

機関番号：25406

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20520394

研究課題名(和文) 音響的にかなり異なる異音の脳内統合処理機構

研究課題名(英文) Integration mechanisms of allophones

研究代表者

船津 誠也(FUNATSU SEIYA)

県立広島大学・学術情報センター・助教

研究者番号：30275383

研究成果の概要(和文)：脳磁図を用いた脳機能計測により、日本語母語話者は子音クラスタ中の母音の有無によりミスマッチ反応が生じることが明らかになった。したがって日本語母語話者は子音クラスタ中の母音の有無を潜時200msあたりまで検出していることが推察された。この結果から、日本語母語話者の異音(挿入母音の有無)に対する感受性は少なくとも音響レベルあるいは音声レベルにおいては保持されるが、単語認知レベルにおいては日本語の音韻的制約から抑制され、異音統合が生じている可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：The magnetoencephalographic mismatch responses were elicited by epenthetic vowels (i. e. allophones), suggesting that the native Japanese detected epenthetic vowels as real segments. Based on these results, we may conclude that the sensitivity of Japanese speakers to detect vowel deletion or insertion within a consonant cluster does not decline at least at the acoustic level, but is suppressed at the word recognition level following the phonological constraints of Japanese. Therefore, these results suggested that allophones might be integrated in word recognition level.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：音声科学

科研費の分科・細目：言語学・言語学

キーワード：異音、脳磁図、無声母音

1. 研究開始当初の背景

同一音素を構成する異音間の音響的、音声学的な差を取り除き、如何にして同一単語として処理されるかに関しては、当時ほとんど研究されていなかった。たとえば、母音添加に関して言えば、ストライプという単語は/straip/と発音しても、母音を添加して/storaip/あるいは/sutoraipu/と発音しても(これらは同一音素の異音であるが音響的、

音声学的にはまったく異なっている)、同じ単語として認識されるということである。さらに母音が無声化した場合(白菜:/hakusai/ vs. /haksai/)や母音が融合した場合(計画:/keikaku/ vs. /keekaku/)も音響的、音声学的に異なっているにも関わらず同じ単語として認識されるのである。つまり、これらの音声(異音)が脳内で処理される過程において、音響的、音声学的な差を打ち消し

て同じ単語として認識されるような統合処理が行なわれていると考えられる。言語音声知覚を脳科学的側面から扱った研究は、当時そのほとんどが音響的、音声学的な差の知覚あるいは音素カテゴリー内外の知覚に関するものであり、音響的、音声学的に差のあるものが同一音素として如何に統合処理されるかについての研究はほとんど行なわれていなかった。

2. 研究の目的

同一音素に所属しているが、音声学的に異なっている単音を異音といい、異音は意味を弁別する機能をもたない。一口に異音といってもその実体は様々であり、日本語サ行子音における [s] と [ç] (条件異音)、計画 /keikaku/ を [keikaku] と発音した場合と [keekaku] と発音した場合の [ei] と [ee] (母音融合)、あるいは白菜 /hakusai/ を [hakusai] と発音した場合と [hakusai] と発音した場合の [u] と [y] (母音無声化) などがある。これらは音響的にも音声学的にも全く異なっているにもかかわらず、同じ単語として認識される。つまり、これらの音声 (異音) が脳内で処理される過程において、音響的、音声学的な差を打ち消し同じ単語として認識されるような統合処理が行なわれていると考えられる。本研究では音声の統合処理過程を脳磁図等を用いて解明する。具体的には以下に述べる3実験 (異音識別実験、脳機能計測、調音運動解析) を行なった。異音識別実験では、日本語母語話者の異音識別力を行動科学的側面から計測し、脳機能解析では、脳科学的側面からミスマッチ反応が生じる潜時 (200 ms) で異音が識別されているかを計測した。調音運動解析では、調音器官の動作を解析することにより、異音生成が企図される段階を生成の面から推測した。

3. 研究の方法

(1) 異音識別実験

ここでは音響的にかなり異なる異音として日本語無声母音と非無声母音の対を選択した。

①無声—非無声母音識別実験

ナイーブな被験者 (日本語母語話者) における無声母音—非無声母音の識別力測定において、「母音が無声化しているか」あるいは「子音間に母音が存在するか」等の課題を行なうことは被験者に無用の混乱を引き起こすなどして意味がないと考えられる。それゆえ、同一話者が発話した無声母音 vs. 非無声母音ペアを被験者に呈示し、「どちらの発音が自分にとって好ましい発音であるか」を回答させた。無声—非無声母音の識別ができればどちらかに回答が偏り、そうでなければ

回答は偏らないと仮定した。

検査語：以下に示す語頭が /tsu/ あるいは /ku/ の2音節語12語を使用した。語頭の /tsu/ および /ku/ の母音 /u/ が無声化した単語と非無声の単語を検査語として用いた。

/tsuta/, /tsuchi/, /tsutsu/, /tsute/, /tsuto/, /tsuka/, /tsuki/, /kuki/, /kuku/, /kusa/, /kushi/, /kuchi/

発話者：東京出身の男性話者1名、大阪出身の女性話者 (現在は共通語話者) 1名が発話した。それぞれの話者は、母音を無声化した発音および無声化しない発音の2通りの発音を行なった。呈示数は12単語 x 2話者 x 6回の144である。なお、アクセントはすべて平板型である。

検査語呈示条件：検査語呈示間隔 (ISI) 100、500、1000 ms の3種類の系列を作成した。検査語ペアの間隔は2 sec とした。

被験者：ISI 1000 ms の実験の被験者は、関東地方出身の大学生41名 (東京20、神奈川4、千葉5、埼玉5、群馬1、栃木2、茨城4)、中国地方出身の大学生34名 (広島27、岡山3、島根1、鳥取2、山口1) であった。ISI 100 ms の実験は、中国地方出身の大学生30名 (広島29、山口1)、ISI 500 ms は中国地方出身の大学生28名 (広島25、島根3) であった。すべての実験において被験者は異なっていた。これらの話者は、語頭音節の母音が無声化した単語および無声化していない単語のペアを聞き、ペア中の好ましいと思う方の発音を選択した。

②無声—非無声母音弁別実験

SAME/DIFFERENT 弁別実験を行なった。

検査語：無声—非無声母音実験の検査語に無声—無声母音ペアおよび非無声—非無声母音ペアを加えた192語 (2ペア x 2話者 x 12語 = 48語追加) を用いた。

被験者：中国地方出身の大学生21名 (無声—非無声母音識別実験の被験者とは異なる、広島19、山口1、島根1) であった。

(2) 脳機能計測

日本語母語話者が子音クラスター中の母音の有無に対して如何に反応するかを脳磁図を用いて検証した。本実験では子音間に母音を含む音声と含まない音声をオドボール課題により被験者に呈示し、ミスマッチ反応を計測した。ミスマッチ反応が生じる潜時 (段階) において、異音統合が行なわれていればミスマッチ反応が生じず、統合未了の場合にはミスマッチ反応が生起されると考えられる。

刺激音声：刺激音声は日本語母語話者の男性1名が発話した、/dra/, /dora/, /bra/、

/bura/であった。これらの音声の基本周波数を STRAIGHT により 120 Hz に加工し、刺激音声とした。標準刺激、比較刺激のペアは /dra/ vs. /dora/、/dora/ vs. /dra/、/bra/ vs. /bura/、/bura/ vs. /bra/ であった。比較刺激 15% の割合で両耳呈示した。比較刺激は連続して呈示されることはなく、比較刺激と比較刺激の間には少なくとも 2 個の標準刺激が呈示された。刺激呈示間隔 (SOA: Stimulus Onset Asynchrony) は 1 sec とした。刺激の呈示は音声聴取時に特に課題を与えない無視条件で行なった。測定には Neuromag 社製の 204 チャンネル全頭型脳磁計を用いた。比較刺激の加算波形から標準刺激の加算波形を減じ差分波形 (ミスマッチ波形) を算出した。算出した差分波形から単一電流双極子モデルにより等価電流双極子モーメントを求めた。

被験者: 被験者は日本語母語話者 4 名 (男性 2 名、女性 2 名) であった。

(3) 調音運動解析

子音クラスタへの母音挿入は、正確に (母音挿入なしに) 子音クラスタを発音した場合と異音の関係になることがある。ここでは子音クラスタ /bn/、/pn/、/gn/、/kn/ に母音 /u/ が挿入される場合の挿入のメカニズムについて EMA (electro magnetic articulograph) を用いて解析した。母音を挿入すべきでない子音クラスタへ母音が入るメカニズムを解明することは、異音統合の過程を明らかにするための一助となりうると考えられる。

発話者: ドイツ留学中の日本語母語話者男性 2 名、ドイツ語母語話者 2 名 (男性 1 名、女性 1 名)。

検査語: 日本語およびドイツ語において無意味語である以下の 4 語。

bnaht, pnaht, gnaht, knaht

これら 4 語をドイツ語キャリア文

Sage X. (X と言え)

に埋め込んで発話した。日本語母語話者は各文 8 回、ドイツ語母語話者は各文 10 回をランダムに発話した。

調音運動計測: EMA を用いて舌尖 (TT)、舌背 (TM)、後舌 (TB) の運動を計測した。

4. 研究成果

(1) 異音識別実験

① 無声—非無声母音識別実験

回答に 70% 以上の偏りが見られた被験者を無声—非無声識別が可能な被験者としたところ、ISI 1000 ms の場合、関東地方では 19 名 (46.3%)、中国地方では 14 名 (41.2%) が識別可能であった。ISI 500 ms では、50.0%、100 ms では、23.3% であった (表 1)。ISI を短くしても識別率が 50% を越えることはな

かった。

表 1. 識別可能被験者の割合 (%)

ISI	識別可能被験者
100	23.3
500	50.0
1000	41.2

② 無声—非無声母音弁別実験

正答率が 70% 以上の被験者を無声—非無声識別可能と仮定したところ、42.9% となり無声—非無声実験の結果 (ISI 1000 ms) と大差なかった。すなわち、「どちらの発音が自分にとって好ましい発音であるか」を回答

(2) 脳機能計測

図 1 に 1 人の被験者の標準刺激 /dra/ vs. 比較刺激 /dora/ における左半球の脳磁界波形を示す。実線が差分波形、破線が比較刺激による波形、点線が標準刺激による波形である。差分波形の 200 ms 付近にはミスマッチ反応によるピークが存在しており、被験者は /dra/ と /dora/ の差を検出していたと推察される。図 2 は電流双極子を MRI 像上に重ね書きしたものである。双極子は左聴覚野近傍に推定された。図 3 は比較刺激が /dra/ および /dora/ (dr) と /bra/ および /bura/ (br) の双極子モーメントの大きさを示したものである。すべての被験者においてミスマッチ反応が計測され、被験者は比較刺激と標準刺激の差、すなわち母音 /o/ および /u/ の有無を音響的、音声的に検出していると推察された。すなわち、ミスマッチ反応が生じる潜時 (200 ms 前後) では、異音の統合が行なわれていないことが推察された。この結果から、日本語母語話者の異音 (挿入母音の有無) に対する感受性は少なくとも音響レベルあるいは音声レベルにおいては保持されるが、単語認知レベルにおいては日本語の音韻的制約から抑制され、異音統合が生じている可能性が示唆された。

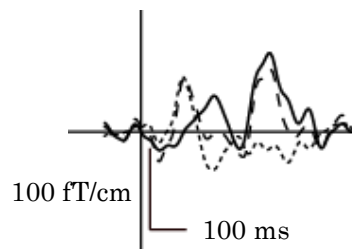


図 1. 脳磁界波形 (左半球)
実線: 差分波形 (ミスマッチ波形)、破線: 比較刺激、点線: 標準刺激

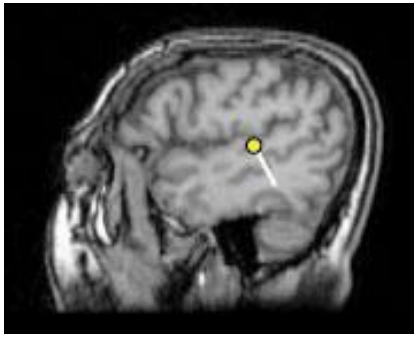


図2. MRI像上に重ね書きした双極子
双極子は左聴覚野近傍に推定されている

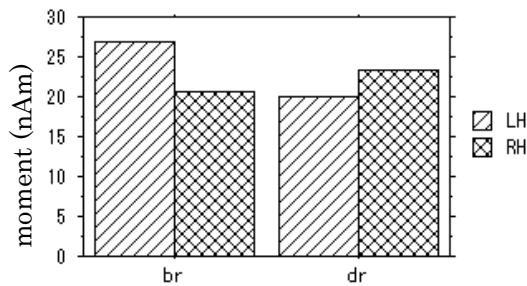


図3. 双極子モーメント
br: 比較刺激/bra/および/bura/
dr: 比較刺激/dra/および/dora/
LH: 左半球、RH: 右半球

(3) 調音運動解析

表2に子音クラスターへ母音が添加された割合を示す。すべての検査語において日本語母語話者はドイツ語母語話者より母音添加率が高かった。ドイツ語母語話者においてはドイツ語に存在しない子音クラスター/bn/への母音添加率が他のクラスターへの母音添加率より高かった。すなわち、ドイツ語母語話者においても日本語母語話者と同様に、母語にない子音クラスターへは、高い割合で母音が添加されることが示された。

子音クラスターの第1子音から第2子音への舌尖の変位および移動時間は、大多数の検査語で日本語母語話者の方がドイツ語母語話者よりも大きかった(表3)。これはドイツ語母語話者では、第1子音調音時に第2子音調音に備えて舌尖が第2子音調音点近傍で待機しているのに対し、日本語母語話者は、第1子音調音時に第2子音調音に備えていないためであろう。言い換えるとドイツ語母語話者の方が日本語母語話者に比べて子音間の調音結合が強いことが示唆された。

以上3実験により、日本語母語話者の異音識別力は我々の予想よりも低く、異音統合は音響的、音声学的判断が生じる段階よりも遅

く、単語認知レベルで生じる可能性が示唆された。さらに、異音の生成は舌の運動制御のみならず、喉頭における声帯振動制御とも深く関係していることが推察された。

Word	Subject	Epenthesis rate
bnaht	G	0.80
	J	0.88
pnaht	G	0
	J	0.60
gnaht	G	0.65
	J	0.88
knaht	G	0
	J	0.44

表2 母音添加率、G:ドイツ語母語話者、J:日本語母語話者

Word	Subject	D (mm)	Dn	T (ms)	Tn
bnaht	G	5.40	0.36	52.4	0.11
	J	7.96	0.67**	118.9	0.28*
pnaht	G	6.37	0.39	97.7	0.18
	J	8.01	0.66**	129.1	0.23*
gnaht	G	4.95	0.35	58.8	0.11
	J	5.70	0.45	131.6	0.24**
knaht	G	5.32	0.36	88.9	0.16
	J	5.91	0.45	143.1	0.25**

表3 舌尖変位と移動時間の平均値、D:変位(Dnは正規化された変位)、T:時間(Tnは正規化された時間)、**: $p<0.0001$ 、*: $p=0.0018$

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① Seiya Funatsu, Satoshi Imaizumi, Masako Fujimoto, Ryoko Hayashi, Discrimination Ability and Pronunciation Preference between Voiced and Devoiced Vowels by Native Japanese Speakers, International Congress of Phonetic Sciences, 査読有, 印刷中
- ② Seiya Funatsu, Masako Fujimoto, Physiological Realization of Japanese Vowel Devoicing, European Acoustic Association, 査読有, 印刷中
- ③ 船津誠也, 藤本雅子, 子音クラスター中への母音添加 —EMAによる研究—, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読なし, 110巻71号, 2010, 65-70
- ④ 船津誠也, 今泉敏, 藤本雅子, 日本語母語話者の非母語子音クラスター中への母音

添加、日本音響学会聴覚研究会資料、査読なし、38巻7号、2008、695-699

- ⑤ S. Funatsu, S. Imaizumi, M. Fujimoto, A. Hashizume, K. Kurisu, Do Japanese speakers perceive nonexistent vowels in non-native consonant clusters? Acoustic 08 Paris, 査読なし, vol. 1, 2008, 651-656

〔学会発表〕(計9件)

- ① 藤本雅子、促音の生成特徴：キモグラフによる検討、日本音響学会、2011年3月10日、早稲田大学
- ② 船津誠也、母音無声化の調音に関する検討－EMMAによる研究－、日本音響学会、2011年3月9日、早稲田大学
- ③ 船津誠也、子音クラスターへの母音添加の機序、日本音声言語医学会、2010年10月14日、学術総合センター
- ④ 藤本雅子、母音無声化と喉頭調節：音韻環境と量的・質的変異との関係、日本音響学会、2010年9月16日、関西大学
- ⑤ 船津誠也、日本語母語話者の無声母音識別力、日本音響学会、2009年9月16日、日本大学工学部
- ⑥ 船津誠也、日本語母語話者の無声母音識別力と嗜好性、日本音響学会、2009年3月18日、東京工業大学
- ⑦ 藤本雅子、ドイツ語母語話者の子音クラスターの音響特徴、日本音響学会、2009年3月19日、東京工業大学
- ⑧ 船津誠也、子音クラスター中への母音挿入－生成・知覚両面からの検討－、日本音声言語医学会、2008年10月23日、県立広島大学三原キャンパス
- ⑨ 船津誠也、非母語子音クラスター中への母音挿入－生成・知覚両面からの検討－、日本音声学会、2008年9月15日、明海大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

船津 誠也 (FUNATSU SEIYA)
県立広島大学・学術情報センター・助教
研究者番号：30275383

(2) 研究分担者

今泉 敏 (IMAIZUMI SATOSHI)
県立広島大学・保健福祉学部・教授
研究者番号：80122018

林 良子 (HAYASHI RYOKO)
神戸大学・国際文化学部・准教授
研究者番号：20347785

藤本 雅子 (FUJIMOTO MASAKO)

国立国語研究所・コーパス開発センター・プロジェクト非常勤研究員
研究者番号：30392541