「発話運動解析に基づく簡便かつ効率的な発話訓練プログラムの確立」

甲南大学知能情報学部知能情報学科　　北村　達也

１　研究の背景と目的

一般に，音声はヒトにとって最も使い易い情報伝達手段とされている．しかし，近年，音声器官に医学的な問題がなく，健常の範囲に含まれる人々の中にも日常的に発話のしにくさ（発話運動がうまくいかない感覚）を感じている人が多数存在することが明らかになった．発話は巧緻性の高い運動であるので，それが不得意な人がいることは実は不思議なことではない．しかし，つい最近まで発話に不自由を感じる人々の存在が意識されることがなかった．

この問題を最初に指摘したのは立川（2017）である．彼は発話のしにくさの自覚に関するアンケート調査を行い，対象の大学生 151 名の約半数が日常的にある程度以上発話のしにくさを自覚していたと報告した．その後，北村ら（2019）は国内の 15 大学の大学生，大学院生約 2,000 名を対象にして発話のしにくさの自覚に関するアンケート調査を行った．そして，言葉や聞こえの問題がないと回答した 1,831 名のデータを集計し，(1) 全体の 31.0 %がある程度以上発話のしにくさを自覚していた，(2) 男性の方が発話のしにくさを自覚している人が多い，(3) 発話のしにくさを自覚している人は自分の音声が聞き返されることが多いと感じる傾向がある，などの報告を行った．音声はコミュニケーションの基本であるため，それに関する問題は生活の質（Quality of Life）を大きく低下させる．そのため，誰でも簡単に取り組めて効果の高い発話訓練法を提供する必要がある．

我々は，ボイストレーニングや音声リハビリテーションの現場で用いられる様々な発話訓練法を実際に試み，その中から割り箸やペンなどの細い棒を前歯でくわえて下顎を固定して練習する「顎運動制約法」によって滑舌や声質が即時的に改善されることを報告した（三谷ら，2017）．本研究では，我々が培ってきた発話運動計測技術を用いて顎運動制約法のメカニズムを解明し，エビデンスに基づく発話訓練法を開発することを目的とする．さらに，声帯振動の改善に広く用いられている「チューブ発声法」に関しても検討する．この訓練法は Semi-Occluded Vocal Tract Exercises（SOVTE）の一種であり，ストローに息を吹き込むように持続発声するものである．音声障害患者の治療から声楽のウォーミングアップまで広く利用されている．

図１：顎運動制約法による訓練の様子

２　研究方法・研究内容

磁気センサシステム（NDI Wave Speech Research System）を用いて発声訓練中およびその前後の舌，口唇の運動を計測した．磁気センサシステムは，舌や口唇に小型のセンサー貼り付け，発声中のセンサーの位置をリアルタイムに追跡できる装置である．実験には日本語を母語とする大学生の男女計 12 名が参加した．実験に用いた発話資料は，カ行，ガ行，サ行，ザ行，タ行，ダ行，ラ行の 5 音（例えばカ行ならカキクケコ）を含む文を各行につき 2 文，計 14 文用意した．実験参加者に自由に発声訓練させた場合と割り箸を用いて顎運動制約法により発声訓練させた場合の舌や口唇の運動を比較した．訓練時間はいずれも 3 分間である．

一方，チューブ発声法に関しては，訓練時のストローの振動の大きさを LED により視覚的

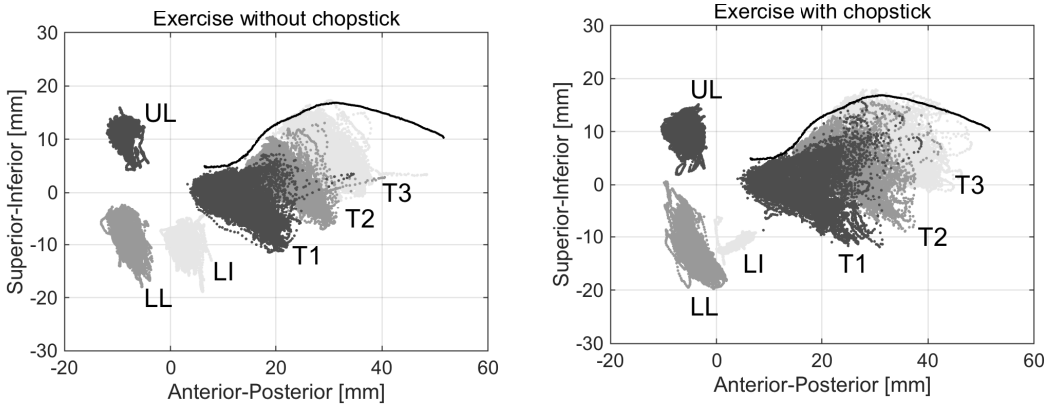
にフィードバックするシステムを開発した．チューブ発声訓練では，効率の良い発声が行われた際，口唇周辺部に強い振動感覚を自覚する．この振動感覚は声道の一端（口唇部）の断面積を小さくした時の口腔内音圧の増幅に起因し，チューブ発声訓練の一つの到達目標になるとされている．本研究では，この振動を客観的に把握することができるバイオフィードバックシステム「スマートチューブ」を開発した．

３　研究成果

３．１　顎運動制約法

実験参加者のうち女性１名の結果を示す．割り箸を使わず自由に練習させた場合，割り箸を用いて顎運動制約法により練習させた場合のセンサ位置の分布をそれぞれ図 2(a)，図 2(b) に示す．図の左側が顔の前方に対応する．割り箸をくわえて顎を固定した場合（図 2(b)），自由に練習させた場合（図 2(a)）よりセンサの移動範囲が大きい．例えば，舌尖（舌の先端）に近いセンサ T1 の前後方向の移動範囲は，自由に練習させた場合には約 19.5 ㎜，顎運動制約法で練習させた場合には約 26.5 ㎜であり，7.0 ㎜ほどの増加が見られた．また，下口唇の移動範囲は，前者では約 14.9 ㎜，後者では約 19.9 ㎜であり，5.0 ㎜ほどの増加が見られた．

発話訓練システムを用いた顎運動制約法によって，割り箸をくわえて下顎を固定しているにもかかわらず，舌や口唇の移動範囲が拡大することがわかる．これにより舌や口唇の運動が下顎の運動と分離して訓練され，開口度の増加や調音空間の拡大などの効果をもたらすと考えられる．



(a) 自由に練習させた場合　　(b) 顎運動制約法により練習させた場合

図 2：2 つの方法により訓練させたときの磁気センサシステムのセンサ位置の分布．実験参加者１名の結果．T1，T2，T3：舌，LI：下顎の歯茎，UL：上口唇，LL：下口唇．T1，T2，T3 の上にある曲線は口蓋を表す．

以上の結果，およびボイストレーナーが実際に訓練する様子の観察から，顎を固定しながらも舌，口唇，表情筋などを十分に動かすこと，声を十分に出すこと，トレーナーが適宜フィードバックすることが重要との認識に至った．そこで，顔面の動きと音声の大きさをリアルタイムにフィードバックするシステムを開発した．このシステムの表示画面を図 3 に示す．

顔面の動きとしてはカメラ画像から算出したオプティカルフローにおける顔領域の総移動量を用いた．同時に，オプティカルフローそのものも表示することにより，訓練者は自分

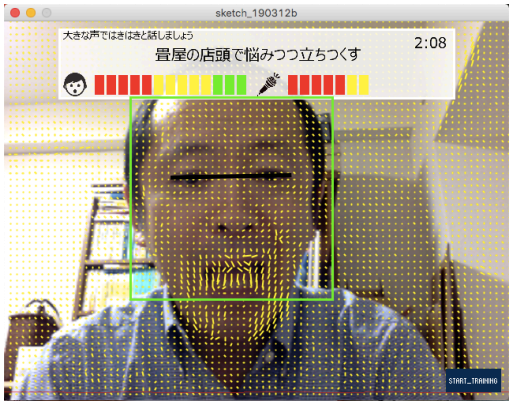


図 3：顎運動制約法の支援ソフトウェアの実行画面

の顔のどの部分が動いているか/動いていないかを把握することができる．音声の大きさは，マイクから取得した音声のレベルを表示した．　訓練中，顔面の動きと声の大きさを維持させるため，レベルメーターの値が閾値を一定時間下回ると，口の動きもしくは声を大きくするよう促すメッセージが表示される．これはボイストレーナーによる声かけに対応するものである．

大学生の男女計 30 名を対象にしてこの発話訓練法の効果を確認する実験を行った．実験に用いた発話資料は，カ行，ガ行，サ行，ザ行，タ行，ダ行，ラ行の 5 音（例えばカ行ならカキクケコ）を含む文を各行につき 2 文，計 14 文用意した．実験参加者に自由に発声訓練させた場合と割り箸を用いて顎運動制約法により発声訓練させた場合の舌や口唇の運動を比較した．訓練時間はいずれも 3 分間である．この訓練の前後に上記の発話資料を音読させ，どのぐらいうまく読めたかを Visual analog scale（VAS）にて自己評価させた．実験の結果，顎運動制約法の方が VAS による自己評価，音声の振幅および基本周波数の上昇が大きいことが認められ，本研究課題にて提案した発話訓練法が有効であることが示された．

３．２　チューブ発声法

本研究課題にて開発した「スマートチューブ」のプロトタイプを図 4 に示す．このシステムは，加速度センサ，アンプ，マイコンボード，LED テープ等により構成されている．加速度センサ，アンプ，LED テープへの給電はマイコンボードから行われる．加速度センサと LED テープはストローに固定されているが，衛生面に配慮してストローを簡単に交換できるようになっている．このシステムは安価なパーツのみを用いて制作されているため，音声リハビリテーションの現場への導入が容易である．

ストロー壁面の振動は，加速度センサにより計測する．加速度センサの出力をアンプにて増幅し，マイコンボード（Arduino Uno）に入力する．Arduino Uno では，アンプの出力を標本化周波数 1 kHz にて A/D 変換し，手ぶれの影響を除去するため，カットオフ周波数 50 Hz のハイパスフィルタを施した．その後，0.1 s ごとに振幅の平均値を求め，その値に基づいて 5 つのパターンで LED テープを点灯させ，利用者に振動の大きさをフィードバックする．スマートチューブを用いれば客観的なデータに基づくリアルタイムなフィードバックによって，適切な発声への誘導と患者の正確な自主練習が実現できる

４　生活や産業への貢献および波及効果

本研究課題では，発話のしにくさを自覚する人々のために簡便かつ効率的な発話訓練法について検討した．そして，音声の生成にとって重要な口の動きと声帯振動を改善する訓練

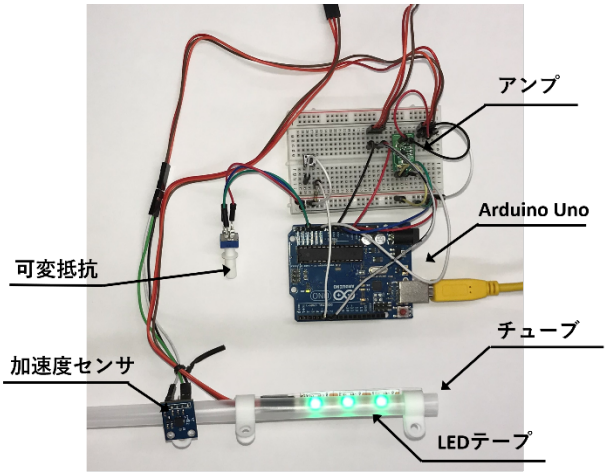


図 4：スマートチューブのプロトタイプ

法である，顎運動制約法とチューブ発声法を支援するシステムを提案した．上述したように，大学生の約 30%が日常的に発話のしにくさを感じている．30 代以上でも約 20 %の人が発話のしにくさを感じており，若者だけの問題ではない．本研究課題で提案された訓練法によってこれらの人々の発話の問題を改善することができればその波及効果は大きい．今後はスマートフォンを活用して楽しみながら訓練を継続できるようにする仕組みを開発し，提供する計画である．

５　業績リスト

本研究課題にて得られた成果について以下の通り発表を行った．

1. 北村達也，川村直子，能田由紀子，吐師道子，顔面の動きをフィードバックとして用いる発話訓練システムの検討，日本音響学会 2020 年度秋季研究発表会（2019 年 9 月）．
2. 川村直子，北村達也，チューブ発声訓練における評価指標としての口唇周辺の皮膚振動の有用性，第 64 回日本音声言語医学会学術講演会（2019 年 10 月）．
3. 北村達也，川村直子，能田由紀子，吐師道子，発話のしにくさに関する自覚と発話訓練，日本音響学会騒音・振動研究会（2019 年 11 月）．
4. 川村直子，北村達也，濱田賢汰，チューブ発声法による音声リハビリ支援システム「スマートチューブ」の試作，日本音響学会第 22 回関西支部若手研究者交流研究発表会（2019 年 11 月）．
5. 北村達也，川村直子，濱田賢汰，能田由紀子，吐師道子，発話のしにくさに関する自覚と発声・発話訓練支援，日本音響学会北陸支部音声生成スペシャルセッション（2020 年 1 月）．
6. 川村直子，北村達也，濱田賢汰，チューブ発声法による音声リハビリ支援システム「スマートチューブ」の開発，日本音響学会 2020 年度春季研究発表会（2020 年 3 月）．

以上