

発音教育における母音の緊張性の定量的評価 —日本語母音/iR/と英語母音/i: /, /i/—

石崎 達也

キーワード： 母音、緊張性、日本語、英語、教育、発音

1. はじめに

外国語の発音教育を行う上で、学習者が産出した母音の緊張性を定量的に評価することは容易ではない。母音の緊張性に関する定量的な定義は確立していないため、学習者が発音する緊張母音と弛緩母音のペアについて、その緊張性を評価することは管見の限り一般的に行われていない。例えば英語母音においては長母音と分類される/i:/は緊張母音であり、短母音と分類される/i/は弛緩母音であることは知られ、持続時間の長短と緊張性に関連性があるように見える。しかし、母音の長さはコンテキストやストレスの有無により変化し得るため、母音の持続時間だけをパラメータとして緊張性を評価することは困難である。本稿では、石崎(2019a)が提示した母音の緊張性に関する数理モデルを基に、学習者が産出する緊張母音/i:/と弛緩母音/i/のペアを音響的な観点でリアルタイムに評価する手法についての考察を行う。

2.1 先行研究：声道空間とフォルマント周波数の相関

音声の産出に関する音響的な考え方が Chiba and Kajiyama(1941)や Fant(1960)などにより構築された。喉頭原音が声道を通過する際に声道は音響管のようなフィルタの働きをし、フォルマント周波数が声道形状により影響を受けるという現象は広く知られている。音声が生産される際の調音器官の動きと音響的特徴の関係を明らかにする音声学においては、このような物理現象は極めて重要と言える。

2.2 先行研究：緊張と弛緩

調音器官の筋肉の緊張と弛緩は、母音の特徴を論じる際に使用されるパラメータである。英語母音においては長母音や短母音の区分と緊張性に関係性があることは知られるが、母音の長さはコンテキストやストレスの有無により変化することがあるため、緊張性を母音の持続時間だけをパラメータとして定量的に表すことは困難と考えられる。持続時間の変化の例として Pre-fortis clipping という現象が挙げられ、母音の後ろに続く破裂音が硬音(fortis)の場合に母音の持続時間が減少する傾向を示すことはよく知られている。

Jakobson, Fant and Halle(1951)は、フランス語の緊張性母音と弛緩性母音のフォルマントのはずれの和に注目した。彼らによると、緊張性母音では弛緩性母音よりもフォルマントのはずれの和は大きく、フォルマントのはずれの和を使用することにより相対的な母音の緊張性の区別が可能であ

ることを主張した。

石崎 (2019a) は、母音の緊張性を考察する上で時間依存の概念を導入し、その指標を第 1 フォルマント周波数の角度 θ_1 とする数理モデルを提示した (θ_1 の定義は後述)。英語の緊張母音 /i:/ と弛緩母音 /ɪ/、日本語の長母音 /iR/ に関する緊張性の時間依存、声道内の空間形状、第 1 フォルマント移動及び第 1 フォルマント周波数の角度 θ_1 は、表 1 のように定義できることが示されている。さらに、緊張性の指標として第 1 フォルマント移動の近似関数式の導関数を使用し、式 (1) 及び式 (2) で表す数理モデルを示した。第 1 フォルマント移動の変動を 1 次や 2 次、高次の多項式を用いた近似曲線として表した上で、その導関数により時刻 t における母音の緊張性を間接的に数値化及び可視化できる可能性があると主張した。

表 1 緊張性の時間依存、声道内の空間形状、第 1 フォルマント移動及び角度 θ_1
(英語の長母音 /i:/ と短母音 /ɪ/、日本語の長母音 /iR/ の場合)

緊張性の時間依存	声道内の空間形状	第 1 フォルマント移動	角度 θ_1
緊張 (tense)	狭窄	下降	<0
安定 (stable)	変化なし	変化なし	$=0$
弛緩 (lax)	拡張	上昇	>0

$$\frac{dZn(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \tan \theta_{n(t)} \quad (1)$$

$$\theta_{n(t)} = \arctan \left(\frac{Zn_{(t+\Delta t)} - Zn_{(t)}}{\Delta t} \right) \quad (2)$$

2.3 先行研究：フォルマント移動

母音の音質に関する研究において使用される音響的特性を図 1 に示す。縦軸はフォルマント周波数、横軸は時間を表している。母音の示す共鳴周波数は時間の経過とともに変動するが、これはフォルマント移動と呼ばれる。観測対象の母音前後に子音や母音がある単語を用いて研究を行う際には、フォルマント遷移による影響を取り除くために、時間 33% から 66% の間における音質変化をフォルマント移動と定義し解析するといった手法をとることが多い。隣接音による影響を排除した上で様々な言語における母音のフォルマント移動の研究が行われる。

Watson and Harrington (1999) はフォルマント周波数の曲線をモデル化し、第 n フォルマント周波数の角度 θ_n を導入した。Ferguson and Kewley-Port (2007) は第 n フォルマント周波数の角度 θ_n を式 (3) のように提示した。図 1 において $F_{n,33}$ と $F_{n,66}$ は母音の持続時間 33%、66% における第 n フォルマント周波数であり、 d は母音の持続時間である。

¹ Bark scale。Traunmüller (1990) の式に従う。式 (2) の Zn と同じ。

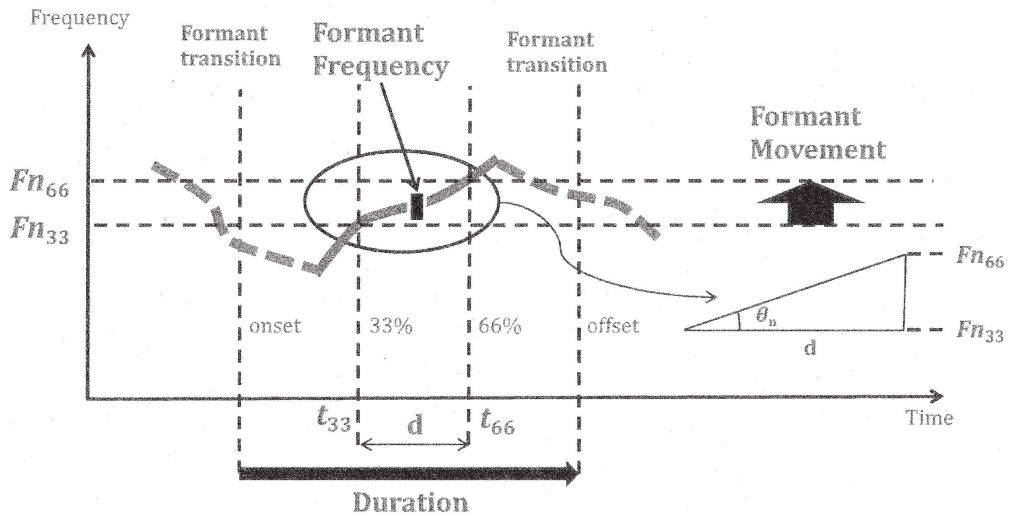


図1 母音の音質を研究する際に使用される音響的特性(筆者作成)
持続時間 33%から 66%の間における第 n フォルマント移動を示す

$$\theta_n = \arctan\left(\frac{F_{n66} - F_{n33}}{d}\right) \quad (3)$$

3.1 研究目的

母音の緊張性を評価する手法は確立していない。したがって、学習者は外国語の母音を学習する際に、産出した緊張・弛緩母音のペア/i:/、/ɪ/に関する緊張性の妥当性を評価する手段を持たない。母音の緊張性の客観的な評価を行うためには、緊張性の数値化が必要となる。

本稿では石崎(2019a)による母音の緊張性の数理モデルを取り入れ、学習者が英語の緊張母音/i:/と弛緩母音/ɪ/の発音を学習する際に使用可能な緊張性を評価する手法について考察する。

3.2 研究方法

石崎(2019a)が提示した母音の緊張性の指標(第1フォルマント周波数の角度 θ_1)と持続時間 33%時点における第1フォルマント周波数 $F1_{33}$ 、持続時間 d の測定を行う。研究対象の母音は英語の緊張母音/i:/と弛緩母音/ɪ/、日本語の長母音「イー」とする。すでに緊張性が明らかになっている英語母音/i:/及び/ɪ/と近い開口度や舌の位置で発音される狭母音、前舌母音である「イー」を学習者が産出する母音と想定し本研究における日本語母音として選択した。また、持続時間が長めの母音を研究対象としたのは、フォルマント移動及び角度 θ_1 の観測可能性をより高めるためである。複数の機関が用意する音声データを使用し、英語の緊張母音/i:/と弛緩母音/ɪ/、日本語の長母音「イー」の示す緊張性の指標(第1フォルマント周波数の角度 θ_1)の評価が定量的に可能であるかを検証する。

日本語の音声データとして使用したものは、三省堂の「新明解国語辞典 第七版」電子版に付属している音声データ、東京大学大学院のオンライン日本語アクセント辞書(OJAD)、Oxford

Acoustic Phonetic Database (OAPD)及び国立情報学研究所の音声資源コンソーシアムが提供する音声コーパス「東北大-松下单語音声データベース(TMW)」である。新明解国語辞典においては、すべての見出し語にアクセントが表示され女性1名(青年層)の音声データが収録されている。東京語を基礎とする標準的なアクセントを採用するように努めたものとされている。OJADは国立国語研究所・共同研究プロジェクト「日本語教育のためのコーパスを利用したオンライン日本語アクセント辞書の開発」の成果物である。約9,000の名詞、約3,500の用言(動詞, い形容詞, な形容詞)について男女各1名(青年層)の音声データ(東京方言アクセント)が収められている。OAPDはオクスフォード大学で作成された音声資源で、日本語やフランス語などの9ヶ国語の単語の音声を調べることが可能である。約500の名詞、用言について男女各4名(26~31歳)の音声データが収められている。東北大-松下单語音声データベース(TMW)は東北大学応用情報学研究センター、松下通信工業株式会社及び松下技研株式会社が作成したものであり、すべての音素環境が出現するように選択された212語とJRの駅名や鉄道路線名から選択された3285語で構成される。Set 1(60名(男女各30名)、各1回発声)、Set 2(12名(男女各6名)、各1回発声)のデータが収納されている。

日本語母音「イー」のフォルマント移動を調査する上で使用したのは計168音声データであり、内訳は女性1名計66音声データ(新明解)、男女各1名計33音声データ(OJAD)、男女各4名計26音声データ(OAPD)、男女各複数名計43音声データ(TMW)である。調査する単語のアクセントパターンについてはHL, LH, (HH, LL)の3つで、データ数は63, 65, 40である。隣接する子音や母音による観測対象の母音の音質への影響を取り除くために、観測対象の母音の持続時間33%時点から66%時点の間における音質変化をフォルマント移動と定義し解析を行った。母音の解析には音声解析ツールPraat(version 6.0.21)を使用した。

本研究で使用する単語としては多数の外来語を積極的に採用した。これは、日本語の高低アクセントの規則性を議論する際に外来語を使用するのが有用であると考えられるからである。例えば窪菌・太田(1998:209)は、「アクセントに関しては、和語に比べて外来語ならば歴史が浅い分不規則な変化を起こしている可能性が少ないし、また、あまりなじみがなく、暗記しているわけではないものならば、規則で処理するしかないので、規則を発見するには好都合なのである」と述べている。この考え方は、アクセントとの関連性を考慮しながら様々な音声現象の規則を考察する際にも有用であると考えられる。

英語母音のフォルマント移動のデータとしては、Cambridge English Pronouncing DictionaryとLongman Pronunciation Dictionaryの一般米語のものを使用した。単語“live”, “kit”, “leave”に含まれる緊張母音/i:/と弛緩母音/ɪ/について解析を行った。

以下、日本語母音については適宜「イー」を/iɪ/と表記する。本稿で示す日本語母音の解析結果は、長母音「イー」(アクセントパターンHL、一部はHHとLL)のものを抜粋した。F1₃₃、F1₆₆は持続時間33%、66%時点における第1フォルマント周波数を指す。図中に記載されるF、Mはそれぞれ女性、男性のデータであることを示し、SP+数字で表されるのは被験者識別番号である。

4. 結果：母音の緊張性の評価

日本語母音 /iR/ (HL) と英語母音 /i:/、/ɪ/ が示す角度 θ_1 (横軸) と $F1_{33}$ (縦軸)、持続時間 d (バブルの大きさ) の相関を図 2 に示す (データは新明解国語辞典)。この図によりフォルマント周波数が時間経過に伴い変動する際の情報 (始点、角度、時間) を把握することができる。本稿の図では、各種データ間の持続時間の対照を視覚的に可能とするため、敢えて同形のバブルを使用してプロットしている。

英語話者が発音する母音 /ɪ/ の $F1_{33}$ 、 $F1_{33}$ は約 390~590Hz 付近に分布している。持続時間 d は 0.34~0.76 デシ秒の値を取っている。第1フォルマント周波数の角度 θ_1 は正の値を示す傾向にあり、その平均値は 0.86 ラジアンである。一方、母音 /i:/ の $F1_{33}$ 、 $F1_{33}$ は約 280~350Hz 付近に分布している。持続時間 d は 0.53~0.72 デシ秒の値を取っている。第1フォルマント周波数の角度 θ_1 はゼロ付近を示す傾向にあり、その平均値は 0.00 ラジアンである。

日本語話者が発音する母音 /iR/ (HL) の $F1_{33}$ 、 $F1_{33}$ は約 260~400Hz 付近に分布している。持続時間 d は 0.75~1.29 デシ秒の値を取っている。 θ_1 は -0.62~0.26 ラジアン の値を取り、負の値を示す傾向にある。その平均値は -0.31 ラジアンである。緊張性の時間依存は緊張 (tense) を示す傾向にあると言え、英語母音 /i:/ と同等またはそれ以上の緊張の傾向にあることが図 2 から容易に把握

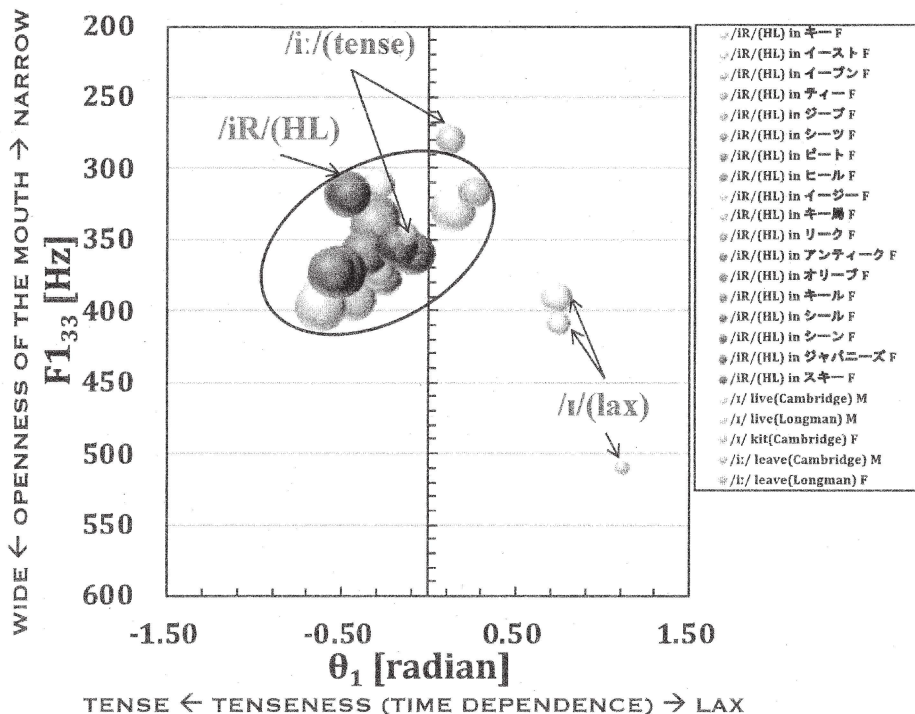


図 2 日本語母音 /iR/ と英語母音 /i:/、/ɪ/ の角度 θ_1 と $F1_{33}$ 及び持続時間 d (新明解国語辞典のデータを使用。 d は円の大きさで表示。)

できる。日本語母音/iR/(HL)の持続時間は当該の英語母音よりも若干長めであるように見える。

図3, 4, 5に示すのは、OJAD、OAPD、TMWのデータから求めた角度 θ_1 (横軸)と $F1_{33}$ (縦軸)、持続時間 d (バブルの大きさ)の相関である。

OJADデータから求めた日本語母音/iR/(HL, HH, LL)の θ_1 は-1.04~0.22ラジアン of 値を取り、負の値を示す傾向にある。緊張性の時間依存は緊張(tense)を示す傾向にあると言え、英語母音/i:/と同等またはそれ以上の緊張の傾向にある。日本語母音/iR/(HL, HH, LL)の持続時間は0.35~0.62デシ秒であり、当該の英語母音と同等であるように見える。

OAPDデータから求めた日本語母音/iR/(HL)の θ_1 は-1.02~0.40ラジアン of 値を取った。緊張性の時間依存は強い緊張(tense)を示す場合と弱い弛緩(lax)を示す場合が見られる。日本語母音/iR/(HL)の持続時間は0.26~0.48デシ秒であり、当該の英語母音よりも若干短めであるように見える。

TMWデータから求めた日本語母音/iR/(HL)の θ_1 は-0.79~0.63ラジアン of 値を取った。緊張性の時間依存は安定(stable)を示す場合が多く、英語母音/i:/と同等の緊張の傾向にある。日本語母音/iR/(HL)の持続時間は0.47~1.13デシ秒であり、当該の英語母音と大きな違いはない。

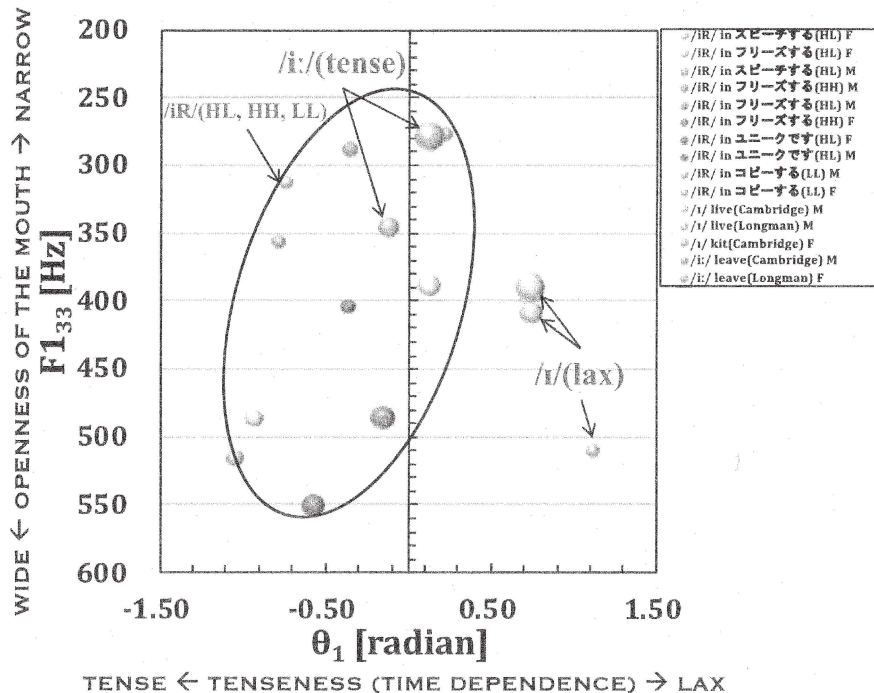


図3 日本語母音/iR/と英語母音/i:/、/ɪ/の角度 θ_1 と $F1_{33}$ 及び持続時間 d
(OJADのデータを使用。 d は円の大きさで表示。)

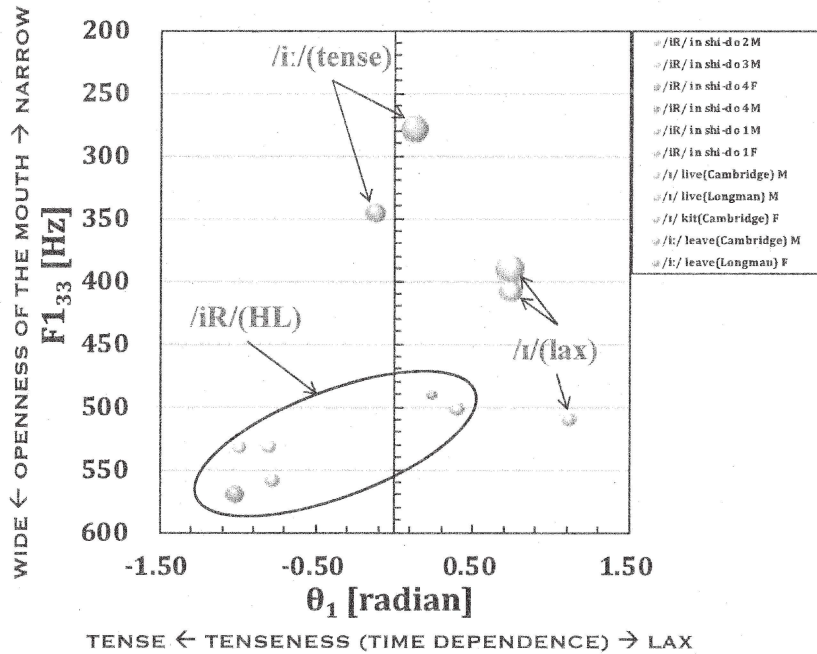


図4 日本語母音/iR/と英語母音/i:/、/i/ の角度 θ_1 と $F1_{33}$ 及び持続時間 d
(OAPDのデータを使用。 d は円の大きさを表示。)

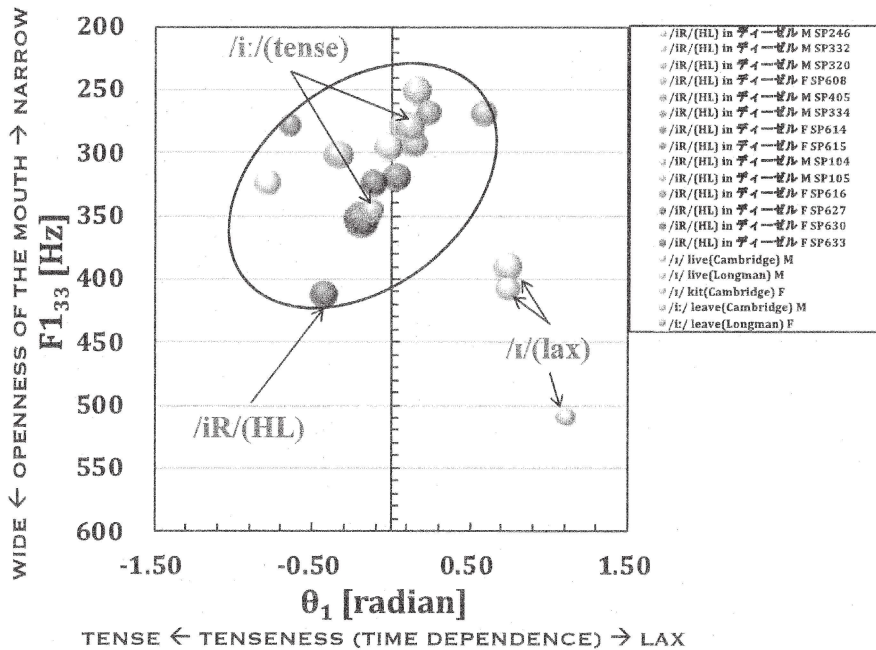


図5 日本語母音/iR/と英語母音/i:/、/i/ の角度 θ_1 と $F1_{33}$ 及び持続時間 d
(TMWのデータを使用。 d は円の大きさを表示。)

5. 考察：発音教育における緊張性の定量的評価の可否

学習者が英語の緊張母音/i:/と弛緩母音/ɪ/の発音を学習する際に使用可能な緊張性の違いを評価するシステムについて考察する。従来の学習者向けの英語発音教示システムの例としては、フォルマント周波数 F1, F2 を使用するフロー(図 6 左)が挙げられ、坪田ら(1999)などにより多くの研究が行われている。英語話者の産出した母音のフォルマント周波数を参照することにより学習者による発音の是非が判定されるものである。当該母音の緊張性を定量的に判定する手法は現時点では確立されていない。

第1フォルマント周波数の角度 θ_1 を母音の緊張性の指標とすることにより、英語の緊張母音/i:/と弛緩母音/ɪ/の緊張性が二分化していることを観測できる可能性があることを石崎(2019a)は主張した。このような緊張・弛緩母音が示す θ_1 の分布の傾向は、学習者により産出された母音の緊張性を相対的に「緊張状態」または「弛緩状態」として識別する上で有用と考えられる。したがって、この特性を利用した緊張性の可視化フロー(図 6 右)を従来の英語発音教示システム(図 6 左)に追加することは、当該母音の発音教育における緊張性の定量的評価を音響的な観点でリアルタイムに可能にするための一つの手法となり得ると考えられる。

本稿では複数の機関が用意する音声データを使用し、英語の緊張母音/i:/と弛緩母音/ɪ/、日本語の長母音「イー」の示す緊張性の指標の評価が定量的に可能であることを確認できた。この結果から、緊張性の指標となる第1フォルマント周波数の角度 θ_1 (横軸)と持続時間 33%時点における第1フォルマント周波数 F1₃₃ (縦軸)、持続時間 d (バブルの大きさ)の相関を図 2~5 のように表すことにより、学習者が産出する母音の発音の当該特性を容易にターゲットとなる外国語の母音と対照して評価することが可能となることを提示する。

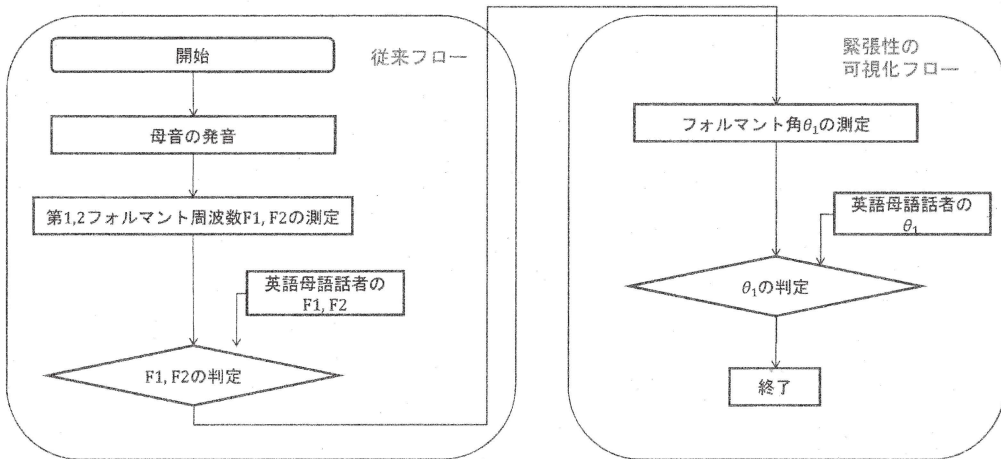


図 6 緊張性推定による日本語話者向けの英語発音教示システム

6. おわりに

母音の緊張性は定量的に認識されないため、学習者が発音する緊張・弛緩母音のペアにおける緊張性の違いを評価することは困難であった。本稿では、学習者が英語の緊張・弛緩母音のペア

/i:/, /ɪ/の発音を学習する際に使用可能な緊張性の違いを評価する手法について考察した。

石崎 (2019a) は母音の緊張性を考察する上で時間依存の概念を導入し、その指標を第 1 フォルマント周波数の角度 θ_1 とする数理モデルを提示した。緊張性の時間依存、声道内の空間形状の変動、第 1 フォルマント移動及び第 1 フォルマント周波数の角度 θ_1 の相関から、英語の緊張母音 /i:/ と弛緩母音 /ɪ/ の緊張性が二分化している可能性があると主張した。このモデルに基づき、学習者により産出された母音の緊張性を相対的に「緊張状態」または「弛緩状態」として識別することが可能であると考えられる。このような緊張・弛緩母音の示す θ_1 特性を利用した緊張性の可視化フローは、発音教育における緊張性の定量的評価を音響的な観点でリアルタイムに実現することを可能にすると考える。本稿では複数の機関が用意する音声データを使用し、緊張性の指標となる第 1 フォルマント周波数の角度 θ_1 (横軸) と持続時間 33% 時点における第 1 フォルマント周波数 $F1_{33}$ (縦軸)、持続時間 d (バブルの大きさ) の相関図を提示した。このように第 1 フォルマント移動の情報 (始点、角度、時間) を可視化することにより、英語の緊張母音 /i:/ と弛緩母音 /ɪ/、日本語の長母音「イー」の示す緊張性の指標の評価が定量的に可能であることを確認できた。

本稿では音響心理学的な尺度に基づき母音の緊張性の指標として θ_1 を採用した。一方、物理学的な尺度に基づきフォルマント周波数の実測値から算出する θ_{10} (石崎 2019b) を緊張性の指標とすることも可能であると考ええる。今後更なる研究を進め、母音の緊張性の可視化と発音教育への応用に関する考察を続け、その最適化を図っていきたい。

参考文献

- Assmann, Peter F. and William F. Katz (2000) Time-varying spectral change in the vowels of children and adults. *The Journal of the Acoustical Society of America* 108(4): 1856-1866.
- Chiba, Tsutomu and Masato Kajiyama (1941) *The vowel: Its nature and structure*. Tokyo: Tokyo-Kaiseikan.
- Chomsky, Noam and Morris Halle (1968) *The sound pattern of English*. New York: Harper & Low.
- Fant, Gunnar (1960) *Acoustic theory of speech production*. The Hague: Mouton.
- Ferguson, Sarah H. and Diane Kewley-Port (2007) Talker differences in clear and conversational speech: Acoustic characteristics of vowels. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 50: 1241-1255.
- 石崎達也 (2015) 「フォルマント移動に注目した英語母音発音指導方法の考察」外国語教育学会第 19 回大会口頭発表. 東京外国語大学, 2015 年 11 月 29 日.
- 石崎達也 (2016) 「フォルマント移動に注目した英語母音の発音指導方法の考察」『言語科学論集』20:1-12. 仙台: 東北大学大学院文学研究科言語科学専攻.
- 石崎達也 (2018a) 「日本語母音の緊張性とフォルマント移動の相関」『東北大学言語学論集』27:69-80. 仙台: 東北大学言語学研究会.
- 石崎達也 (2018b) 「日本語母音のアクセントと緊張性の相関」『言語科学論集』22:1-12. 仙台: 東北大学大学

院文学研究科言語科学専攻。

石崎達也 (2018c) 「母音の緊張性の可視化と発音教育における定量的評価の試み」 外国語教育学会第22回大会口頭発表。東京外国語大学, 2018年12月15日。

石崎達也 (2019a) 「時刻 t における母音の緊張性の可視化 — フォルマント周波数の時間依存性に注目して —」 『東北大学言語学論集』28:45-58。仙台: 東北大学言語学研究会。

石崎達也 (2019b) 「F0, F1 変化量による日本語母音の緊張性の可視化 — 母音「イー」「イイ」のフォルマント移動に注目して —」 『言語科学論集』23:1-12。仙台: 東北大学大学院文学研究科言語科学専攻。

石崎達也 (2019c) 「F0, F1 による母音の緊張性の可視化と発音方法の検討の試み」 外国語教育学会第23回大会口頭発表。東京外国語大学, 2019年12月14日。

Iverson, Paul and Bronwen G. Evans (2007) Learning English vowels with different first-language vowel systems: Perception of formant targets, formant movement, and duration. *The Journal of the Acoustical Society of America* 122(5): 2842-2854.

Jacewicz, Ewa and Robert A. Fox (2013) Cross-dialectal differences in dynamic formant patterns in American English vowels. *Vowel inherent spectral change*, 177-198. Berlin, Heidelberg: Springer.

Jones, Daniel. (2011) *Cambridge English pronouncing dictionary*. Cambridge: Cambridge University Press.

Jakobson, Roman, C. Gunnar Fant, and Morris Halle (1951) *Preliminaries to speech analysis: The distinctive features and their correlates*. Cambridge: The MIT Press.

窪蘭晴夫・太田聡 (1998) 「音韻構造とアクセント」, 中右実(編), 『日英語比較選書 10』研究社。

国立情報学研究所 音声資源コンソーシアム <http://research.nii.ac.jp/src/index.html> [2020年5月アクセス]

Oxford University (1993) Oxford Acoustic Phonetic Database,

<http://svr-www.eng.cam.ac.uk/comp.speech/Section1/Data/oxford.html> [accessed April 2018].

三省堂 (2011) 『新明解国語辞典 第七版』東京: 物書堂。

Slifka, Janet (2003) Tense/lax vowel classification using dynamic spectral cues. *Proceedings of 15th International conference of phonetic sciences*, 921-924.

坪田康・壇辻正剛・河原達也 (1999) 「フォルマント構造推定による日本人用英語発音教示システム」, 『情報処理学会研究報告音声言語情報処理 (SLP) 1999』64: 77-84.

東京大学大学院 (2012) 「OJAD - オンライン日本語アクセント辞書」

<http://www.gavo.t.u-tokyo.ac.jp/ojad/> [2016年10月アクセス]

Trautmüller, Hartmut (1990) Analytical expressions for the tonotopic sensory scale. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 88(1): 97-100.

Watson, Catherine I. and Jonathan Harrington (1999) Acoustic evidence for dynamic formant trajectories in Australian English vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America* 106(1): 458-468.

Wells, John C. (2008) *Longman Pronunciation Dictionary*. Harlow: Pearson Longman.

(東北大学大学院博士課程)