

蠟管音源のデジタル化：蠟管蓄音機の再現

山本貴子

1. 序 論

2005年度、真宗総合研究所一般研究の「蠟管音源のデジタル化：蠟管蓄音機の再現」において、北里蠟管資料についての研究を行った。本研究は、真宗総合研究所一般研究データベース班の研究結果および大谷学会での発表の成果を元にして行われたものである。

北里蠟管資料とは、北里蘭氏が、日本語の起源について1920(大正9)年から1931(昭和6)年まで国内(沖縄、東北、北海道)および海外(台湾、フィリピン他)で調査した際、現地のことばを録音した蠟管および蠟管蓄音機を指す。本学には、言語が記録されている蠟管が約230本と、その記録と再生に使用されたEdison式蠟管蓄音機2台が存在する。これらは、極めて貴重な資料であるため、北海道大学などの研究者が、昭和61・62年度文部省科学研究費補助金総合研究(A)で音声の再生・解析を行っている。当時は非接触再生法で再生されたが、その時録音された音声を現在分析したところ、500 Hz から1500 Hz であった。

過去の文献によれば、いくつかの子音が聞こえにくかったとは書かれているものの、蠟管に録音された音声は口述筆記用として使用されておりこの周波数より可聴帯域が広いと考えられる。しかし、それを証明するためには、蠟管蓄音機の販売当時の状態にまで録音・再生の精度を高めるとともに、蓄音機の修復も必要となる。

そこで、本研究では、現時点での蓄音機の精度の検証と、当時の蓄音機の精度の調査、蓄音機の修復と、修復が成功したかどうかの検証を行うことを目的とした。そのため、「可聴性」という概念を導入し、北里蓄音機と同型の蓄音機を用いて、1900年代初頭の蓄音機が、現在どの程度の精度を保っているかを実験・検証した。まず、当時の蓄音機がどの程度の精度を持っていたかを資料などから調査した。次に、蓄音機の録音・再生機器としての精度を分析し、修復

した後、接触法で再生・録音した蠟管データを解析した。

2. 蠟管および蠟管蓄音機の構造と修復

1877年に発明されたエジソンの蠟管蓄音機は、録音および再生のために設計されており、特に、録音については、日常の音声メモとして使用するには非常に簡便であった。また、録音された音声は、現在、我々が考えている評価よりはるかに高品位であった。蓄音機によって録音できる周波数範囲は電話より広く、約100 Hz (ほぼ300 Hz) から7000 Hz であり、聞き間違いなく子音および母音を認識するための倍音が含まれる。さらに、蠟管蓄音機の構造上、ワウフラッタおよび位相シフトエラーが少ない。もちろん、蓄音機のギヤおよび部品の加工の精度が高かったことにもよる。したがって、19世紀の終わりから20世紀初めにかけて、世界中で多くの蠟管が録音に用いられた。

一方、現在、膨大な蠟管が保存されているが、それらの音声は低品質だと判断されている。蓄音機の測定結果は約300 Hz から5100 Hz の周波数範囲で、過渡応答もよくなく、ギヤノイズによってS/N比が低い。構造上は優れた機械であるため、それは、蓄音機の機能低下と、蠟管の損傷によると考えられる。

現存する蠟管の再生音では、過去の情報を得ることができる十分な品質を持っていない。しかし、高品質でそれらを再生することができたなら、それらは昔を語る証人としての最大の宝になる可能性がある。

2.1. 蠟管蓄音機

蠟管蓄音機の構造としては、拡声・集音装置であるホーン、録音・再生針や振動を伝える振動板などを備えたリプロデューサ、蠟管を差し込むシリンダ、シリンダを駆動するぜんまいと各種ギヤなどから成る。蠟管をシリンダにセットした後、ぜんまいを巻く。レバーで蠟管を回転させ、回転数が一定になったら、リプロデューサに付いた針を蠟管に乗せる。録音時には針が蠟管を削り、再生時には針が音溝をトレースする。録音ではホーンをマイクとして使用する。再生時には、針の付いた振動板が振動し、その空気振動をホーンに伝える。そして、ホーンから音声が出ることになる。録音には先端が鋭い針を、再生には丸い針を使うので、録音時および再生時にはリプロデューサを交換する。

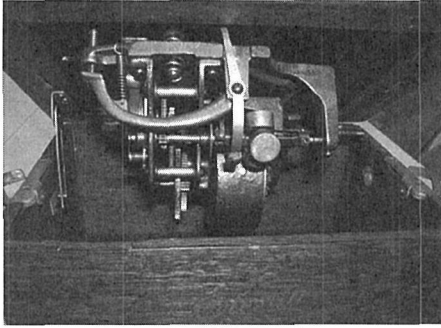


図1 蠟管蓄音機の内部構造
(北里博士のものと同タイプ)

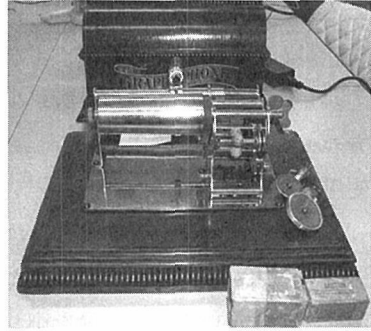


図2 北里博士使用のグラフオフォン

図1は、北里が使用したのと同型の蠟管蓄音機の内部メカニズムを示す。また、図2は、北里が録音に使用した蠟管蓄音機である。

2.1.1. リプロデューサ

図3は、エジソンが米国特許庁に申請したリプロデューサのドラフトである。リプロデューサには様々な型があり、モデルA、モデルB、モデルCなどと呼ばれているが、基本的な構造は、上述のドラフトとほぼ同じである。

現在、一般的に使用されているのはモデルCであるが、モデルCはモデルB

U. S. PATENT
OFFICE
1,020,486.
Patented Mar 19, 1912.

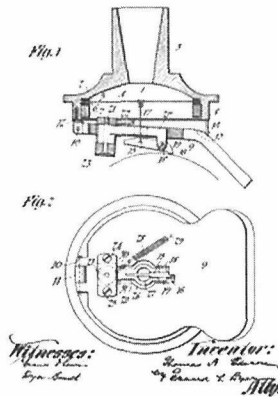


図3 リプロデューサに関する
特許情報

に比べて重いので、劣化した褐色の柔軟な蠟管に使用すると蠟管を傷つける危険性がある。しかしながら、モデルBの振動板は薄いガラスか薄い雲母でできており衝撃に弱いため現存数が少なく、現在では入手が非常に困難である。一方のモデルCでは銅版であり、モデルBよりは堅牢である。針はサファイアを使用したものが多い。

ここでは、上述したようにリプロデューサの重量が第一の問題である。振動板は、音溝をトレースするために、適切な重量を持っている必要がある。重量が標準より重い場合、音溝を削り取ってしまう恐れがあり、逆に軽い場合、針が弾むので、やはり音溝を破壊する。第二には、針、振動板、小さなねじの接続部の膠着化である。振動板が空気振動を作るので、各 부품の動作は再生音の質および音量を決定する。リプロデューサの清掃・修理が不可欠である。最後に、特に、モデルCの場合、使用されている部品がすべて金属であるため、各 부품の振動によって、微小ではあるが高音域の可聴ノイズが発生する。

本研究では、この振動を止めるため、粘着性の振動吸収剤を設計しリプロデューサに使用した。モデルCを清掃・修理した結果、約6 dBの増加、すなわち、音圧がほぼ2倍になり、子音が明確になった。

今後の課題としては、モデルCを加工して、重量の調節ができるリプロデューサ、あるいはモデルBの複製を作成することが考えられる。

2.1.2 ギヤ

蓄音機には多くのギヤが使用されており、他の部品と同様、ギヤも歪曲・劣化している。蓄音機が発するノイズには、ギヤの磨耗とギヤ軸の歪曲から引き起こされるものも多い。

ギヤが磨耗し、ギヤとギヤの間に不要な隙間が空いたことによってノイズが発生する。このノイズと信号は同じ周波数範囲を共有するので、S/N(信号対ノイズ)比は低い。したがって、コンピュータによるノイズ除去は、ノイズと一緒に信号も削除することになる。また、母音あるいは子音が現在の発音とはわずかに異なる場合、聴覚エラーを引き起こす位相シフトエラーが加わる。このエラーもコンピュータでは回避することができない。

蓄音機は、発明当初から部品の多くが交換できるように製作されており、実際に部品を交換することができる。しかし、現存する部品は当時のものであり、

正確な音声が生産できるとは限らない。したがって、検査後、同種の部品が再製される必要がある。

当時作成された蓄音機の各ギヤは角が滑らかでありノイズが少ない。しかし、今日のデジタル技術では、そのような滑らかなギヤを製作することができない。滑らかなギヤを作ることが、蓄音機を用いて正確な音声を生産するためには必須である。新規に滑らかなギヤを作成することを計画している。

2.1.3. ホーン

音声の集音・拡声装置であるホーンは、小型の場合には直接に、大型の場合にはゴム管によって振動板に接続される。また、大型ホーンは重いため、ホーンを上からつるす支えが用いられる。音声を共鳴・拡声させるのがホーンの役割である。ホーンの口の直径が大きくなればなるほど、また、ホーンの長さが長くなればなるほど、音声を再生するときにホーンがゆっくり揺れ、音声は大きくなり、ノイズも含めた低音が再生される。

ホーンは、振動することによって音声を共鳴・拡声させているので、音声のひずみやノイズも作ることになる。したがって、正確な音声の再生には、ホーンの不必要な振動を抑制する必要がある。本研究では、リプロデューサにも使用した振動吸収剤を使用することで、不要な振動を最小限に留めることができた。

2.1.4. 他の部品のメンテナンス

蠟管蓄音機は、製作後約100年が経過しているため、各部品の表面は錆や埃、乾燥したグリスなどが付いている。特に、グリスに還元剤が含まれていると、錆と化学変化を起こしている可能性がある。本研究では、粘性の低いCRC556を使用して、スプレーとふき取りという作業の繰り返しを約一ヶ月行い、ギヤやベアリングなどの金属部分の清掃を行った。

また、蠟管蓄音機の木製の蓋およびケースが虫によって破損されていたため、殺虫した。

2.2 蠟管

蠟管には録音時間が2分のものと4分のものがある。北里蠟管はすべて録音

時間が2分用で160 RPM（毎分回転数）、ほぼ55 mmの直径および105 mmの長さ、1インチ当たり100本の溝を持つ。商用録音用蠟管では、溝の深さが約50マイクロメートルあるが、個人が通常の録音に使用した標準的な蠟管では深さが約10マイクロメートルと、音溝が浅い。この音溝の深度が、音声の大きさ、正確さに深く関わっている。

蠟管の成分は各企業の企業秘密になっており、欧米でも特許が取得されていない。言い換えれば、蠟管の成分は各企業によって異なっている。しかし、本研究での調査の結果、主としてナトリウム石鹼に似ており、バルナバ蠟、ステアリン酸、ステアリン酸ナトリウム、ステアリン酸アルミニウムおよびセレンなどから成ることが分かった。先行研究には、ジアスターゼで蠟管を洗浄したと記述されているが、本研究では、その安全性に確証が持てなかったため、液体では洗浄しなかった。

2004年に、株式会社シェルマンによって、すべての蠟管が掃除され再生されたが、蠟管の溝の埃が完全に除去できたわけではなかった。したがって、北里蠟管の一部ではあったが、再度清掃した。また、本来、音溝の埃を取り除くためには、空気を吹き付けて埃を払った後、再生が行われる。本研究でも、可能な場合に限り、必要最低限の回数において再生した。

北里蠟管の大半には黴が生えている。黴が蠟管を侵食した結果、スポットが作られ、これによって本来記録されていた音声が消されている。また、北里蠟管の多くにはひびが入っている。このような損傷した蠟管の場合、音声を復元することは不可能である。蠟管上の黴は生きているので、気温摂氏20度、湿度約50%を維持し、黴の更なる食害を避ける必要がある。しかし、気温の低すぎ、乾燥し過ぎも蠟管に被害を与える。

また、蠟管に深いスポットがあったりひび割れている場合、蠟管は再生されるべきではない。深く損傷した蠟管を再生すると、黴のスポットあるいはひび割れの箇所ですべて再生針がジャンプするので、針の先端および振動板を破損することになる。

2.3. 修復結果の確認方法

蠟管に録音された音声は正確に再生できるように、修復できたかどうかを確認する必要がある。そのため、蠟管蓄音機2台、発売当初の蠟管3本、および

新しく作成された未使用の蠟管10本を使用し、成果を検証した。

まず初めに、蓄音機を使用して未使用の蠟管に試験信号音を録音し再生した。2台の蓄音機を使って信号音とトーンを比較した。蓄音機2台のうち、一方はもう片方より後のモデルである。蓄音機を2台使用したのは、蓄音機の互換性測定のためである。さらに2台を比較することで、より長時間使用した場合の破損の状況がわかった。また、1台ずつ修理することで、修理の成果を分析することができた。

過去の音声を再現する第一歩は、蓄音機によって録音された音声の分析である。本研究では、録音RMPに再生RMPを適合させることを目標とした。

蓄音機も後期のモデルになると、120、144および160RPMが使用された。実際、RPMは、小さなレバーで簡単に調節できるので、ある一つの蓄音機を使用した場合でも、蠟管ごとにRPMを変更することが可能であった。当然のことながら、数値が小さくなればなるほど録音時間が長くなるので、日々の録音には120RPMが用いられたと考えられる。したがって、各蠟管に適切なRPMを見出すことが必要である。

再生された音声の場合、基音がより小さくわかりにくい。したがって、高調波成分が含まれた調性を聞くことにより、最適なRPMを見つけ出すことが可能となる。たとえば、長母音[a]あるいは男性の音声の[o]か[u]では、そのフォルマントと高調波成分が明確に示される。しかし、通常150Hz未満の第1フォルマントは強度が弱いので、蠟管の再生音には表すことができない。母音[i]は、他の長母音より高調波成分を多く含んでいる。これらの高調波成分は、正確なRPMを見つけ出すためのヒントになる。一方で、録音RMPより再生RMPを早めた場合、高調波成分が失われる。また、高調波成分の強度は非常に弱い。したがって、RPMの値が不明な場合は、より遅いRPMで再生する必要がある。

一般的に第1フォルマントは弱いので、分光写真機を用いずに再生音のみで分析しようとする、正確なRPMを見つけることが困難となる。また、歌に表れる、女性のより高い周波数の音声では、高いフォルマントが失われており、正確なRPMを決定するのは難しい。したがって、正確な拡声装置からの音声を聞き、更に分光写真機を用いて初めて、録音RMPより遅い再生が可能となる。本研究では、20kHzを超える高い周波数用の高解像度分光写真機を用いるこ

とで、98 kHz のサンプリング・データが処理でき、フォルマントおよび高調波を示すことができた。

北里蠟管を再生すると劣化する危険性が高いので、再生回数は制限される。しかしながら、本研究で修理した蓄音機を使用し慎重に調査した結果、北里蠟管の多くは160 RPM、あるいはわずかに160未満で録音されたと分析できた。

3. 可聴性

可聴性とはあまりよく知られた概念ではないが、聞き取りの間違いなく、認識されるべき音声を特定するには重要である。本研究では、約80年前の録音を扱うので、可聴性を規定することが必要である。可聴性自体を測定することはできない。しかし、目標とする音源の可聴性を決定する基準を作ることは可能である。その基準が決定できれば、再生された音声および再生方法自体を確認することができる。

人がある単語を聞いた時、その人の脳では単語の音声のシーケンスを認識した後、その意味を認識する。プロセス中に、最小の音声単位と認められる音声ブロックのシーケンスが発見できない場合、既にその人が学習した記憶から供給され書き入れられる。この音声単位は、言語学のモーラより小さい。また、書き入れは本能的である。その人の祖語中の単語あるいは歌を聞く場合、音声として認められない部分は容易に何度も書き換えられる。この現象は、よく知っていることばでリスニングエラーが起こることを意味する。

4. 北海道大学テープ中の音声分析

昭和62年度、文部省科学研究費補助金の研究で、レーザー光を用いた蠟管音声の再生が行われた。これは、昭和61から62年度にかけて行われた研究で、北里関の蠟管、東京外国語大学言語文化研究所保存の浅井恵倫のレコードと写真フィルム、財団法人民族学振興会保管のレコードの三種類を取り上げ、「資料の再生・復元、および内容を明らかにし、それらを誰にでも利用できる形に整理、編集することを目標」としたものである。

上述したように、蠟管の表面は、黴によって劣化し埃で覆われている。表面

の埃を取るためには、現在ならエアダスターで埃を払う方法がある。当時はそのような器具がなかったため、蓄音機を用いて再生することで結果的に蓄音機の針で除去するか、表面を布で拭うしかなかった。しかしながら、表面を拭えば蠟管の音溝を消すことになり、また、仮に表面の埃が取れた場合であっても、音溝の底に積った埃には達しない。先行研究には、ジスターゼで洗浄したと書かれていたが、この溶剤を使用すると、蠟管自体を劣化させる危険性がある。

また、音溝にも埃がついているので、レーザー光による再生では音溝の底からの反射比率が一定ではなく、トラッキング・エラーも起こる。レーザー光の焦点円サイズが周波数レスポンスに最適化されない。したがって、正確な再生が妨げられる。さらに、当然のことながら、微によるスポットやひび割れについてもレーザー光で音溝をなぞることができない。

先行研究では、歯科で用いられる石膏を用いて蠟管の形状を元に戻せば、ひび割れた蠟管や蠟管のかけらであっても再生することができると述べられている。しかしながら、歯科の石膏では音溝の正確な型を取ることができず、先行研究でも、その研究成果が述べられていない。

さらに、レーザー光で得た再生音の分析についても、ノイズを削除するためにデジタルフィルタを用いたことが述べられており、ノイズと同じ周波数の音声も削除された可能性がある。

したがって、本研究では、蠟管蓄音機を使用して蠟管を再生し、フィルタを使用せず96 kHz、24 bit サンプリングで録音した。

図4は、1904年頃、録音された“Carry me back to old Virginny”（エジソン2237）のピアノの箇所を、分光写真機で分析した結果である。この音声は、北里の蠟管蓄音機によって再生したものである。これによると、明らかに人工的な高調波成分を削除した結果であっても、蠟管蓄音機が7000 Hzの周波数範囲を持っていることを明白に示している。この結果を、北里蠟管の音声と、先行研究のカセットテープの音声とを比較する際の基準として使用した。なお、以下の分光写真機の結果はすべて、30 Hz～20000 Hzで表示しており、データは96 kHz、24 bit サンプリングである。

図5は、先行研究で録音されたカセットテープの内のある箇所を取り上げ、その音声の波形を示したものである。図の中程から、女性の音声が始まっている。図6は、北里蠟管の中の同一箇所を、蓄音機によって再生した結果である。図5

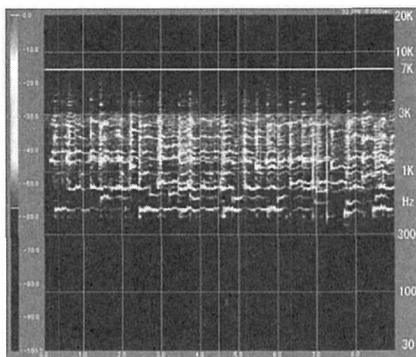


図4 約100年前に録音されたピアノの
スペクトログラム

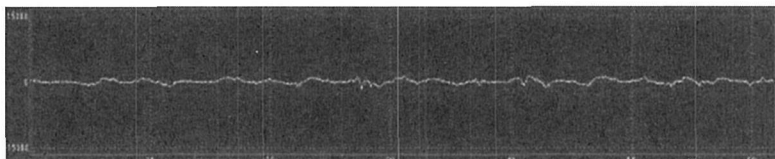


図5 北大テープの波形

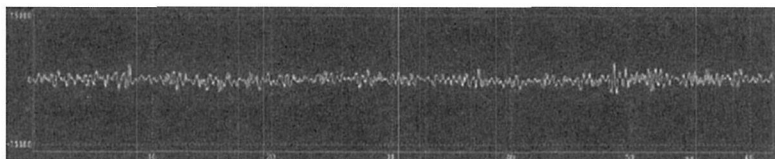


図6 北里蠟管の波形 (図5と同箇所)

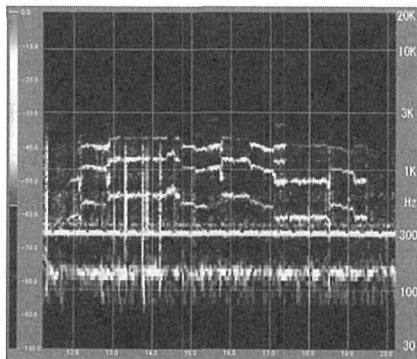


図7 北大テープでの女性の声

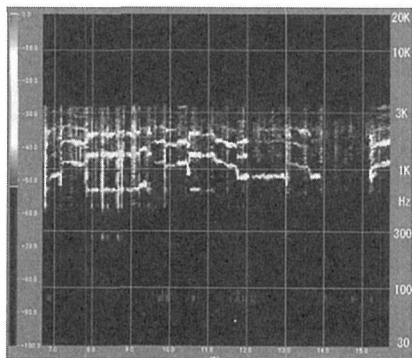


図8 北里蠟管での女性の声 (図7と同箇所)

では、波形がはっきりしておらず、強度の弱い信号が削除されている。図6では、強度は弱い、波形がかなりはっきりと表れている。波形分析の結果、先行研究の周波数レスポンスは、1000 Hz 前後(1000 Hz から1500 Hz まで不安定)であり、北里蠟管の音声の方がよりよい周波数レスポンスであると確認できる。しかし、図5・図6の両方とも、単語の最初の音素(主としていくつかの子音)を確定するために必要な高周波の波形が消滅あるいは減少している。母音 [i] については、信号強度さえ小さい。

図7は先行研究の音声であり、同じ女性の歌の開始点を分光写真機で示したものである。図8は北里蠟管の中の同一箇所である。図7では、約300 Hz および138 Hz に一定の短いパルス雑音を表れている。これはフィルタが使用された可能性を表しており、図8と比較すると過渡応答が悪い。図7と図8の比較によって、先行研究では強い人工的な高調波成分が含まれており、自然に持つはずの高調波成分に重なっていることがわかる。人工的な和声の倍音は、実際のトーンとほぼ同じであるため、人工的な高調波成分が和声に加えられると、正確なトーンと区別することができない。したがって、先行研究のテープでは、実際の和声を識別するためには使用することができない。また、人工的な高調波成分が含まれていることによって、母音は曖昧に表されるので、先行研究の音声では、母音を決定することができない。高調波成分の分析によって、先行研究の音声では、700 Hz から3000 Hz まで人工的な成分が含まれていることが分かった。したがって、先行研究での可聴性としては、非常にあいまいな長母音([a] [u] [o]) のみの単純なリズムが示される。

特筆すべきは、先行研究のダイナミック・レンジの線形性が低いことである。この場合、急に音声が大きくなると飽和して大きく歪む。

図9・図10は同じ箇所での男性の音声である。図9は先行研究の、図10は北里蠟管の音声である。両方とも、最初の2.5秒は、蠟管の最初の部分である。

先行研究では、人工的な長いパルス雑音と、同じく人工的な高調波倍音を含んでいる。長母音([u] [o])とピッチがあいまいに表れている。ここには連続的な人工雑音が2つあり、女性の音声と同じように分析できる。他方、北里蠟管からの音声もあいまいではあるが、いくつかの子音が含まれることは見て取れ、母音およびトーン、ピッチは明らかである。

先行研究中の雑音は一定せず、いくつかのフィルタが適用されたように判断

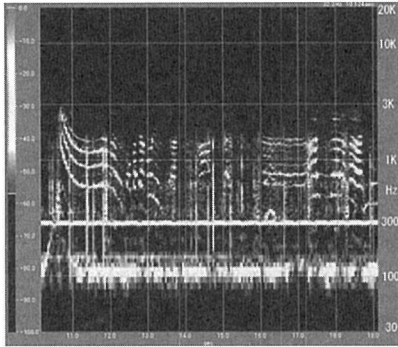


図9 北大テープでの男性の声

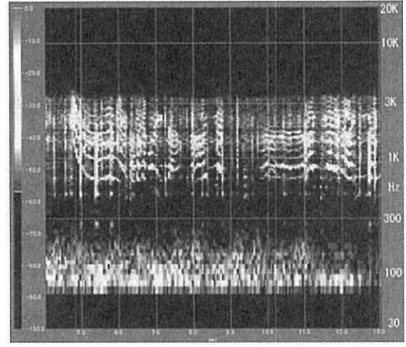


図10 北里蠟管での男性の声（図9と同箇所）

できる。上記でも指摘したように、短いパルス雑音を減少させると快適に聞こえるが、パルス雑音の密度が高い場合、雑音を減少させると、母音、子音、和声などの特徴も削除することになる。

北里蠟管の音声を分光写真機によって分析すると、非常に多くのパルスが検出されるが、それらは音声の分析に必要な信号と区別することができる。また、実際に聞くことによって音響信号を認識することも可能である。他方、先行研究で用いられた適応性のあるフィルタは、信号を何度も変更する。また、聞くことにより信号を認識することは困難である。これに加えて、先行研究の再生プロセスではレーザー光を使用したので、数ミリ秒遅れたエコーのような人工の歪みを生成した。さらに、人工的な倍音の強度は各基音と同程度なので、聴覚エラーを起こす可能性がある。したがって、本研究での結論としては、先行研究の音声を研究用に使用した場合、正確な音声が認識されないということが判明した。

4.1. 北里蠟管の可聴性

前述のように、修理された蓄音機によって再生された北里蠟管の場合、先行研究より可聴性が高い。北里蠟管では子音および母音の大部分を決定することは可能である。北里蠟管では、微のスポットによる繰り返し雑音が小さい場合、基本的な和声を特定できる可能性がある。

しかし、北里蠟管の問題点は、いくつかの子音の不足および強度の弱さにある。特に、分離された単語の語頭の子音 [t] [d] [ch] [s] [sh] [b] [p] および母音の [i] [e] が曖昧である。

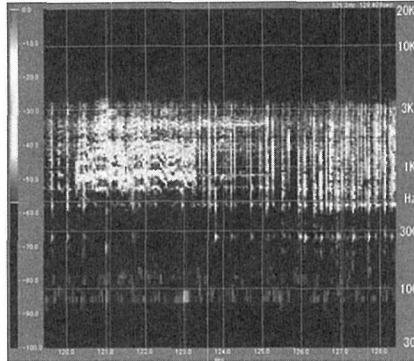


図 11 北里蠟管の最後尾の再生

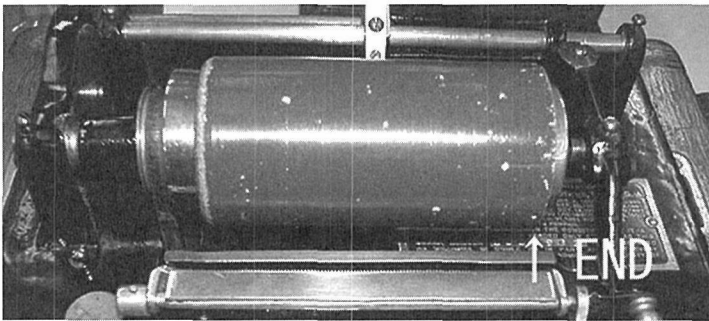


図 12 図 11で再生に使用した蠟管

図 11は、歌の最後の箇所と歌の後の雑音である。この音声は北里蠟管の中でも可聴性の高いものの1つである。雑音の強度はほとんど主なフォルマントと同じである。図 12は、図 11で再生されたものである。図 11では劣化した蠟管を想像させるが、図 12でもわかるように蠟管の外観はきれいである。蠟管の白いスポットは菌類による破損である。図 11右側の雑音の繰り返しは、蠟管の右端の傷跡から生じたものである。

5. 結 論

まず、当時の蓄音機がどの程度の精度を持っていたかを資料などから調査した。次に、蓄音機の録音・再生機器としての精度を分析し、修復した後、接触法で再生・録音した蠟管データを解析した。その結果、現在でも100 Hz から7000 Hz が再生でき、本来、蠟管蓄音機は録音精度が高いことが明らかとなった。

今後は、蠟管の音声を分析するとともに、蠟管自体の滅菌・保存についても研究することが望まれる。

これらの研究について、山本、片岡教授の両名は、2005年10月4日～7日に東呉大学で開催された“2005 The International Forum of Ethnomusicology in Taiwan”において講演した。その成果は、“2005 The International Forum of Ethnomusicology in Taiwan: Interpretation and Evolvment of Musical Sound Conference Proceedings”に、“How Can We Reach the Ancient Sounds by Edison’s Talking Machines?”（片岡裕教授執筆）と“The History and Contents of Kitasato Wax Cylinders-The Time Capsules”（山本執筆）として掲載された。