

地上デジタル放送波伝搬の新しい測定法 ーパソコントータルレコーディングとその応用ー

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)

電気通信学部教授 唐沢 好男
大学院電気通信学研究科博士後期課程 竹本 淳

近年、パソコンの処理能力（スピード、容量など）が目覚しく上がってきており、電波伝搬実験においても、高価な専用測定器の部分が、パソコンで代用できる時代になってきた。ここでは、パソコンを用いて、電波環境を電波のまま、すなわち電波形式を維持したままの信号を丸撮りする「トータルレコーディング」の技術と現時点での実力を述べる。また、トータルレコーディング機能を活かした電波伝搬測定法や伝搬劣化対策（ダイバーシチ技術）の研究を紹介する。

トータルレコーディングとは

最近、ライフログという言葉が注目を集めている [1]。人間の活動の周辺でやりとりされる情報をできる限り忠実に集め、記録し、それを自分の生活にフィードバックするコンセプトで、インターネットやパソコン性能が格段に進歩してきたことによって、私たちの身近なものになってきた。例えば、毎日の食事をカメラに収めたり、自分の行動の一部始終を身に付けたビデオカメラで記録し続けるといったイメージである。

記録するメディアには、映像や音声、あるいは文章やデータなど多岐に渡るが、本稿で対象とするものは「電波」である。空間に充満する様々な電波を、そのまま丸ごと記録してしまうのである。我々はこのような記録を「トータルレコーディング (TR)」と読んでいる。川に釣りに行って、釣った魚を持ち帰るイメージのコンテンツ記録に対して、川ごと持ち帰ってしまうやり方がトータルレコーディングである。魚は、家でゆっくり取り出せばよいのである。

本稿では、上記理想の第一歩を踏み出したパソコントータルレコーディングの技術とその応用について、我々の研究を紹介する。応用面では、トータルレコーディングならではの技術、地上デジタル放送（以下「地デジ」と呼ぶ）のダイバーシチ受信評価、及び、地デジの電波伝搬の測定・解析に焦点を絞る。図1は、地デジ信号のトータルレコーディングのコンセプト図

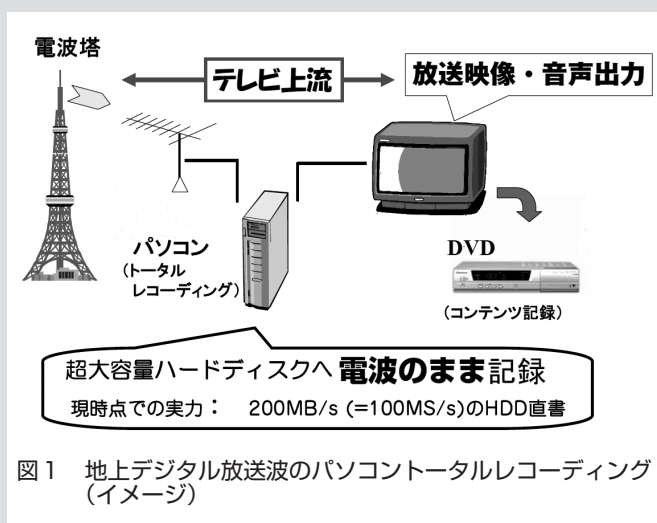


図1 地上デジタル放送波のパソコントータルレコーディング (イメージ)

で、アンテナとテレビを結ぶフィード線の途中をはさみで切ってパソコンを挟み込んだイメージである。

パソコントータルレコーディング：現時点での実力

大きな組織が業務で行う伝搬測定には、専用に設計された大容量データ収録システム（通常は、非常に高価なシステム）がよく用いられ、数百 M バイト /s の連続記録を保証するようなものがある。我々は、安価な汎用パソコンに着目し、地デジ記録を対象としたパ

ソコントータルレコーディングに挑戦している。

テレビの信号の記録では、希望のチャンネルを定め、バンドパスフィルタ (BPF) で所望のチャンネルの帯域を切り出す。切り出された帯域信号を、可能な限り低い中間周波数 (Low-IF 信号) に変換し、この信号をアナログ・デジタル変換器 (ADC) でデジタル信号に変換する。我々のシステムでは、周波数変換のための局発信号周波数設定や、サンプリング周波数決定にも工夫を入れていて、BPF の切れ不足から生じる隣接チャンネル信号のエイリアシングが所望帯域信号を傷つけないような最小限のサンプリングを行ない、これをクリティカルサンプリングと読んでいる [2]。

試作したシステムでは、ADC を PCI-X バスでパソコンと繋ぎ、4 台のハードディスク (HDD) を RAID0 (ストライピング) に組むことによって、転送レート 200M バイト/s での連続書き込みを可能にしている*1。1 サンプル 2 バイト (16 ビット) の ADC を使うと、100M サンプル/s のサンプリングレートになり、最大 50MHz の帯域信号を収録できることになる。2TB の HDD を積んでいれば、最大 2 時間 40 分の連続記録が可能である。

50MHz という帯域幅は、テレビ信号 8 チャンネル分 (帯域 6MHz x 8=48MHz) に相当し、さらに、必要ビット数の最適化やデータ圧縮に工夫を加えれば、近い将来、地デジのキー局全部を 1 日分丸撮りすることも夢ではない。トータルレコーディングによって、過去の見た番組を好きな時間に自由に取り出すことができるようになれば、まさに「タイムマシンテレビ」である。

トータルレコーディングだからできること

トータルレコーディングは、パソコンが主役である。記録して再生するレコーダ機能に留まらず、演算機能 (信号処理機能) を活かすことによって、その本領を発揮させることができる。ここでは、トータルレコーディングの特徴を活かした応用例を 2 つ述べる。

*1: このようにまとめてしまうと、AD 変換ボード、マザーボード、CPU を用意すれば、後は当たり前にできそうにみえて身も蓋もないが、RAID の構成やパラメータ調整、マザーボードと CPU、ADC の相性評価など、この数値を得るための苦労が並大抵でないことは、共著者の竹本が一番良く知るところである。

ダイバーシチ受信評価

地デジハイビジョン映像を自動車内で楽しむためには、一つのアンテナでは、マルチパスフェージングによる信号品質劣化が大きく、それを改善するダイバーシチ受信が不可欠である。しかし、多様な電波伝搬環境に加えて、アンテナの本数や取り付け位置、ダイバーシチ合成アルゴリズムなど、検討項目が多岐にわたり、これを、一つ一つ測定実験によって明らかにしようとするには、実験項目が膨大になりすぎる難点がある。一方、トータルレコーディングによって、とりあえず伝搬環境のみを収録しておけば、伝搬特性の解析と劣化対策に最適なダイバーシチ合成法やその効果の評価は、実験室でのオフライン処理でできる。このように、トータルレコーディング測定は、測定部分を著しく簡易にできることが特長になる。

図 2 は、我々が行った実際の測定実験を説明している [3]。前述のクリティカルサンプリングに基づく

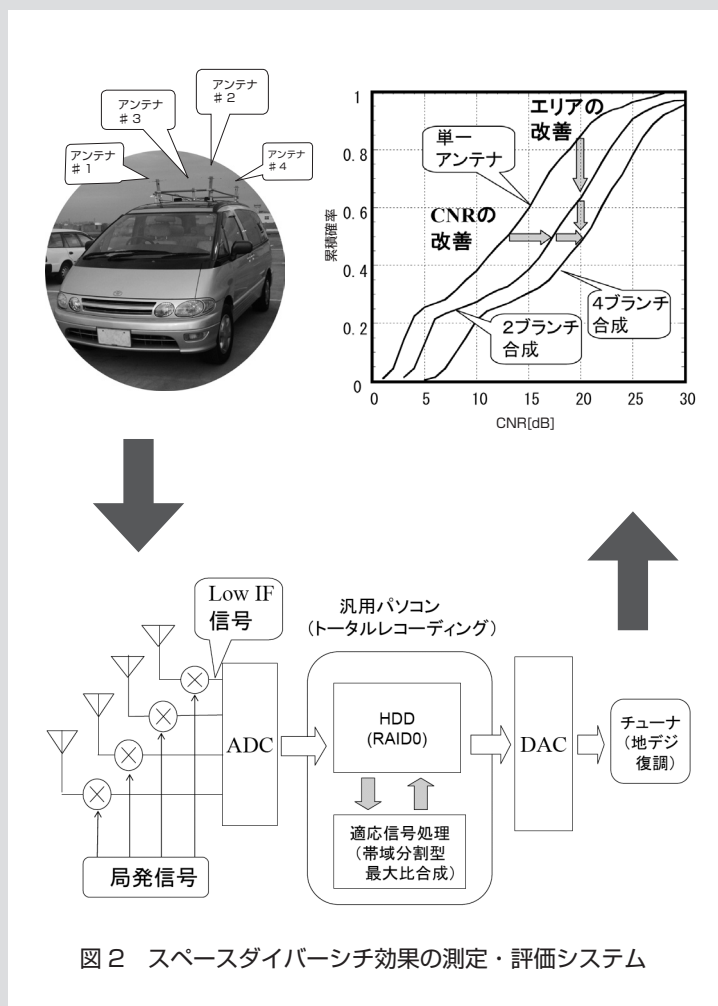


図 2 スペースダイバーシチ効果の測定・評価システム

20M サンプル /s で収録しているが、4 ブランチ分まとめても、データ量で 160M バイト/s であるので大丈夫である。自動車の屋根に、水平面内無指向性アンテナ（ターンスタイルアンテナ）を 4 本取り付け、調布市にある電通大を基点として多摩地区を約 1 時間半走行し、4 本のアンテナでひたすら電波環境を丸撮りした。次に実験室で、単一アンテナによる伝搬特性を把握すると共に、周波数選択性フェージングのダイバーシチ合成のアルゴリズムである帯域分割型最大比合成をオフラインで行い、2 本のアンテナでの合成（2 ブランチダイバーシチ）および 4 本のアンテナでの合成（4 ブランチダイバーシチ）について、新たなデータを作成した。3 つのデータ（単一アンテナ、2 ブランチ合成、4 ブランチ合成）を順次再生し、それぞれの CNR の累積分布を評価した（結果の一例は、図 2 右上部分に）。一旦、トータルレコーディングしておけば、アンテナの組み合わせの変更や、合成アルゴリズムの変更は自由自在ということがメリットである。また、データベースが同じなので、種々のダイバーシチ合成方式を共通に比較評価できると言うこともメリットである。

バーチャルアレーを用いたマルチパス波の到来方向高分解能測定

地デジの普及においては、可能な限り、屋内アンテナで受信できることが望まれる。そのためには、テレビ、あるいはアンテナの設置位置、必要アンテナ数について詳細な評価が必要になる。そしてそのためには、屋内環境での電波伝搬特性の把握がとりわけ重要になる。種々のケースを想定した伝搬測定により、屋内アンテナの設計指針や設置指針が確立できれば良いわけであるが、そこまではまだ至っていない。そこで、トータルレコーディングの特徴を生かしたバーチャルアレー原理に基づく伝搬測定法（マルチパス波の到来方向高分解能測定）を紹介する [4]。

マルチパス波を構成するそれぞれの素波の到来方向の高精度な推定は、素波の数以上の素子を有するアレーアンテナで同時に受信し、このアレーアンテナ受信信号間の相互の関係（相関行列と呼ばれる）を調べ、デジタル信号処理により行うことができる。その代表的なアルゴリズムは相関行列の固有値解析を原理とする MUSIC 法である。この測定法は、多数の素子で構成されるアレーアンテナを用いなければならないところに問題がある。トータルレコーディングでは、次の

ような方法によって、この問題を克服している。

図 3 により、説明する。受信系を 2 系統用意し、一つは、見通しの良い地点に指向性の高いアンテナを置き、この受信信号を基準信号とする。次に測定したい場所は無指向性に近いアンテナ（例えば、ターンスタイルアンテナ）を置く。この 2 つの信号を 2 ブランチ信号としてトータルレコーディングを行う。この測定を、測定場所のアンテナの位置を少しずつずらし繰り返す。このような測定を N ポイントですると、それぞれのポイントの振幅・位相は同時に測定している基準点の信号から算出できるので、N 素子のアレーアンテナで同時に受信したことに等価になる。すなわち、一本のアンテナで N 本のアンテナのバーチャルアレーを形成したことになる。我々は、この測定法で、実際の放送波を受信し、MUSIC 法を適用して到来方向の測定原理の妥当性を確認している（図 3 に N=11 での測定結果の例を示している）。なお、放送波は、複数の放送局にわたって広帯域に周波数スペクトルを有しているので、基準信号と測定信号の周波数領域での相関行列を作ることにより、遅延時間の高分解推定も可能であるが [4]、その詳細説明はここでは割愛する（結果は図 3 の右下に）。

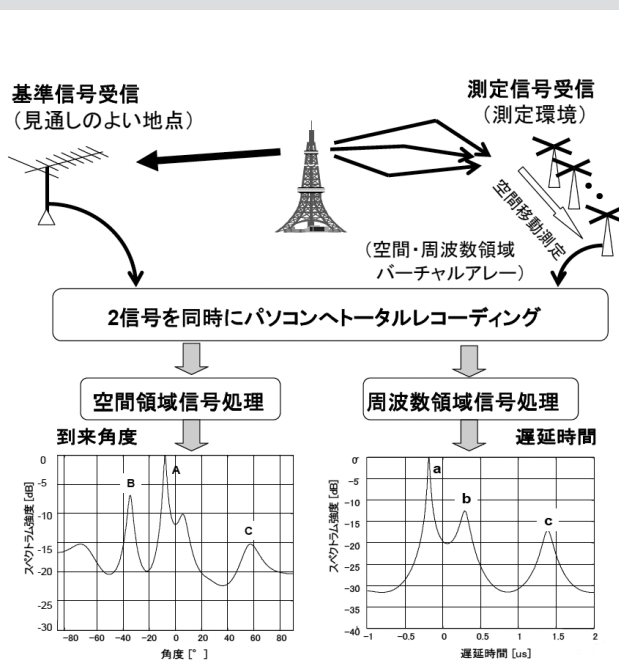


図 3 空間領域・周波数領域バーチャルアレーによる到来波高分解能推定

今後

トータルレコーディングによる測定法が確立できたので、今後はこの測定法を手段として、図4のように、低電界強度屋内環境での伝搬特性の高精度測定を進めたい。また、屋内での伝搬測定を通じて、地デジの屋内受信でのコンセプト提案（将来のテレビイメージ、アンテナ配置やダイバーシチ受信、偏在アンテナで受信した電波をテレビまでリレーする方式など）を行ってゆきたい。

ここでは、地デジのトータルレコーディングを紹介したが、この手段は、無線通信の電波伝搬測定にも、同じように応用が可能である。その一つとして、GPS信号のトータルレコーディングも行っており、興味ある読者は文献[5]を見ていただきたい。

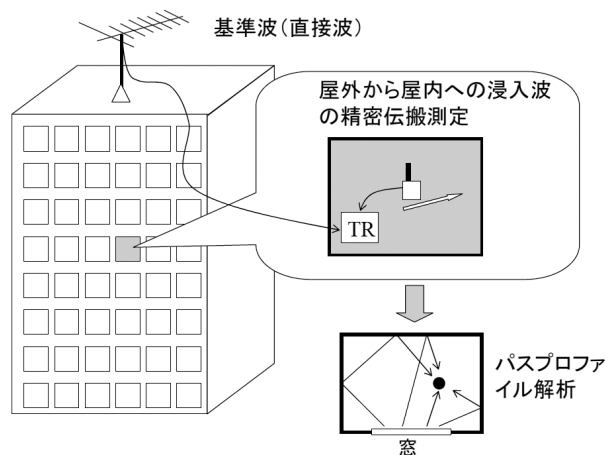


図4 トータルレコーディングによる低電界強度の屋内環境での伝搬測定イメージ

参考文献

- [1] 大橋正良（編）、特集「ライフログ」、情報処理学会誌、vol.50,no.7,pp.589-640,2009.
- [2] 竹本淳、田村祐介、唐沢好男、"トータルレコーディング技術に基づく地上デジタルテレビジョン放送信号伝送特性の精密測定法、" 信学論 (C),vol.J91-C, no.12, pp.753-763, 2008.
- [3] 神田明彦、竹本淳、P.S. Wijesena、谷口哲樹、唐沢好男、"地上デジタル放送の移動体受信における電波信号処理型最大比合成ダイバーシチ、" 信学論 (C), vol.J90-C, no.12, pp.933-941, 2007.
- [4] 竹本淳、高橋宏和、唐沢好男、"トータルレコーディング技術に基づく地上デジタル放送マルチパス波の到来方向・遅延時間高分解能測定法、" 信学論 (B), (2009.09 予定).
- [5] 小佐古昂、土屋潤三、高崎和之、唐沢好男、小松寛、"GPS トータルレコーディングシステムの開発—マルチパスによる位置推定精度劣化の評価手段として—、" 信学技報、ITS2009-1,pp. 1-6,2009.05.

NEWS

電気通信大学（UEC Tokyo） 先端ワイヤレスコミュニケーション研究センター（AWCC）



図5 研究室留学生の寄せ書き

電気通信大学は、その大学名から、狭い意味での情報・通信分野のみの大学と思われるがちですが、実際には、理工学（建築・土木工学を除いた）の基礎から応用までの多彩な分野での教育・研究を行っています。大学の英語名は The University of Electro-Communications ですので、略称 UEC。和名同様、やや間口が狭い嫌いがあるため、Unique and Exciting Campus と読み替え、かつ、東京にあることを知っていただく意味で、UEC Tokyo を積極的に使っています（学長方針）。来年4月、大学の学部・大学院改組によって電通大は大きく生まれ変わります（詳しくは大学ホームページ <http://www.uec.ac.jp/> をご覧ください）。

本センター（AWCC）は、学内の学科・専攻に分散しているワイヤレスコミュニケーション分野の教員を一つの組織に結集し、最先端のワイヤレス情報通信に特化した研究・教育を行うことを目的として設置され、5年目になります。グループ力を活かしたプロジェクト研究や教育、産学連携研究を実践しています。専任教員（2名）、兼務教員（本籍を学部に着く教員3名）をコアメンバーに、協力教員（20名）、特任教授（2名）と客員教授（産業界等から11名）よりなる機動性に富んだユニークな組織です。マイクロ波デバイス、アンテナ・電波伝搬、通信信号処理などの伝送の基礎から、システム・ネットワークまで幅広い技術分野をカバーしています（詳しくは AWCC ホームページ <http://www.awcc.uec.ac.jp> をご覧ください）。

私（唐沢）は AWCC 兼務教員（本籍は電気通信学部）として、電波伝搬を軸とするワイヤレス情報伝送の研究に打ち込んでいます。唐沢研究室には現在29名の学生がいます（極めて大所帯）。特に、博士後期課程学生比率と留学生比率が高いのが特徴（前者10名、後者13名）、多言語が飛び交いお国自慢の料理も披露される極めてインターナショナルな雰囲気です（図5）。



第5回産学官連携 DAYin 電通大 (6/3)、AWCC で「ワイヤレス研究の最先端」を講演する筆者