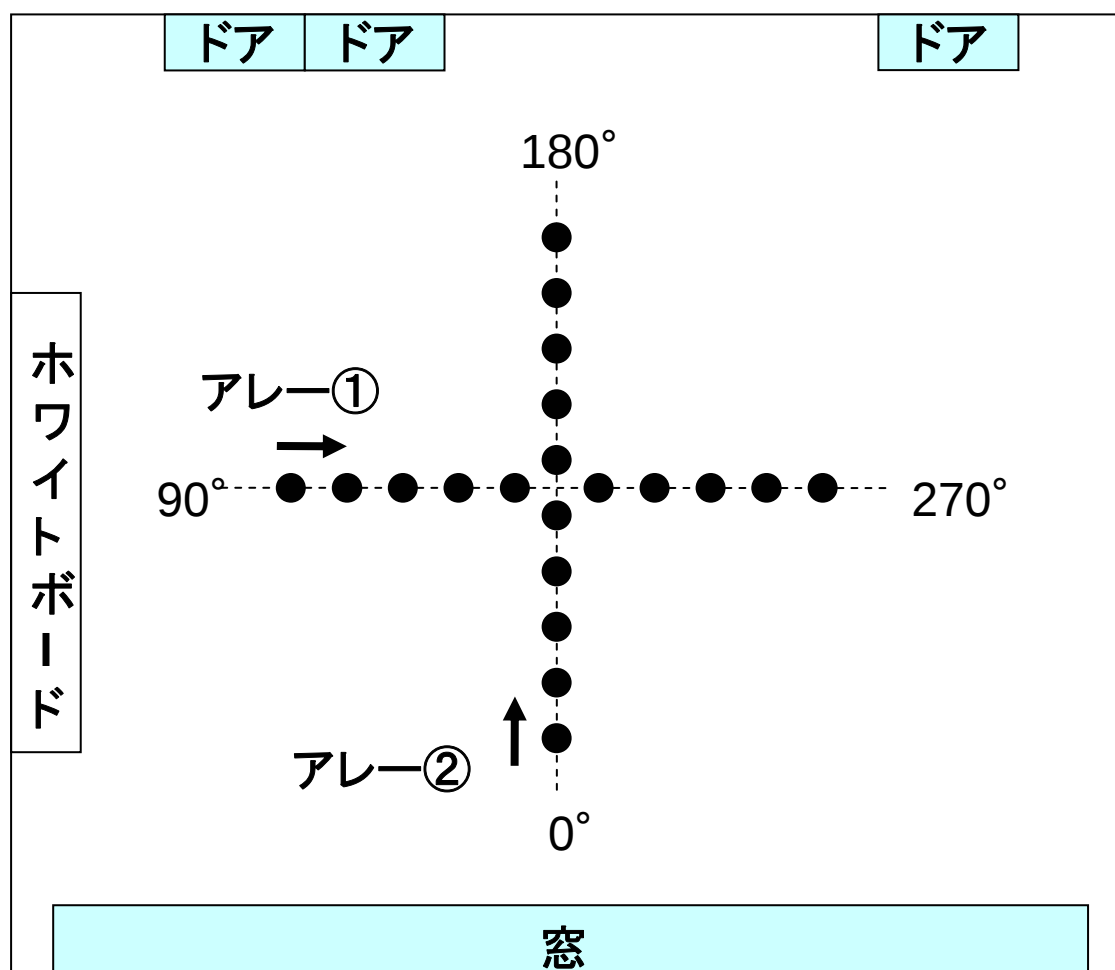
測定場所：電通大西2号館513室

(送信点である東京タワーが見渡せない環境)



実環境での測定(屋内)

屋内実験(西2-513室)



収録アレー(2種類)

アレー①

⇒ 窓に対して平行

アレー②

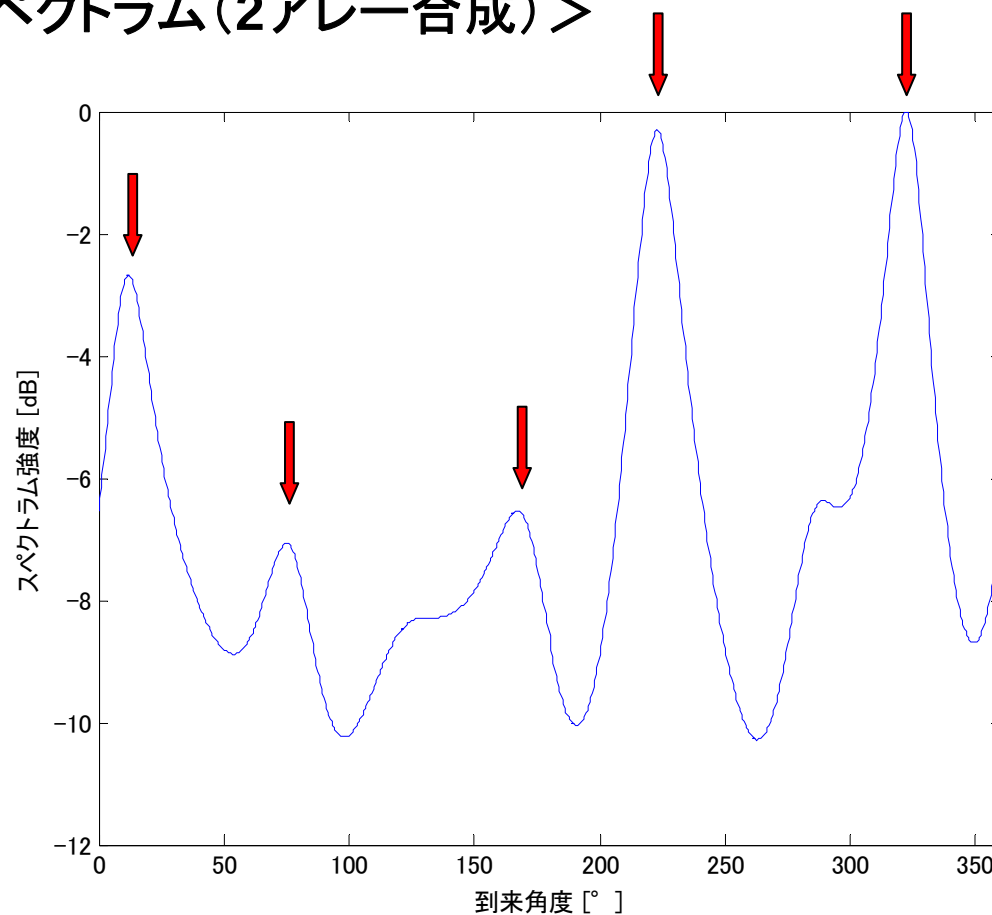
⇒ 窓に対して垂直

アレー素子数: 20

素子間隔: 15cm
($\lambda/4$)

到来方向推定結果(屋内)

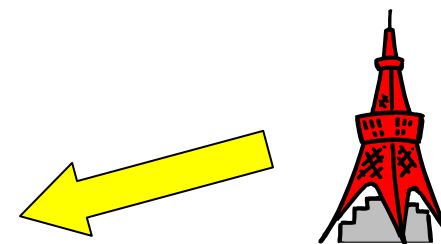
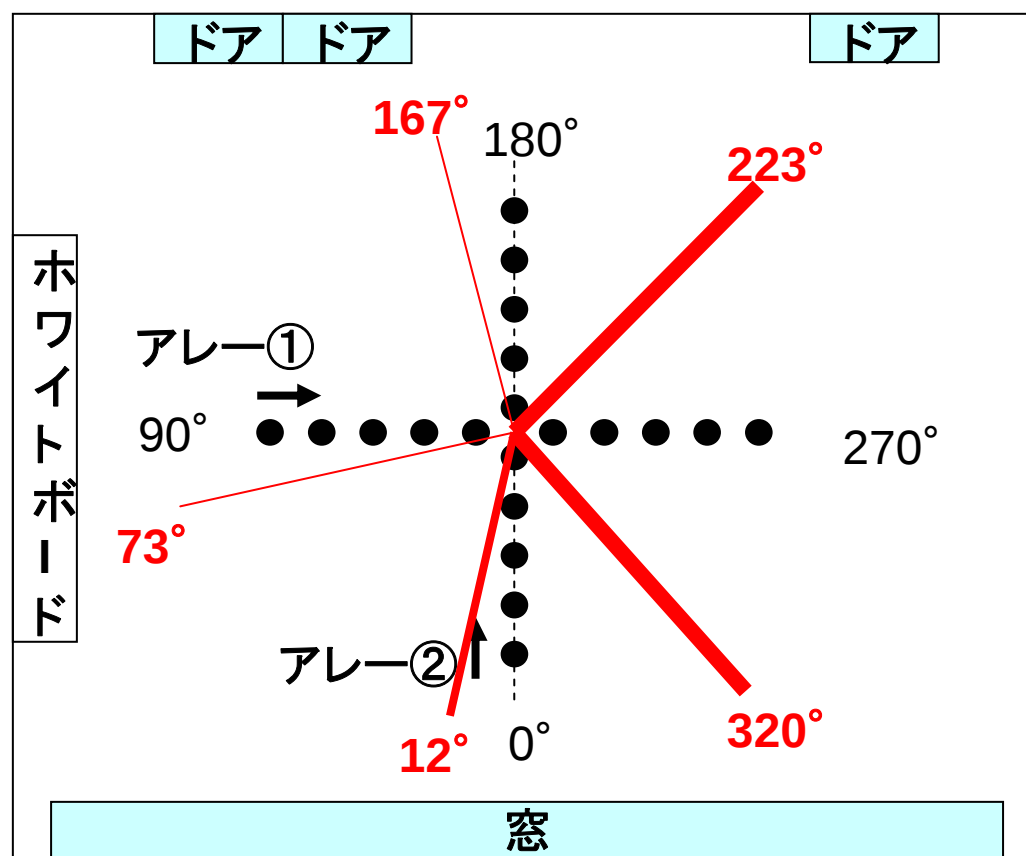
＜MUSICスペクトラム(2アレー合成)＞



合成スペクトル(アレー①+アレー②)

到来方向推定結果(屋内)

＜アレー① + アレー②＞の到来方向分布



12° , 320°

⇒ 窓方向から到来

167° , 223°

⇒ ドア方向から到来

73°

⇒ 窓から入って
ホワイトボード
(壁)で反射

到来波: 5波 (窓方向から2波、ドア方向から2波、ホワイトボード反射方向から1波)

測定結果

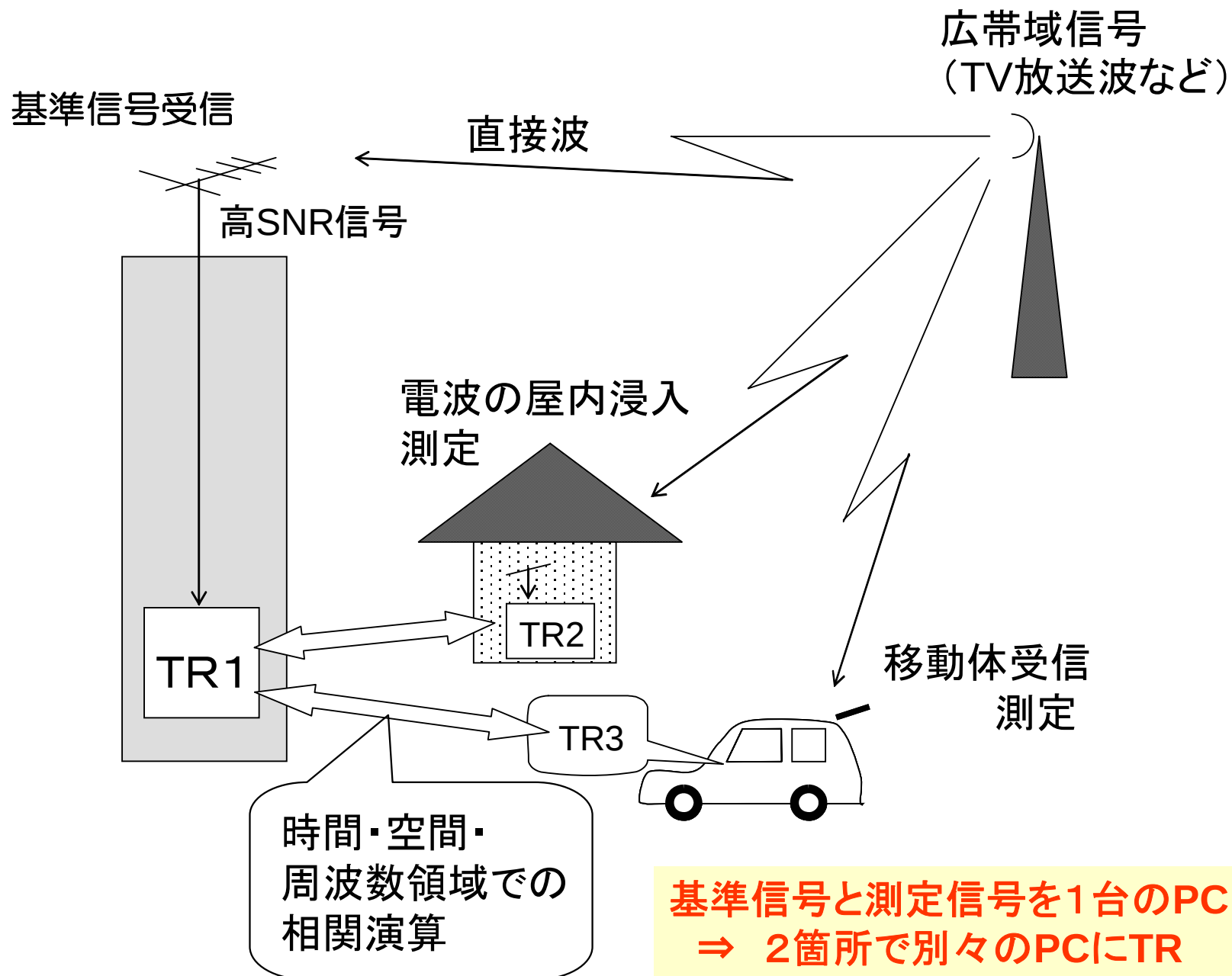
- トータルレコーダを用いた到来方向高分解能測定法を提案
- 屋外環境(電通大西2屋上)において、提案測定法の適用
 - ー 直接波を含む5波の到来波の推定
 - ー 事前に確認した到来角度とほぼ一致
 - ⇒ 本測定法の有効性を確認
- 屋内環境(電通大西2-513室)において、提案測定法の適用
 - ー 5波の到来波を推定
 - ⇒ 屋内での到来波分布を確認



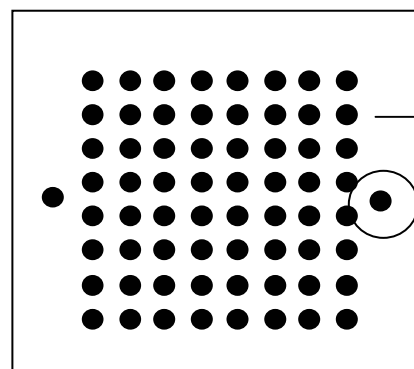
さらに高度な

— 伝搬測定法

— 伝送特性(MER, BER) 測定法

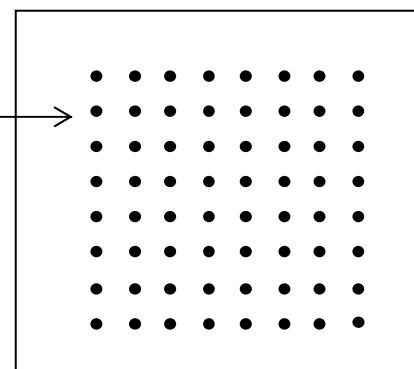


Reference signal
(TR1)



Data signal

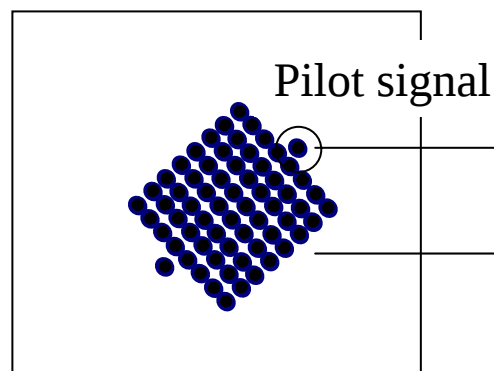
Pilot signal



Constellation
after
decision

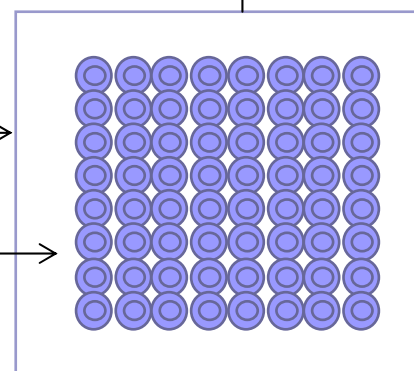
Amplitude (r)
and Phase (ϕ)

Measurement signal
(TR2)



Pilot signal

Data signal



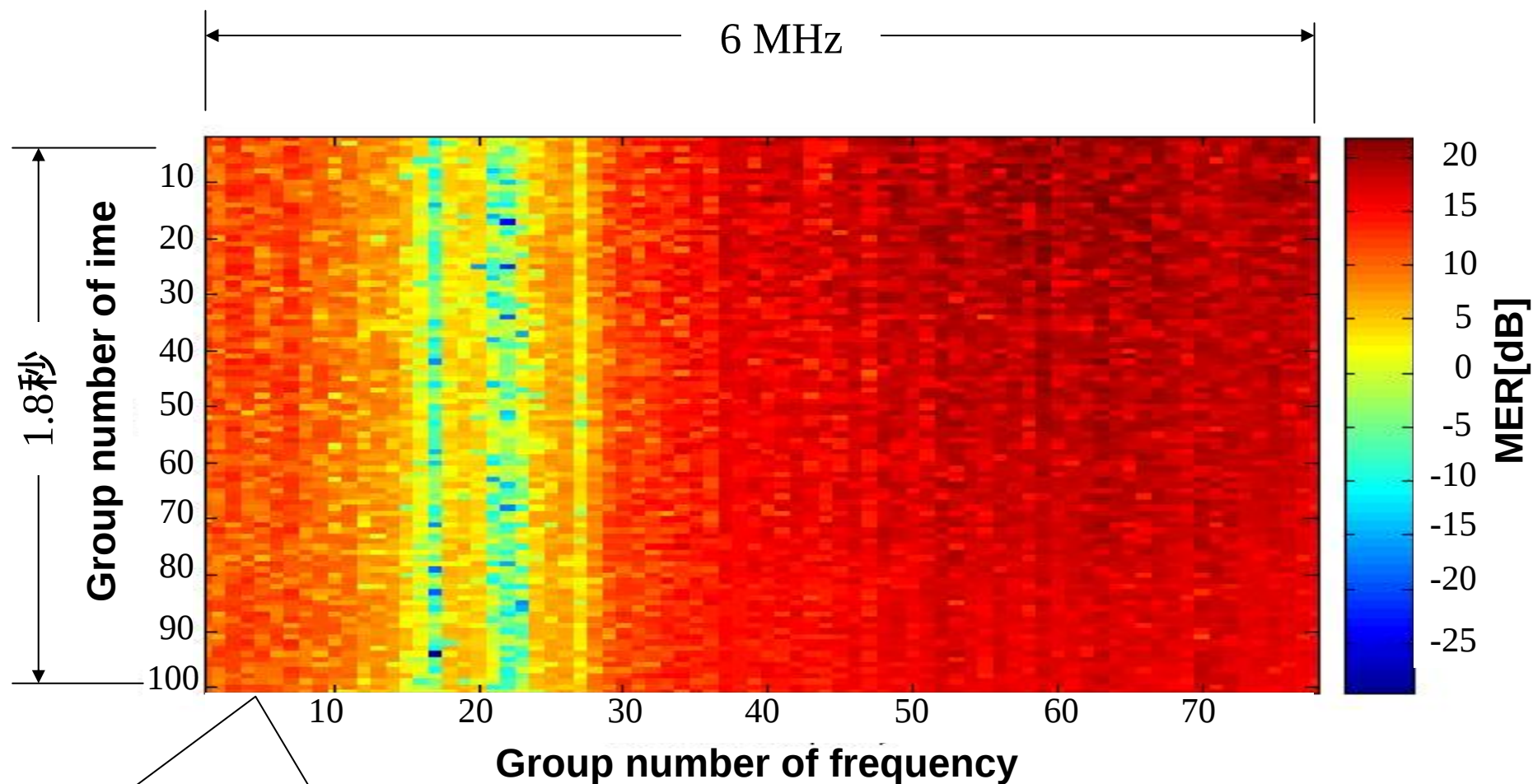
Constellation
after
normalization

Calculation of
amplitude and phase

MER
calculation

MER/BER

側定例 屋内の一箇所(場所固定)で測定



時間および周波数領域での高分解能
MER特性測定が可能

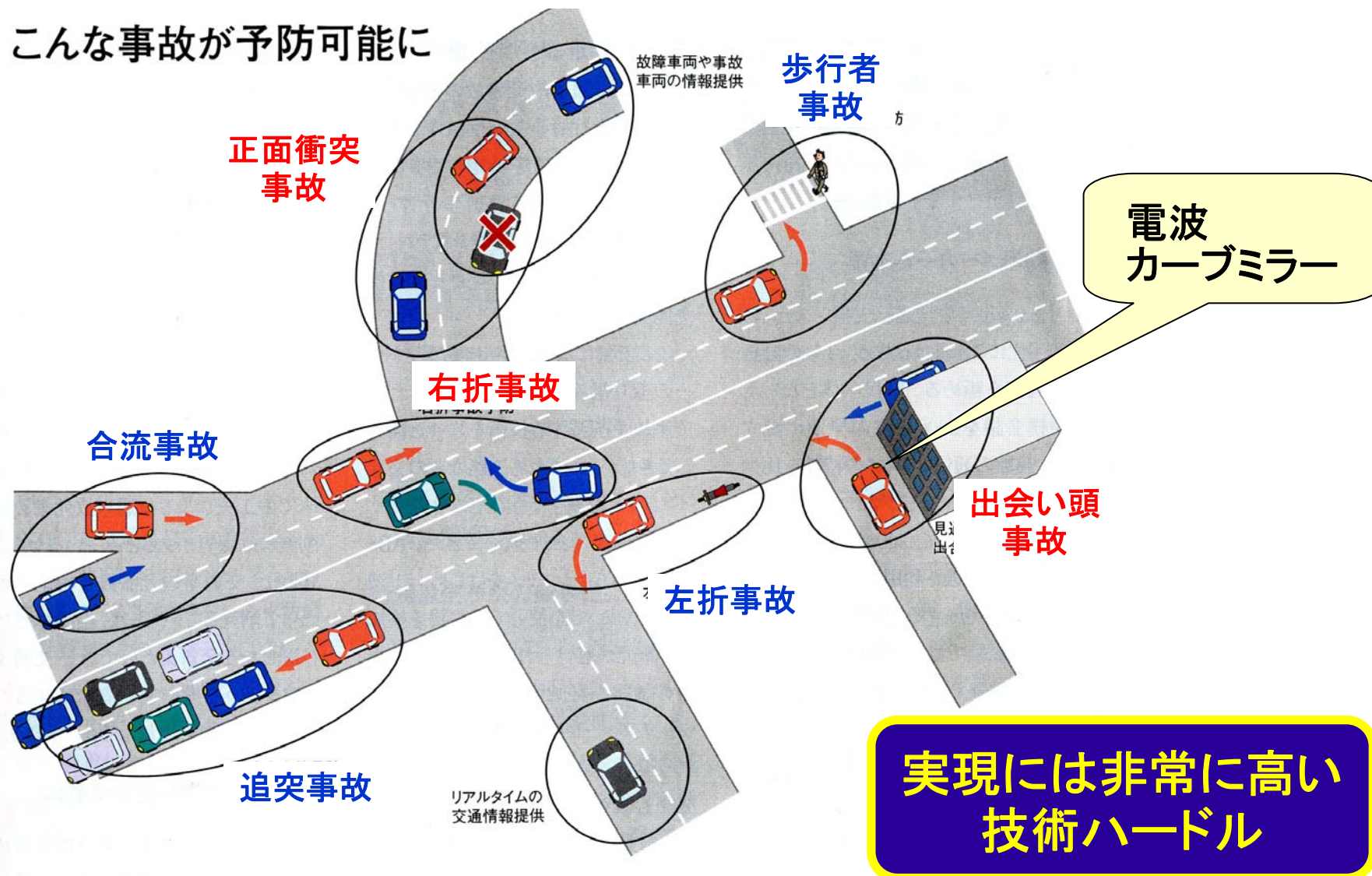


トータルレコーディングの対象信号

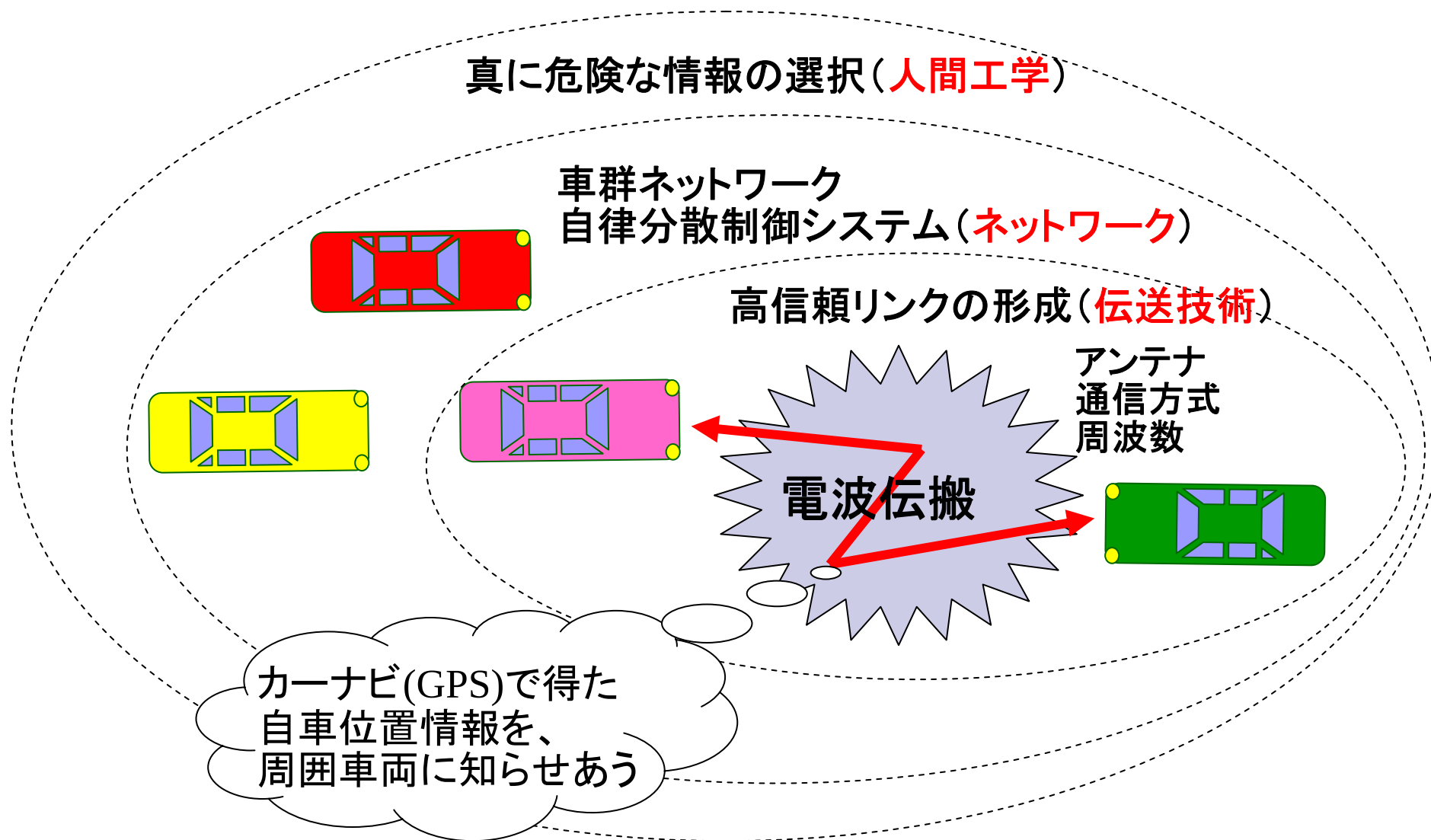
地デジ信号 → GPS衛星信号
(ITS車車間通信目的)

■ 車車間通信による情報交換が実現されると

こんな事故が予防可能に

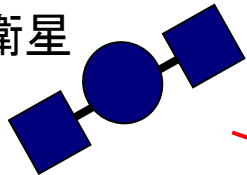


ITS車車間通信技術(お互いの位置情報を交換し合う)



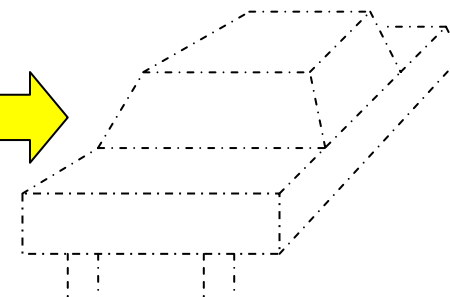
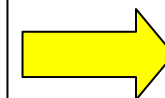
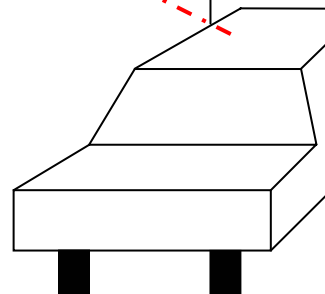
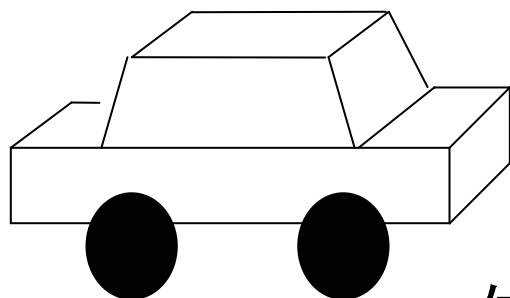
車車間通信のコンテンツ: 自車位置情報 + α

GPS衛星



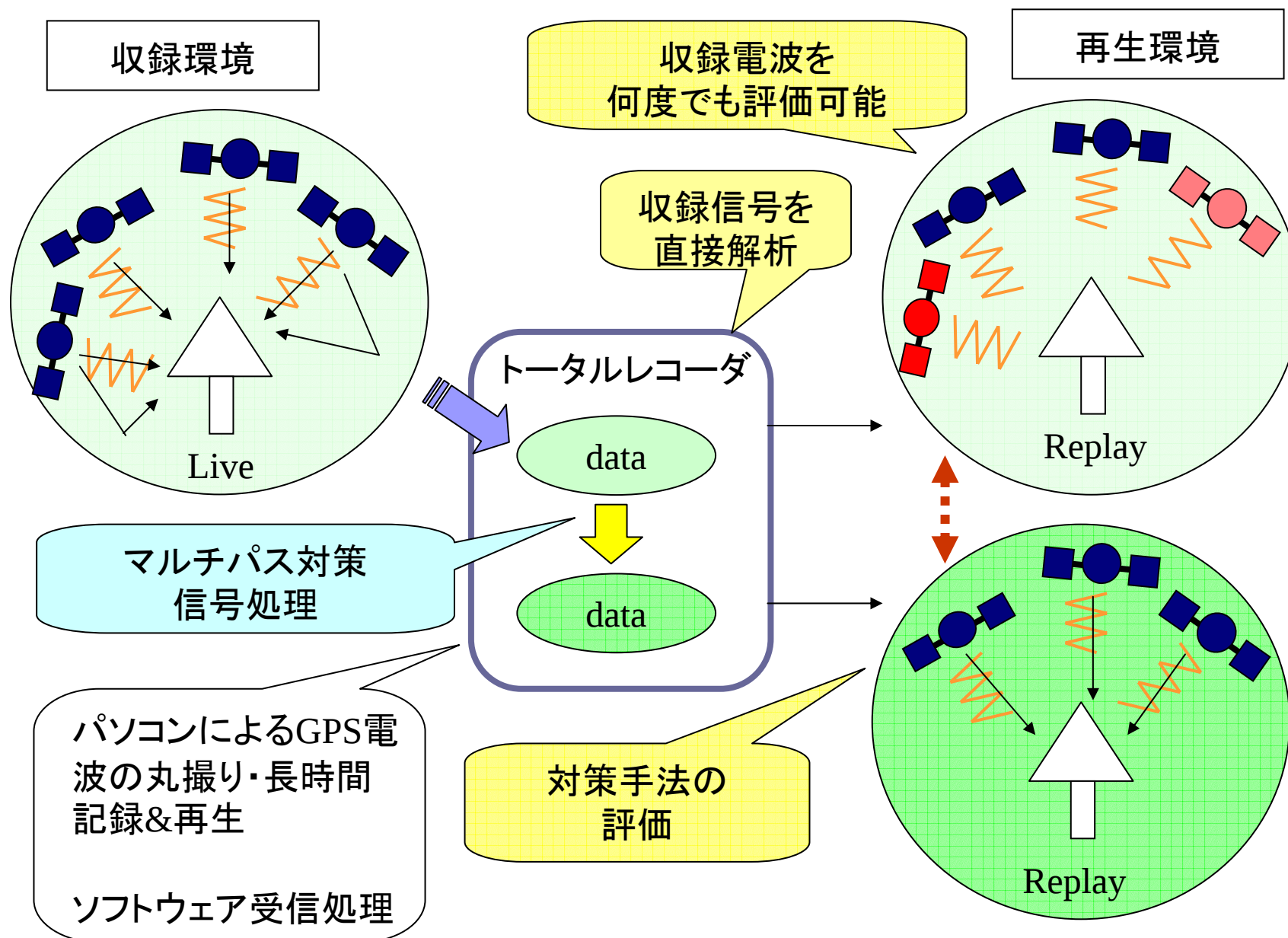
マルチパス波による
測位精度の悪化

相手に伝えたい
自車位置情報としては
精度が不十分



位置精度: 数m(通常) → 数十m(マルチパス環境)

研究事例紹介：パソコン・トータルレコーディングによる系統的解析評価（電通大）



GPS-TR フィールド収録走行ルート (2009/4/27)

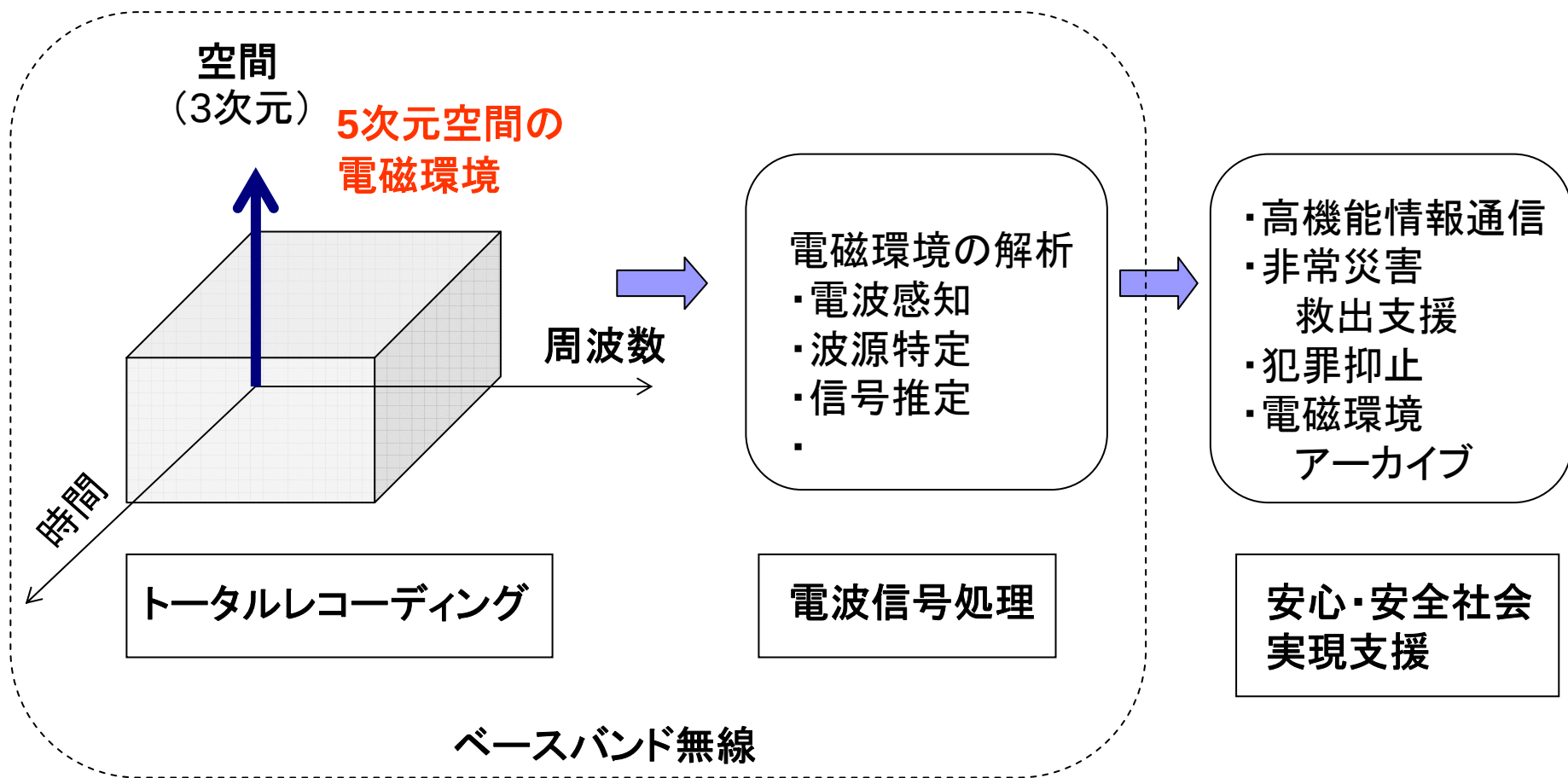


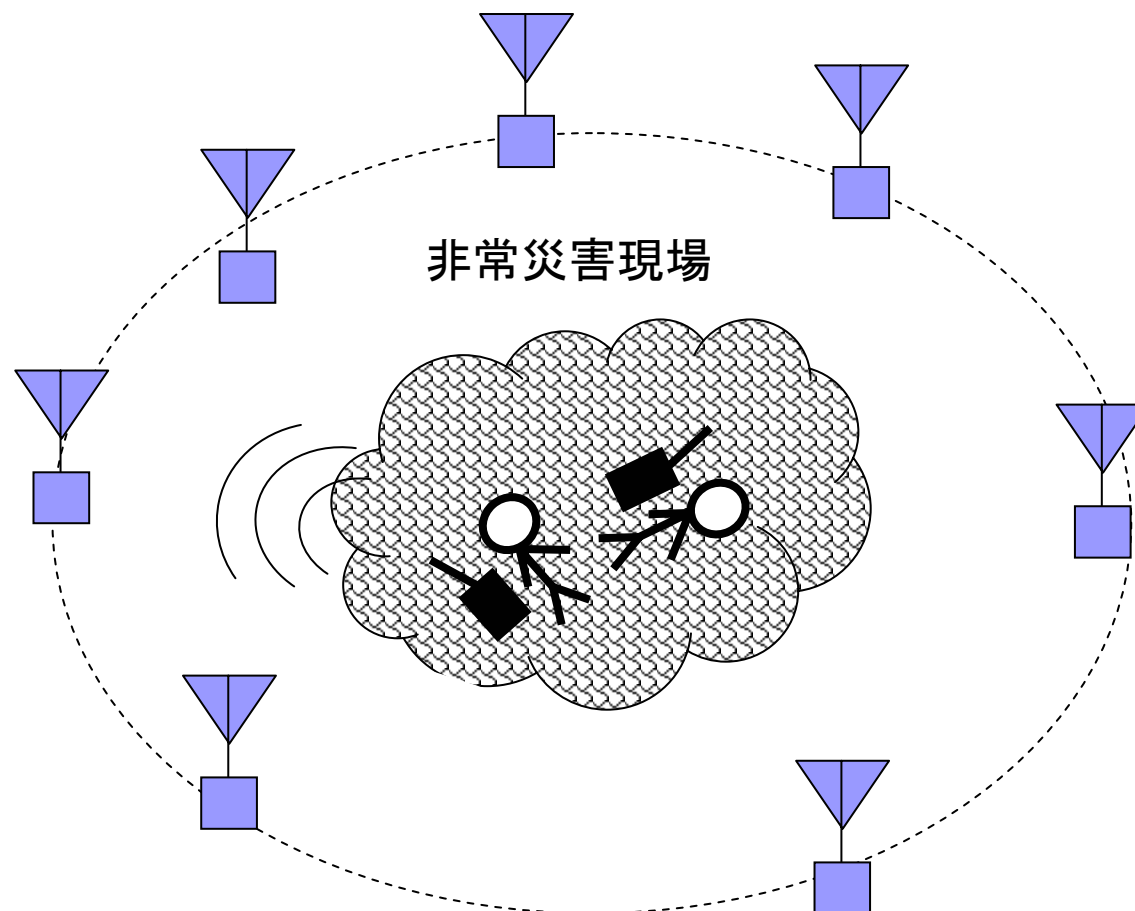
トータルレコーディングのまとめ

- トータルレコーディングシステム (TRS) は、電波環境の詳細解析評価に、非常に有効なデータ収集手段である
- TRSは種々の無線システム(地デジ、移動通信、各種無線、GPSなど)の電波環境解析・通信特性解析など、応用範囲が広い
- **電磁環境アーカイブ(電波図書館)構築へ**

トータルレコーディング技術に基づく5次元電磁環境アーカイブと環境解析

a dream





トータルレコーディングネットワーク
ネットワーク同期技術
電波機器位置特定

講演内容

0) 私の研究遍歴

1) 電波のトータルレコーディング

2) 電波信号処理と伝搬環境計測

- 地デジ電波のダイバーシチ合成

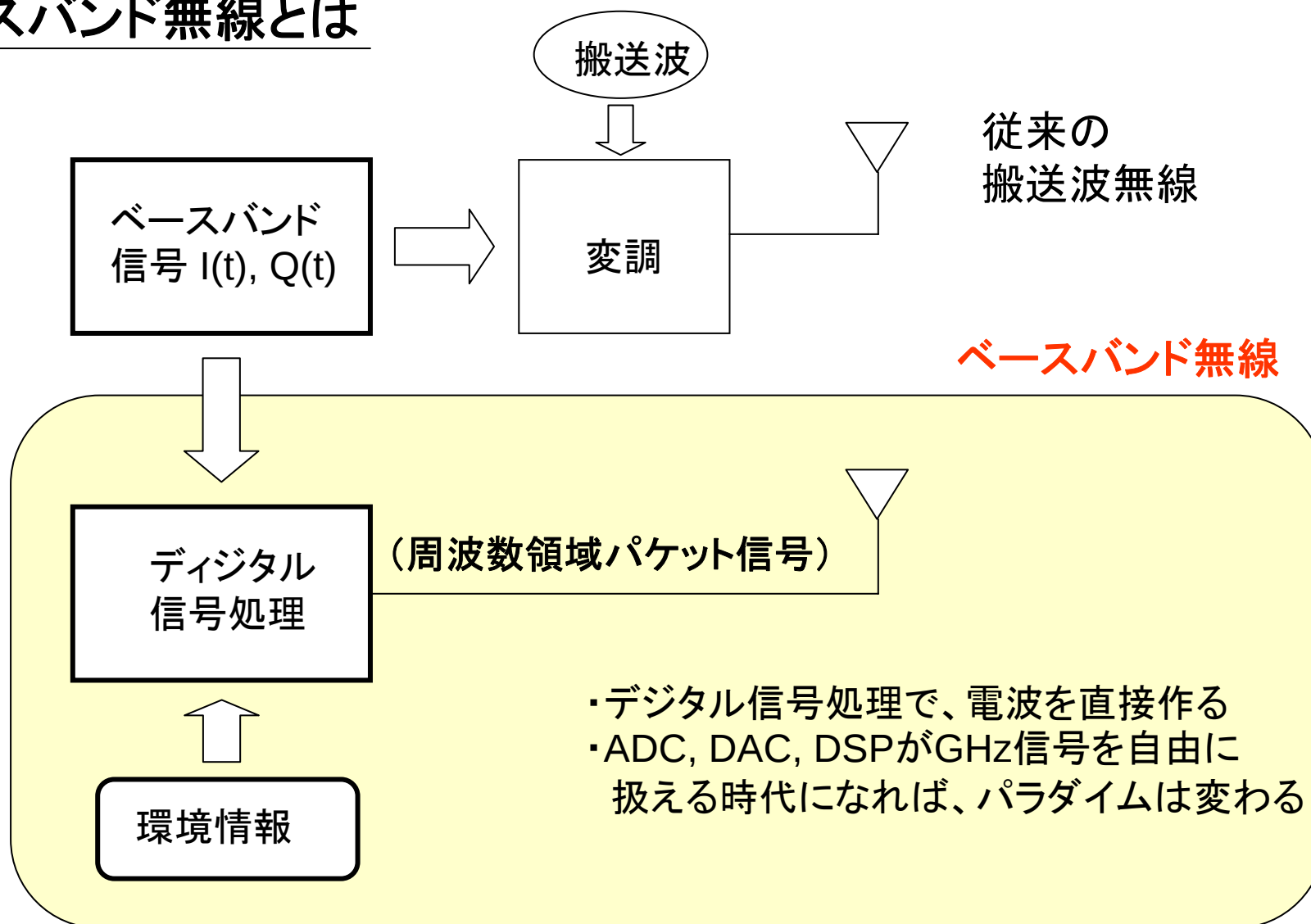
- 電波到来方向推定

3) 電磁環境アーカイブ

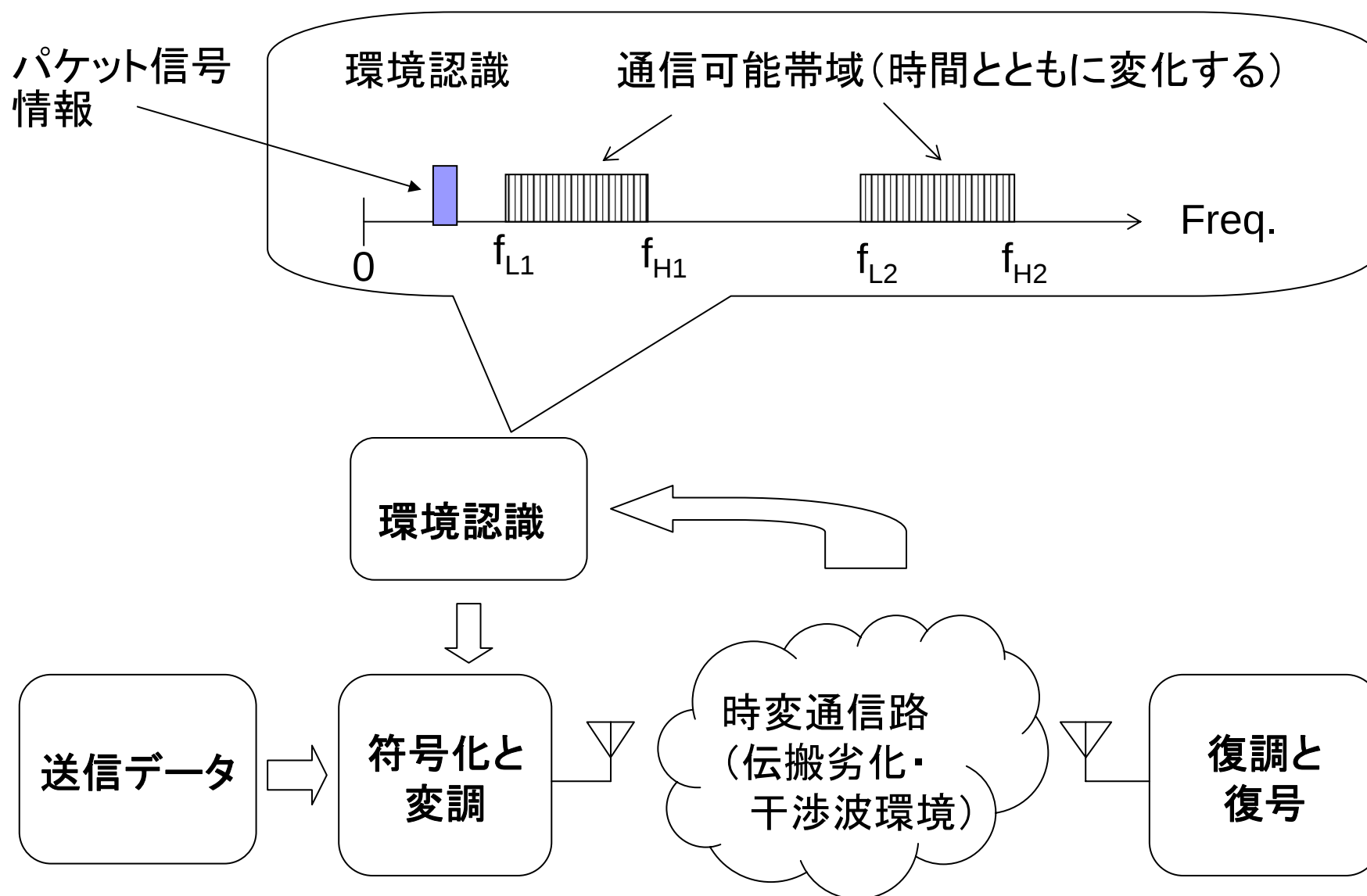
4) ベースバンド無線

(ソフトウェア無線・コグニティブ無線・ベースバンド無線
融合先進的ワイヤレスシステム)

ベースバンド無線とは

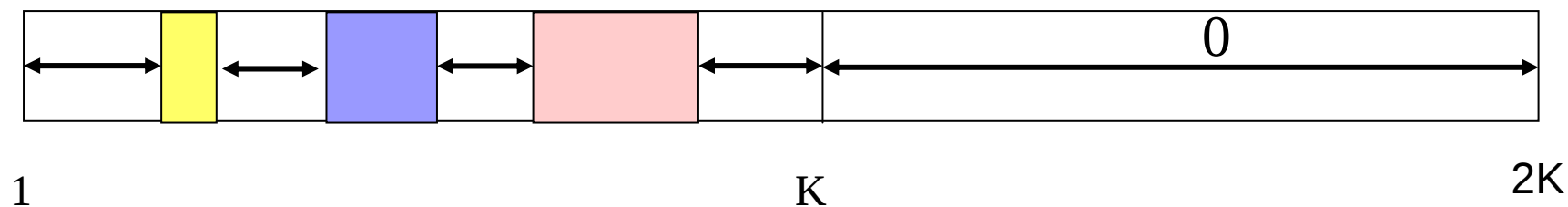


周波数領域パケット通信

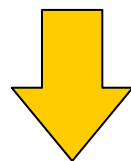


ブロックデータ(2K)(周波数領域)

ブロック a

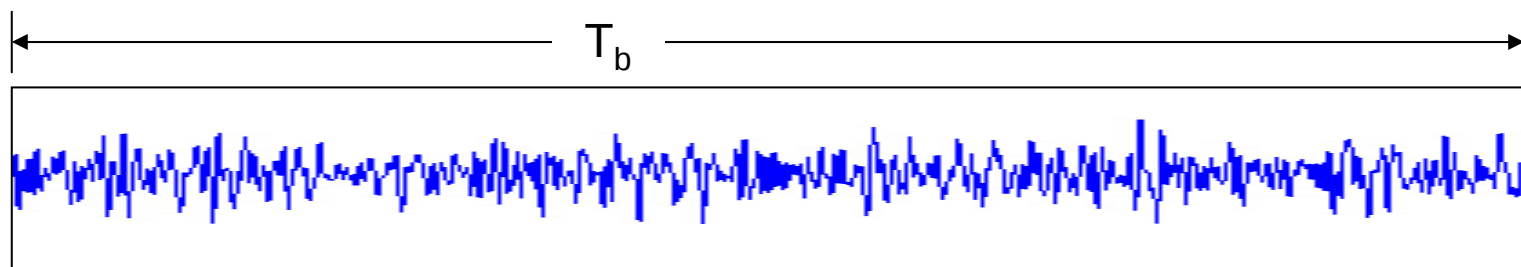


ブロックデータ(2K)
(時間領域)

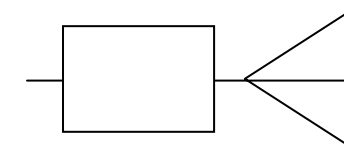
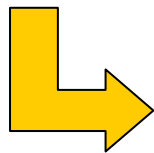


$$\mathbf{b} = \text{Re} \{ \text{IFFT} (\mathbf{a}) \}$$

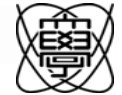
ブロック b



そのまま、あるいは、Cyclic prefix
をつけて、アンテナへ
(アップコンバージョンをしない)

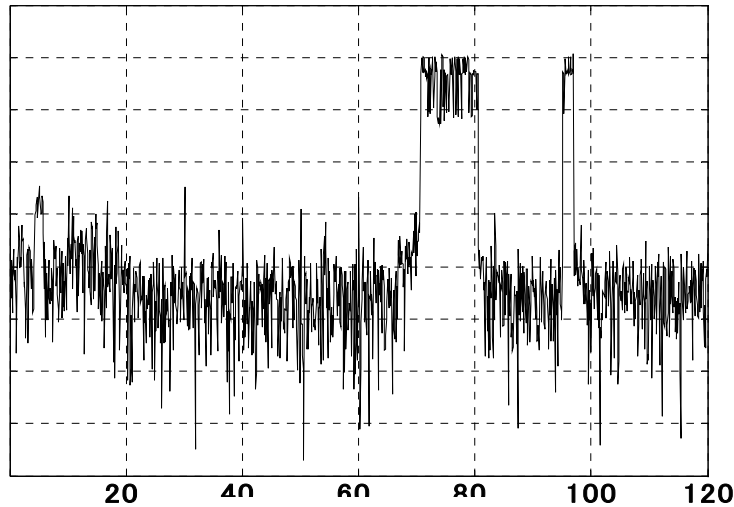


BPF, amp等

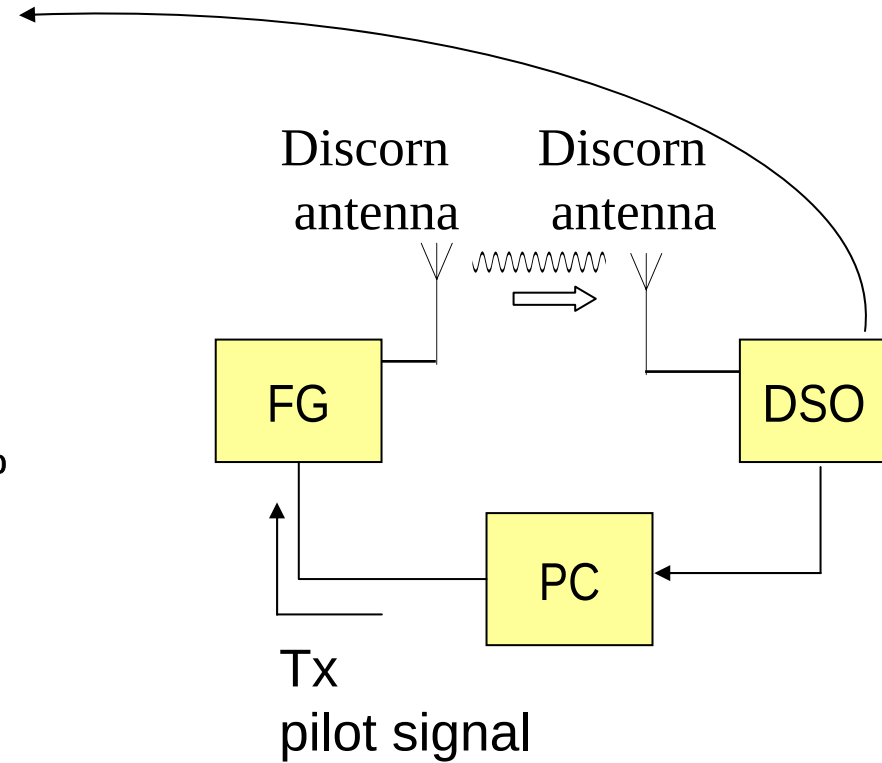
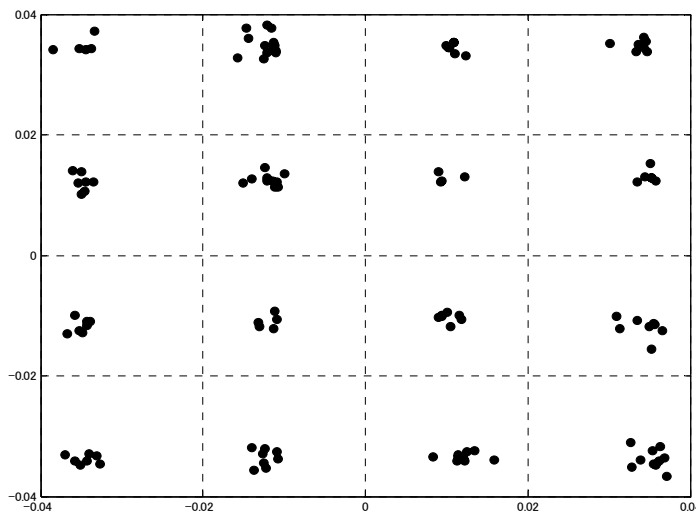


Received signal
after pre-distortion

Relative power (10 dB/div)



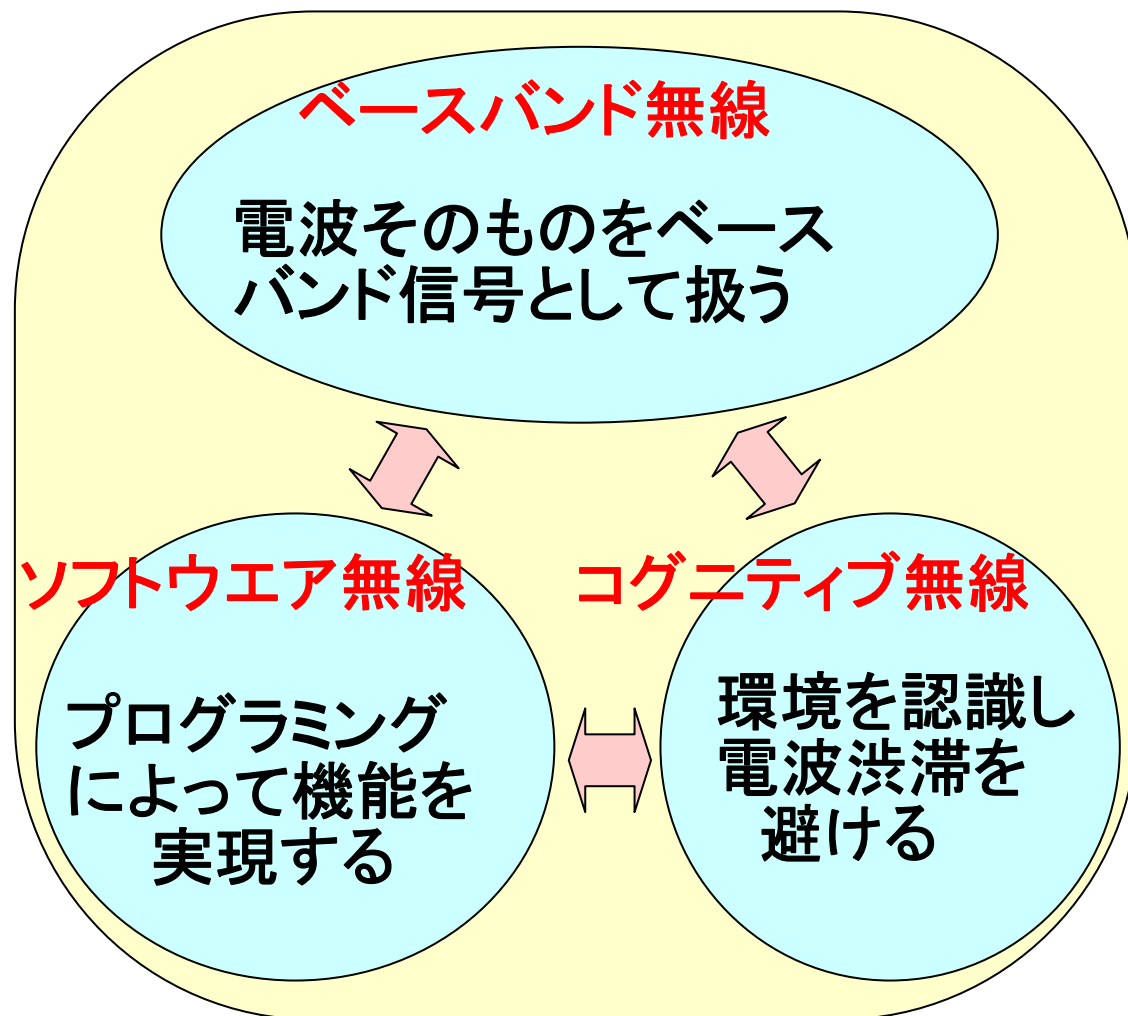
Frequency (MHz)



Successful transmission of 16QAM
based on “Baseband Radio”
can be demonstrated!!

環境適応通信の夢

3つの無線
の融合



Thank you very much for your kind attention!!

