

音韻・韻律情報を用いた両耳融合聴課題に関する検討

松井 和貴^a 網野 加苗^a 荒井 隆行^a 道又 爾^b 鎌田 浩史^c

a 上智大学理工学部 〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1

b 上智大学総合人間科学部 〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1

c 和光大学現代人間学部 〒195-8585 東京都町田市金井町 2160

E-mail: a: {kazuki-m, amino-k, arai}@sophia.ac.jp b:c-michim@sophia.ac.jp c:h-kamata@wako.ac.jp

あらまし 音声知覚における大脳左右半球の処理の非対称性を調べる手法として、音声の音韻情報と韻律情報を分離して左右耳に割り振って提示し、その提示された情報を統合しながら課題に回答する両耳融合聴実験が提唱されている。両耳融合聴課題では音韻情報を右耳に、韻律情報を左耳に提示したほうが逆に提示するよりも反応時間が早くなると考えられるが、先行研究(荒井ら, 2009)では提示条件に関する主効果は確認されなかった。そこで、本研究では刺激に施す処理の妥当性ならびに参加者に課す実験課題の妥当性についての検討を行った。その結果、作成した刺激に関しては妥当性が確認されたが、課題の内容については妥当性が確認されなかった。そこで、実験デザインを再構築した上で、課題の妥当性の検討を行った。

キーワード 音声知覚, 大脳半球左右差, 両耳融合聴, 韻律情報, 音韻情報

Deliberations on speech perception experiments using binaural integration of phonemic and prosodic information

Kazuki MATSUI^a Kanae AMINO^a Takayuki ARAI^a

Chikashi MICHIMATA^b and Hirofumi KAMATA^c

a: Faculty of Science and Engineering, Sophia University 7-1 Kioi-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8554 Japan

b: Faculty of Human Sciences, Sophia University 7-1 Kioi-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8554 Japan

c: Faculty of Human Studies, Wako University 2160 Kanai-cho, Machida-shi, Kanagawa, 195-8585 Japan

E-mail: a: {kazuki-m, amino-k, arai}@sophia.ac.jp b: c-michim@sophia.ac.jp c: h-kamata@wako.ac.jp

Abstract “Binaural integration listening test” proposed by Arai *et al.*(2009) explores cerebral asymmetry of speech perception by using the stimuli where phonemic and prosodic information of speech is separated from each other. These two information are then allocated to either right- and left-ear and presented to the listeners simultaneously, so that the selective attention of the auditory system can be investigated.

In this study, we conducted three experiments; the first experiment examined the appropriateness of the methods for creations of the stimuli; in the second and third, that of the experimental tasks was tested. the results confirmed the adequacy of the stimulus creations, although we may need further deliberations on the experimental tasks.

Keyword Speech perception, Cerebral asymmetry, Binaural integration listening, Prosodic information, Phonemic information

1. はじめに

Broca [1]によって大脳左半球に Broca 野の存在が発見されて以来、音声情報処理における左右半球の非対

称性について今日まで数多くの研究が行われてきた。その中でも、Broadbent [2]が発案し、Kimura [3]が神経学的解釈を加えた両耳分離聴課題は大脳半球における

非対称性の研究を大きく発展させた。両耳分離聴課題は、左右耳に長さや強さの類似した異なる刺激を同時に提示し、聞こえた音声を答えさせる課題である。言語処理の左半球優位性ならびに、右耳と左半球、左耳と右半球という対側性の聴覚経路の結びつきにより、言語課題における右耳(左半球)優位性が観測されることが明らかになっている [4]。

一方、Zatorre ら [5]などの研究によって音声信号内の抑揚に関する課題を課した際には右半球の優位性が確認されている。また、こうした左右耳の非対称性は、音声を片耳のみに提示したときにも観測される場合もあることが確認されている [6,7]。

また、音声信号処理における大脳半球の非対称性について、Poeppel [8,9]が、AST 仮説(Asymmetric Sampling in Time hypothesis)を提唱している。具体的には、左半球の聴覚野では短い時定数で、右半球の聴覚野では長い時定数で処理を行う神経細胞の割合が多いため、この差により左右半球の非対称性が生じると述べている。

これらの先行研究に基づき、荒井ら [10]は左右の耳に提示された情報を統合して判断する課題として、音声の音韻情報と韻律情報を分離し、両耳に割り振って提示する両耳融合聴課題を用いた実験を行った。韻律刺激を右耳に、音韻刺激を左耳に提示したほうが、逆に提示した時と比較して反応時間が短くなるのが仮説とされたが、実験の後半において予想と逆の傾向が見られ、その結果全体の平均反応時間において提示条件に対する主効果は確認されなかった。そこで、本研究では両耳融合聴実験を行うにあたって、処理を施した刺激において、正しく任意の情報が抑圧されているかの確認(実験Ⅰ)ならびに、各情報を判断する実験課題の妥当性を確認する実験(実験Ⅱ)を行った。また、その結果を踏まえて実験デザインを再構築し、改めて実験課題の妥当性を確認する実験(実験Ⅲ)を行った。

2. 刺激

先行研究[10]ならびに本研究で用いた音声サンプル並びに各情報の抑圧方法について記述する。

2.1. 原音声

先行研究[10]では原音声として、「これは○○○ですか?」という疑問文と「これは○○○ですか。」という平叙文を用い、○○○には3モーラの有意味語を挿入した。刺激文の中において音韻情報を判断するタイミング(単語の位置)と韻律情報を判断するタイミング(「ですか」の位置)とが異なっている。

そこで本研究では原音声として、ですかを除いた「これは○○○」という文を用いた。○○○には3モーラの有意味語および無意味語を挿入した。実験で用いた有意味語ならびに無意味語を Table 1 に示す。

Table 1 実験で使用した3モーラ語

有意味語(括弧内は単語親密度)	
トケイ(5.8)	モケイ(5.8)
タバコ(6.0)	タラコ(6.4)
ユビワ(6.2)	クジラ(6.4)
無意味語	
モギン	ホギン
コグメ	コブメ
ウカヨ	ウカゾ
メラザ	テカダ

有意味語の選択にあたっては、

- ・ アクセントは全て平板型
- ・ 各モーラの母音が同じ単語の組
- ・ ペア間の単語親密度 [11]の差が0.5以内

という基準で選択した。また、無意味語についても、各モーラの母音が同じになるようにランダムに作成した。練習用に2組4語(タタミ・カタミ, サカナ・ハカマ)、本実験用に7組14語、の計18語について上昇調・下降調の文章計36文を、日本語母語話者で音声学の訓練を受けた44歳の男性1名に発話してもらい、防音室にて録音を行った。録音時のサンプリング周波数は44.1kHzであった。録音に際してはメトロノームを用いて発話速度が約5モーラ/秒になるように統制した。

2.2. 刺激音

録音した音声サンプルを基に、音声の音韻情報を抑圧し、韻律情報を残した刺激(以後、韻律刺激と呼ぶ)と韻律情報を抑圧し、音韻情報を残した刺激(以後、音韻刺激と呼ぶ)を作成した。韻律刺激は、線形予測分析によりLPC残差を求め、そのピークにインパルス列を立て、Band Path Filterを通すことにより作成した。一連の処理には音声分析ソフトウェアPraat [12]のHum音声を用いた。また、音韻刺激は、原音声から線形予測分析を用いてスペクトル包絡をフレーム長32msのフレーム毎に求め、白色雑音を畳み込むことにより作成した。音韻刺激の作成にはMatlab [13]を用いた。また、刺激作成の際にサンプリング周波数を16kHzに変換した。

3. 課題

先行研究[10]ならびに本研究で用いた課題の具体的な内容について記述する。

3.1. 韻律課題

韻律情報を判断する課題(以後、韻律課題)では、刺激音がヘッドホンから左右どちらかの耳に提示され、参加者には提示された刺激が上昇調か下降調かを判断してもらった。上昇・下降の判断は、テンキー上で横1列に並んだ4つのキーのうち、外側の2つまたは内

側の2つを両手の中指か人差し指で同時に押すことで回答してもらった。上昇・下降と人差し指・中指の組み合わせは参加者間でカウンタバランスを取った。

3.2. 音韻課題

音韻情報を判断する課題(以後、音韻課題)では、刺激音がヘッドホンから提示され、刺激音の再生が終わった時点でPC画面上に単語をカタカナで表示した。画面に表示する単語は、ヘッドホンから提示された刺激単語と同じか、あるいはTable 1に示された同一単語ペアのもう片方の単語とした。参加者には刺激音の単語と画面に表示された単語が一致しているかしていないかを回答してもらった。回答方法は、韻律課題と同様にテンキーを用いた。

4. 実験 I

まず、音韻刺激ならびに韻律刺激について妥当性の検討を行った。

4.1. 実験手順

実験は、日本語を母語とし、関東地方在住の19歳から23歳までの右利きの22名(男性12名、女性10名)に参加してもらった。事前のアンケートにより参加者が健聴であることならびに右利きであることを確認した。利き手の調査には、Edinburgh Handedness Inventory [14]を用いた。

実験は全て上智大学荒井研究室内の防音室においてPC(APPLE POWERBOOK G4)とヘッドホン(STAX SRM-313)を用いて行った。参加者には韻律課題を112試行、音韻課題を224試行行った。それぞれの課題において、本実験の前に練習試行16試行を課した。

4.2. 仮説

各課題において韻律刺激・音韻刺激の両方を提示するが、韻律刺激は音韻情報が抑圧されているため、音韻課題を答えることが出来ず、音韻刺激では韻律情報が抑圧されているため、韻律課題を答えることが出来ないと考えられる。しかし、いずれの課題においても強制二択であったため、正答率は50%に収束すると考えられる。一方、韻律課題において韻律刺激を提示した場合および音韻課題において音韻刺激を提示した場合は、知覚に影響はなく正答率は100%に近い数値が得られると考えられる。

4.3. 結果

韻律課題の刺激別正答率ならびに音韻課題の正答率を、Table 2・Table 3に示した。

Table 2 韻律課題・刺激別正答率

	左耳[%]	右耳[%]
韻律刺激	98.57	93.57
音韻刺激	51.97	52.14

Table 3 音韻課題・刺激別正答率

	左耳[%]	右耳[%]
韻律刺激	48.62	51.42
音韻刺激	88.64	88.80

Table 2より、韻律課題において音韻刺激ではチャンスレベルの50%に収束し、韻律刺激では100%に近い正答率が得られた。

またTable 3より、音韻課題の正答率についても、韻律刺激ではチャンスレベルの50%に収束し、音韻刺激では100%に近い正答率が得られた。

上記の結果により、実験で用いた刺激において音韻刺激は韻律情報が抑圧されているが音韻情報は保持され、韻律刺激は音韻情報が抑圧されているが韻律情報は保持されていることが確認できた。

5. 実験 II

実験IIでは、音韻・韻律課題の内容の妥当性についての検討を行った。

5.1. 実験手順

実験は、日本語を母語とし関東地方に在住する18歳から53歳までの右利きの参加者24名(男性9名、女性15名)によって行なわれた。事前の聴力検査ならびにアンケートにより参加者が健聴であることならびに右利きであることを確認した。実験は全て上智大学2号館言語聴覚研究センター防音室内においてPC(APPLE POWERBOOK G4)とヘッドホン(STAX SRM-313)を用いて行なわれた。参加者には実験Iと同様に、韻律課題と音韻課題の2種の課題を課した。実験の手順は実験Iと同様であり、「これは○○○」という音声と「○○○」のみの音声のそれぞれの処理をかけた原音声を用いて、韻律課題56試行と音韻課題112試行ずつを課し、課題の正答率ならびに反応時間を測定した。なお、いずれの課題も反応時間の測定は、刺激音の再生が終了した時点から開始した。

5.2. 仮説

韻律課題においては、韻律情報処理は右半球が優位であるため、右半球と結びつきの強い左耳に刺激を提示したほうが右耳に提示したときよりも反応時間は短くなる。逆に音韻課題においては、音韻情報処理は左半球が優位であるため、左半球と結びつきの強い右耳に刺激を提示したほうが左耳に提示したときよりも反応時間は短くなると考えられる。

5.3. 結果

Table 4 「これは○○○」平均反応時間

	左耳[ms]	右耳[ms]
韻律課題	511.25	503.45
音韻課題	682.94	688.75

Table 5 3モーラ刺激平均反応時間

	左耳[ms]	右耳[ms]
韻律課題	512.67	509.08
音韻課題	429.15	428.54

「これは○○○」刺激を用いたときの各課題の平均反応時間を Table 4 に示す。各課題とも仮説と逆の傾向が確認されたが、課題 2 条件×耳 2 条件の繰り返し分散分析を行った結果、課題と耳の交互作用は有意ではなかった($F(1,23)=0.091$, $MSE=1109.624$, $p=.164$)。よって、「これは○○○」という刺激を用いた際の各課題の左右耳の非対称性は確認できなかった。

また、3 モーラ単語のみの刺激を用いたときの各課題の平均反応時間を Table 5 に示す。音韻課題では仮説通りの傾向が見られたが、韻律課題では仮説と逆の傾向が見られた。課題 2 条件×耳 2 条件の繰り返し分散分析を行った結果、課題と耳の交互作用は有意ではなかった($F(1,23)=2.069$, $MSE=53.242$, $p=.765$)。よって、3 モーラのみ刺激を用いた際の各課題の左右耳の非対称性は確認できなかった。

6. 実験Ⅲ

実験Ⅱにおいて、課題の妥当性を確認することができなかったため、課題のデザインを再構築する必要性が示された。実験Ⅱまでの課題のデザインについては、韻律課題については韻律情報の判断は文章の上昇・下降判断であったが、これが言語情報として脳内で処理が行われたため右半球の優位性が観測されなかったとも考えられる。また、音韻課題においては画面上の文字と音声刺激の一致・不一致を判断させたが、文字刺激の提示のタイミングは Fig.1 の様に音声刺激の提示が終了した時点で提示を開始していたが、この場合反応時間には視覚的な処理の影響も関わってくると考えられる。



Fig.1 実験Ⅰ・Ⅱ刺激提示のタイミング

以上のような点を考慮に入れた上で、新たに単音節を使った実験デザインを構築して課題の妥当性について検討を行った。

6.1. 刺激

原音声として「人口内耳装用のための語音聴取評価検査 CI-2004」より CV ならびに VCV 音節各 14 種を用いた。音節の母音は /a/ で統一し、子音は /b,p,g,k,d,t,s,h,n,m,w,j/ の 12 種(閉鎖子音 6 種, その他 6 種)と練習用に /z, r/ の 2 種の計 14 種を用いた。また、それぞれの刺激について音高知覚判断課題のために、CV 音節は全体の、VCV 音節は CV 部分の基本周波数を上昇させた刺激を作成した。人の音声における高さの弁別閾は約 0.3Hz であるので [15]、今回は十分に高さを弁別できる差として基本周波数を 20Hz 上昇させた。基本周波数の調整は音声分析ソフトウェア Praat [12]を用いた。

6.2. 実験手順

実験は、日本語を母語とし、関東地方在住の 22 歳から 25 歳までの右利きの 9 名(男性 5 名女性 4 名)によって行われた。事前のアンケートにより参加者が健聴であることならびに右利きであることを確認した。利き手の調査には、Edinburgh Handedness Inventory [14]を用いた。

実験は全て上智大学荒井研究室防音室内において PC(APPLE POWERBOOK G4)とヘッドホン(STAX SRM-313)を用いて行った。参加者には新たな実験デザインの韻律課題と音韻課題(以後、音韻課題)を課した。

音韻課題では、まずターゲットとなる音節が両耳に提示され、一定時間(1500ms)後に刺激を左右どちらかの耳に提示した。参加者には刺激がターゲット音と同じ音節か否かを判断してもらった。回答方法は実験Ⅰ・Ⅱと同じ手法を用いた。実験前に練習試行として 16 試行を課し、課題に慣れてもらい、その後本実験 192 試行を行った。



Fig.2 実験Ⅲ・刺激提示のタイミング

次に、韻律課題ではまずターゲットとなる音節が両耳に提示され、一定時間後に刺激を左右どちらかの耳に提示した。参加者には刺激の音高がターゲット音と同じか否かを判断してもらった。各試行のターゲットと刺激の音節は同じものを用いた。回答方法は実験Ⅰ・Ⅱと同じ手法を用いた。実験前に練習試行として16試行を課し、課題に慣れてもらい、その後本実験192試行を行った。

各課題におけるターゲット・刺激提示のタイミングを Fig.2 に示す。

各課題において正答率と反応時間を測定した。反応時間については、信頼区間を平均から±3SD の範囲とし、その範囲を出たサンプルは外れ値として除外した上で平均を算出した。

6.3. 仮説

実験Ⅱと同様に、音韻課題においては、音韻情報処理は左半球が優位であるため、左半球と結びつきの強い右耳に刺激を提示したほうが左耳に提示したときよりも反応時間は短くなると考えられる。逆に韻律課題においては、韻律情報処理は右半球が優位であるため、右半球と結びつきの強い左耳に刺激を提示したほうが右耳に提示したときよりも反応時間は短くなると考えられる。

6.4. 結果

6.4.1. 音韻課題

音韻課題の正答率並びに平均反応時間は Table6・7 のようになった。

Table6 音韻課題・正答率

	左耳[%]	右耳[%]
全体	97.94	98.95
VCV 全体	98.18	98.95
VCV 閉鎖子音	98.44	100.00
VCV その他	97.90	97.91
CV 全体	97.65	98.96
CV 閉鎖子音	97.90	98.95
CV その他	97.39	98.96

Table7 音韻課題・平均反応時間

	左耳[ms]	右耳[ms]
全体	504.70	504.75
VCV 全体	412.58	422.71
VCV 閉鎖子音	452.02	447.80
VCV その他	371.75	394.78
CV 全体	601.89	591.95
CV 閉鎖子音	591.00	578.59
CV その他	616.15	612.59

全体として左右耳で反応時間はほぼ等しい結果となった($t(8)=.003, SE=20.17, p=.998$)。種類別にみると、CV 音節は全体的に右耳のほうが反応時間は短い傾向が見られたが、対応のある t 検定を行ったところ、その差は有意ではなかった($t(8)=.485, SE=20.49, p=.640$)。また VCV 音節においても閉鎖子音については右耳のほうが反応時間が短い傾向が見られた($t(8)=.250, SE=16.91, p=.809$)。

6.4.2. 韻律課題

韻律課題の正答率ならびに平均反応時間は Table8・9 のようになった。

全体としては、仮説に反して右耳のほうが反応時間が短いという結果になった。しかし対応のある t 検定を行ったところ、その差は有意では無かった($t(7)=.713, SE=8.65, p=.499$)。音節毎に見ると、VCV 音節では左耳のほうが反応時間が短い傾向が見られた($t(7)=1.278, SE=18.13, p=.242$)が CV 音節では逆に右耳のほうが反応時間は短い傾向が見られた($t(7)=1.267, SE=27.26, p=.246$)。

Table8 韻律課題・正答率

	左耳[%]	右耳[%]
全体	92.98	92.84
VCV 音節	93.23	95.04
CV 音節	92.69	90.65

Table9 韻律課題・平均反応時間

	左耳[ms]	右耳[ms]
全体	596.27	590.10
VCV 音節	526.04	549.22
CV 音節	663.65	629.10

7. 考察

実験Ⅲでは、従来の音韻・韻律課題からデザインを再構築し、CV・VCV音節を用いた実験を行った。音韻課題においての問題点と考えられた、ターゲットの提示のタイミングを Fig.2 のように変更し、またターゲットの提示方法を文字情報から音声情報に変更した。韻律課題においては、韻律情報の判断を文の上昇調・下降調判断から音節の音高判断に変更した。

結果としては、音韻課題・韻律課題とも全体で優位な差は確認されなかったが、音韻課題において閉鎖子音は CV・VCV 音節のいずれにおいても右耳のほうが反応時間は短くなる傾向が見られた。これは、両耳分離聴を用いた初期の研究[16]の結果と矛盾しないものであった。また、韻律課題においては VCV 音節と CV 音節で反応時間が短くなる耳が逆転するという現象が見られた。その差は有意なものではなかったが、韻律課題においては VCV 音節のほうが刺激として妥当性が高い可能性が示唆された。

8. おわりに

本研究では、両耳からの情報を融合して課題に答える両耳融合聴課題を行うにあたって、まず各刺激に施す処理の妥当性ならびに各課題の妥当性について2種の実験から検討を行った。その結果、実験Ⅰより音韻刺激・韻律刺激とも任意の情報のみを残し、不要な情報が抑圧されていることが確認できた。一方、課題の妥当性に関する実験Ⅱにおいては、「これは○○○」と「○○○」のみの2種類の刺激を用いて課題を行ったが、音韻課題・韻律課題とも左右耳で有意差は確認されなかった。そこで、課題のデザインを再構築して再び妥当性の検討を行った。その結果、全体として優位な差は見られなかったものの刺激によっては仮説を指示する傾向が見られた。しかし今回の実験の参加者は9人であるので、今後参加者を増やして実験を行い、改めて左右耳の成績の差を確認する必要がある。

謝辞

本研究は文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業上智大学オープン・リサーチ・センター「人間情報科学プロジェクト」の支援を受けて行われた。

文 献

- [1] P.Broca, *Bullet de la Société de Anthropologie de Anthropologie*, Masson, Paris,1861.
- [2] D.Broadbent, "The role of auditory localization in attention and memory span," *Journal of*

Experimental Psychology, vol.47, no.3, pp.191-196, March 1954.

- [3] D.Kimura, "Functional asymmetry of the brain in dichotic listening," *Cortex*, vol.3, pp.191-196, 1954.
- [4] ジャック・ライアルズ著, 今富撰子, 荒井隆行, 菅原勉監訳, *音声知覚の基礎*, 海文堂, 東京, 2003.
- [5] R.J.Zatorre, Alan C. Evans, Ernst Meyer, and Albert Gjedde, "Lateralization of phonetic and pitch discrimination in speech processing," *Science*, vol.256, no.5058, pp.846-849, May 1992.
- [6] G.Geffen, and K.Quinn, "Hemispheric specialization and ear advantages in processing speech," *Psychological Bulletin*, vol.96, no.2, pp.273-291, September 1984.
- [7] M.Rastatter, and A.Gallagher., "Reaction-times of normal subjects to monaurally presented verbal and tonal stimuli," *Neuropsychologia*, vol.20, no.4, pp.465-473, February 1982.
- [8] D.Poeppel, "Pure word deafness and bilateral processing of the speech code," *Cognitive Science*, vol.25, no.5, pp.679-693, September 2001.
- [9] D.Poeppel, "The analysis of speech in different temporal integration window: Cerebral lateralization as 'asymmetric sampling in time'," *Speech Communication*, vol.41, no.1, August 2003.
- [10] 荒井隆行, 道又爾, 鎌田浩史, "音声の音韻情報と韻律情報を用いた両耳融合聴に関する実験," *音講論(春)*, pp.579-582, March 2009.
- [11] 天野成昭, 近藤公久, *日本語の語彙特性*, 三省堂, 東京, 1999.
- [12] P.Boersma and D.Weenink, "Praat: doing phonetics by computer (Version 5.0.42) [Computer program]," from <http://www.praat.org/>, 2008.
- [13] Matlab, <http://www.mathworks.co.jp/>
- [14] R.C.Oldfield, "The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory," *Neuropsychologia*, vol.9, no.1, pp.97-113, March 1971.
- [15] 古山竜司, 上田和夫, "高さの弁別閾: 基本周波数の変化による違い," *日本音響学会聴覚研究会資料*, vol.33, No.10, December 2003.
- [16] D.Shankweiler, and M.Studdert-Kennedy, "Identification of consonants and vowels presented to left and right ears," *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol.19, no.1, pp.59-63, February 1967.