

脳波実験による日本語モーラ認知の実態

— 日本語母語話者の場合 —

任 星

キーワード：モーラ，音節，認知，ERP⁽¹⁾，脳電位トポグラフィー

はじめに

日本語学習者にとって特殊拍の知覚と生成の問題は、以前から指摘されており、例えば「切って」が「切て」に、「来て」が「来って」となる特殊拍の脱落や挿入が起きることが知られている。このような現象は知覚と産出に並存する問題である（戸田 2003）。日本語母語話者は母語の持続時間に基づいて、長母音と短母音を異なる音韻として区別していることが知られている（藤崎・杉藤 1977）。しかし、日本語学習者の多くにとって、母音の長さを適切な長さに制御して発音することや母音の長短を正確に知覚することは容易ではなく、このことは学習者の母語や日本語レベルにかかわらず広く観察されている（助川 1993, 小熊 2002）。

通常、知覚の習得は生成に先行すると考えられているが、これとは逆の事例や、聴取能力の向上が必ずしも発音の正確さには結びつかないという調査結果も報告されている。知覚と生成が一致しなければならぬという理論的根拠はないが、両者の関連については厳密な検証が必要であろう。この関係を解明する科学的な手法として脳波実験による解析がまさにそれに匹敵するのではないかと思う。言語音知覚を評価する新しい手法として、脳波の一種である事象関連電位（ERP）を脳波から取り出すことにより、言語音知覚による脳活動を調べることが可能である。

特殊拍の知覚に関する実験音声学的研究は今まで数多く行われてきたが、脳波を使った聴音音声学の研究は今まで、筆者が調べた限り、決して多いとは言えない。そこで本稿では、脳内でのモーラの認知実態を探るべく、日本語母語話者を対象に日本語自然言語音を用いた脳波実験を行った。その結果モーラの脳内認知における男女の差は顕著であったものの、2モーラ語と3モーラ語に対するモーラ数判定につながる動きは男女とも見られなかったことを指摘する。

1. 目 的

本実験では日本語母語話者を対象に事象関連電位を用いた脳波解析によって、日本語における特

殊拍 (/N/, /R/, /Q/)⁽²⁾ のモーラ性に対応する脳内での認知実態を探り、日本語音声教育のための基礎資料の作成を目的とする。

2. 方法および手順

2.1 収録手順

被験者をシールドルーム内の安楽椅子に座らせ、国際 10-20 法に基づくエレクトロ・キャップ (Electro-Cap International 社製, ECI-2) を装着させた。実験はノーマルによる silent repetition⁽³⁾ によった。各刺激音の提示間隔は 2,999~3,000 msec である。刺激音は各刺激音につき 35 回提示で、計 280 回である。再生音圧は 65 dBSL⁽⁴⁾ (音圧計: リオン社製・型式 NL-14)。



図1 エレクトロ・キャップ⁽⁵⁾

The 10-20 system

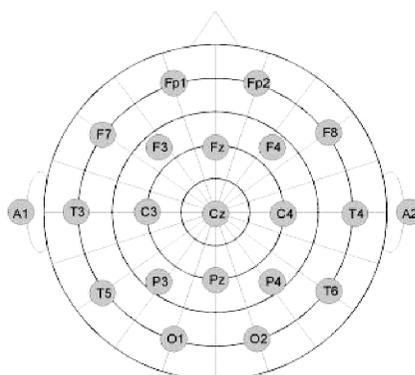


図2 国際 10-20 法

被験者に刺激音をランダムで聴いてもらった。その時、被験者にスピーカーから出てくる刺激音を「頭の中で繰り返すように」指示を与えた。本実験に入る前に課題の内容を十分に説明し、実験に対する理解と許可を得た。また、最も安定した脳波が得られるようにいろいろと考慮した。被験者がリラックスした状態で、音声実験室内のシールドルームにある安楽椅子に座ってもらった (図 3 参照)。そして、課題を聴く際に ERP 波形に影響を及ぼす要因となる行動などについて被験者に注意させた。視線は一点に定めてもらい、目は半眼、口も半開きにしてもらい、まばたきはできるだけ我慢するように、体はなるべく動かないようにしてもらった。取り込みは単発課題⁽⁶⁾ で、加算平均回数は 35 回⁽⁷⁾ である。

2.2 収録機器

取り込みに使用した機器は、電極箱 (NEC ELECTRODE BOX/TYPE 6 R 12-2)、生体アンプ (NEC BIOTOP 6 R 12-2)。収録ソフトは EPLYZER 2.1 (キッセイコムテック社)、OS は NEC 98 対応の MS-DOS 6.1 (機種は PC 98 xv 20) を使用した。

2.3 刺激音発声機器

刺激音発声に使用した機器は、PC (IBM Vision PS/V Model 2408), スピーカー (松下電器産業社製/Technics Linear Phase Speaker System), アンプ類 (松下電器産業社製/Technics Stereo Cassette Desk/RS-678 U, 松下電器産業社製/Technics Stereo Flat Preamplifier/SU-9070, 松下電器産業社製/Technics Stereo Universal Frequency Equalizer/SH-9010 E, 松下電器産業社製/Technics Peak/Average Meter Unit/SH-9020 M, 松下電器産業社製/Technics Stereo Power Amplifier/SE-9060) である。ソフトは榊氏作成の私家版ソフト Winstim である。

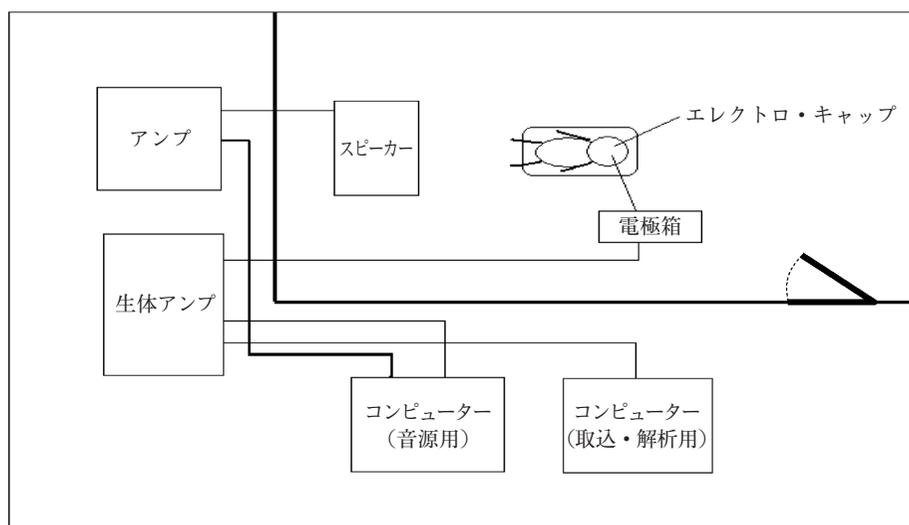


図3 実験室配置図

2.4 被験者

本実験では日本語母語話者が持つ音声上の特徴を統一するため、被験者は同一方言話者に限定した(表1)。

表1 被験者情報

被験者	性別	年齢	利き手	職業	言語形成期の滞在地
NSM	男性	22歳	右	大学生	神奈川県横浜市
NSF	女性	22歳	右	大学生	神奈川県横浜市

2.5 刺激音の選定

刺激音は、日本語自然言語音の /taRta/, /taNta/, /taQta/, /tata/ を平板型と頭高型のアクセント型で調音してもらった。したがって、刺激音は全部で8種類である⁽⁸⁾。

表 2

刺激音	調音時間長 (msec)	
	平板型	頭高型
taRta	584	483
taNta	588	517
taQta	587	553
tata	454	501

刺激音調音

H. T. さん (大学生), 男性 (22 歳)
言語形成期の滞在地: 東京都世田谷区

2.6 解析装置

解析ソフトは ATAMAP (キッセイコムテック社), OS は NEC 98 対応の MS-DOS 6.1 (機種は PC 98-xv 20・PC 9821-Nr 166) を使用した。

2.7 解析方法

被験者の瞬目などによるアーティファクトが発生したため, 取り込みソフト EPLYZER を用いて RAW データ再加算を行った。

次に, 解析ソフト ATAMAP の波形とトポグラフィーを摺り合わせ, ソフト搭載のマーキング機能で陰性波・陽性波で最も色濃くトポグラフィーが反応したところで cursor を立てた。

2.8 データ処理方法

ピーク潜時 (PL, Peak Latency の略)・ピーク間潜時 (IPL, Inter Peak Latency の略, 各ピーク潜時間の時間長のこと) と, トポグラフィー上で読み取れる電圧の相対差をもとに情報処理を行った。なお, その際に以下のことに着目した。

① N1 と P2 の潜時

聴いていれば必ず出現すると言われる N1, P2 の潜時を観察した。

② N1・P2・N2 でのピーク間潜時

①での N1・P2 に, 注意を傾けると電圧が増大すると言われる N2 を加えて観察を行った。その際, ピーク間潜時に注目した。

③ P3 の電圧情報

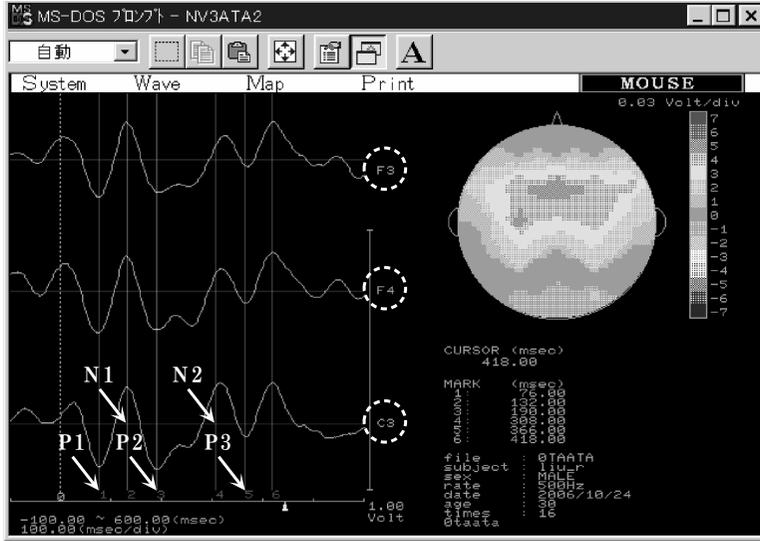


図4 脳電位トポグラフィー

P1：刺激音入力後にはじめて立ち上がった陽性波である。これは非特殊投射系の活動に関することから、これより時間的に先行するいわゆる中間潜時反応との関連が深い。さらに、聴覚皮質の反応とも言われており、要するに卑近な表現を用いれば、聴こえていれば必ず出る反応である。

N1/P2：N1 (negative polarity, N) は刺激音入力後にはじめて立ち上がった陰性波で、P2 (positive polarity, P) は二番目に立ち上がった陽性波である。N1/P2 は基本的には聴覚皮質の反応である。ただし、内因性の成分が重畳しており、語音判断の根拠となる。N1とP2は、通常ペアで出現することも知られている。また、睡眠時には出現しないことから、高次機能の認知と関わる事が確かめられている。

N2：N2は二番目に立ち上がった陰性波である。N2はAttentionと高い相関を示す。従って、言語音のような対象では、特に注意が傾けられると大きな振幅を持って出現しやすい。

P3：三番目に立ち上がった陽性波で、一般的な思考、判断等の高次機能を反映する。

図5はN1～P3までの電圧情報を示したものである。ピーク潜時の目安は以下の通りである、ただし、人によりまた課題によって値は変動する。

N1：90～150 (msec)

P2：170～260

N2：250～300

P3：250～500

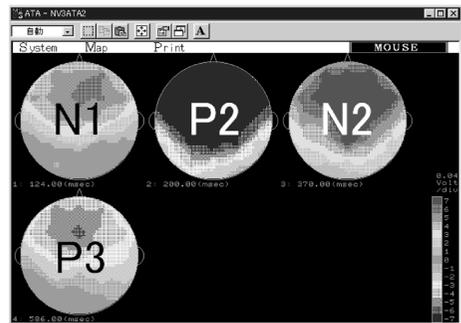


図5

3. 結果

3.1 電圧情報

表 3 NSM

刺激音 ^⑨	N 1	P 2	N 2	P 3
0 taRta	+	-	-	-
1 taRta	-	+	+	+
0 taNta	+	+	-	-
1 taNta	-	-	+	+
0 taQta	-	-	-	+
1 taQta	+	+	+	-
0 tata	-	-	-	-
1 tata	+	+	+	+

表 4 NSF

刺激音	N 1	P 2	N 2	P 3
0 taRta	+	+	+	-
1 taRta	-	-	-	+
0 taNta	-	-	+	+
1 taNta	+	+	-	-
0 taQta	+	+	+	+
1 taQta	-	-	-	-
0 tata	+	-	+	+
1 tata	-	+	-	-

刺激音を平板型と頭高型をペアにして比べ、電圧の強かった刺激音を「+」、弱かった刺激音を「-」と記した。

3.2 ピーク潜時 (PL)・ピーク間潜時 (IPL) 情報

表 5 PL (NSM)

単位：msec

刺激音	N 1	P 2	N 2	P 3
0 taRta	112	196	330	418
0 taNta	132	208	296	356
0 taQta	124	196	354	432
0 tata	152	188	336	468
1 taRta	120	180	336	560
1 taNta	114	200	370	458
1 taQta	128	204	360	484
1 tata	114	194	300	464

表 6 IPL (NSM)

単位：msec

P 2-N 1	N 2-P 2	P 3-N 2
84	134	88
76	88	60
72	158	78
36	148	132
60	156	224
86	170	88
76	156	124
80	106	164

表 7 PL (NSF)

単位：msec

刺激音	N 1	P 2	N 2	P 3
0 taRta	124	184	290	544
0 taNta	130	192	264	464
0 taQta	124	192	268	320
0 tata	132	188	266	384
1 taRta	124	188	272	564
1 taNta	122	192	272	356
1 taQta	128	188	306	364
1 tata	124	184	258	356

表 8 IPL (NSF)

単位：msec

P 2-N 1	N 2-P 2	P 3-N 2
60	106	254
62	72	200
68	76	52
56	78	118
64	84	292
70	80	84
60	118	58
60	74	98

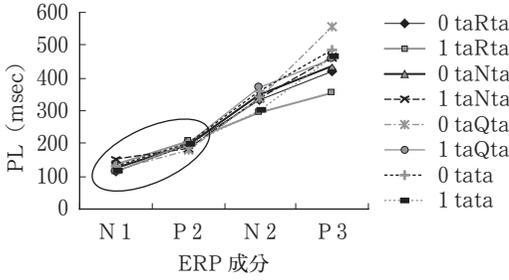


図 6 MSN

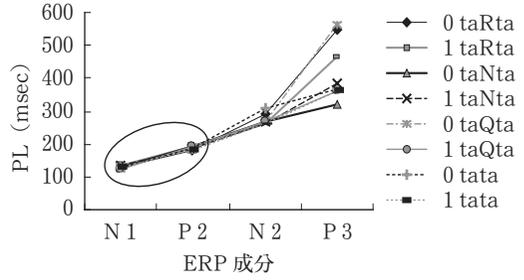


図 7 NSF

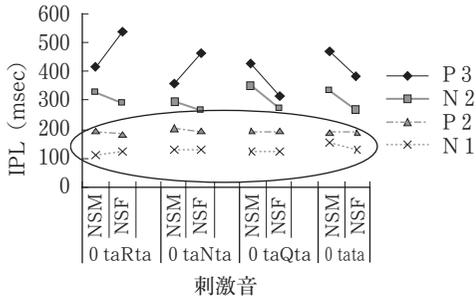


図 8 平板型

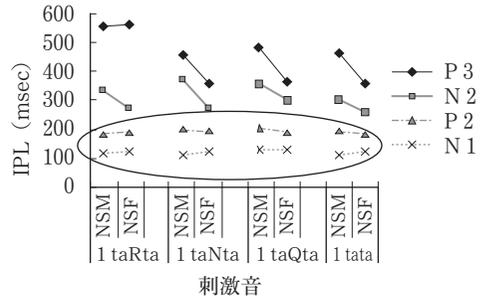


図 9 頭高型

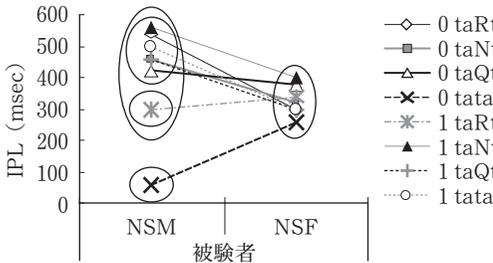


図 10 IPL (P2-N1)

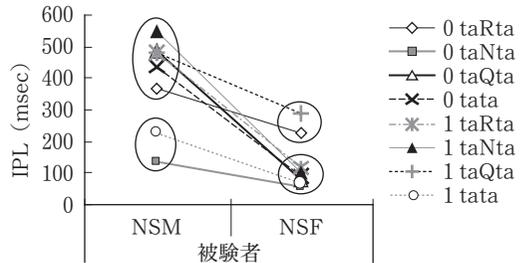


図 11 IPL (N2-P2)

表 9 IPL 比較

P2-N1		N2-P2	
NSM	NSF	NSM	NSF
0 taRta > 1 taRta	0 taRta < 1 taRta	0 taRta < 1 taRta	0 taRta > 1 taRta
0 taNta < 1 taNta			
0 taQta < 1 taQta	0 taQta > 1 taQta	0 taQta > 1 taQta	0 taQta < 1 taQta
0 tata < 1 tata	0 tata < 1 tata	0 tata > 1 tata	0 tata > 1 tata

3.3 被験者反応記録

各刺激音を聴き終わった時、被験者に刺激音を聴く際、体調および考えたことなどについて口頭でアンケートを取り、その全てを記録した。記録は以下の通りである。考察には以下の記録を考慮

したうえで分析を試みる。

NSM：・/0 tata/ 一音節目が強く聴こえた。

・/1 taQta/ が有意味語（立った）に聴こえた。

NSF：・/1 taQta/ は有意味語として聴いていない。

4. 考 察

まず、電圧情報（表3, 表4）での動きをみると、/taRta/ での N1, P3, /taQta/ での P3, /tata/ での P2 以外では男女の反応がまったく逆となっている。したがって本実験における男女の差はかなり大きいと言っていいたいだろう。

次に、N1, P2 の潜時（図6～図9）に注目する。NSM においては多少ずれがあるものの、目立った動きは見られなかった。NSF においては各刺激音に対する潜時がきれいに揃っていることがわかる。潜時情報を見ると、NSM の /0 tata/ の N1 が他の刺激音に比べ潜時がかなり遅れている。これは N1 の目安である 90～150 msec を多少超えているものの、P2・N2・P3 の潜時から特に変わった特徴が見られなかった。更に、被験者反応記録の NSM のところでも示したように「一音節目が強く聴こえた」の影響から判断すれば、N1 の潜時が遅れている原因が解明できる。ここでは2モーラ語と3モーラ語の反応に異なる動きは見出されなかった。

また、IPL (P2-N1) と IPL (N2-P2) に注目する（図10～図11）。まずは IPL (P2-N1) について検討する。NSM においては結果を三つのグループに分けることができる。この三つのうち二つは /0 tata/ と /1 taRta/ のみである。調音時間長を見ると、/1 taRta/ が他の刺激音に比べ短くなっているが、NSF の結果では特徴的な動きは見られなかったため、本実験においては刺激音の調音時間長の長短が IPL に影響を与えないとは言えない。

IPL (N2-P2) については両被験者とも二つのグループに分けられる。グループのうち、刺激音の数が少ないグループについて具体的にみると NSM においては「/1 tata/, /0 taNta/」, NSF においては「/1 taQta/, /0 taRta/」であることが分かるが、これもやはり2モーラと3モーラの異なる動きの判断要因にはつながらない。

アクセント型による分析からは表9のようにまとめられるが、ここからも2モーラ語と3モーラ語に区別のつく特徴的な現象は見出されなかった。

P3 については全体に非常に電圧が低くなっていた。新奇性を反映すると言われる P3 の反応があまりなかったということから、日本語母語話者にとって今回の刺激音が、違和感のないものとして認知されることが示唆された。

5. 展 望

本実験で用いられた刺激音をモーラの観点から検討すると、2モーラ語と3モーラ語のうちどち

らがERPにおよぼす影響が大きいとはっきりと確認することはできなかった。むしろ音節の観点から見た場合、2音節語には同じ動きが見られたと言えよう。また、男女の差が激しいことが見られたが、単なる性差なのかそれとも個人差なのかについては、被験者人数を増やし、結果の再現性や一般性を再検討する追験を行う必要がある。また、日本語学習者と比較してみる必要があると思う。

謝 辞

本実験は、筑波大学大学院人文社会科学研究所文芸・言語専攻、2006年度開講の「実験音声学研究」(担当:城生佰太郎)の授業内で行われたものである。論文作成にあたり城生佰太郎先生より貴重なご助言をいただきました。また、実験と討論に参加した、池田潤(筑波大学准教授)、二ノ宮崇司、盧嘉、伊藤直子、丸島歩、半田達郎、大橋瑤子、堰口紀子(以上実験音声学研究ゼミ生)(職階、身分などは2006年度による、敬称略)諸氏および被験者となってくださった2人の諸氏に深く感謝いたします。

〈注〉

- (1) 事象関連電位(event-related potential: ERP)とは外的或いは内的な事象に時間的に関連して生じる脳の一過性の電位変動のことである。意識をもって活動する人間から安全に記録できるため、心理学におけるツールとして利用されることが近年増えてきた。ERPを使って人間の心の働きを調べようとする研究は、認知精神生理学(cognitive psychophysiology)と呼ばれる(Donchin, Ritter, & McCallum, 1978)。従来の行動指標に加えてERPを測定することにより、外からは観察できない心理活動に関するさまざまな知見が得られている。
- (2) 特殊拍は本来スモール・キャピタルで表記すべきだが、フォントの制約上大文字で代用する。
- (3) 刺激音を頭の中だけで繰り返すこと。
- (4) デシベル表示には物理的に規定したレベルを基準とした SPL (sound pressure level) と、ヒトの感覚を基準とする SL (sensitive level) がある(城生 2005: 458)。
- (5) Electro-Cap International, Inc. HP より転載
- (6) この課題は同じ音を繰り返し聴く方法である。
- (7) 脳波の分野では目的の違いに応じて様々であるが、本実験では課題に対する被験者の負担を考慮した上で、明瞭な波形を得るため、加算回数を35回とした。この方法は、数十回の脳波データを、特定の事象の開始時点に揃えて、時間ポイントごとに加算平均することにより、その事象に関連した脳電位を抽出するものである。
- (8) ボトムアップ型の研究の基本姿勢では本来下記①と②の場合を平板、頭高、中高、尾高の全てのアクセント型を調べるべきである。

①モーラで3、音節で2(例:京都^{きょうと}) ②モーラで2、音節で1(例:点^{てん})

ただし、本実験では①のみを取り上げ、またアクセント型では、城生(1997)の結果で最も鋭敏に反応することがわかっている頭高型と、その対極にありそうな平板型のみを対象とする。

本実験における刺激音の作成にあたっては、被験者の聴覚印象を考慮に入れ、子音は破裂音 /t/ に、母音は最も安定度が高く明瞭な音色を帯びている /a/ の組み合わせを用いた。(林・寛(1989, 1990), 林(1990-a, 1990-b)など脳神経科学の分野における先行研究では、音素の種類によって脳内での反応時間が異なることが指摘されている。日本語の場合、/p/, /t/ など立ち上がりの鋭いものは潜時が短く、/s/, /r/, /n/, /m/ などでは逆に潜時が比較的長めになることが報告されている。本来は /p/ (林・寛1989) と、最も安定した母音 /a/ (城生1997) を用いるべきであるが、頭高型の /pa/pa/ が有意味単語「パパ」と認知され純粋にモーラや音節を認識した脳波は得られないと思われたため、今回は /t/ と /a/ の組み合わせを用いた。また、日本語に実際に存在する単語を刺激音にすることも考えられるが、本実験ではより客観的な結果を得るため、ほとんど日本語に実際にはないものを刺激音にした。

(9) 「0」は平板型, 「1」は頭高型である。

参考文献

- Donchin, E., Ritter, W., & McCallum, W. C. 1978 Cognitive psychophysiology: The endogenous components of the ERP. In E. Callaway, P. Tueting & S. H. Koslow (Eds.), *Event-related brain potentials in man*. New York: Academic Press. 349-411.
- 藤崎博也・杉藤美代子 (1977) 「音声の物理的性質」『岩波講座日本語』5, 63-106.
- 福盛貴弘 (2002) 「言語音の認知と ERP における N1 成分との関連性」『岡山大学言語学論業』9, 岡山大学言語学研究会, 19-34.
- 林 実 (1990a) 「音節のスペクトル変化に対する聞性誘発磁界の検討」『日本音響学会講演論文集』3-1, 日本生体磁気学会, 135-136.
- (1990b) 「単語音声に対する聞性誘発磁界の検討」『日本音響学会講演論文集』1-7-13, 日本音響学会, 343-344.
- 林 実・寛一彦 (1989) 「音素・音節検出実験に基づく音声知覚の基本単位の検討」『日本音響学会講演論文集』3-2-1, 日本音響学会, 355-356.
- (1990) 「反応時間に基づく音声知覚の基本単位の検討」『日本音響学会講演論文集』2-5-4, 日本音響学会, 311-312.
- 城生佰太郎 (1997) 『実験音声学研究』勉誠社, 277.
- (2005) 『日本音声学研究』勉誠出版
- (2007) 「モーラの正体 — ERP を用いた実験音声学的研究 —」『文藝言語研究・言語編』52, 23-36.
- 丸島歩 (2006) 「モーラ課題に関する基礎実験」『言語学論叢』第 25 号, 筑波大学一般応用言語学研究室, 41-58.
- 入戸野宏・堀忠雄 (2000) 「心理学研究における事象関連電位 (ERP) の利用」『広島大学総合科学部紀要 IV 理系編』26, 15-32.
- 小熊利江 (2002) 「学習者の自然発話に見られる日本語リズムの特徴」『言語文化と日本語教育』24, 1-12.
- 任 星 (2007a) 「韓国語学習者における日本語モーラの認知 — 脳波による検証 —」『第 5 回韓国日本語連合会国際学術大会予稿集』, 韓国日本語連合会, 531-536.
- (2007b) 「中国人日本語学習者における日本語モーラの認知 — 脳波による検証 —」『北京日本語研究中心 2007 年国際学術研討会予稿集』, 北京外国語大学, 119.
- (2007c) 「ERP と脳電位トポグラフィーを用いたモーラの認知実態 — 日本語母語話者と中国人日本語学習者を対象に —」『2007 年日語教学国際学術研討会要旨集』, 西安外国語大学, 63.
- 島田武 (1999) 「事象関連電位による日本語のモーラ認知に関する一考察」『第 13 回日本音声学会全国大会予稿集』, 89-94.
- 助川泰彦 (1993) 「母語別に見た発音の傾向 — アンケート調査の結果から —」『日本語音声と日本語教育 D1 班平成 4 年度研究成果報告書』, 187-222.
- 戸田貴子 (2003) 「外国人学習者の日本語特殊拍の習得」『音声研究』7: 2, 70-83.