

音声単語の同定においてアクセント核が果たす役割に関する知覚的検討

峯松 信明

中川 聖一

mine@tutics.tut.ac.jp nakagawa@tutics.tut.ac.jp

豊橋技術科学大学 情報工学系

〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1

あらまし 音声単語の同定(特に辞書検索, lexical access)において, アクセント核知覚により引き起こされる単語同定加速効果を, 1) 異なるモーラ長の単語間における加速効果の差異, 2) 音声単語親密度による加速効果(アクセント型固定), 3) アクセント核知覚による加速効果の親密度に対する依存性, 4) アクセント核知覚による加速効果と親密度による加速効果との比較, などの観点から実験的に検討した。その結果, 先行研究では扱われなかったモーラ長においても, 語頭アクセント核知覚による単語同定加速効果が観測された。そして, 高親密度時には語頭のみならず, 2モーラ目に位置するアクセント核の知覚によっても単語同定が加速されることが分かった。しかし, 中/低親密度の場合は2型による効果は低下し, 1型のみが加速効果を持つことが示された。また, 親密度による加速効果も示され, 更に, アクセント核知覚による加速効果と親密度による加速効果との比較についても一部例を示して行なった。

和文キーワード 音声知覚, 単語アクセント, アクセント核, 単語同定, 単語親密度, ゲーティングタスク

Perceptual study on the roles of accent nuclei in identifying spoken words in Japanese

Nobuaki MINEMATSU

Seiichi NAKAGAWA

mine@tutics.tut.ac.jp

nakagawa@tutics.tut.ac.jp

Department of Information and Computer Sciences, Toyohashi University of Technology

1-1 Hibirigaoka, Tenpaku-chou, Toyohashi-shi, Aichi, 441-8580, JAPAN

Abstract In this paper, the acceleration of spoken word identification caused by perceiving its accent nucleus was examined from the following new viewpoints; 1) the differences of the accelerating effects between words of the different number of morae, 2) the accelerating effects caused by word familiarity, 3) the dependency of the accelerating effects caused by the accent nucleus perception on the word familiarity, and 4) the comparison of the accelerating effects by the word familiarity and those by the accent nucleus perception. As a result, the acceleration was also observed with words of 3 and 5 morae, which were not examined in our previous study. And for words with high familiarity, the acceleration was found to be caused also by perceiving the accent nuclei located at the second mora of the words as well as those at the first mora. As for words with middle/low familiarity, however, it was found that only the perception of the accent nuclei at the first mora can accelerate the word identification. The experiments also showed the acceleration effects caused by the word familiarity and some examples of comparing the effects by the accent nucleus perception and those by the word familiarity.

英文 key words Speech perception, word accent, accent nucleus, word identification, word familiarity, gating task

1 はじめに

筆者らの一人は従来より、人間の音声知覚過程のモデル化と自動音声認識への応用を目的として一連の音声知覚実験を行ってきた^{[1]-[6]}。これらの実験では、分節的特徴のみならず、韻律的特徴が音声知覚、特に辞書検索 (lexical access) において果たす役割についても検討され、対象を単語音声に絞った実験においては、以下のような実験事実が得られている^{[4][5]}。

- 単語音声の同定に必要な語頭からの提示長は、アクセント核が語頭にある 1 型単語の場合顕著に短くなる。しかし、核が 2 モーラ目に位置する 2 型では、このような加速効果は観測されない (核が存在しない 0 型と有意差が観測されなかった)。
- アクセント型を異なる既存の型へ変形した単語音声 (分析合成音声)、或は、 F_0 一定へと変形した単語音声 (同様) に対してノイズを重畳して提示すると、本来 1 型のアクセント型を持つ単語音声は他型と比較して、顕著にその同定率が低下する。

これらの結果は「語頭アクセント核に対する知覚が単語同定処理が終了する以前に完了し (その結果、1 型アクセントであるとの同定も完了する)、その結果を用いて検索対象となる辞書空間を有効的に狭めている」と説明できる。更に、誤ったアクセント型の情報により同定率が顕著に下がることから「1 型単語は発声時のアクセント情報に大きく依存して知覚される」と解釈され、核の出現が遅れることによる単語同定加速効果の低下は「辞書検索過程における、アクセント情報と音韻情報間における利用の優先度が時間軸に沿って変化している」ことを示唆している。

しかし上記した先行研究では、小学校低学年の国語の教科書より抽出した平易な 4 モーラ単語のみを使用するなど、実験規模は比較的小さなものであった。また文献 [7] では、(音声単語) 親密度^[8]が語彙判断 (lexical decision) タスクの反応時間に与える影響について報告している (親密度の高いものほど反応時間は短くなる)。筆者の先行研究では gating task を用いて「単語同定に必要な最短提示長」を観測したが、親密度の高/低によってもその長さは減/増することが推測される (親密度による単語同定加速効果)。そして先行研究では、親密度が「アクセント核知覚による加速効果」に及ぼす影響については何も言及できていない。これらの考察を踏まえ本研究では、

- 異なるモーラ数の単語においても、アクセント核知覚による単語同定加速効果は観測されるのか?
- 音声単語親密度の高低に依らず、アクセント核知覚による単語同定加速効果は観測されるのか?
- 音声単語親密度による単語同定加速効果は gating task でも観測されるのか?
- アクセント核知覚による加速効果は、どの程度の単語親密度による加速効果と等価なのか?

の各項目について実験的に検討することを目的とし、知覚実験を計画・遂行することとした。

2 辞書検索処理において韻律的特徴が果たす役割と言語依存性

辞書検索処理における韻律的特徴の働きに関しては、英語^[9]、オランダ語^{[10][11]}、日本語^{[5][12]}、中国語^[13]など種々の言語において実験的に検討されている。対象を単語音声に限定した場合の韻律的特徴は (単語) アクセントと呼ばれるが、周知のようにその音響の実体は言語によって異なる。例えば、日本語の単語アクセントは基本周波数によって記述され「高さアクセント」と呼ばれるが、英語では一般に「強さアクセント」と呼ばれる^[14]。但しこの場合、その音響の実体としては (短時間) パワーのみならず、継続時間、短時間パワーの時間累積値、基本周波数、更には母音の明瞭性までもが考慮されるべきだと議論もある^[15] (英語の場合、弱勢としてのみ存在し得る母音が存在する)。このように単語音声に付随する韻律的特徴は言語によって異なり、その結果、韻律的特徴が辞書検索過程に対して及ぼす影響も言語依存となることが予想される。文献 [10] では、種々の音声知覚現象を言語依存/非依存に分類しているが、単語の韻律的構造 (the prosodic structure of words) は言語依存であると述べている。そして、英語やオランダ語と比較して、日本語や中国語の方が韻律的特徴による辞書検索候補の絞り込み効果は大きいと述べている。その理由として文献 [10] では (例えば英語の場合)、強勢/弱勢の差が母音の明瞭性 (即ち分節的特徴の差) としてしばしば生成され、その結果、純粹に韻律的特徴のみをキーとした辞書検索候補の絞り込みは稀となる、と述べている。但し「(英語) 単語音声に対して誤った強/弱勢パターンを付与すると、該当辞書項目への検索は妨げられる」としており、強/弱勢パターンが辞書検索と全く無関係であると主張しているものではない。

3 実験方法

3.1 刺激音声試料の選択

第 1 節で述べた項目を目的として実験を行なう場合、種々のモーラ数の単語刺激、及び種々の親密度を持った単語刺激が必要となる。以下、単語刺激の選択について述べる。

3.1.1 高親密度の 3/4/5 モーラ単語

モーラ数が 3/4/5 の比較的高親密度と考えられる単語を用意した。この際、各モーラ数に対して 0/1/2 型のアクセント型を持つ単語を各々 10 単語ずつ選んだ。アクセント核の位置で分類するならば、無し (0 型)/1 モーラ目 (1 型)/2 モーラ目 (2 型)、である (表 1 参照)。なお、刺激単語選択時では実験者の主観によって「高親密度」単語を選択しているが、第 3.5 節で述べるように、全実験終了後、使用した単語刺激に対する音声単語親密度を被験者毎に測定しており、第 4 節における実験結果の集計・考察は、測定した親密度を基に行なっている。

表 1. 高親密度の 3/4/5 モーラ単語

モーラ数	3			4			5		
親密度	高			高			高		
アクセント	0	1	2	0	1	2	0	1	2
単語数	10	10	10	10	10	10	10	10	10

表 2. 親密度が大きく変化する 4 モーラ単語

モーラ数	4		
親密度	低~高		
アクセント	0	1	2
単語数	40	40	40

3.1.2 親密度が大きく変化する 4 モーラ単語

4 モーラ単語に対して、親密度が大きく異なると考えられる単語セットを 0~2 型別に各々 40 単語ずつ用意した (表 2 参照)。なお第 3.1.1 節同様、親密度は、実験後にアンケートにより調査する。なお、本節における高親密度 (と考えられる) の 4 モーラ単語には第 3.1.1 節における 4 モーラ単語を使用しており、結局、合計 $10 \times 6 + 40 \times 3 = 180$ 種類の単語を用意した。

本実験では gating task による実験を考えているため、辞書空間における (音韻的) 疎密度をも制御した上で単語を選択する必要がある。そこで本実験では三省堂現代国語辞典^[16]を使用し、与えられた n モーラ系列を語頭に共有する単語セット (cohort) サイズを計算した。この際、アクセント情報は使用していない。次に上記辞典中の 2 モーラ以上の各エントリに対して語頭 2 モーラ提示時の cohort サイズを計算し、平均 cohort サイズ及び標準偏差を算出した。上記で選んだ 180 単語はいずれもその cohort サイズが、平均 cohort サイズ $\pm 0.3\sigma$ に入る単語である。

3.2 音声刺激の収録

成人男性 1 人が自然な発話速度で各単語 (合計 180 単語) を発声した。モーラ数、アクセント型別に音声長の平均と標準偏差を図 1 に示す。分散分析の結果、型間における音声長の有意差は、いずれのモーラ数の場合も観測されなかった。即ち、モーラ数別に見た場合、アクセント型間で音声長が揃っている刺激であると言える。

3.3 刺激音声の提示手順とタスク

Gating task の遂行を考えているので、1 セッションにつき 180 単語をランダムに並び替え、語頭からの d [msec] のみを提示し (その後は無音とする。雑音などの付加提示による、単語長、或は単語モーラ数の提示は行なわない)、被験者に“単語全体”を推定させる。単語刺激は自然発声による音声のため、単語モーラ長が増加すると平均モーラ時間長は「減る」傾向にあった (発話が速くなる)。そこで単語モーラ数別に平均モーラ時間長を求め、以下の式に従って、第 m セッションにおける n モーラ単語に対する提示長 d_n^m を決定した。

$$d_n^m = D_n + \frac{D_n}{3} \times m \quad (1)$$

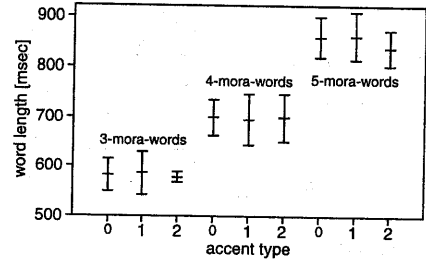


図 1. モーラ数別に見た単語長の分布 (平均&標準偏差)

ここで D_n は、単語モーラ数が n の場合の平均モーラ時間長である。また $1 \leq m \leq 3 \times (5 - 1)$ である。即ち、各単語に対して 1.333 モーラの提示から実験が開始され¹、 $1/3$ モーラずつ提示長を増加し、全単語長が提示されるまでセッションは繰り返される。

なお、刺激間隔は 2.5 秒とし、刺激提示の直前に 100 Hz のピープ音を 0.1 秒提示し、次提示の聴取の準備をさせた。被験者は、刺激間隔の間に推定された単語を、指定された用紙に記入するよう指示されている。なお、刺激間隔の 2.5 秒は、推定単語を記入するために必要最低限の時間を予備実験により計測したものである。こうすることで、被験者は提示単語に対して瞬時に推定された単語のみ記入できることとなる。Gating task による実験の場合、推測に必要な以上の時間を与えると、音声知覚過程を off-line で観測していることとなる。そこで本実験では、単語の推測及び記入に対しては、必要最小限の時間のみを与えている。なお記入に際して、ある単語が想起/推測された場合は「○」を、そうでない場合 (聞こえた通りにモーラ系列を記入しただけの場合) は「×」を別途記入させた。また、平仮名での記入も許可し、同音異字語に対しては、実験後のアンケートにより記入単語の意味を追跡調査した。

3.4 同定に必要な最短提示時間

表 3 に示すように、刺激長 d_n^m が増えるに従って、推定単語は一つの単語へと絞られていく。集計結果より「ある単語 w を同定するために必要な最短提示時間長」を求める必要があるが、これは以下の規則を適用して求めた。

セッション $m + 1$ から $m + k$ まで連続して k 回単語 w が推定され、引き続きセッションにおいて連続して l 回、 w とは異なる単語が推定された場合、

$$l \leq k$$

ならば、この l 回は w が推定された、と解釈する。

この処置は、記入時間を短く設定したために引き起こされる記入誤りを修正することを目的としている。なお、実際に適用されたのは $l = 1$ の場合のみであった。

¹ 英語などの言語と違い、日本語の場合、モーラ等時性が仮定できるため gating の実験には都合が良い。

表 3. Gating task における推定単語例

提示単語	推定単語		
しつれい ⇒ すてんれす → しゅつぼつ → しゅつじょう →	しつれい	→ しつれい	→ しつれい
らいばる ⇒ らいと → らいと → らいぶ →	らいばる	→ らいばる	→ らいばる
すどれす ⇒ すと → すとつぷ → すとりーむ →	すどれす	→ すとつぷ	→ すとつぷ
	すとつぷ	→ すとつぷ	→ すとつぷ

3.5 親密度測定

Gating テスト終了後、親密度に対するアンケート調査を行なった。ここでは提示 180 単語の平仮名表記と、それに対応する漢字仮名表記を一つ(実験者側が想定した表記)を提示し、親密度(馴染みの深さ)を 7 段階(1~7)で評定してもらった。親密度の決定に際しては、平仮名表記から「音」の情報を、漢字仮名表記から「意味」の情報を取得して親密度を決定するよう指示した。即ち、漢字仮名表記における「表記上の難しさ」に引きずられることなく作業するよう促した^[7]。また親密度の決定に際しては、「知っている/知らない」の二値判断を行なわないよう注意した。なお gating テスト時に、上記漢字仮名表記とは異なる意味(単語)を想起した場合には(同音異字語)、その単語を漢字で表記させ、その「意味」に対する親密度も別途記入させた。最終的に使用する親密度は、gating テスト時に想起した意味(単語)に対する値を使用した。

3.6 被験者

被験者は東京方言を話す成人男性 8 名である。

4 実験結果と考察

4.1 親密度の被験者間によるばらつき

本研究では各単語の親密度を被験者毎に測定しており、文献 [7] のように刺激単語に対して唯一の親密度を与える処理は行っていない。アンケートの結果、被験者全員が同一の意味を想起した単語群(170 単語)について、親密度のばらつき(標準偏差)に対するヒストグラム([σ] を使ってグルーピングしている)を図 2 に示す。図より、単語刺激の半数以上において標準偏差が 1 を越えており、実験の精度を高めるためには、親密度を被験者毎に求め(直し)、集計する必要があることが分かる。

4.2 高親密度の 3/4/5 モーラ単語に対する結果と分析

3, 5 モーラ単語に対しては、各アクセント型(0/1/2)に対して各々 80 個(10 個 × 8 人)ずつの親密度結果が得られている。また、4 モーラ単語に対しては、各型に対して各々 320 個(40 個 × 8 人)ずつの親密度結果が得られている。これらの単語刺激から、親密度が 6 及び 7 のものを「高親密度」と定義し、分析対象とする。なお、分析対象となる刺激数は表 4 の通りであった。これらの単語セットに対して「単語同定に必要な最短提示長」をアクセント型別に集計したものを図 3 に示す。図は左から、3/4/5 モーラ単語セットに対応している。各図の左軸は提示長を式(1)の m で表現したものであり、右軸は提示長をモーラ数で表現したものである(3 セッションによる提示長の

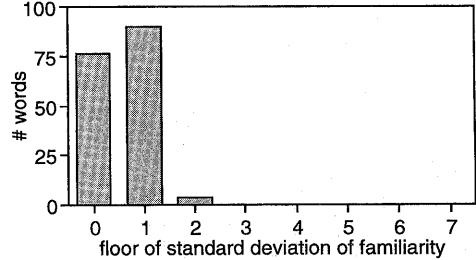


図 2. 被験者間の親密度のばらつき

表 4. 高親密度 3/4/5 モーラ単語の刺激数

モーラ数	3 モーラ	4 モーラ	5 モーラ
0 型	79	115	51
1 型	62	106	58
2 型	63	110	57

表 5. 分散分析結果(高親密度 3/4/5 モーラ単語)

型間	0-1	1-2	0-2
3 モーラ	< 1%	< 1%	< 1%
4 モーラ	< 1%		< 1%
5 モーラ	< 1%		< 5%

増加が 1 モーラ分に相当する)。更にこれらの結果に対して分散分析を行なった。結果を表 5 に示す。

表より最短提示長は 3 モーラ単語の場合 1 型 < 2 型 < 0 型となり、4/5 モーラ単語では 1 型 = 2 型 < 0 型となった。即ち、3, 5 モーラ単語の場合でも語頭アクセント核知覚による単語同定加速効果が観測された。しかし先行研究 [5] と異なり、アクセント核が 2 モーラ目に位置する 2 型においても加速効果が各モーラ数において観測された。この差異については次節で考察する。

4.3 種々の親密度を持つ 4 モーラ単語に対する結果と分析

4 モーラ単語刺激から、親密度として 2~3/4~5/6~7(低/中/高)の値を持つ単語セットを分析対象とする。なお親密度測定実験において親密度 1 は「未知単語」との定義を行っており、分析対象外とした。その結果分析対象となる刺激数は表 6 の通りであった。これらの単語セットに対して「単語同定に必要な最短提示長」をアクセント型別に集計したものを図 4 に示す。図は左から、低/中/高親密度の単語セットに対応している。第 4.2 節と同様に分散分析を行なって、アクセント型間の最短提示長の有意差検定を行なった。結果を表 7 に示す。

表より高親密度の場合、最短提示長は 0 型 > 1 型 = 2 型となり、中/低親密度の場合は、0 型 = 2 型 > 1 型となっている。即ち、2 モーラ目に存在するアクセント核知覚による単語同定の加速効果は、親密度に依存する結果が得られた。先行研究 [5] では、2 モーラ目の核による加速効果は観測されなかったが、その際の刺激の選択における親密度への配慮に関しては「小学生低学年用の国語の教科

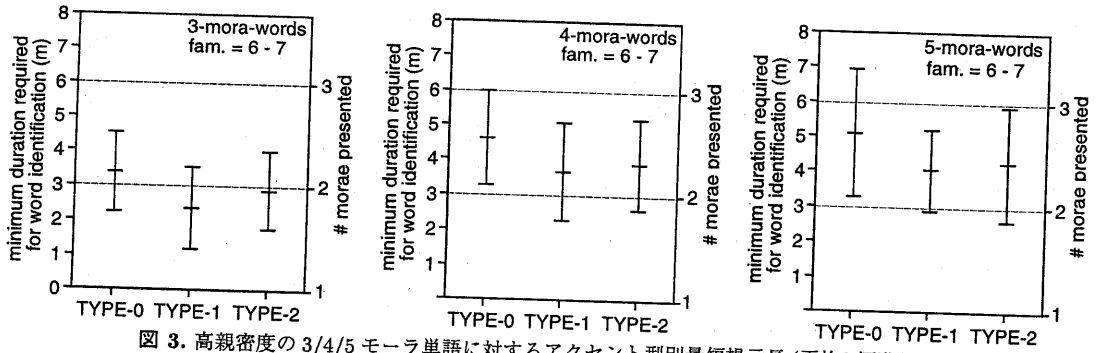


図 3. 高親密度の 3/4/5 モーラ単語に対するアクセント型別最短提示長 (平均&標準偏差)

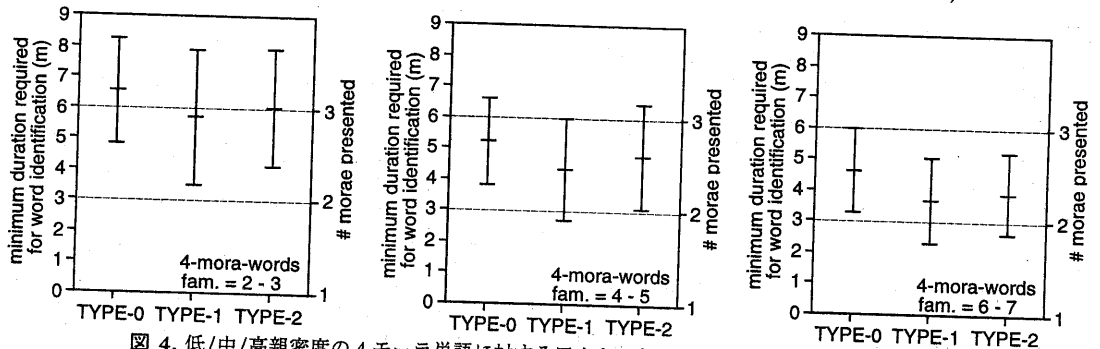


図 4. 低/中/高親密度の 4 モーラ単語に対するアクセント型別最短提示長 (平均&標準偏差)

表 6. 低/中/高親密度 4 モーラ単語の刺激数

親密度	2~3	4~5	6~7
0 型	78	93	115
1 型	54	97	106
2 型	73	99	110

表 8. 分散分析結果 (4 モーラ単語, 親密度による差)

親密度	[2~3] → [4~5]	[4~5] → [6~7]
0 型	< 1%	< 1%
1 型	< 1%	< 1%
2 型	< 1%	< 1%

表 7. 分散分析結果 (低/中/高親密度 4 モーラ単語)

型間	0-1	1-2	0-2
2~3	< 5%	< 5%	
4~5	< 1%	< 5%	
6~7	< 1%		< 1%

書から選択」したに過ぎない。今回の実験では、各被験者毎に各刺激単語の親密度を測定するなど、(データ集計時に)より精密な親密度の制御を行なっており、この実験条件の差が結果に反映したものと考えられる。今後辞書検索を念頭に置いた実験を行なう場合は、親密度の統制を常に要する必要がある。なお、1型による加速効果は、親密度に依らず観測されていることが分かる。

4.4 親密度による単語同定加速効果

次に、同一アクセント型内での、親密度による単語同定加速効果について考察する。ここでは、アクセント型を固定し、親密度の差がどの程度最短提示長に影響を与えるか、について分散分析により検討する。結果を表 8 に示

す。なお表は全て、親密度が高くなることにより最短提示長が短くなる、という変化に対する有意差検定である。表より、いずれの型においても親密度が高くなると、最短提示長は有意に短くなるが示された。この結果からも、gating や語彙判断など、単語頭からの部分的な音声提示で単語を同定させるタスクにおいては、(事前或は集計時の)親密度の統制が必要であることが分かる。

4.5 アクセント核による加速効果と親密度による加速効果

得られた実験結果より、異なる 2 つの要因による単語同定加速効果を比較することが可能である。今、単語セットをアクセント型と親密度で規定し、(型, 親密度)と表記することにする。単語セット (0, 4~5) と (1, 4~5) を比較すると当然後の方が最短提示長は短い。と同時に (0, 4~5) と (0, 6~7) を比較すると、当然後の方が最短提示長は短い。そこで、セット (1, 4~5) と (0, 6~7) とを比較してみると、両者には危険率 15% でも有意差は観測されない。即ち、(0, 4~5) に対して親密度を 6~7 へ上げることによる加速効果と、型を変化させる (0 型 → 1 型)

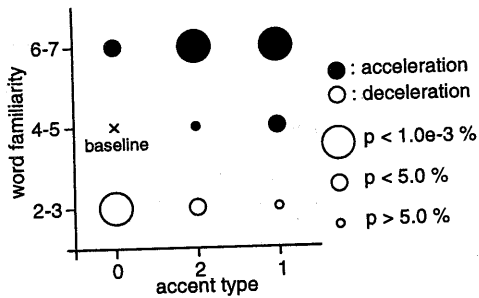


図 5. (0, 4~5) を基準とした各単語セット間の最短提示長

ことによる加速効果はほぼ等しいと言える。これと同等の分析を他の単語セットに対しても行なった結果が図 5 である。図では (0, 4~5) を基準とし、各単語セットと (0, 4~5) との差に対して算出される危険率を基に、各セットを区分したものである。なお、最短提示長が短く/長くなる場合を黒丸/白丸で示しており、マークのサイズが大きいくほど、危険率は小さくなる(差がより明確になる)。

5 まとめ

単語同定におけるアクセント核の果たす役割について、

- 4 モーラ以外の単語における、アクセント核知覚による単語同定加速効果の実験的検証。
- アクセント核知覚による単語同定加速効果の音声単語親密度への依存性。
- 親密度による単語同定加速効果(アクセント型固定)。
- アクセント核知覚による単語同定加速効果と、親密度による単語同定加速効果との比較。

を目的として知覚実験を行なった。その結果、高親密度時には、語頭のみならず、2 モーラ目に位置するアクセント核知覚による加速効果が観測された。しかし、中/低親密度の場合は、2 型による効果は低下し、1 型のみ加速効果を持つことが示された。一方文献 [7] の実験結果からも示唆されるように、親密度による単語同定加速効果も示され、アクセント核知覚による加速効果と親密度による加速効果との比較についても一部例を示して行なった。

アクセント核を自動検出し、それを音声認識などに应用することを考えると、入力単語の属性値(親密度など。音声認識の場合には当然未知情報として扱われる)によって効果の度合いが変動するようでは応用効率が悪い。その点では語頭アクセント核は常に単語同定加速効果を示しており、その利用価値も高いと考えられる^[17]。

謝辞

本実験のデータ集計にあたり、宇津山千恵氏の協力を得た。ここに感謝する。

参考文献

- [1] H. Fujisaki, K. Hirose, S. Ohno and N. Minematsu, "Influence of context and knowledge on the perception of continuous speech," Proc. ICSLP'90, 10.9.1, pp.417-420 (1990).
- [2] N. Minematsu, S. Ohno, K. Hirose and H. Fujisaki, "The influence of semantic and syntactic information on spoken sentence recognition," Proc. ICSLP'92 Tu.FPM.4.5, pp.153-156 (1992).
- [3] K. Hirose, N. Minematsu and M. Ito, "Experimental study on the role of prosodic features in the human processes of spoken word perception," Proc. ESCA Workshop, Working Papers 41, pp.200-203 (1993).
- [4] N. Minematsu and K. Hirose, "Role of prosodic features in the human process of speech perception," Proc. ICSLP'94, 21.8, pp.1151-1154 (1994).
- [5] N. Minematsu and K. Hirose, "Role of prosodic features in the human process of perceiving spoken words and sentences in Japanese," J. Acoust. Soc. Japan(E), 16, 5, pp.311-320 (1995).
- [6] N. Minematsu and S. Nakagawa, "Correlation between acoustic pauses and perceptual pauses in speech," Proc. ASA&ASJ Joint Meeting, pp.1193-1198 (1996).
- [7] 天野成昭, 近藤久, "音声単語の語彙判断に対する親密度の影響", 音講論, 1-8-8, pp.363-364 (1998).
- [8] 天野成昭, 近藤久, 寛一彦, "日本語単語の親密度の大規模評定実験", 音講論, 3-4-1, pp.345-346 (1994).
- [9] A. Cutler, "Forbear is a homophone: Lexical prosody does not constrain lexical access," Language and Speech, Vol.29, pp.201-220 (1986).
- [10] A. Cutler, "The comparative perspective on spoken-language processing," Speech Communication, Vol.21, pp.3-15 (1997).
- [11] Jean Vroomen and Beatrice de Gelder, "The role of stress for lexical selection in Dutch," Proc. ICSLP'98, pp.2191-2193 (1998).
- [12] A. Cutler and T. Otake, "The processing of word prosody in Japanese," Proc. 6th Australian Internat. Conf. on Speech Science and Technology, pp.599-604 (1996).
- [13] A. Cutler and H.C. Chen, "Lexical tone in Cantonese spoken-word processing," Perception and Psychophysics.
- [14] "音響用語辞典/音響学会編", コロナ社, 東京 (1988).
- [15] S.Hiller, E.Rooney, J.Laver, and M.Jack, "SPELL: An automated system for computer-aided pronunciation teaching," Speech Communication, Vol.13, pp.463-473 (1993).
- [16] "三省堂現代国語辞典", 辞書パック 11(ソフトウェアライセンス取得済み), 三省堂, 東京 (1996).
- [17] N.Minematsu and S.Nakagawa, "Automatic Detection of Accent Nuclei at the Head of Words for Speech Recognition," Proc. ICSLP'96, pp.1620-1623 (1996).