

次世代デジタルオーディオに望むもの

早稲田大学理工学総合研究センター 山崎 芳男

1. まえがき

オーディオや音響学の歴史を振り返り、先駆者達が限られた条件の下で行われたすばらしい実験や開発された装置を見るにつけ、これらをヒントに現在の技術と組み合わせて、いわば時空を超えた刺激に触発された新たな研究開発ができるのではないかと考える。残念ながら私はRayleigh板を使った測定の経験はないが、現在のCDやDVDサーボ技術を駆使して新Rayleigh板、粒子速度マイクロホンをぜひ作ってみたい。本稿ではこのような観点から次世代デジタルオーディオについて私見を述べさせていただきます。

2. マルチメディアと音

学生、キャンパスに戻る 最近学生が大学によく来るようになった。講義が急に魅力的になったわけではない。大学では自由にインターネットが使えるからである。

学生と接していると、特に生活を切りつめても買うものを見ていると、世相がよく分かる。60年代はテレビ、面白い番組があると水が引くように学生たちは帰ってしまった。VTRは学生の生活をテレビ番組から開放した。70年代後半になるとテレビ番組自体にあまり興味を示さなくなり、真っ先に電話を自分の部屋に引くようになった。80年代、ファックス付き留守番電話は学生の必需品となり、最近ではPHSや携帯電話を持つ学生も増えてきた。

音楽は生活の一部 この間、文科、理科を問わず学生たちが変わることなく親しんでいるのが音楽である。カラオケにも興味は示すが、むしろもっと積極的にバンドを作ったり、オーケストラに入ったり、電子楽器を使って作曲したり、演奏したりと音楽は生活の一部となっている。90年代に入り学生の手の届く価格でMIDIやCD-ROMを備えたパソコンが市場に出回り始めると、彼らはこぞって買い求めた。パソコンはステレオ装置を買わなくともCDを楽しむ上、MIDIを使って作曲や友人との合奏が簡単に実現出来る、夢のような音環境を彼らに提供した。パソコンは一台でレポート作成、電話、ファックス、インターネットさらに音楽や動画を楽しむことができる学生に欠かせない道具となった。

自分で持つより安心 今や端末は町のあちこちにある。自分のハードウェアを持つ必要はない。ノートパソコンなど持ち歩かなくても手近な端末はたちまち自分専用のコンピュータに早変わりする。

ハードウェアばかりではない。考えてみれば膨大な、それも常にバージョンアップされるOSやソフトウェアを個人で所有する必要など全くないのである。

さらに彼らにとってはレポート、実験結果、場合によっては日記や私信でさえ自分の手元に置くよりはネットワークに委ねた方が安心なのである。

“文明人”の感性に頼って良いものか 最近 MPEG (Moving Picture Encoding Expert Group) など人間の聴覚や視覚特性を積極的に利用した音や映像の高効率符号化方法が数多く提案され、既にビデオ CD や DVD - V 等の符号化に使われ始めている。これらの規格・標準化作業は当然いわゆる先進国主導で行われている。

眼鏡や拡声器が当たり前の生活をして、知らず知らずのうちに聴覚や視覚が衰えてしまった、“文明人”の目や耳を使って高効率符号化を評価したり、方式を決定してしまってもよいのであろうか。地球上には目や耳の優れた人々がたくさんいるはずである。新しいシステムこそこれらの人の力を結集して人間が本来持っていた優れた感性を満足する仕様にしなければならない。

次世代オーディオが人々の英知と感性を結集して、優れた聴覚・視覚能力をも十分満足する符号化方法などが実現できれば、と期待している。

3. 新しい信号処理

デジタルオーディオのパラメータ 一般に標本化周波数が帯域を決め、量子化ビット数がダイナミックレンジを決定すると捉えられがちであり、標本化周波数と量子化ビット数は密接な関係をもっており、個々に論じられるものではない。

量子化雑音は入力信号の振幅が大きい場合には入力信号と無相関な量子化ステップ幅に一樣に分布する電力 $\Delta^2/12$ の周波数成分の平坦な白色性の雑音となる。

一方、入力信号の振幅が小さい場合には、量子化雑音はその総電力は $\Delta^2/12$ と変わらないものの、入力信号と相関の強い聴感的に不快な歪となってしまう。

ところが量子化ステップ幅 Δ あるいはその整数倍に一樣分布するディザと呼ばれる確率変数

を量子化に先立ち入力信号に加算し、量子化器出力から同じディザをデジタル減算すると、量子化雑音は振幅の如何にかかわらず無く大振幅入力のと様に入力信号と無相関な電力 $\Delta^2/12$ の白色性の雑音とすることができる⁽¹⁾。

従って標本化周波数を高くすれば信号帯域内の量子化雑音は減少し、原理的には1ビット量子化で100dBのダイナミックレンジを確保することも可能であるが、標本化周波数は3GHzにも達してしまい実現不可能である。

高速1bit信号処理 情報理論の先駆者であるシャノンは1940年代後半に信号の平均情報量が伝送容量よりも小さければ無歪伝送可能な符号化方法が存在することを明らかにしている。これは標本化周波数と量子化ビット数が個々にではなく、むしろその積である情報量が重要な意味をもっていることを示している。しかし現実のシステムの構築に当って標本化周波数と量子化ビット数の決定は一節縄でいくものではないし、現行の標本化周波数や量子化ビット数が必ずしも人間の聴覚特性に馴染むものではないことは明らかである。

著者らは十数年来、標本化周波数と量子化ビット数の組み合わせの選択が困難であるのならばいっその片方の極限である高速標本化1ビット量子化で信号の情報量と人間の聴覚特性に見合った符号化方式が可能なのではないかと様々な検討を加えてきた結果、量子化雑音のスペクトル分布を制御することにより高速1ビット符号化が可能であることを明らかにした⁽²⁾。

現行の48kHz 標本化16ビット量子化と等しい伝送容量である768kHz 標本化1ビット量子化で100kHz程度までの信号の伝送が可能なハードウェアシステムを実現し音響計測やスタジオ録音等実用に供している。

ところで前述のように聴覚特性を利用した各種の高効率符号化が実用に供され始めているが、その出発点が現行のCD、DATと同じ方式におかれているのには疑問がある。ここで述

べた高速1ビット符号化方式などより広帯域の情報源符号化を行えば、伝送容量を節約したうえ現行のシステムよりも質の高い符号化も可能なはずである。

また、音場の能動制御では処理による遅延が問題となるが本方式では遅延のはとんどない高速処理が期待できる。1ビットであるので乗算が単純なゲート回路で実現できるのでLMS (Least Mean Square)等適応におけるアナログ信号との乗算が著しく簡素化できるという特徴を持っている。

一般調和解析 コンピュータの処理能力の飛躍的な向上によりウィナーが1950時代に提唱した調和解析の原点ともいえる一般調和解析⁽³⁾ですら、時間はかかるもののパーソナルコンピュータで実行することが可能となった⁽⁴⁾。一般調和解析は観測窓内で原変形から残差成分が最小となる正電波を抽出し、残差成分に対して同様の操作を繰り返すという単純明快な解析手法である。

一般調和解析は定常的でない僅かな周波数変動に対しても正確な周波数成分の抽出が可能であり、観測区間を越えて信号の予測が可能であるなどの特徴を持ち、人間の聴覚特性によくなじむ分析手法である。東山、平田らはこれを音響信号の解析に適用した。我々は周波数成分の変化が正確に捉えられることに着目した共分散処理による信号分離、ピッチ変換、時間軸圧伸や高速1bit信号処理への応用など試みている。現在のところ膨大な演算時間を必要とするものの信号処理の飛躍を感じさせるものがある。

4. むすび

自転車・鉱石ラジオの偉大さを 自転車、鉱石ラジオは偉大であった。鉱石ラジオは方鉛鉱や黄鉄鋼に針を立てて作る検波ダイオード（後にはゲルマニウムダイオードが使われた）を簡単な同調回路（コイルとコンデンサ）と組み合

わせただけのわずか数個の部品で構成されるラジオである。これにアンテナ（遠隔地の場合にはアースも）をつなぎ、ヘッドホン（当時はレシーバと称した）で放送を聞く。放送局からの電力だけで放送を楽しむことができるすばらしいシステムである。

同じように自転車も、道路がある程度整備されているという条件もとてではあるが、人間が到底一日で移動出来ない距離を自分の力だけでいとも簡単に移動することができるすばらしい道具である。

デジタルの修飾語がとれてこそ本物 マルチメディアは専門家がいるわけではなく、人々の係わりかたも多種多様で、使われているうちにどんどん能力を高めていく人類が初めて手にする道具である。既に一人歩きを始め誰も行く先を知らぬ大きな動きとなっている。

いずれにしてももはや法律を含めた今までの管理システムなど機能しようはずもない。情報に関する限り国境もなかった時代の地球と同じ状態に直面しているわけである。デジタルオーディオからデジタルの修飾語がとれてこそ本物である。

文献

- (1) 山崎 芳男, “広帯域音響信号の量子化への大振幅ディザの通用,” 音響学会誌, Vol. 39, No. 7, 452 - 462 (1983).
- (2) 山崎 芳男, 大田 弘毅, 西川 明成, 野間 政利, 飯塚 秀, “広帯域音響信号の高速標準化1ビット処理,” 信学技報, Vol. EA93 - 102 (1994. 3).
- (3) N. Winer, “The Fourier Integral and Certain of Its Applications,” Dover Publication Inc. (1958).
- (4) 牛山 聡, 東山 三樹夫, 飯塚 昌弘, 平田 能睦, “一般調和解析による波形分析,” 信学技報, EA93 - 103, 39 - 44 (1994. 3).