

令和5年度卒業論文

音色に関する物理的評価と心理的評価の対応について

関西大学環境都市工学部建築学科

建築環境工学第I研究室

学籍番号 建20-0097

氏名 渡辺彩菜

指導教員 豊田政弘

目次

第1章 序論	1
1.1 本研究の背景	1
1.2 既往研究	2
1.3 本研究の目的	3
第2章 実験	4
2.1 研究対象	4
2.2 使用した機材・ソフト	5
2.3 収録方法	8
第3章 分析方法	9
3.1 スペクトログラムについて	9
3.2 聴感実験	10
第4章 結果	11
4.1 アンケート結果とスペクトログラムの対応	11
4.2 考察	47
第5章 結論	48
参考文献	49

第1章 序論

1.1 本研究の背景

楽器を演奏するにあたって「音色」は重要視される一つの成分であり、音楽をより豊かにする指標でもある。特に、管楽器は吹奏楽やジャズ、オーケストラ等で幅広く演奏されるため、曲のジャンルや雰囲気に合わせて音色を変えて演奏することも珍しくはない。その音色の評価は主観によるものが多く、吹奏楽コンクール等の各種大会では人が「良い音」なのかどうかを耳で聴いて直接判断して審査する。音の三要素（大きさ・高さ・音色）のうち、音色だけは数値等による客観的評価ができないため、このような審査方法を行っている。

また、音程や音の大きさは物理的に測定できるが、音色は物理的に測定できないため演奏技術の向上が困難になる。地域によっては指導者不足が問題となっているところもあり、管楽器の演奏技術上達のためにはプロの指導を重要視する場合もある。その上達の差を少しでも埋められるような指標を考案したいと考え、本研究に取り組むこととした。

1.2 既往研究

まず、大石ら[1]による「音色評価のための音響分析方法の検討 ～倍音のもたらす心理的印象を焦点として～」を紹介する。これは、トランペット演奏における音色を、倍音のもたらす心理的印象に基づいて音響分析を行った先行研究[2]に対し、その結果にさらなる客観性をもたせるため、因子分析の手法を用いて先行研究との比較検討を行った研究である。この研究では音楽を専攻する大学生らに、第2倍音から第6倍音までを含んだ電子音を聴取したときの印象を簡単な形容詞で回答する実験を行った。その結果、先行研究と各倍音に示されている心理的印象に多くの類似点が見られたため、音色の客観的な評価方法として有用であると述べている。

次に、堅田[3]による「ミュージックスプリント装着による音色変化をデジタルフィルタリングで評価する試み」を紹介する。これはトランペット奏者に口唇外傷予防を目的としたミュージックスプリントを装着させ、演奏時の音色の音響解析による物理的比較、自然音の一対比較法による聴覚比較、デジタルフィルタリング法を用いた合成音比較の3方法で比較した研究である。持続音のみを取り出して比較しているため、この研究では音のアタックやリリースは無視している。この研究の結果として、高次倍音成分の違いを聴覚上で認識していることから、高次倍音成分を用いた評価方法の信頼性を確認できたと述べている。

この二つの研究はどちらも音の「倍音」について着目しており、音色の評価を変化させる要因として倍音が重要な要素であることを示唆している。

1.3 本研究の目的

1.2 節をふまえて、本論文では既往研究で実験されているトランペット以外の楽器の音色について調査し、様々な楽器に共通する音色評価の要因を検討する。その結果に基づき、適切な指導を受けられない環境でも、演奏技能を向上できるような指標となる評価方法を導き、演奏指導の考案につなげていくことを目的とする。

第2章 実験

2.1 実験対象

本研究における実験対象としてオーボエ、クラリネット、トロンボーンの3種類の楽器を選定し、各楽器4名ずつ管楽器経験者の大学生計12名を対象とする。

3つの管楽器を選んだ理由は以下の二つである。

- ① 管楽器を3種類に分けると、木管楽器の1枚リードの楽器、2枚リードの楽器、金管楽器となり、それぞれ代表的な楽器であること
- ② 歴史が古いもの、かつ、音色の違いが分かりやすいであろう楽器であること

なお、本論文では次のように楽器の略語表記を定めることとする。

オーボエ……………Ob
クラリネット……………Cl
トロンボーン……………Tb

2.2 使用した機材・ソフト

実験に使用した機材を以下に示す。

- ・マイクロフォン：AKG C414 XLS (図1)



図 1 マイクロフォン

引用：https://jp.ake.com/C414XLS.html?dwvar_C414XLS_color=Black-GLOBAL-Current

- ・オーディオインターフェイス：RME Babyface Pro FS (図 2)



図 2 オーディオインターフェイス

引用：<https://synthax.jp/babyface-pro-fs.html>

次に、実験に使用したソフトウェアを以下に示す。

- ・収録ソフト：Steinberg Cubase pro 12 (図 3)



図 3 収録ソフト

引用：<https://www.konga.com/product/steinberg-cubase-pro-12-for-windows-5684408>

・分析ソフト：MathWorks MATLAB

MATLAB は関数やアルゴリズム開発、行列計算、GUI など様々なことができるインタープリンタ型のプログラミング言語である。収録した音源を数値計算処理し、素早くグラフの作成ができるため、物理的評価として扱うことができる。そのため、本研究ではこれを使用する。

引用：<https://jp.mathworks.com/products/matlab.html>

2.3 収録方法

ここでは評価する音源の収録方法について述べる。収録は、無響室内にてオーディオインターフェイスを介してPCで起動する収録ソフトに接続したマイクを配置し、その前で被験者に以下の3パターンの奏法で吹かせた(図4)。

- 1) 単音…………… 音を長く伸ばし、その音が安定しているところで音色の違いが見られるかを検討の目的とする
- 2) スラー奏法の音階…………… 音と音を滑らかに繋げて演奏するスラー奏法で音階を吹かせ、音の変わり目に違いが見られるかを検討の目的とする
- 3) スタッカート奏法の音階……… 一音一音を切り離して短く演奏するスタッカート奏法で音階を吹かせ、スラー奏法時との比較を検討の目的とする

音を収録する際は、持続音だけではなく音のアタックとリリースにも注目したいため、演奏する前後に約2秒間の無音時間を設ける。



図4 収録風景

第3章 分析方法

3.1 スペクトログラムについて

短時間スペクトルを時間方向に並べたものをスペクトログラムという。スペクトルとは、横軸が周波数、縦軸が音圧レベルを表したものである。スペクトログラムは横軸が時間、縦軸が周波数を表しているものであり、音圧レベルを色で表示したものである。色が赤いところは音圧成分が強い、逆に色が青いと音圧成分が弱いという意味である。

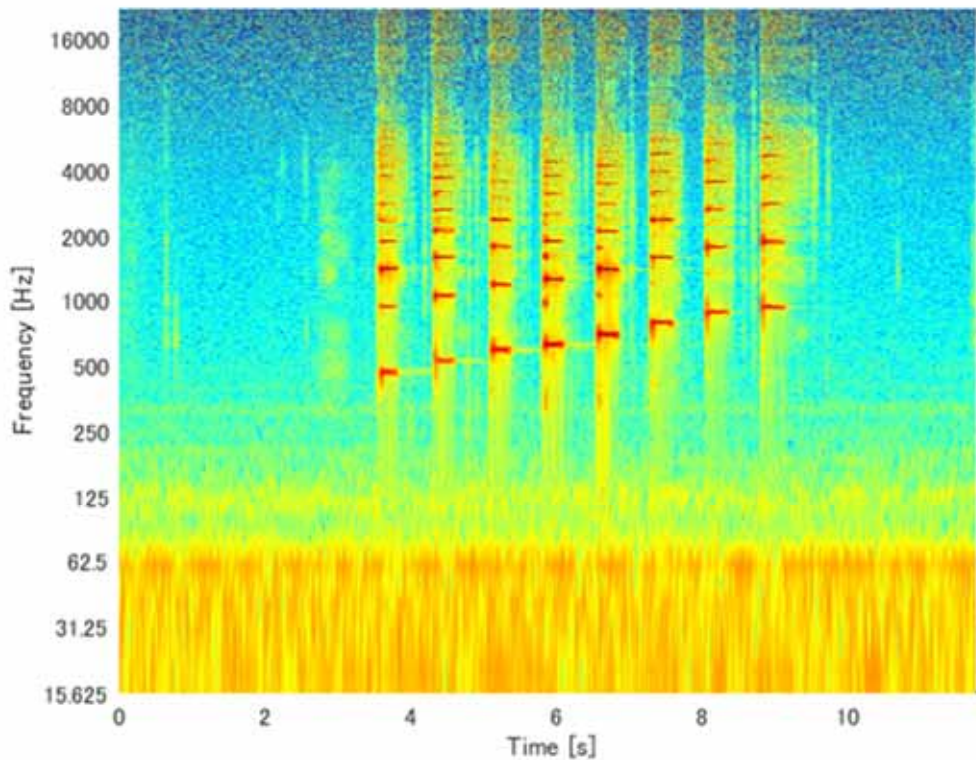


図 5 スペクトログラム

図5のように音の時間的な変化、高さ、大きさ等を同時に読み取ることができるため、本研究では、これを物理的評価として扱う。

3.2 聴感実験

被験者 12 名に聴音回数を無制限としてランダムに音源を聞かせ、心理評価のアンケート調査を行った。ここで、評価項目を定めるために大石らの既往研究[1]を引用すると、音色の印象を表す言葉を分析した結果、音色についての言葉は 3 つの独立した因子に分けることができ、第 1 因子を「金属性因子」、第 2 因子を「迫力因子」、第 3 因子を「美的因子」と命名している。これを踏まえ、今回の聴感実験では、金属性因子である[硬い－柔らかい]、迫力因子である[細い－太い]、美的因子である[暗い－明るい]、さらに、もう一つの指標として[濁っている－澄んでいる]の 4 つの評価項目を用意した (図 6)。これらの評価項目について被験者に 5 段階で評価を行わせ、その結果を心理的評価として扱う。

	1	2	3	4	5
暗い(1)－明る...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
細い(1)－太い(5)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
硬い(1)－柔ら...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
濁っている(1)...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

図 6 アンケート

第4章 結果

4.1 アンケート結果とスペクトログラムの対応

以下に各音源の結果を示す。

・Ob

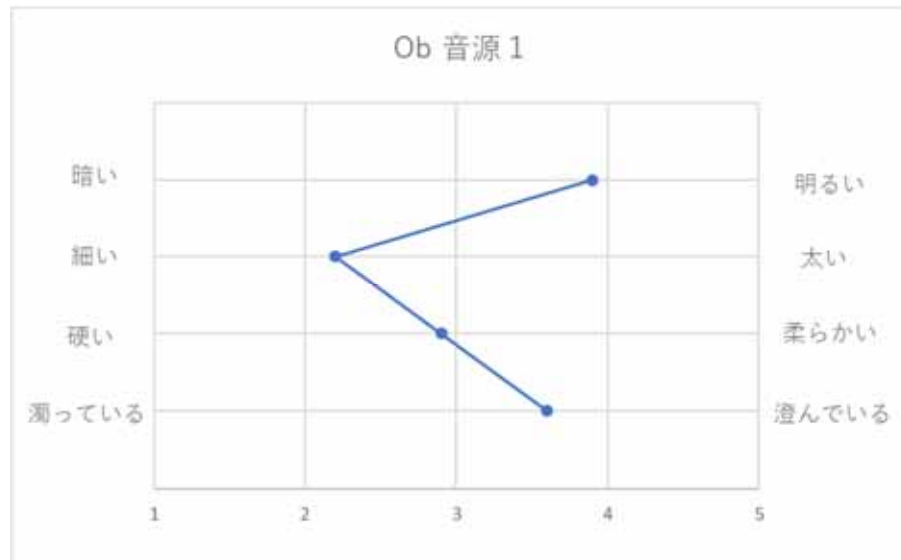


図 7 音源 1 のアンケート結果

図7を見ると、「細い」「明るい」「澄んでいる」の評価が多い。

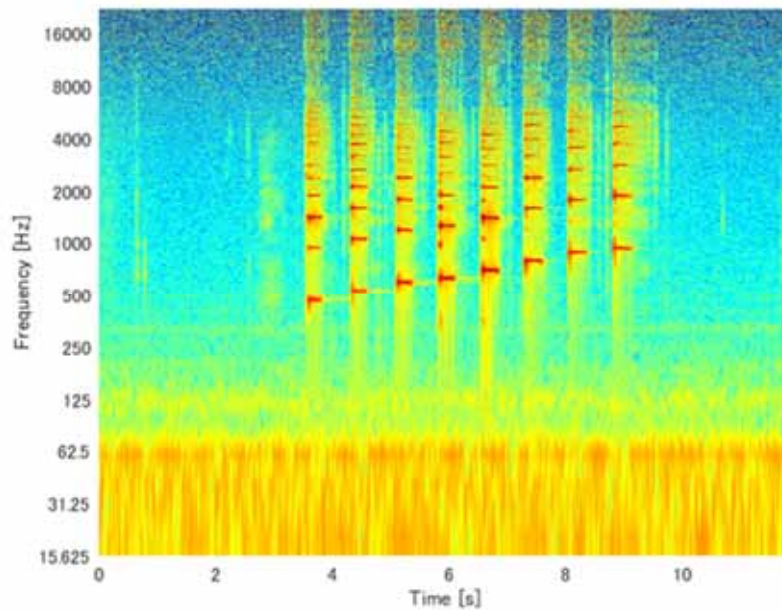


図 8 音源 1 のスペクトログラム

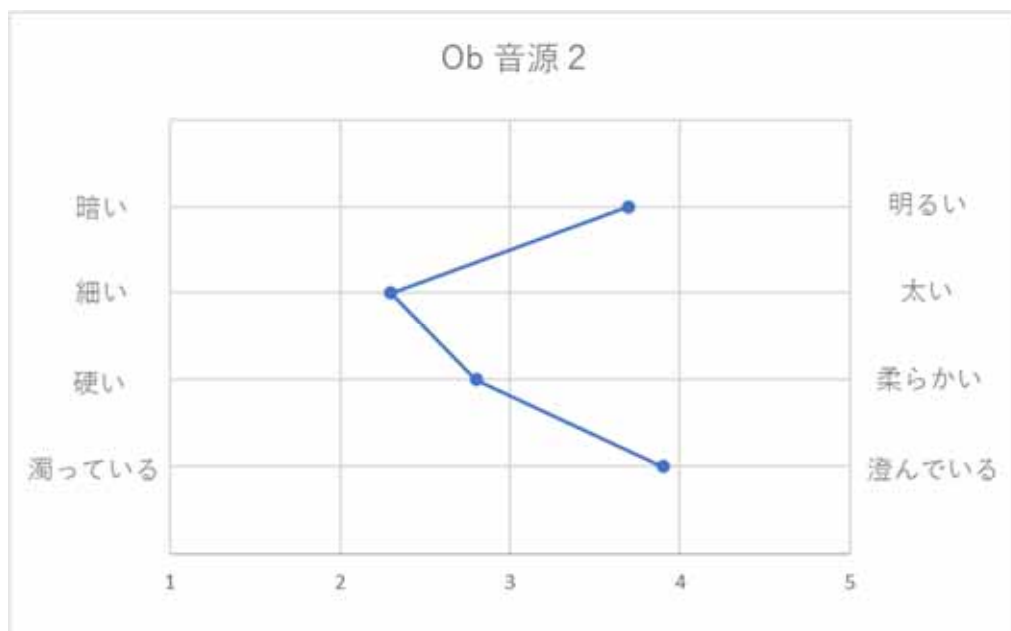


図 9 音源 2 のアンケート結果

図9を見ると、音源1とほぼ同様のグラフになっており、「澄んでいる」の割合が特に多い。

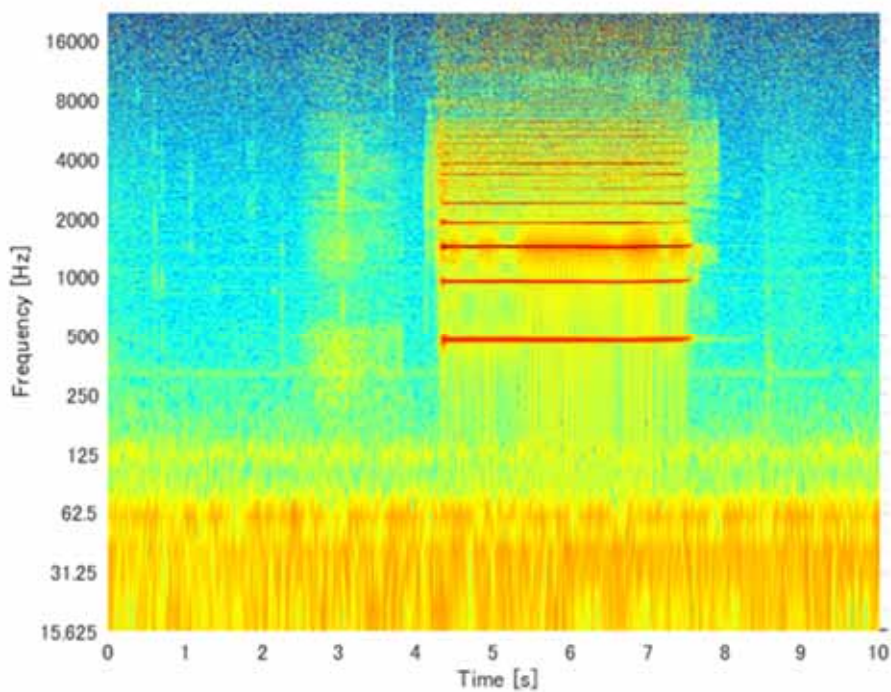


図 10 音源 2 のスペクトログラム

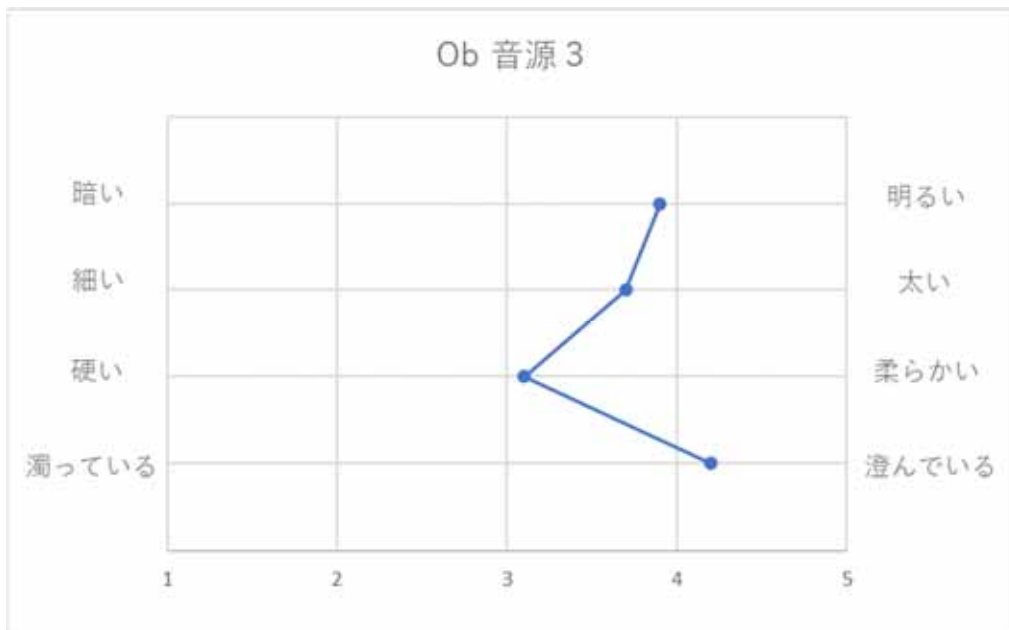


図 11 音源 3 のアンケート結果

図 11 を見ると、「明るい」「澄んでいる」の割合が多く、比較的右側寄りのグラフとなっている。

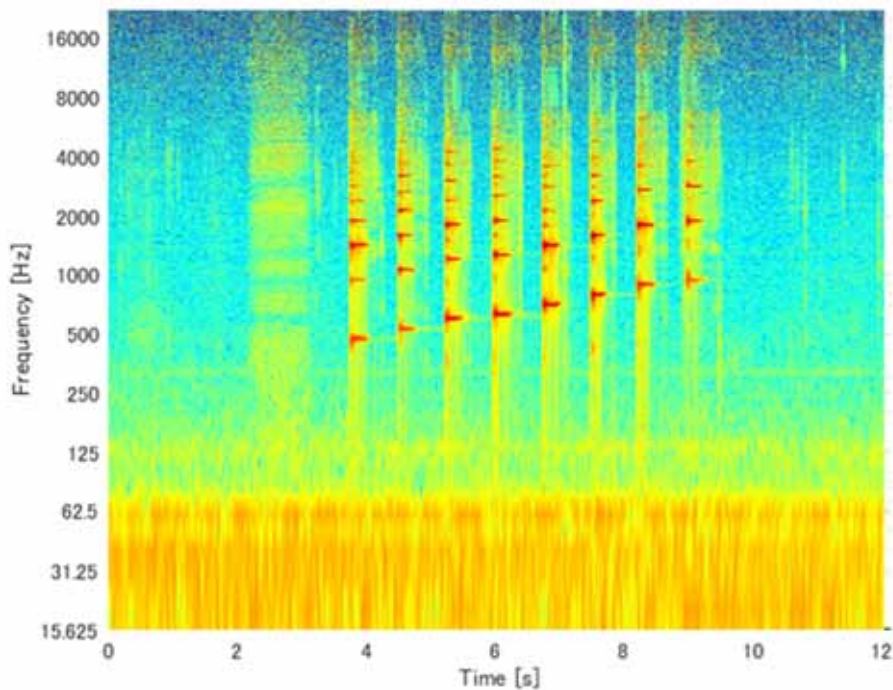


図 12 音源 3 のスペクトログラム

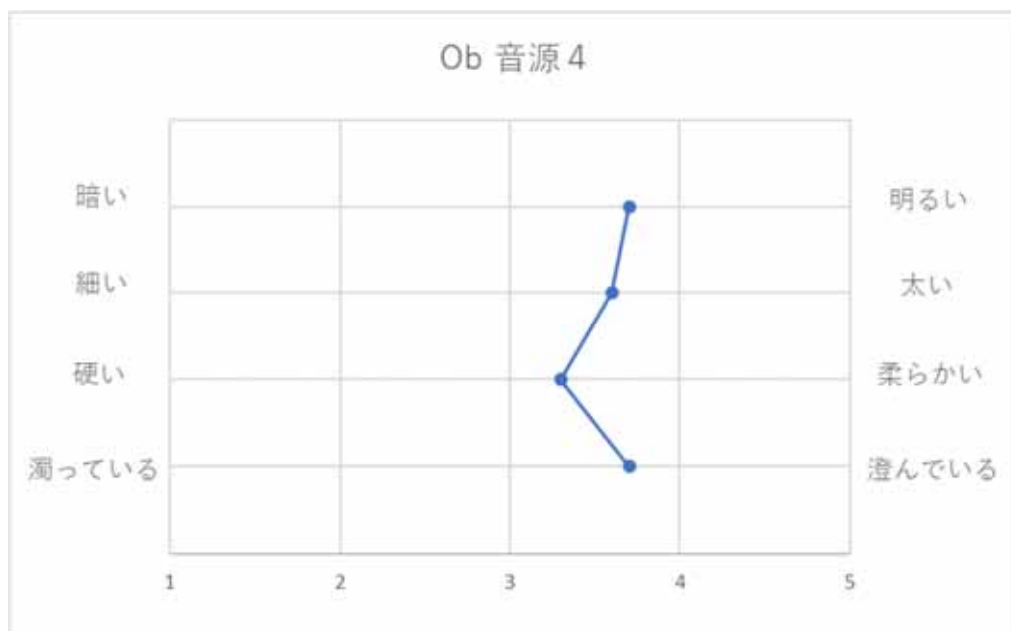


図 13 音源 4 のアンケート結果

図 13 を見ると、どの評価も 3～4 の間に収まっており、「硬さ」が少し目立つ。

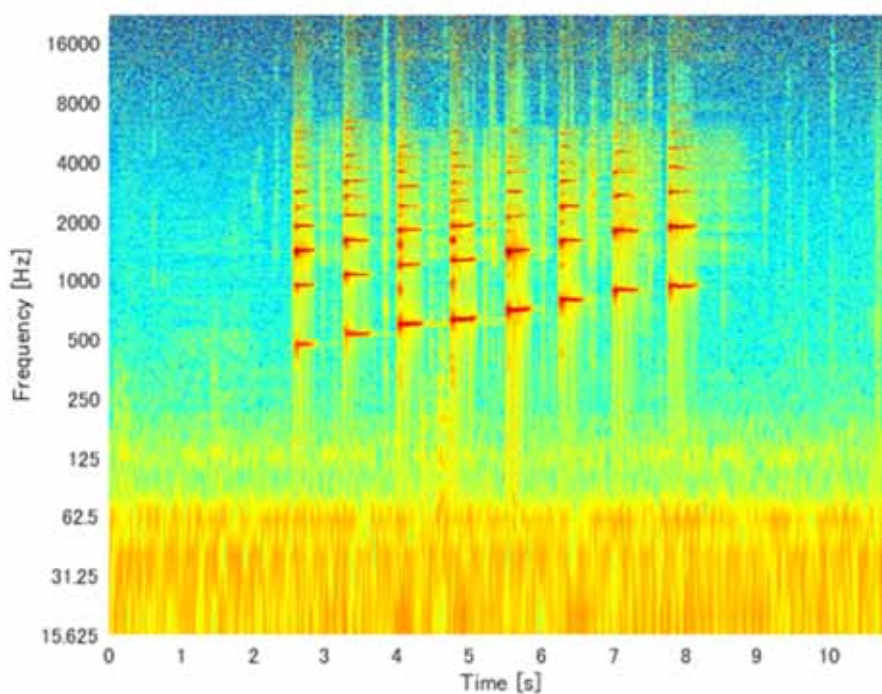


図 14 音源 4 のスペクトログラム

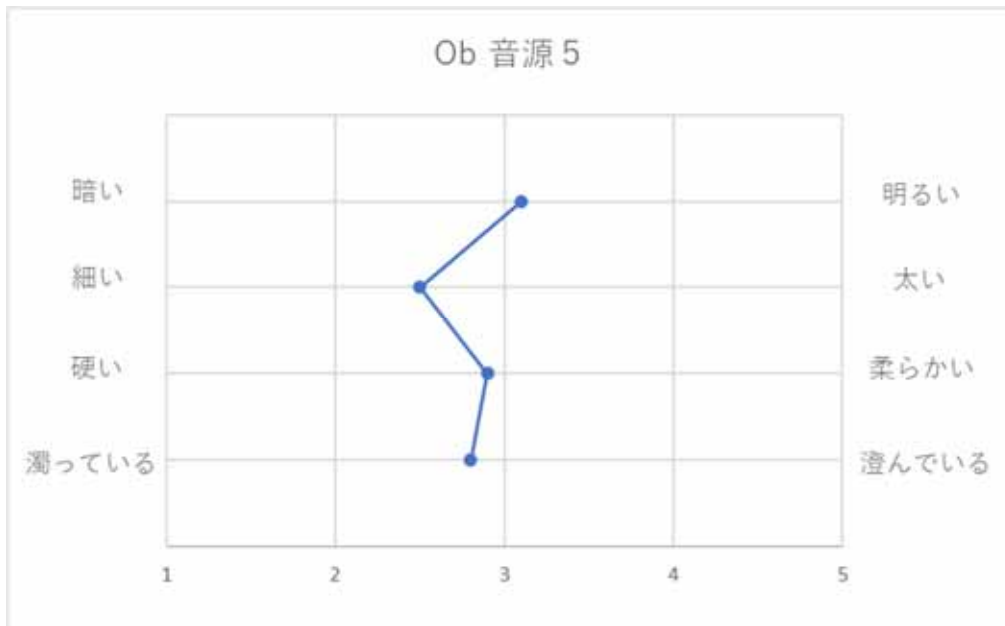


図 15 音源 5 のアンケート結果

図 15 を見ると、どちらともいえない評価が多く、「細い」に偏りがみられる。

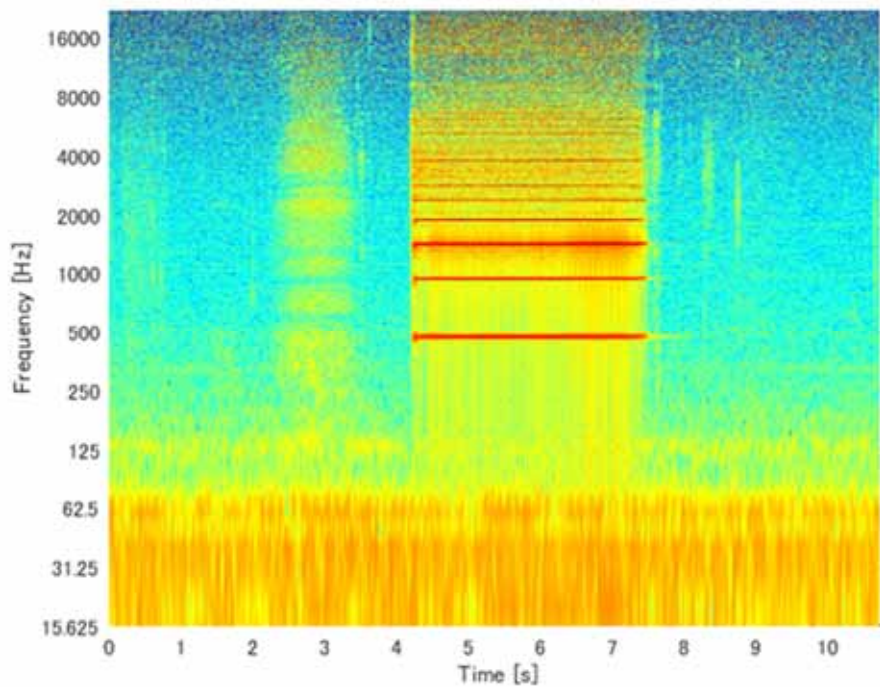


図 16 音源 5 のスペクトログラム

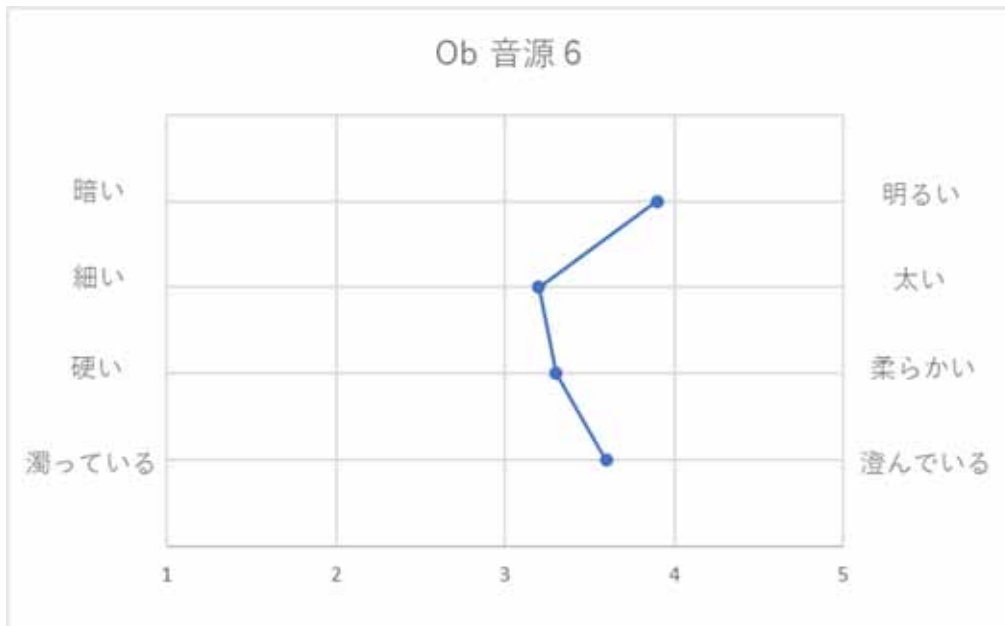


図 17 音源 6 のアンケート結果

図 17 を見ると、各評価項目のなかでは「明るい」に偏りがみられ、「澄んでいる」も比較的多い。

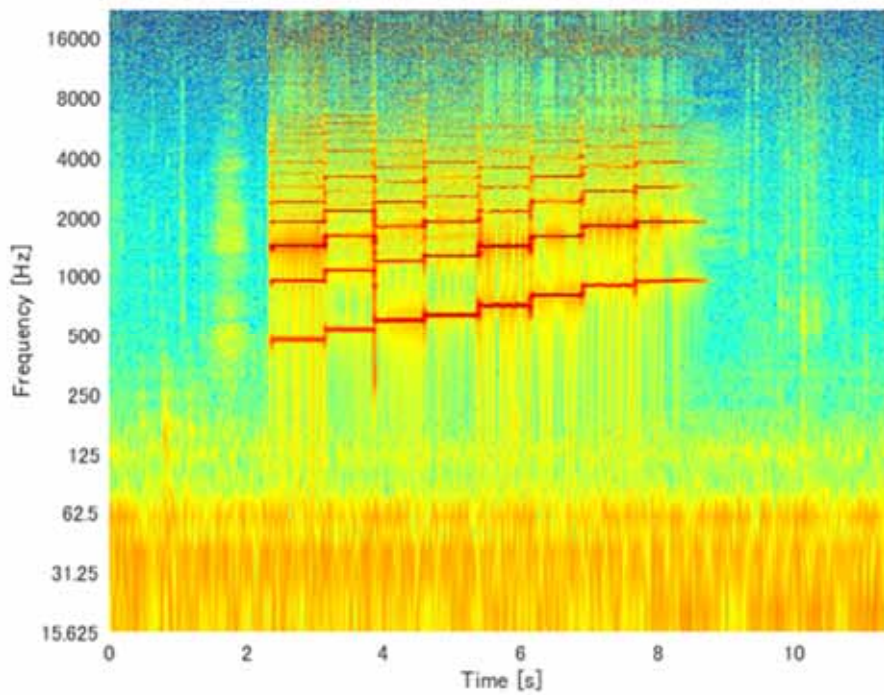


図 18 音源 6 のスペクトログラム

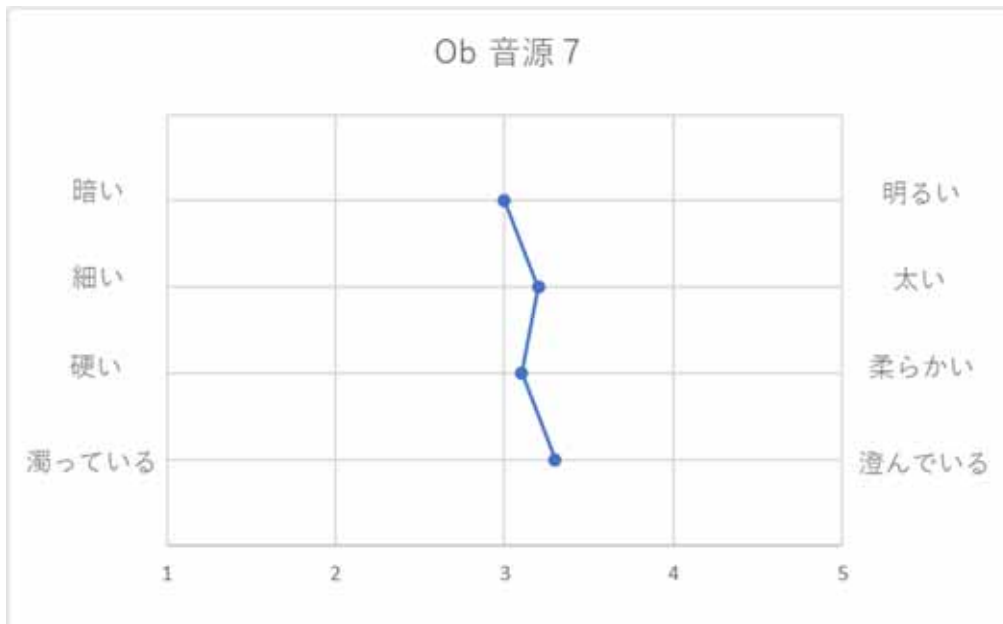


図 19 音源 7 のアンケート結果

図 19 を見ると、全項目の評価にほとんど偏りがみられない。

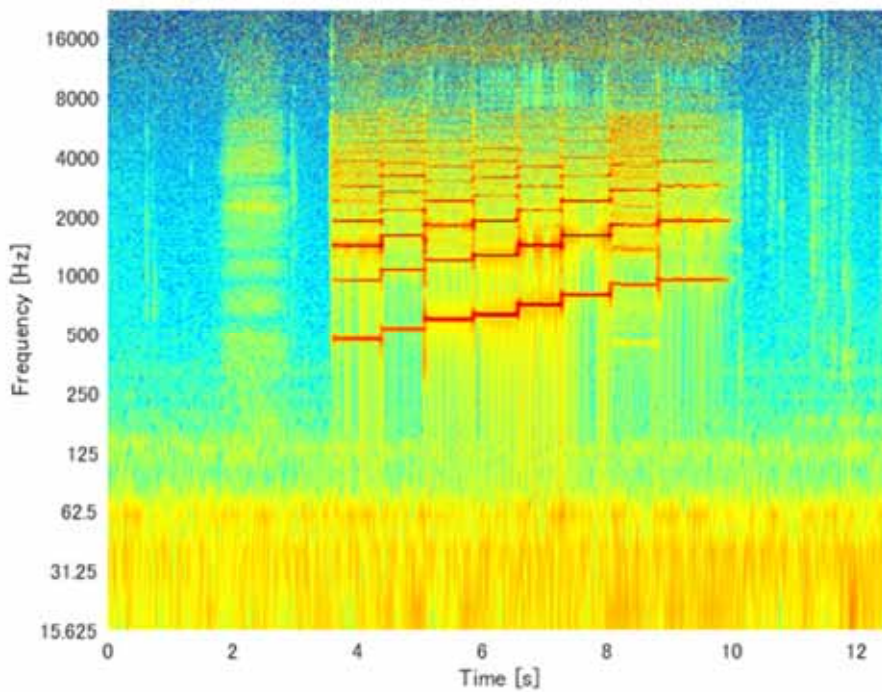


図 20 音源 7 のスペクトログラム

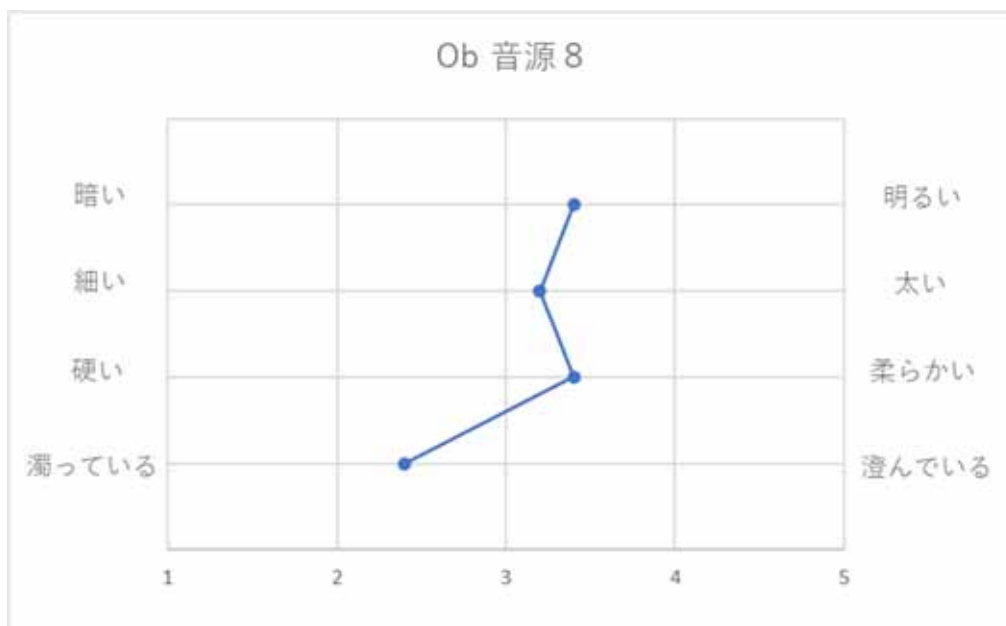


図 21 音源 8 のアンケート結果

図 21 を見ると、「濁っている」の評価が多く、それとは対照的に「柔らかい」の評価が少し高い。

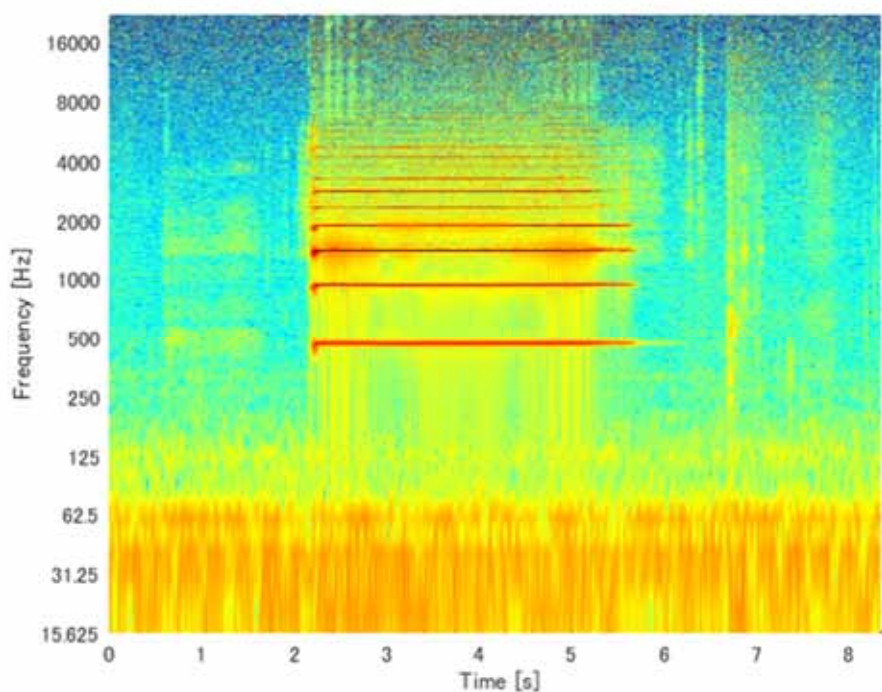


図 22 音源 8 のスペクトログラム

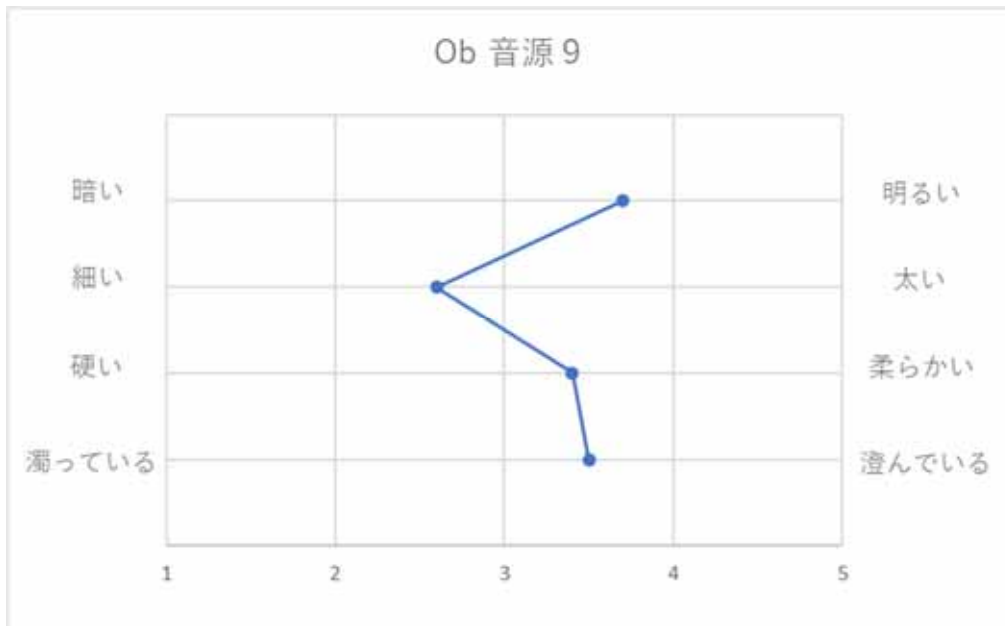


図 23 音源 9 のアンケート結果

図 23 を見ると、「細い」に少し評価が偏っており、「明るい」「澄んでいる」が全体的に多い。

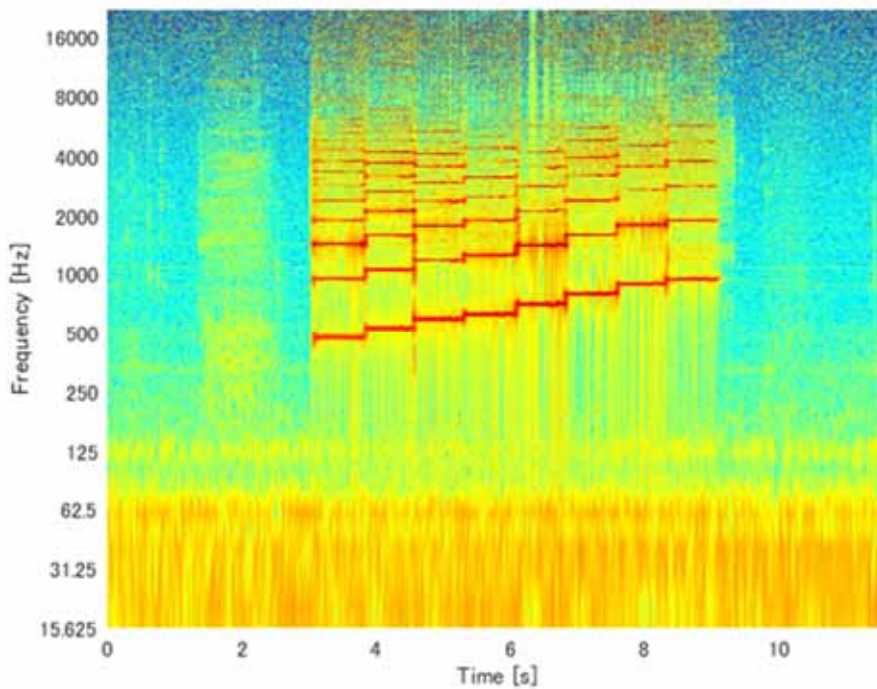


図 24 音源 9 のスペクトログラム

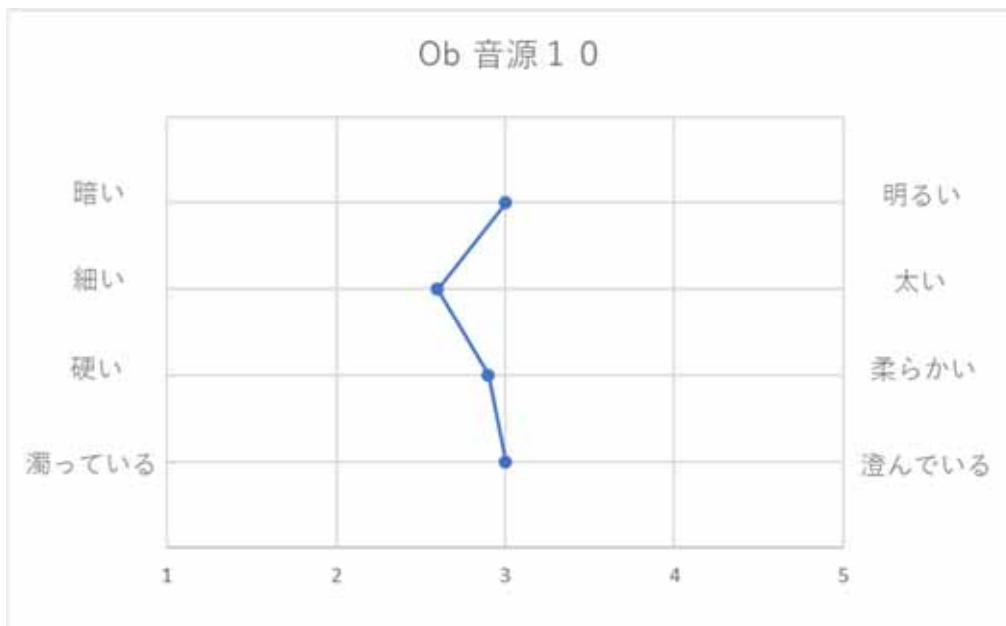


図 25 音源 10 のアンケート結果

図 25 を見ると、音源 5 と同様に「細い」に少し評価が偏るが、そのほかはどちらともいえない。

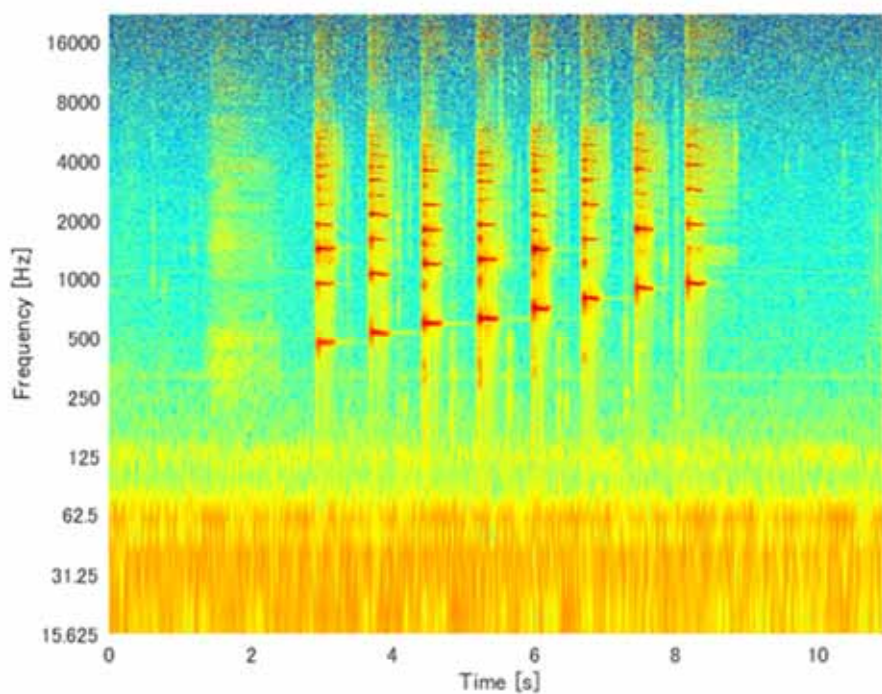


図 26 音源 10 のスペクトログラム

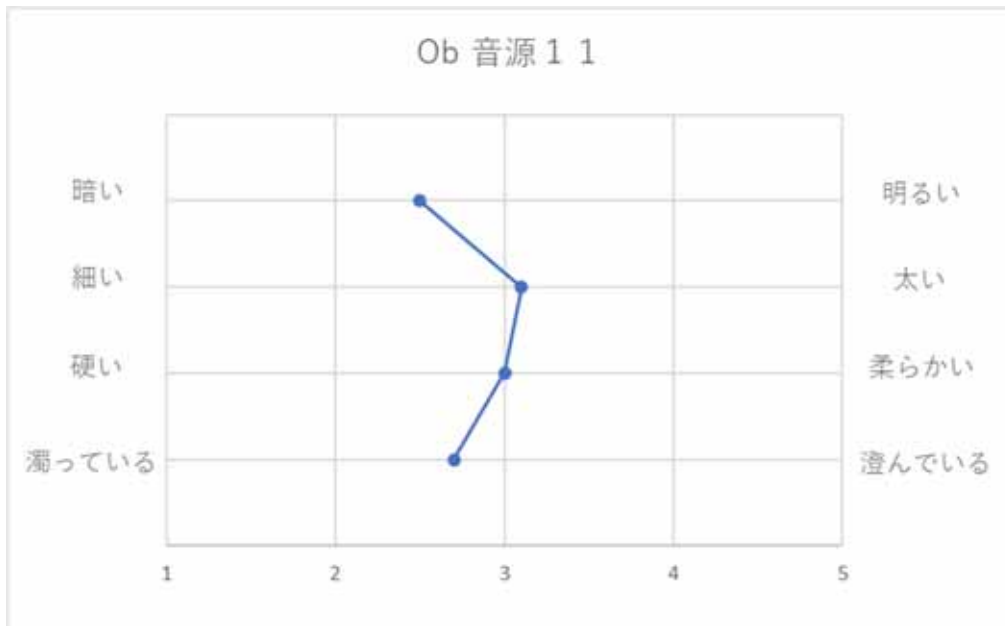


図 27 音源 1 1 のアンケート結果

図 27 を見ると、「暗い」「濁っている」の順に評価が多くあり、音源 6 とグラフが対称になっている。

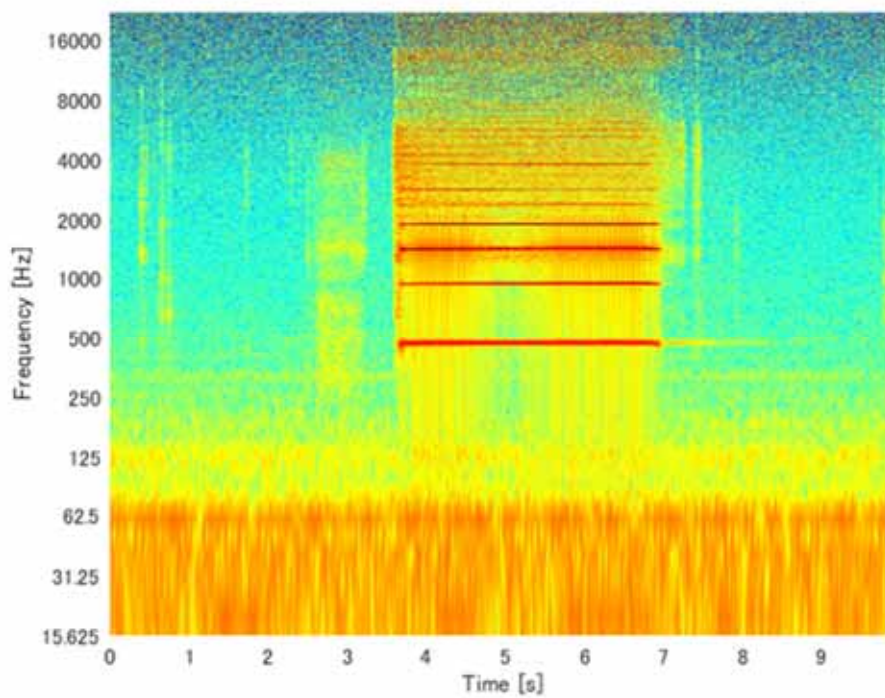


図 28 音源 1 1 のスペクトログラム

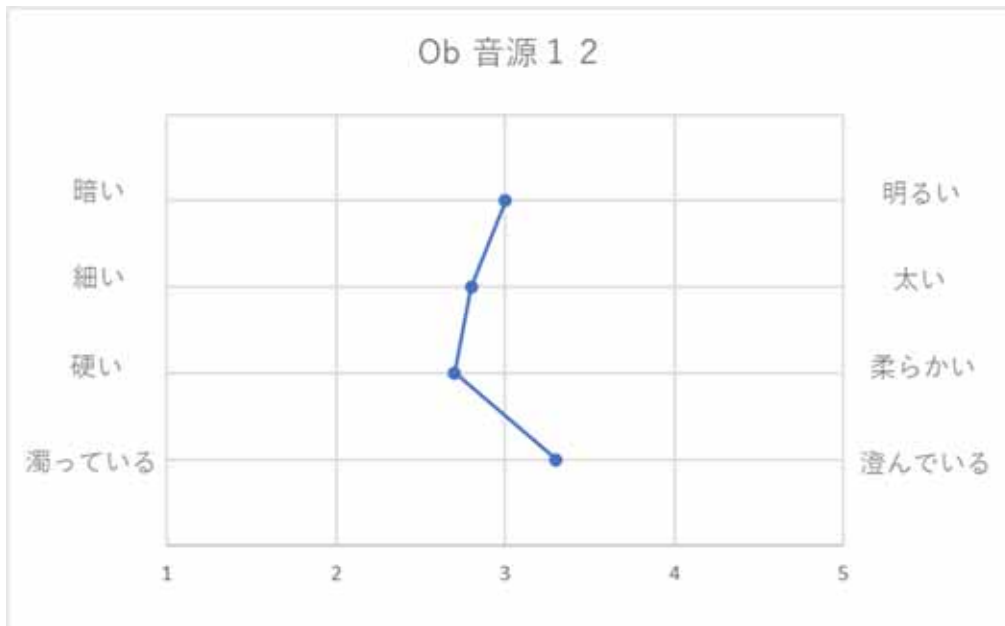


図 29 音源 1 2 のアンケート結果

図 29 を見ると、「澄んでいる」の割合が少し多く見えるが、グラフの形としては音源 4 に似ている。

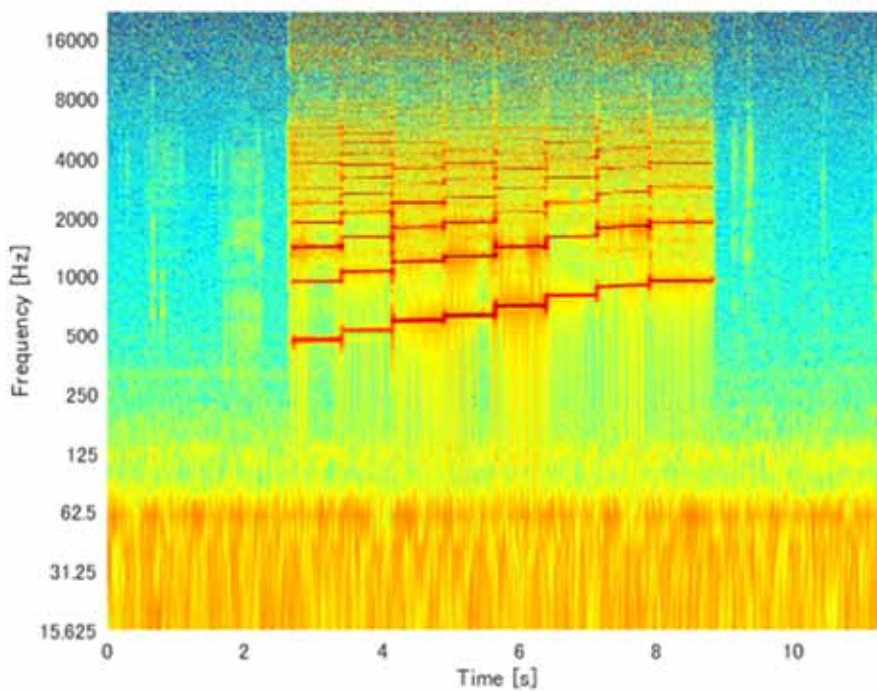


図 30 音源 1 2 のスペクトログラム

・CI

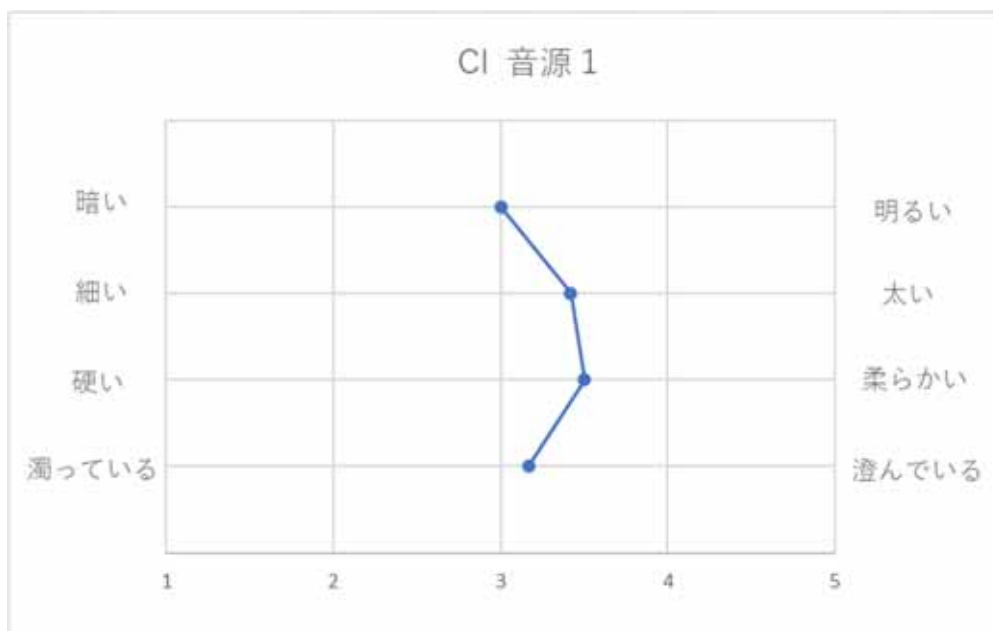


図 31 音源 1 のアンケート結果

図 31 を見ると、「太い」「柔らかい」の割合が多くみられる。

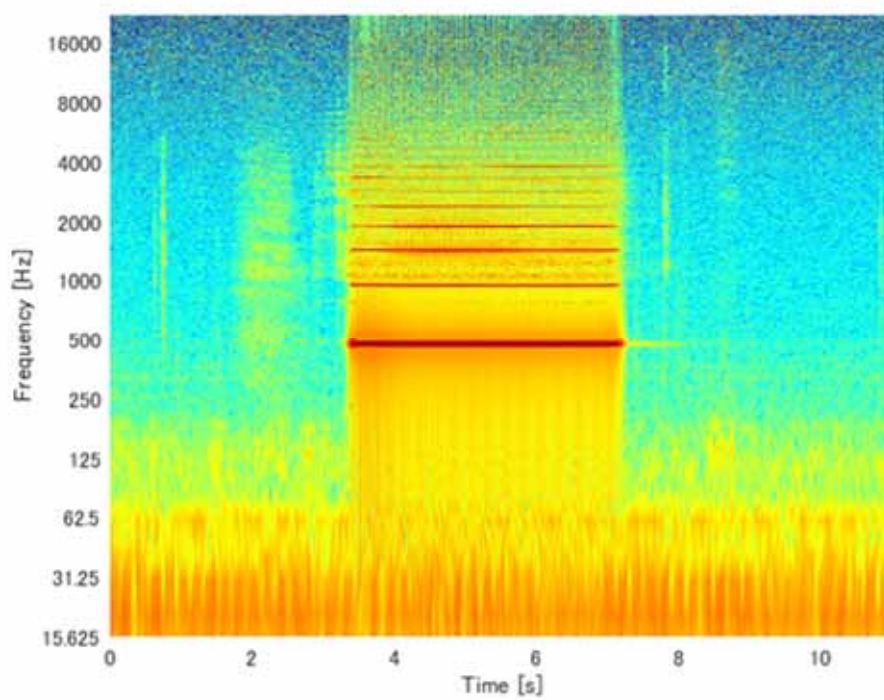


図 32 音源 1 のスペクトログラム

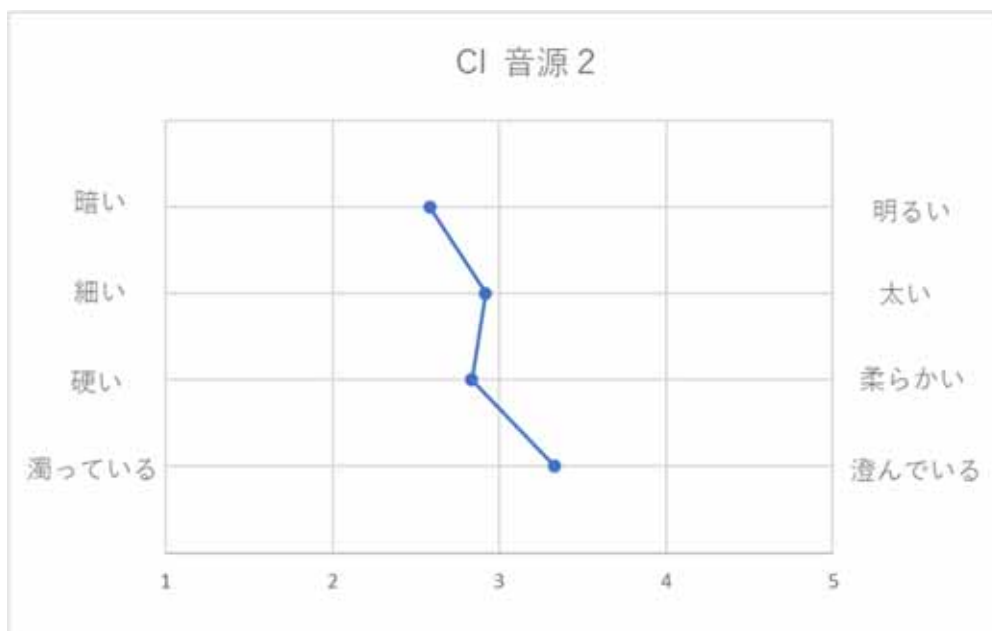


図 33 音源 2 のアンケート結果

図 33 を見ると、音は「暗い」寄りだが「澄んでいる」ように感じている。

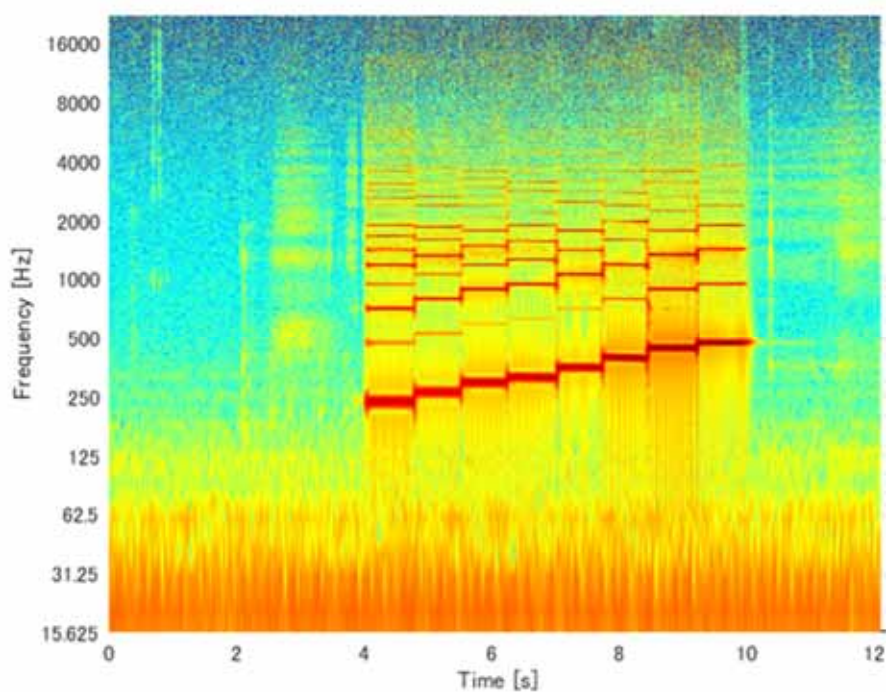


図 34 音源 2 のスペクトログラム

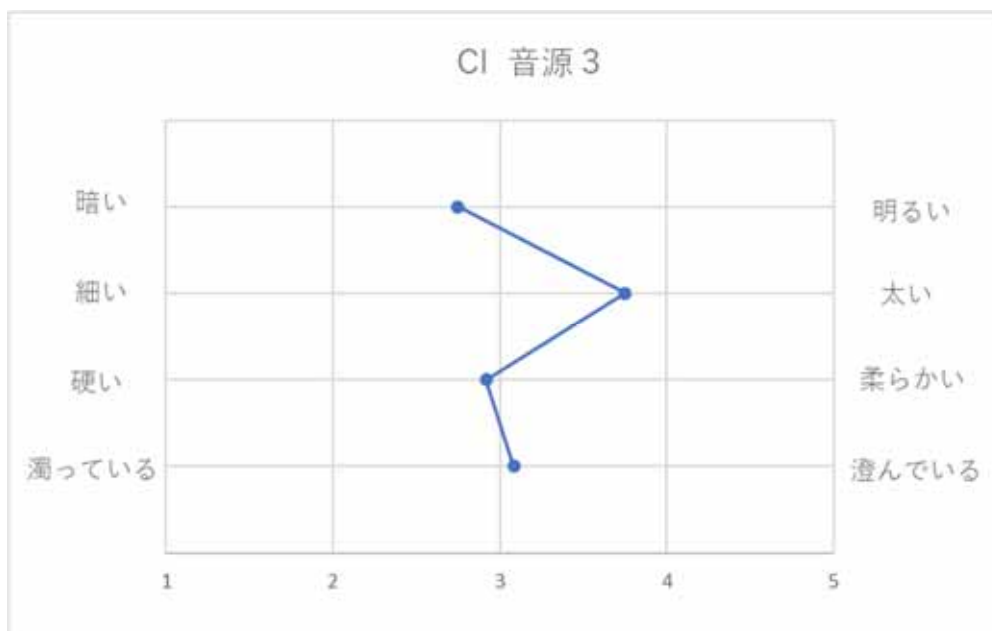


図 35 音源 3 のアンケート結果

図 35 を見ると、「太い」の割合がかなり多く、反対に少し「暗い」と感じている人もいる。

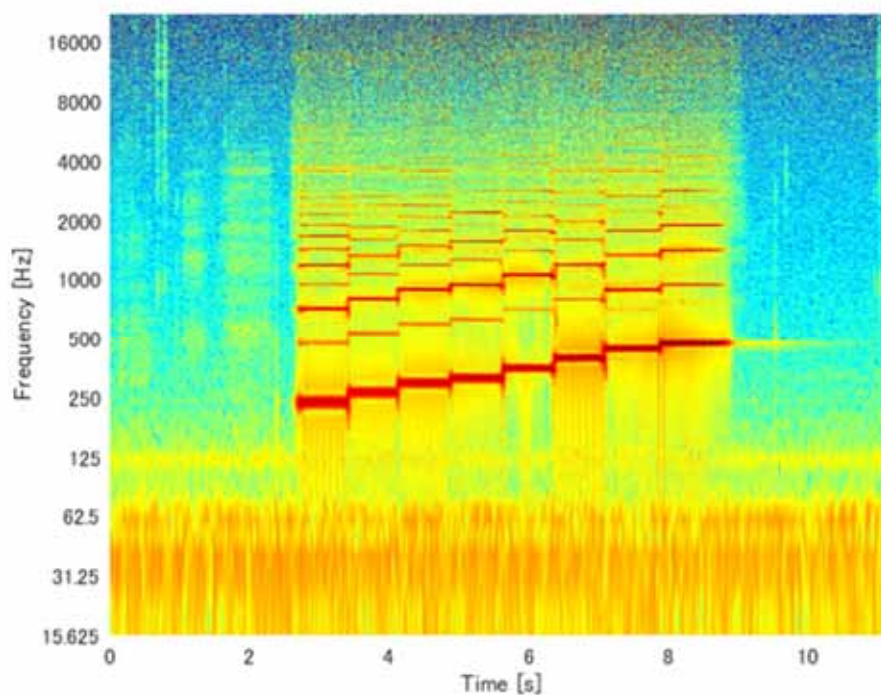


図 36 音源 3 のスペクトログラム

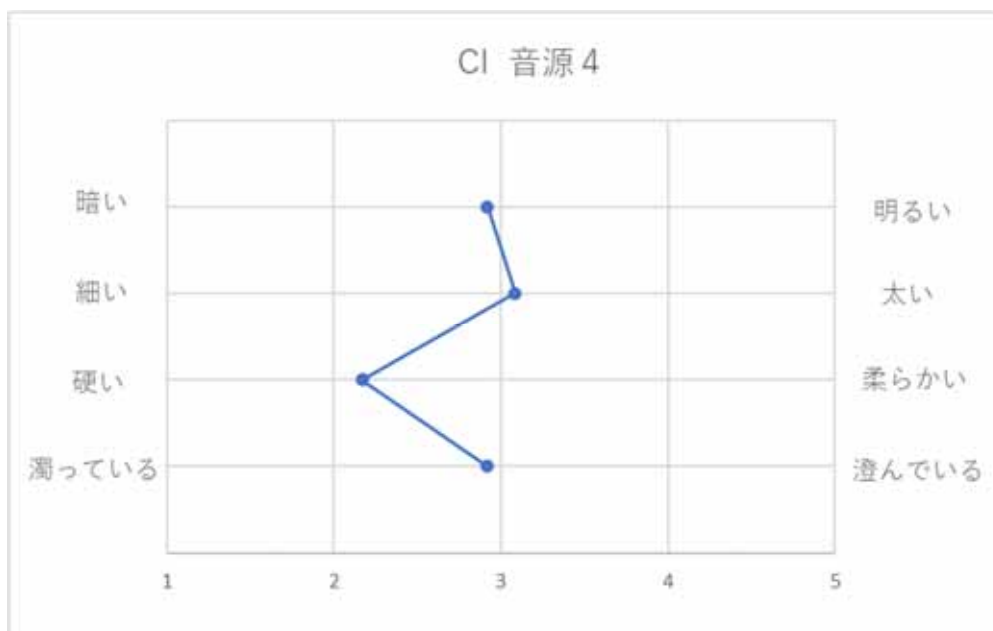


図 37 音源 4 のアンケート結果

図 37 を見ると、「硬い」にかなり評価が偏っているが、それ以外の項目はほとんどどちらともいえない。

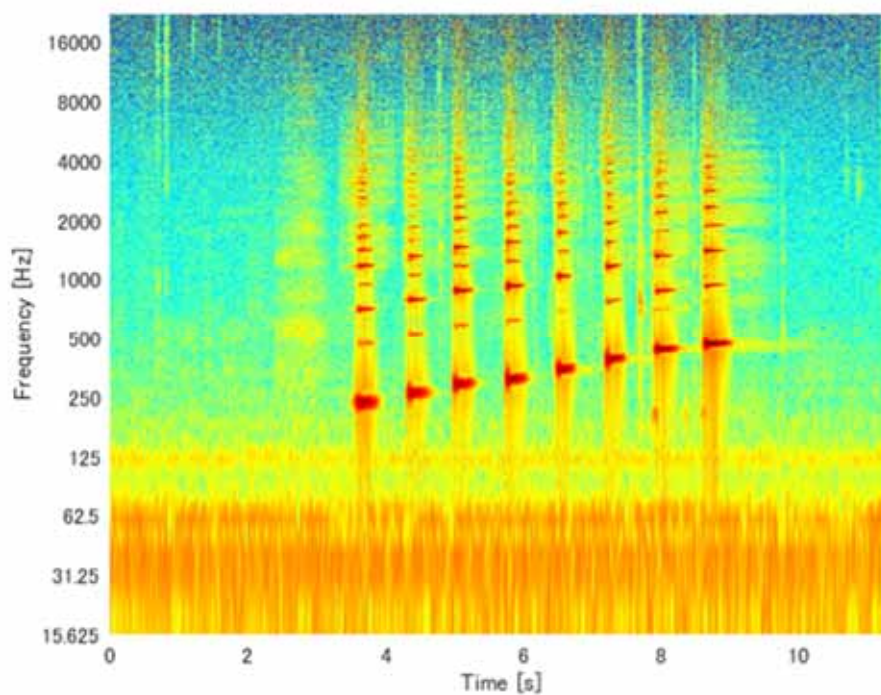


図 38 音源 4 のスペクトログラム

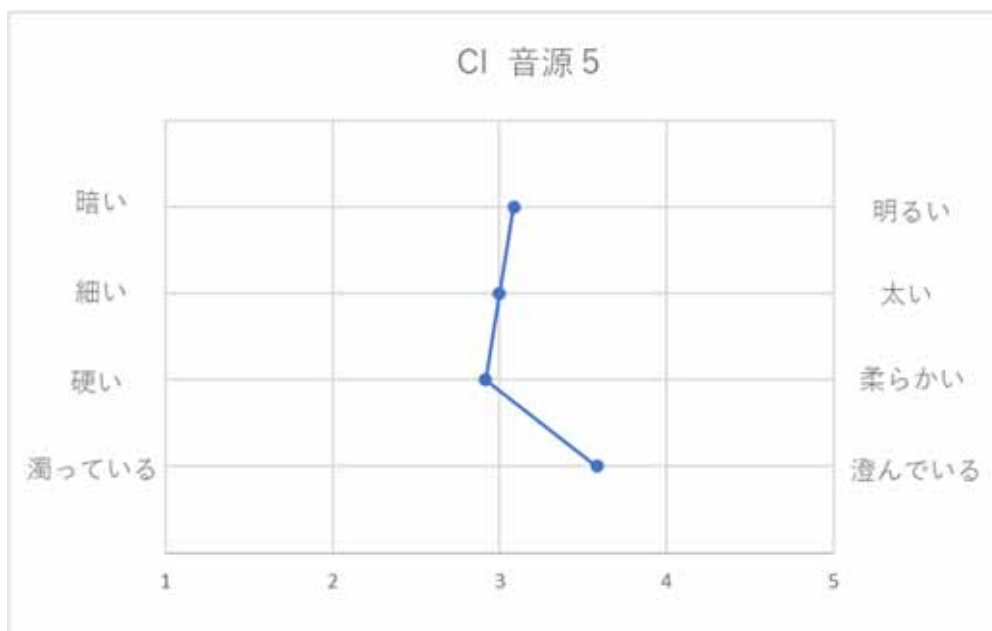


図 39 音源 5 のアンケート結果

図 39 を見ると、「澄んでいる」に偏りがみられ、その他はどちらともいえない。

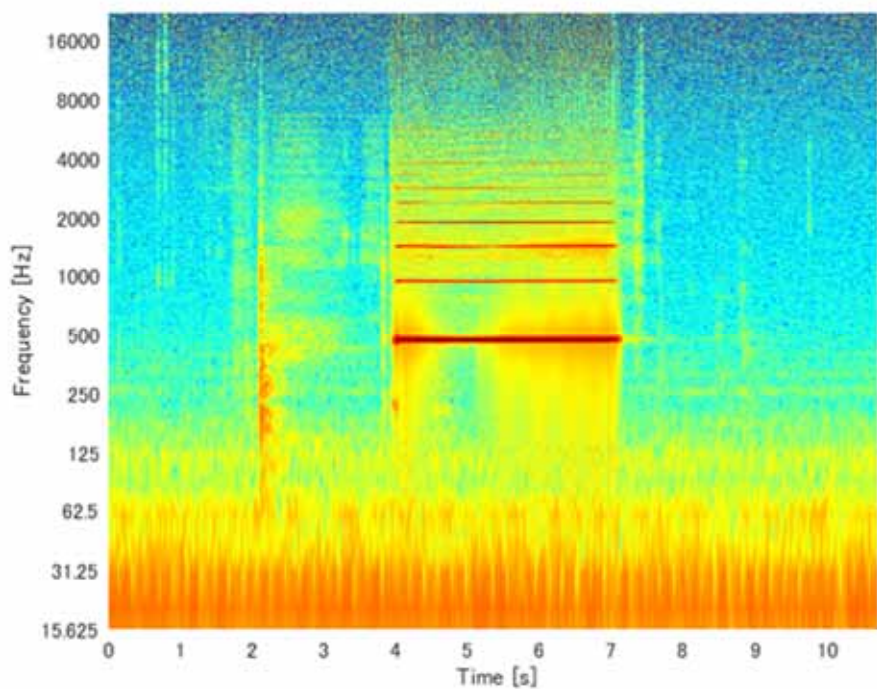


図 40 音源 5 のスペクトログラム

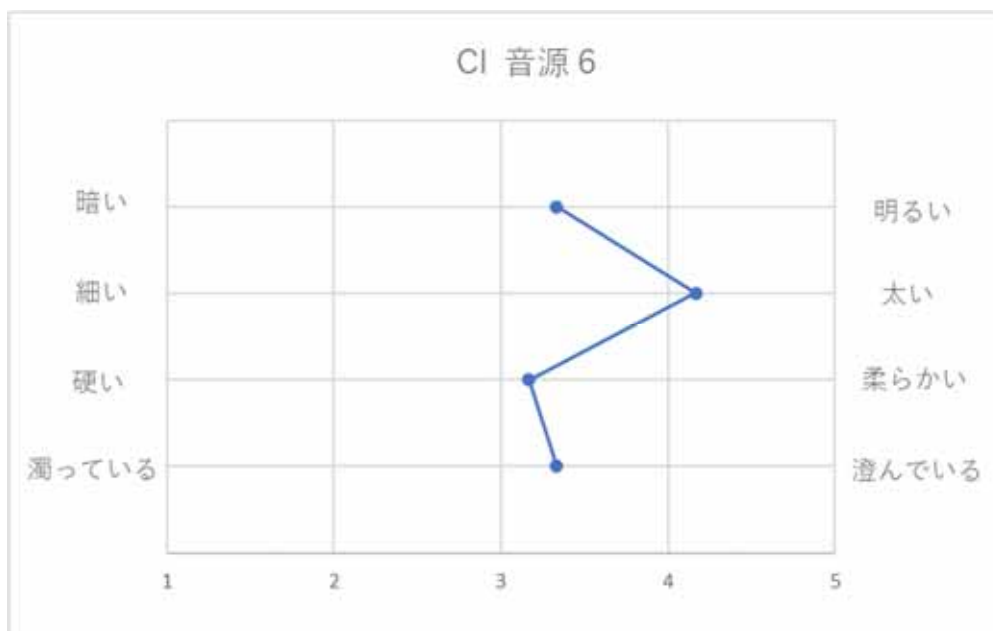


図 41 音源 6 のアンケート結果

図 41 を見ると、「太い」の割合がかなり高く、音源 3 とほぼ同じような形をしたグラフである。

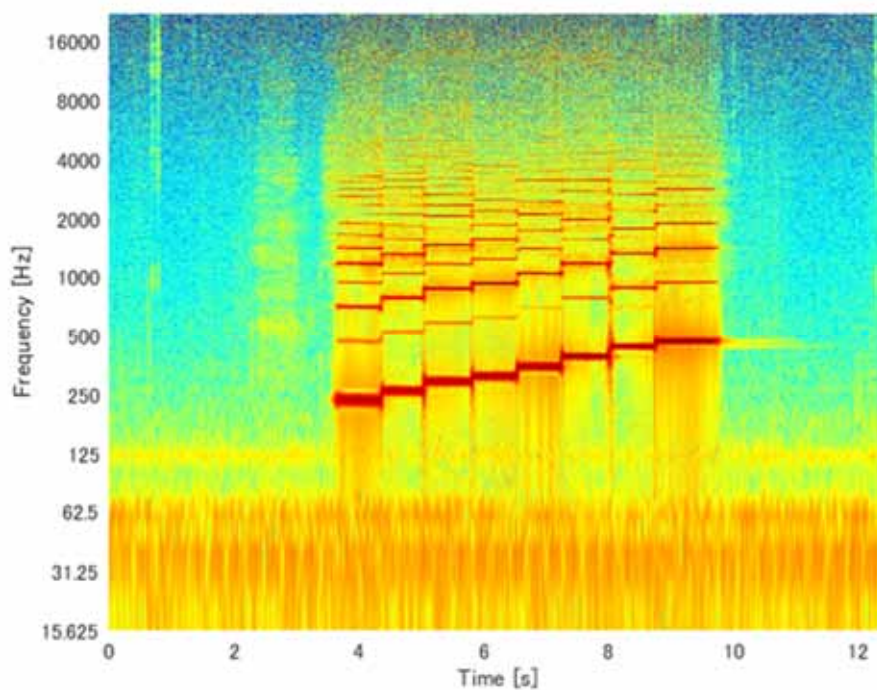


図 42 音源 6 のスペクトログラム

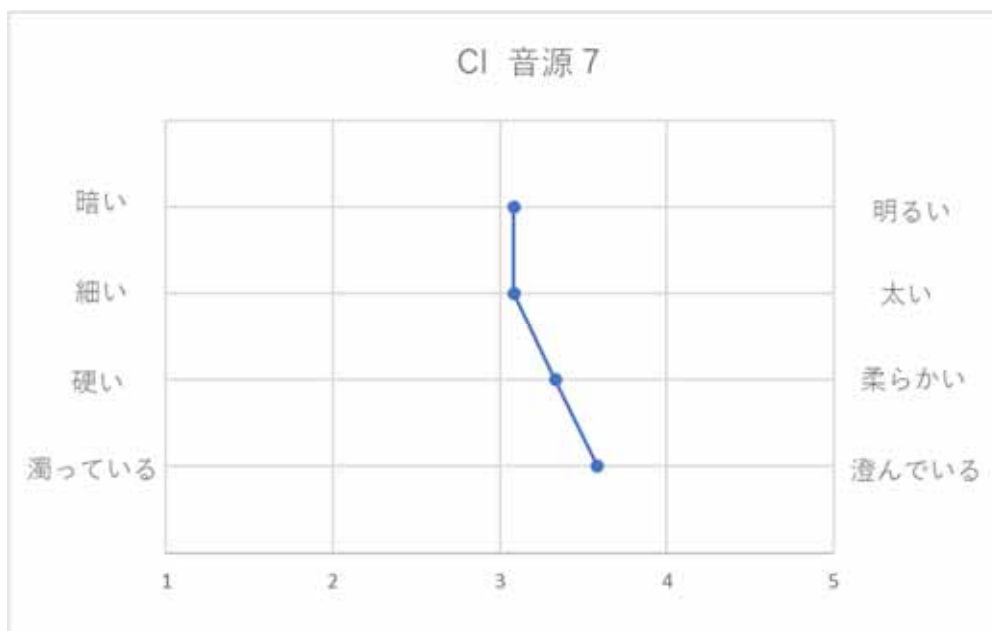


図 43 音源 7 のアンケート結果

図 43 を見ると、「澄んでいる」に偏りがあり、その次に「柔らかい」である。

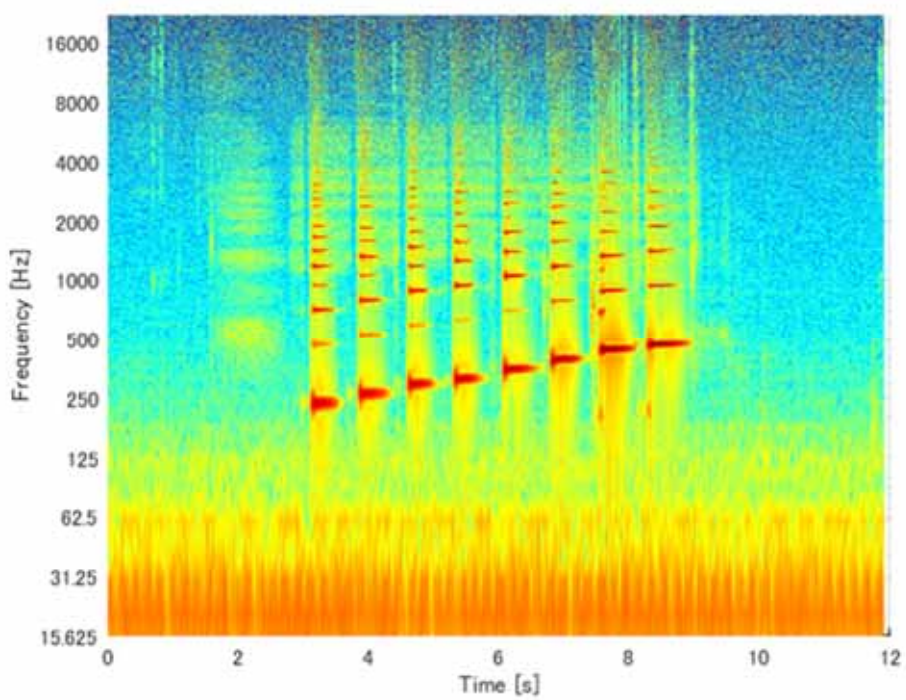


図 44 音源 7 のスペクトログラム

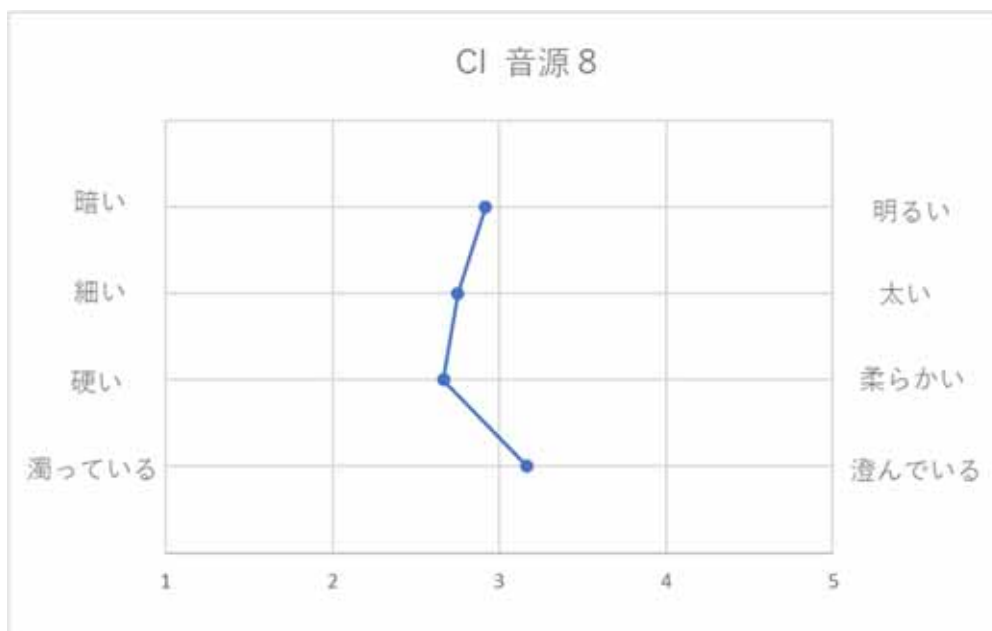


図 45 音源 8 のアンケート結果

図 45 を見ると、「硬い」に偏りが見られ、グラフの形としては音源 5 と似ている。

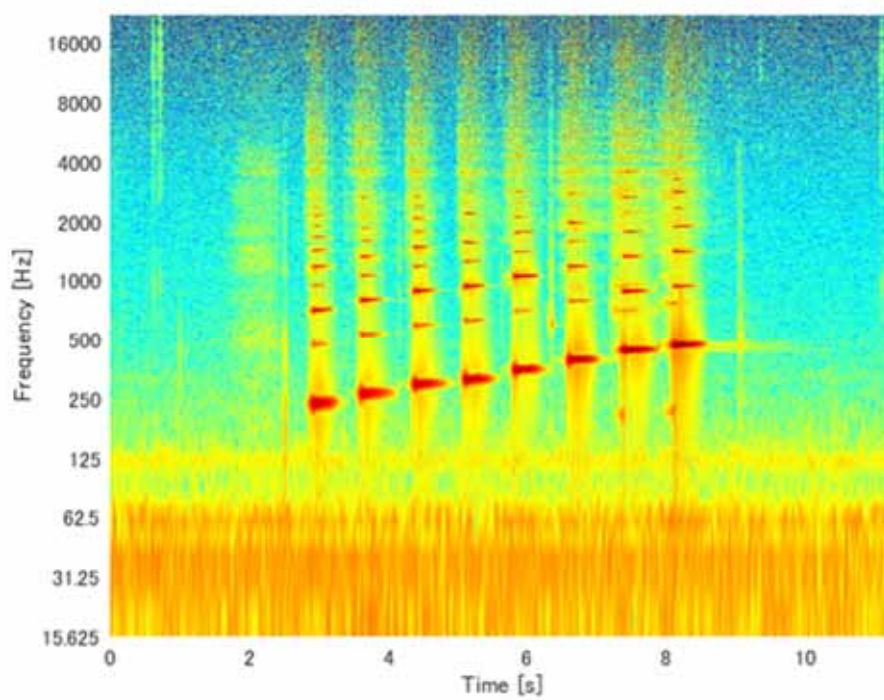


図 46 音源 8 のスペクトログラム

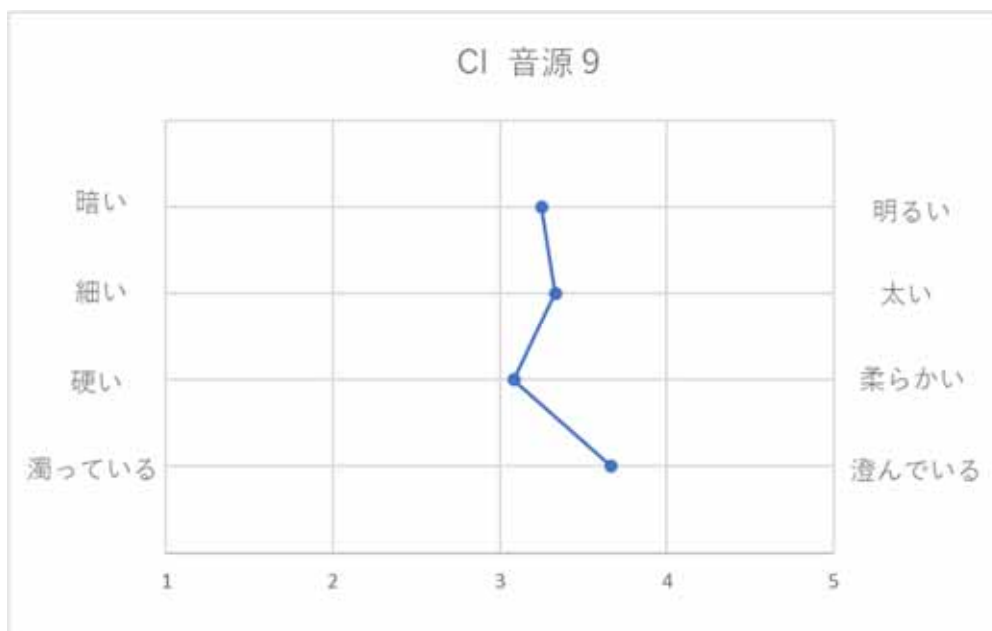


図 47 音源 9 のアンケート結果

図 47 を見ると、「澄んでいる」の評価が多く、比較的右寄りのグラフとなっている。

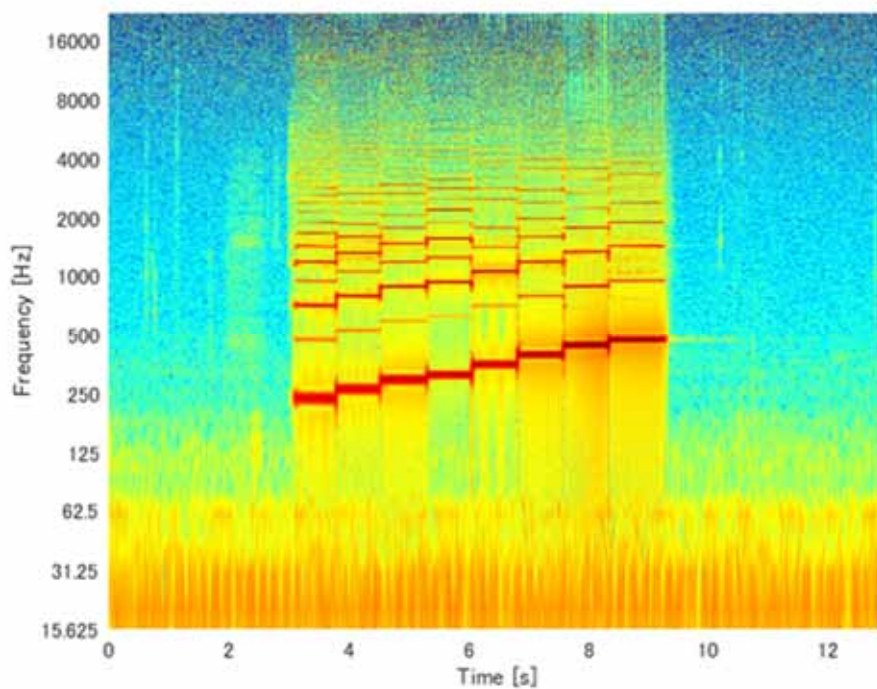


図 48 音源 9 のスペクトログラム

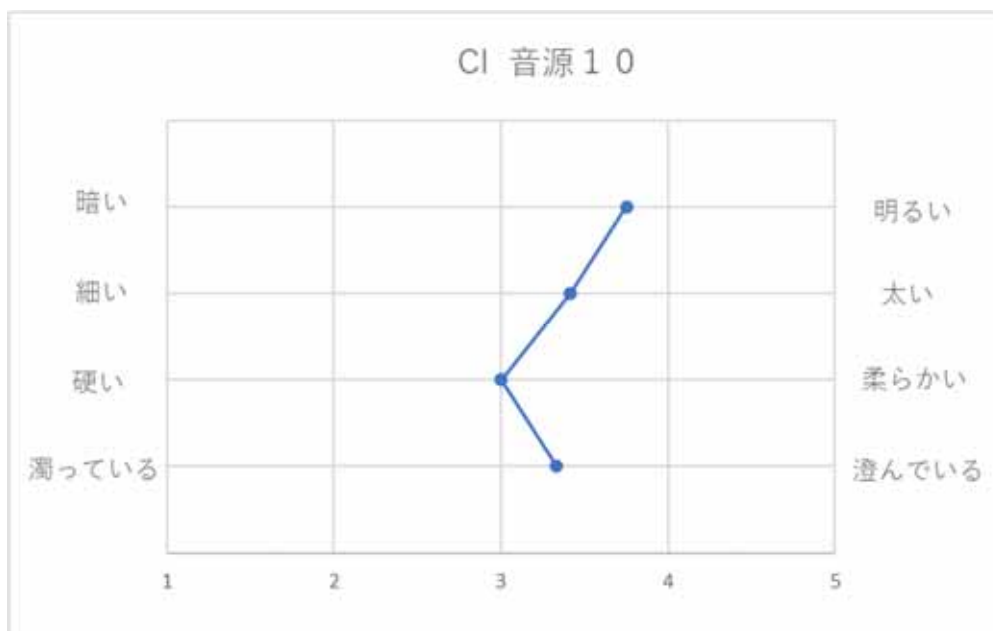


図 49 音源 10 のアンケート結果

図 49 を見ると、「明るい」の割合が多く、ついで「太い」「澄んでいる」も多い。

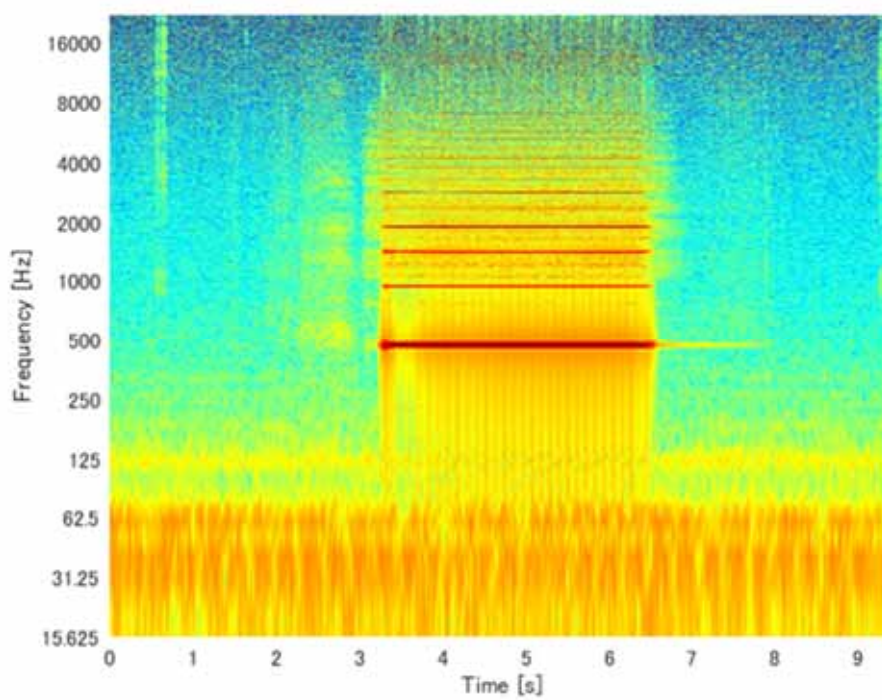


図 50 音源 10 のスペクトログラム

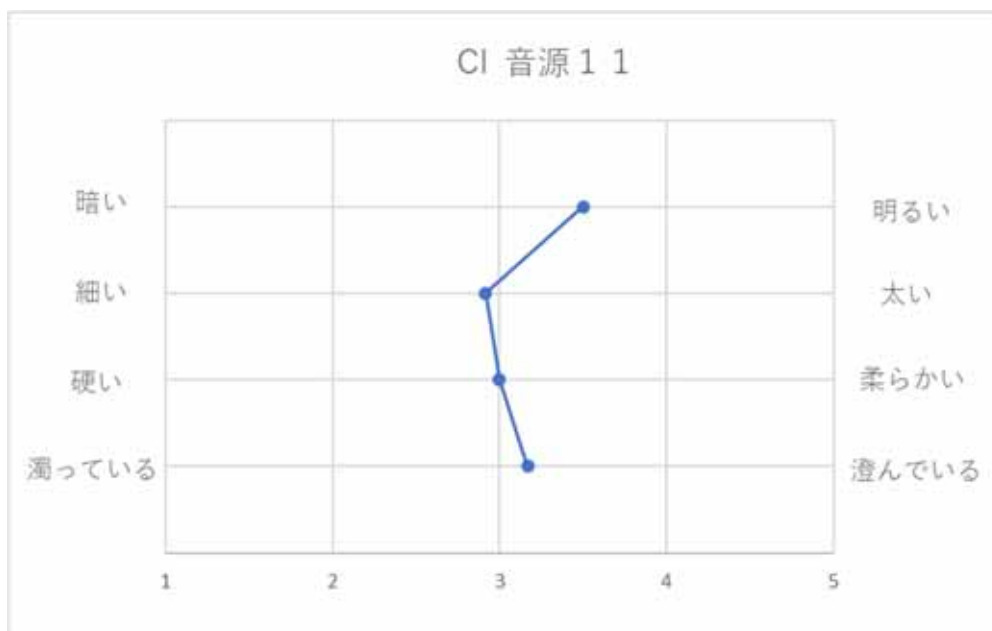


図 51 音源 1 1 のアンケート結果

図 51 を見ると、「明るい」に偏りがみられ、他の項目はどちらともいえない。

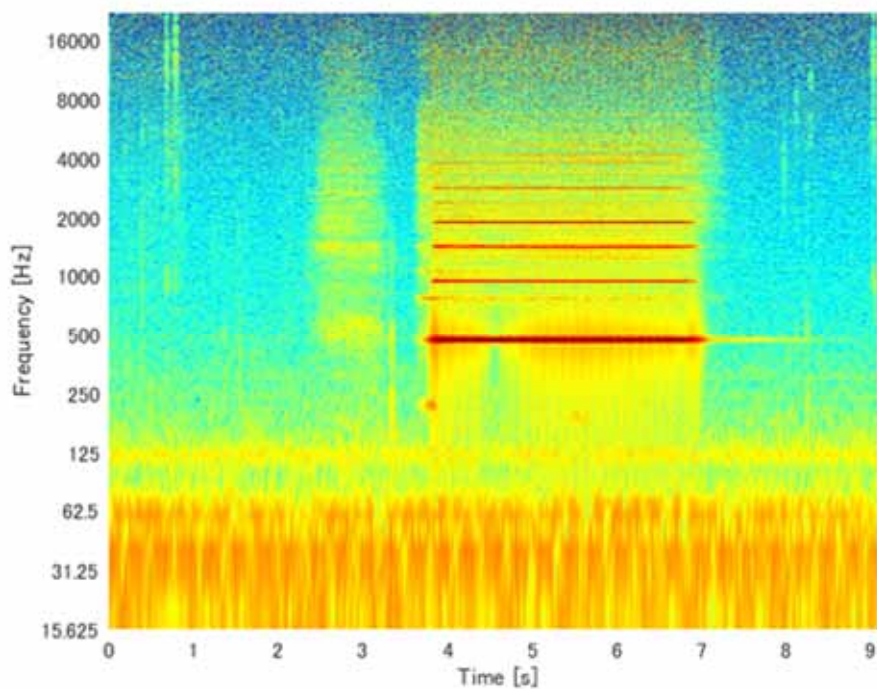


図 52 音源 1 1 のスペクトログラム

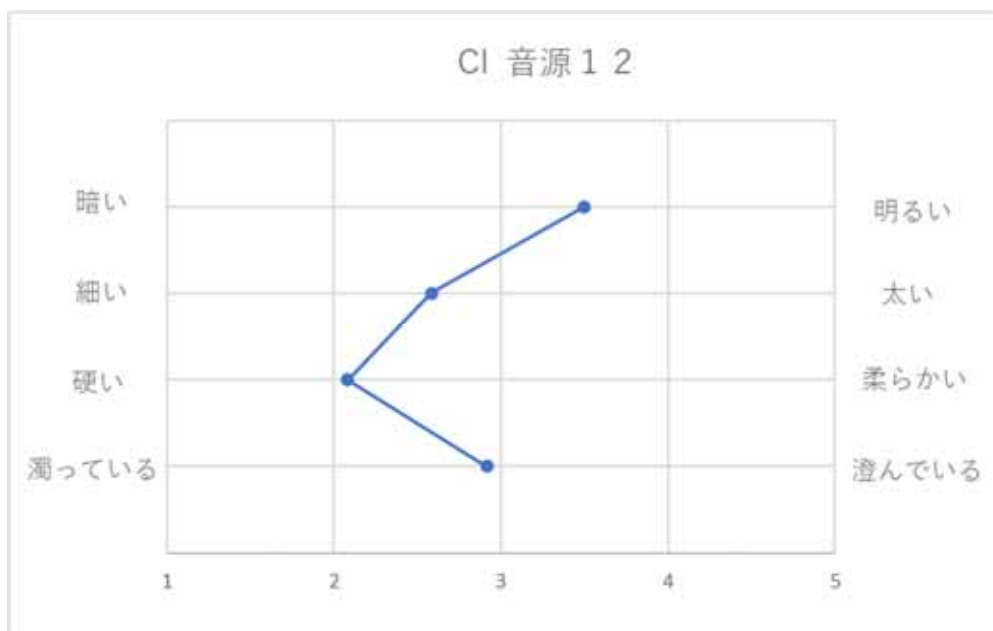


図 53 音源 1 2 のアンケート結果

図 53 を見ると、「硬い」「明るい」に大きな偏りが見られる。

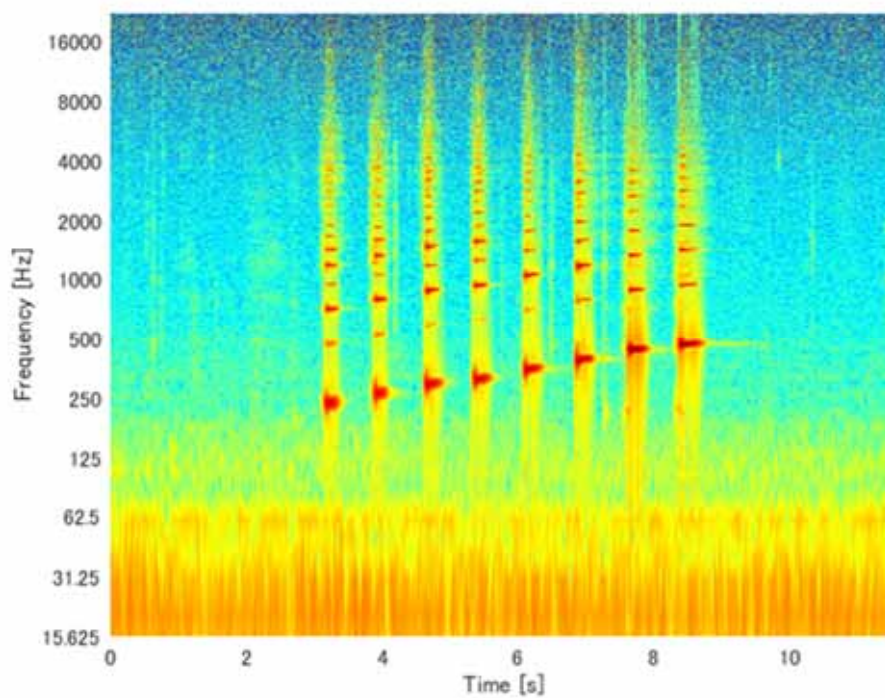


図 54 音源 1 2 のスペクトログラム

・Tb

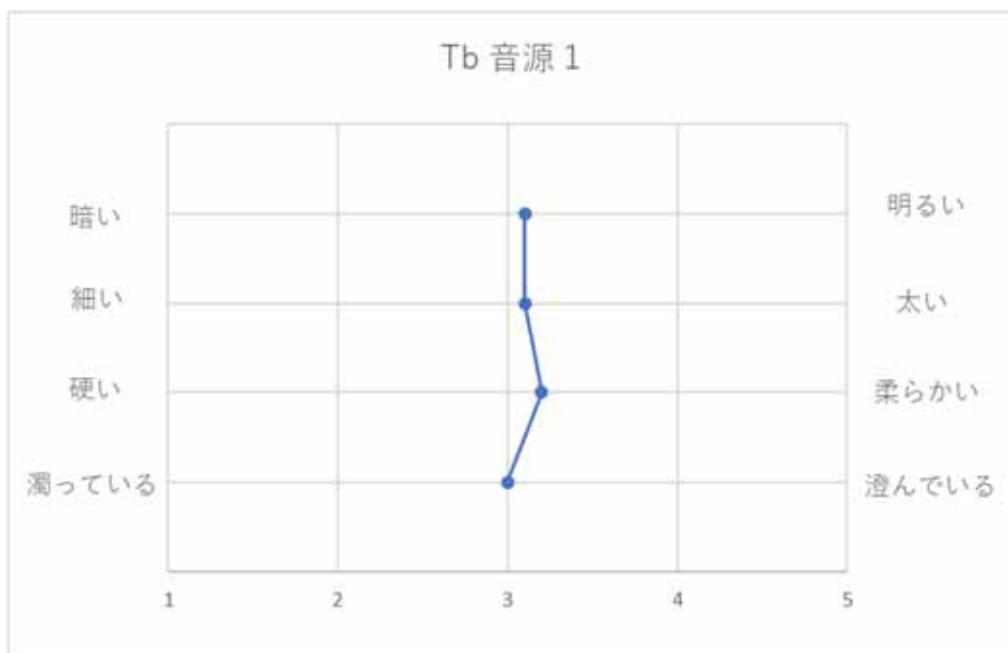


図 55 音源 1 のアンケート結果

図 55 を見ると、全ての項目において平均的なグラフとなっている。

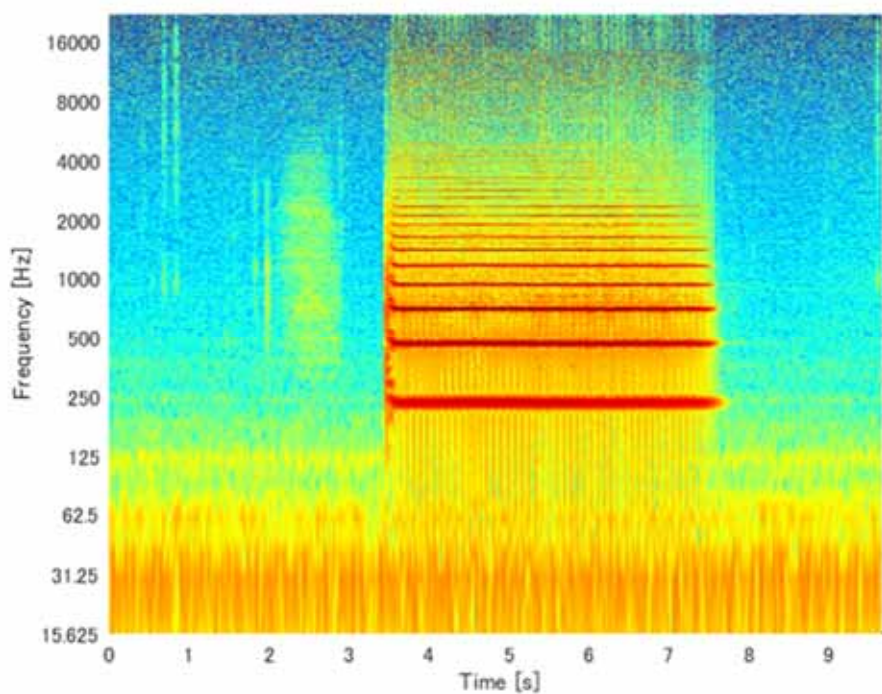


図 56 音源 1 のスペクトログラム

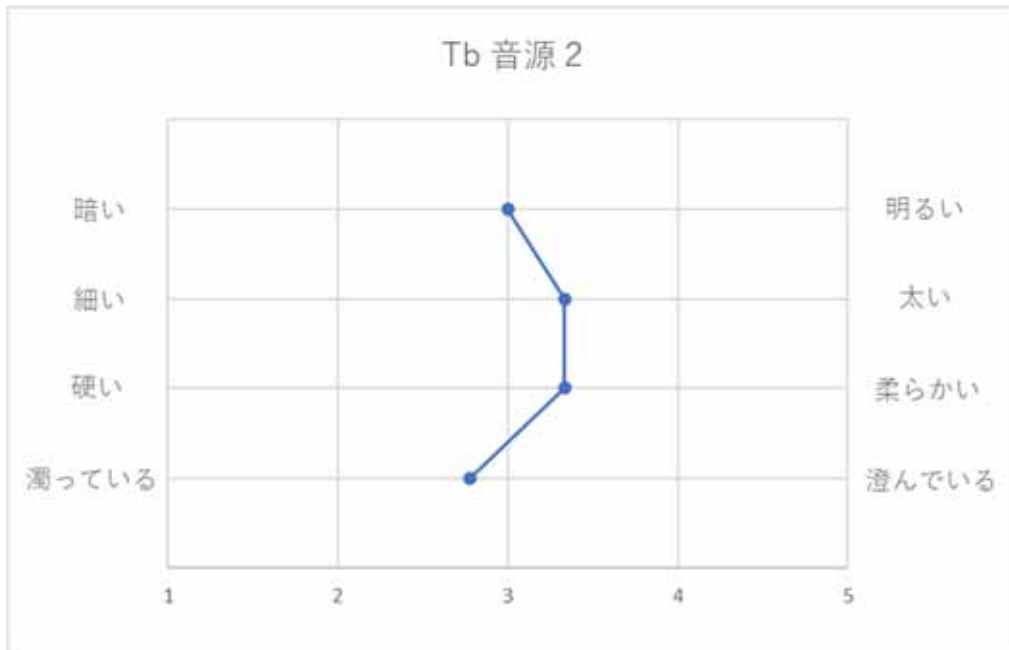


図 57 音源 2 のアンケート結果

図 57 を見ると、「太い」「柔らかい」「濁っている」に偏りがみられる。

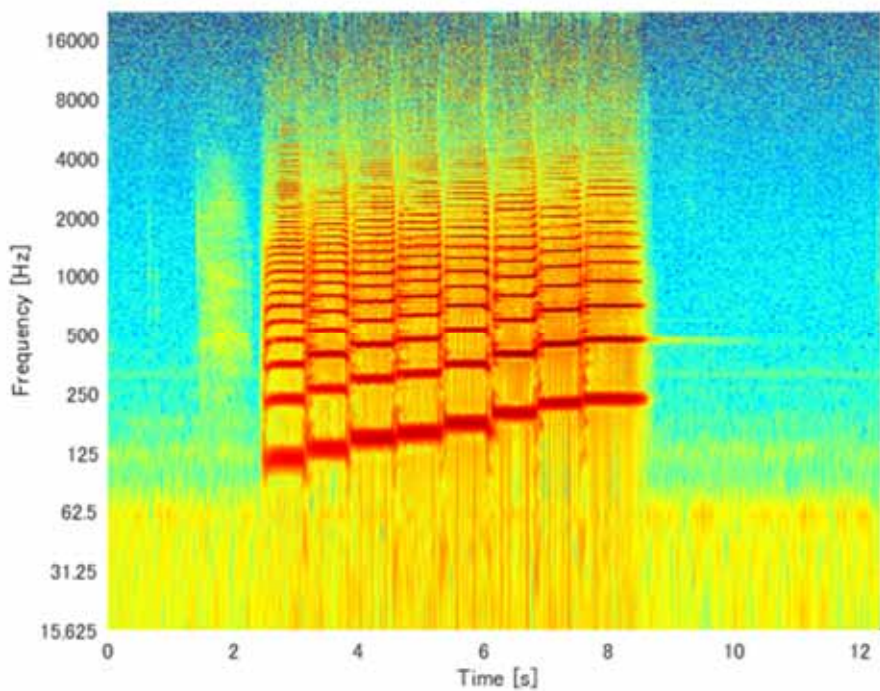


図 58 音源 2 のスペクトログラム

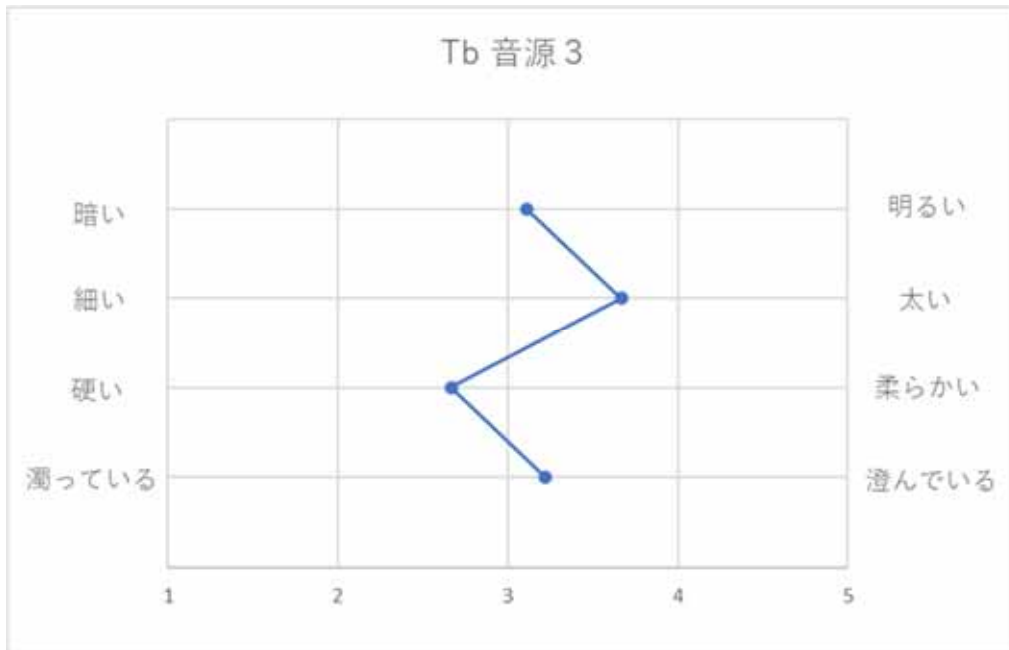


図 59 音源 3 のアンケート結果

図 59 を見ると、「太い」の割合がかなり多く、「硬い」という評価もみられる。

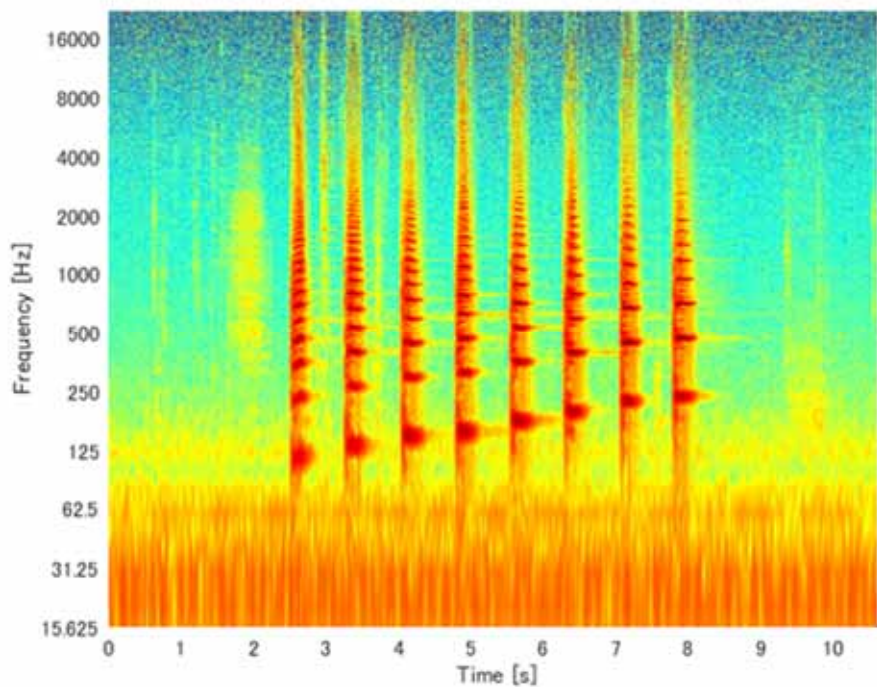


図 60 音源 3 のスペクトログラム

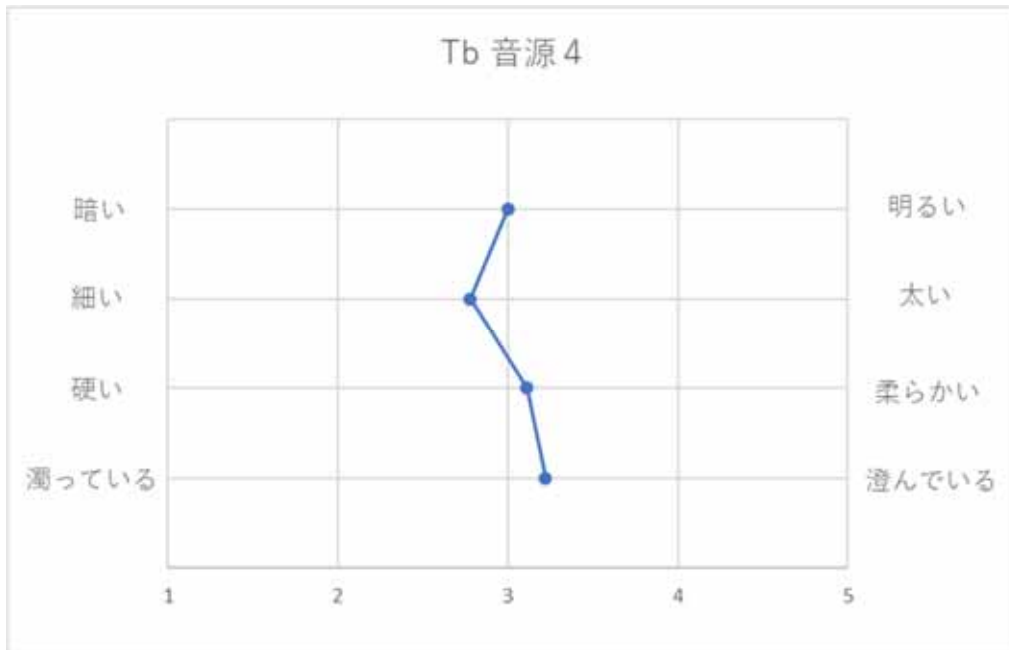


図 61 音源 4 のアンケート結果

図 61 を見ると、偏りは少ないが、「細い」「澄んでいる」に少し偏りがでている。

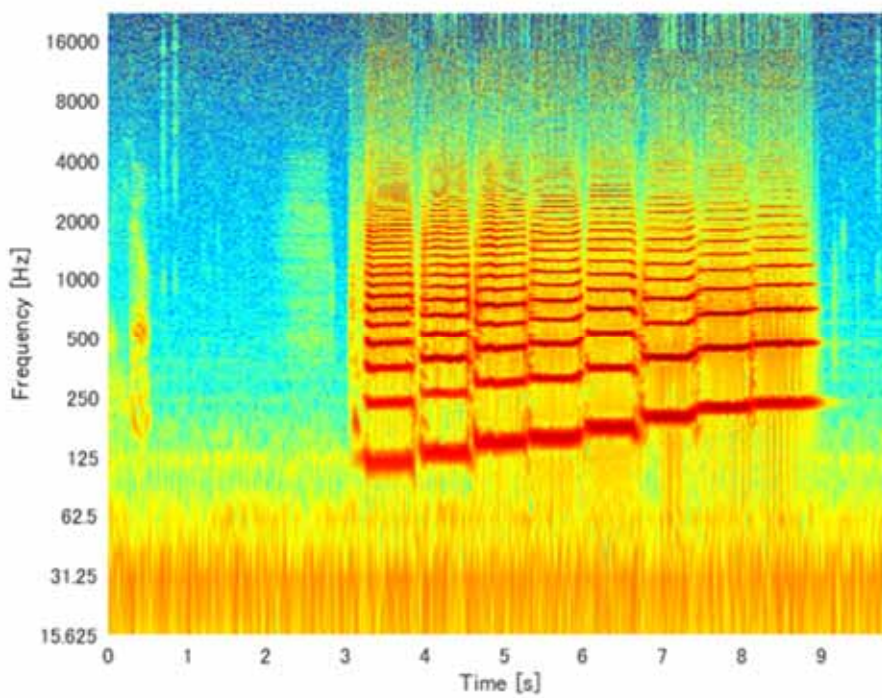


図 62 音源 4 のスペクトログラム

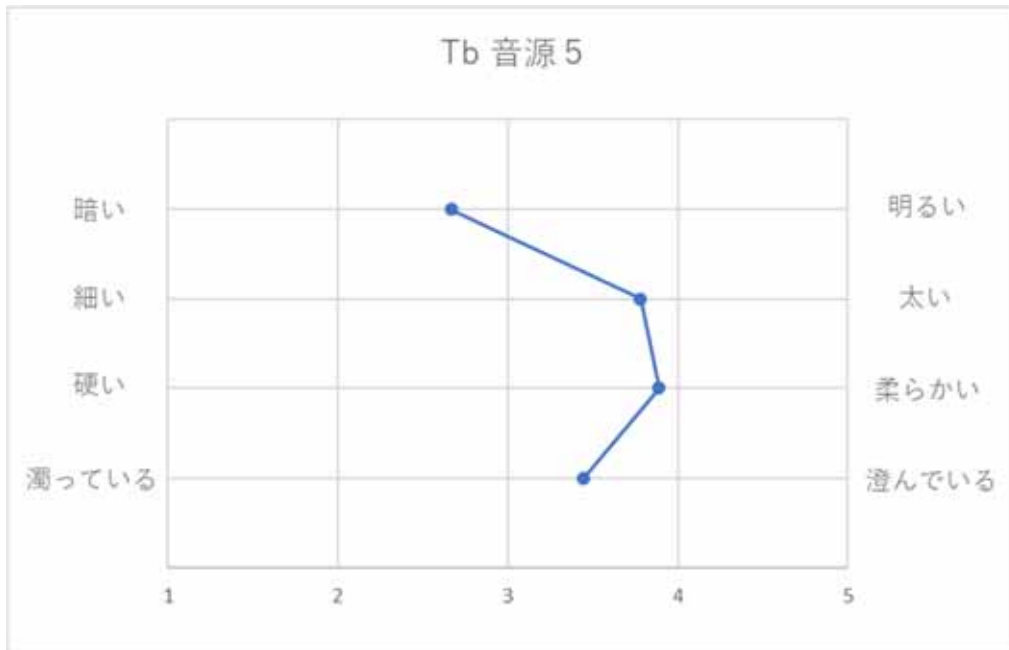


図 63 音源 5 のアンケート結果

図 63 を見ると、「暗い」以外の項目がかなり右側寄りのグラフとなっている。

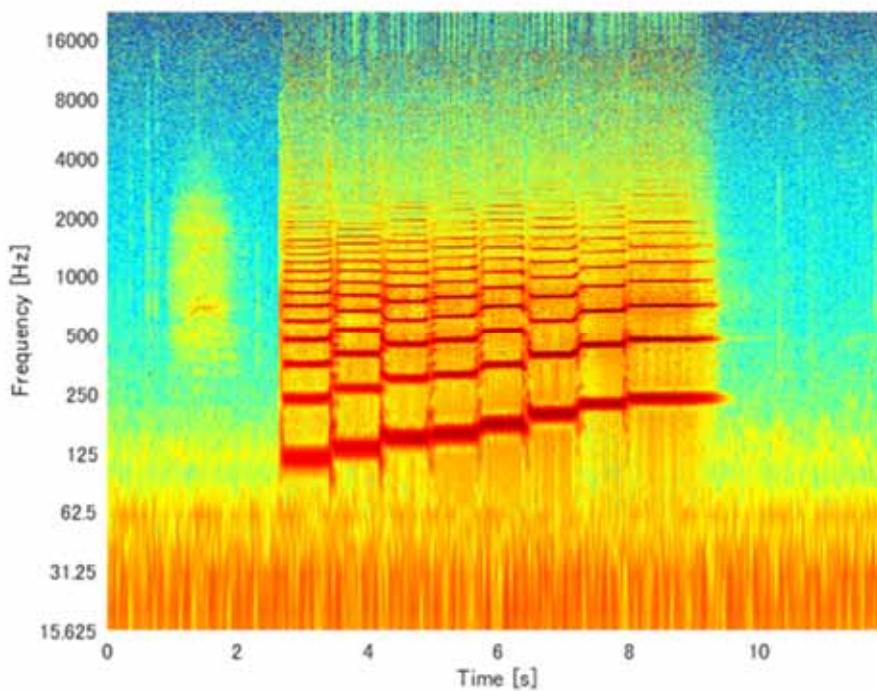


図 64 音源 5 のスペクトログラム

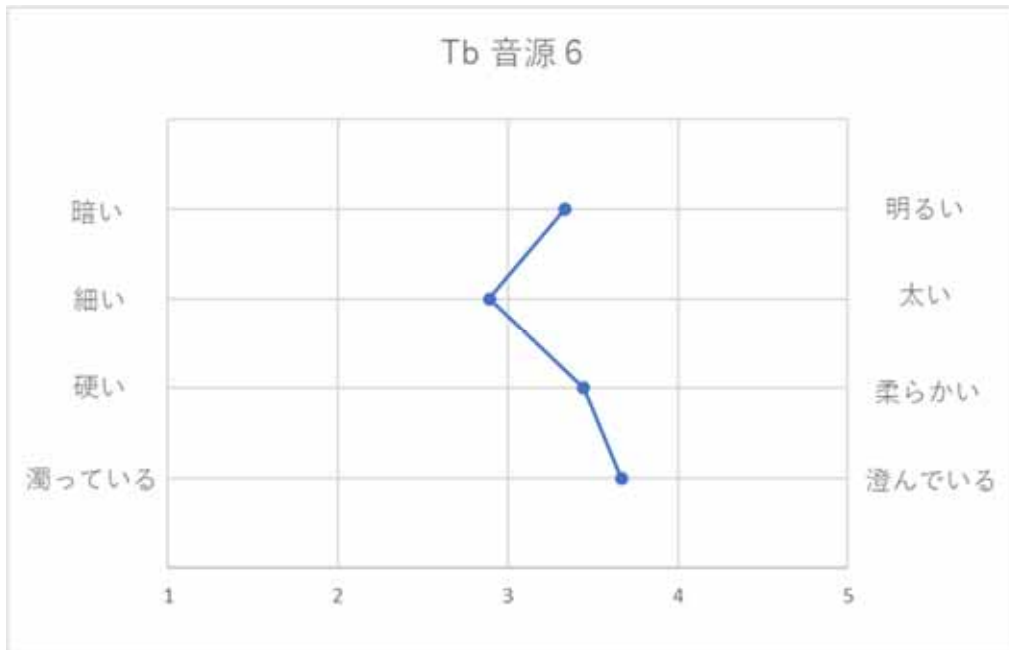


図 65 音源 6 のアンケート結果

図 65 を見ると、「澄んでいる」の割合が多く、ついで「柔らかい」という評価も多い。

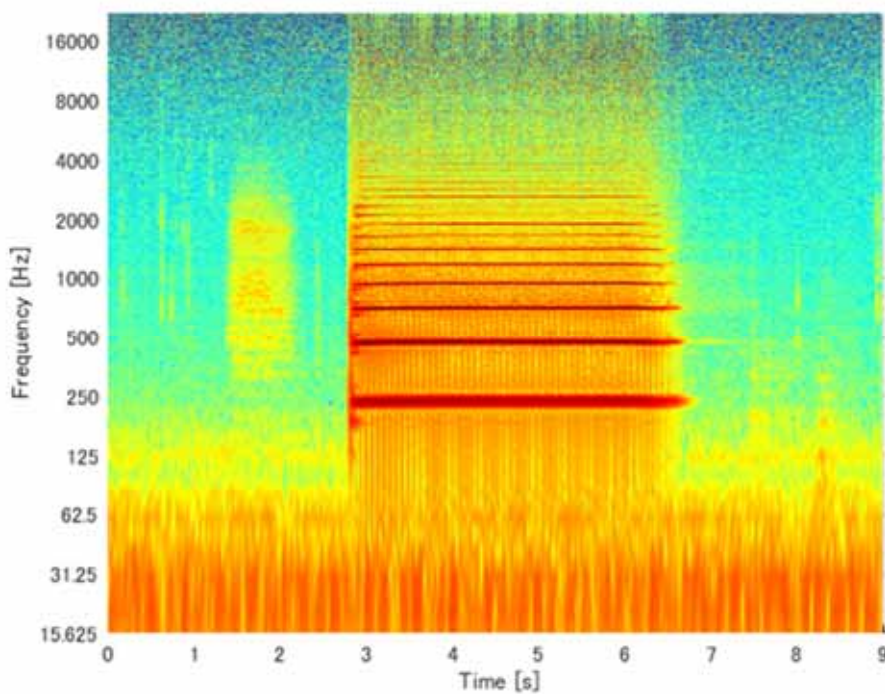


図 66 音源 6 のスペクトログラム

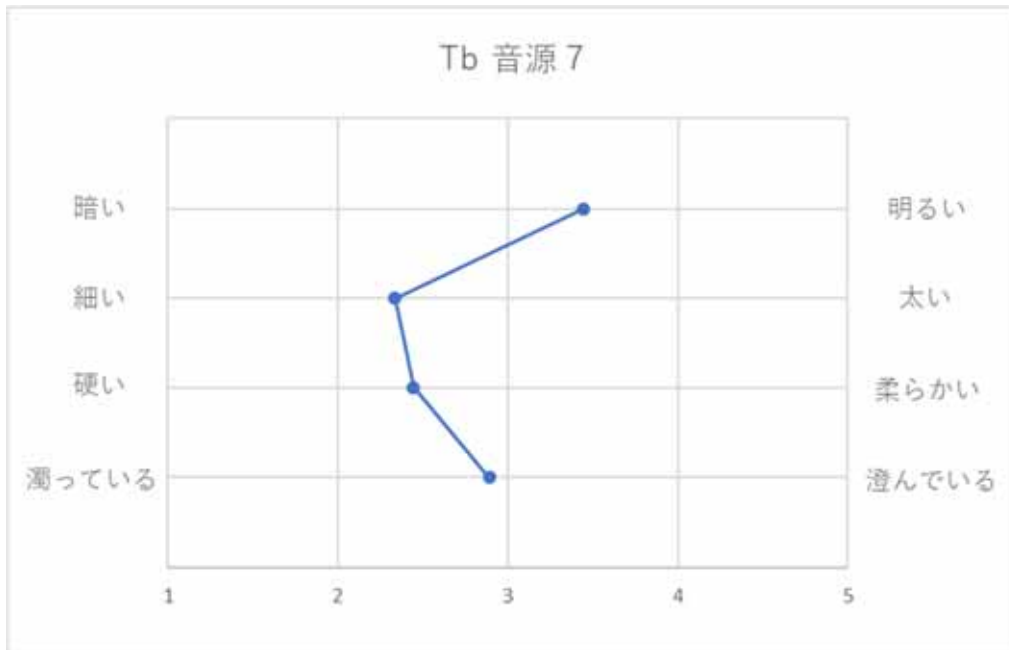


図 67 音源 7 のアンケート結果

図 67 を見ると、「明るい」が「細い」「硬い」音という結果が見てわかる。

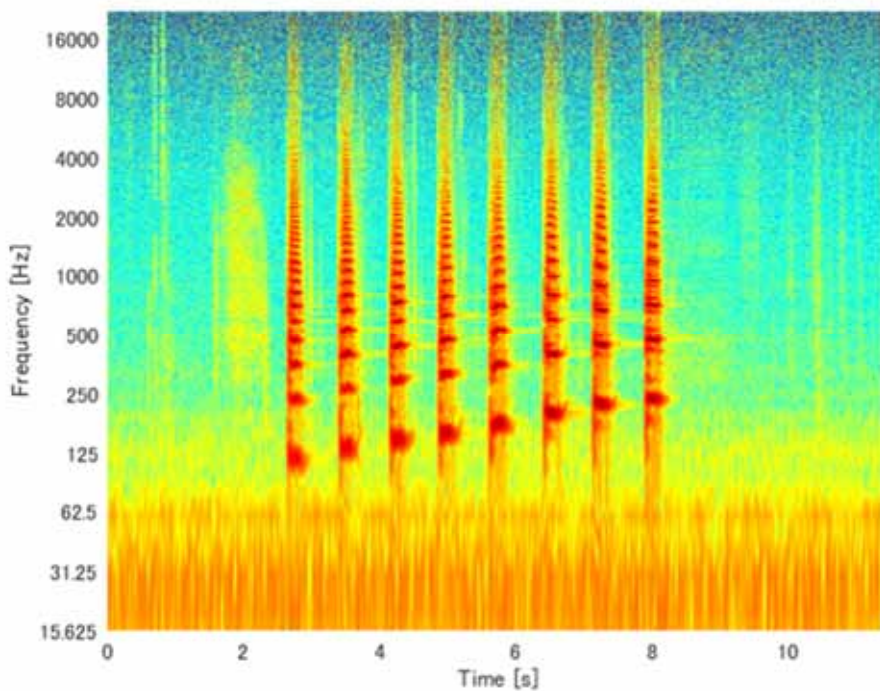


図 68 音源 7 のスペクトログラム

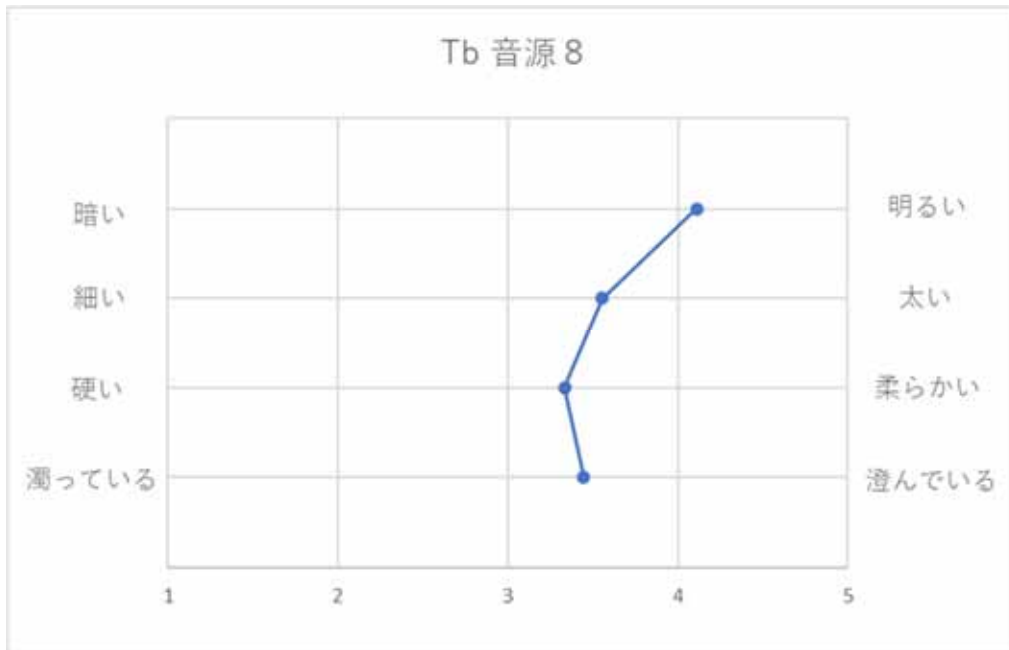


図 69 音源 8 のアンケート結果

図 69 を見ると、「明るい」評価がかなり多く、全体的に右側寄りのグラフとなっている。

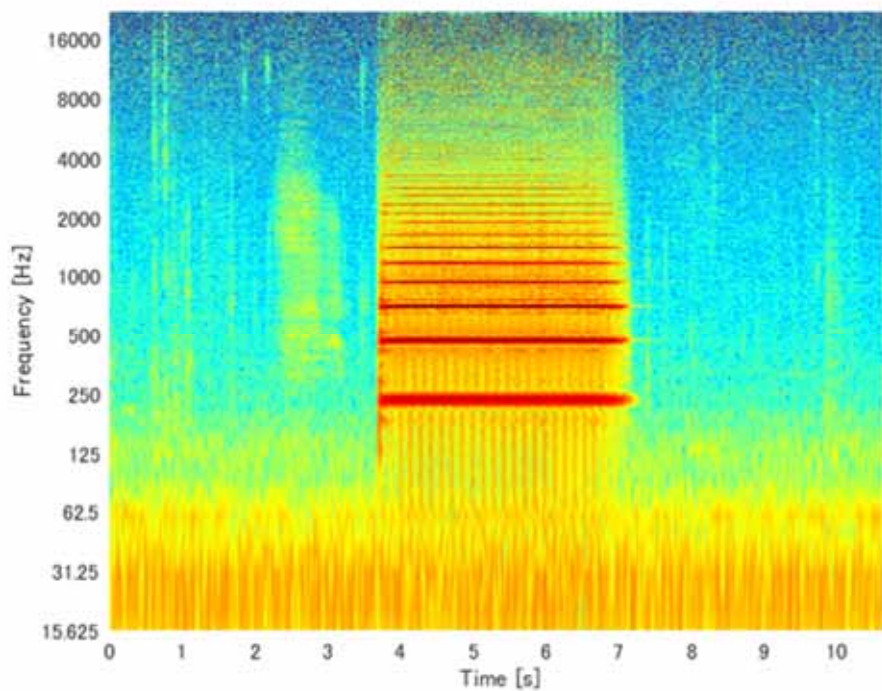


図 70 音源 8 のスペクトログラム

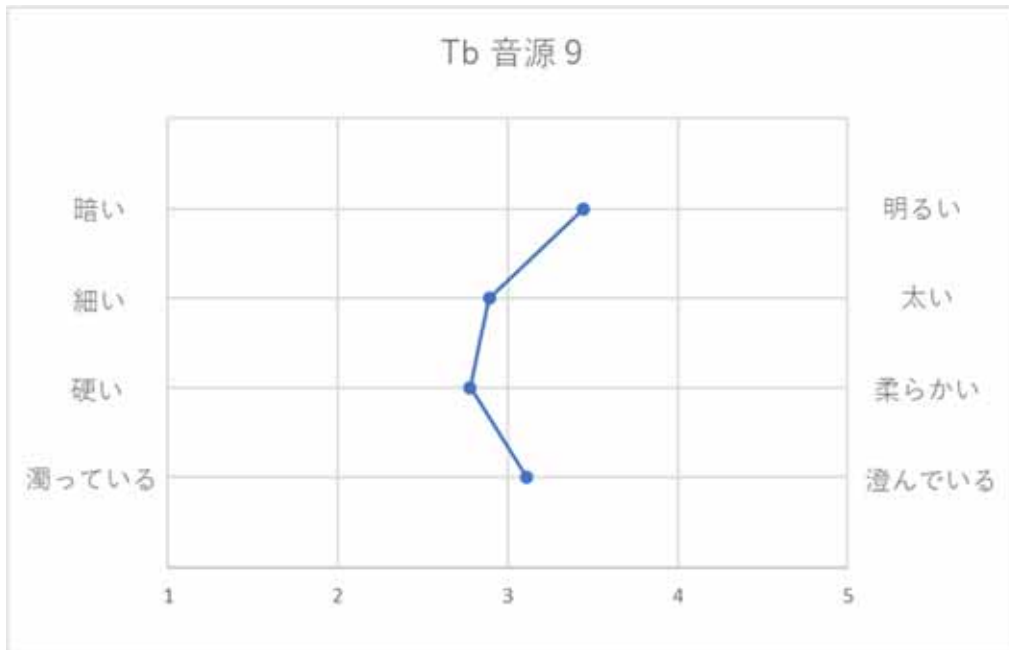


図 71 音源 9 のアンケート結果

図 71 を見ると、「明るい」評価が多いが、「硬い」という評価も出ている。

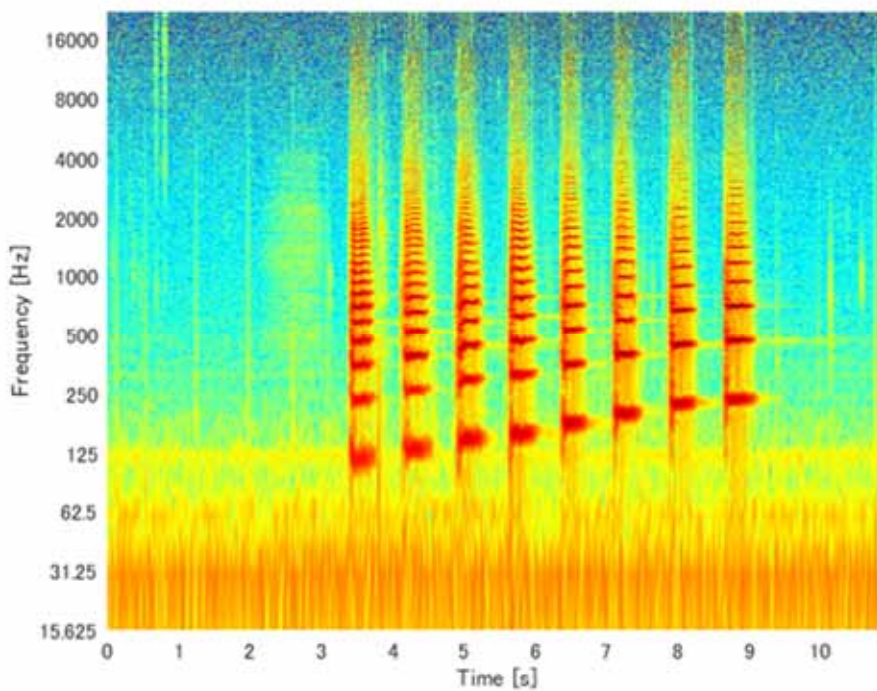


図 72 音源 9 のスペクトログラム

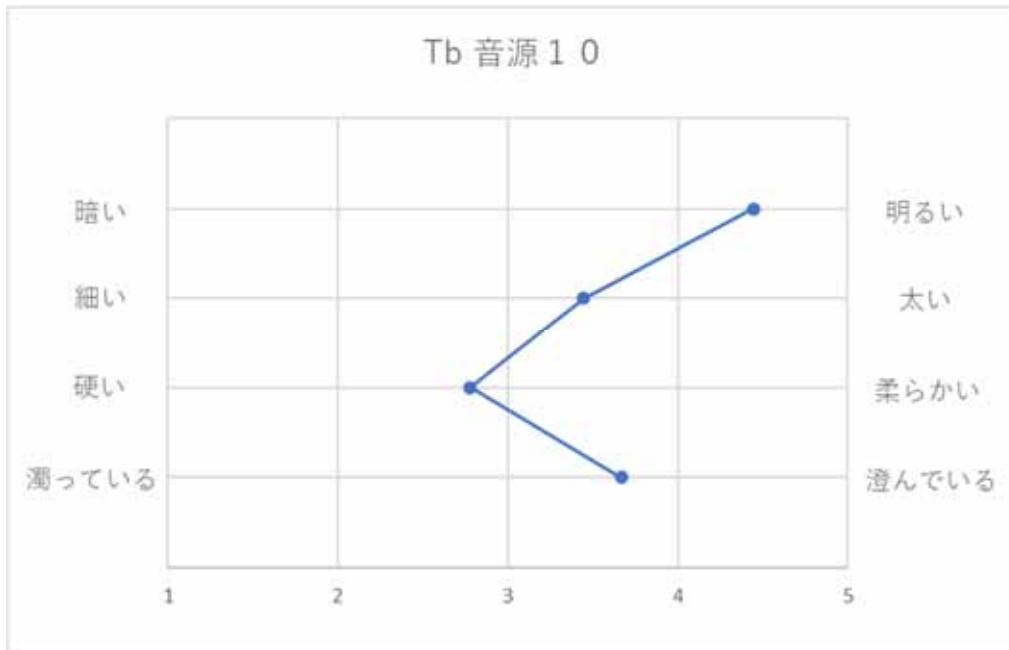


図 73 音源 10 のアンケート結果

図 73 を見ると、「明るい」評価がかなり高い。そして「太い」「澄んでいる」。

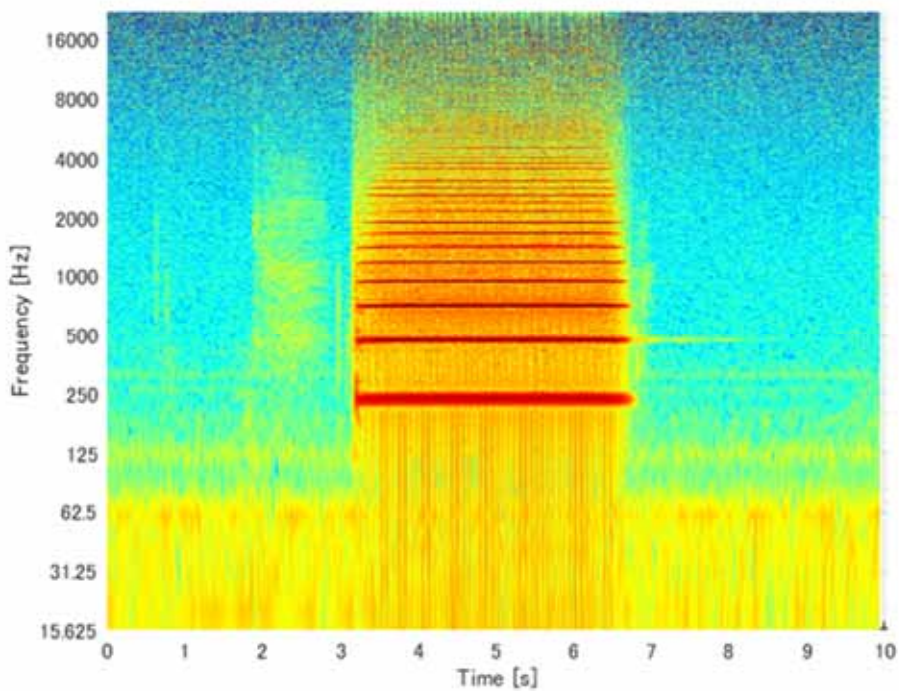


図 74 音源 10 のスペクトログラム

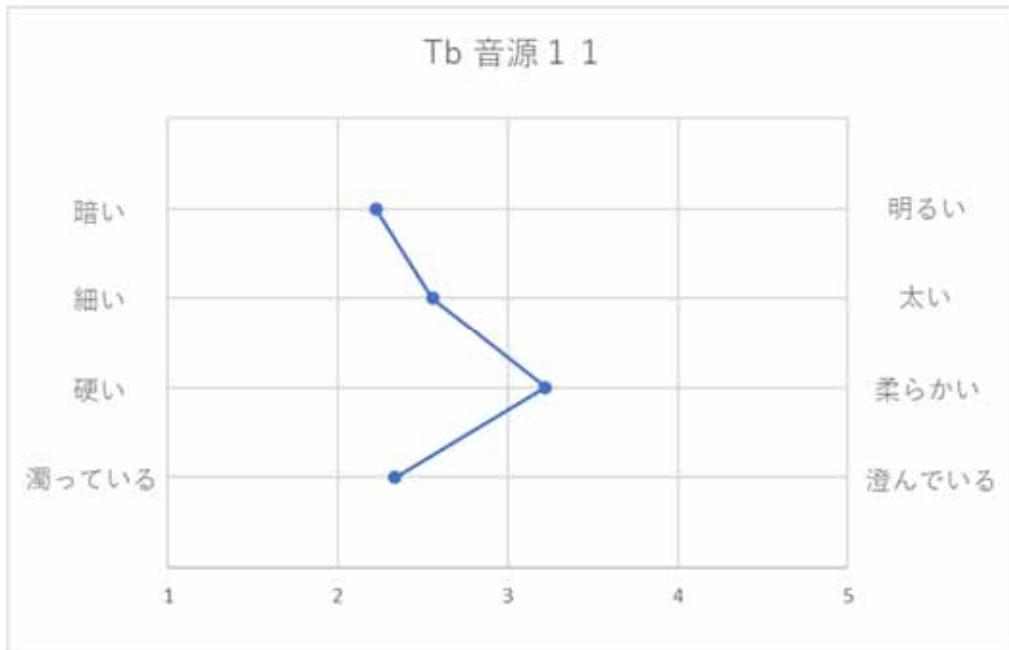


図 75 音源 1 1 のアンケート結果

図 75 を見ると、「細い」「濁っている」「細い」に評価が偏っていた。

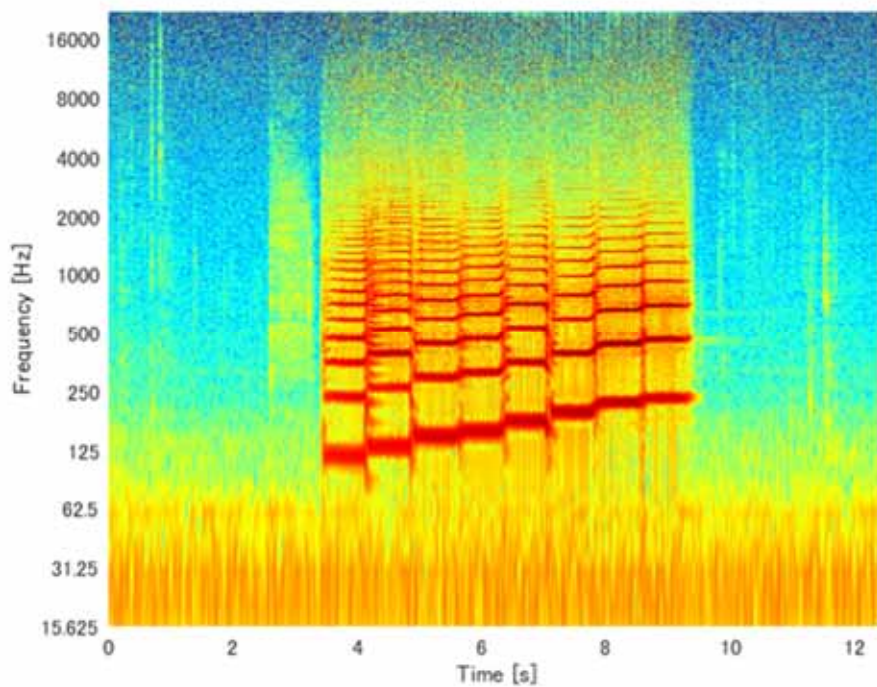


図 76 音源 1 1 のスペクトログラム

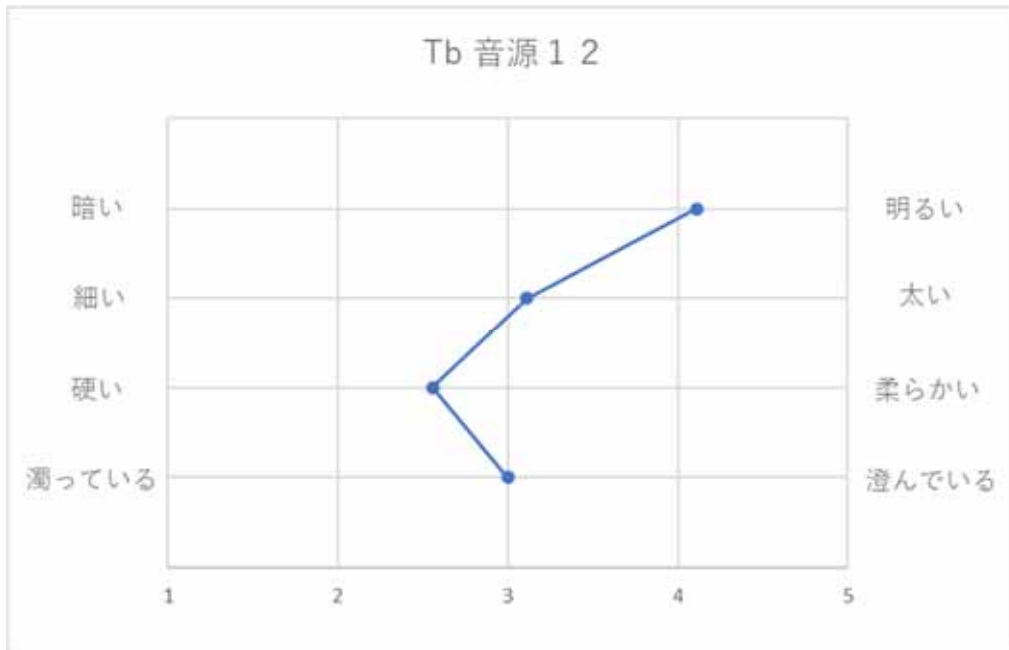


図 77 音源 1 2 のアンケート結果

図 77 を見ると、こちらもかなり「明るい」評価が高く、「硬い」寄りである。

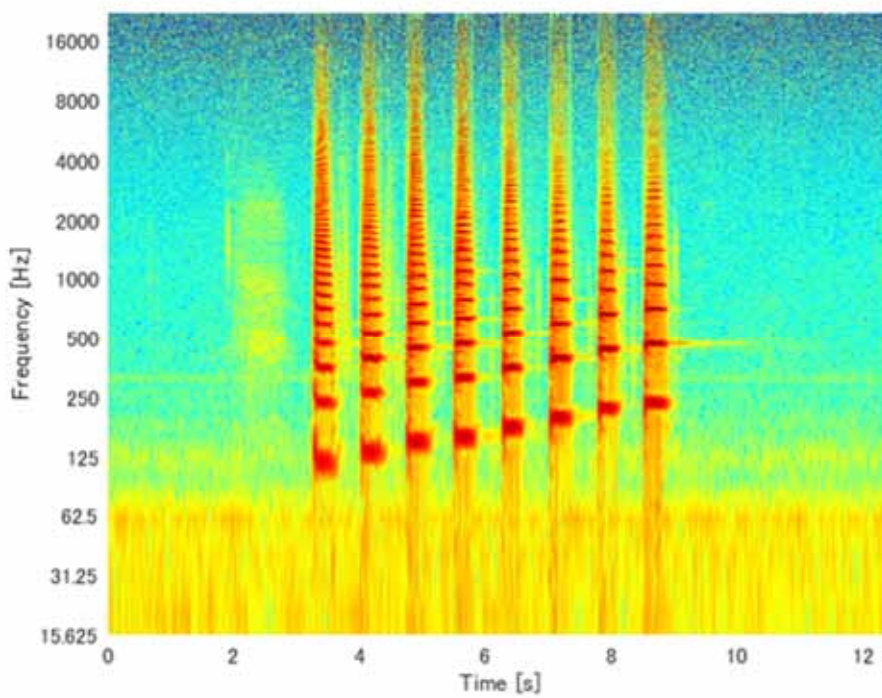


図 78 音源 1 2 のスペクトログラム

4.2 考察

4.1の結果をふまえて各楽器の考察を述べる。

・Ob

全体的に「く」の形をしたグラフが多く見られ、「明るい」の評価に偏りがあった。Obは管楽器のなかでも高音域にあたる楽器のため、明るく聞こえやすい。そのため、Obの「明るさ」に関しては音色の判断材料に用いるのは難しいと考える。「く」の形ではないグラフを持つのは音源7、8、11の3つだが、その中で一つだけ「暗い」評価の割合が多かったのが音源11である。この音源は単音で演奏させたものだが、スペクトログラムを見ると倍音と倍音の間が色の濃い部分が多くみられる。これが音を濁らせ、「暗い」と判断した要因ではないかと考える。

また、音の硬さ・柔らかさは演奏者の違いで評価されているものが多かった。「硬い」寄りの評価をされた音源は順に音源2、5、9、10の4つである。そのうち3つが同じ被験者の演奏だった。スペクトログラムを見ると他の音源と比べて高音域の周波数成分が多く含まれており、それが「硬い」と評価された要因と考えられる。

・Cl

アンケート結果のグラフにはばらつきがあったが、それぞれの評価項目について顕著に違いが出ていた。特に、「太いー細い」の評価には音源によって大きな差があり、一番太い評価の音源6と一番細い評価の音源12で1.6ポイントの差がひらいていた。音源や被験者に注目してみれば、スラー奏法が太く感じやすいことが分かる。反対に、スタッカート奏法は細い音だと感じやすい。スペクトログラムでアンケート結果との対応を見ても、「太い」と判断された音源は色の濃い部分が多い。

また、「硬いー柔らかい」の硬い寄りの評価が他の2つの楽器に比べて多かった。そこで注目したのはスペクトログラムにある音の出だしである。シングルリードの楽器はタンギングが難しく、音のアタックや変わり目がぼやけている場合が見受けられた。

・Tb

音源10が一番明るいという評価で、音源11が一番暗いというアンケート結果が出ており、その差は2.2ポイントもあった。音源10のスペクトログラムを見てみると、高倍音が8000Hzを超えていることから、Obと同じように高倍音が多いほど明るいと感ずることが確認された。また、「太いー細い」と「硬いー柔らかい」のアンケート結果はほとんどの音源で評価の度合いが似ていた。他の2つの楽器よりも管が長いこと、また音の出口が大きくラップ型に広がっていることから、倍音の発生が多くなるものと考えられる。

第5章 結論

本研究では音色の可視化ができるように物理量と心理量の対応を検討したが、それぞれの楽器で大きく異なった結果が出てしまった。したがって、楽器の特性を考慮する指標も必要だったものと思われる。その例として、Ob と Cl の違いが挙げられる。この2つは管にたくさんの穴が開けられており、それを開閉させることで音の高さを変える。これをキイというのだが、Cl は Ob と違って直接孔を押さえないといけなため、しっかり塞がった状態で音を出しているかどうかによって音色の違いが出てしまう。

また、全体のスペクトログラムを見ていると、Cl と Ob は基音から数えて3番目と5番目の倍音の色が濃く出るといった共通点があった。金管楽器である Tb には見られなかった点なので、管楽器を細かく分類してスペクトログラムの検討を行うべきであろう。

今回の研究では、被験者の数も少なく楽器の種類も限られているため、心理評価と物理評価の適切な関係を得るにはさらなる評価実験を実施する必要があると考えられる。

参考文献

- [1] 大石幸史, 志民一成, “音色評価のための音響分析方法の検討 ～倍音のもたらす心理的印象を焦点として～”, 静岡大学教育学部研究報告(教科教育学篇) 第48号, 213-226, 2017.3.
- [2] 大石幸史「金管楽器指導における歌唱指導の意義—音色とシラブルに着目して—」平成22年度静岡大学教育学部卒業論文 2011.
- [3] 堅田千種他, “ミュージックスプリント装着による音色変化をデジタルフィルタリングで評価する試み”, 医療情報学 25(4), 231-238, 2005.