

厚生労働科学研究費補助金（難治性疾患等克服研究事業）
分担研究報告書

音声疲労に関する実験的研究 - 自覚的評価と音響学的評価 -

研究分担者 城本 修 県立広島大学保健福祉学部コミュニケーション障害学科 教授

研究要旨

器質的疾患の有無に関わらず，音声障害患者は，音声疲労を訴えるものが多い．しかし，その訴えは主観的であり，先行研究も少なく，わかりにくいとされてきた．本研究では，音声疲労の評価方法を，自覚的評価と客観的指標である音響分析の両側面から検討した．対象は，健常成人女性 10 名で，2 時間の音声負荷課題を実施し，実施中とさらにその後の疲労回復過程について，音声疲労の推移を検討した．さらに音声訓練によって変動が認められるか検討した．評価項目は 3 つの自覚的評価と，さまざまな録音音声の音響分析（PPQ，APQ，HNR）について分析した．評価期間は音声負荷課題を含む 3 日間で，研究対象者には自覚的評価と音声録音を，音声負荷課題中（疲労過程）は 15 分おきに，音声負荷課題後（回復過程）は 4 時間おきに実施させた．その結果，音声疲労を鋭敏に反映する発声は，自覚的にも客観的にも示す指標としては“小さく高い声”のような音声負荷発声が有効であると考えられた．

A．研究背景と目的

音声疲労とは，声を酷使することで生じる声の疲労のことであり運動後の筋肉の疲労と類似していると言われている．Scherer ら（1987）によると，音声疲労の症状は以下の 6 つに分類できる．すわなち，声質の変化，声の制約（声域の縮小，努力性など），声のコントロール力の低下（声の高さを一定に保てない，不安定な声），不快感（喉頭痛，頸部痛，咳払いなど），喉頭組織の変化（炎症，腫脹など），その他（頸部の屈曲など）である．さらに彼らは，音声疲労の原因は声の乱用で，長時間に及ぶ発声や大きな声での発声，不適切な高さでの発声は，声帯同士の強い衝突や声帯組織の粘性の増加を引き起こす可能性があると言っている．

音声疲労の状態や回復過程を評価した先行研究には，Hunter ら（2009）の研究がある．彼らは音声疲労を主訴とする職業の代表である教師を対象に，音声負荷課題中とその後の声の回復について自覚的に評価をさせ，その経過を

追った．その自覚的評価とは，一定の発声課題を実施した際の発声時の努力，喉頭の不快感，小さく高い声の出しにくさの 3 項目である．彼らは，音声負荷課題後 4～6 時間のうちに全体の 50%の回復が，12～18 時間のうちに 70%の回復が得られたと報告している．

一方，Gelfer ら（1991）は，音声疲労の音響分析による客観的な評価を試みている．音響分析では，基本周波数，Jitter，Shimmer，Signal-to-Noise Ratio（SNR）を評価項目としている．研究対象とした歌手は，一定の歌唱訓練を実施した群と全く実施しなかった群に分けて群間比較を行ったが，両群で一定の傾向を示した音響パラメータは認められず，訓練を実施しなかった群においては，歌唱時の母音の音声サンプルの Shimmer の値が減少し，逆に声質が改善傾向を示している．彼らはこれから，音声疲労を引き起こすための課題としての音読負荷課題が 1 時間と短かったことが，逆にウォーミングアップ効果になったことを問題点として提起している．

上述のように、先行研究では音声疲労を客観的に評価した研究は少なく、また音声疲労の客観的評価に成功した研究はほとんどない。しかし客観的指標は個人間比較や同一人物の変化を比較する上で非常に重要な指標となる。そこで本研究では、音声疲労の客観的評価である音響分析と自覚的評価の両側面から検討した。

B. 研究方法

1. 研究協力者

広島県内の H 大学保健福祉学部在学中の学生のうち、耳鼻咽喉科医師の喉頭ファイバー検査による視診で、声帯の器質的異常や音声障害がないと判断された女性 10 名（平均年齢 21.4 ± 0.5 歳）。なお、声楽やボイストレーニング、合唱部所属等の経験者はおらず、さらに音声負荷課題以外にも音声疲労をもたらすと推測される歯列矯正中の者も除外した。口頭と書面で説明を行い同意書にて同意が得た。また、研究終了時にも耳鼻咽喉科医師による喉頭ファイバー検査を再度行ったが、喉頭の器質的病変や音声障害を認めた者はいなかった。なお、本研究は本学研究倫理委員会の承認を得て実施（承認番号：第 15HM059 号）。

2. 使用機器

ステレオ IC レコーダー ICD-TX650 (SONY 社)、MICROMIC THE ORIGINAL C520 (AKG 社)、Real-time Pitch (Computerized Speech Lab, Model 4500: KAY 社)、音響分析ソフトウェア Praat (version: 6.0.05)、統計分析ソフトウェア js-STAR 2012 (release 2.0.7j)

3. 手続き

耳鼻咽喉科医師による喉頭視診後、日頃の音声疲労の自覚度についての質問紙に回答させた。その後、音声疲労をもたらすと考えられる音声負荷課題を実施した。音声疲労の評価は、音声訓練実施前と実施後の 2 回行った。図 1 は研究スケジュールを示している。音声疲労の評価は、音声負荷課題実施日から音声疲労が回復

する 2 日後までの計 3 日間行った。評価スケジュールの詳細は、1 日目は音声負荷課題中とそれ以降 4 時間おきに、2 日目と 3 日目は起床後から就寝前まで 4 時間おきに評価を行わせた（図 2）。

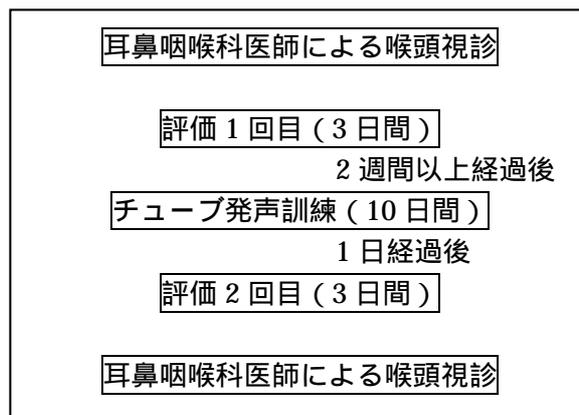


図 1 研究スケジュール

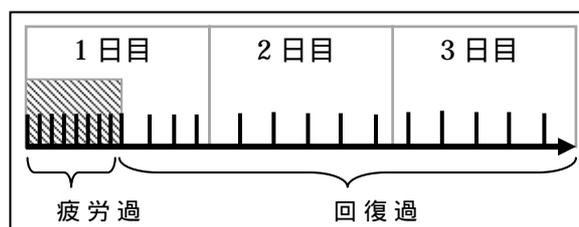


図 2 評価スケジュール

図 1 の評価 1 回目、2 回目の 3 日間を図式化したものである。網掛け部分は音声負荷課題を、下部の矢印に対し垂直に伸びた線は音声疲労の評価を示している。

4. 日頃の音声疲労の自覚に関する質問紙（日本語版 VFI）

1 回目の音声負荷課題を実施する前に、日頃協力者が音声疲労をどの程度自覚しているかを確認するため、音声疲労の質問紙に回答させた。この質問紙は、Nanjundeswaran ら (2014) の Vocal Fatigue Index (VFI) を日本語に翻訳し、原版の 19 項目のうち上位 16 項目を抜粋したものをを用いた。各項目に対し 0~4 で回答させ、各項目の得点及び合計点が高いほど音声疲労が重度であることを表す。さらに上記の質問項目に加え、1 日の声の平均使用量に関する質問

問した。

1) 音声負荷課題

音声負荷課題とは音声疲労を引き起こすための課題で、声の大きさが常時 80dB 以上となるよう Real-time Pitch でモニターしながら、2 時間の音読を行わせた。音読教材は『外郎売り』を使用した。音声負荷課題中の声の大きさは、教師が教室内で話す声の大きさは 80dB であるという McCabe ら (2002)²⁾ の報告に基づき設定した。音声負荷課題の時間は、Gelfer ら (1991) の研究で 1 時間では逆にウォーミングアップ効果をもたらす可能性が推測されたこと、Titze ら (2007) の研究で教師の 1 日の声の使用時間は平均で約 2 時間であったことに基づき設定した。音読教材については、川和 (1988) が構音操作の練習教材として取り上げており、協力者全員が既知でないと思われる文章を選択した。

2) 音声録音

対象者には、予め配布した IC レコーダーに、音響分析で用いる音声サンプルを録音させた。発声課題は Hunter ら (2008)⁸⁾ の指標を参考に、以下の 5 つを設定した。

出しやすい高さで、できるだけ小さい声で 5 秒間 /i-/ と発声

出しやすい大きさで、できるだけ高い声で 5 秒間 /i-/ と発声

できるだけ小さく高い声で 5 秒間 /i-/ と発声

出しやすい声の高さ及び大きさで /a-i-u-e-o-/ と各 3 秒間ずつ発声

できるだけ小さい声で、出しやすい高さから滑らかに高くなるよう /i-/ と発声

以上の発声課題を、音声負荷課題中は 15 分おき、音声負荷課題後は 4 時間おきに行わせ、その音声を IC レコーダーに録音するように指示した。なお、録音時の IC レコーダーと口唇間の距離は 10cm とし、毎回の録音及び録音中一定になるようにさせた。

3) 音声疲労の自覚的評価

2) の音声録音時の発声を判断基準として自

覚的評価を行わせた。評価項目は Hunter ら (2008) の提唱する項目を日本語に訳したものである。

発声時の努力 (speaking effort levels: EFFT)

喉頭の不快感 (laryngeal discomfort levels: DISC)

小さく高い声の出しにくさ (inability to produce soft voice: IPSV)

これら 3 項目について、0~10 (数字が大きいくほど、努力や不快感、声の出しにくさが大きいことを示す) で評価させた。

4) 音声疲労の客観的評価

2) で録音させた音声を、音響分析ソフト Praat を用いて音響分析し、基本周波数 (Hz)、Pitch Perturbation Quotient (PPQ, %), Amplitude Perturbation Quotient (APQ, %) , Harmonic-to-Noise Ratio (HNR, dB) を求めた。

5. 結果の処理

自覚的評価については、評価項目毎に協力者全員の同時間における評価値を平均し、グラフ化した。

録音音声の音響分析については、発声課題 ~

は発声開始 2 秒後の 1 秒間を、 は /i-/ の発声開始 1 秒後の 1 秒間を、 は発声時間全体を分析の対象とした。また、発声課題 , ,

の課題内容に含まれる“小さい声”に関しては、話声位よりも小さい声である 70dB 以下と定義し、録音音声の較正值が 70dB を超える音声は分析対象から除外した。さらに、PPQ, APQ の単位は%であるため、統計分析ソフト js-STAR を用いて角変換を行い、求められた数値をグラフ化した。

C. 研究結果

1. 日本語版 VFI

協力者全員の 16 項目の平均合計点は 10.1 点で、Nanjundeswaran ら (2014)⁵⁾ の先行研究における健常者平均 6.6±6.5 点の範囲内であり、音声障害者の平均 31.4±15.3 点よりも低かった。

また、1日の声の使用量は、Titzeら(2007)⁷⁾が述べた、教師の1日の声の平均使用時間である約2時間を上回る者はいなかった。

2. 評価

音声負荷課題開始から同時間経過後における協力者10名分のデータを、評価項目毎に平均し、それぞれグラフ化した。音声訓練前の平均値を丸(○)で示しその近似直線あるいは高次多項式による近似曲線を破線で、音声訓練後の平均値を四角(□)で示しその近似直線あるいは高次多項式による近似曲線を実線で示した。なお、以後この近似直線あるいは近似曲線のことを、疲労直線あるいは疲労曲線と呼ぶ。

1) 自覚的評価

図3~5は、各自覚評価項目の、同時間における協力者全員の評価値の平均を示したもので、疲労過程と回復過程に分けて示した。

発声時の努力：EFFT

図3は、EFFTについて示したものである。疲労過程では、訓練前に比し訓練後の疲労直線の方が、時間経過に伴う上昇率が低くなった。一方、回復過程では訓練前、訓練後ともばらつきが大きく、一定の傾向は認められなかった。

喉頭の不快感：DISC

図4は、DISCについて示したものである。疲労過程では、訓練前に比し訓練後の疲労直線の方が、時間経過に伴う上昇率が低くなった。一方、回復過程では訓練前、訓練後ともばらつきが大きく、一定の傾向は認められなかった。

小さく高い声の出しにくさ：IPSV

図5は、IPSVについて示したものである。疲労過程では他の評価項目同様、訓練後の疲労直線の方が、時間経過に伴う上昇率が低くなった。また、音声負荷課題開始前の平均評価値は、特に訓練前で他の項目に比し高い傾向を示した。回復過程では、訓練後の疲労曲線の方が低いながらも、ばらつきは大きく一定の傾向は認められなかった。

2) 音響分析

図6は発声課題の最高基本周波数の、同時間における協力者全員の平均値を示している。図7~9は、PPQ、APQ、HNRについて発声課題について、同時間における協力者全員の平均値を示している。いずれも疲労過程と回復過程に分けて示した。なお、音響分析の再検査信頼性は決定係数 $R^2 = 0.9993$ であり、極めて高い信頼性を示した。

最高基本周波数

図6は、発声課題の、同時間における協力者全員の最高基本周波数の平均値をグラフ化したものである。疲労過程では、訓練後の疲労曲線の方が低い傾向を示したが、回復過程では一定の傾向は認められなかった。

PPQ

図7は、発声課題におけるPPQの平均値を、それぞれ角変換しグラフ化したものである。疲労過程では、音声訓練後の疲労曲線の方が、時間経過に伴う変動も小さく、PPQ値も低い傾向を示した。他の発声課題は、訓練前、訓練後とも値の変動は小さく、訓練前後の差異は認められなかった。また、回復過程ではどの発声課題においても一定の傾向は認められなかった。

APQ

図8は、発声課題におけるAPQの平均値を、それぞれ角変換しグラフ化したものである。疲労過程では、発声課題とにおいては訓練後の疲労直線の方が時間経過に伴う変動が小さく、上昇率も低い傾向を示した。また、回復過程ではばらつきが大きいものもあり、どの発声課題においても一定の傾向は認められなかった。

HNR

図9は、発声課題におけるHNRの平均値をグラフ化したものである。疲労過程では、訓練後の疲労直線の方が時間経過に伴う変動が小さく、HNR値も高い傾向を示した。発声課題においても、訓練後の疲労曲線の方がやや高い傾向を示した。また、回復過程ではどの発声課題においても一定の傾向は認められなかった。

た。

3) 自覚的評価と音響分析の結果のまとめ

疲労過程では、全ての自覚的評価項目において、訓練後の方が疲労直線の時間経過に伴う上昇率が低い傾向を示した。音響分析では、発声課題によっては訓練後の PPQ, APQ は低く、HNR は高い傾向を示した。PPQ と APQ が安定

して低値を、HNR が高値をとる傾向を示した発声課題はであった。最高基本周波数は訓練後の方が低い結果となった。

回復過程では、IPSV の平均評価値は訓練後の方が低い結果となったが、他の自覚的評価及び音響分析において、訓練前と訓練後に差異が認められたものはなかった。

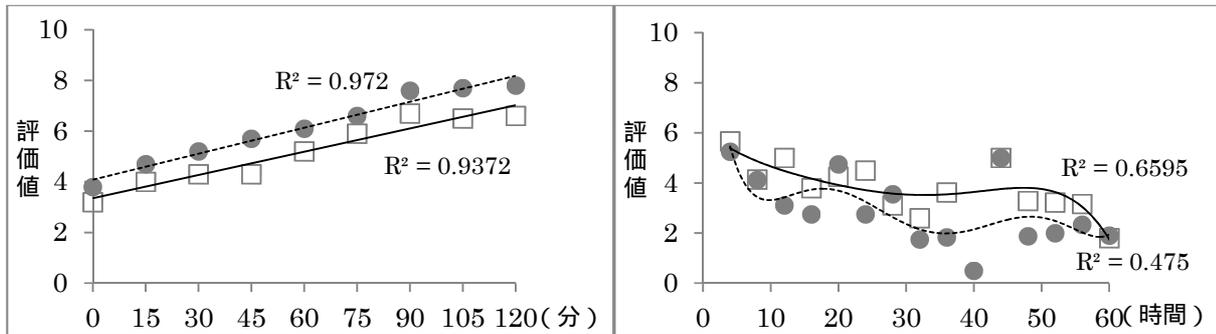


図3 発声時の努力 (EFFT)

左は疲労過程、右は回復過程における散布図で、縦軸は EFFT に関する平均評価値を、横軸は時間経過を示している。訓練前の平均評価値を丸 () で示しその近似直線を破線で、訓練後の平均評価値を四角 () で示しその近似直線を実線で示した。R² は決定係数を示している。

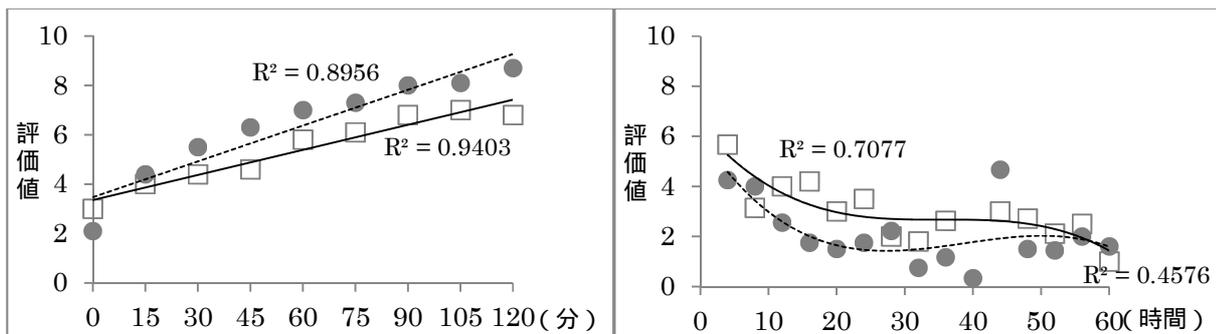


図4 喉頭の不快感 (DISC)

縦軸は DISC に関する平均評価値を、横軸は時間経過を示した散布図

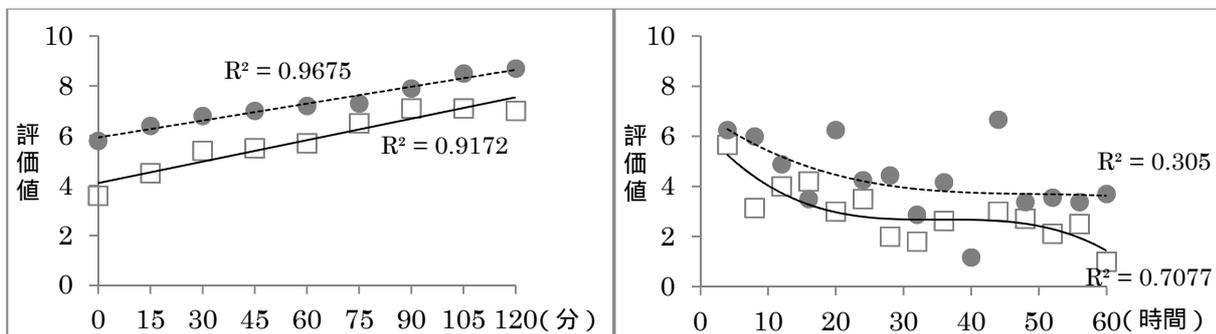


図5 小さく高い声の出しにくさ (IPSV)

縦軸は IPSV に関する平均評価値を、横軸は時間経過を示した散布図

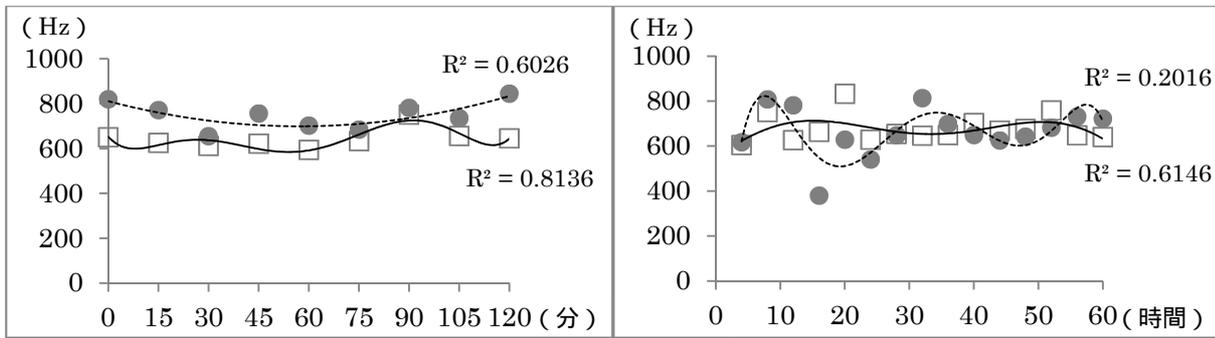


図6 最高基本周波数 発声課題 “小さい声で滑らかに高く”

縦軸は発声課題 の際の最高基本周波数の値を，横軸は時間経過を示した散布図

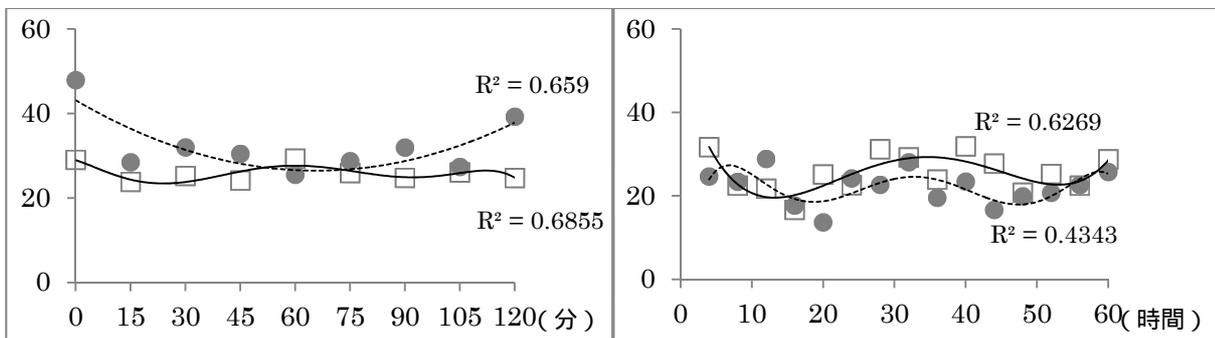


図7 PPQ 発声課題 “小さく高い声”

縦軸は発声課題 の際のPPQの平均値を角変換(上限値2)した値を，横軸は時間経過を示した散布図

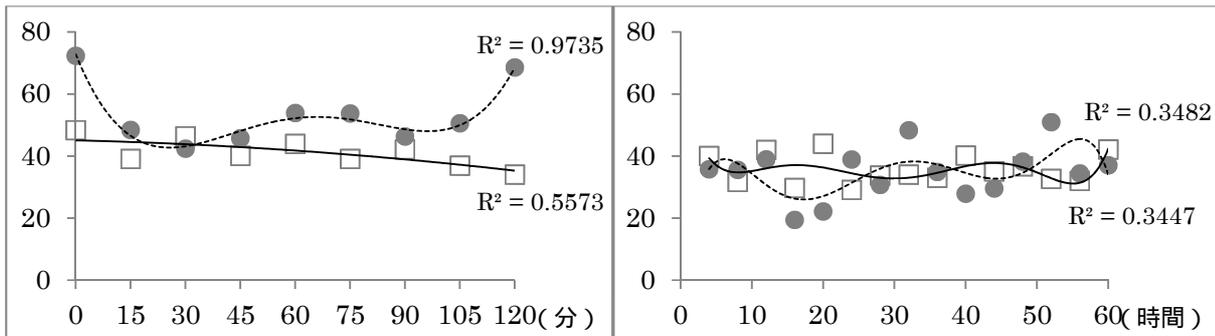


図8 APQ 発声課題 “小さく高い声”

縦軸は発声課題 の際のAPQの平均値を角変換(上限値9)した値を，横軸は時間経過を示した散布図

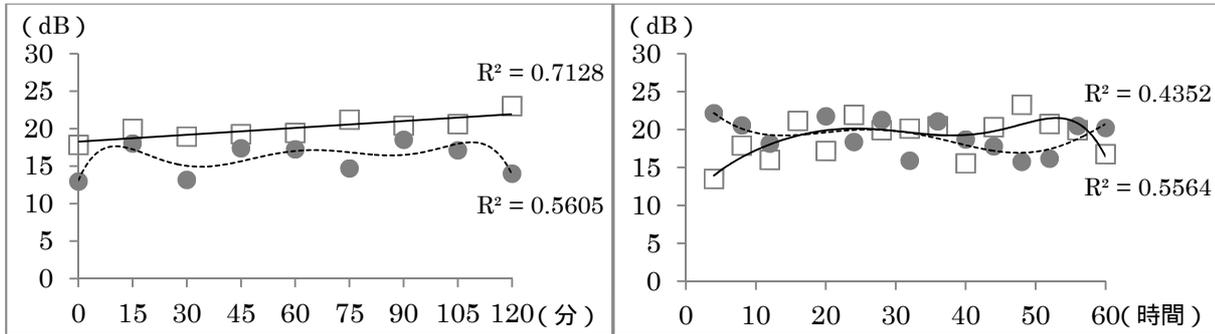


図9 発声課題 “小さく高い声”

縦軸は発声課題 際の HNR の値の平均値を、横軸は時間経過を示した散布図

D. 考察

疲労過程では、自覚的評価項目のいずれも訓練後の方が、時間経過に伴う上昇率が低い傾向を示した。また音響分析でも、発声課題の PPQ, APQ は訓練後の方が低い傾向を、HNR は高い傾向を示した。Scherer ら (1987)¹⁾ が提唱した音声疲労の分類には、声質の変化、発声時努力などを含む声の制約、声のコントロール力の低下、喉頭痛、頸部痛などを含む不快感がある。今回用いた自覚的評価の EFFT は彼らが提唱した音声疲労の症状と、DISC は症状と、IPSV は症状やと関係が深いと考えられる。したがって、疲労過程においては訓練後の方が自覚的な音声疲労の程度は低いと推測された。また、音響分析の PPQ, APQ は周波数や振幅の揺らぎを、HNR は雑音成分に対する調波成分の大きさを示しており、PPQ, APQ, HNR は症状やと関連していると考えられる。したがって、音響分析からも疲労過程においては、音声訓練の効果があったと考えられる。最高基本周波数については、訓練前の方が高い傾向を示し、さらに訓練前、訓練後ともに時間経過に伴う一定の変化は認められなかった。Scherer ら (1987)¹⁾ の音声疲労の症状には、声域の縮小を含む声の制約が挙げられている。音声疲労に伴い、最高基本周波数も低下すると予想されたが、本研究ではそのような変化は認められなかった。その要因として、最高基本周波数は発声課題の録音音声进行分析しており、

発声には“小さい声”という負荷がかっている。最高基本周波数を測定するのに、この課題が適切であったかどうかは、今後検討していく必要があると考えられた。また、“高い声”を発声するには、多少の心理的抵抗があると推測される。一方、回復過程においては、自覚的評価のうち、訓練後の疲労曲線の方が低い傾向を示したのは IPSV のみで、他の評価項目には訓練前後で差異は認められず、IPSV に関して、ばらつきが大きいと判断された。また音響分析のうち、訓練前後で差異が認められたものはなかった。したがって、回復過程には訓練効果が現れなかったと考えられる。

図5に示した IPSV のグラフのように、音声負荷課題開始前の平均評価値は、特に訓練前で、他の評価項目に比し高い傾向を示した。このことから、“小さく高い声”は、音声疲労の状態になっていなくても、もともと対象者にとって出しにくい声であったと推測できる。実際に、その“小さく高い声”で発声させたのが発声課題である。今回、疲労過程において、PPQ, APQ, HNR の値が、訓練前に比し訓練後に良好な傾向を示したのは、全発声課題のうち課題のみであった。また、今回実施させた発声課題のうち、最も負荷のかかる発声は、課題であると考えるのが妥当であろう。したがって、発声課題の“小さく高い声”のようにより負荷の大きい発声は、音声疲労を鋭敏に反映し、音声疲労の感度が高いと考えられる。反対に、発声

課題の“出しやすい声”すなわち通常の発声のように負荷が小さいと推測できる課題では，訓練前後や時間経過に伴う変化が小さかった．Gelferら（1991）⁴⁾の先行研究でも，“快適な高さで比較的弱い声”と指示した発声の音声で音響分析を行ったが，一貫した傾向を示した指標はなかった．以上から，通常発声やそれに近い負荷の小さい発声では音声疲労の影響が現れにくく，負荷の大きい発声をした際に音声疲労の症状は現れると考えられる．音声疲労の有無や程度を言及するには，本研究で行った発声課題では課題のような負荷発声を用いることが有効ではないかと推察される．

Hunterら（2009）³⁾の研究では，音声負荷課題後は2時間おきに自覚的評価をさせている．その結果，音声疲労からの50%回復は4-6時間後に，70%回復は12-18時間後に生じると報告している．50%回復の様子を追跡するには，評価を2時間おきと，本研究よりも頻回に行う必要があるかもしれない．評価の頻度については，協力者の負担も考慮しつつ，今後の課題として検討する必要がある．

今回の研究では，疲労過程・回復過程の両過程において，評価値が協力者間で大きく異なる場合があった．たとえば，音声負荷課題を行う前からIPSVが高値の者がいる一方，評価値が1や2と低値の者もいた．回復過程においても，評価値が比較的高いままの者もいれば，音声負荷課題実施日の夜には，課題開始前の評価値まで回復している者もいた．このように，疲労の感じ方や捉え方は人により異なっており，またそれこそが疲労の特徴と考えることもできるだろう．また訓練後，訓練前に比し評価値が低い傾向を示した者や，「今回の方が疲れなかった」と自由記述した者がいることから，訓練を行うことで心理的に疲労を感じにくくなったことも考えられる．心理的な疲労の程度と，器質的・機能的な疲労の程度が異なっている場合もあると推測できる．これらのことから，疲労の評価には自覚的評価だけでなく，音響分析の

ような客観的な評価指標を用いることも重要であると言える．

E．結論

“小さく高い声”のような音声負荷発声は音声疲労の感度が高いと考えられ，今後，自覚的評価と音響分析の両側面から，痙攣性発声障害などの神経疾患，声帯接結などの器質的疾患，および声帯に器質的疾患のない機能性発声障害などを対象にさらに音声疲労の検討を行う必要がある．

謝辞：本研究は県立広島大学保健福祉学部コミュニケーション障害学科の伊藤愛氏との共同研究であり，この一部は氏の卒業論文として公表された．

文献

- 1) R. C. Sherer, I. R. Titze, et al.: Vocal fatigue in trained and an untrained voice user. T. Bear, C. Sasaki, K. Harris eds., Laryngeal Function Phonation and Respiration. Boston, Little, Brown and Company, 533-555, 1987
- 2) D. J. McCabe, I. R. Titze: Chant therapy for treating vocal fatigue among public school teachers: A preliminary study. American Journal of Speech- Language Pathology, 11: 356-369, 2002
- 3) E. J. Hunter, I. R. Titze: Quantifying vocal fatigue recovery: Dynamic vocal recovery trajectories after a vocal loading exercise. Ann Otol Rhinol Laryngeal. 118(6): 449-460, 2009
- 4) M. P. Gelfer, M. L. Andrews, C. P. Schmidt: Effects of prolonged loud reading on selected measures of vocal function in trained and untrained singers. Journal of Voice, 5(2): 158-167. 1991
- 5) C. Nanjundeswaran, B. H. Jacobson, et al.: Vocal fatigue index (VFI): development and validation. Journal of Voice, 29(4): 433-440. 2015
- 6) 川和孝：日本語の発声レッスン改訂新版・一般編．東京，新水社．169-190．1988
- 7) I. R. Titze, E. J. Hunter, J. G. Švec: Voicing and

silence periods in daily and weekly vocalizations of teachers. Acoustical Society of America, 121(1): 469-478. 2007

- 8) E. J. Hunter: General statistics of the NCVS self-administered vocal rating (SAVRa). The National Center for Voice & Speech. (pdf). 2008 <http://www.ncvs.org/research_techbriefs.html>

F . 研究発表

1 . 論文発表

- 1) 奥田 晶史 , 玉井 ふみ , 城本 修 : 学童における声の音響パラメータの検討 . 音声言語医学 56(2),166-170, 2015.
- 2) 眞田真里絵 , 城本修 , 眞田友明 , 泉恵得 : 児童の頭声発声と胸声発声との比較による音響学的・生理学的一考察 . 声楽発声研究 6:13-20, 2015.

2 . 学会発表

- 1) 伊藤 愛 , 土師知行 , 城本 修 : 音声疲労の予防訓練としてのチューブ発声法の意義 - 自覚的評価と音響分析を用いた検討 - . 第17回日本言語聴覚学会 , 京都 , 2016.6.10-11

G . 知的財産権の出願・登録状況

1 . 特許取得

なし

2 . 実用新案登録

なし

3 . その他

なし