

音文化研究のための音源損傷の修復

村 岡 輝 雄
清 水 康 行

1. はしがき

人類を他の動物と決定的に区別するものは“文化の保有”にあり、それはメディアを介した情報の流通と蓄積、そして体系化によって実現されている。太古には情報は言葉や動作によって伝達されていたが、やがて絵画と言う視覚情報によって伝達・継承される様になり、更に文字とその記録メディアの発明によって情報の体系化が成されて文化が生まれ、それに基づく社会システムである文明が形成された。

文化には色々な側面があり、その一つである音文化を代表する音楽は素朴な歌唱に始まりその後の楽器の発明によって内容が豊富になって、7世紀初頭に「グレゴリオ聖歌」のために制作された楽譜表記法によって音楽が正しく伝えられるようになった。しかしながら音楽演奏の伝達・継承は1877年のエジソンによるレコード発明と1920年代初頭のラジオ放送開始と言うメディア技術登場以降であり、造形芸術情報や文学作品の伝承に比べるとその歴史は極めて短い、それらの技術は音文化の急速な発展をもたらし、殊にその時期の前半にあたる第2次世界大戦終結までの60年余は音楽史上では‘近代音楽の時代’とされていて、19世紀後半の音楽の規模拡大を受けて演奏技術が向上し、欧米各地で有力なオーケストラが設立され実力のある演奏家が技を競った時代であった。

音文化の重要な音響情報メディアであるレコード（磁気テープレコードも含む）は、今日ではデジタル技術によって人の聴覚に対して完璧に近い録音再生性能を有しているが、その技術以前のものは性能が不十分であり、機械振動を介するものは、それに加えて繰り返し使用による音源損傷が問題である。上述の音楽規模拡大の時期に音響情報メディアの役を担っていたSPレコードは殊に音源損傷が顕著であり、筆者らが音文化研究のために音源修復に取り組んでいる最大の理由となっている。

造形芸術においては破損や褪色などの情報損傷は、視覚をベースにして、高度な形状・色彩測定技術を用い化学的な発色修正や接着等を施して修復が成されている。それに対して音響情報メディアにおける音源損傷に対しては、人の聴覚的な判定が不可避にしても、聴覚には音の分析・計測能力が乏しいので、その修復のためには数理学並びにエレクトロニクスによる音響分析・合成技術の適用が不可欠である。筆者らは学際的な音文化研究のために、音源損傷を被ったレ

コードに収録されている歴史的に貴重な音楽演奏や、演説、浪曲や講談、言語教育記録等に対して、筆者ら独自のデジタル信号処理手法GHA（Generalized Harmonic Analysis：一般調和解析）を用いた雑音低減法を用いて損傷修復に取り組んでおり、本稿ではその技術について述べる。

2. 音響情報メディア・ディスクレコードの録音再生性能

今日、音響情報メディアには①ディスクレコード、②磁気テープレコード、③半導体メモリが挙げられる。その中で最も録音再生性能に優れ音源損傷のない長期保存が期待される半導体メモリを除けば、程度の差はあれ経時的に性能が劣化し音源損傷が不可避である。中でディスクレコードは100年以上の歴史を有していて音文化研究の重要な資料なので、筆者らの音源損傷修復の対象となっている。本節では先ずディスクレコードの録音再生性能について明らかにしておこう。

音の記録は、エジソンを遡る1857年にフランスのレオン・スコットの発明による「フォント・グラフ」（図1）によって行われた。これは樽状の收音機的一端に取りつけられた毛製のペンで、回転する円筒に塗られたカーボン膜上に音の波形を記録するものであった。

この原理で音の記録再生を可能にしたものが1877年にエジソンが発明した「フォノグラフ」（図

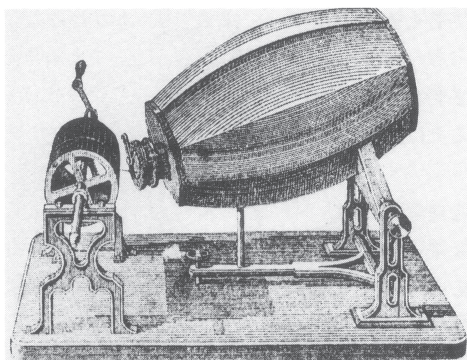


図1 「フォント・グラフ」

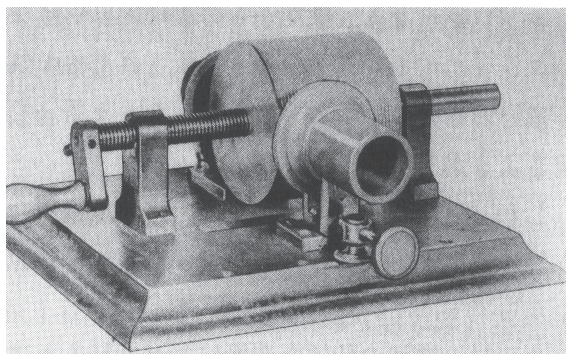


図2 「フォノグラフ」(錫箔式)

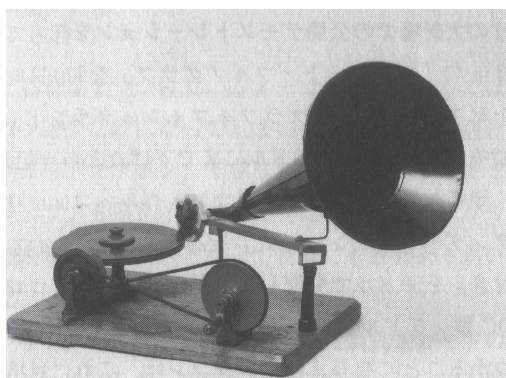


図3 「グラモフォン」

2)である。当初は回転する円筒に錫箔を巻き付け、これに音溝を刻む方式であったが、1886年にメディアを蠟製の円筒（蠟管レコード）に改良し、この蠟管とその再生機（蠟管蓄音機）が商品化され、本格的なレコードビジネスが始まった。

他方、ドイツ出身のエミール・ベルリーナは1888年に円盤レコード記録再生方式「グラモフォン」を発明した。この方式は先ず耐酸性の蠟を薄く塗布した亜鉛製の円盤に音の波形を刻み、次にそれを酸に浸して円盤上に音波形に対応した音溝が形成する。その円盤からプレス方式で円盤レコードを大量複製するものである。

当然、蠟管レコードと円盤レコードの間で熾烈な競争が展開され、1911年にエジソンも円盤レコード「ダイヤモンドディスク」の開発に踏み切ってこの競争は決着した。しかしながら蠟管レコードを使った録音機は、今日のICレコーダに似て場所を選ばない録音再生が可能であったので、例えばブラームスの即興演奏の様な個人録音や、ポーランドの探検家ピウツキーによるアイヌの民話録音の様な学術記録に用いられ、図4の様に第二次世界大戦終了後のテーブルレコーダ出現まで実用されていた。



図4 蠟管録音機による録音光景



図5 演説の録音光景（1915年）

レコードビジネスは当初は歌のレコードが一世を風靡し、日本では1903年に来日した英国グラモフォン社の録音スタッフが歌唱、義太夫、芸妓音楽隊、落語などの大量のレコードを制作・販売し、それを契機に1910年代初頭にかけて国内でも多くのレコード会社が誕生した。その頃は歌や楽器演奏、演説などが図5の様に録音（“吹込み”と称した）されていた。この録音には図4の蠟管録音機で用いられる蠟管をワックス円盤に置き換えた構造の録音機が用いられていて、“機械録音方式”あるいは“アコースティック録音方式”、俗称では“ラッパ吹込み”と呼ばれる。

当初は逆メガホン状の収音器（“ラッパ”と称した）が小さくて録音周波数帯域幅が辛うじて人声をカバー出来る程度だったのが、やがてラッパを大型化し複数個組み合わせる事によって1909年には図6に示す様なオーケストラ録音が可能になった。

この様な改良にも係わらず、当初のレコードは録音音量が小さくて雑音が多く、周波数帯域も200Hz～3kHz程度であったために満足すべき音質は得られなかった。



図6 オーケストラの録音光景

他方、1877年のグラハム・ベルの電話機と1905年のド・フォレストによる3極真空管の発明は、マイクロフォン、スピーカ、アンプ、発振器等の電子機器開発を促して1920年にラジオ放送が開始され、1924年にはベル研究所がこれ迄の機械録音方式に代わる“電気録音方式”を開発して、図7に示す様な大きな録音音量での周波数帯域幅の拡大が達成された。

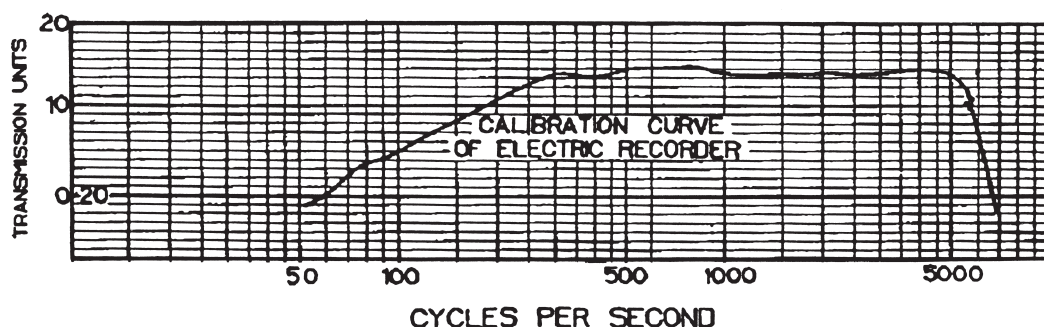


図7 電気録音方式の録音特性（Bell System Technical Journalの原著論文より）

この図は電気録音方式における電磁変換方式カッティング装置の周波数特性を示したものである。電磁変換の原理によって300Hz以下は減衰しているがイコライズによって50Hz～6 kHzに範囲を平坦な特性の記録が可能になっている。

この様な平坦な周波数特性は音響共振で音量を稼いでいた機械式録音では達成不可能であり、それ迄のレコードのモコモコした音色が一掃された。

また、これを契機にレコードの回転数が78rpmに確定し、材質にはシェラックが用いられてSP（Standard Play）レコードと呼ばれるようになった。電気録音方式録音の様子を図8に示す。

SPレコードは1960年頃まで生産されたが、そこでの技術的進歩はマイクロフォンやアンプの改良による音質向上、カッティング原盤材料のワックスからアセテートへの変更による雑音の低減等のマイナーなものに限られ、根本的なレコードの技術革新は1948年発売のLPレコードと、



図8 電気録音方式録音の様子

それをベースにした1958年の45/45方式ステレオレコードによってもたらされた。これらのレコードはビニル製でマイクログルーブレコードと呼ばれ、音溝寸法はSPレコードに比べて1/3、回転数は $33 \cdot 1/3$ rpm で演奏時間は30cm盤で片面約30分、周波数帯域幅は30Hz～15kHzでダイナミックレンジは70dB（デシベル）にも達する画期的なものであった。しかしながらマイクログルーブレコードも音溝を再生針でトレースして音を取り出す原理は同じであり、ビニルがシェラックよりも針の擦動音が小さいとは言え針音は依然として存在し、繰り返し再生による針音増加と、針飛び等による音溝損傷は解決されない。

この様なレコードの欠点は、1978年に試作盤が発表され1982年に市場導入されたCD（コンパクトディスク）によって完全に克服された。CDのバックボーンとなっているデジタルオーディオ技術は1967年にNHKがVTRを改造して制作したPCM録音機に始まっており、1977年の家庭用VTRを利用したデジタルオーディオの試みとそれと同じ時期に登場した光記録再生方式ビデオディスクの技術と融合して、1978年にフィリップス社が開発したデジタルオーディオディスクを母体に各国のオーディオメーカーとレコード会社が協議して仕様を決定し、1982年にCDとして発売に至ったものである。CDは周波数帯域幅が原理的にDC（直流）～22kHz、ダイナミックレンジは98dBとなっていて健常成人の聴覚を完全にカバーし、録音時間長は約80分である。その後、今日迄CDを出発点にした各種音響情報メディアが開発され、究極のメディアと目される半導体への録音もポータブル・オーディオの世界で実用されているが、何れも健常成人の聴覚に対する瑕疵は存在しないので、本節の記述はここまでとする。

3. SPレコードにおける音源損傷

ここで本研究の対象物であるSPレコードの話に戻るが、今日のCDの音に馴染んでいる人が古いSPレコードを聴けば、恐らく音の悪さに嫌気が差すであろう。そこで機械録音方式からステレオを含めたマイクログルーブレコードまでの各レコードの性能を示すと表1の通りである。

年 代	分 類	回転数 (rpm)	演奏時間 (分/面)	帯 域 (Hz～Hz)	ダイナミック・ レンジ (dB)	チャンネル数
1887～1924	アコースティック録音	72	2	200～3 k	18	1
1925～1947	電 気 録 音	78	5	50～7 k	25	1
1948～1956	マイクロ・グループ	33⅓	30	30～15k	55	1
1957～1969	ス テ レ オ	33⅓	30	30～15k	65	2

表1 各種レコードの性能

表よりSPレコードの周波数帯域幅とダイナミックレンジの不足が顕著である。しかしながら電気録音方式における50Hz～7 kHzの周波数帯域幅は、約45年前のFM放送開始以前のHi-Fi（ハイファイ：高忠実度）AM放送受信機と大体同じであり、音質的には現在のCDに比べて極端な遜色はない。

Hi-Fiが喧伝されたのは1955年のLPレコード商品化以降であり、それ迄の家庭用ラジオ受信機の周波数帯域幅は200Hz～4 kHz程度であり、今日の卓上用小形CDプレーヤによるAM放送受信と大体同じである。その様なAM放送受信でも、雑音がなければ弦楽器の繊細な音色やシンバルの輝かしい響きなどは無理にしても、音楽演奏の様子が良く分かって支障なく楽しむことが出来る。その意味では機械録音方式の200Hz～3 kHzの周波数帯域幅でも、雑音を抑えて音質の欠陥を補えば十分に音楽を楽しめる筈である。何れにしても、周波数帯域幅不足はSPレコードの致命的な欠点ではない。

他方ダイナミックレンジについては、例えばオーケストラ演奏の110dBの最大音量と演奏会場の約50dBの暗騒音から得られる音楽鑑賞に必要な60dBのダイナミックレンジを基準にすれば、SPレコードの20dBのダイナミックレンジは演奏会場の暗騒音が100倍になった状態に相当し、細かな音をマスクする様な音源損傷をもたらしている。

この様にSPレコードは非常に雑音の大きいメディアであり、それは製盤工程における雑音増加と盤の材質に起因する盤面の音溝表面の粗さが原因している。ここでレコードの製盤工程を示すと図9の通りである。

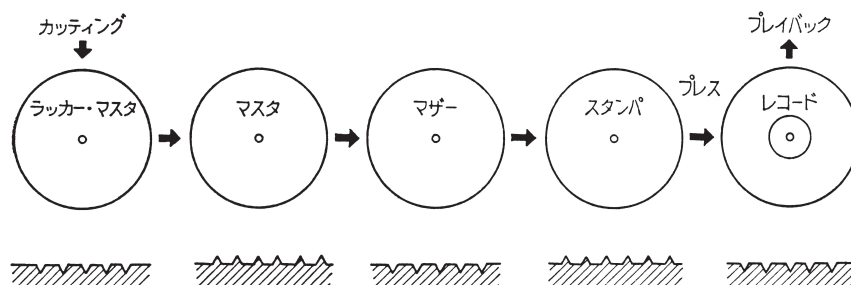


図9 レコードの製盤工程

音溝が刻まれたアセテート（ラッカー）又はワックス原盤は導電性がないので導電物質を薄く塗布した後に銀メッキを施して型を取り、以下、メッキ工程を繰り返してスタンパーが作られて

レコード盤が大量プレスされる。殊に最初のメッキ工程では原盤にカーボン粉が塗布されるが、当初は筆で塗布されていたので品質が安定せず、又今日に比べてメッキ工程での水質や埃に対する管理が不十分であったために雑音増加が問題であった。これは戦後にアセテートに化学処理をして銀を析出させる方法が確立され、LPレコードでは原盤制作段階の雑音増加は解消された。

次に問題になるのが盤の材質に起因する雑音である。SPレコードには150g近い大針圧トレーニングに耐えられるために、焼成した粘土とラック・ガイガラ虫の分泌液とで作られたシェラックが使われており、ビニルに比べると格段に雑音が大きく、強度的に丈夫ではあるが下図10、11に示す様な損傷が起こり易い。

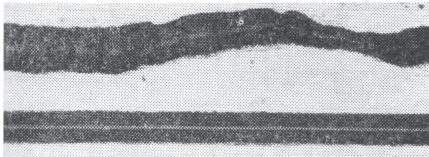


図10 音溝のかすれ

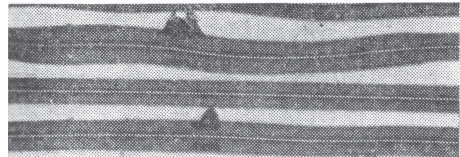


図11 音溝の欠損

これらは家具の傷をこすったり研磨して直す様な訳には行かず、音溝再生信号に信号処理を施して直す以外にはない。

SPレコードは、本来の雑音に加えたこれら音溝損傷による突発性および局所持続性の雑音によって本節の冒頭に述べた様な劣悪な再生音に至っており、古くて保存状態の悪い盤ほど状況は深刻である。しかし一般には知られていないが、原盤がカッティングされた時点では信じ難いほど雑音は少なく再生音はクリアーである。筆者らは、SPレコードの再生音を原盤の状態に戻す事を第一の目標に研究を進めた。

4. GHAによる雑音低減

SPレコードは元来の大きな雑音に加えた音溝損傷による非定常な雑音による音源損傷があるために、家庭用レコードプレーヤでは3～4kHz以上の周波数帯域を減衰させて聴感的な影響を軽減する様に設計されていた。しかしながら今日の様にオーディオ技術が高度化した時代には、往年の演奏をより良い臨場感で鑑賞し、また有効な音文化研究においては細かい音の様子を知るために雑音低減による音源損傷の修復が必要である。

旧来のエレクトロニクス技術を用いた雑音低減法には次の3つがある。

- ① フィルター法
- ② ノイズゲート法
- ③ スペクトラル・サブトラクション法

①のフィルター法は信号の周波数成分が存在しない周波数帯域はフィルターによってカットする方法である。現実には完全にシャープにカット出来るフィルターは存在せず、信号の周波数スペクトルも経時的に変化するのでカットは不完全であり、もとの音質は劣化の方向に変化する。

②のノイズゲート法は次図12の様に作用する。

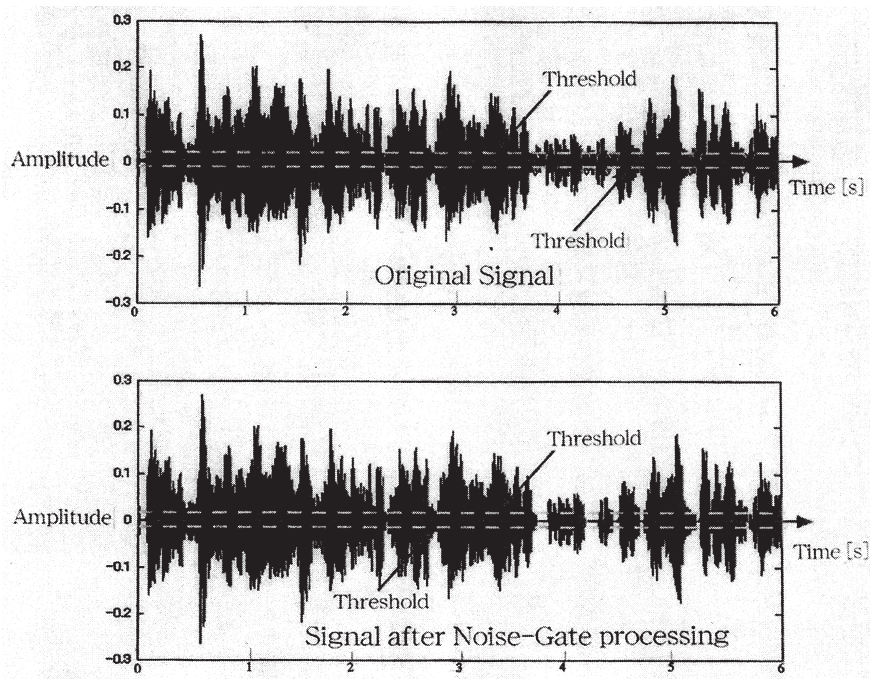


図12 ノイズゲート法の原理

図の上段は雑音が存在する音楽波形を、下段はノイズゲート法を施した後の音楽波形を示しており、ノイズゲートは、被処理音楽波形の大きさが音楽の休止している時の雑音の大きさ(Threshold)以下になる部分を全てゼロにする。その結果、音楽の微弱な部分は失われ、背景の雑音の大きさが不自然に変動する。

③のスペクトラル・サブトラクション法はコンピュータによるデジタル信号処理を用いた手法である。これは事前に音楽が休止している部分での雑音の周波数スペクトルを計算しておき、次の段階で対象となる雑音が存在する音楽波形を時間経過に沿った微小区間毎に周波数スペクトルを計算して、事前に計算した雑音の周波数スペクトルを引き算していくものである。原理としては非常に合理的であるが、実際にはSTFTと呼ばれる周波数スペクトル計算に難点がある手法がベースになっているので、除去対象となる雑音が十分に小さい場合を除いて処理結果は異音を伴う不自然な音になる。

そこで筆者らの雑音低減手法の説明に先だって、周波数スペクトル計算の手法について述べておこう。次式(1)は周波数スペクトル計算の基礎になるフーリエ変換の式であり、あらゆる時間波形 $f(t)$ はこの積分計算により周波数スペクトル $F(j\omega)$ に変換される事を示している。

$$\text{式(1)} \quad F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$$

ここで t は時刻、 j は単位虚数、 ω は周波数であり、算出される周波数スペクトル $F(j\omega)$ は連

続関数となる。しかしこの変換は $-\infty \sim +\infty$ に亘る積分によって算出されるものであり、しかも特定の時刻のスペクトルを示すことは出来ないので、工学的には利用できない。そこで $f(t)$ の経時的なスペクトルを計算するために、ある時刻 t を前後する微小区間 T_0 の $f(t)$ を切り出して（これを‘フレーム’と呼ぶ）、次式（2）を適用する。

$$\text{式 (2)} \quad C_n = \frac{1}{T_0} \int_{-\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} f(t) \cdot e^{-jn \cdot \frac{2\pi}{T_0} t} dt$$

この式は、実際は微小区間 T_0 を1周期と見做すフーリエ級数展開の式であり、STFT（Short Time Fourier Transform：短時間フーリエ変換）と呼ばれている。ここで得られる C_n は $2\pi/T_0$ の周波数間隔で並んでいる線スペクトルであり、各周波数は $2\pi/T_0$ の整数倍に限定される。そして時刻を $t+T_0$ にシフトして次のフレームで同様な計算を行うが、そこでは C_n の値のみは異なる同じ構造の線スペクトルが得られ、各周波数は同じである。以下、フレームのシフトを繰り返して $f(t)$ の経時的なスペクトルが求められるが、全てのフレームで線スペクトルの周波数が一貫して不変な事がスペクトラル・サブトアクション法を成功させない原因になっている。

これに対して、筆者らが適用している周波数スペクトル計算式は、次式（3）で示される、1920年代のH. Bohrの概周期関数理論に基づくN. Wienerが提唱したGHAである。

$$\text{式 (3)} \quad A_n = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T f(x) e^{-j\Lambda_n x} dx$$

この式は、形式的にはフーリエ級数展開式の基本周期を $2T$ としてそれを ∞ に極限化したものであるが、これはあらゆる時間波形 $f(t)$ を、任意な周波数 Λ_n で大きさが A_n の、無限大個の線スペクトルの集積として変換するので、周波数成分が非調和関係にある任意な信号のスペクトル計算が可能である。原式は積分区間が ∞ となるのでフーリエ変換と同様に工学応用が出来ないが、筆者らはSTFTと同じ様に、微小区間でGHAによるスペクトル計算を行い、それをシフトして $f(t)$ の経時的なスペクトルが求められる様に工夫した。この方法であれば算出された各フレームの線スペクトルの振幅と周波数は被変換信号 $f(t)$ の該当するフレーム時刻における各周波数成分の振幅と周波数に一致する。

そこで、以上に述べたGHAとSTFTによるスペクトル表示の違いを概念的に示すと図13のようになる。

この図は対象になる原信号が（I）～（IV）で示される4本の正弦波で構成されているものとしており、図中の $X_0(j\omega)$ は信号を微小区間 T_0 に制限する操作に伴うスペクトル包絡線と呼ばれるものがある。原信号に対してSTFTでスペクトル計算した結果を右側上段に、GHAで同様の計算をした結果を右側下段に示す。

STFTでは得られる線スペクトル（=周波数成分）の周波数は全て T_0 で決まる基本周波数 $\Delta\omega$

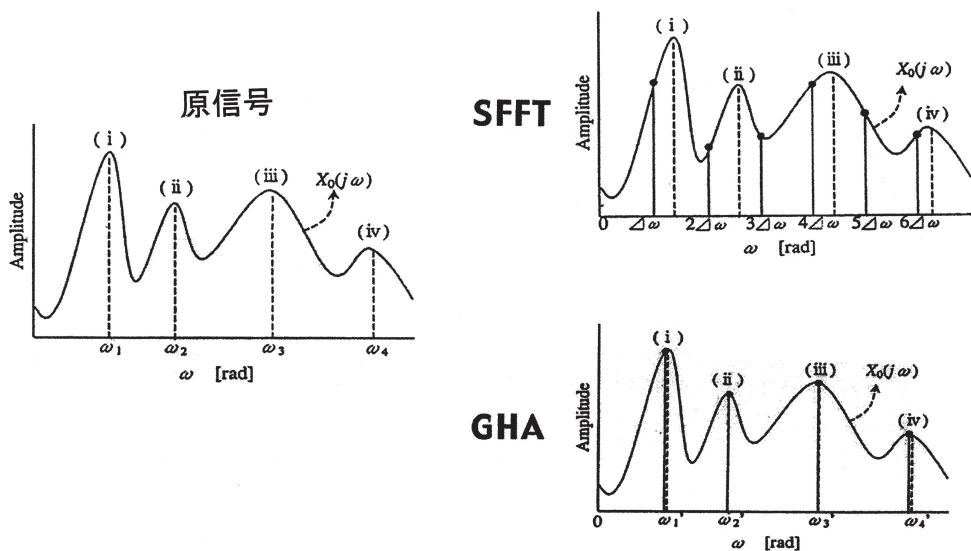


図13 GHAとSTFTによるスペクトル表示の違い

($=2\pi/T_0$) の整数倍となり、その大きさはスペクトル包絡線 $X_0(j\omega)$ によって一義的に定まるために原信号のスペクトルとは異質なものになる。それに対してGHAでは図の様に原信号の線スペクトルを再現する。そこで、例えば原信号中の (II) の周波数成分を除去しようとするれば、GHAではそれが可能なのに対してSTFTでは不可能である。この事はSTFTは例えば「音楽と雑音を分離する」等の、信号中の任意の周波数成分に手を加えるのが非常に困難な事を意味する。

筆者らはこのGHAの特質を利用して、下図の様な方法で雑音低減を行っている。

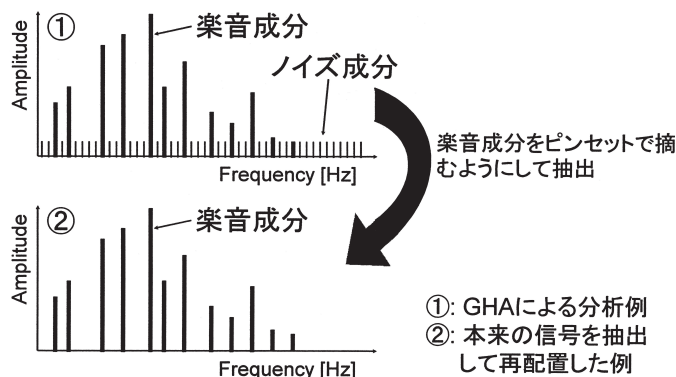


図14 GHAによる雑音低減の原理

図14の上段は雑音の混入している音楽信号のスペクトルを模式的に示したものである。楽音と雑音はスペクトルの性質が異なるので、楽音成分のみを選別して無地の周波数スペースに再配列すれば音楽信号のスペクトルを再現できて、雑音のない音楽を楽しむことが出来る。本節の最後に、突発性低周波雑音を含む被処理波形（上段）とそれを上述の方法で修復した波形（下段）の各々を拡大して図15に示す。

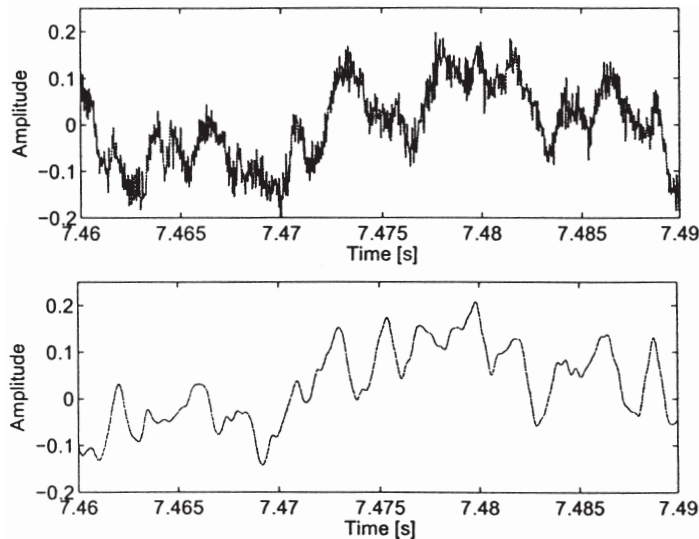


図15 GHAによる音源損傷修の様子

5. 整音

一般に雑音低減を施したSPレコードの再生音を今日の音響装置で再生すると、非常にバランスの悪い音に聞こえるが、それは、雑音を低減しない状態では音源損傷のために再生音のバランスの悪さが耳につきにくいためである。そのバランスの悪さは、当時の録音機材の周波数特性の不備と、演奏された場所が今日のスタジオやホールのように十分に音響処理されていないのに加えて、マイクロフォンあるいはラッパ（収音器）の個数や配置法に制約があったためである。殊に機械録音方式で使用されたラッパは周波数帯域幅が狭く、強い共鳴を伴っていたので、響きの強い洞窟の中で叫んでいる様な音色になりがちであった。

それらの補正を行う事によって、現在の音響装置でも疲労感なしに音楽を楽しめる様に出来るが、実際には必要な補正値が非常に大きいので、雑音低減が施されていない音源に対しては、補正はむしろ逆効果を招き易い。

筆者らは雑音低減されたSPレコードの再生音と、今日のCDなどの同じ曲（但し別演奏）の再生音とをスペクトル比較を行って大体の補正量を算出して、デジタル方式で補正を実施している。その際の補正曲線の一例を下図16に示す。

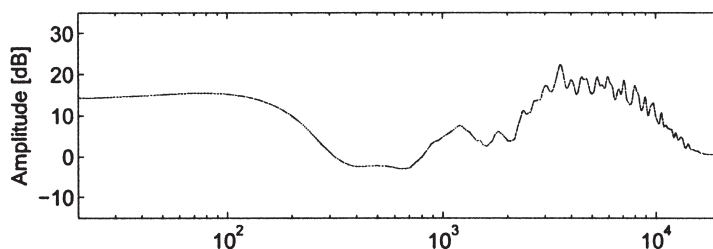


図16 整音のための補正特性の一例

これは機械録音方式による管弦楽録音に適用したものであり、補正値が20dBに及び補正曲線も単純ではないのでアナログ方式のイコライザーでは実施が困難である。但し、このような補正を行っただけでは音質は未だ十分ではなく、聴感による補正の微調整が必要である。筆者らは長年のオーディオ技術の経験を活かしてそれを行っている。

6. 結言

本稿は筆者らが取り組んでいる「音文化研究のための音源損傷の修復」の技術的な側面を解説的に論じた。この研究は筆者のひとりがオーディオメーカーの研究所に在籍中に、依頼を受けて航空機事故のボイスレコーダ解析を行った時に雑音の影響除去に悪戦苦闘した経験をした事が端緒になっている。その後、影響除去への思いは抱き続けていたが、有効な方法を思いつかないでいた所にGHAの事を知って雑音低減への応用を試み始めた。

その折柄、損傷を受けたSPレコードに録音されていた、日本が生んだ天才作曲家・貴志康一が残した自作自演に接して、その素晴らしさに感銘を受けて、当時自主的に取り組んでいたGHA応用雑音低減を適用して彼の自作自演を修復したのが最初の成果であった。その後、往年の名指揮者・ブルーノワルターや伝説的なヴァイオリニスト・フリッツクライスラーの残した演奏等々、SPレコードに残されていて今日では余り顧みられなくなっている演奏、日本で80年ほど前に行われていた言語聴覚障害者へ教育訓練の記録、などを修復してCD化を行った。その一例を次図17に示す。



図17 往年の演奏を修復・制作したCDの一例

かくして、現在は音楽以外の講談等の語りの記録、20世紀初頭の博覧会等における音声記録、著名人の講演・演説そして航空機事故のボイスレコーダー記録の再検証等に応用範囲を拡げつつある。

SPレコードに残されていた、今日では忘れ去られていたり、損傷の大きい再生音のために拙稚だと勘違いされて軽視されている往年の名演の輝きを蘇らせる事が出来て、一部の音楽愛好家の間にそれら名演奏を再評価しようとしている手応えを感じていて、更なる名演の発掘と音楽以外の音源の修復によって、往時の人達の美的価値観、生活観、教育や政治に対する姿勢等により密接に接する事が出来る様にしていきたいと考えている。

【謝辞】

筆者らの邂逅は、蠟管レコードに刻まれたアイヌ民話の修復を手掛けて来られた、東京大学および北海道大学名誉教授・伊福部達先生の発する磁力によって授かったものである。先生の取り組まれた「アイヌ民話の修復」と、筆者の一人である村岡が取り組んでいる「GHAによる損傷音楽の修復」が同じベクトル方向にあったために、村岡が研究の場を賜っていた東京大学先端科学技術研究センターにおいて、古い日本語録音資料の研究で伊福部先生とベクトル方向を共有している清水と邂逅する事が出来た。伊福部先生にはこの邂逅に始まる多面的な研究のご支援を賜っており、ここに最深甚な感謝を申し述べます。

村岡にとって、本研究の源流は、約20年前に工学院大学教授をされていた東山三樹夫先生の研究室を社用で訪問した時にGHAの話をお聞きしたことに始まる。先生にはGHAの研究の場をご提供戴いたのみならず、予て知遇は得ていたものの久しくお目に掛かれなかった、独自の発想でGHAのアルゴリズムを考案された平田能睦博士との再会を賜った。お二方からGHAの基本を教えて戴いた事が、村岡がその研究に向かった重要な動機となっており、改めて謝意を申し述べます。そして、当時会社の同僚としてGHAの研究を共にして戴いた松本光雄博士は、居住の関係で遠隔・共同研究の関係にあるが、長年に亘っての研究情報交換は誠に有益であり、ここに感謝申し上げます。

そして、村岡と長年に亘って、研究パートナーとしてGHA研究を共にして戴いた東京大学大学院情報理工学研究系知能機械情報学専攻 三浦貴大博士なしにはこの実用化は考えられず、末尾になってしまったが、三浦博士には上記の皆様へと同様な謝意を申し上げて結びとします。

参考文献

- (1) 日本オーディオ協会：『オーディオ50年史』日本オーディオ協会（1986）
- (2) J.P.Maxfield, M.C.Harrison："Method of High Quality Recording and Reproducing of Music and Speech Based on Telephone Research". Bell System Technical Journal（1926）
- (3) 山川正光：『オーディオの一世紀』誠文堂新光社（1992）
- (4) 井上敏也：『レコードとレコードプレーヤ』ラジオ技術社（1979）
- (5) 池田 圭：『蓄音機とレコードの歴史』日本レコード協会（1959）
- (6) 倉田喜弘：『日本レコード文化史』東京書籍（2008）
- (7) 志甫哲夫：『SPレコード』ショパン社（2008）
- (8) 加藤玄生：『蓄音機の時代』ショパン社（2006）

- (9) 三浦玄樹：『世界の蓄音機』三玄社（1996）
- (10) 佐藤幸夫：『信号処理入門』オーム社（1987）
- (11) 清水康行：「レーザー式と接触式を両用できる携帯式ロウ管再生機の開発 - 付. 最古の日本語録音の発見 -」、[近世科学技術のDNAと現代ハイテクにおける我が国科学技術アイデンティティーの確立] 補1、(2006)
- (12) 清水康行：「100年前の日本語音声を探して」、[日本バーチャルリアリティ学会誌]、(2006)
- (13) 清水康行、伊福部達、吉良芳恵：『蠟管等の古記録媒体の音声表現に関する非接触手法の開発と活用に関する研究』、科学研究費補助金研究成果報告書（特定領域研究「我が国の科学技術黎明期資料の体系化に関する調査研究」研究計画、(2006)
- (14) 伊福部達、清水康行：「蠟管から聞こえる100年前の声～樺太アイヌ、パリ万博のゲイシャ～」,先端研設立20周年記念連続セミナー、東京大学、2007、招待講演資料
- (15) Tohru Ifukube, Yasuyuki Shimizu : “A Portable Record Player for Wax Cylinders Using both Laser-beam Reflection and Stylus Methods”, 121st Audio Engineering Society Convention (2006)
- (16) Yasuyuki Shimizu : “Japanese Voice Recording Collections Recorded in Europe in 1900-1901”, EAJRS 19 pp.1-12 (2008)
- (17) 清水康行：「1900年パリ録音、女将のオシャベリは東京弁か」、近代語学会2008年研究発表会 pp.1-20 (2008)
- (18) H.Bohr, “Zur Theorie der fastperiodischen Functionen”, Acta Math. Vol.45, pp29-127 (1924)
- (19) N.Wiener, “Generalized Harmonic Analysis”, Acta Math. Vol.55, pp117-258 (1930)
- (20) 村岡輝雄：「GHA（一般調和解析）による歴史的録音の修復」、放送技術 VOL.60 No.5 (2007・5)
- (21) 高見澤龍児、片山健司、神田祥宏、村岡輝雄：「一般調和解析（GHA）を用いたSPレコード再生音の雑音抑圧の検討」、電子情報通信学科技術報告 SIP-2004-76 (2004)
- (22) T.Muraoka, S.Kiri, Y.Kamiya : “Fast Algorithm for Generalized Harmonic Analysis (GHA)”, The 47th IEEE International Midwest Symposium on Circuit and Systems, pp.2 153-156 (2004)
- (23) 片山健司,村岡輝雄：「多段一般調和解析を用いたSPレコード再生音の雑音抑圧の検討」、高速信号処理学会誌 SIP-2004-76 (2004) VOL.7 No.2 (2004)
- (24) Y.Kanda, S.Kiri, K.Katayama, T.Muraoka : “Generalized Harmonic Analysis and its Application to Intensive Noise Reduction”, Convention Paper 6432, 118th AES convention (2005)
- (25) T.Muraoka, S.Nakagomi, T.Ifukube : “Improvement of Cylyndrical Record Reproduction utilizing Inharmonic frequency Anlysis GHA”, Convention Paper of 122nd AES convention (2007)
- (26) T.Muraoka, T.Miura, D.Ochiai, T.Ifukube : “Theory of Short-time Generalized Harmonic Analysis (SGHA) and its fundamental characteristics”, Convention Paper of 123rd AES convention (2007)
- (27) T. Muraoka, T. Miura, T. Ifukube : “Spectral Equalization for GHA-applied Restoration to Damaged historical 78 rpm Records”, Convention Paper of 130th AES convention (2011)