



非母語子音クラスタへの母音添加の機序に関する研究

船津, 誠也

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

2015-05-22

(Date of Publication)

2016-05-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙第3284号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2003284>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



博 士 論 文

非母語子音クラスタへの母音添加の機序に関する研究

平成 27 年 5 月

船津 誠也

目次

第1章 序論	1
第2章 実験1 一子音クラスタ発話実験	7
2.1 単独発話実験	7
2.1.1 目的	7
2.1.2 実験方法	7
2.1.2.1 検査語	7
2.1.2.2 被験者	7
2.1.2.3 手続き	8
2.1.3 実験結果	8
2.2 復唱実験	10
2.2.1 目的	10
2.2.2 実験方法	10
2.2.2.1 検査語	10
2.2.2.2 被験者	11
2.2.2.3 手続き	11
2.2.3 実験結果	11
2.3 考察	11
第3章 実験2 一子音クラスタ発話時の調音運動計測実験	14
3.1 目的	14
3.2 実験方法	14
3.2.1 検査語	14
3.2.2 被験者	14
3.2.3 手続き	15
3.3 実験結果	20
3.3.1 規格化の検討	20
3.3.2 子音クラスタへの母音添加率	23
3.3.3 舌先の変位および移動時間	23

	3.4 考察	26
第4章	実験3 一子音間母音知覚実験	28
	4.1 目的	28
	4.2 実験方法	28
	4.2.1 検査語	29
	4.2.2 被験者	29
	4.2.3 手続き	32
	4.3 実験結果	32
	4.4 考察	35
第5章	実験4 一子音間母音知覚時の脳活動計測実験	36
	5.1 目的	36
	5.2 脳磁図	36
	5.3 ミスマッチ反応	37
	5.4 実験方法	38
	5.4.1 検査語	38
	5.4.2 被験者	38
	5.4.3 手続き	38
	5.5 実験結果	44
	5.6 考察	44
第6章	総合考察	48
	6.1 生成面からの検討	48
	6.2 知覚面からの検討	50
	6.3 生成・知覚両面からの検討	52
第7章	結論	56
	参考文献	59
	付録	62

図表一覧

[図]

図 1	日本語母語話者の母音添加の例	1 0
図 2	復唱実験で被験者Eが発話したstraightのスペクトログラム	1 3
図 3	舌上のEMAセンサの配置 (ドイツ語話者)	1 6
図 4	顔面上の EMA センサの配置 (日本語話者)	1 6
図 5	EMA 計測における座標軸	1 7
図 6	日本語話者が発話した bnaht の音声波形、スペクトログラム、EMA 波形 (舌先)	1 8
図 7	発話におけるX、Yの最大値および最小値	1 9
図 8	日本語母語話者の規格化前の舌先の変位および移動時間	2 1
図 9	ドイツ語母語話者の規格化前の舌先の変位および移動時間	2 1
図 1 0	日本語母語話者の規格化後の変位および移動時間	2 2
図 1 1	ドイツ語母語話者の規格化後の変位および移動時間	2 2
図 1 2	検査語のスペクトログラム	3 1
図 1 3	脳反応計測に用いた検査語のスペクトログラム	4 0
図 1 4	MMF 波形の例	4 2
図 1 5	ECD モーメント (全被験者)	4 4
図 1 6	母音無声化が生じやすい方言話者の ECD モーメント	4 5
図 1 7	母音無声化が生じにくい方言話者の ECD モーメント	4 5
図 1 8	知覚および生成のまとめ	5 1

[表]

表 1	添加母音長 (A グループ)	9
表 2	添加母音長 (B グループ)	9
表 3	復唱実験における添加母音長	13
表 4	子音クラスターへの母音添加率	23
表 5	第 1 子音から第 2 子音への舌先の変位および移動時間 (規格化値)	25
表 6	第 1 子音から第 2 子音への舌先の変位および移動時間 (実測値)	25
表 7	方言による母音無声化の嗜好性	33
表 8	子音間母音の検出力	33
表 9	子音間母音検出力の ISI 依存性	34
表 10	添加母音長	48
表 11	第 1 - 第 2 子音間の舌先の平均速度	48

第1章 序論

第二言語学習において、学習者の母語に存在しないある種の音素の習得に困難を生じることがよく知られている。たとえば、著名な例としては、日本語音素には英語音素にある/r/と/l/が存在せず、したがって日本語母語話者は英語音素/r/と/l/の識別に困難を生じる、というものがある。日本語母語話者以外では、たとえば、英語には母音の長短のカテゴリーが存在せず、それゆえ英語母語話者は日本語母音の長短の識別が困難である、というものもある。一方、第二言語に存在する音素と同じような音素が母語に存在していても、それらで構成される音素配列が母語に存在しない場合には、音素配列全体としての習得に困難を伴い、子音削除、母音添加、音素置換などが生じるといわれている。

日本語においては原則として子音連続（子音クラスタ）が存在しないので、日本語母語話者は子音クラスタの習得に困難を生じ、その結果として子音クラスタへ母音を添加し発音する。たとえば、英語の *dry* は母音[o]を添加して *dorai* と発音される。子音と子音の間あるいは語末子音に添加される母音には規則があり、[tʃ]（[tʃ]）および[dʒ]の後には母音[i]（たとえば、英語 *bench* は *benti*）、[t]および[d]の後には母音[o]（英語 *trouble* は *toraburu*）、その他の子音の後には母音[u]が添加される（英語 *brand* は *burando*、*glass* は *gurasu*）。さらに、[t]の場合においては、音素置換が生じ、[t]+[o]ではなく、[ts]+[u]（英語 *tree* が *tsurii*）となる例外的な場合も存在する（カッケンブッシュ・大曾 1990、Kubozono 2002）。添加される母音種は、「入力と出力を一致させようとする忠実性の原理」によって決定される。母音の中で[u]が最も多く選択されるのは、「日本語の中で一番短く発音される母音」、「一番母音性の低い母音である」からである（窪菌 1999）。本研究では、日本語母語話者が非母語子音クラスタを発話する際に生じる母音添加に関して、その機序を明らかにする。

子音クラスタの生成に関する研究

非母語子音クラスタの生成に関する研究は、知覚に関する研究（後述）ほど多くない。さらにその中でも非母語子音クラスタへの母音添加に関する研究は少ない。子音クラスタへの母音添加は日本語母語話者以外でも生じ、たとえば、英語母語話者は英語には存在しない語頭の子音クラスタ[zʌb]、[zɒd]、[zɔg]に[ə]を添加し、それぞれ[zəb]、[zəd]、[zəg]と発音する。Davidson (2005)

はこれらの母音添加は、第1－第2子音の調音タイミングのずれ、あるいは英語において禁止されている音素配列を避けるために生じるという可能性を指摘している。つまり、第1－第2子音がうまく連続調音されない場合、その間に遷移性母音が添加されるか、あるいは、禁止音素配列を忌避するために意図的な母音[a]が添加されるか、のどちらかが生じるのである。彼女は、超音波診断装置を用い、実在の英語音素配列/səp/、/sp/、および禁止音素配列/zp/などを発音する際の舌の形状を計測した。その結果一部の被験者では遷移性母音が添加されていると考えられ、これらの被験者では第1－第2子音の調音タイミングのずれにより子音クラスターへ母音が添加されたと結論付けた。

非母語子音クラスターの生成に関する研究は上述のように少ないが、母語子音クラスターの生成に関する研究はかなり行われている。たとえば、Chitoran ら (2002) は、Electromagnetic Midsagittal Articulometer (EMMA)を用いてグルジア語子音クラスター（破裂音－破裂音のクラスター）の調音結合に関する実験を行なっている。彼女らは、子音クラスター調音時の調音動作のオーバーラップの大きさの違いから、子音クラスターを構成する子音と子音の調音結合は、調音点が前方から後方へ移動するクラスター (/bg/、/p^ht^h/、/dg/) の方が、後方から前方へ移動するクラスター (/gb/、/t^hb/、/gd/) よりも強いことを見出している。さらに、軟口蓋音－歯茎音／歯茎音－軟口蓋音の組み合わせで調音結合は最も強くなり、以下両唇音－軟口蓋音／軟口蓋音－両唇音、両唇音－歯茎音／歯茎音－両唇音の順序で弱くなるとしている。

子音クラスターの知覚に関する研究

非母語子音クラスターの知覚に関する研究は、子音クラスターを構成する子音知覚に関する研究が先行した。Massaro & Cohen (1983) は、合成音を用いて英語子音クラスター知覚に関する実験を行なった。彼らは英語における実在音素配列 (/pr/、/pl/、/sl/、/tr/) と禁止音素配列 (/vr/、/vl/、/sr/、/tl/) で第2子音/rおよび/lの同定実験を行ない F3 周波数を変数として/r/-lの知覚境界の変化を調べた。その結果/pr/-pl/ (/vr/-vl/) での/r/-lの音素境界位置に対し、/sr/-sl/、/tr/-tl/では実在音素配列と判断する割合が増加する方向（実在音素配列/sl/、/tr/が増加する方向）へ音素境界が移動することを見出した。

非母語子音クラスターへの母音添加に関する研究としては Dupoux ら (1999、2001) の実験がある。彼女らは子音クラスター中の母音の有無に関する知覚実験を行ない日本語母語話者の非母語子音クラスターへの母音添加について調べた。彼女らによると日本語母語話者は子音クラスターを構成する子音と子音の間に実際には存在しない「幻の母音[u]、*“illusory epenthetic vowel [u]”*」、

を知覚し、それにより子音クラスタ発話時に母音添加が生じるとしている。つまり彼女らの説に従えば、日本語母語話者の母音添加は知覚に起因し生じていることになる。ところが一方で、彼女らの研究においては生成面からの寄与に関してはまったく検討されていない。さらに後述のように彼女らの実験方法に関しては少々問題があるように思われる。

Davidson & Shaw (2012) では、英語母語話者に対して知覚実験（子音クラスタペアの識別実験）を行ない、子音クラスタを構成する第1子音と第2子音の調音様式の組み合わせにより「知覚上の錯覚」が変化することを見出している。彼女らによれば、第1-第2子音が、摩擦音-鼻音あるいは摩擦音-破裂音の場合には、*prothesis* が生じたものとの間で混同が生じる。破裂音-鼻音の組み合わせでは、第1子音が他の子音へ変化あるいは第1子音が削除されたものとの間で混同が生じ、破裂音-破裂音の組み合わせでは、第1第2子音間へ母音が添加されたものとの間で混同が生じる。さらに彼女らは、これらの現象が音韻論的知識によるトップダウンにより生じるのではなく、言語固有の音声学的知識により生じる可能性を示唆している。しかしながら、この研究は知覚面のみであり生成との関係は明らかにされていない。このように非母語子音クラスタへの母音添加の機序に関しては、生成、知覚の一方からのみ研究されているだけで、統一的な研究、知覚生成両面からの研究はほとんど行なわれておらず、いまだに明らかになっていないと言いがたい状況である。

Dupoux ら (1999, 2001) の研究における問題点

前述のように *Dupoux* らの実験には問題があるように思われる。以下に特に問題と思われる点について述べる。たとえば、無意味語を刺激音声に用いて子音クラスタ中に母音が存在するかを判断させる実験 (*Dupoux* ら (1999)) において被験者に対する指示では、

“Participants were instructed to listen to the stimuli through headphones and to judge whether there was a [u] vowel in the middle of each stimulus word.”

“Japanese participants were additionally told that the [u] target in the experiment was not meant to be equivalent to the kana character “う” which represents the whole syllable “u,” but to the sound [u] as it appears inside syllables such as “bu,” “pu,” or “mu.””

としており、このような指示を受けると開音節を基本とする日本語母語話者にとっては何を判断すればよいかかわからず、混乱した可能性も考えられる。さらに、刺激音声に、*ekji, ifto, ofsta*

など、母音無声化が生じる環境を用いている。この場合、日本語母語話者は母音が「存在する」と回答すべきか「存在しない」と回答すべきか迷うであろう。よりいっそうの混乱が生じていた可能性が推察される。実在単語を聴覚呈示し、それをアルファベットに転写させる実験（Dupoux ら（2001））でも同様に、母音無声化が生じる語、kokti、kokso、soksi、reksi などが用いられており、これらの語が存在する場合の回答への影響（バイアス）は考慮されていない。さらにこの実験では、hiroma（広間）、hikutu（卑屈）、hukusa（袱紗）、rikusi（陸士：陸軍士官学校）などが無意味語として用いられている。「知覚上の錯覚（perceptual illusions）」のタイプは、知覚実験における課題と刺激に依存すると言われている（Davidson 2012）。それゆえ Dupoux ら（1999、2001）の研究には数多くの疑問があると考えられる。さらに、[tɕ]、[dʒ]、[t]、[d]に母音[i]あるいは[o]が添加されるケースに関してはまったく検討されておらず、この場合には、「幻の母音[i]」あるいは「幻の母音[o]」の知覚により母音添加が生じるのか、については明らかではない。

生成に関する研究方法

音声生成に関する計測、特に舌運動の測定については、電気的パラトグラフ（EPG）、X線マイクロビーム、超音波断層法、Electro-magnetic Articulograph（EMA）などの方法がある。これらの中で EMA は、舌、口唇等の調音器官の運動が連続的に高精度で記録できる、測定値の定量化が容易である、全くの非侵襲である等の優れた特徴を有しており、ある種の実験条件下では 0.1 mm の精度で位置決定が可能である（Kaburagi & Honda 2002）。EMA による研究としては、たとえば情動発話と読み上げ発話を比較した研究では、情動発話と読み上げ発話とでは同じ文章でも調音における舌、唇の位置が異なっていることが明らかされている（Erickson ら 2006）。さらに、たとえば言語発達に関する研究では、小児から成人への発達過程において調音距離、時間長、速さなどの変動が小さくなるということが明らかにされている（Murdoch ら 2012）。本研究では、子音クラスター発話時の舌等の調音運動の計測に EMA を用いた。

知覚に関する研究方法

音声知覚に関しては、脳機能計測装置（たとえば、脳磁図、脳波計、機能的 MRI、近赤外分光法（Near Infra-Red Spectroscopy）、陽電子断層撮影法（PET：Positron Emission Tomography）など）が最近著しく発達し、音声聴取時の脳反応について詳しい研究が行なわれつつある。中でも脳磁図および脳波計は時間分解能に優れており、これらを使用した研究が盛んに行なわれ

ている。たとえば、周波数差の知覚に関しては 1000 Hz 純音に対し 1004 Hz では両者の差を検出して生じる脳反応は生じないが、1008 Hz ではその脳反応が生じる。さらに 1016 Hz では 1008 Hz より大きな反応が生じる。つまり、2 音の差が 4 Hz では 2 音の違いが知覚できず、8 Hz では知覚可能である。16 Hz では 8 Hz よりもさらに大きな脳反応が生じるということが明らかになっている (Sams ら 1985)。音圧差に関しても 80 dB SPL の純音に対し、77、70、50 dB SPL と音圧差が大きくなるほど脳反応が大きくなることがわかっている (Näätänen ら 1989)。

以上は純音に対する脳反応であるが、音素知覚に関する研究も行なわれている。たとえば、Phillips ら (2000) は音素識別に関する脳反応について研究を行なった。彼らは種々の voice onset time (VOT) をもつ音声を 2 つのグループに分け、グループ間の音響的距離が同じであってもグループ間に音素境界が存在する場合には大きな脳反応が生じるが、グループ間に音素境界が存在しない場合には脳反応がほとんど生じないことを見出した。すなわち、純音の周波数差により生じる脳反応と同様の反応が音素境界でも生じることを明らかにしたのである。

知覚における大脳の半球優位性に関して、Imaizumi ら (1998) は脳磁図を用い、注意条件下での音素知覚では左半球が優位であり、韻律知覚は右半球優位になるという結果を得ている。さらに、Kasai ら (2001) は脳磁図による実験 (無視条件) で純音の長さ知覚、音声の長さ知覚のような物理的特徴の知覚に関しては右半球優位になると報告している。Zatorre ら (1992) は PET による実験で音声学的弁別に関しては左半球が優位に活動し、ピッチ変化の判断には右半球が優位に活動すると述べている。Perani ら (1996) は同じく PET を用いた研究で、よく理解できる第 2 言語および未知の言語の文理解においては両者ともに左半球が優位に活動し、その活動部位には差が見られないとしている。一般に非母語の文理解においては、母語の助けが必要とされており、非母語において左半球優位が認められたのは文理解の過程において母語の介在があるからであろうと推察される。さらに Klein ら (1994) は PET による実験で流暢なバイリンガルによる第 2 言語の単語生成では左半球が優位に働くと述べている。流暢なバイリンガルでは一般の第 2 言語学習者とは異なり、母語と同様に左半球が優位に活動するのであろう。一般に言語音声知覚に関しては左半球優位であり、非言語知覚に関しては右半球優位であると言われている。本研究では、子音間母音知覚時の脳反応の計測に脳磁図を用いた。

先行研究の問題点と本研究の位置づけ

前述のように、母語に存在しない子音クラスターの発音においては、日本語母語話者のみならず英語母語話者においても母音添加が生じる。過去の研究からは日本語母語話者は知覚が原因

で母音添加が生じ、英語母語話者は生成側の原因により母音添加が生じる場合もあると、母音添加の原因に言語特異性があると考えられる。しかしながら、日本語母語話者の母音添加に関しては、生成面からの検討がまったくなされておらず、知覚が原因とすることですべての現象が説明できるのか、生成はまったく関与していないのかに関しては明らかになっていない。これを明らかにすることは、第2言語習得過程の一部を解明することにつながり重要である。さらに、第2言語習得に関する教育・指導においても重要な知見を提供するものと考えられる。

本研究では、このような観点から、日本語母語話者における非母語子音クラスタへの母音添加の機序を明らかにする目的で、以下のような実験を行なった。実験は生成実験、知覚実験の順番で行ない、それぞれの実験では最初に **behavior** の計測を行ない、次に生理学的計測を行なった。

具体的にはまず日本語母語話者の子音クラスタ発話における母音添加の実態を確認するために（1）日本語母語話者による英語子音クラスタの発話実験を行なった。この実験では、英単語リストの読み上げを行ない、さらに英語母語話者の発話を復唱する実験も行った。次に母音添加を生成面から検討するために、子音クラスタ発話時の調音器官の運動を計測する実験（2）子音クラスタ発話時の調音運動計測実験を行なった。以上の生成面からの検討に続いて知覚面からの検討を行なった。まず日本語母語話者の子音間母音の知覚の実態を明らかにするために（3）日本語における子音間母音知覚実験を行なった。この実験では開音節を基本とする日本語の特性を考慮し日本語母語話者に適した課題を考案し、実験を行なった。最後に音声識別の基本となる音響特徴の識別力を測定する実験（4）日本語子音間母音知覚時の脳活動計測実験を行なった。音響特徴の識別が可能であればトレーニング次第では子音間母音の検出力の向上が見込まれる。以上の4実験を行ない、日本語母語話者の非母語子音クラスタへの母音添加に関し生成、知覚両面から検討を行なった。

第2章 実験1—子音クラスタ発話実験

2.1 単独発話実験

2.1.1 目的

日本語には原則として子音クラスタが存在せず、したがって日本語母語話者は子音クラスタの発音に困難を生じ、子音クラスタへ母音を添加して発音する。実験1では、Dupouxら(1999、2001)がほとんど触れていない子音クラスタ /h/あるいは/d/ + C を中心に日本語母語話者の子音クラスタ発音の実態について検証する。

2.1.2 実験方法

2.1.2.1 検査語

検査語として、子音/h/あるいは/d/を含む子音クラスタを語頭にもつ英単語、および子音クラスタをもつ無意味語を用いた。英単語の選定においては、文字表記された英単語を被験者が容易に読むことができる(発音できる)ように留意した。使用した検査語は以下に示す英単語12語、無意味語8語である。

英単語12語：

drill, drama, drive, dress, dry, strike, straight, stripe, trouble, truck, trend, try

無意味語8語：

edmo, etmo, dra, tra, gra, cra, bra, pra

2.1.2.2 被験者

被験者は、日本における通常の英語教育を受けた、留学経験や特別の英会話学習経験のない日本語母語話者の女子大学生16名である。英単語と無意味語の呈示順序による発音への影響を避けるため、これらの被験者を8名ずつの2グループA、Bに分け、Aグループは英単語を先に発音し次いで無意味語を発音した。Bグループは逆に無意味語を先に発音し次に英単語を発音した。

2.1.2.3 手続き

英単語、無意味語別にリストを作成した。A グループの被験者は最初に英単語リストを3回読み上げ、次に無意味語リストを3回読み上げた。B グループの被験者はA グループとは逆に無意味語リストを3回読み上げた後、英単語リストを3回読み上げた。これらの発話は防音室でデジタルレコーダ (Marantz PMD671) にサンプリング周波数 11.025 kHz、16 ビットで録音した。

これらの発話をパーソナルコンピュータに取り込み、スペクトログラムを表示し、視察および聴覚印象により添加母音の有無、添加母音長を計測した。スペクトログラム上でボイスパーが3パルス以上ある場合を添加母音ありとした。発話は原則として1回目の発話のみ計測対象とした。1回目の発話に言いよどみ、読み違い等がある場合に2回目の発話を計測した。

2.1.3 実験結果

表1にAグループの結果、表2にBグループの結果を示す。表中の数字は子音クラスタ（下線が引いてある子音間）への添加母音長を表わしている。全被験者の大部分の発話で母音添加が生じていた。子音クラスタ/dr/では、ほとんどの被験者が母音/o/を添加していた。/str/では/s/-/r/間にはすべての被験者において全く母音が添加されず、/t/-/r/間にはほとんどの被験者で母音/o/が添加されていた。/tr/においても同様にほとんどの被験者で母音/o/が添加されていた。無意味語においても/dm/、/tm/、/dr/、/tr/では多くの発話で母音/o/が添加されていた。一方、/gr/、/kr/ (cr)、/br/、/pr/ではほとんどの発話で母音/u/が添加されていた。表中、母音が表示されていないものは drill~tra では母音/o/の長さ、gra~pra では母音/u/の長さを表わしている。表に示す平均は drill~tra では、添加母音/o/の平均長、gra~pra では添加母音/u/の平均長を表わしている。表1、2とも添加母音長は/dr/、/str/で長く、/tr/で短い傾向があった。以上の結果よりAグループとBグループの添加母音の傾向には差がないと考えられ、母音添加は英単語、無意味語の読み上げ順序には関係しないと結論できる。子音クラスタの発話例として図1に straight のスペクトログラムを示す。上図は参考として示す男性英語母語話者の発話、下図は被験者Eの発話である。男性英語母語話者のスペクトログラムと比べると、被験者Eのスペクトログラムでは/t/-/r/間に母音/o/が添加されていることがわかる。

以上の結果より子音クラスタ/t/あるいは/d/ + Cにおいては、英単語においても無意味語においても母音/o/が添加される傾向があることが確認できた。

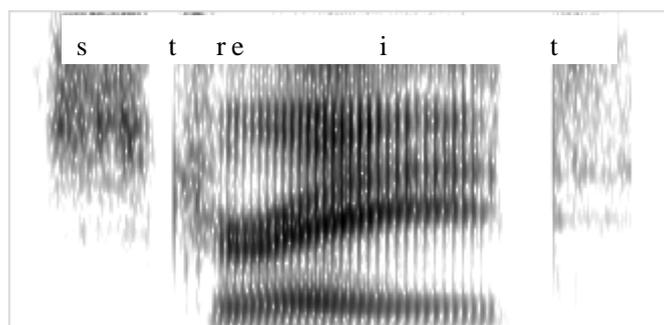
表1 添加母音長 (A グループ)

単位 (ms)

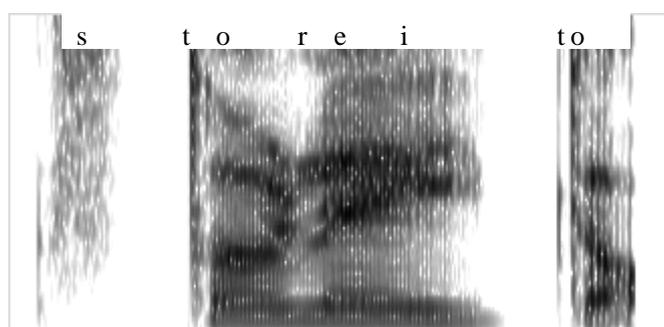
	A	B	C	D	E	F	G	H	平均
<u>drill</u>	107	84	81	63	62	64	86	107	81.8
<u>drama</u>	52	55	53	48	55	21	52	56	49.0
<u>drive</u>	44	/u/ 31	66	42	52	50	63	51	52.6
<u>dress</u>	66	74	57	59	39	44	49	82	58.8
<u>dry</u>	47	63	60	59	73	47	41	80	58.8
<u>strike</u>	36	40	58	45	60	63	68	60	53.8
<u>straight</u>	65	42	52	58	76	55	60	54	57.8
<u>stripe</u>	66	50	86	58	70	44	70	46	61.3
<u>trouble</u>	37	0	36	35	24	21	28	39	27.5
<u>truck</u>	29	32	49	40	24	21	39	56	36.3
<u>trend</u>	23	37	42	59	37	23	44	60	40.6
<u>try</u>	42	0	53	38	55	31	31	51	37.6
<u>edmo</u>	121	37	69	67	72	54	91	/u/ 88	73.0
<u>etmo</u>	58	39	69	51	54	67	62	/u/ 92	57.1
<u>dra</u>	89	78	63	83	55	99	62	73	75.3
<u>tra</u>	45	60	82	56	42	55	52	85	59.6
<u>gra</u>	79	74	57	58	41	140	49	80	72.3
<u>cra</u>	53	57	24	29	24	57	42	65	43.9
<u>bra</u>	73	105	47	63	73	65	47	63	67.0
<u>pra</u>	45	33	60	45	39	52	/a/ 68	85	51.3

表2 添加母音長 (B グループ)

	O	P	Q	R	S	T	U	V	平均
<u>drill</u>	59	54	59	81	100	/u/ 92	71	71	70.7
<u>drama</u>	92	55	36	60	74	/u/ 37	/ə/ 56	39	59.3
<u>drive</u>	22	31	62	28	48	/u/ 43	43	/u/ 17	39.0
<u>dress</u>	/u/ 31	38	69	62	64	/u/ 54	/u/ 27	51	56.8
<u>dry</u>	/u/ 29	47	45	0	57	/u/ 66	0	36	30.8
<u>strike</u>	36	48	33	83	66	/u/ 44	53	37	50.9
<u>straight</u>	19	74	55	x	41	/u/ 49	31	46	44.3
<u>stripe</u>	10	41	45	x	45	90	32	44	43.9
<u>trouble</u>	19	29	50	24	22	56	/ə/ 39	0	28.6
<u>truck</u>	16	43	54	22	33	/u/ 34	46	29	34.7
<u>trend</u>	0	24	40	48	40	32	/u/ 17	32	30.9
<u>try</u>	28	36	38	0	50	/u/ 54	0	27	25.6
<u>edmo</u>	62	73	69	52	x	/u/ 53	0	43	49.8
<u>etmo</u>	66	57	31	59	92	/u/ 56	0	39	49.1
<u>dra</u>	/u/ 21	88	52	88	/u/ 129	/u/ 72	34	49	62.2
<u>tra</u>	43	62	48	64	95	/u/ 54	39	43	56.3
<u>gra</u>	35	120	55	83	158	70	20	26	70.9
<u>cra</u>	38	112	55	130	/a/ 119	43	24	29	61.6
<u>bra</u>	60	71	57	62	119	77	66	27	67.4
<u>pra</u>	22	119	24	40	95	49	34	31	51.8



英語母語話者が発話した straight のスペクトログラム



被験者 E が発話した straight のスペクトログラム

図1 日本語母語話者の母音添加の例

2.2 復唱実験

2.2.1 目的

単独発話実験により日本語母語話者の発話では、子音クラスターへ母音が添加されること、/t/ および/d/の後には母音/o/が添加される傾向があることが確認された。本実験では英語母語話者の発話を被験者が聞き、直ちに復唱する。もし母音添加が知覚のみにより生じるなら復唱においても母音添加が生じると考えられる。

2.2.2 実験方法

2.2.2.1 検査語

検査語は単独発話実験に用いた英単語 12 語、無意味語 8 語である。これらの語を男性英語母語話者 1 名が発話した。発話は、11.025 kHz、16 ビットで録音し、パーソナルコンピュータ

に取り込んだ。

2.2.2.2 被験者

被験者は単独発話実験に参加した A グループの学生 8 名である。

2.2.2.3 手続き

英語母語話者の音声はパーソナルコンピュータからヘッドホンにより被験者に呈示した。被験者にはヘッドホンから聞こえてくる語を聞こえたとおりにできるだけ正確に繰り返して 3 回発話するように指示した。被験者の発話は、デジタルレコーダ (Marantz PMD671) にサンプリング周波数 11.025 kHz、16 ビットで録音した。録音は防音室内で行なった。単独発話実験と同様に、これらの発話をパーソナルコンピュータに取り込み、スペクトログラムを表示し、視察および聴覚印象により添加母音の有無、添加母音長を計測した。スペクトログラム上でボイスパーが 3 パルス以上ある場合を添加母音ありとした。発話は原則として 1 回目の発話のみ計測対象とした。1 回目の発話に言いよどみ、言い違い等がある場合に 2 回目の発話を計測した。

2.2.3 実験結果

表 3 に結果を示す。表中の被験者 A~H は表 1 の A~H にそれぞれ対応する。被験者 H において母音添加が生じているが、単独発話実験に比べて添加母音長は短く、母音添加が生じた語も少ない。その他の被験者は母音添加がほとんど生じなかった。

図 2 に復唱発話の例として被験者 E の発話した *straight* のスペクトログラムを示す。母音添加は生じておらず、図 1 の英語母語話者のスペクトログラムに類似したパターンになっている。発音は単独発話に比べて劇的に改善されており、母音添加が知覚により生じたのではないことを示唆している。

2.3 考察

単独発話実験から日本語母語話者は子音クラスター (*/v*あるいは*/d/*) + C の場合は、母音*/u/*ではなく*/o/*が添加されることが確かめられた。これは、仮に日本語母語話者が子音クラスターを構成する子音と子音の間に「幻の母音」を知覚しているとしても、その母音は*/u/*であるとは限らず、母音*/o/*の場合もありうることを示すものである。さらに復唱実験から、英語母語話者の発話を直ちに復唱する場合には、ほとんどの場合母音添加が生じないことが明らかになった。

もし、子音クラスタを構成する子音と子音の間に「幻の母音」を知覚しているのならば、この場合も母音添加が生じるであろう。しかしながら、実際には母音添加は生じず、それゆえ母音添加が知覚に起因して生じる可能性は低いと推察される。一般に日本語には子音クラスタは存在せず、したがって日本語母語話者は子音クラスタを如何にして調音すればよいか、調音器官をどのように動かせばよいかを知らないであろう。それゆえ Davidson (2005) が英語母語話者の母音添加において指摘しているように、日本語母語話者においても子音と子音の調音タイミングのずれにより母音添加が生じている可能性が考えられる。日本語母語話者が子音クラスタ調音時にいかに調音器官を動かしているか、を明らかにするために次の実験2では子音クラスタ調音時の舌および上下唇の運動を計測し、母音添加との関係を調べた。

表3 復唱実験における添加母音長

	単位 (ms)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
<u>d</u> rill	0	0	0	0	0	0	0	/u/ 58
<u>d</u> r <u>a</u> ma	0	0	0	/o/ 43	0	0	0	0
<u>d</u> r <u>i</u> ve	x	0	0	0	0	0	0	/o/ 30
<u>d</u> r <u>e</u> ss	/o/ 30	0	0	0	0	0	0	/o/ 37
<u>d</u> r <u>y</u>	0	0	0	0	0	0	0	/u/ 43
<u>s</u> tr <u>i</u> ke	0	0	0	0	0	0	0	x
<u>s</u> tr <u>a</u> ight	/o/ 22	0	0	0	0	0	0	0
<u>s</u> tr <u>i</u> pe	/o/ 15	/o/ 20	x	0	0	0	/o/ 30	0
<u>t</u> r <u>o</u> uble	0	0	0	0	0	0	0	0
<u>t</u> r <u>u</u> ck	0	0	/o/ 18	0	0	0	0	0
<u>t</u> r <u>e</u> nd	0	0	0	0	0	0	0	0
<u>t</u> r <u>y</u>	0	0	0	0	0	0	0	/o/ 40
<u>e</u> d <u>m</u> o	0	0	0	0	0	0	0	/u/ 43
<u>e</u> t <u>m</u> o	0	0	/o/ 43	0	/e/ 30	0	0	0
<u>d</u> r <u>a</u>	0	0	0	0	0	0	0	0
<u>t</u> r <u>a</u>	0	0	0	0	0	0	x	0
<u>g</u> r <u>a</u>	0	0	0	0	0	0	0	/u/ 52
<u>c</u> r <u>a</u>	0	0	0	0	0	x	0	0
<u>b</u> r <u>a</u>	x	0	0	x	0	x	0	/u/ 60
<u>p</u> r <u>a</u>	x	0	0	x	0	x	x	x

X印は発話誤りにより測定できなかった

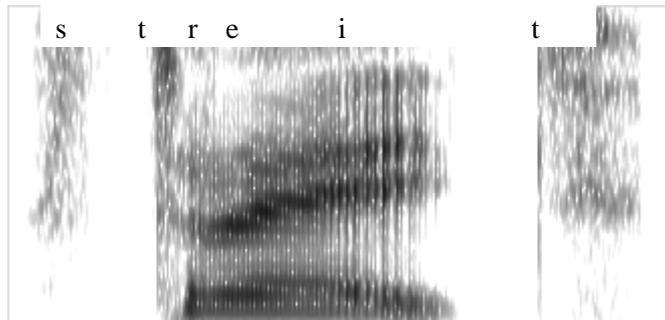


図2 復唱実験で被験者Eが発話した straight のスペクトログラム

第3章 実験2 一子音クラスタ発話時の調音運動計測実験

3.1 目的

実験1において日本語母語話者の母音添加の様相が明らかになり、母音添加が知覚以外の要因によっても生じる可能性が示唆された。本実験では、母音添加の生成面からの検討として、子音クラスタ発話時の調音器官の運動解析を行なった。具体的には子音クラスタが存在しない言語の話者である日本語母語話者と、子音クラスタが存在する言語の話者であるドイツ語母語話者において子音クラスタ調音時の舌および上下唇の運動解析を Electro-magnetic Articulograph (EMA)を用いて行なった。なお本実験はドイツ、ミュンヘン大学の音声学・言語処理研究所 (Ludwig- Maximilians- Universität München Institut für Phonetik und Sprachverarbeitung) において行なった。

EMA は、磁界中におかれたコイルに誘導される信号の強度が、磁界発生源とコイル間の距離に依存するという関係を利用し、調音器官の運動を測定するものである。EMA は頭部周辺におかれた複数個の送信コイルと舌、口唇、顎等の調音器官に装着された受信コイルより構成される。各送信コイルは異なる周波数の交流磁界を発生し、各受信コイルには各周波数に対応した信号がそれぞれ誘導される。この信号強度の違いにより各受信コイルの位置が決定される (鏑木・菅田 1996)。受信コイル検出の位置精度は、前述のように実験室的な条件では 0.1 mm、一般的には 0.5 mm 程度であるといわれている (Yunusova ら 2009)。

3.2 実験方法

3.2.1 検査語

検査語として、日本語およびドイツ語の両方で無意味語となる *bnacht*、*pnaht*、*gnaht*、*knaht* を用いた。子音クラスタ/*bn*/はドイツ語に存在せず、他の子音クラスタ/*pn*/、/*gn*/、/*kn*/はドイツ語に存在する。日本語にはこれらの子音クラスタは存在しない。これらの語をドイツ語キャリア文 “Sage X.” (X は 4 語のいずれか) に埋め込んで発話した。

3.2.2 被験者

被験者はドイツ留学中の男性日本語母語話者 2 名 (Jp1、Jp2) および女性ドイツ語母語話者 1 名 (Ge1)、男性ドイツ語母語話者 1 名 (Ge2) である。被験者は EMA 装置外に設置された

ディスプレイにランダムに表示される文を音読し、その間の調音器官の運動および発話音声
記録した。被験者は表示された文を各文合計8回ずつ音読した。

3.2.3 手続き

EMA 計測

EMA センサは、被験者の正中面上の上唇、下唇、下切歯、舌尖、舌背、後舌に配置し被験
者の調音器官の運動を記録した。さらに参照センサを被験者の鼻根点および左右耳介後方にも
配置した（図3、4）。これらのセンサの運動はX、Y軸別に記録した。X軸は正中面と咬合
面の交線、Y軸は正中面上でX軸に垂直な線である（図5）。

EMA データ解析

各センサの運動はEMA用運動解析ソフトウェアMVIEWを用いて行なった。破裂音/b/、p/、
/g/、/k/の閉鎖開放点（バースト）から/n/の調音完了点（舌尖のYの値が極大になる点）までの
舌尖の変位（D）および移動時間（T）を計測した（図6）。ところで、調音器官の大きさは被
験者の体格、性別等により異なる。さらに調音器官の運動範囲は被験者の発話の態様、すなわ
ち、はっきりと口を動かす発話、口をあまり動かさない発話、により異なる。したがって、EMA
計測により得られた舌尖の変位および移動時間を被験者間で直接比較することは適当ではな
いと考えられる。それゆえ、舌尖の変位および移動時間を発話毎に規格化した。まず、各発話
において舌尖のX、Yの最大値（ X_{max} 、 Y_{max} ）および最小値（ X_{min} 、 Y_{min} ）を求め（図7）、 $(X_{max}$
- $X_{min})$ 、 $(Y_{max}$ - $Y_{min})$ によりX方向の変位 D_x 、Y方向の変位 D_y を規格化した、式（1）および
式（2）。移動時間は破裂音のバースト点から/n/のバースト点までの時間（L）により規格化し
た、式（4）。

D_x の規格化

$$D_{xn} = \frac{D_x}{(X_{max} - X_{min})} \quad (1)$$

D_y の規格化

$$D_{yn} = \frac{D_y}{(Y_{max} - Y_{min})} \quad (2)$$



図3 舌上のEMAセンサの配置（ドイツ話者）

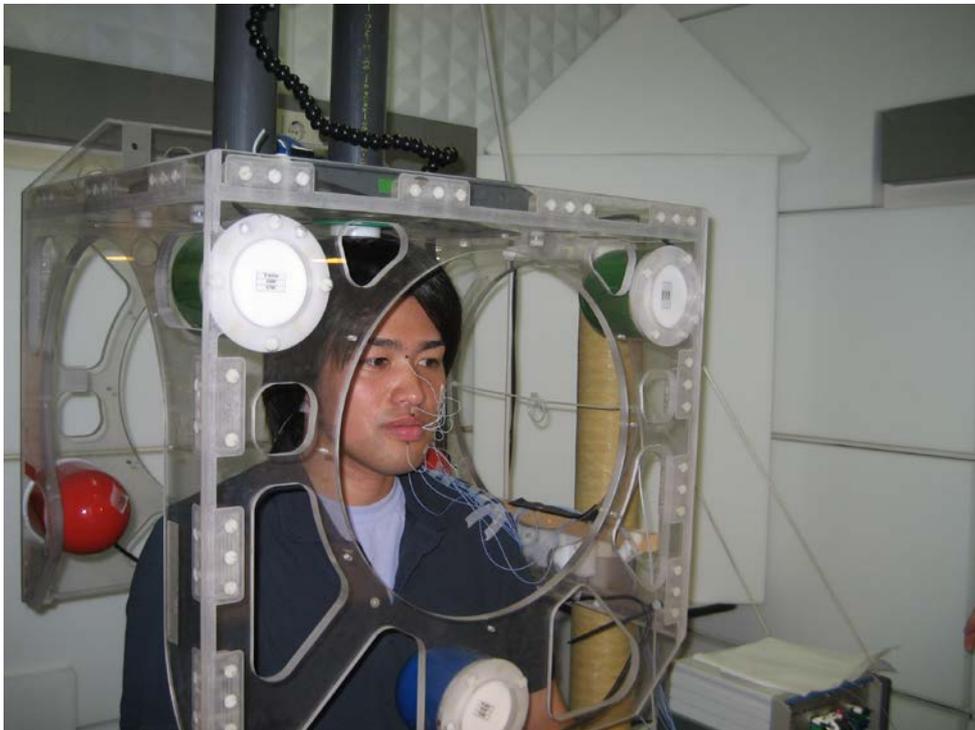


図4 顔面上のEMAセンサの配置（日本語話者）

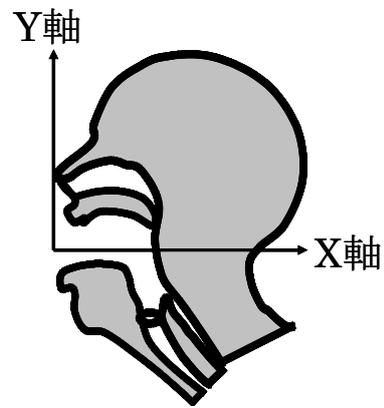


図5 EMA計測における座標軸

X軸：正中面と咬合面の交線、Y軸：正中面上でX軸に垂直な線

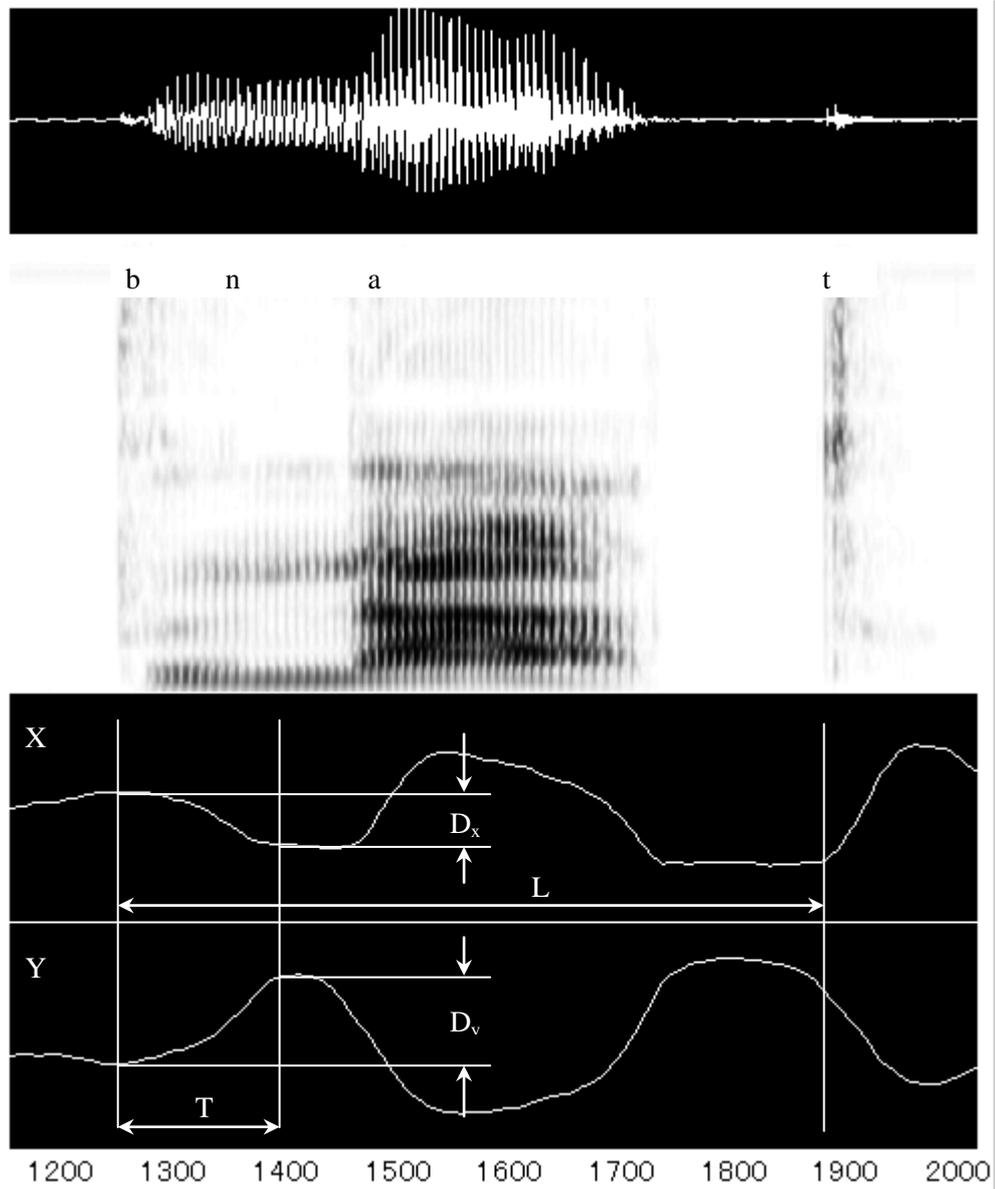


図6 日本語話者が発話した **bnaht** の音声波形、スペクトログラム、EMA 波形（舌尖）

この図に示すように D_x 、 D_y 、 L 、 T 、を計測した。

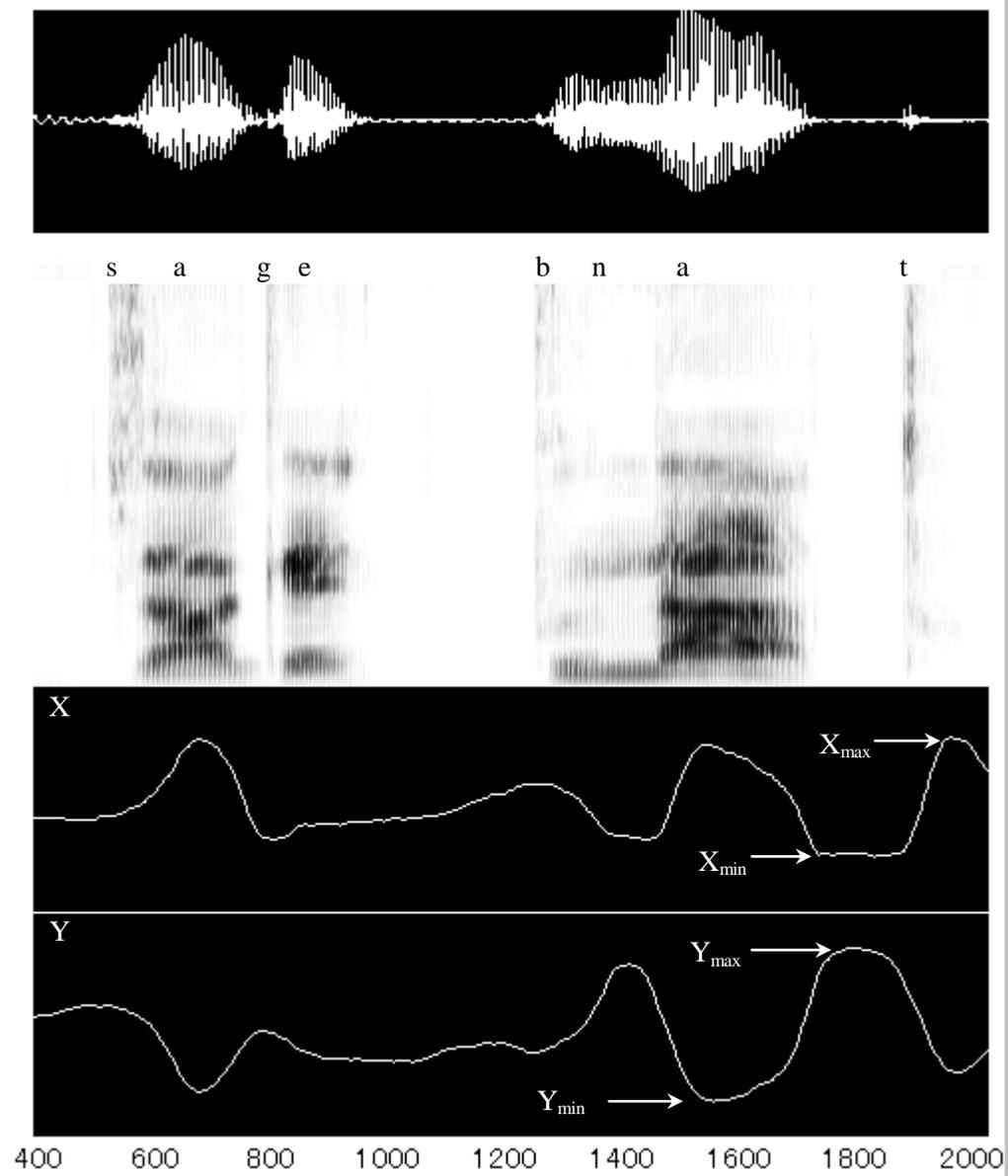


図7 発話における X、Y の最大値および最小値

日本語母語話者が発話した“Sage bnaht.” (図6と同一発話)

変位 D の規格化

$$D_n = \sqrt{(D_{xn}^2 + D_{yn}^2)} \quad (3)$$

変位 D は

$$D = \sqrt{(D_x^2 + D_y^2)} \quad (3')$$

移動時間 T の規格化

$$T_n = \frac{T}{L} \quad (4)$$

子音クラスタへの母音添加の有無はスペクトログラムの視察により決定した。発話音声のスペクトログラムをコンピュータ上に表示し、ボイスバーが3パルス以上の場合を添加母音ありとした。

3.3 実験結果

3.3.1 規格化の検討

図8、9に規格化前の日本語母語話者およびドイツ語母語話者の舌先の変位 D 、移動時間 T をプロットしたものを示す。日本語母語話者、ドイツ語母語話者ともに話者によるデータの局在化が見られる。これらは被験者による調音器官の大きさの違い、運動範囲の違い、発話速度の違いなどにより生じたものであろう。話者による局在化を解消するために規格化を行なった結果を示したものが図10、11である。日本語母語話者、ドイツ語母語話者とも話者による局在化はほぼ解消され、話者間の比較が容易になった。

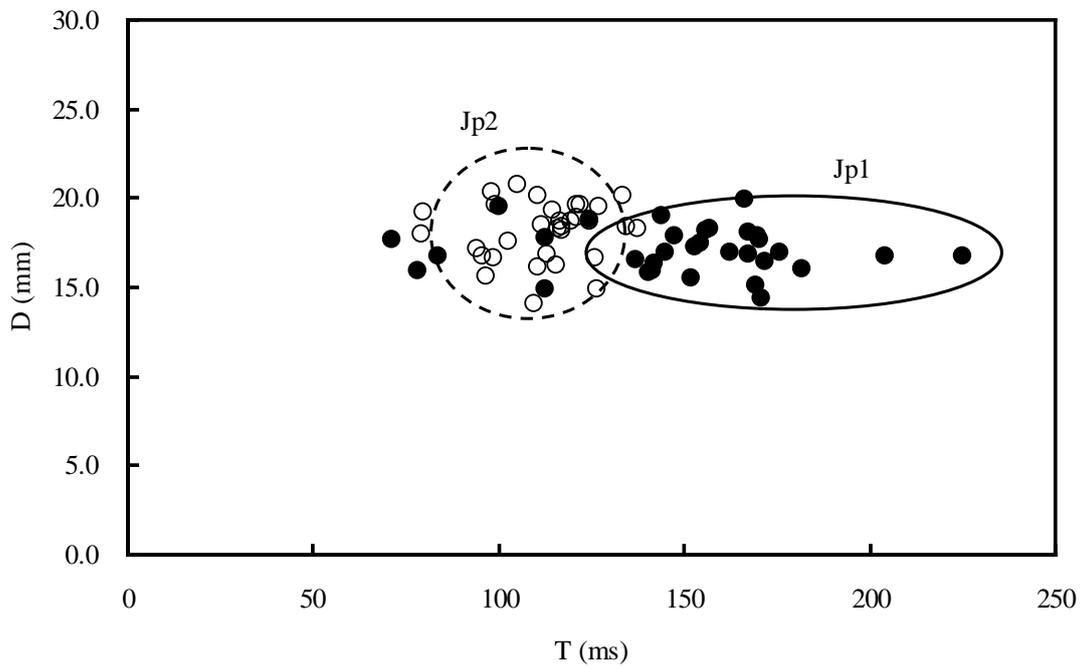


図8 日本語母語話者の規格化前の舌先の変位および移動時間 (● : Jp1、○ : Jp2)
データが話者により局在化している

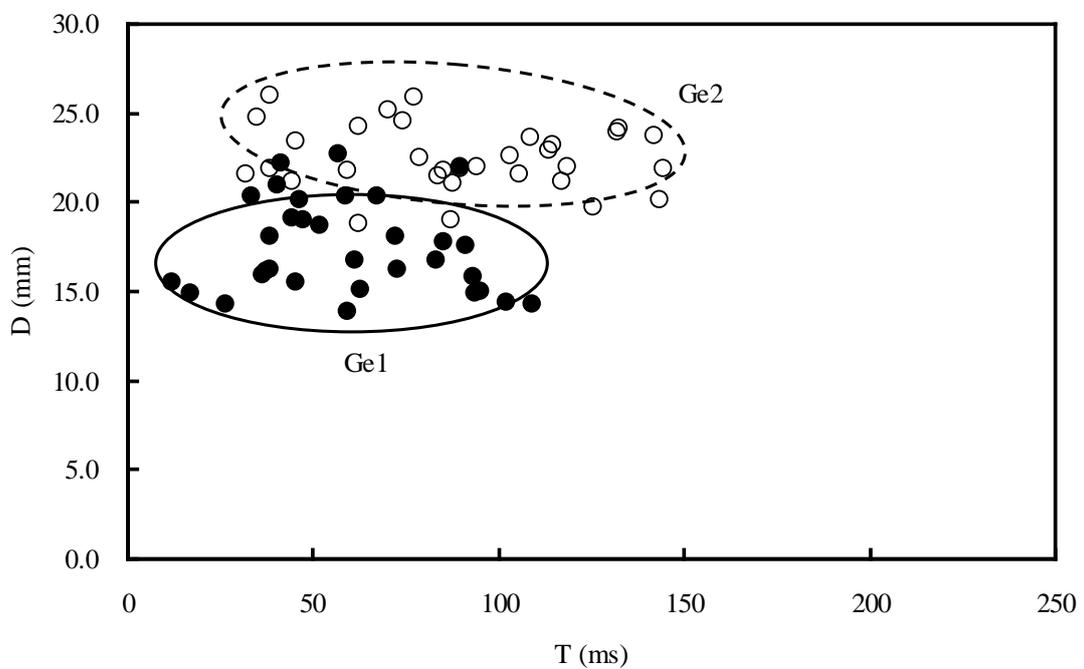


図9 ドイツ語母語話者の規格化前の舌先の変位および移動時間 (● : Ge1、○ : Ge2)
日本語母語話者同様、話者により局在化している

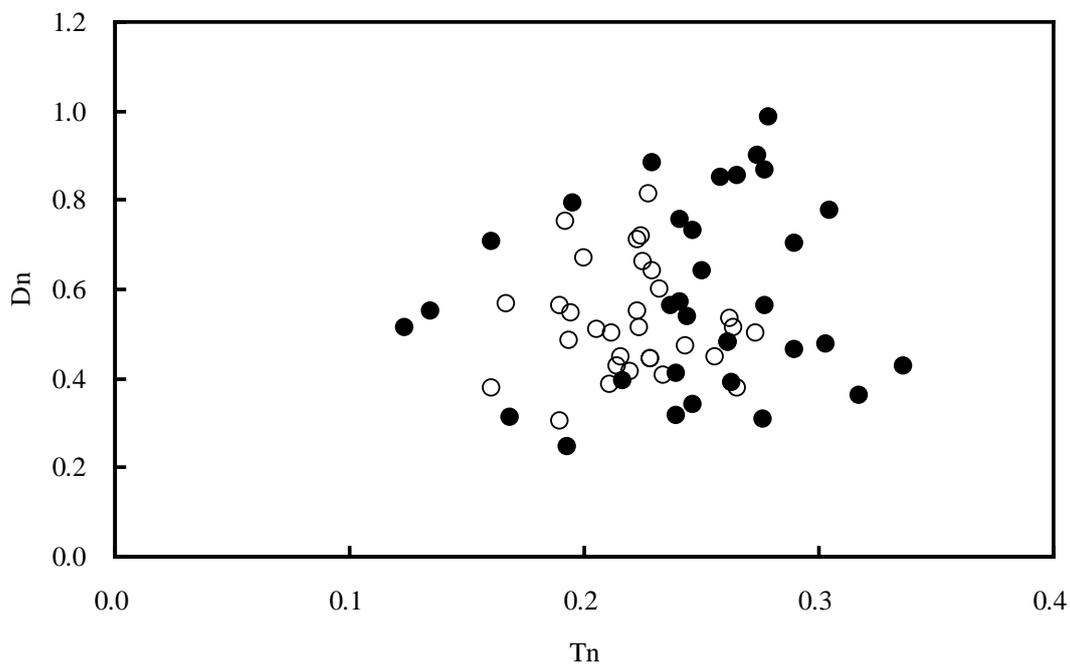


図 1 0 日本語母語話者の規格化後の変位および移動時間 (● : Jp1、○ : Jp2)
話者による局在化はかなり改善されている

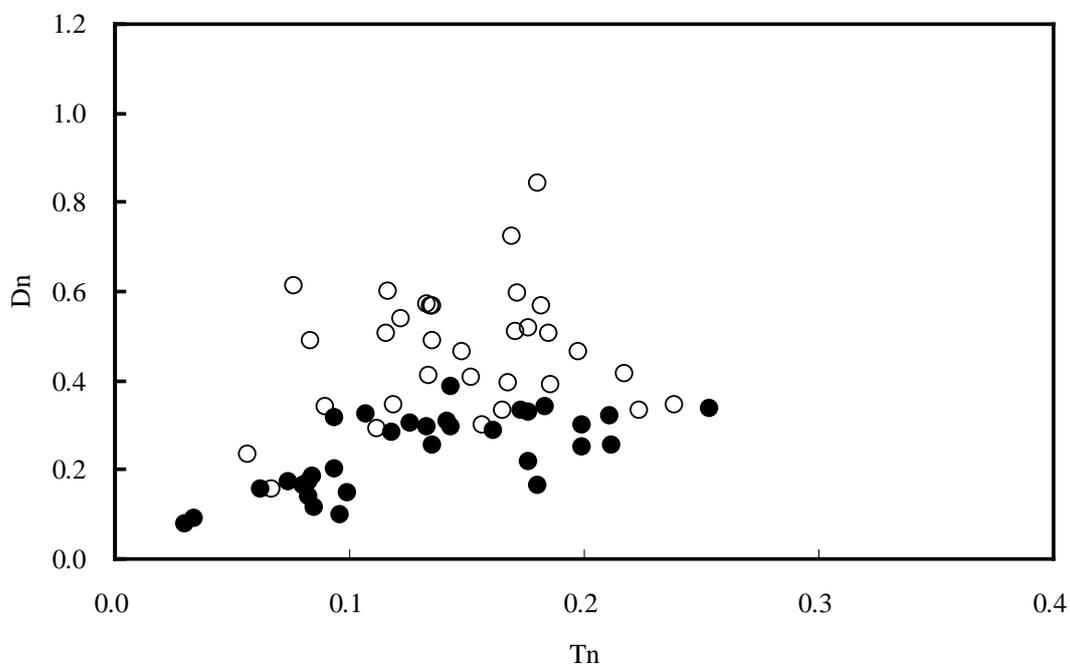


図 1 1 ドイツ語母語話者の規格化後の変位および移動時間 (● : Ge1、○ : Ge2)
日本語母語話者同様、話者による局在化はかなり改善されている

3.3.2 子音クラスターへの母音添加率

表4に子音クラスターへの母音添加率を示す。日本語母語話者は第1子音が有声音/b/、/g/の場合、87.5%と母音添加率が非常に高い。無声音においても/p/ : 56.3%、/k/ : 43.8%と半数近くの発話で母音添加が生じている。ドイツ語母語話者では、ドイツ語に存在しない子音クラスター/bn/では87.5%と日本語母語話者と同じ割合で母音添加が生じている。第1子音が無声音の/p/、/k/では母音添加は生じなかった。

表4 子音クラスターへの母音添加率

検査語	発話者	母音添加率 (%)
bnaht	J	87.5
	G	87.5
pnaht	J	56.3
	G	0
gnaht	J	87.5
	G	56.3
knaht	J	43.8
	G	0

J : 日本語母語話者、G : ドイツ語母語話者

3.3.3 舌先の変位および移動時間

表5に舌先の変位および移動時間を示す。変位に関して言語、子音クラスターを因子とする分散分析を行なったところ、言語 (F(1,120)=57.701 (p<0.0001))、子音クラスター (F(3,120)=8.475 (p<0.0001)) による主効果および交互作用 (F(3,120)=2.921 (p=0.037)) が有意であった。post hoc テストを行なったところ舌先の変位は第1子音が両唇音の子音クラスターで、日本語母語話者がドイツ語母語話者より有意に大きかった。

b : p<0.0001

p : p=0.0001

g : p=0.0352

k : p=0.0121

つまり、第1子音が両唇音の子音クラスターでは、ドイツ語母語話者は第1子音調音時に第2子音/n/の調音に備えて/n/の調音点近傍で舌先を待機させているのに対し、日本語母語話者は第2

子音の調音に備えていないのであろう。子音クラスタ別に見ると、ドイツ語に存在しない子音クラスタ/bn/ではドイツ語母語話者の母音添加率は日本語母語話者と同じである。それにもかかわらず、舌先の変位はドイツ語母語話者の方が有意に小さい。ドイツ語母語話者は/bn/を母語に存在する他の子音クラスタと同じ要領で発音を試み、舌先の運動はある程度は対応できたのであろうが、喉頭の制御が対応できず母音添加が生じたとも考えられる。喉頭の制御が舌先の制御に比べて難しいことは、子音クラスタ/gn/がドイツ語に存在するにもかかわらず、かなりの割合で母音添加が生じていることから推察される。第1子音が無声の/pn/および/kn/では、母音添加は生じていない。これらの子音クラスタはドイツ語に存在すること、および第1子音が無声子音であるため、/n/が調音されるまで声帯を振動させる必要がないこと、つまり喉頭の制御が有声子音が連続する場合より容易であるためであろう。

日本語母語話者とドイツ語母語話者の舌先の変位の差（日本語母語話者の舌先の変位－ドイツ語母語話者の舌先の変位）を比較すると、第1子音が両唇破裂音（/b/ : 0.309、/p/ : 0.251）の方が軟口蓋破裂音（/g/ : 0.129、/k/ : 0.124）よりも舌先の変位の差が大きかった。これは第1子音の調音に起因すると思われる。すなわち、第1子音が両唇音の場合、調音には唇のみが携わっており舌先はほとんど関係しない。したがって第1子音調音時の舌先の待機位置は比較的自由に設定できる。一方、軟口蓋音の場合は調音に後舌が携わっており、舌先は調音に直接関係しないが、後舌が後方に移動するための制約により両唇音のときほど自由ではない。日本語母語話者、ドイツ語母語話者ともこの制約を同じように受けると考えられ、日本語母語話者とドイツ語母語話者の変位の差が軟口蓋音では小さく、両話者間に有意差が生じなかったものと推察される。

舌先の移動時間に関して、言語、子音クラスタを因子とする分散分析を行なったところ言語（ $F(1,120)=174.616$ ($p<0.0001$ ））、子音クラスタ（ $F(3,120)=9.454$ ($p<0.0001$ ））による主効果および交互作用（ $F(3,120)=5.502$ ($p=0.0014$ ））が有意であった。前述のように日本語母語話者の方がドイツ語母語話者より舌先の変位が大きいため移動時間もこれに対応して長くなったのであろう。妥当な結果だと思われる。以下に *post hoc* テストの結果を示す。すべての子音クラスタにおいて日本語母語話者の方がドイツ語母語話者よりも移動時間が有意に長いことがわかる。

- b : $p<0.0001$
- p : $p=0.0029$
- g : $p<0.0001$

k : $p < 0.0001$

表6に舌先の変位および移動時間の実測値を示す。変位の実測値ではドイツ語母語話者の方が日本語母語話者より大きかった。/pn/を除き日本語母語話者とドイツ語母語話者には有意差が存在した。つまり見かけ上は、ドイツ語母語話者の方が日本語母語話者より変位が大きくなっていた。規格化することで、日本語母語話者はドイツ語母語話者に比べて、実質的には変位が大きいことが明らかになり、ここでも規格化の有効性が示された。

表5 第1子音から第2子音への舌先の変位および移動時間（規格化値）

変位			移動時間		
第1子音	J	G	第1子音	J	G
b	0.667*	0.358	b	0.217*	0.110
p	0.653*	0.402	p	0.231*	0.183
g	0.445	0.316	g	0.235*	0.108
k	0.452	0.328	k	0.253*	0.155

* : 有意水準 1% で有意差あり

表6 第1子音から第2子音への舌先の変位および移動時間（実測値）

変位 (mm)			移動時間 (ms)		
第1子音	J	G	第1子音	J	G
b	17.4*	20.7	b	118.9*	55.1
p	17.9	19.2	p	128.2*	100.0
g	17.3	19.9	g	131.6*	57.1
k	17.7*	20.2	k	143.1*	88.6

表6の実測変位に関して、言語、子音クラスタを因子として分散分析を行なうと言語による主効果 ($F(1,120)=25.845$ ($p < 0.0001$)) が有意であったが子音クラスタ ($F(3,120)=0.279$ n. s.) および交互作用 ($F(1,120)=0.739$ n. s.) に有意差は認められなかった。実測時間に関しては言語 ($F(1,120)=113.940$ ($p < 0.0001$))、子音クラスタ ($F(3,120)=7.695$ ($p < 0.0001$)) による主効果および交互作用 ($F(3,120)=3.633$ ($p=0.0149$)) が有意であった

変位に関して

b : $p=0.0031$

p : $p=0.1826$

g : $p=0.0115$

k : $p=0.0069$

移動時間に関して

b : $p<0.0001$

p : $p=0.0069$

g : $p<0.0001$

k : $p=0.0003$

であった。

以上の結果をまとめると、話者により局在化していた計測値を規格化することにより局在化が解消され、話者間の比較が容易になった。子音クラスタ調音時の第1子音から第2子音への舌先の変位および移動時間は、日本語母語話者の方がドイツ語母語話者より有意に大きかった。ドイツ語母語話者は、第1子音調音時に第2子音調音に備えて第2子音調音点の近傍に舌先が待機しているのに対し、日本語母語話者は第2子音調音に備えていない可能性が推察された。言い換えるなら、ドイツ語母語話者の方が日本語母語話者より子音間の調音結合が強いと考えられる。

3.4 考察

日本語母語話者における子音クラスタへの母音添加は、実験1から調音器官の運動の困難さにより生じる可能性が示唆された。すなわち、日本語母語話者においては通常、子音を連続して調音する機会がないので調音器官を適切に動かせていないのではないかと、ということである。本実験においてEMAにより子音クラスタ調音時の舌先の運動を計測したところ、日本語母語話者はドイツ語母語話者（ドイツ語には子音クラスタが存在するので、日常的に子音クラスタの調音を行なっている）に比べて、子音クラスタの第1子音調音点から第2子音調音点までの舌先の変位が有意に大きいことが示された。すなわち、日本語母語話者は第1子音調音時に、第2子音調音に備えておらず、第2子音調音点からかなり離れた場所に舌先があるのに対し、ドイツ語母語話者は第1子音調音時に、第2子音調音に備えて舌先が第2子音調音点近傍に待機しているのである。舌先の変位が大きいと舌先の移動に時間がかかり、その間に母音添加の意図のあるなしにかかわらず母音が添加されてしまうのであろう。以上の結果より、日本語母

話者における子音クラスタへの母音添加は、知覚以外の要素、すなわち子音を連続調音することに不慣れなことから生じている可能性も示唆された。これまでは生成面からの検討を行ってきたが、次の章では日本語母語話者が子音クラスタをいかに知覚しているか、について検証を行なう。

第4章 実験3 一子音間母音知覚実験

4.1 目的

日本語においては前述のように原則として子音クラスタは存在しない。それゆえ母語による子音間母音の知覚実験は一般に難しいと考えられる。したがって、日本語母語話者に対して子音間母音の知覚実験を実施しようとする、外国語音声などを使うことになる。外国語音声を使うと、それが無意味語であろうが、日本語母語話者の発話によるものであろうが、前述のような Dupoux ら (1999) の実験での被験者への指示 ("... to judge whether there was a [u] vowel in the middle of each stimulus word." "...the [u] target in the experiment was not meant to be equivalent to the kana character "う" which represents the whole syllable "u," but to the sound [u] as it appears inside syllables...") のような奇妙な指示を与えてしまう可能性があり、被験者を戸惑わせることになる。ところで、日本語においては子音が連続する音素配列もわずかであるが存在する。そのひとつが、母音が無声化した際に生じる子音連続である。本実験では、この母音無声化により生じる音響的な子音連続をもつ単語を検査語として用い、日本語母語話者の子音間母音の知覚特性を検討した。

母音無声化の生起には方言差が存在する。無声化が生起しやすい方言（関東、九州地方など）と生起しにくい方言（近畿、中国地方など）がある。本実験では最初に、無声化が生起しやすい方言の話者と無声化が生起しにくい方言の話者とに子音間母音の検出力に差があるかを検討した。次に刺激呈示間隔（Inter Stimulus Interval: ISI）を変化させることより検出力が変化するかを調べた。

4.2 実験方法

音声学的知識をもたない一般の日本語母語話者に対し、「母音が無声化しているか」あるいは「2つの子音の間に母音が存在するか」等の質問を設定したり、前述の Dupoux らのような指示を与えることは、意味がないばかりか被験者である日本語母語話者を混乱させる要因になると考えられる。それゆえ、同一話者が発話した2つの音声、母音が無声化した発話 vs. 母音が無声化していない発話の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。無声化した母音と無声化していない母音（無声-非無声母音）の識別ができていれば、つまり子音間母音の検出ができれば、どちらか一方に回答が偏り、そう

でなければ回答は偏らないであろうと考えた。

実験は2つに分けて行なった。最初に無声化が生じやすい方言の話者（関東地方出身者）と無声化が生じにくい方言の話者（中国地方出身者）で子音間母音の検出力に差があるかを検討した。次に ISI を変化させたときに母音検出力が変化するかを検討した。これは Werker & Logan (1985) の実験結果、「音声知覚処理は ISI に依存して3段階に変化する。ISI が短い (~250 ms) 場合は、聴覚レベル処理、中間 (500 ms 程度) では音声レベル処理、長い (~1500 ms) 場合は音素レベル処理となる。」というものを検証するための実験である。

4.2.1 検査語

検査語の選定では無声化が生じやすい音節が語頭になるように留意し、検査語として、語頭に /tsu/ あるいは /ku/ をもつ 2 音節語 1 2 語を選定した。日本語母語話者 2 名（男性 1 名、女性 1 名）がこれらの語を平板アクセントにて単独で発話したものを検査語とした。男性話者は東京出身、女性話者は大阪出身（東京在住）で、両名とも音声学の専門家である。発話者はこれら 1 2 語の語頭の音節を、母音が無声化した発音、母音が無声化しない発音の 2 通りの方法で発話した。発話はサンプリング周波数 22.05 kHz、16 ビット量子化で録音した。母音無声化の有無はスペクトログラムの視察により確認した。以下にあげる 1 2 語のペアを検査語とした。図 1 2 に検査語の代表的なスペクトログラムを示す。

検査語

[tsuta] / [ts̥uta]	[tsut̚çi] / [ts̥ut̚çi]
[tsutsu] / [ts̥utsu]	[tsute] / [ts̥ute]
[tsuto] / [ts̥uto]	[tsuka] / [ts̥uka]
[tsuki] / [ts̥uki]	[kuki] / [k̥uki]
[kuku] / [k̥uku]	[kusa] / [k̥usa]
[kuçi] / [k̥uçi]	[kut̚çi] / [k̥ut̚çi]

4.2.2 被験者

子音間母音の検出力に方言差があるか（方言差検証実験）、の検討では、母音無声化が生じやすい方言話者として関東地方出身の大学生 4 1 名（東京 20、千葉 5、埼玉 5、神奈川 4、茨城 4、栃木 2、群馬 1）および母音無声化が生じにくい方言話者として中国地方出身の大学生 3 4 名（広島 27、岡山 3、鳥取 2、山口 1、島根 1）を被験者とした。

子音間母音の検出力に ISI 依存性があるか（ISI 依存性検証実験）、の検討では、中国地方出

身の大学生（１）３０名（広島 29、山口 1）、（２）２８名（広島 25、島根 3）を被験者とした。なお、中国地方出身の被験者には無声化が生起しやすい方言である島根県出雲地方の出身者は含まれていない。方言差検証実験の被験者および ISI 依存性検証実験（１）および（２）の被験者はすべて異なっている。

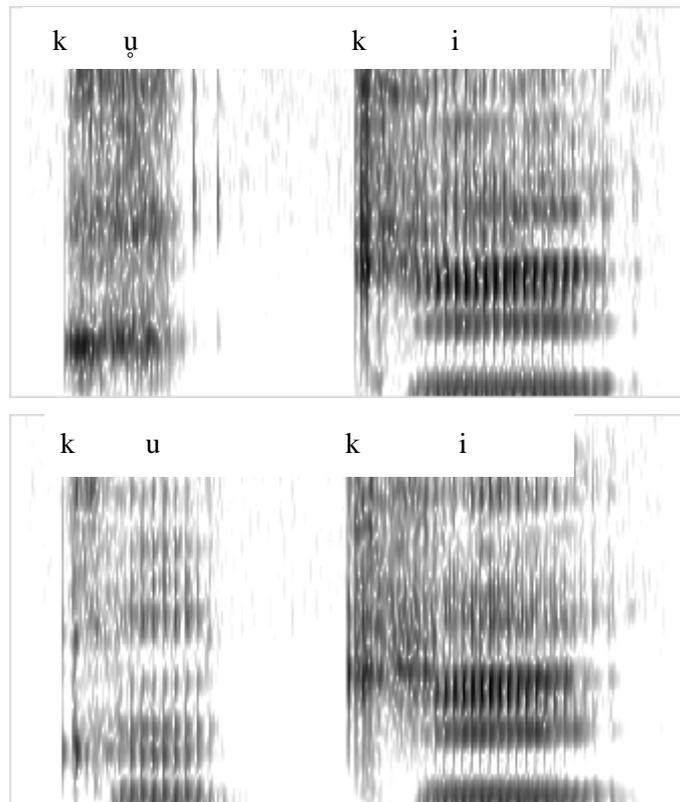


図12 検査語のスペクトログラム

(上) 男性話者が発話した[kuki]、(下) 同じ話者が発話した[kuki]

4.2.3 手続き

母音が無声化した発話と母音が無声化していない発話をペアにして呈示した。被験者はペアになった音声を聞き、「どちらの音声が自分にとって好ましい発音であるか」を判断し、回答用紙上の該当する番号（1あるいは2）に印をつけた。ペア内の刺激音声の呈示間隔（ISI）は方言差検証実験では1000 msとし、ペア内呈示順序はカウンターバランスをとった。ペア間の呈示間隔は2000 msとし、各ペア6回ずつランダムに呈示した。すなわち、被験者は、12単語ペア×2話者×6回、合計144回の判断を行なった。音声はLL系教室内で教室備え付けのスピーカーにより呈示しそれぞれのグループごとに全員一斉に行なった。なお、関東地方出身の大学生に対する実験は東京にて行なった。中国地方出身の大学生に対する実験は県立広島大学にて行なった。

ISI依存性検証実験では、ISI 100 msの実験を（1）のグループに対して行ない、ISI 500 msの実験を（2）のグループに対して行なった。ISI以外の条件はすべて前述のとおりである。

4.3 実験結果

方言差検証実験

回答に70%以上偏りが見られた被験者を子音間母音の検出力がある被験者とした。すなわち、144回の判断中100回以上どちらか（母音が無声化した発話、母音が無声化していない発話）に回答が偏った被験者を検出力がある被験者とした。70%以上としたのは、60%ではチャンスレベルの範囲であると考えたからである。この結果を表7に示す。関東地方出身の大学生（関東）は母音が無声化した発音を嗜好する割合が39.0%（16人）と母音が無声化しない発音を嗜好する割合7.3%（3人）より高かった。一方中国地方出身の大学生（中国）は逆に母音が無声化しない発音を嗜好する割合が29.4%（10人）で母音が無声化した発音を嗜好する割合11.8%（4人）より高かった。つまり、無声化が生起しやすい方言の話者（関東）は母音が無声化した発音を嗜好し、無声化が生起しにくい方言の話者（中国）は母音が無声化しない発音を嗜好するといういわば当然の結果であった。

子音間母音の検出力に関しては、検出可能な被験者の割合が関東46.3%（19人）、中国41.2%（14人）であった（表8）。方言により子音間母音の検出力に差があるか、を検証するために独立性の検定として χ^2 乗検定を行なった。この結果、 $\chi^2_{(1)}=0.201$ n.s. となり帰無化説：関東と中国で母音検出力に差がない、を有意水準5%で棄却できなかった。すなわち、子音間母音の検出力は方言に依存しないことが統計的に明らかになった。

表7 方言による母音無声化の嗜好性

パーセント

被験者	無声	非無声	検出力あり
関東	39.0 (16)	7.3 (3)	46.3 (19)
中国	11.8 (4)	29.4 (10)	41.2 (14)

() 内は人数

表8 子音間母音の検出力

人数

被験者	検出力あり	検出力なし	合計
関東	19	22	41
中国	14	20	34
合計	33	42	75

ISI 依存性実験

表9にISI依存性実験の結果を示す。ISI 100 ms では、子音間母音が検出可能な被験者はわずか23.4% (7人) であった。ISI 500 ms では、50.0% (14人) であった。ISI が非常に短い条件(100 ms) では子音間母音検出可能な被験者は少なく、500~1000 ms では約半数の被験者が子音間母音の検出が可能であった。

Werker & Logan (1985) は「ISI が短いと聴覚レベル処理、中間では音声レベル処理、長い場合は音素レベル処理となる。」と主張している。彼女らは、英語母語話者を対象に英語では同一音素となるヒンディー語の音素識別(そり舌破裂音 vs. 歯茎破裂音)を行なっている。彼女らの実験では検査語として、音響的に同一の音声ペア(PI)、音響的には異なるが同一の音声となるペア(NI)、音声学的に異なるカテゴリーに属するペア(DIF)(英語では同一音素カテゴリーに属するが、ヒンディー語では異なる音素カテゴリーに属するペア)を用いてsame/differentテスト(AXテスト)を行ない、ISIとP[same](sameと回答した割合)との関係を調べている。P[same]は、聴覚レベル処理においてはPIで高くなり、音声レベル処理ではPIおよびNIで高くなる。音素レベル処理ではPI、NI、DIFすべてで高くない、と述べている。

本実験で用いた、母音が無声化した発話—母音が無声化していない発話のペアは、音声学的には異なっているが日本語の同一音素に属しておりWerkerら(1985)のDIFに相当するもの

と考えられる。実験条件、データ処理方法が異なるので直接の比較は難しいが、本実験は実験条件としてはほぼ DIF に匹敵すると考えられる。彼女らの実験結果を見ると、DIF では ISI 250、500、1500 ms のすべてにおいて、P[same]の割合はほぼ一定（約 0.5）である。パラメータは異なるが、本実験においても検出力のある被験者の割合は ISI 500、1000 ms ではほぼ一定である。本実験では、ISI 100 ms において検出力のある被験者の割合が低下しているが、この理由はよくわからない。ISI 100 ms では時間が短すぎて、被験者の処理が混乱したのではないかと考えられるが、この原因の解明は今後の課題であろう。

本実験では、ISI が 100 ms で子音間母音検出力が 23.4% と最も低かったが、それ以外の 500、1000 ms では、50.0%、41.2% と約半数の被験者で子音間母音を検出可能であった。つまり、Dupoux ら (1999) が言うような、「子音と子音の間に幻の母音[u]を知覚している」日本語母語話者は、仮に存在するとしても日本語母語話者の約半数にとどまるであろう。

表 9 子音間母音検出力の ISI 依存性

ISI	パーセント		
	無声	非無声	検出力あり
100	6.7 (2)	16.7 (5)	23.4 (7)
500	28.6 (8)	21.4 (6)	50.0 (14)
1000	11.8 (4)	29.4 (10)	41.2 (14)

() 内は人数

4.4 考察

本実験は、被験者に対する課題を工夫して行なった点に特徴がある。従来から行われている「子音と子音の間に母音が聞こえるか」、「母音が無声化しているかいないか」等の課題では音声学的知識がない一般の被験者（たとえば音声学を専門としない学生）にとってどのように対処すればよいかわからず、かえって混乱をきたす可能性があった。本実験ではこの点に鑑み、被験者への課題に工夫を行なったところに特徴がある。付録（123 ページ）に参考実験として行なった same/different テスト（AX テスト）の結果を示す。この実験（ISI 1000 ms）においてもほぼ同等の結果（子音間母音の検出力がある被験者 42.9%）が得られており、本結果は妥当であると考えられる。

日本語母語話者の子音間母音の検出力としては、約 50%の被験者が検出力を有していた。言い換えるなら日本語母語話者の 2 人に 1 人は子音間母音の検出が可能であるということである。Dupoux ら（1999）の実験からは、子音間母音の検出力は個人差が大きいと考えられ、たとえ日本語母語話者が「幻の母音を知覚している」としても、すべての被験者が同じように知覚しているのではなく、知覚している被験者とそうでない被験者が 50%程度の割合で存在するものと推察される。

本実験において、子音間母音検出力がある被験者とない被験者が半数ずつ存在していた。被験者によるこの差異はどの段階で生じているのであろうか。知覚は脳で行われる。もし、脳において子音間母音の有無が知覚できなければ、訓練等を行なっても無意味であろう。脳において知覚できているのであれば、その後の訓練等により子音間母音の有無が知覚できるようになるであろう。子音間母音検出力がある被験者とない被験者では脳における反応が異なっているのであろうか。これを明らかにするために、次の実験では脳磁図を用い、子音間母音の有無の検出力を調べた。

第5章 実験4 一子音間母音知覚時の脳活動計測実験

5.1 目的

実験3により、日本語母語話者のほぼ50%が子音間母音を検出できている可能性が示唆された。日本語母語話者の子音間母音の知覚特性をより詳細に検討するために、脳磁図による脳活動計測実験を行なった。本実験では、実験3と同様、日本語母音無声化により生じる音響的な子音連続をもつ単語を検査語として用い、脳磁図によりミスマッチ反応を計測し、日本語母語話者の子音間母音の知覚特性を検討した。

5.2 脳磁図

脳磁図は、よく知られている陽電子断層撮影装置 (Positron Emission Tomography: PET)、機能的磁気共鳴画像装置 (functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI)、近赤外分光法 (Near Infra-Red Spectroscopy: NIRS) などの、神経活動に伴う血流量の変化から間接的に脳活動を計測する方法とは異なり、脳の神経活動を直接計測する方法である。

電流が流れるとその周りに右ねじの法則に従って磁界が生じる。脳内の神経細胞が活動すると微弱な電流が流れ、これに伴って磁界が生じる。これらの神経細胞の電気活動の総和 (一般には数千、数万、あるいは数十万といわれている) は電流双極子で等価的に表現される。この等価電流双極子が発生する磁界を頭表面で計測する装置が脳磁図である (高倉・大久保 1997、原・栗城 1997、武田 2003)。

磁界の大きさは磁束密度によって表わされる。地磁気が 10^{-5}T のオーダー、都市の磁気ノイズが 10^{-7}T のオーダーであるのに対し、刺激に反応して生じる誘発脳磁界は 10^{-13}T 程度と極めて微弱である。このような極めて微弱な磁界を検出するのは容易ではないが、磁気シールドルームの使用により外部ノイズが低減され、微弱な磁界を測定できる超伝導量子干渉素子が開発されたことにより測定可能となった (高倉・大久保 1997、原・栗城 1997、武田 2003)。

脳磁図の特徴として以下のようなものがある。

(1) 機能的情報が得られる。

神経細胞の電流変化を測定しているため、脳の機能的情報が得られ、認知や記憶のような脳の高次機能の研究に適用できる。

(2) 測定が完全に無侵襲である。

X線CTやPETなどは一般には無侵襲といわれているが、X線やγ線などの放射線を測定に使用する。一方、脳磁図は体内から発生する磁気を測定するのみで完全に無侵襲である。

(3) 電流双極子の空間的位置の推定が数ミリメートルの精度でできる。

磁気は頭蓋骨の影響をほとんど受けないので電流源の位置推定が精度よくできる。

(4) 時間分解能が数ミリ秒である。

血流量の変化を測定する装置 (fMRI、NIRS など) の時間分解能が秒のオーダーなのに対し、脳磁図では脳神経細胞の電流変化を測定しているので時間分解能はミリ秒のオーダーである。

以上のような特長をもつ脳磁図を用い、日本語母語話者の子音間母音知覚時の脳活動を計測した。

5.3 ミスマッチ反応

ミスマッチ反応とは2種類の刺激の音響的な差が検出できたときに生じる脳反応で、差が検出できなかったときにはミスマッチ反応は生じない (Näätänen ら 1978)。

1種類の刺激を高頻度で呈示し(標準刺激)、別の刺激を低頻度で呈示する(比較刺激)と、比較刺激を呈示したときに標準刺激を呈示したときとは異なる脳反応が得られる。この脳反応を計測することにより、高次脳機能を調べることができる。標準刺激と比較刺激を用いる課題はオドボール課題と呼ばれている。オドボール課題では、たとえば、標準刺激を A (音声)、比較刺激を B (音声) とすると、

AAAAAA BAAAA BAAAAA BAAA BAAA....

のように、標準刺激に混ざって比較刺激がランダムに呈示される。比較刺激は 10~20%の割合で出現し、比較刺激が連続して呈示されることはない。標準刺激および比較刺激に対する脳反応(脳磁界波形)はそれぞれにおいて加算平均される。加算平均することにより信号/雑音比(SN比)を改善することができる。

加算平均した比較刺激に対する脳反応(脳磁界波形)から加算平均した標準刺激に対する脳反応(脳磁界波形)を差し引くと、刺激呈示後約 200 ms 付近にピークを持つ波形(ミスマッチ反応)が得られる。ミスマッチ反応は脳磁図においてはミスマッチ磁界(Mismatch Field: MMF)

と呼ばれている。MMF は刺激の変化を自動的に検出する事象関連聴神経プロセスであり、繰り返し呈示される標準刺激によりメモリートレースが形成され、たまに呈示される比較刺激はこのトレースからはずれず。このトレースからのはずれが検出され MMF として観察されるといわれている。本実験では、MMF を計測することにより日本語母語話者の子音間母音の知覚特性を検討した。

5.4 実験方法

5.4.1 検査語

検査語の選定に当たっては、無声化が生じやすい音節が語頭になるような 2 音節語で、語頭子音が破裂音あるいは破擦音になるように留意した。語頭を破裂音あるいは破擦音としたのは、脳磁図測定において重要となる検査語の時間的始端を決定しやすいからである。以上に基づいて検査語を [tsuta]、[tsʌta]、[tɕita] とした。これらの語を男性日本語母語話者 1 名がそれぞれ 10 回発話し（これらの発話はサンプリング周波数 11.025 kHz、16 ビットで量子化して録音した）、その中からそれぞれ 1 発話を選び検査語とした。

選んだ検査語を脳磁図測定に適したものにするために加工を行なった。まず、それぞれの検査語から [tsu]、[tsʌ]、[tɕi] の部分を切り出し、それぞれ 140 ms の長さになるように加工した。次に同一話者が別に発話した [ta] を加工し 200 ms の長さに調整した。この [ta] と [tsu]、[tsʌ]、[tɕi] それぞれを結合し、単語長が 420 ms になるようにした。したがって [t] の閉鎖区間長は 80 ms である。図 1 3 に検査語のスペクトログラムを示す。

5.4.2 被験者

被験者は日本語母語話者 12 名（男性 3 名、女性 9 名）で、この中で 6 名は母音無声化が生じやすい方言の話者（関東 6、九州 2、北陸 1）で、残り 6 名は母音無声化が生じにくい方言の話者（広島 3、近畿 2、東海 1）である。被験者はすべて右利きであり、聴覚障害はなかった。

5.4.3 手続き

子音間母音検出力を検証するために、[tsuta] vs. [tsʌta] を検査語（刺激音声）とするオドボール課題を行ない脳反応を計測した。比較のためコントロール課題として音素識別条件、すなわち [tɕita] vs. [tsʌta] を刺激音声とするオドボール課題も行なった。

刺激音声はインサート型イヤホンにより呈示した。脳磁図計測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。

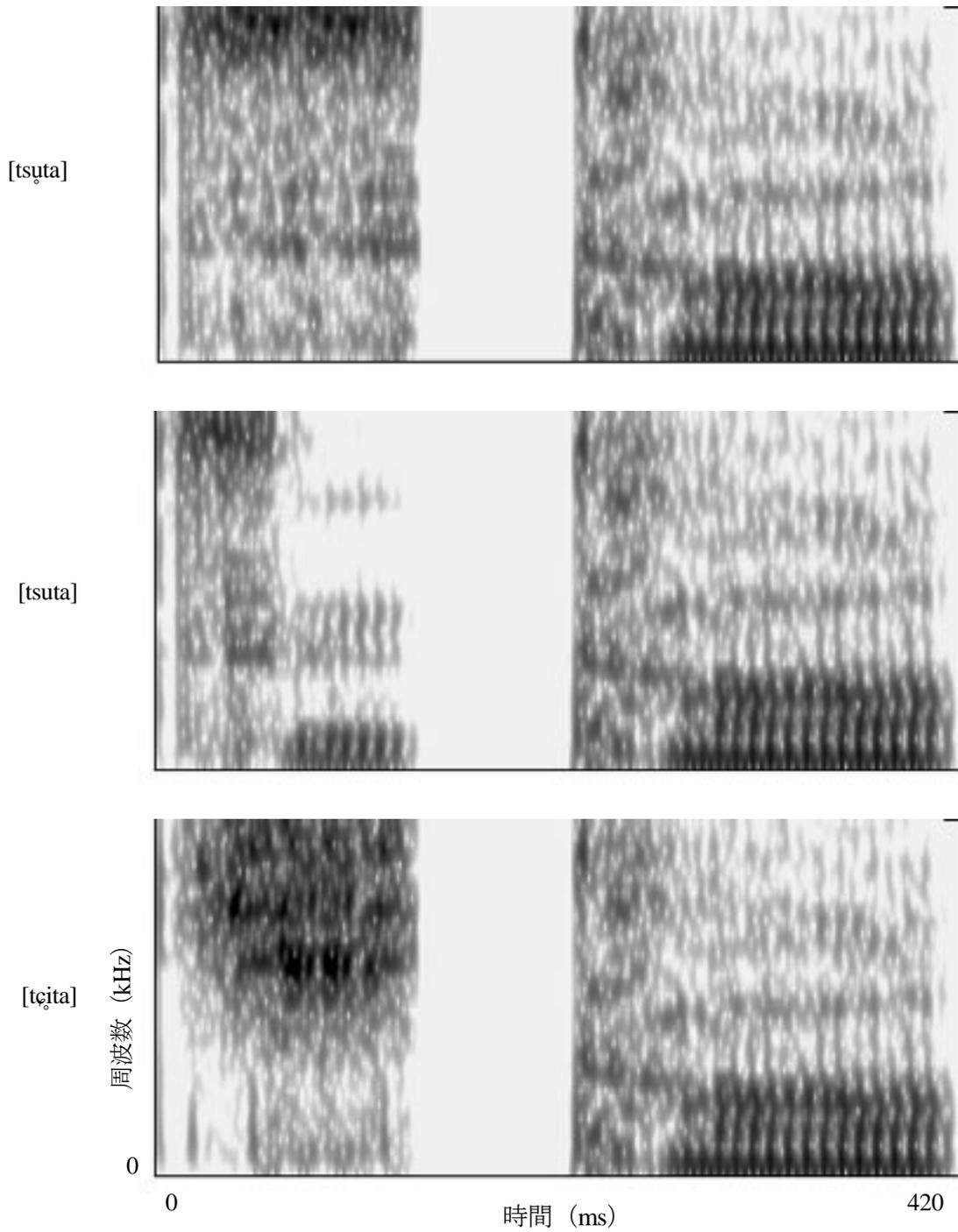


図 1 3 脳反応計測に用いた検査語のスペクトログラム

子音間母音検出条件

標準刺激を 85%、比較刺激を 15% の割合で呈示するオドボール課題を行なった。SOA (Stimulus Onset Asynchrony) は 1 秒とした。ちなみに $SOA = ISI + \text{刺激長}$ である。標準刺激を [tsuta]、比較刺激を [tsʌta] とするセッションおよび逆に標準刺激を [tsʌta]、比較刺激を [tsuta] とするセッションを行なった。

音素識別条件

子音間母音検出条件と同様、標準刺激を 85%、比較刺激を 15% の割合で呈示するオドボール課題を行なった。SOA は同様に 1 秒とした。標準刺激を [tsʌta]、比較刺激を [tʃita] とするセッションおよび逆に標準刺激を [tʃita]、比較刺激を [tsʌta] とするセッションを行なった。

脳磁図計測およびデータ解析

脳磁図計測には、広島大学医学部附属病院の磁気シールドルームに設置されているニューロマグ社製 204 チャンネル全頭型脳磁計を用いた。刺激音声の呈示時刻を基準に -100 ms から 600 ms の間の脳磁界波形を標準刺激、比較刺激別に記録した。脳磁界記録には 1.6-26 Hz のデジタル帯域フィルタを用いた。MMF は比較刺激に対する脳磁界波形から標準刺激に対する脳磁界波形を減じることにより求めた。子音間母音検出条件では 160~310 ms の区間で、音素識別条件では 100~250ms の区間で MMF を決定した。子音間母音検出条件では刺激音声の [u] と [ʊ] の部分が主に異なっており、音素識別条件では [ts] と [tʃ] の部分が主に異なっているからである。図 1-4 に脳磁界波形の一例を示す。この図で縦軸は磁束密度であり、単位は T (テスラ、 $T = \text{wb}/\text{m}^2 = \text{kg}/\text{s}^2 \cdot \text{A}$) である。先にも述べたように脳磁界は極めて微弱であり、T を単位とした場合小数点以下に多くの 0 が並ぶことになるので通常は接頭語“f” (フェムト、 10^{-15}) をつけてフェムトテスラ (fT) 表わす。横軸は時間であり単位はミリ秒 (ms) である。この図において破線は比較刺激に対する反応の脳磁界波形、点線は標準刺激に対する反応の脳磁界波形で、実線は破線から点線を減じたもの、すなわち差分波形で図中に示した部分が MMF である。MMF の大きさを求めるため単一電流双極子モデルを用い、等価電流双極子モーメント (Equivalent Current Dipole moment: ECD モーメント) をコンピュータにより計算した。観測された脳磁界波形から脳磁界の発生源 (脳の反応部位) は直接求めることはできない。それは、求められた方程式の数に対して係数の数が多いからである。つまり、代数的に係数を決定するためには係数の数が 3 つならば方程式も 3 つ必要であるが、この場合には係数の数に比べて方程式の数が少なく代数的に解が求まらない。したがって、単一電流双極子モデルを用いて脳磁界の発生源を推定し、推定された脳磁界の分布と実際に観測された脳磁界の分布が一致するようにして、

脳磁界の発生源およびその強さを求めるのである。推定された脳磁界分布と観測された脳磁界分布との一致の度合いを適合度 (goodness of fit, GOF) といい、本研究では GOF が 70% 以上で ECD モーメントが最大となる場合を採択した。MMF に対する ECD モーメントは被験者別に各条件、各大脳半球それぞれにおいて決定した。

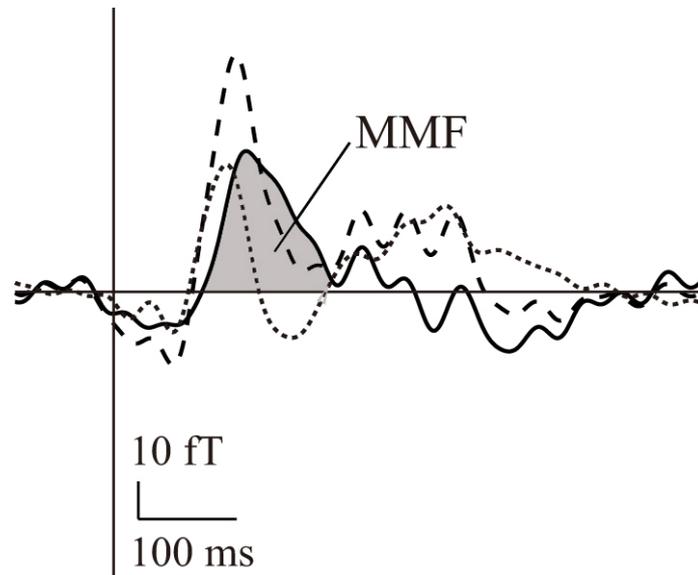


図14 MMF波形の例

破線：比較刺激に対する脳磁界波形、点線：標準刺激に対する脳磁界波形、
 実線：差分波形

5.5 実験結果

すべての被験者の子音間母音検出条件および音素識別条件で MMF が生じていた。図 1 5 に ECD モーメントの大きさを条件、半球別に示す。子音間母音検出条件では右半球の ECD モーメントが左半球より大きく、音素識別条件では逆に左半球の ECD モーメントが右半球より大きかった。条件（子音間母音検出条件、音素識別条件）、半球（左半球、右半球）を因子として分散分析を行なったところ交互作用が有意であった（ $F(1,92)=11.113$ ($p=0.0012$ ））。すなわち、子音間母音検出は右半球優位で行われ、音素識別は左半球優位で行なわれるということである。日本語母語話者にとって、この場合の子音間母音が無声化しているかどうかは言語学的な判断（意味判断）を伴わない。それゆえ、この場合の子音間母音の検出は音響的特徴の識別ということになる。これは序論でも述べたように音響的特徴の識別は右半球優位で行なわれ、音素識別は左半球優位で行なわれる（Imaizumi ら 1998、Kasai ら 2001、Zatorre ら 1992、Perani ら 1996、Klein ら 1994、Näätänen ら 1997）、という過去の研究結果とも一致することになる。有意な主効果はみられなかった。

図 1 6 に母音無声化が生じやすい方言話者 6 名の結果、図 1 7 に母音無声化が生じにくい方言話者 6 名の結果を示す。方言にかかわらず両被験者とも子音間母音識別では右半球の反応が左半球より大きく、音素識別においては左半球の反応が右半球より大きかった。被験者数が少ないので統計的に正確なことは言えないが、方言別に分散分析を行なったところ、交互作用は、母音無声化が生じやすい方言話者では、 $F(1,44)=8.271$ ($p=0.0062$)となり有意であった。一方、母音無声化が生じにくい方言話者では、 $F(1,44)=3.239$ ($p=0.0787$)で有意な交互作用は見られなかった。

方言にかかわらずすべての被験者で MMF が生じていた。すなわち、すべての被験者は[tsu]と[tsɥ]の音響的な差が識別できていた。本実験の結果、日本語母語話者は子音間母音を音響的に検出できると考えられる。

5.6 考察

子音間母音検出条件、音素識別条件においてすべての被験者でミスマッチ反応が誘発された。被験者の方言にかかわらず、母音無声化が生じやすい方言話者においても母音無声化が生じにくい方言話者においてもミスマッチ反応が誘発された。これは、音声識別の基本となる音響特徴の識別がすべての被験者で可能であることを意味する。さらに、両方言話者とも音素識別では左半球の反応が右半球よりも大きく、子音間母音検出では逆に右半球の反応が左半球より

大きい傾向が見られた。

被験者数が少ないため（母音無声化が生じやすい方言話者、母音無声化が生じにくい方言話者各6名）、方言別の分散分析では母音無声化が生じにくい方言話者において交互作用に有意差が見られず、半球差に関しては統計的な有意差が検出できなかったが、子音間母音検出、すなわち子音クラスタ中の母音の有無の識別に関しては、音響レベルでは識別可能ということである。

子音クラスタ中の母音の有無の識別が音響レベルでは可能であるので、何らかの訓練を実施すれば、ほとんどの日本語母語話者において音素レベルでの識別が可能になることが期待される。

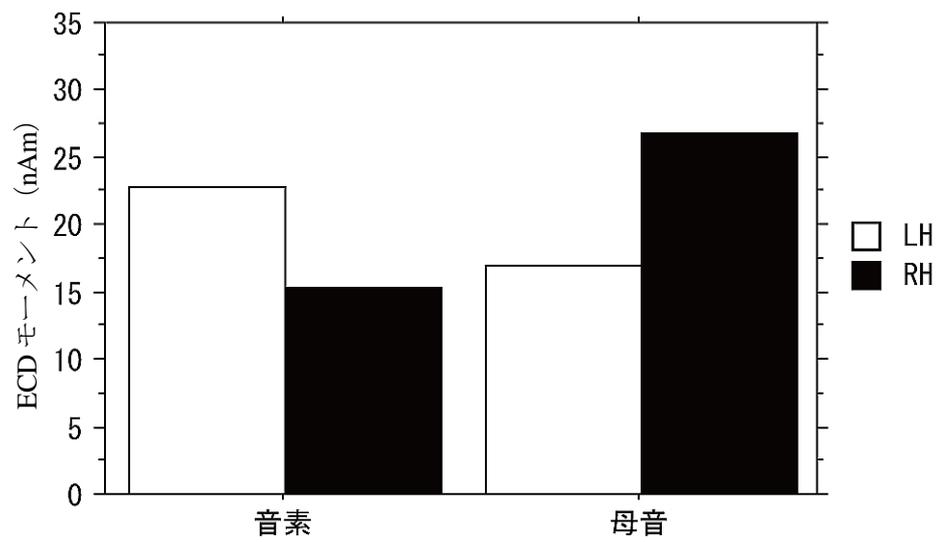


図15 ECDモーメント (全被験者)

音素：音素識別条件、母音：子音間母音検出条件、LH：左半球、RH：右半球

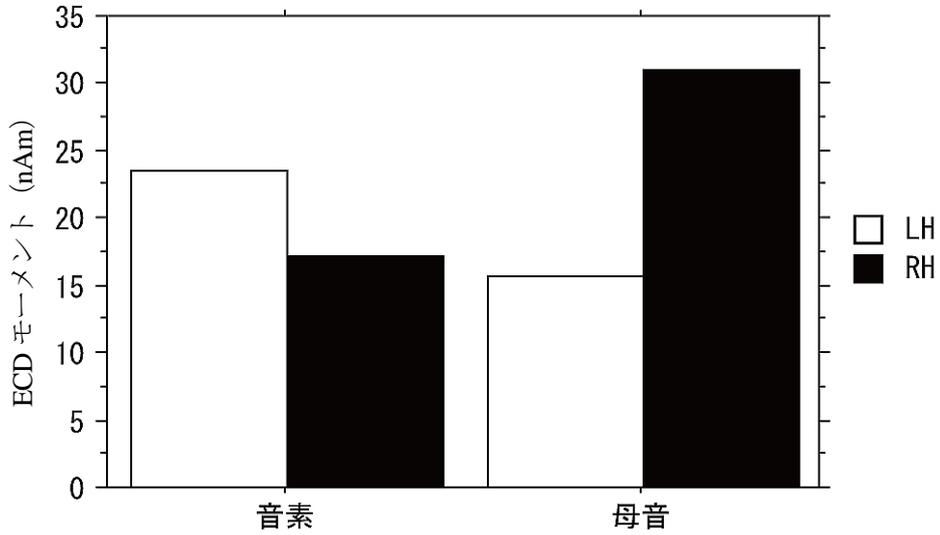


図16 母音無声化が生じやすい方言話者のECDモーメント
 音素：音素識別条件、母音：子音間母音検出条件、LH：左半球、RH：右半球

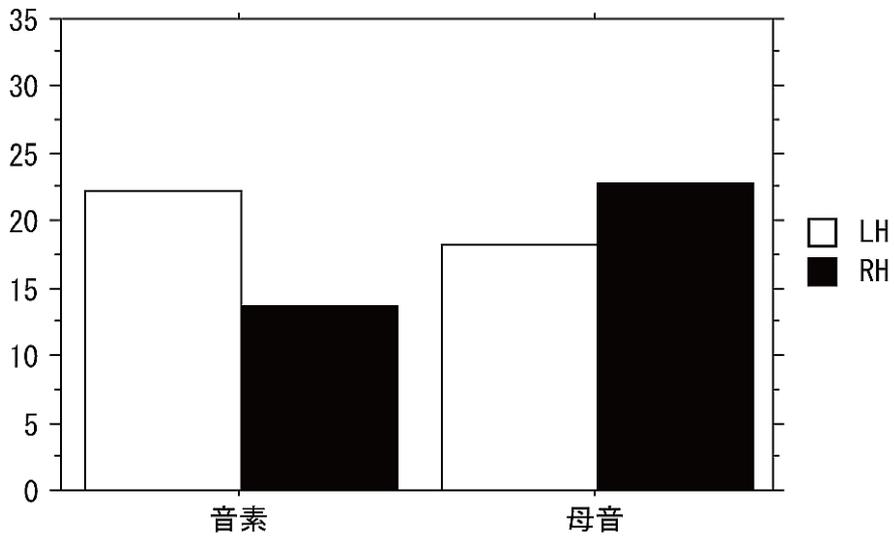


図17 母音無声化が生じにくい方言話者のECDモーメント

第6章 総合考察

序論でも言及したように日本語には原則として子音クラスタは存在しない。そのため日本語母語話者が外国語を発音する際には、子音クラスタへ母音を添加して発音する。子音クラスタへの母音添加は、生成に起因し生じるのか（つまり発音上の問題なのか）、あるいは知覚に起因し生じるのか（子音クラスタを構成する子音間に「幻の母音」を知覚するためか）を明らかにするためにまず生成の面からの検討を行ない、次に知覚の面からの検討を行なった。生成面からの検討では、実験1で、日本語母語話者の子音クラスタ発話の実際を確認し、実験2では子音クラスタ調音時の調音器官の運動解析を行なった。

6.1 生成面からの検討

単独発話実験では、子音クラスタ/str/では、/s/-/t/間へは母音がまったく添加されず/t/-/r/間へは、ほとんどのケースにおいて母音/o/が添加された。子音クラスタ/tr/および/dr/でも多くのケースで/t/、/d/の後に母音/o/が添加された。同様に無意味語においても先行子音/t/、/d/の後には母音/o/が添加された。一方、先行子音/p/、/b/、/k/、/g/の後には母音/u/が添加された。これらの結果は、外来語の形成に関する過去の研究結果(カッケンブッシュ・大曾 1990、Kubozono 2002)と一致する。Dupoux ら (1999) は、日本語母語話者は子音クラスタを構成する子音と子音の間に「幻の母音[u]」を知覚し、それゆえ子音クラスタへ母音[u]を添加して発音する、としている。しかしながら、本実験の結果から、過去の研究にあるように/t/、/d/の後には母音/o/が添加され、さらには/s/-/t/間には母音添加が生じない、などのケースも存在することが明らかになった。これらに関しては、Dupoux らはほとんど言及しておらず、「幻の母音[u]」を知覚しない場合も存在する可能性が示された。

復唱実験では子音クラスタへの母音添加は多くのケースで生じなかった。この課題ではヘッドホンにより英語母語話者の発話を聞き、すぐに繰り返して発話する。それゆえ被験者は発話者の発音を模倣しようとする。このとき、被験者は発話者の調音動作も知覚し模倣する(Liberman ら 1967)。模倣がほぼ正確にできた場合には子音クラスタへの母音添加は生じない。本実験では、多くの被験者において読み上げ発話では母音添加が生じたが、復唱では母音添加は生じなかった。以上の結果から、日本語母語話者における子音クラスタへの母音添加には、調音器官の動かし方の困難さ、つまりいかに調音器官を動かせばよいか分からないとい

うこと、が関係することが示唆される。すなわち、日本語母語話者は、母語発話においてほとんど子音クラスタを発音する機会がなく、それゆえ調音器官をいかに動かせばよいかを知らないであろう。復唱課題により調音器官の動かし方を知覚・模倣し、子音クラスタへの母音添加を生じずに発音できたと考えられる。この結果より、子音クラスタへの母音添加には生成面が寄与している可能性が示唆される。

子音クラスタ発話時の調音器官の運動を解析するため、舌先の運動を EMA を用いて記録した。被験者の日本語母語話者、ドイツ語母語話者とも第 1、第 2 子音が有声音、すなわち有声音が連続する場合は、無声ー有声音の場合より母音が添加される割合が高かった。無声ー有声音の場合は、無声音の調音が完了した点以降で声帯が振動すれば母音添加は生じないが、有聲ー有聲の場合は、第 1 子音調音と第 2 子音調音点の間で声帯振動を一旦停止するか、あるいは調音器官（この場合は舌先）をすばやく次の調音点へ移動させなければ母音添加が生じてしまう。子音間で声帯振動を一旦短時間停止するのは、生理的にかなり困難なことであろうと考えられるので、舌先をすばやく移動させて次の子音を調音する必要があると推察される。表 10 に子音クラスタへ母音が添加された発話における平均添加母音長を示す。ドイツ語母語話者は子音クラスタへの母音添加が生じた場合でも添加母音長は日本語母語話者に比べてかなり短い。実験 2 の表 5 に示した舌先の移動時間および表 10 からもドイツ語母語話者は第 1 子音から第 2 子音へ舌先をすばやく移動させていると考えられる。これはさらに表 11 に示す、舌先の変位 D を移動時間 T で除した値（第 1ー第 2 子音間の舌先の平均速度に相当）からも明らかである。ドイツ語母語話者は日本語母語話者の約 2.5 倍以上の速度で舌先を移動させている。

無声ー有声音の子音クラスタではドイツ語母語話者は母音添加がまったく生じていないが、日本語母語話者は約半数の発話で母音添加が生じている。第 2 子音の調音とともに声帯振動を開始させれば母音添加は生じないはずであるが、日本語母語話者は何らかの理由で声帯振動の制御がうまくいかず、第 1ー第 2 子音間で声帯を振動させてしまったと推察される。表 11 を見ると無声ー有声音の場合（ p 、 k ）、ドイツ語母語話者の舌先の速度は日本語母語話者の 2 倍程度かそれ以下であり、有聲ー有聲（ b 、 g ）の場合に比べて格段に遅い。ドイツ語母語話者は日本語母語話者に比べて声帯振動がよく制御されていると考えられるので、有聲ー有聲音の場合ほど舌先を速く動かす必要がないのであろう。

表 1 0 添加母音長

単位(ms)

第1子音	J	G
b	72.1	39.3
p	44.6	0
g	65.7	39.0
k	47.9	0

表 1 1 第 1 - 第 2 子音間の舌先の平均速度

単位(m/s)

第1子音	J	G
b	0.16	0.41
p	0.15	0.20
g	0.14	0.45
k	0.13	0.28

6.2 知覚面からの検討

子音間母音知覚実験では日本語母語話者において子音間母音が検出可能である被験者は、方言（母音無声化が生じやすい方言、母音無声化が生じにくい方言）に依存せず約 44%であった。つまり日本語母語話者の約 2 人に 1 人は子音間母音を検出することができるが、残りの 1 人は検出できないということである。言い換えるなら子音間母音の検出力は個人差が大きいと考えられる。Dupoux ら（1999）は子音クラスターへの母音添加に関し、2つのグループの日本語母語話者に対し同一の ABX テストを行なっている。この実験では女性話者が発話した音声 A、B（A、B どちらかの一方の子音クラスターには母音が添加されている）に対して男性話者が発話した音声 X が A、B どちらに一致するかを回答する。一方のグループ（実験 3）ではエラーレートが 32%であったのに対し、もう一方のグループ（実験 4）では 19.1%であった。つまり、実験 4 のグループの方が実験 3 のグループに比べ子音間母音の検出力がかなり高かったのである。子音間母音検出力の個人差ということを考えるならば、実験 3 の被験者は 10 人、実験 4 は 20 人と本実験に比べて少なく、より個人差の影響が反映されたものと考えられる。個人差が大きいということを考えれば、仮に日本語母語話者が幻の母音を知覚しているとしても、すべての被験者が同じように知覚しているのではなく、知覚している被験者とそうでない被験

者が50%程度の割合で存在するものと推察される。

脳反応に関しては、子音間母音検出条件、音素識別条件においてすべての被験者でミスマッチ反応が誘発されていた。子音間母音検出条件では右半球優位、音素識別条件では左半球優位であった。実験4でも述べたように一般に音の物理的特徴の識別は右半球優位、音素識別は左半球優位で行なわれる。したがって日本語母語話者は子音間母音の有無に関して、音響的レベルでは識別していると推察される。

Dehaene-Lambertz ら (2000) は子音クラスタ中の母音知覚時の脳反応を計測している。彼女らは脳波計を用い、子音クラスタ中の母音の有無の知覚に関しフランス人はミスマッチ様反応が生じるが、日本人はそのような反応は生じないとしている。この実験では、先行する4個の *igmo* (あるいは *igumo*) の後に出現する *igumo* (あるいは *igmo*) が、先行の4個と日本語として同じであるか否か、を被験者に判断させ (注意条件による脳波計測) そのときの事象関連電位を計測している。先行の4個は異なる日本人女性話者が発話したものであり、後の1個は男性音声である。彼女らによるとこの処理は音韻レベルで行なわれ、それゆえ日本人は *igmo* vs. *igumo* でミスマッチ様の反応が生じないとしている。さらに、前述のように日本人被験者は、“The subjects were informed that they would hear lists of five stimuli, each of which would be made up of Japanese nonwords.”という指示を受けている。つまり言い換えるなら「*igmo* と *igumo* を日本語として区別せよ。」ということである。この2語は日本語として区別可能なのであろうか。日本語ならば仮名書きできるので、もしこれらが日本語として区別可能ならば、*igmo* vs. *igumo* はどのように仮名で書き分けるのであろうか。書き分けることはできないであろう。それゆえ、これらは日本語としては区別できないのではないかと考えられる。

日本語で子音が連続するのは撥音を除くと原則として母音が無声化する場合のみである。母音無声化の生起条件は一般に前後が無声子音の場合であるが、Maekawa & Kikuchi (2005) によると、ごくまれには有声子音間の母音も無声化する。その場合でも無声子音間での母音無声化と同様、母音[i]、[u]の無声化が他の母音に比べて圧倒的に多い。したがって *g-m* 間で母音が無声化していると考えらるなら、その母音は[i]あるいは[u]であろう。母音[u]の無声化であるならば、*igmo* [i^hgmo]と *igumo* [i^hgumo]は日本語としては同じということになり、区別できない。一方、母音[i]が無声化しているとするなら直前の子音[g]は母音[i]との調音結合により口蓋化していると考えられ、*igmo* [i^hg^himo]と *igumo* [i^hg^humo]は区別可能ということになる。しかしながら、この場合子音[g]が口蓋化しているとは考えにくくしたがってこのケースは生じないであろう。

さらに *igmo* に関して、前述のように外来語子音クラスタ発音時の子音クラスタへの母音

添加を考えるならば、[t]および[d₃]の後には母音[i]、[t]および[d]の後には母音[o]、その他の子音の後には母音[u]が添加される（カッケンブッシュ・大曾 1990、Kubozono 2002）ので、この規則に従うなら、子音[g]の後ろには母音[u]が添加されることになり、igmo とは同じということになる。

Dehaene-Lambertz ら（2000）の実験は、彼女らが述べているように音韻レベル、すなわち日本語として igmo と igumo の異同を判断するもので、上述のように igmo と igumo は日本語としては同じであると考えられ、したがって脳波にミスマッチ様反応が生じなかったのは、いわば当然のことであり、ミスマッチ様反応が生じなくても日本人が igmo と igumo の聞き分けができないとはならないであろう。一方、本研究では子音間母音の検出においてすべての被験者でミスマッチ反応が生じていた。すなわち、日本語母語話者は音響レベルにおいて子音間母音の検出が可能であると結論することができる。それゆえ、実験3の知覚実験において、子音間母音が検出可能な被験者が50%程度であったのは、約半数の被験者では音響的レベルでの判断が音声レベルにも参照されており、残りの半数は音響的レベルでの母音の有無の判断が音声レベルと結びついていないためであろうと推察される。音響的レベルから音声レベルを経て音韻レベルまでの間で如何なる処理が行なわれ音韻レベルの判断に結びついたり、結びつかなかったりするの、については今後の研究が期待される。

6.3 生成・知覚両面からの検討

以上の生成および知覚の各面からの検討をまとめると図18のようになる。この図では縦が3列になっており、左の列は脳における処理レベル、中央の列は知覚処理の流れ、右の列は知覚列で処理された後、実際に生成される音声を表わす。処理は上方、つまり音響レベルから音声レベル、音韻レベルへと流れていく。

入力された音声は、まず音響レベルで処理される。ここでは入力された音声の音響特徴の抽出が行われる。脳磁図においてミスマッチ反応の誘発が観測されたことから、音響レベルではCCとCVCの識別はすべての日本語母語話者で可能であることが明らかである。復唱ではこのレベルでの識別力が反映されていると考えられる。この時抽出された音響特徴からそれを実現するための調音動作が確立される。そして確立された調音動作から模倣が行われると考えられる。復唱においては音声や音韻などの上位レベルにアクセスすることなく、音響レベルから直接生成が行われるのであろう。したがって生成において子音クラスターCC間に母音を添加することなく発話することが可能である。

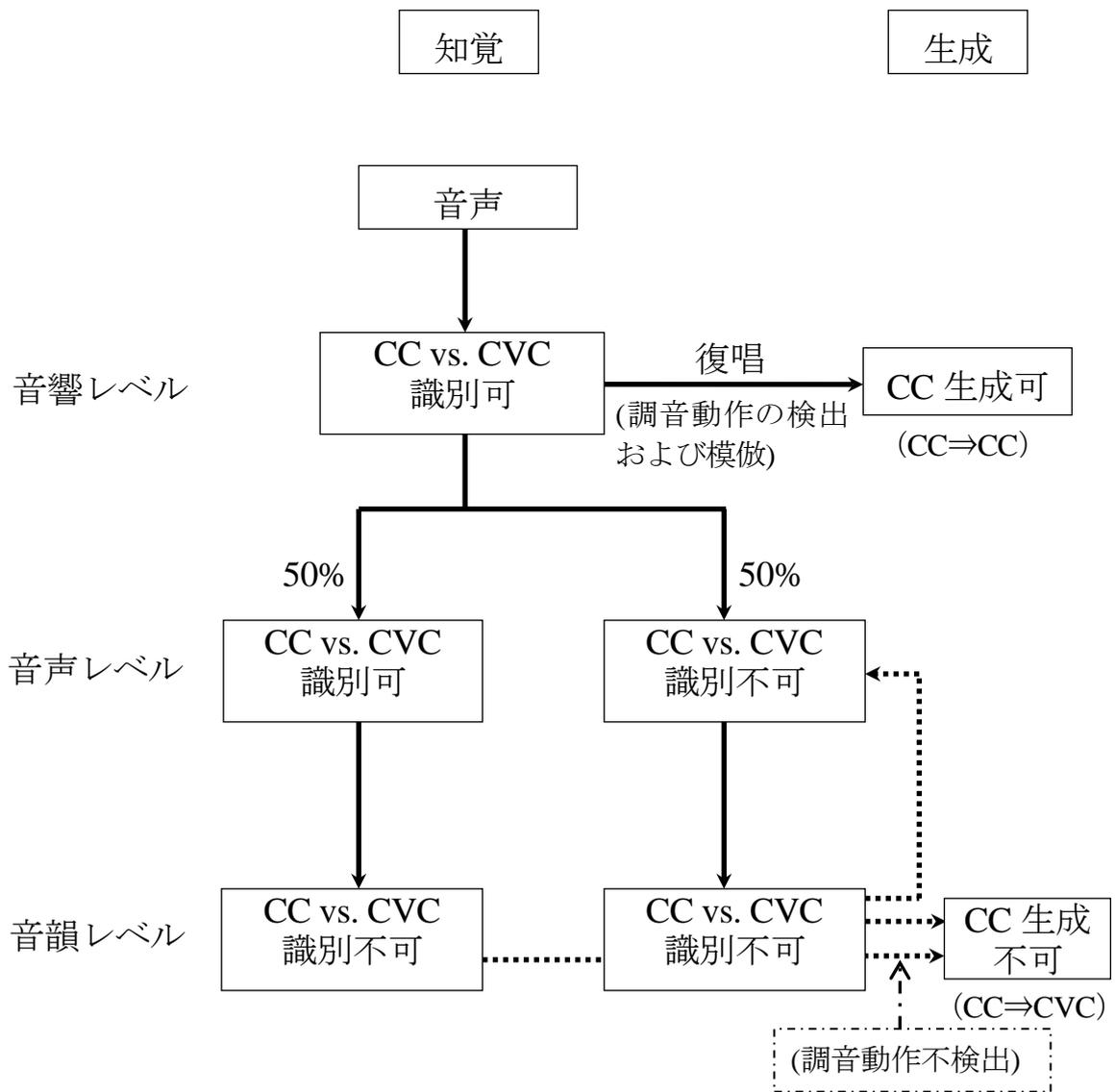


図18 知覚および生成のまとめ

通常の処理過程（復唱ではない場合）では音響レベルでの処理を受けた音声は、次に音声レベルでの処理へ送られる。音声レベルでは、日本語母語話者の約50%がCCとCVCの識別が可能であり、残りの50%の話者は識別できない。今後、このレベルを反映する生成実験が行なわれるならば、日本語母語話者の半分がCCを生成し、残りの半分はCCが生成できずCVCとなる現象が観察できるであろう。

音声レベルでの処理を終えると音韻レベルでの処理が実行される。この段階では日本語音韻体系（日本語では原則CCは禁止であり、CCの場合には間に何らかの母音が補われCVCとなる）によりCCとCVCは区別されない。したがって音声レベルでCCとCVCの識別が可能であった50%のグループでもCCをCVCと同じものとして取り扱うようになる。音声レベルでCCとCVCの識別ができなかったグループは、当然音韻レベルでも識別はできない。このグループが音声レベルで識別できなかった原因の一つには音韻レベルの影響（このグループは音韻レベルからの影響をより強く受けている、図18で、音韻レベルで識別不可から音声レベルで識別不可へ向かう破線）も考えられるが、これに関しては今後の検討課題となろう。音韻レベルからの影響を強く受けるグループと影響をあまり受けないグループという2つのグループが実際に存在するのか、ということは今後の興味深い検討課題の一つである。当然のことながら、音韻レベルでは調音動作が検出できず、したがって調音動作の模倣も生じない。それゆえリストの読み上げのような状況において、「子音と子音の間に母音を入れずに発音するように。」というような要求を音韻レベルで実現することは不可能である。さらに生成の面から考えると、音韻レベルでは調音器官の動作の方法（具体的には舌の動かし方）が分からず、結果的に母音添加が生じてしまうのであろう。

先にも述べたように音声レベルにおいては、被験者の50%はCCとCVCの識別が可能であり、残りの50%は識別できない。一般に、一部の音声識別（たとえば放出音 (ejective, [pʰ], [tʰ], [kʰ]) と破裂音 (plosive, [p], [t], [k]) の識別など）を除いて、特別に訓練を受けた話者以外では、音声レベルでの識別は難しいと思われる。それは、人間は誕生からの成長過程で母語にとって不要な言語音声の識別能力は失われていくからである。一方で脳計測の結果からは、音響レベルでの識別についてはどの被験者も可能であるという結果が得られた。つまり音響レベルでは2音の識別が可能でも音声レベルに到達すると識別できなくなる被験者が半数に達するということである。これは音響レベルから音声レベルへの処理の流れの中で何かが作用し、何らかの影響を強く受ける被験者が存在するからだとと思われる。一つの可能性としては、音韻レベルからの影響が考えられる。音韻レベルからの影響

を強く受けるグループとそうでないグループの2つのグループが存在するのかもしれない。なぜ2つのグループが存在するのかについては、今回の実験からは解明できず、今後の検討課題である。

以上まとめると日本語母語話者は子音間母音の検出において音響レベルでは知覚が可能であり、さらに約半数の話者は音声レベルでの知覚が可能であるので、それゆえ何らかの訓練を施すなどすれば音韻レベルでも検出可能になるのではないかと考えられる。

第7章 結論

日本語母語話者における非母語子音クラスタへの母音添加に関し、生成、知覚両面からの検討を行なった。日本語母語話者は非母語子音クラスタ発話時に、従来の研究で指摘されているように[t]および[d]の後には母音[o]が、その他の子音の後には母音[u]が添加される傾向にあった。英語母語話者の発話を復唱した場合には子音クラスタへの母音添加はほとんど生じず、ほぼ正確に発音できた。復唱では調音動作を知覚し、それを模倣すると考えられている。それゆえ日本語母語話者は調音動作を正確に教そわれれば、正しく発音できるのである。言い換えるなら調音動作、すなわち生成の面に母音添加の一因があることが明らかになった。この結果は日本語母語話者が子音クラスタを発音する際の舌の運動解析からも支持された。すなわち、日本語母語話者は子音クラスタの第1子音調音時に第2子音の調音に備えて舌を第2子音の調音点近傍に待機させておらず（言い換えるなら日本語母語話者は子音間の調音結合が弱い）、それゆえ第2子音調音までより多くの時間を要し、その間に声帯が振動し結果的に母音が添加されることが明らかになった。

日本語母語話者に対して子音間母音検出力を計測したところ、約50%の話者において子音間母音の有無が検出可能であると考えられた。つまり、音声レベルにおいて話者の半分は検出力があり、残り半分は検出力がない、個人差が大きいという結果が得られた。一方で脳反応の計測からは、すべての被験者で子音間母音の有無の検出力があるという結果が得られた。脳反応は音響レベルでの検出力を表わしてしていると考えられるので、すべての日本語母語話者は子音間母音の有無を音響的には検出可能であるといえる。それゆえ、日本語母語話者の半数は音響レベルでの知覚が音声レベルに反映され、子音間母音の有無の検出が可能であるが、残りの半数は音響レベルの検出力が音声レベルに反映されておらず、音声レベルでは母音の有無がわからない。仮に、日本語母語話者が子音と子音の間に「幻の母音」を知覚しているとするならば、音響レベルの検出力が音声レベルにうまく反映されていない約半数の話者がその該当者であろう。音響レベルでの検出力が音声レベルにうまく反映されないという現象はどのような機序で生じるのか、なぜ生じるのかについてはいまだ明らかになっていない。今後の研究に期待される。

日本語母語話者の子音クラスタへの母音添加は、日本語には存在しない子音連続調音の難しさ、発音時の調音器官の制御の困難さから生じている可能性が確認された。日本語母語話者が子音クラスタの子音間に「幻の母音」を知覚している可能性については、「幻の母音」を知覚していない話者も存在することが確認された。子音クラスタへの母音添加は、すべて知覚により生じるのではなく、発音の困難さから生じている場合も存在することが確認された。

謝辞

本論文を作成するに当たり、神戸大学国際文化学部教授朱春躍先生、林良子先生には特別のご高配を賜りました。深謝いたします。本研究全般にわたってご指導を賜りました県立広島大学保健福祉学部コミュニケーション障害学科教授今泉敏先生に深く感謝いたします。脳磁図計測では、広島大学医学部脳神経外科学教室教授栗栖薫先生、橋詰顕先生には脳磁図装置の使用に関し格別のご配慮をいただきました。特に橋詰顕先生には脳磁図装置の調整、データの解析でもお世話になりました。深く感謝いたします。大学院生時代にご指導いただき研究者としての基礎を作っていただいた東京大学名誉教授桐谷滋先生に深く感謝いたします。県立広島女子大学時代に研究に便宜を図っていただいた県立広島女子大学名誉教授今石元久先生に深く感謝いたします。最後になりましたが、EMA 実験等の共同研究者として多くのアドバイスをいただいた国立国語研究所コーパス開発センターの藤本雅子先生本当にありがとうございました。

本研究の一部は学術振興会科学研究費補助金（18520327, 20520394, 24520434）により行なわれた。

参考文献

- Chitoran, I., Goldstein, L., & Byrd, D. (2002) "Gestural overlap and recoverability: Articulatory evidence from Georgian," in *Laboratory phonology 7*, Eds. C. Gussenhoven, N. Warner, Berlin, New York: Mouton de Gruyter. pp. 419–447.
- Davidson, L., (2005) Addressing phonological questions with ultrasound, *Clinical Linguistics & Phonetics*, **19**, 619-33.
- Davidson, L., Shaw, J. A., (2012) Sources of illusion in consonant cluster perception. *Journal of Phonetics*, **40**, 234-248.
- Dehaene-Lambertz, G., Dupoux, E., and Gout, A., (2000) Electrophysiological correlates of phonological processing: a cross-linguistic study, *Journal of Cognitive Neuroscience*, **12**, 635-47.
- Dupoux, E., Kakehi, K., Hirose, Y., Pallier, C., Mehler, J., (1999) Epenthetic vowels in Japanese: A perceptual illusion?, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, **25**, 1568-1578.
- Dupoux, E., Pallier, C., Kakehi, K., Mehler, J., (2001) New evidence for prelexical phonological processing in word recognition, *Language & Cognitive Processes*, **16**, 491-505.
- Erickson, D., Yoshida, K., Menezes, C., Fujino, A., Mochida, T., Shibuya, Y., (2006) Exploratory study of some acoustic and articulatory characteristics of *sad* speech, *Phonetica*, **63**, 1-25.
- Imaizumi S., Mori K., Kiritani S., Hosoi H., Tonoike M., (1998) Task-dependent laterality for cue decoding during spoken language processing, *Neuroreport*. **9**, 899-903.
- Kaburagi, T., Honda, M., (2002) Electromagnetic articulograph based on a nonparametric representation of the magnetic field, *Journal of the Acoustical Society of America*, **111**, 1414-1421.
- Kasai, K., Yamada, H., Kamio, S., Nakagome, K., Iwanami, A., *et al.*, (2001) Brain lateralization for mismatch response to across- and within-category change of vowels, *Neuroreport*, **12**, 2467-2471.
- Klein D, Zatorre RJ, Milner B, Meyer E, Evans AC., (1994) Left putaminal activation when speaking a second language: evidence from PET, *Neuroreport*, **5**, 2295-2297.
- Kubozono, H., (2002) Prosodic structure of loanwords in Japanese: Syllable structure, accent and morphology, *Journal of the Phonetic Society of Japan*, **6**, 79-97.

- Liberman, AM., Cooper, FS., Shankweiler, DP., Studdert-Kennedy, M., (1967) Perception of the speech code, *Psychological Review*, **74**, 431-61.
- Maekawa, K. and Kikuchi, H., (2005) "Corpus-based analysis of vowel devoicing in spontaneous Japanese: an interim report," in *Voicing in Japanese*, edited by van de Weijer, J., Nanjo, K., and Nishihara, T. (Mouton de Gruyter, Berlin), pp. 205-228.
- Massaro, DW., Cohen, MM. (1983) Phonological context in speech perception, *Perception & Psychophysics*, **34**, 338-348.
- Murdoch, BE., Cheng, HY., Goozée, JV., (2012) Developmental changes in the variability of tongue and lip movements during speech from childhood to adulthood: an EMA study, *Clinical linguistics & phonetics*, **26**, 216-231.
- Näätänen, R., Paavilainen, P., Alho, K., Reinikainen, K., and Sams, M., (1989) Do event-related potentials reveal the mechanism of the auditory sensory memory in the human brain?, *Neuroscience Letters*, **98**, 217-221.
- Näätänen, R., Gaillard, A. W., and Mäntysalo, S., (1978) Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted, *Acta Psychologica*, **42**, 313-329.
- Näätänen, R., Lehtokoski, A., Lennes, M., Cheour, M., Huutilainen, M., *et al.*, (1997) Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses, *Nature*, **385**, 432-434.
- Perani, D., Dehaene, S., Grassi, F., Cohen, L., Cappa, SF., *et al.*, (1996) Brain processing of native and foreign languages, *Neuroreport*, **7**, 2439-2444.
- Phillips, C., Pellathy, T., Marantz, A., Yellin, E., Wexler, K., Poeppel, D., McGinnis, M., and Roberts, T., (2000) Auditory cortex accesses phonological categories: an MEG mismatch study, *Journal of Cognitive Neuroscience*, **12**, 1038-1055.
- Sams, M., Paavilainen, P., Alho, K., and Näätänen, R. (1985). Auditory frequency discrimination and event-related potentials, *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **62**, 437-448.
- Werker J. F., and Logan, J., (1985) Cross-language evidence for three in speech perception factors, *Perception & Psychophysics*, **37**, 35-44.
- Yunusova, Y., Green, JR., Mefferd, A., (2009) Accuracy assessment for AG500, electromagnetic articulograph, *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, **52**, 547-555.

Zatorre, R.J., Evans, A.C., Meyer, E., Gjedde, A., (1992) Lateralization of phonetic and pitch discrimination in speech processing, *Science*, **8**, 846-849.

カッケンブッシュ寛子・大曾美恵子 (1990) 『外来語の形成とその教育』 日本語教育指導参考書 16 国立国語研究所

鏑木時彦、誉田雅彰 (1996) 磁気センサシステムの校正法の検討、電子情報通信学会技術研究報告、SP, 音声 **96**, 31-38.

窪園晴夫 (1999) 『日本語の音声』 現代言語学入門 2 岩波書店

高倉公朋・大久保昭行 (1997) 『MEG—脳磁図の基礎と臨床』 朝倉書店

武田常広 (2003) 『脳工学』 電子情報通信学会編 コロナ社

原宏・栗城真也 (1997) 『脳磁気科学—SQUID 計測と医学応用—』 オーム社

付録

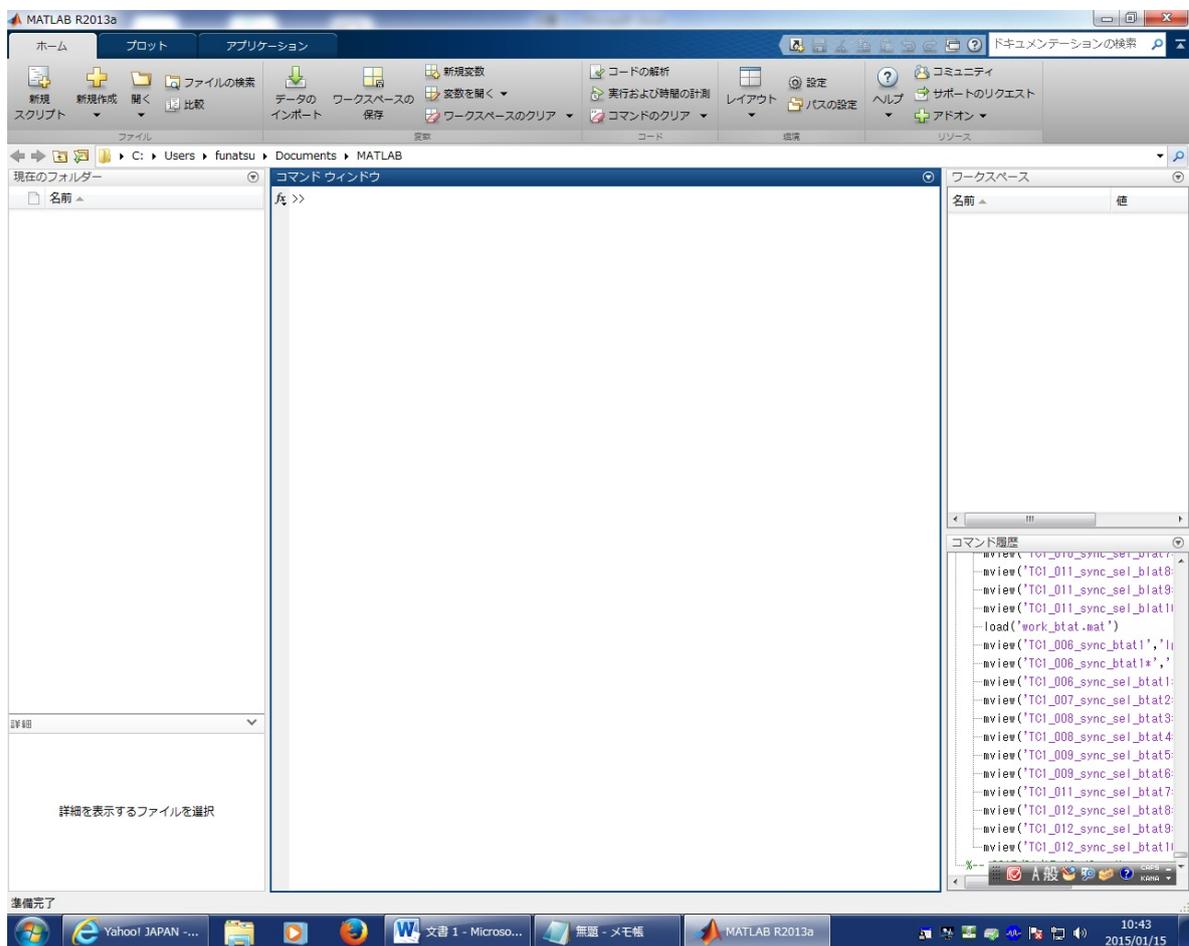
MVIEW による EMA データ解析の概要

EMA データ解析用のソフトウェア MVIEW はアメリカ、Yale 大学 Haskins 研究所の Mark Tiede によって開発され、MatLab 上で動作する。

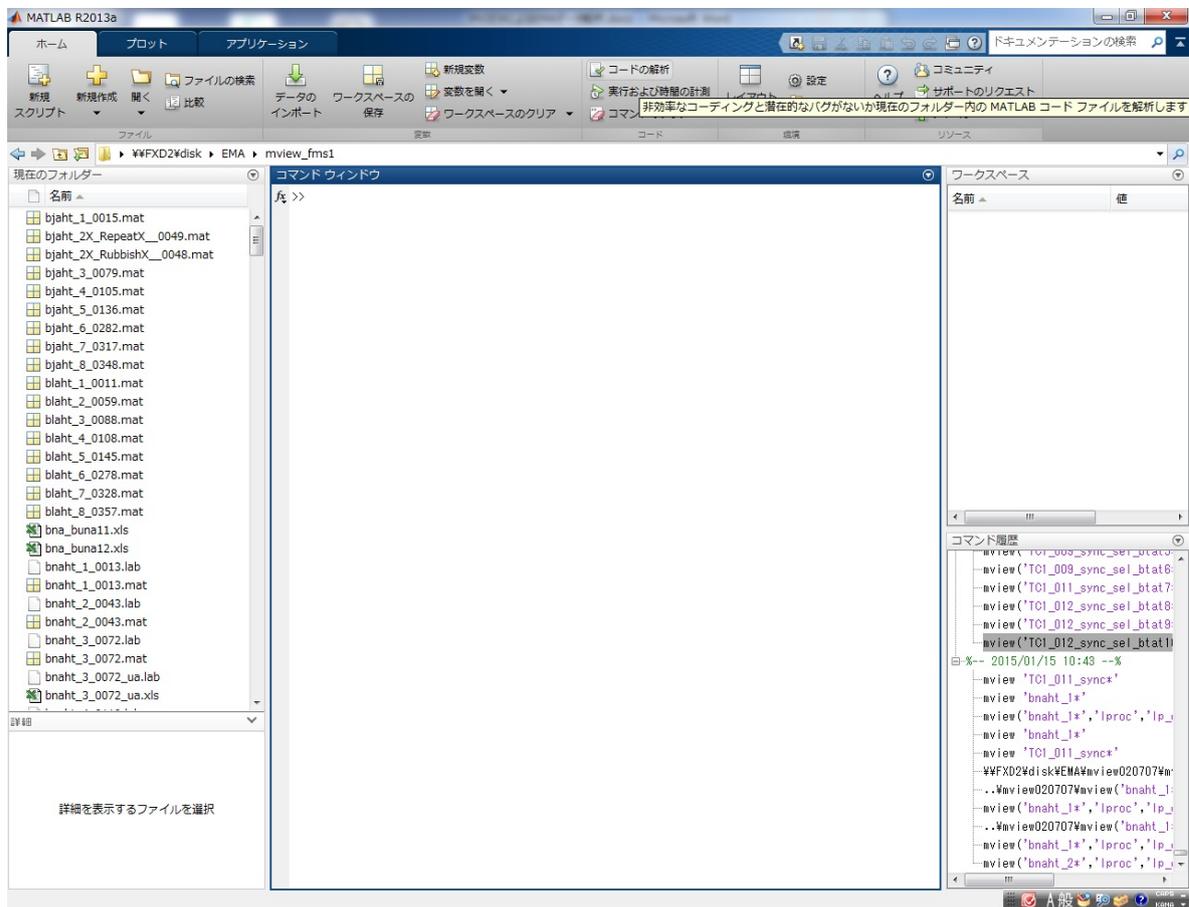
以下に MVIEW を用いての EMA データの解析方法について概説する。

1. MatLab の起動

Matlab を起動すると下図のようなウィンドウが現れる。



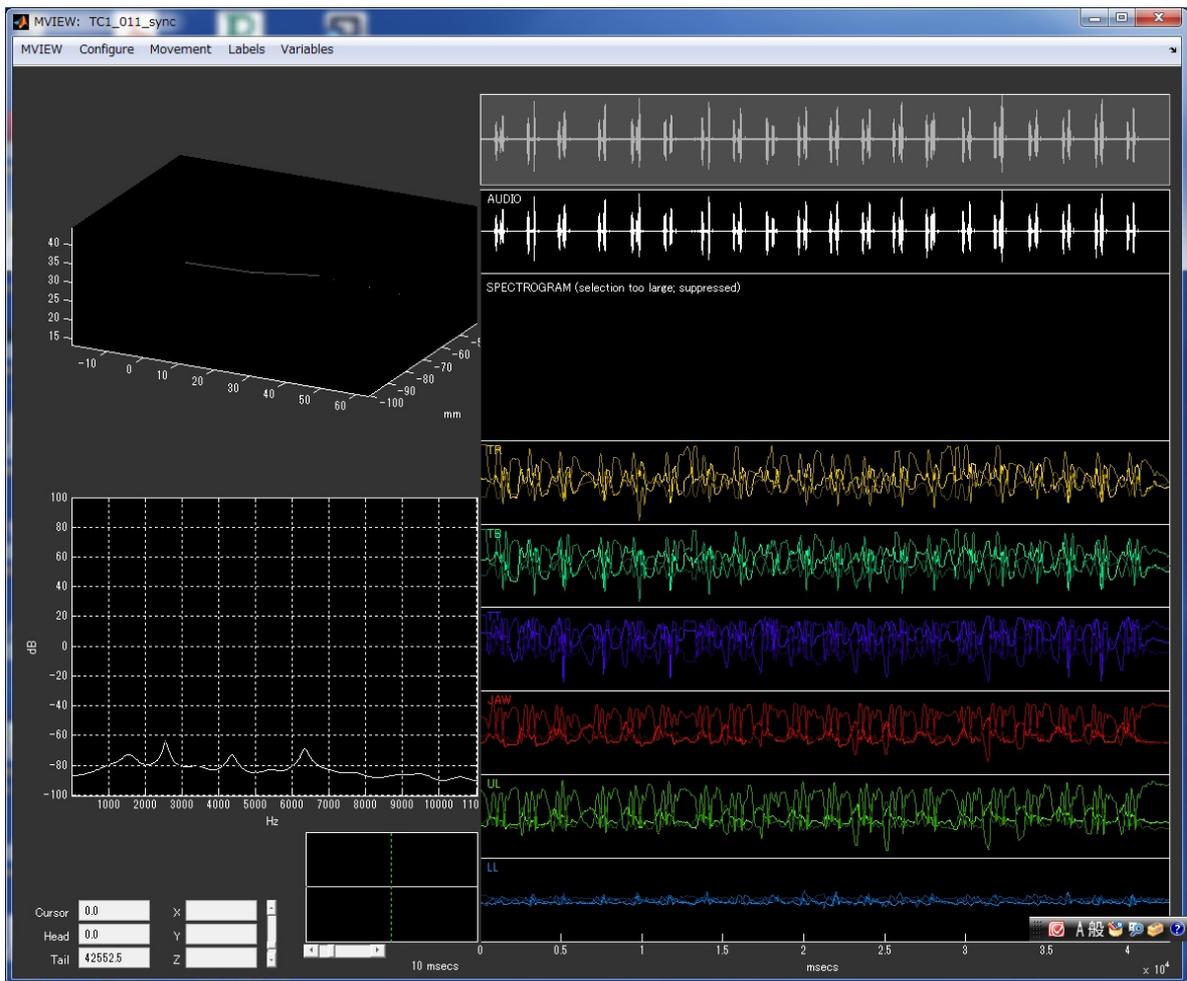
EMA データが存在するフォルダをカレントフォルダに指定する。(下図)



コマンドウィンドウに

> mview 'XXXX' と入力する。(XXXX は EMA データファイル名)

次図のように MVIEW が起動する。(説明を簡単にするため WAVE 用の MVIEW を表示している)



左列、最上部はセンサの3次元運動を表示するウィンドウ（空間表示ウィンドウ）

左列、最下部はカーソルおよび X、Y 座標の数値表示ウィンドウ

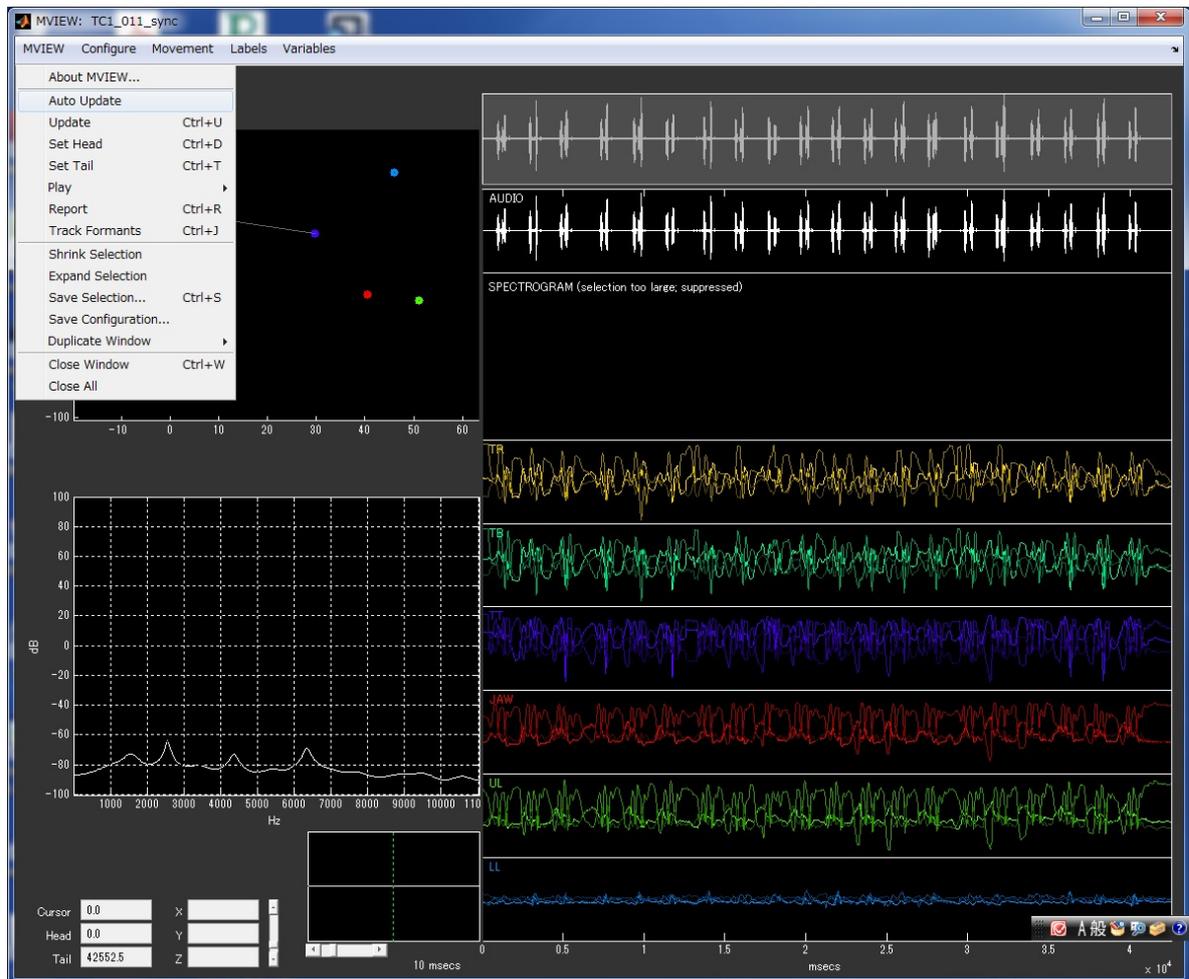
右列は、上から3段目までは音声選択、音声波形表示、スペクトログラムウィンドウである。

4段目以下は、各センサの運動表示で上から、後舌、舌背、舌尖、下切歯、上唇、下唇である。

2. 音声の切り出し

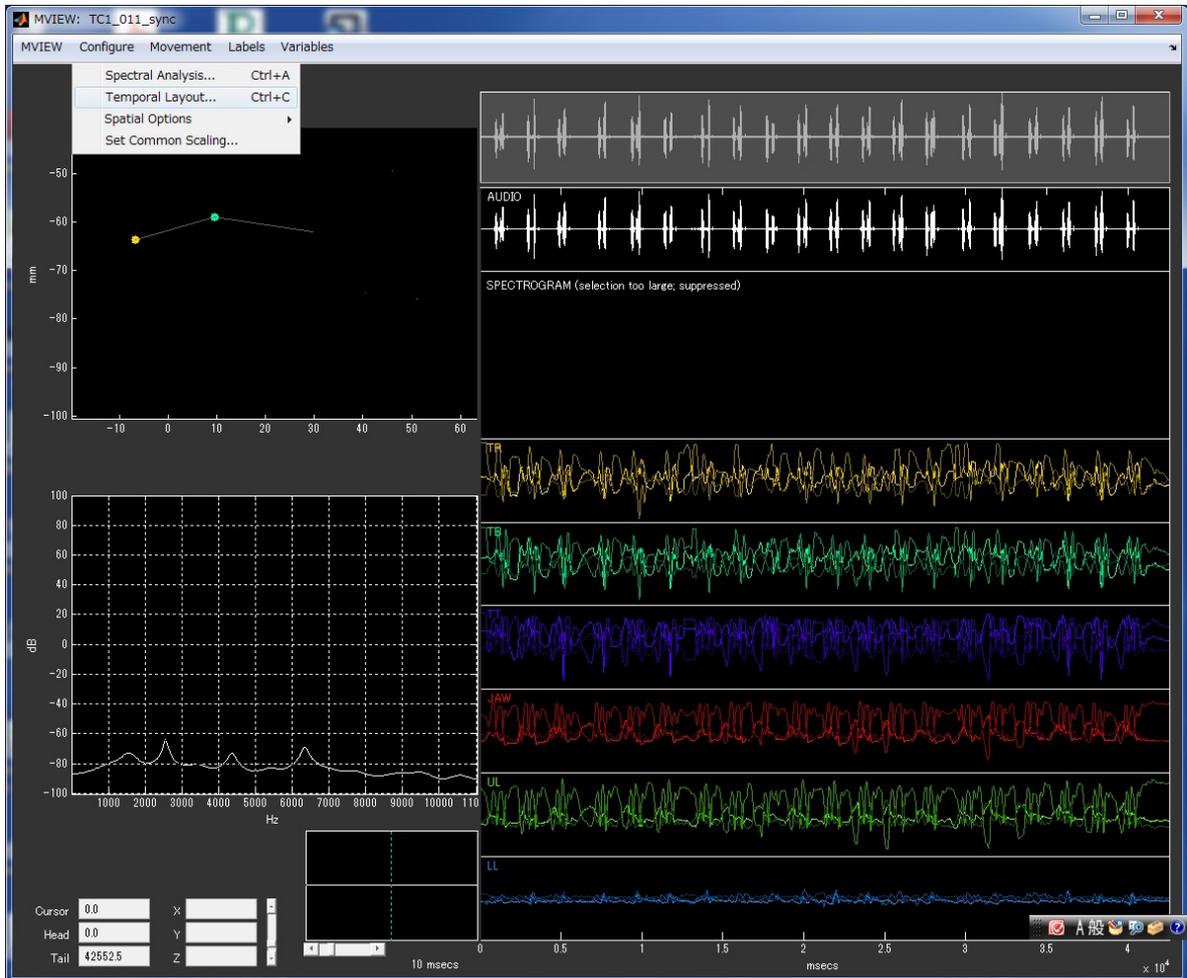
まず、切り出した音声を表示させるために下図のように

MVIEW -> Auto Update を設定する。

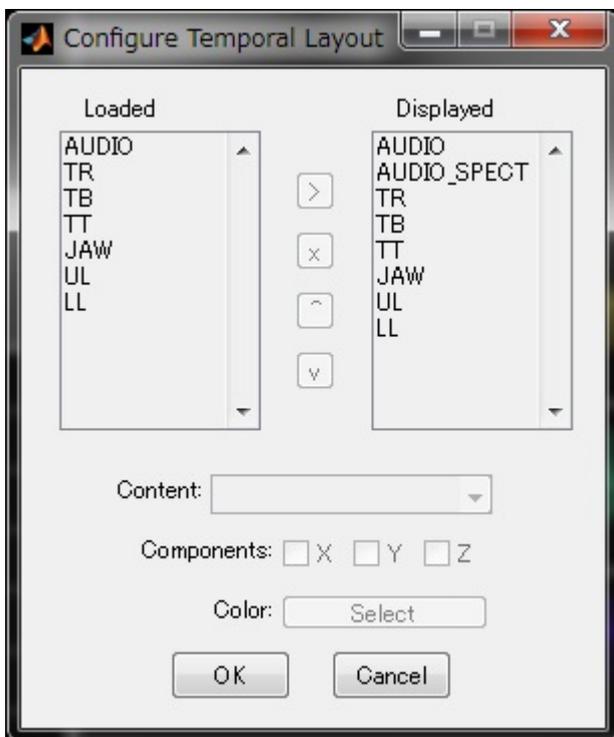


次に右列を舌先のみを表示（後舌、舌背、下切歯、上唇、下唇の表示を消す）にし、X、Y も別ウィンドウで表示する。

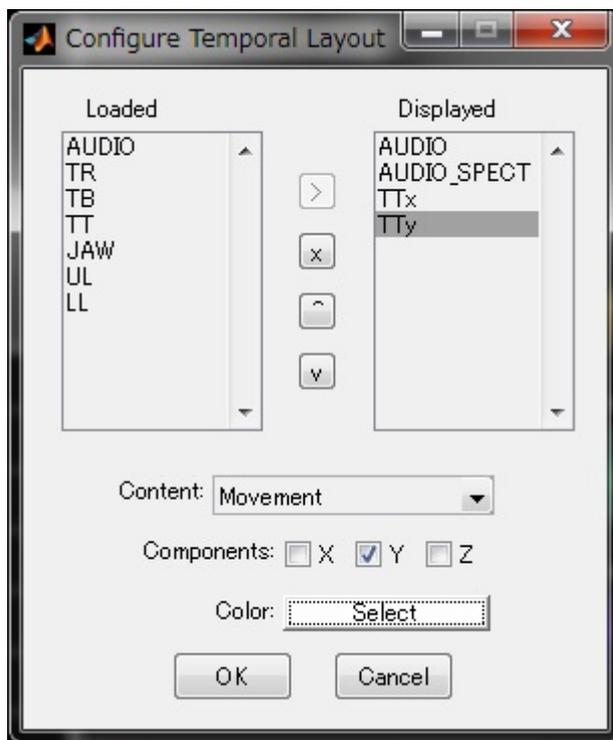
Configure -> temporal Layout



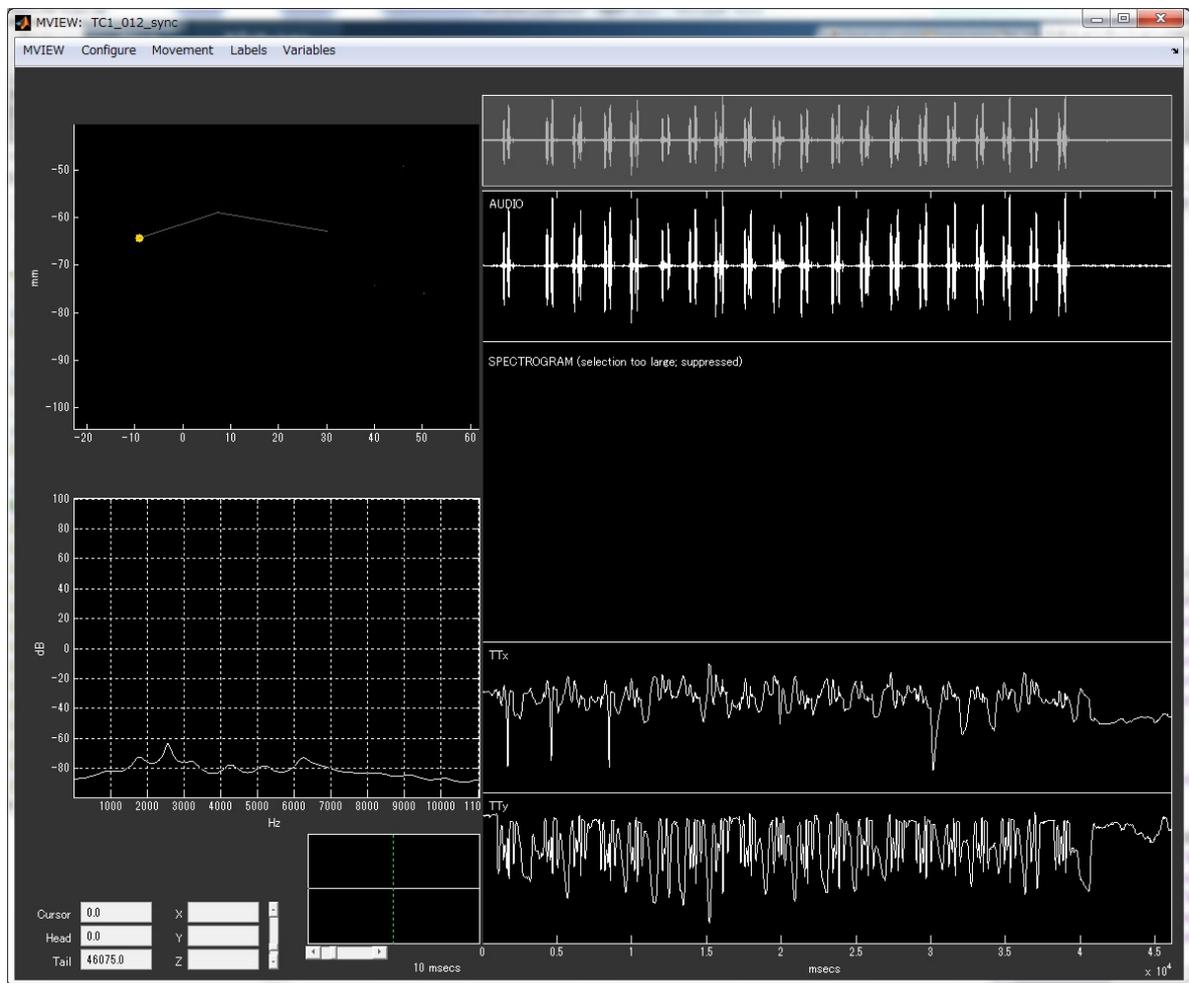
TR (後舌)、TB (舌背)、JAW (下切歯)、UL (上唇)、LL (下唇) を Displayed から削除する。



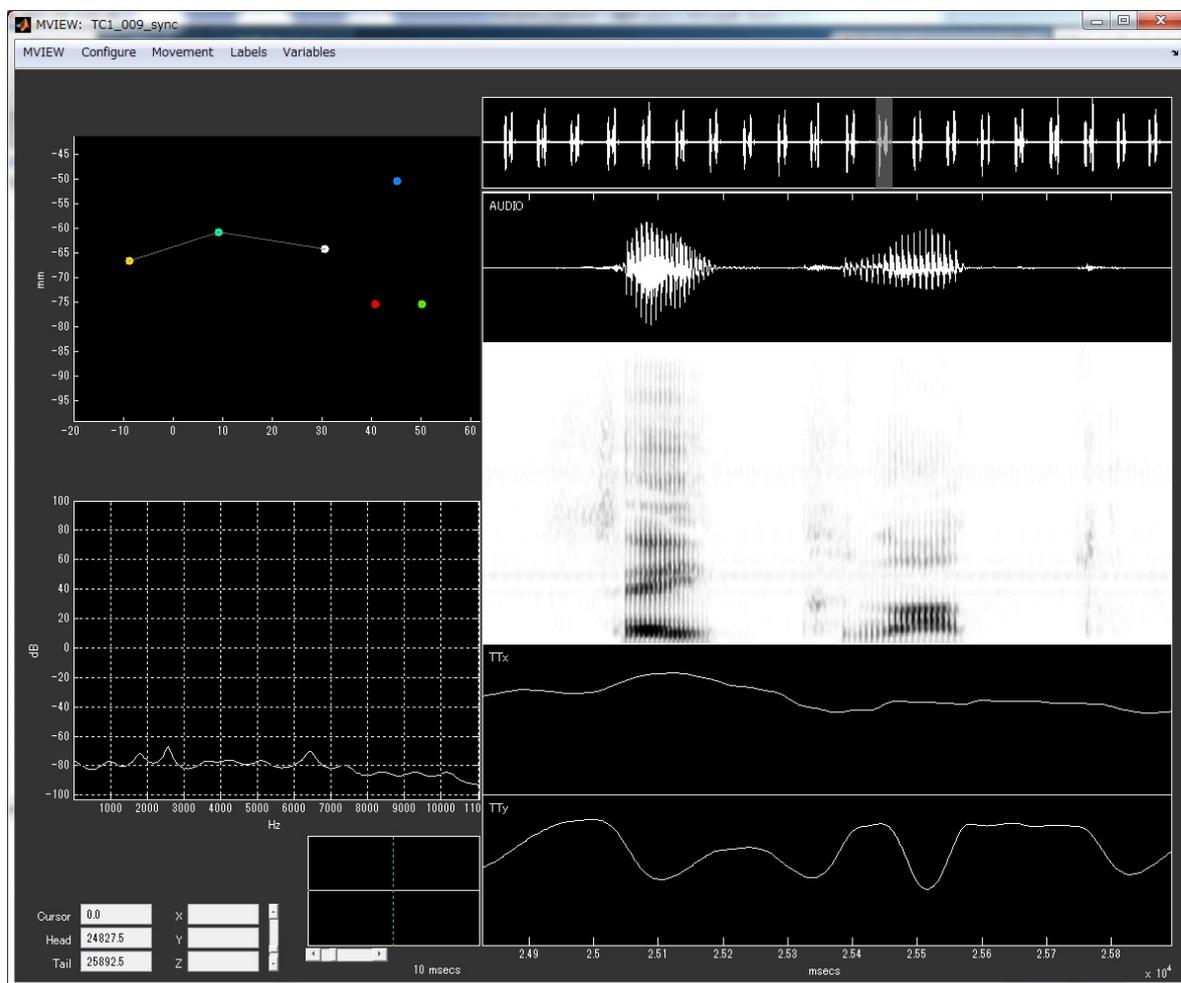
下図のようになる。



下図のようになる。



右列最上部の音声選択ウィンドウで、表示したい音声波形を選択する。



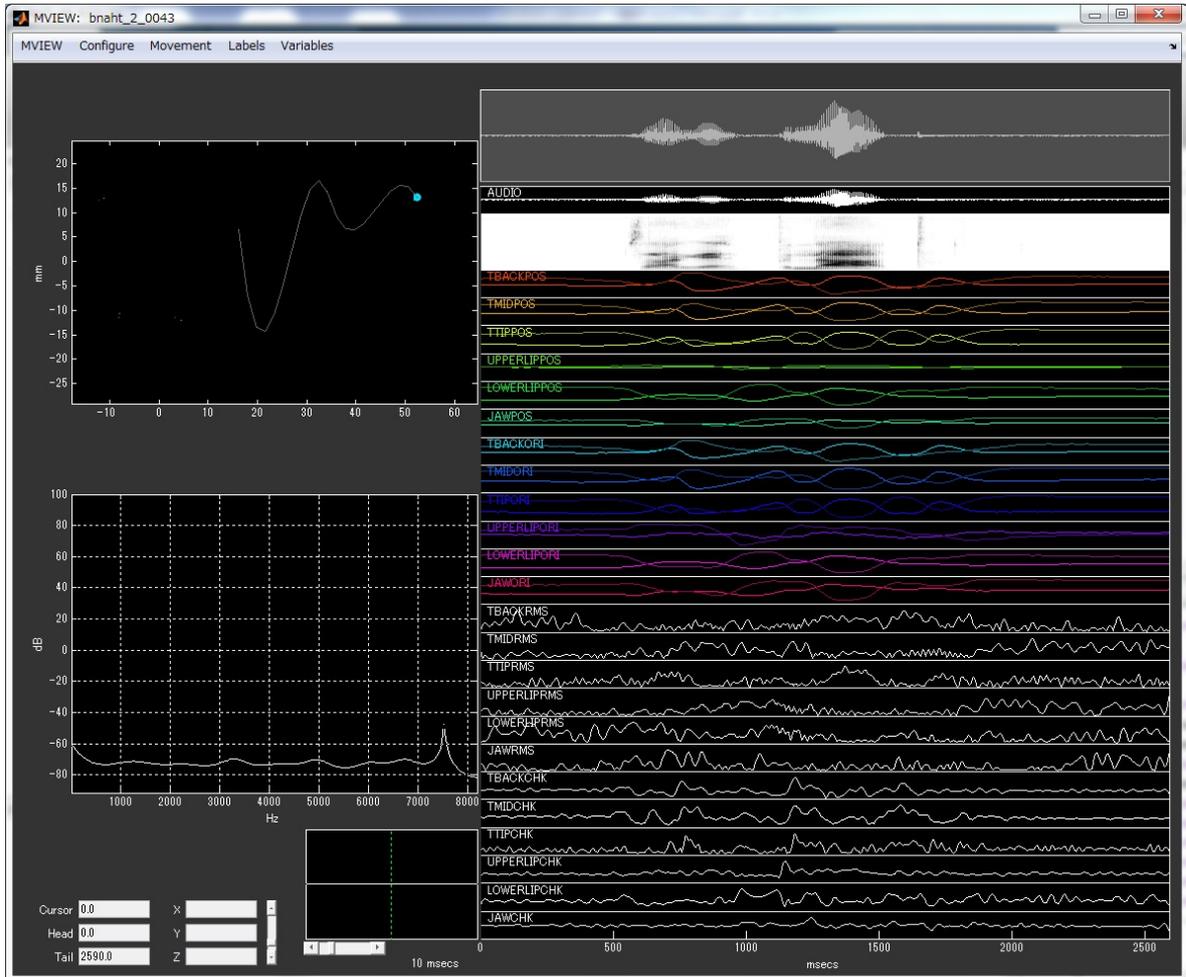
以降、EMA 用 MVIEW での説明に戻る。

3. X、Y の測定

MatLab コマンドウィンドウで

>mview 'YYYY' (YYYY は EMA データファイル名)

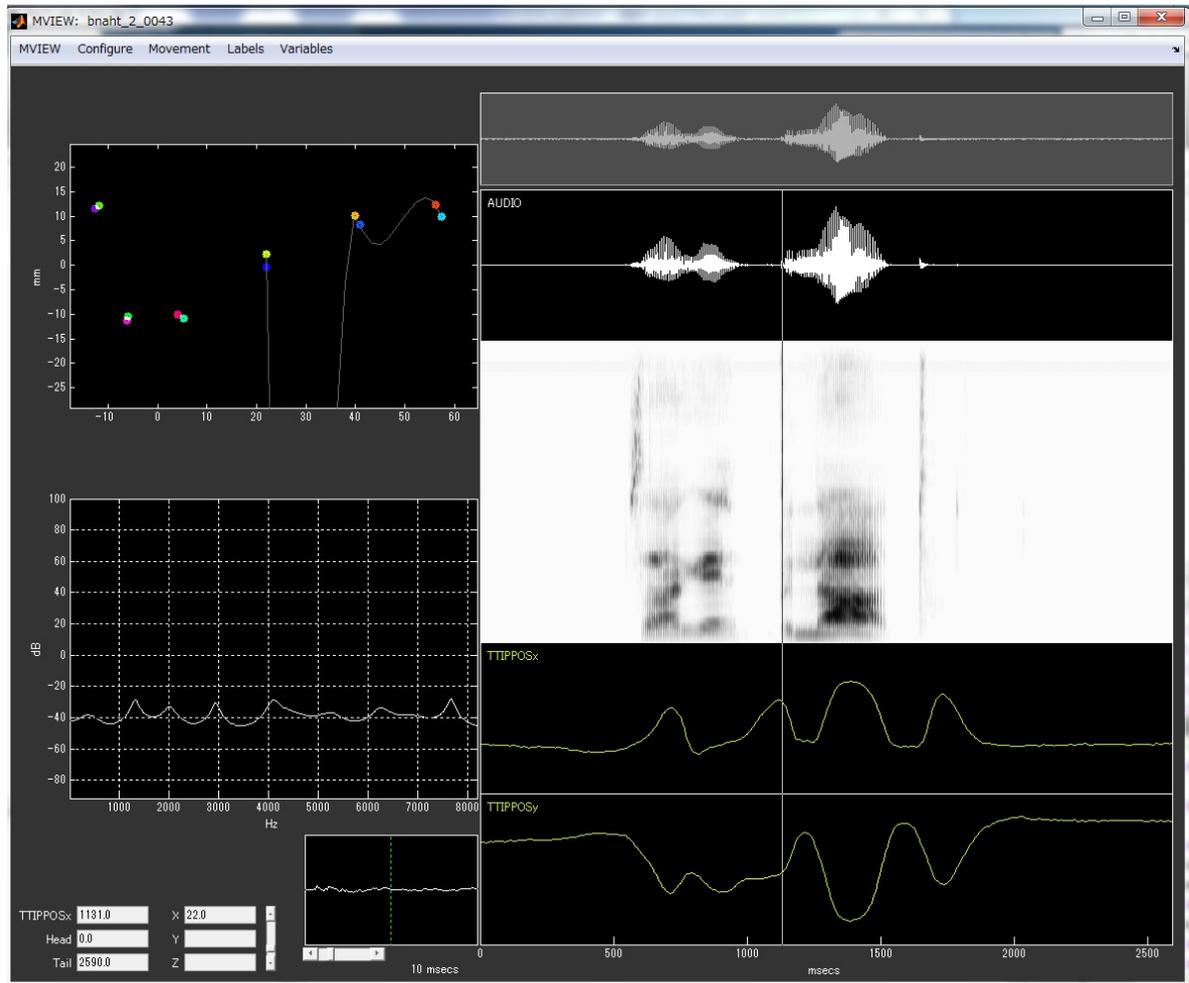
と入力する。



(右列の不必要なウィンドウを非表示にする)

下図は“Sage bnaht.”と発話したものであるが、/b/の視察によりバースト点を決定する。

4段目のX軸方向の運動表示ウィンドウにカーソルを移動するとその箇所のXの値が左列最下部に表示される。この値を読み取る。



同様に、最下段の Y 軸方向の運動表示ウィンドウにカーソルを移動し、Y の値を読み取る。



EMA データ

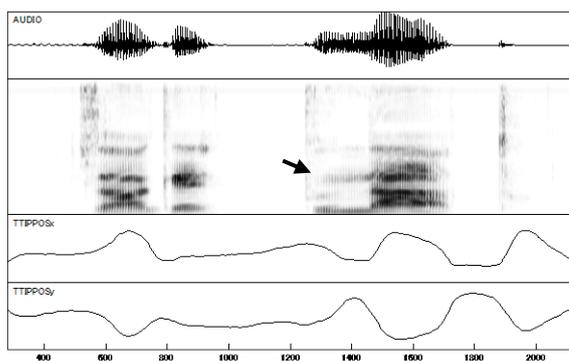
各発話においては、上段から音声波形、スペクトログラム、舌尖の X 変位、Y 変位をそれぞれ表わしている。

Jp1 (bnaht)

日本人被験者 1 の “Sage bnaht.”

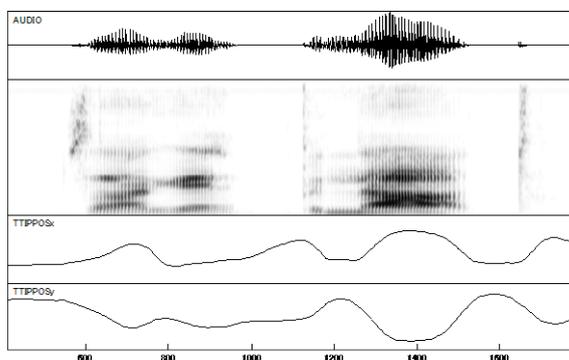
図は上から順に 1 ～ 8 回の発話である。

1 回目発話

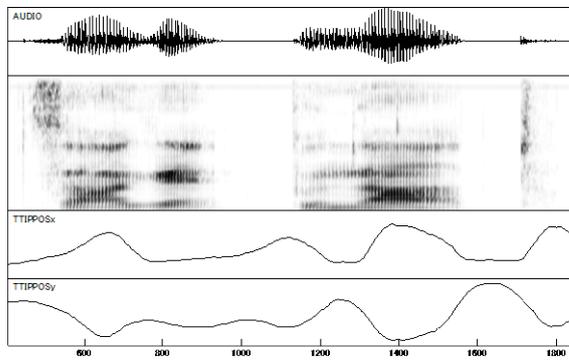


/b/と/n/の間に母音（矢印）が添加されている。

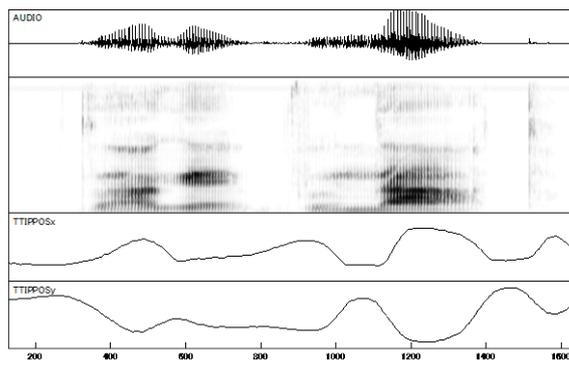
2 回目発話



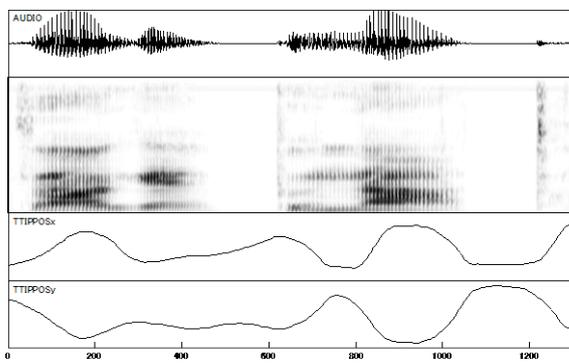
3回目発話



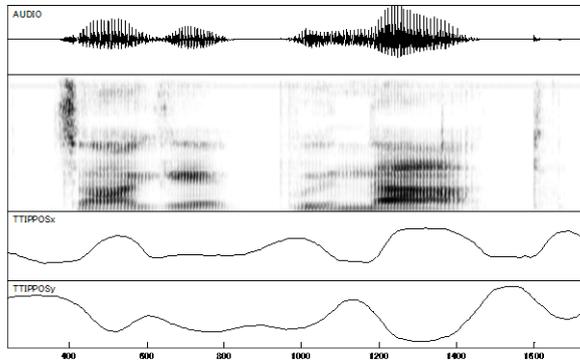
4回目発話



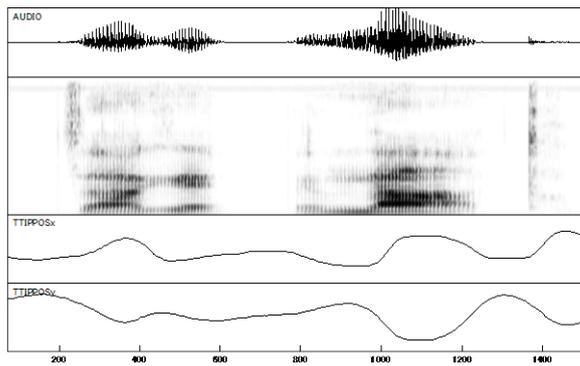
5回目発話



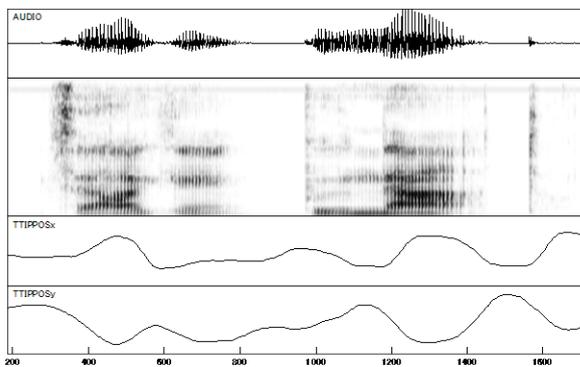
6 回目発話



7 回目発話



8 回目発話

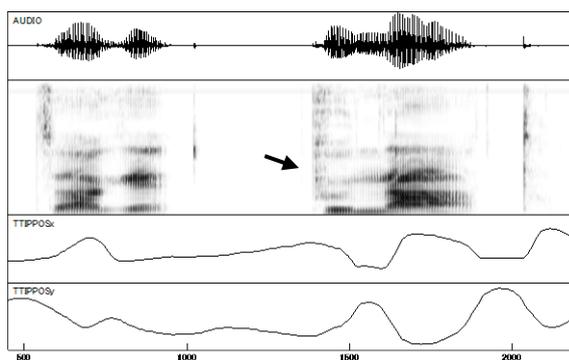


Jp1 (pnaht)

日本人被験者1の“Sage pnaht.”

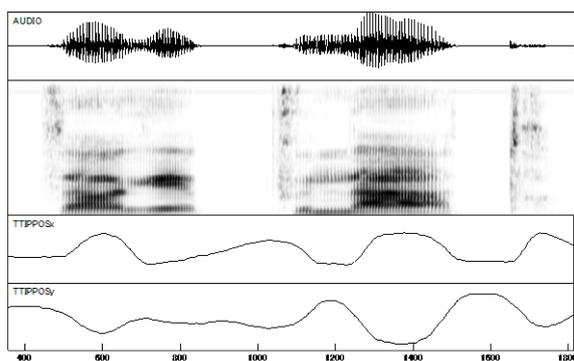
各図中の表示は“bnaht”に同じ

1回目発話

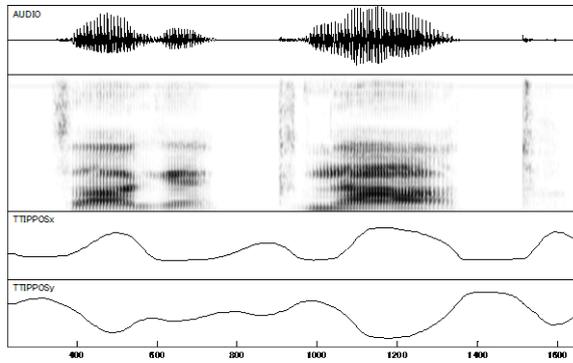


/p/と/n/の間に母音（矢印）が添加されている。

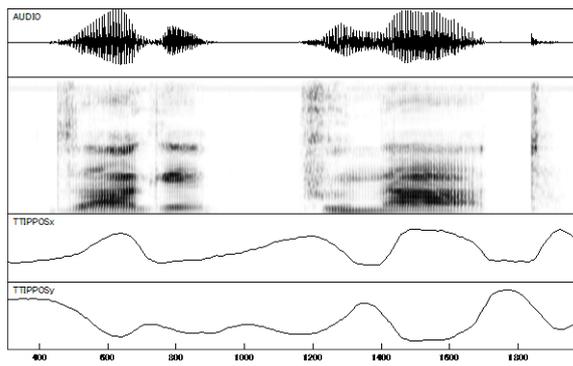
2回目発話



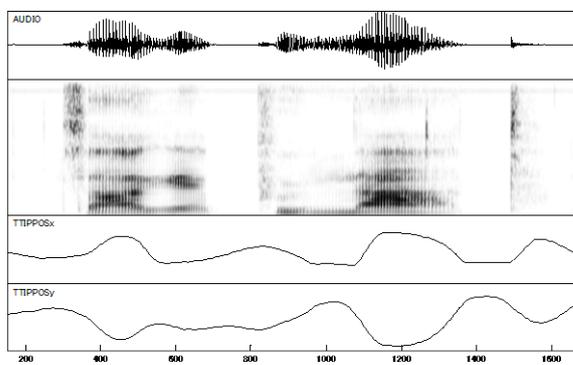
3回目発話



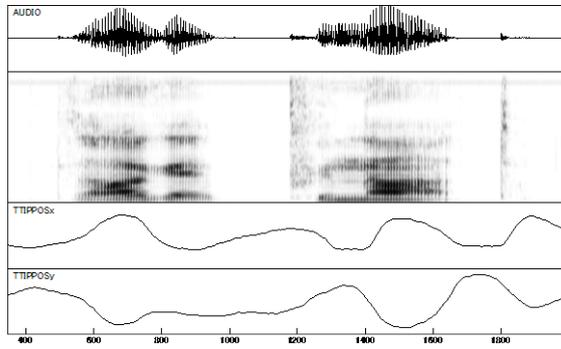
4回目発話



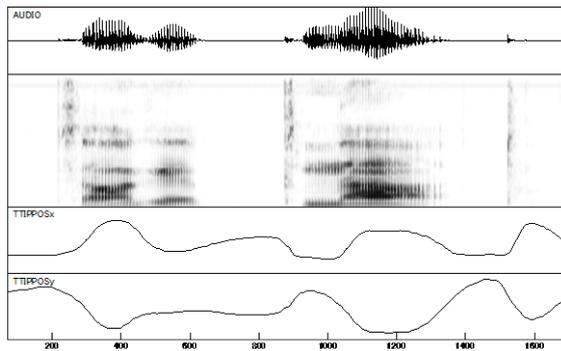
5回目発話



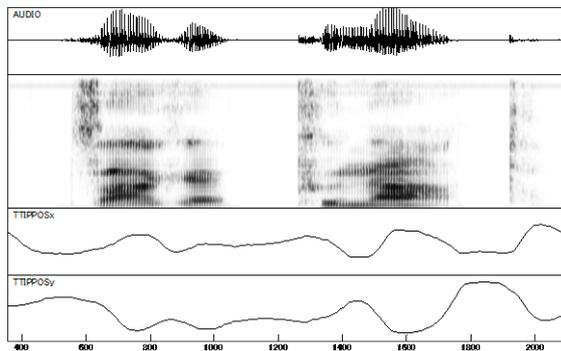
6回目発話



7回目発話



8回目発話

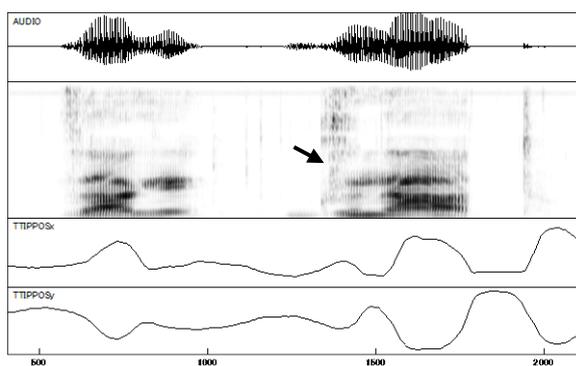


Jp1 (gnaht)

日本人被験者1の“Sage gnaht.”

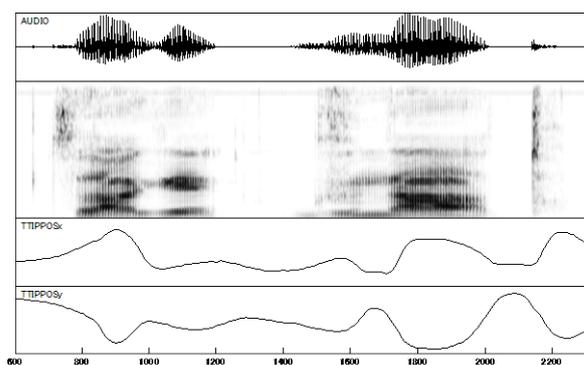
各図中の表示は“bnaht”に同じ

1回目発話

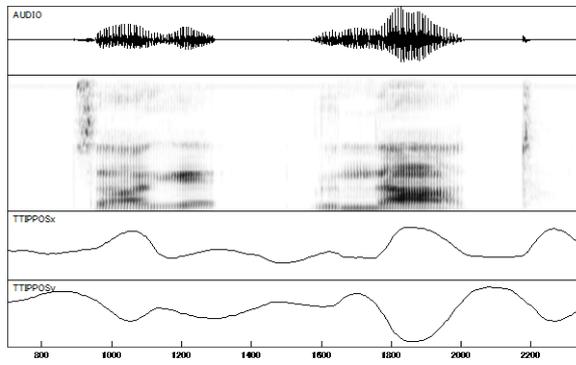


/g/と/n/の間に母音（矢印）が添加されている。

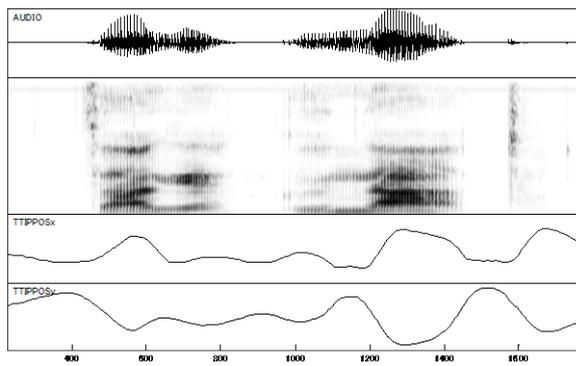
2回目発話



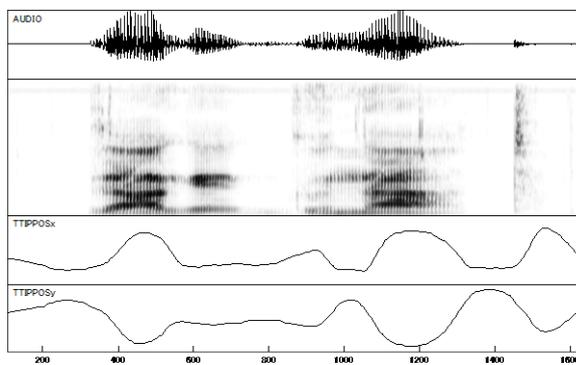
3回目発話



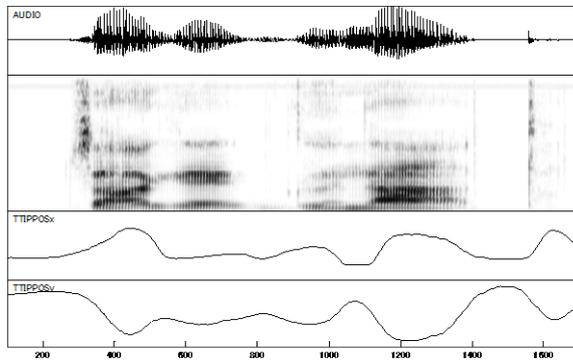
4回目発話



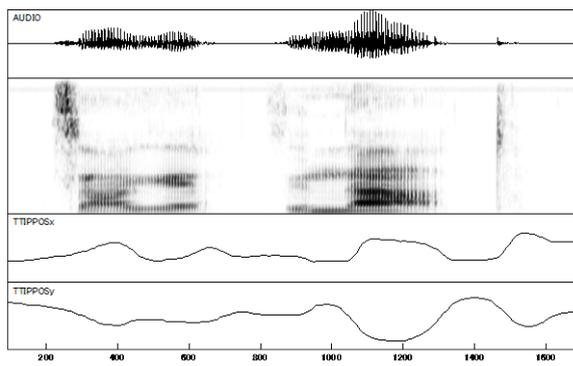
5回目発話



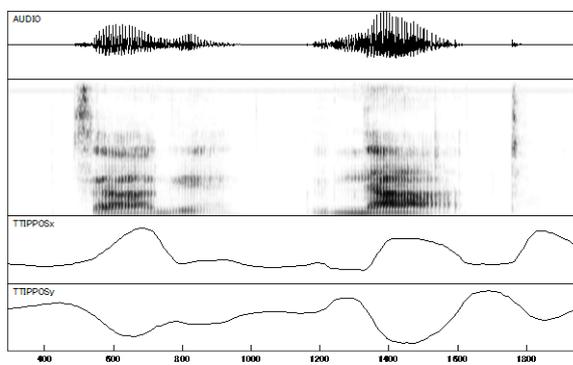
6 回目発話



7 回目発話



8 回目発話

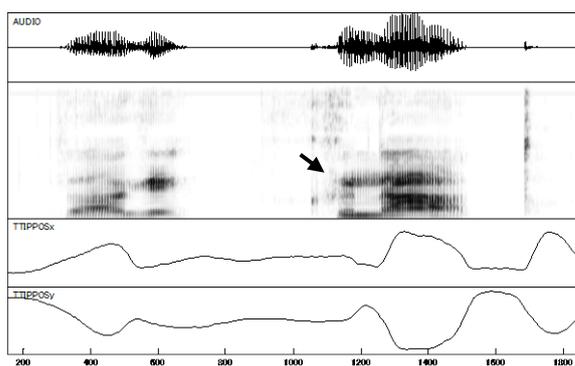


Jp1 (knaht)

日本人被験者1の“Sage knaht.”

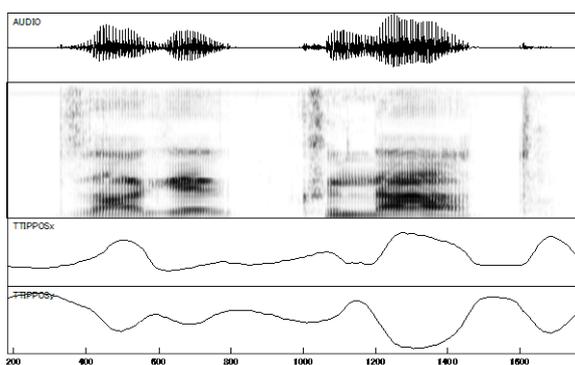
各図中の表示は“bnaht”に同じ

1回目発話

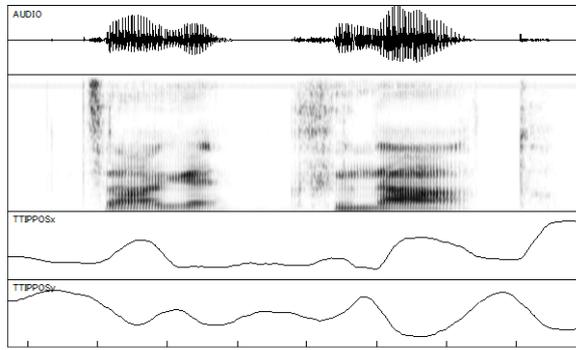


/k/と/n/の間に母音（矢印）が添加されている。

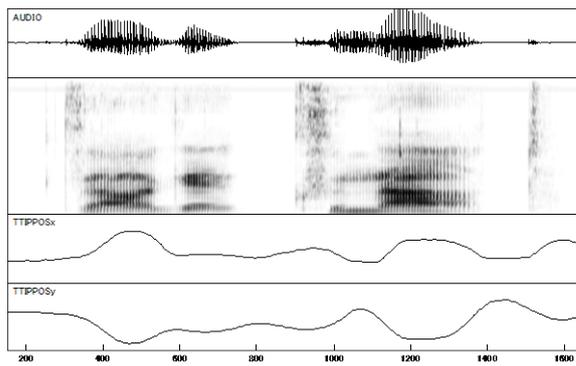
2回目発話



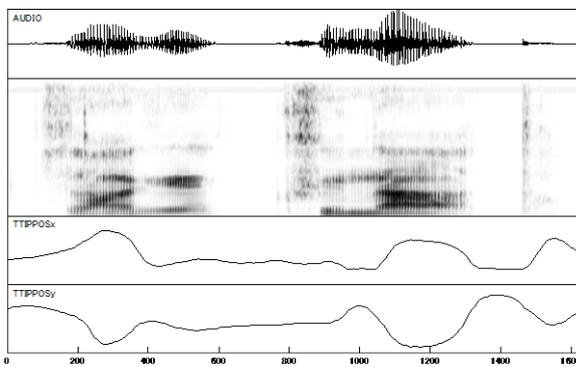
3回目発話



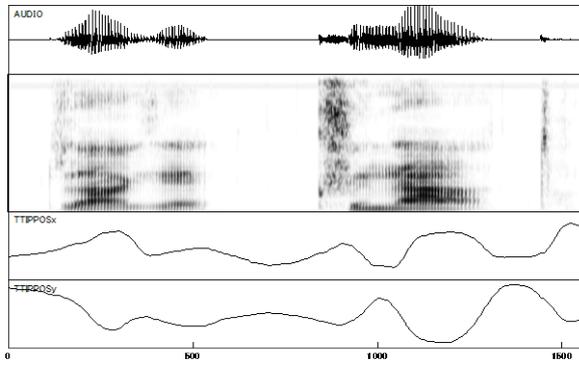
4回目発話



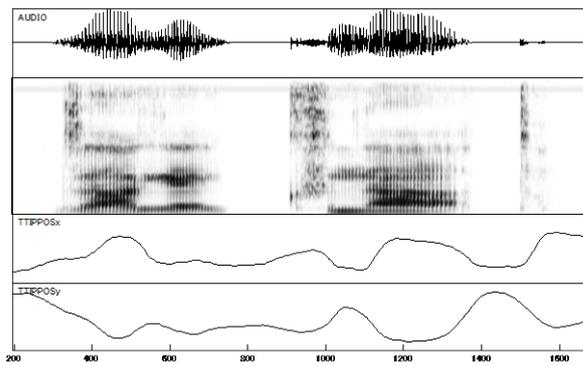
5回目発話



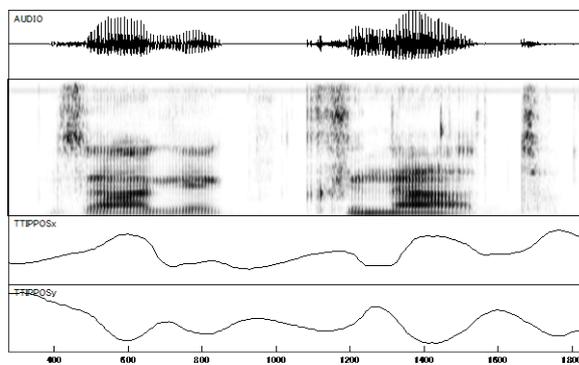
6 回目発話



7 回目発話



8 回目発話



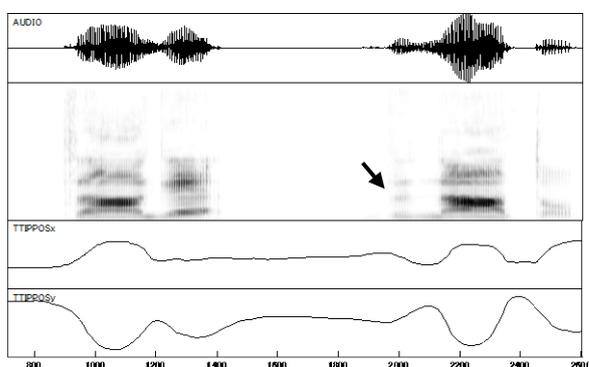
Jp2 (bnaht)

日本人被験者2の“Sage bnaht.”

図は上から順に1～8回の発話である。

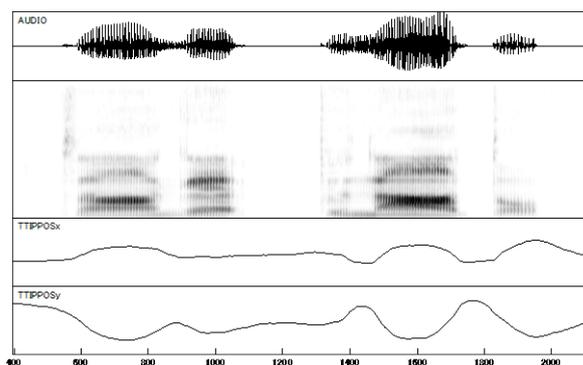
各発話においては、上段から音声波形、スペクトログラム、舌尖のX変位、Y変位をそれぞれ表わしている。

1回目発話

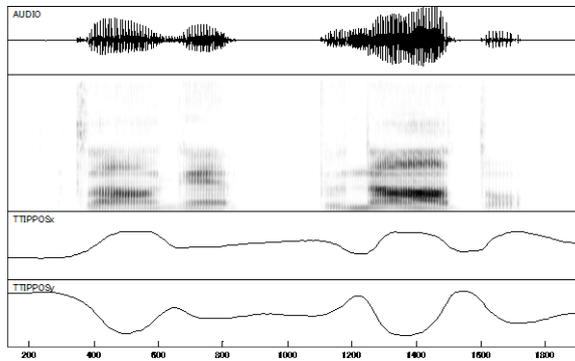


/b/と/n/の間に母音（矢印）が添加されている。

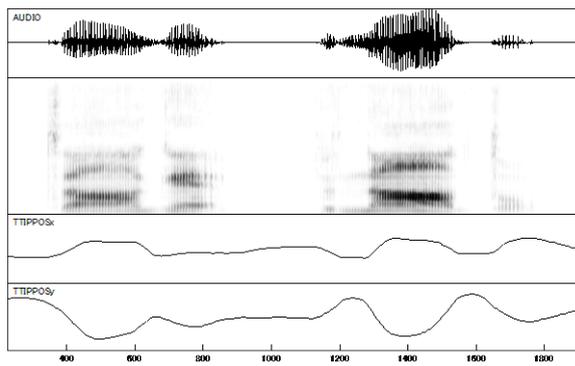
2回目発話



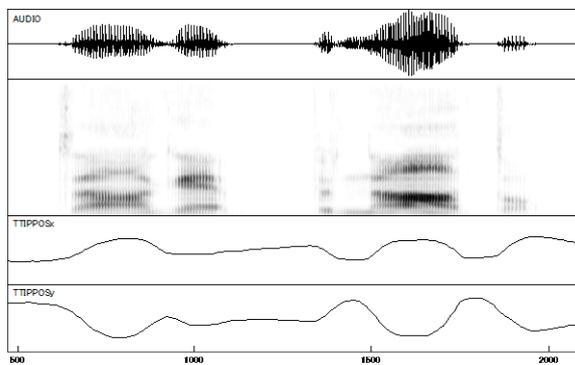
3回目発話



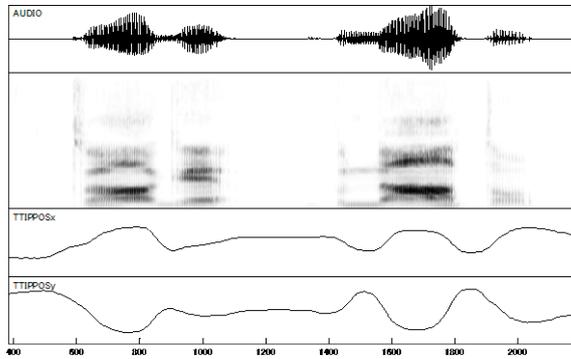
4回目発話



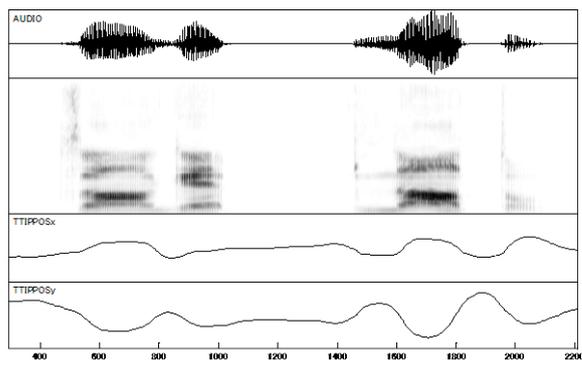
5回目発話



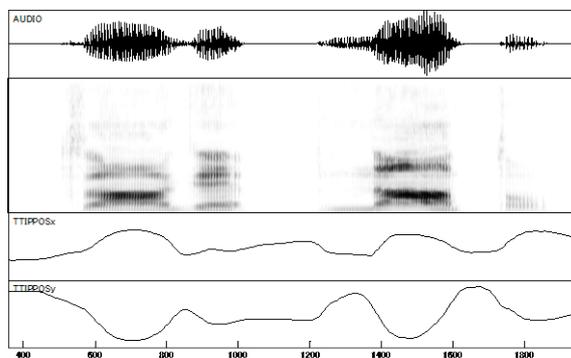
6 回目発話



7 回目発話



8 回目発話

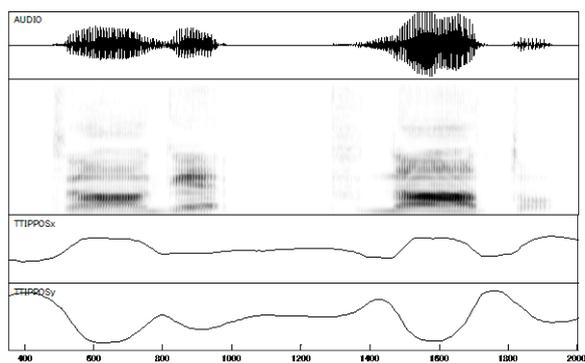


Jp2 (pnaht)

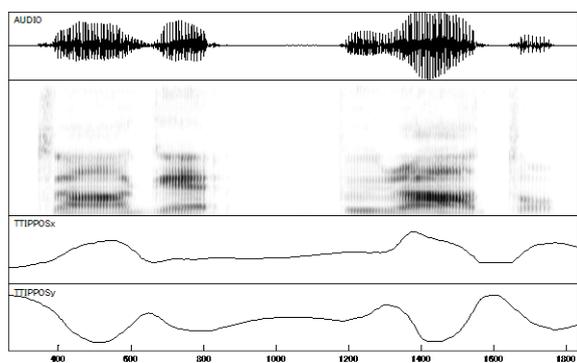
日本人被験者2の“Sage pnaht.”

各図中の表示は“bnaht”に同じ

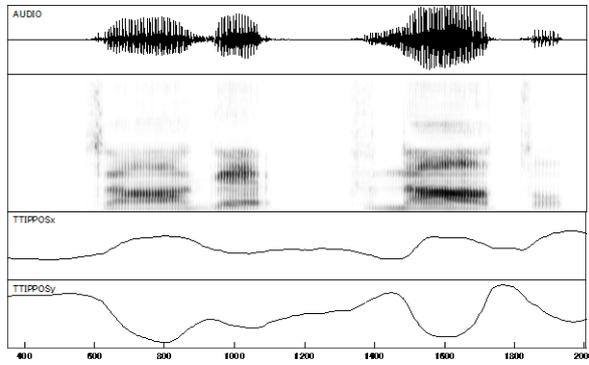
1回目発話



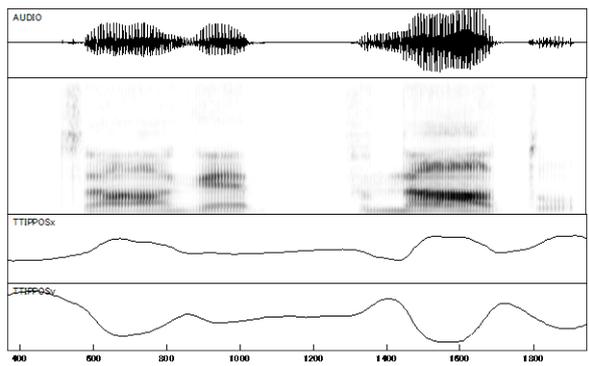
2回目発話



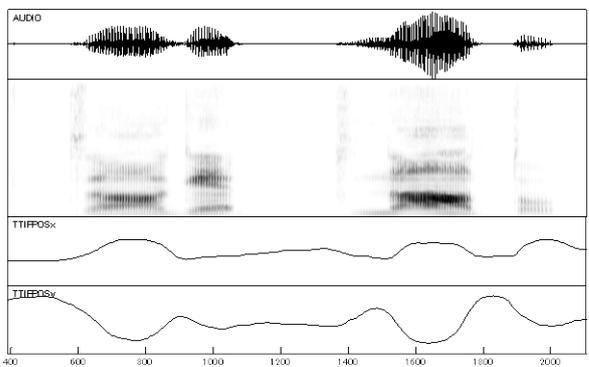
3回目発話



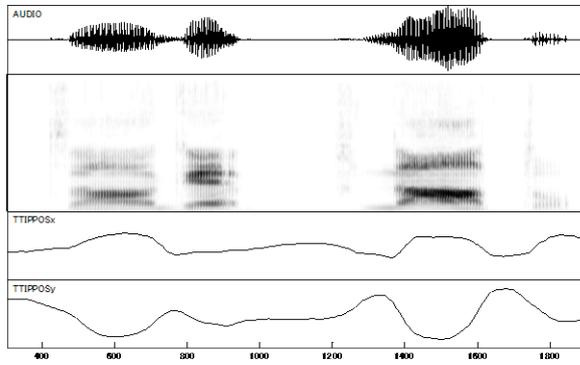
4回目発話



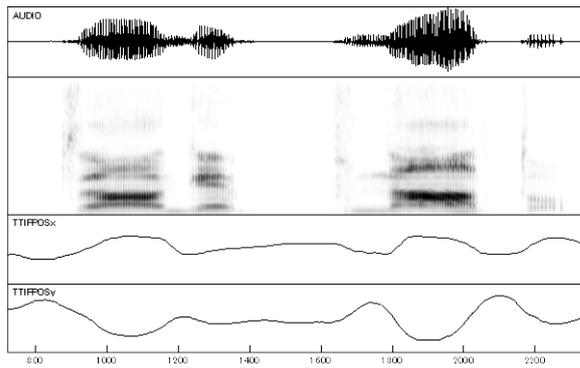
5回目発話



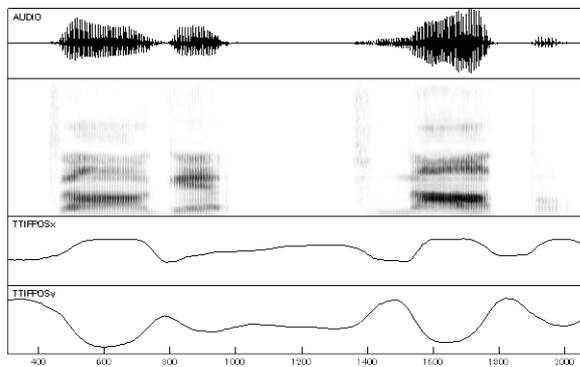
6 回目発話



7 回目発話



8 回目発話

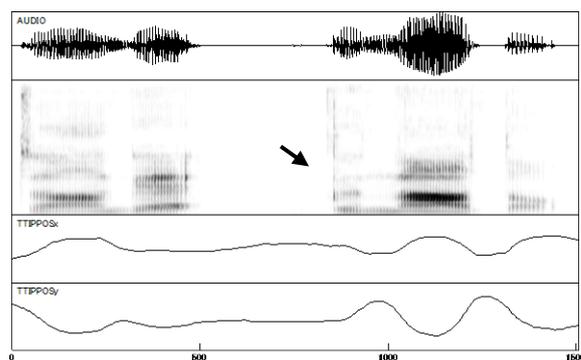


Jp2 (gnaht)

日本人被験者2の“Sage gnaht.”

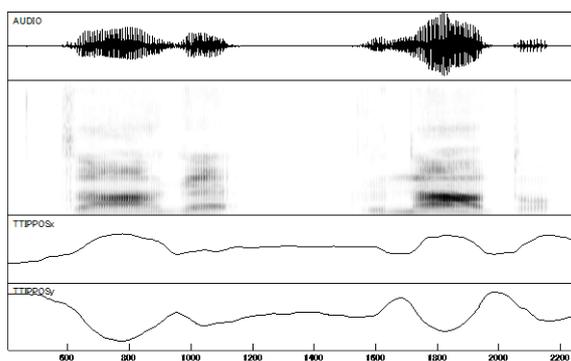
各図中の表示は“bnaht”と同じ

1回目発話

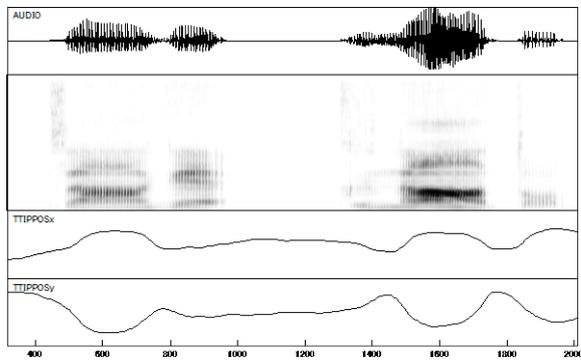


/g/と/n/の間に母音（矢印）が添加されている。

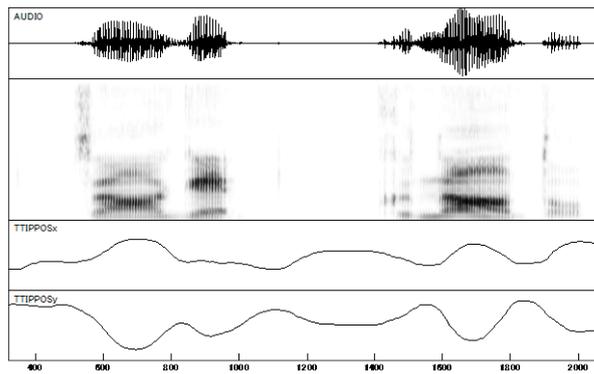
2回目発話



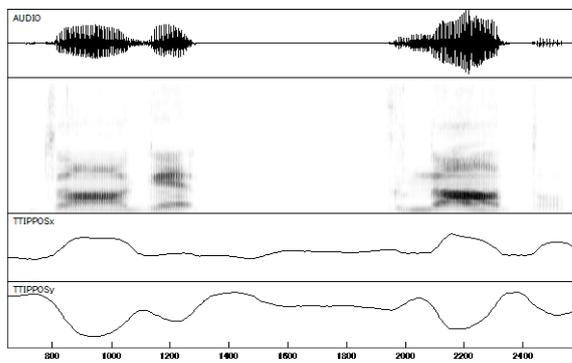
3回目発話



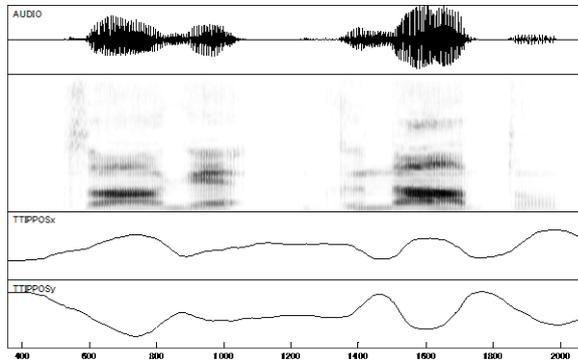
4回目発話



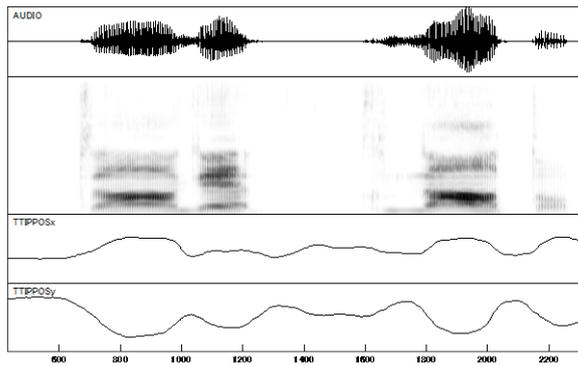
5回目発話



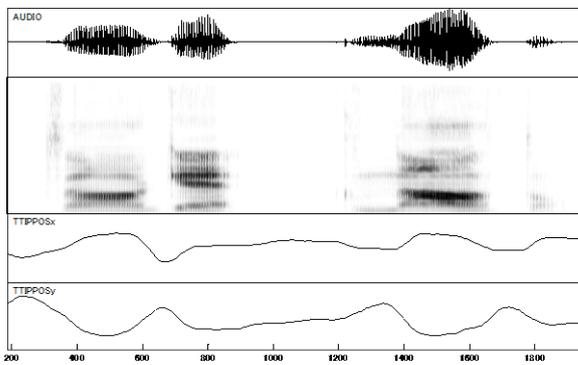
6 回目発話



7 回目発話



8 回目発話

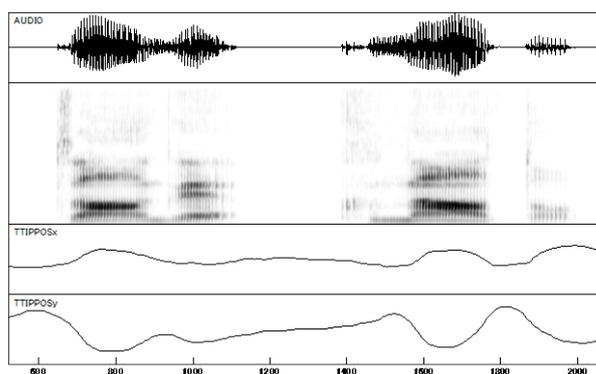


Jp2 (knaht)

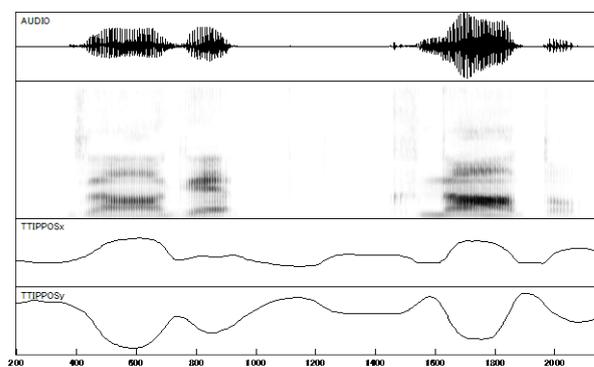
日本人被験者1の“Sage knaht.”

各図中の表示は“bnaht”に同じ

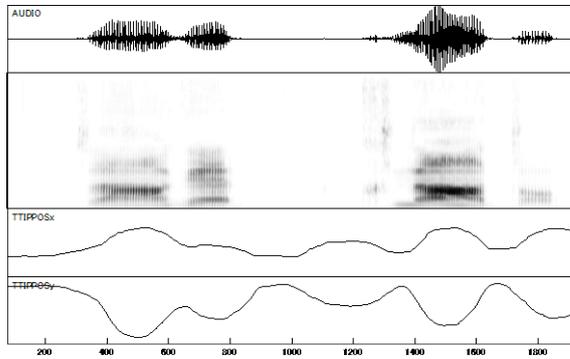
1回目発話



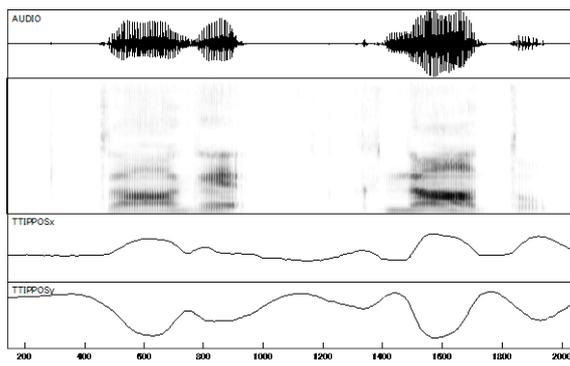
2回目発話



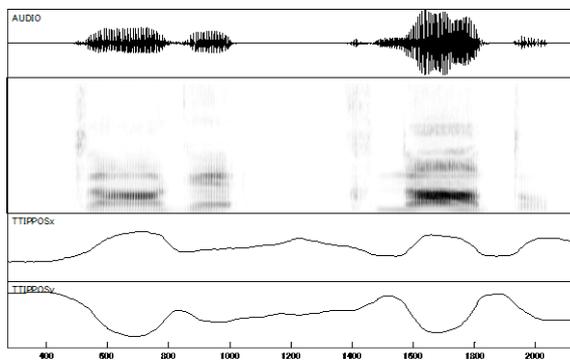
3回目発話



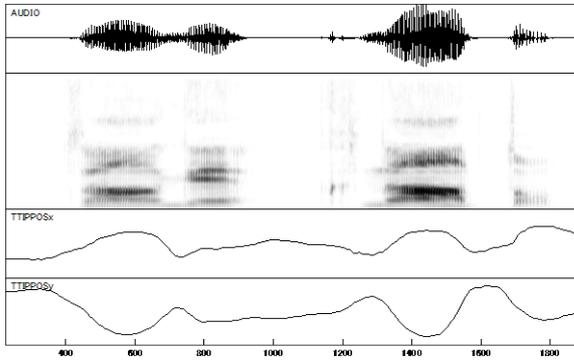
4回目発話



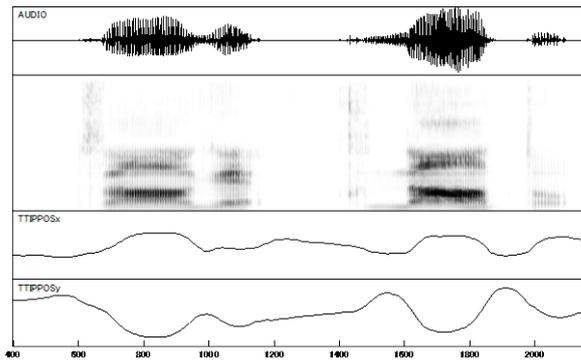
5回目発話



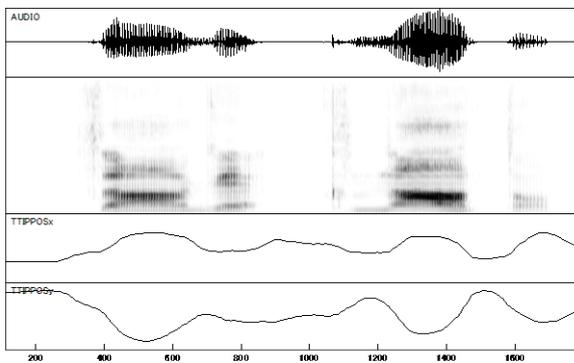
6回目発話



7回目発話



8回目発話



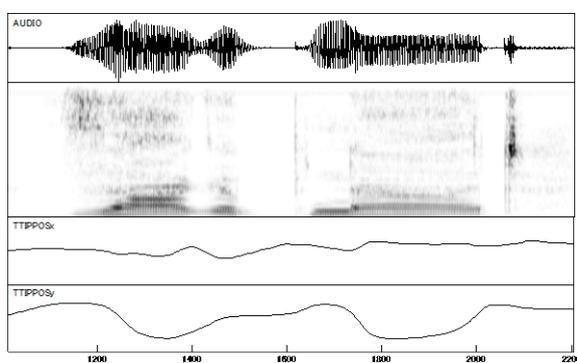
Ge1 (bnaht)

ドイツ人被験者1の“Sage bnaht.”

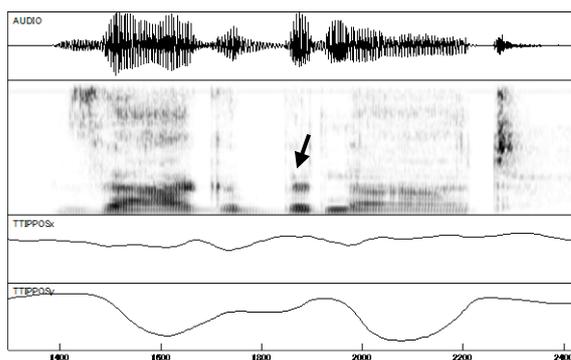
図は上から順に1～8回の発話である。

各発話においては、上段から音声波形、スペクトログラム、舌尖のX変位、Y変位をそれぞれ表わしている。

1回目発話

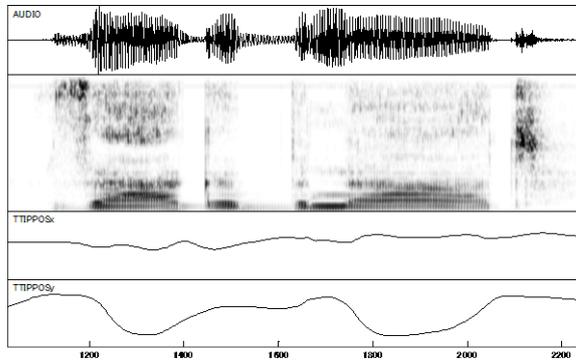


2回目発話

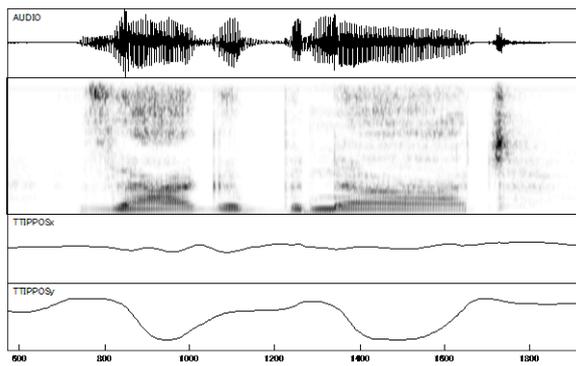


この発話では、/b/と/n/の間に母音(矢印)が添加されているのがスペクトログラムからわかる。

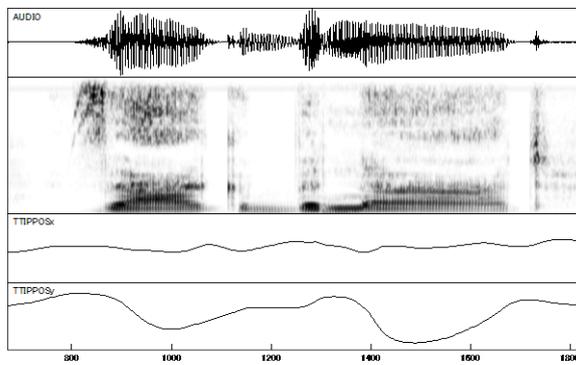
3回目発話



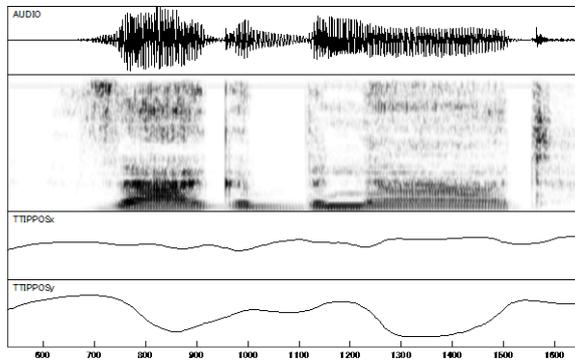
4回目発話



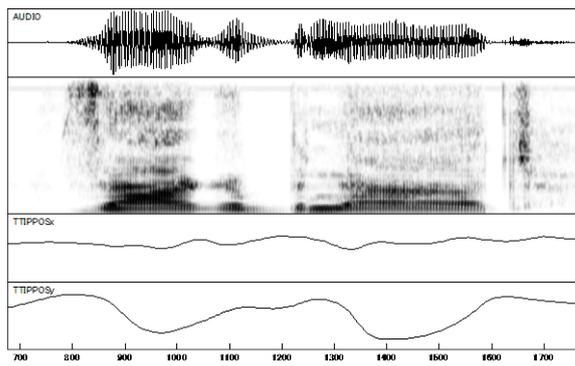
5回目発話



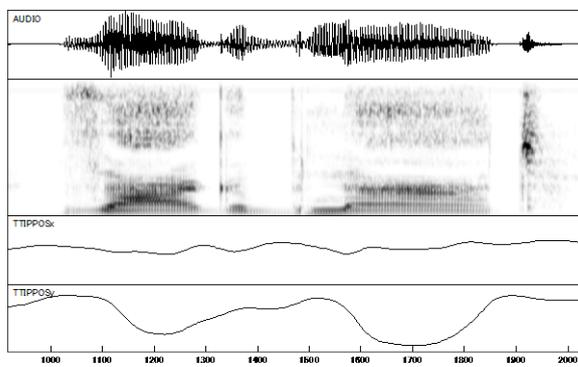
6回目発話



7回目発話



8回目発話

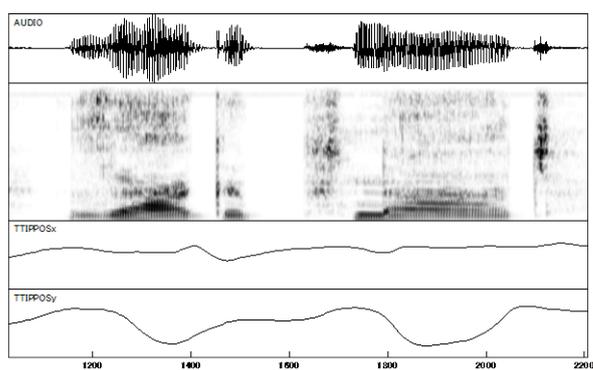


Ge1 (pnaht)

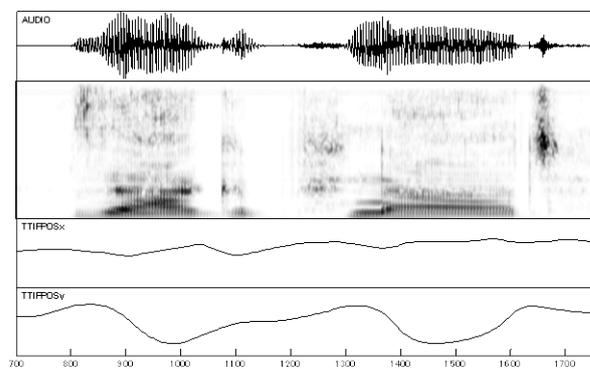
ドイツ人被験者1の“Sage pnaht.”

各図中の表示は“bnaht”と同じ

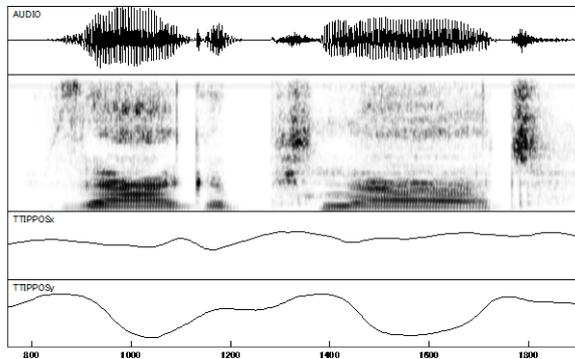
1回目発話



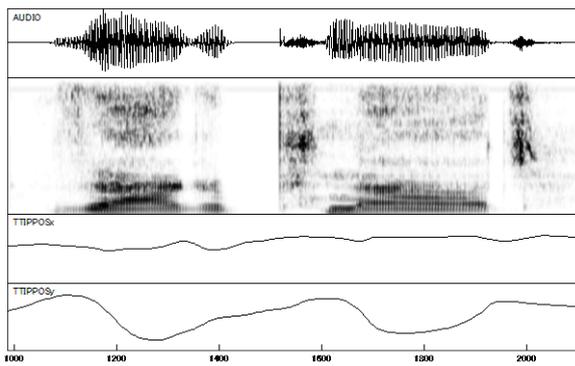
2回目発話



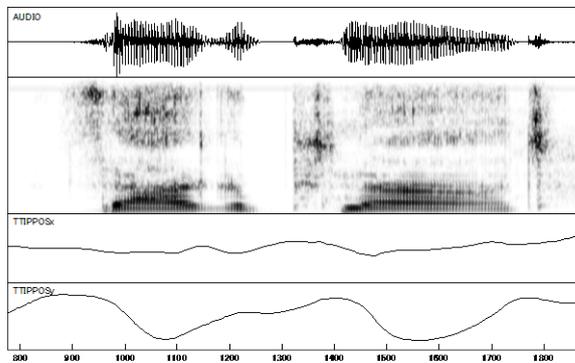
3回目発話



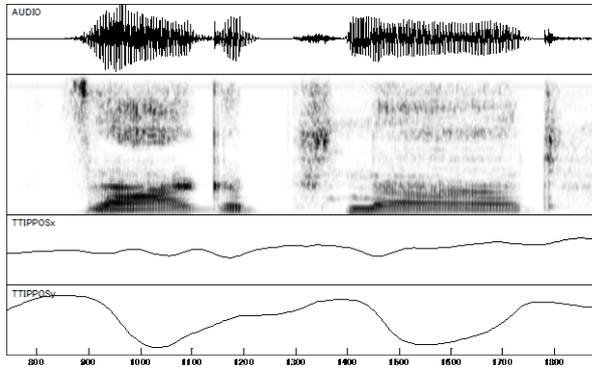
4回目発話



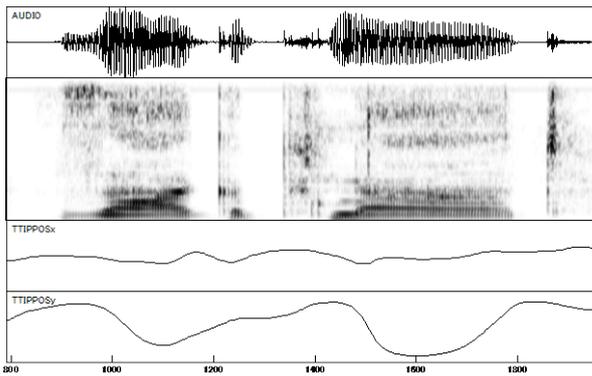
5回目発話



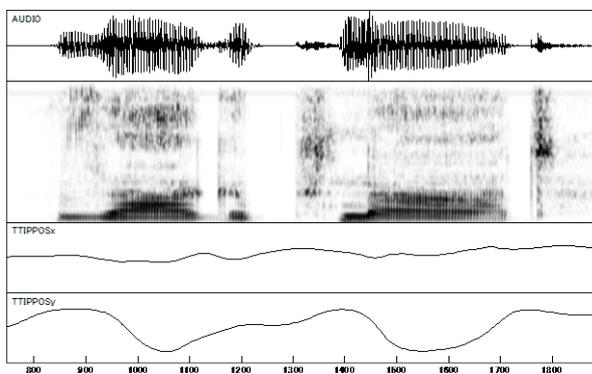
6 回目発話



7 回目発話



8 回目発話

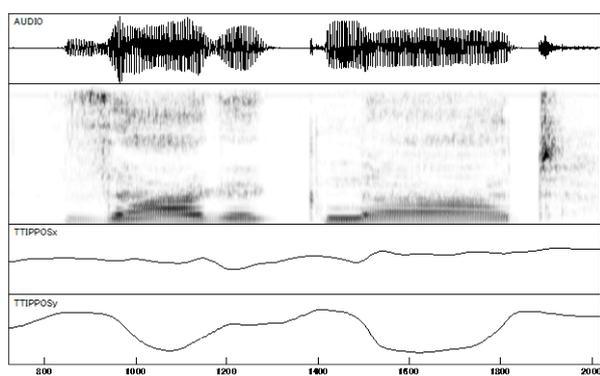


Ge1 (gnaht)

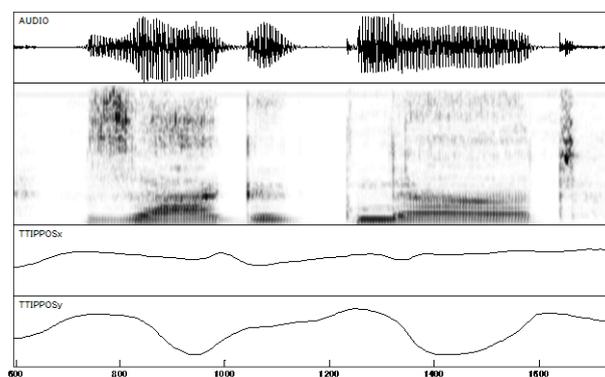
ドイツ人被験者1の“Sage gnaht.”

各図中の表示は“bnaht”と同じ

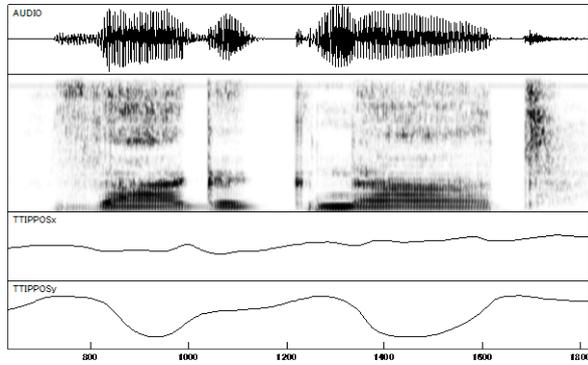
1回目発話



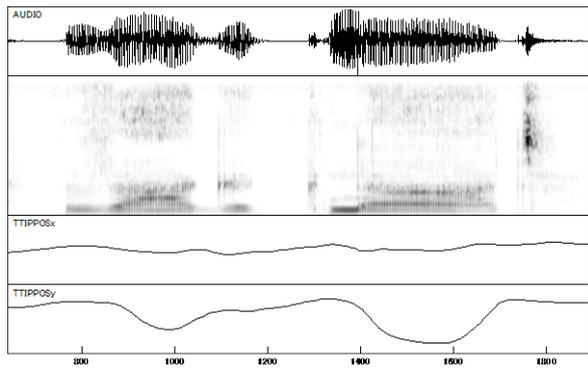
2回目発話



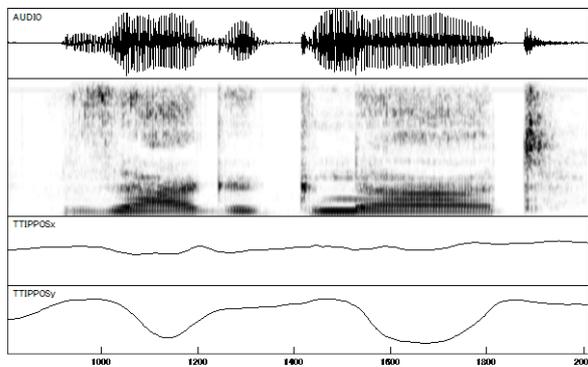
3回目発話



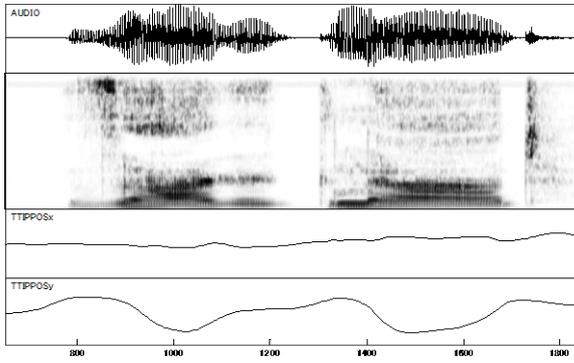
4回目発話



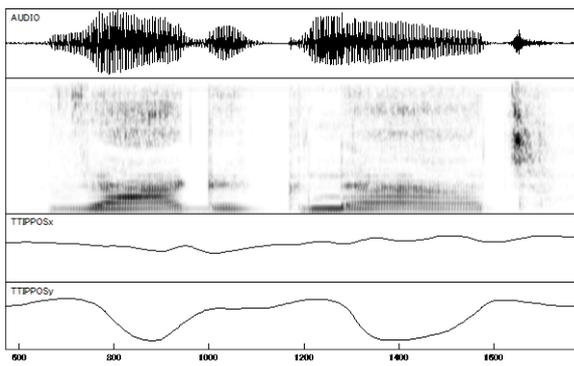
5回目発話



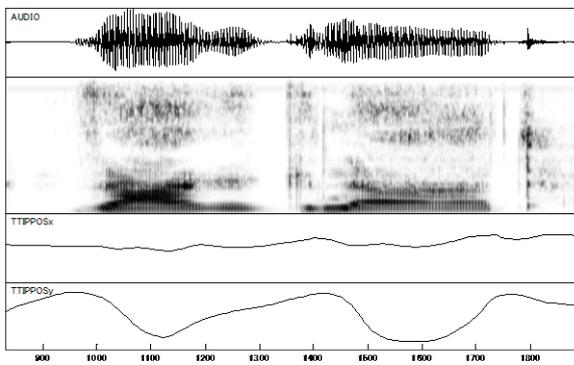
6 回目発話



7 回目発話



8 回目発話

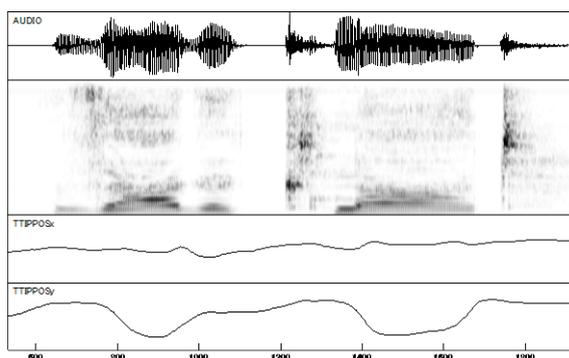


Ge1 (knaht)

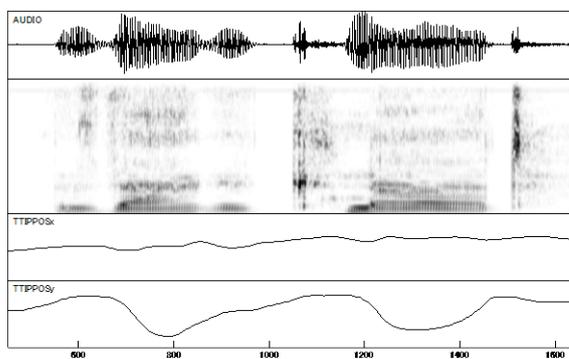
ドイツ人被験者1の“Sage knaht.”

各図中の表示は“bnaht”と同じ

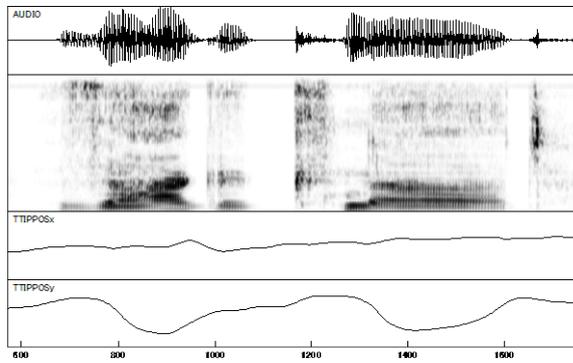
1回目発話



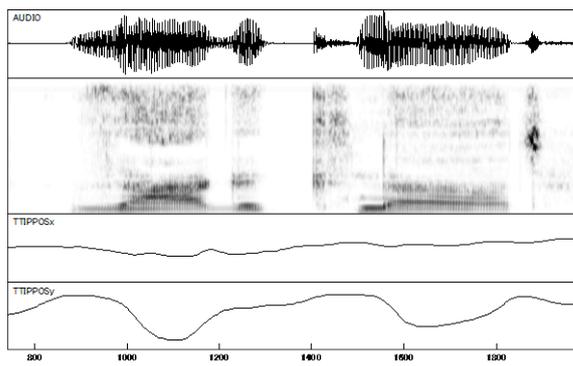
2回目発話



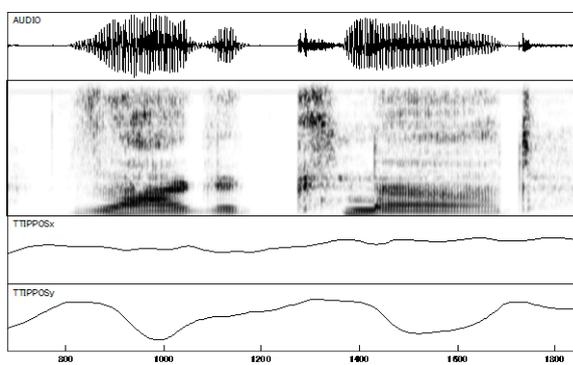
3回目発話



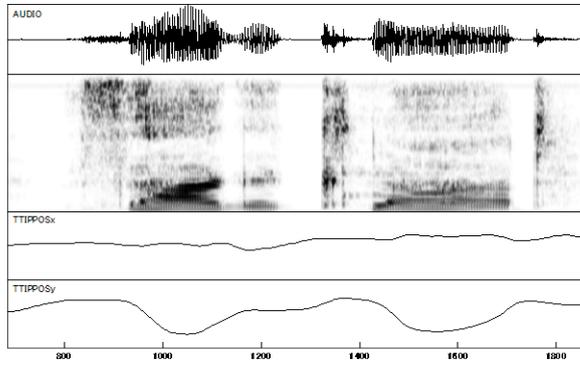
4回目発話



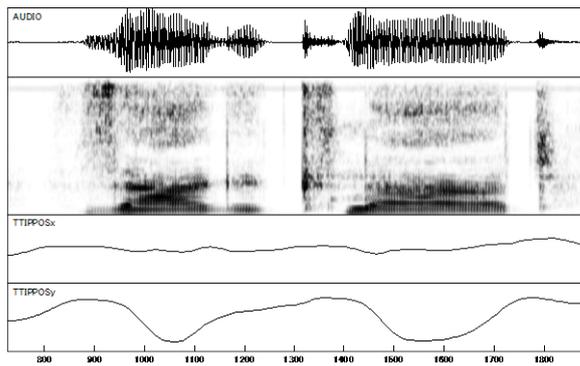
5回目発話



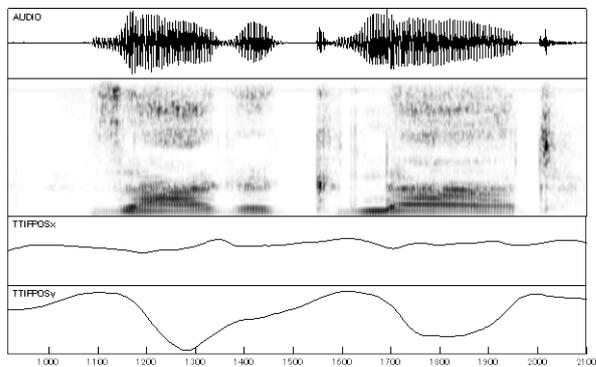
6 回目発話



7 回目発話



8 回目発話



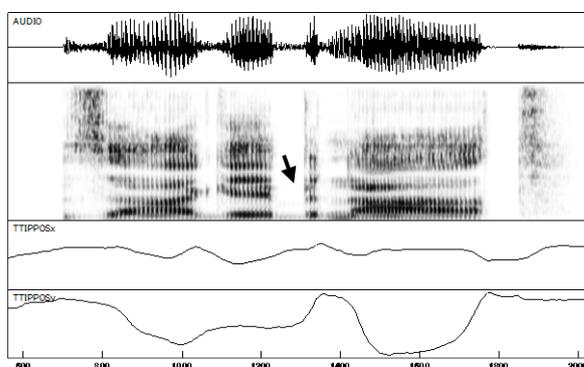
Ge2 (bnaht)

ドイツ人被験者2の“Sage bnaht.”

図は上から順に1～8回の発話である。

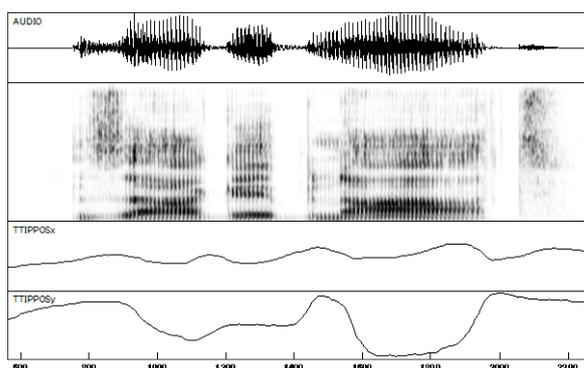
各発話においては、上段から音声波形、スペクトログラム、舌尖のX変位、Y変位をそれぞれ表わしている。

1回目発話

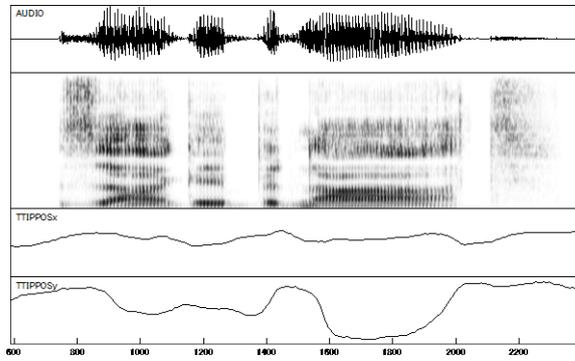


この発話では、/b/と/n/の間に母音(矢印)が添加されているのがスペクトログラムからわかる。

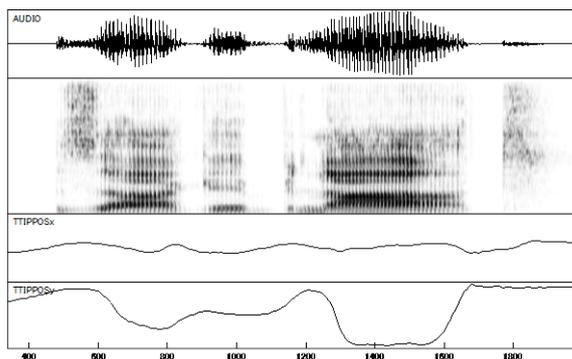
2回目発話



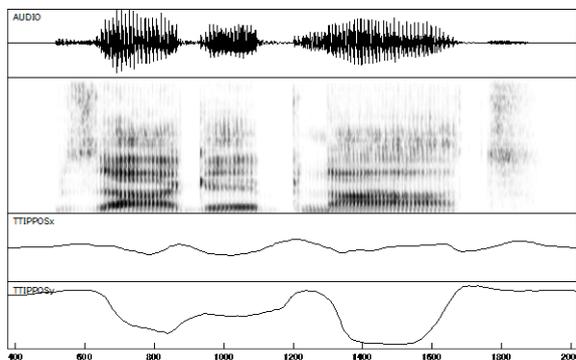
3回目発話



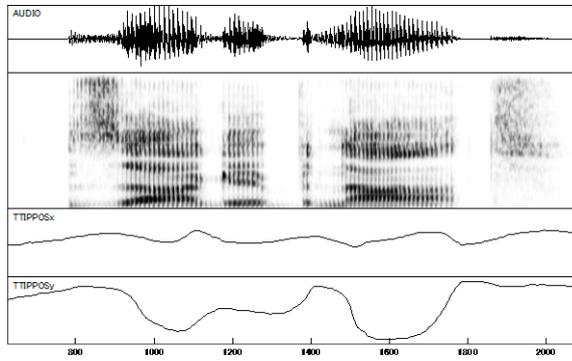
4回目発話



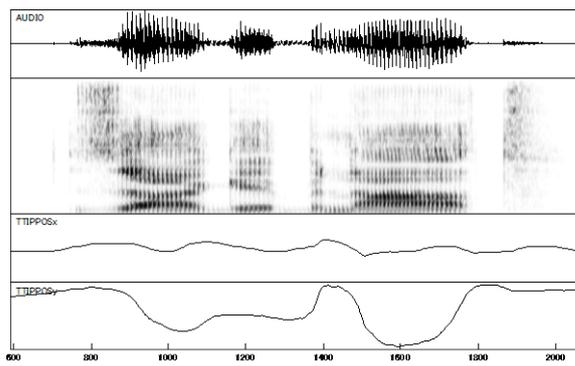
5回目発話



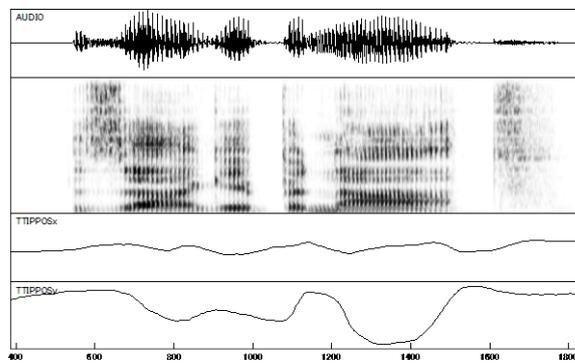
6 回目発話



7 回目発話



8 回目発話

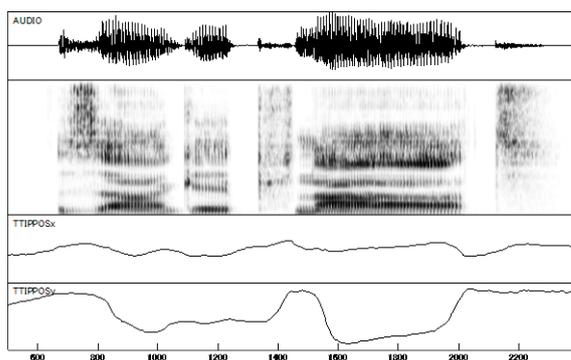


Ge2 (pnaht)

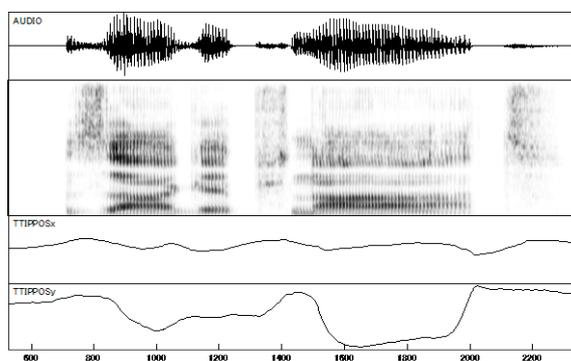
ドイツ人被験者2の“Sage pnaht.”

各図中の表示は“bnaht”に同じ

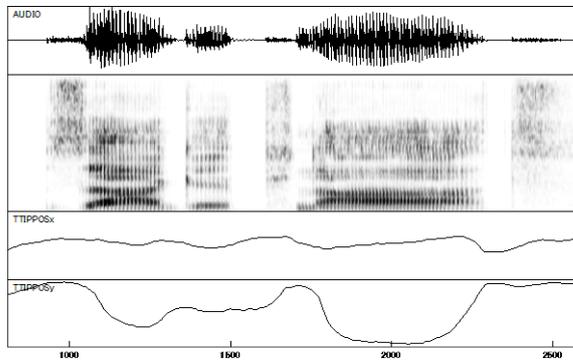
1 回目発話



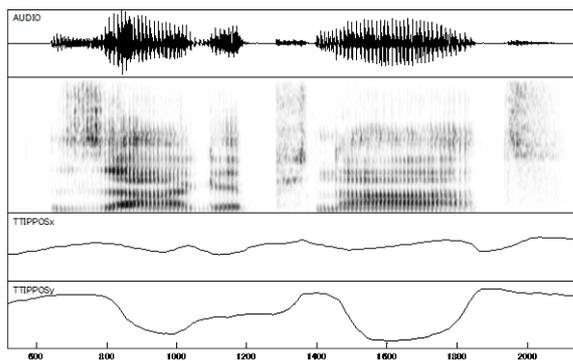
2 回目発話



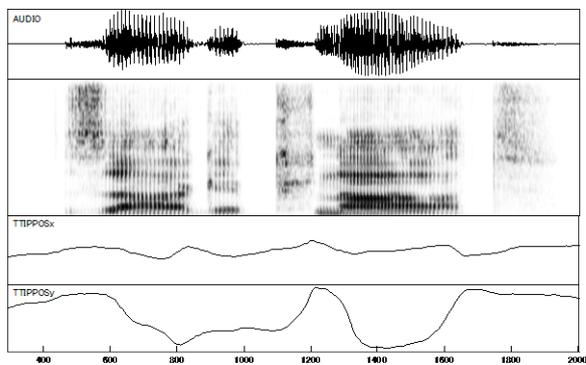
3回目発話



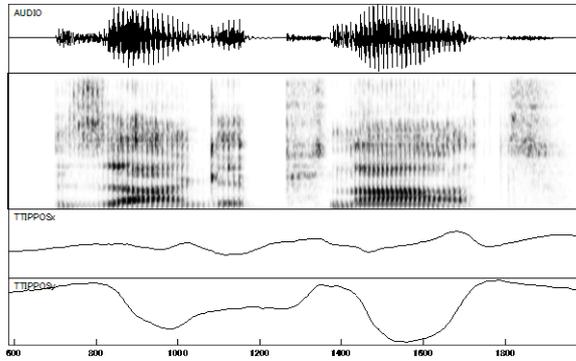
4回目発話



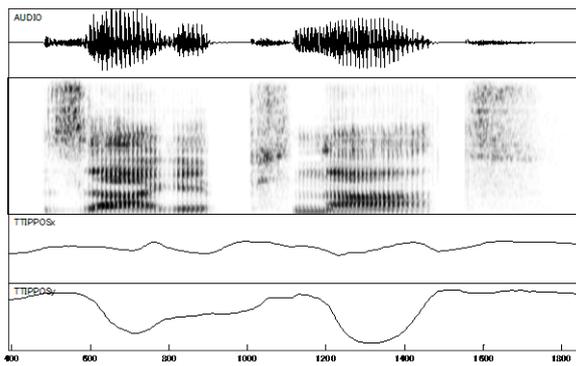
5回目発話



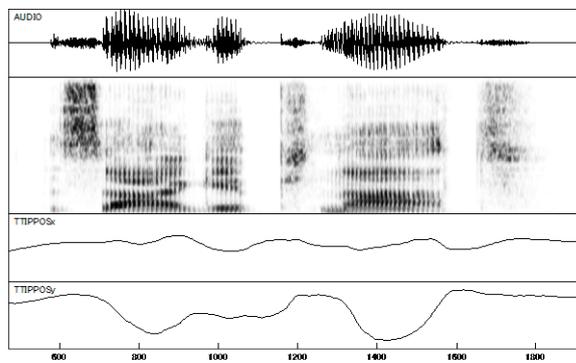
6 回目発話



7 回目発話



8 回目発話

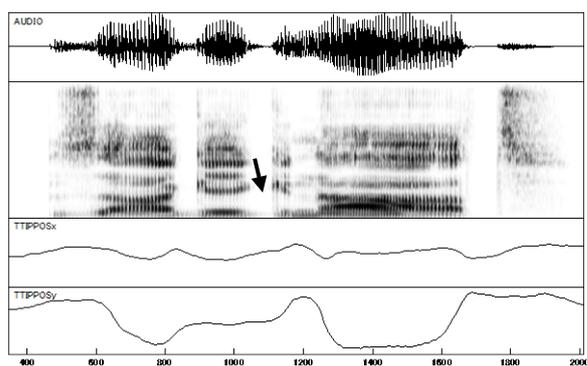


Ge2 (gnaht)

ドイツ人被験者2の“Sage gnaht.”

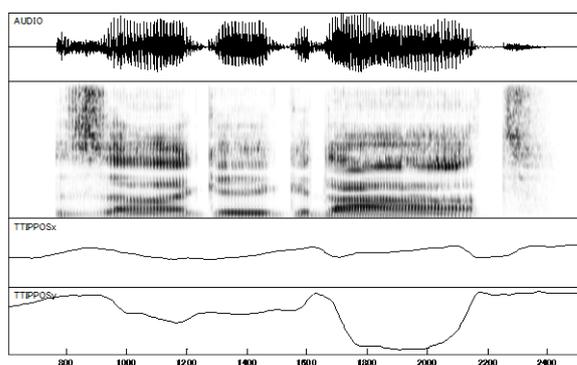
各図中の表示は“bnaht”と同じ

1回目発話

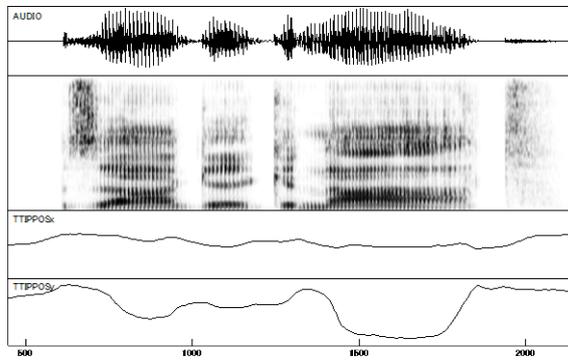


この発話では、/g/と/n/の間に母音(矢印)が添加されているのがスペクトログラムからわかる。

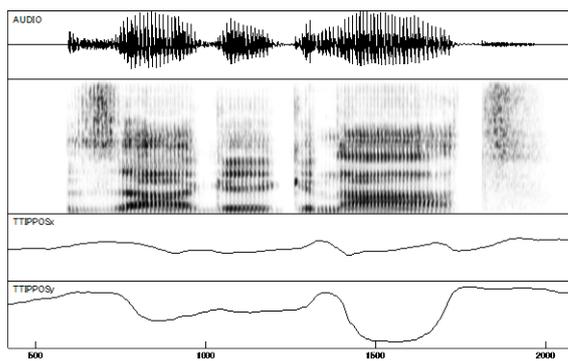
2回目発話



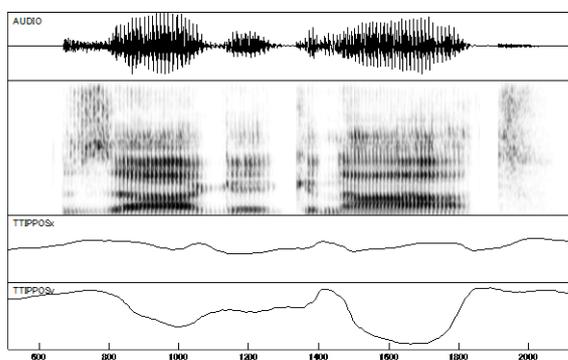
3回目発話



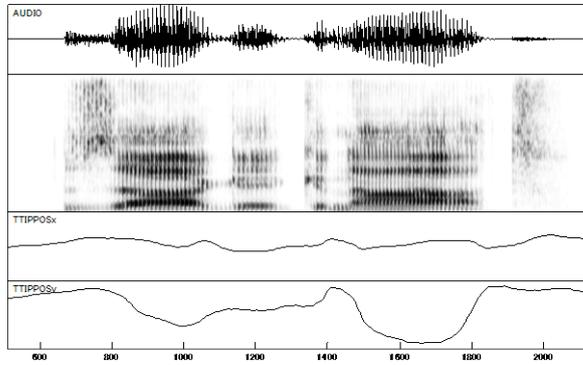
4回目発話



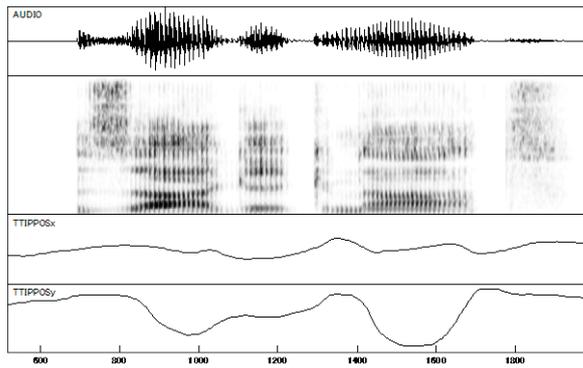
5回目発話



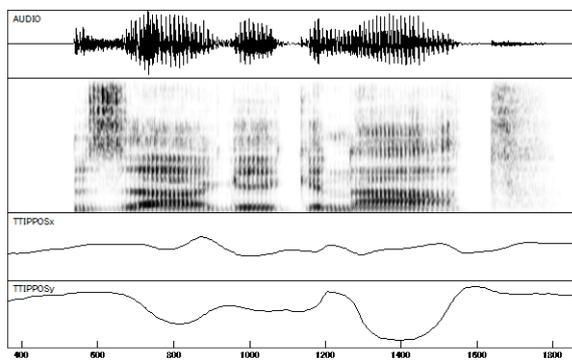
6 回目発話



7 回目発話



8 回目発話

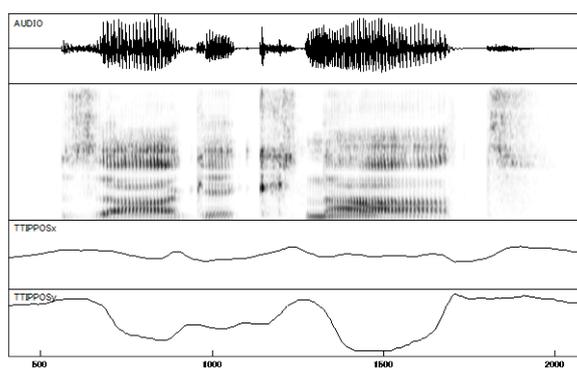


Ge2 (knaht)

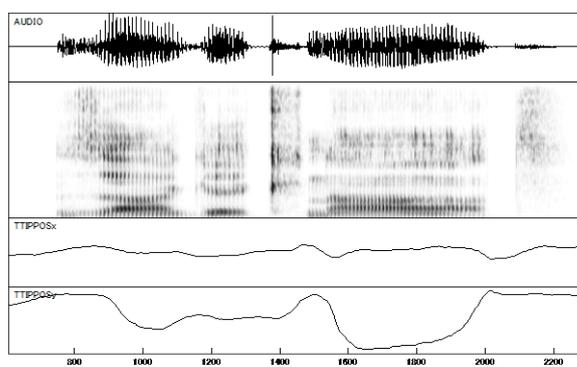
ドイツ人被験者2の“Sage knaht.”

各図中の表示は“bnaht”に同じ

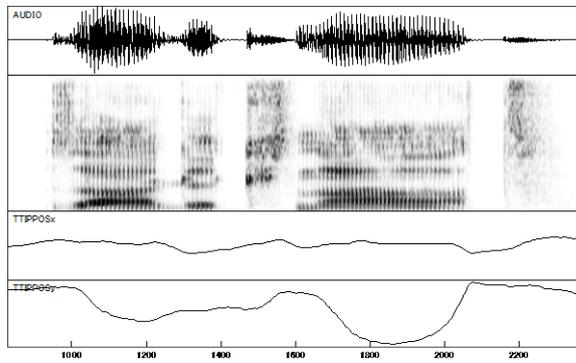
1回目発話



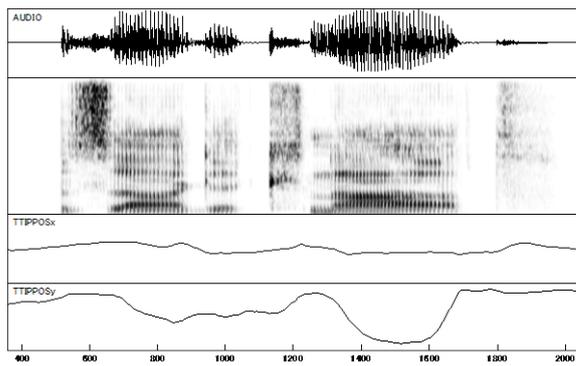
2回目発話



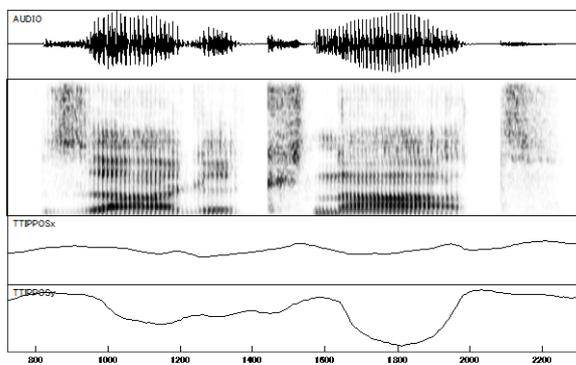
3回目発話



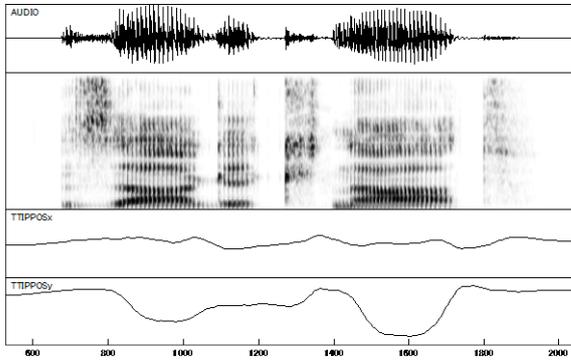
4回目発話



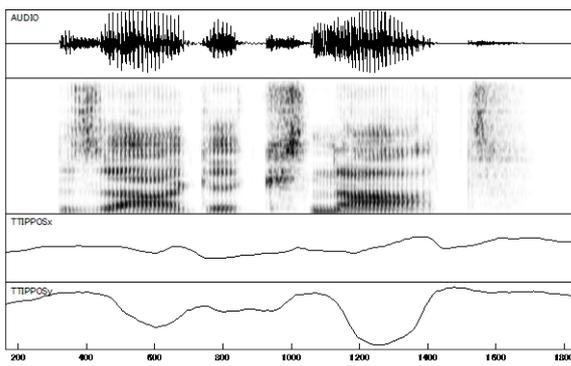
5回目発話



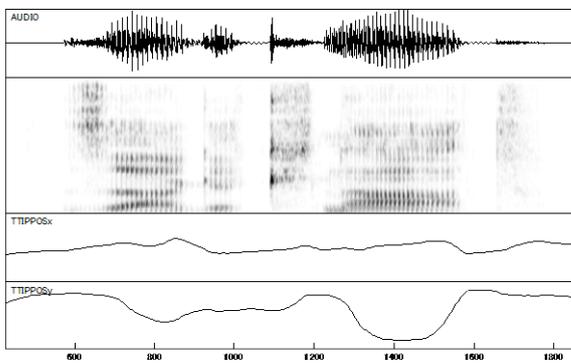
6 回目発話



7 回目発話



8 回目発話



参考実験（実験3）

目的

実験3の実験課題の妥当性を検証するために異同識別実験 (same/different test) を実施した。

実験方法

検査語

検査語は実験3と同じものを用いた。実験3で作成した12語のペアに加えて無声／無声および有声／有声のペアも作成した。

被験者

被験者は中国地方出身の大学生21名（広島19、山口1、島根1、実験3の被験者とは異なる）であった。

手続き

実験3と同様、ペア内の刺激音声の呈示間隔 (ISI) は1000 ms とし、ペア間の呈示間隔は2000 ms とした。有声ペア12語、無声ペア12語、発話者2名の48ペアを実験3のペアに加え、合計192ペアを被験者に呈示した。被験者はペアになった音声を聞き、ペアになっている音声が「同じか異なるか」を判断した。

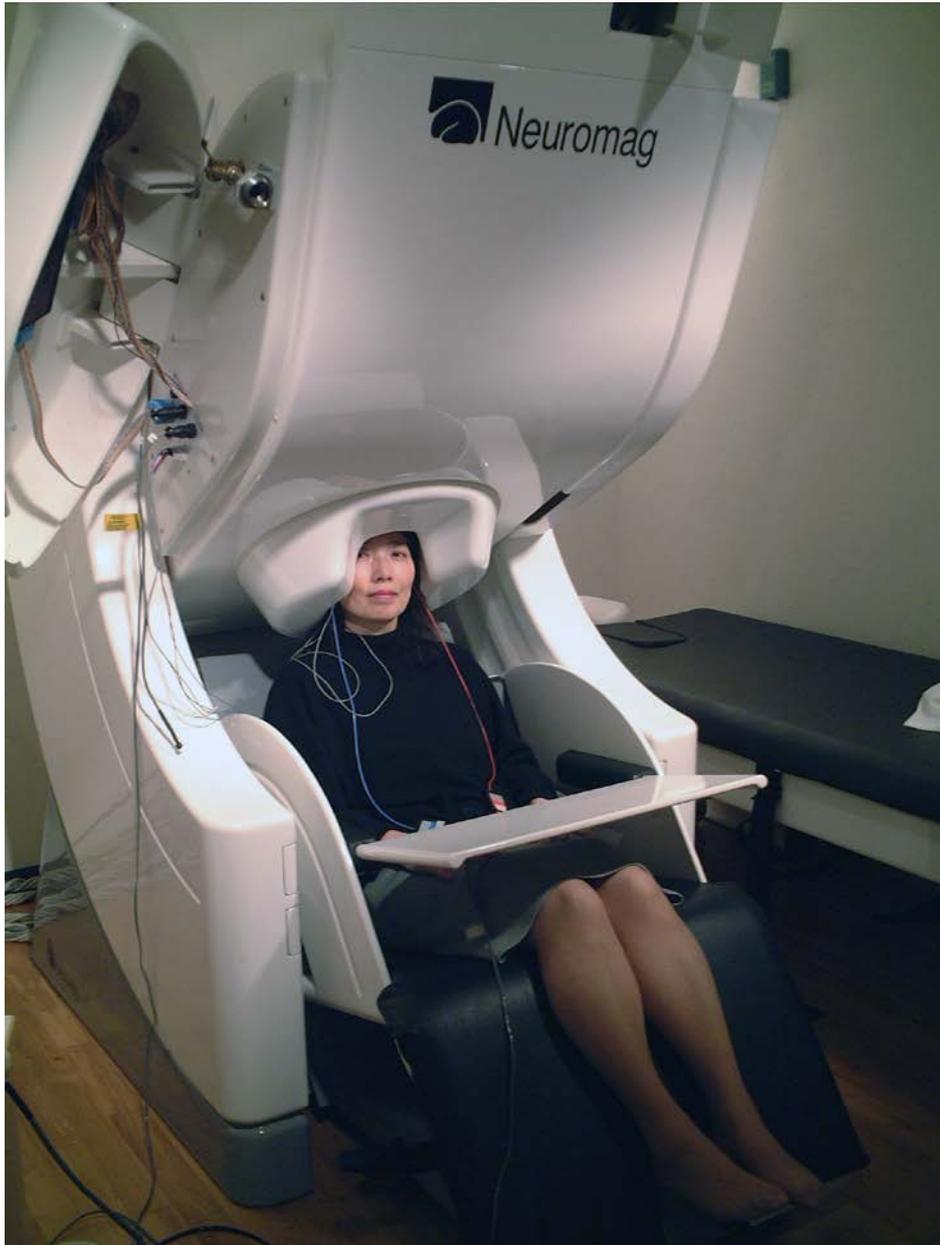
実験結果

実験3と同様に正答率が70%以上の被験者を母音の無声／非無声識別力がある被験者とした。次表に結果を示す。識別力のある被験者は、21名中9名で42.9%であった。実験3での同一条件での識別力がある被験者の割合は41.2%であった。したがってほぼ同一の実験結果が得られたと考えられる。

付表 異同識別実験結果

人数

識別力のある被験者	識別力のない被験者
42.9	57.1



脳磁図測定 (広島大学医学部)