

平成 25 年度
学士学位論文

fMRI による脳活動からの和音の違いの
識別

A study of discrimination of musical harmony using
brain activity obtained by fMRI

1140359 中村 大樹

指導教員 吉田 真一

2014 年 2 月 28 日

高知工科大学 情報学群

要 旨

fMRI による脳活動からの和音の違いの識別

中村 大樹

本研究では、fMRI によって撮像した和音聴取時の脳活動から長三和音と短三和音の識別を行う。和音は音楽の三要素の一つであり、和音に対する印象を研究することで音楽に対する印象を解明する助けになると考える。和音は、その音の組み合わせにより長和音、短和音、不協和音など複数の種類に分類可能であり、それらから受ける印象がそれぞれ異なる。そこで今後の BCI(Brain Computer Interface) を用いた音楽検索に向けての基礎的な知見を得ることを目的として、和音を聴取した際の脳活動から聴取和音の種類を推定を行う。正弦波を合成した長三和音 6 種 (C, C#, D, D#, E, F) と短三和音 6 種 (Cm, C#m, Dm, D#m, Em, Fm) の計 12 種類を被験者にランダムな順序で提示し、その際の脳活動を fMRI によって撮像する。その際、fMRI の撮像に伴う騒音の影響を取り除くため、一定間隔を空けて撮像するスパース撮像法にて撮像を行う。得られた撮像データをサポートベクターマシン (SVM) によって識別し、長三和音と短三和音の識別率を求める。結果として、シグモイドカーネルを用いた場合、識別率が 62%、その際のパラメータは γ 値が 1.7, cost 値が 500 となっていることを確認している。

キーワード fMRI, 和音, ブレインデコーディング, サポートベクターマシン,

Abstract

A study of discrimination of musical harmony using brain activity obtained by fMRI

Hiroki Nakamura

This study aims at discrimination of two different harmonies, that are major triad and minor triad from humans brain activity obtained by fMRI. A harmony is the one of three musical factors, and study of impression of harmony useful to investigation of the human recognition of music. A harmony can be classified to some categories, for example, major triad, minor triad, and discord. Harmonies in different categories causes different human impressions. Therefore, the purpose of this study is estimation of harmony to which a subject is listening. The estimation is performed using human's brain neural activities obtained by functional Magnetic Resonance Imaging(fMRI).

Six major triads(C, C#, D, D#, E, F) and six minor triads(Cm, C#m, Dm, D#m, Em, Fm) are created by composing sine waves. These triads are played as audio stimuli to subjects at random. Brain neural activities are scanned using fMRI. Sparse scan technique is employed to avoid noise generated by fMRI. Support vector machine is used to classify harmonies. The result shows that the accuracy is 62 percent using sigmoid kernel and the parameters of γ and C for SVM are 1.7, and 500, respectively.

key words fMRI, Harmony, Brain Decording, Support Vector Machine

目次

第 1 章	序論	1
第 2 章	関連研究と脳活動解析手法	3
2.1	聴覚に関するブレインデコーディング	3
2.2	スパース撮像法	3
2.3	サポートベクターマシン	4
2.4	fMRI	4
第 3 章	実験内容	5
3.1	主観評価調査	5
3.1.1	被験者	5
3.1.2	刺激作成	5
3.1.3	実験手順	5
	アンケート実施	5
	主成分分析	6
3.1.4	主成分分析結果	7
3.1.5	考察	8
3.2	fMRI による撮像実験	8
3.2.1	被験者	8
3.2.2	刺激作成	8
3.2.3	計測パラメータ	9
3.2.4	試行内容	9
3.3	SVM を用いた和音識別	10
3.3.1	グリッドサーチ	10

目次

第 4 章	結果と考察	12
4.1	結果	12
4.2	考察	14
第 5 章	結論	15
謝辞		16
参考文献		17
付録 A	長和音と短和音に対する印象の主成分分析	18
A.1	被験者	18
A.2	刺激作成	18
A.3	実験手順	19
A.3.1	アンケート実施	19
A.3.2	主成分分析	20
A.4	実験結果	20
A.4.1	アンケート結果	20
付録 B	和音聴取時の有意な賦活ボクセル	32

目次

3.1	主成分分析結果	7
3.2	試行内容	9
B.1	被験者 1 のベースラインに対するメジャーコード聴取時の賦活部位	35
B.2	被験者 2 のベースラインに対するメジャーコード聴取時の賦活部位	36
B.3	被験者 1 のベースラインに対するマイナーコード聴取時の賦活部位	37
B.4	被験者 2 のベースラインに対するマイナーコード聴取時の賦活部位	38
B.5	被験者 1 のマイナーコード聴取時に対するメジャーコード聴取時の賦活部位	39
B.6	被験者 2 のマイナーコード聴取時に対するメジャーコード聴取時の賦活部位	40
B.7	被験者 1 のメジャーコード聴取時に対するマイナーコード聴取時の賦活部位	41
B.8	被験者 2 のメジャーコード聴取時に対するマイナーコード聴取時の賦活部位	42

表目次

3.1	和音聴取時のアンケート内容	6
3.2	被験者に提示した和音のリスト	11
4.1	SVM による各カーネル毎の識別率	12
4.2	SVM による各カーネル毎のパラメータ	12
4.3	SVM による各カーネルの識別結果	13
A.1	C コード聴取時のアンケート結果	20
A.2	C#コード聴取時のアンケート結果	21
A.3	D コード聴取時のアンケート結果	22
A.4	D#コード聴取時のアンケート結果	23
A.5	E コード聴取時のアンケート結果	24
A.6	F コード聴取時のアンケート結果	25
A.7	Cm コード聴取時のアンケート結果	26
A.8	C#m コード聴取時のアンケート結果	27
A.9	Dm コード聴取時のアンケート結果	28
A.10	D#m コード聴取時のアンケート結果	29
A.11	Em コード聴取時のアンケート結果	30
A.12	Fm コード聴取時のアンケート結果	31
B.1	被験者 2 から得られた有意なボクセル座標	33
B.2	被験者 2 から得られた有意なボクセル座標続き	34

第 1 章

序論

現在、音楽に対する検索手法としてはメタデータを用いた検索や歌声による検索が知られている。しかし前者は特定の曲を検索するのにタイトルや作者など検索対象のメタデータが必要であり、後者は歌声に対応した曲しか検索できないため、ジャンル検索などができない。そこで、BCI(Brain Computer Interface)を用いることにより、脳活動から直接音楽検索を行うことが考えられる。しかし音楽は聴く人の感情や経験、知識などによって、受ける印象の個人差が大きく、旋律や拍子など多くの要素を含むため、そのまま判別を行うのは難しい。そこで、本研究ではBCIを用いた音楽検索における研究の基礎として、脳活動から和音を識別する研究を行う。和音は音楽の三要素の一つであり、聴取時における印象の個人差が少ないと考えた。また音の組み合わせによって長和音、短和音、不協和音などの種類に分類でき、それらの与える印象はそれぞれ異なる。現在聴覚についてはNIRS(Near Infra-Red Spectoroscopy)やMEG(Magnetoencephalography)などによりジャンル識別や音声聴取時の研究が行われている [1][2] が、本研究では、空間分解能の高いfMRI(Functional Magnetic Resonance Imaging)を用いて脳活動を撮像する。しかしfMRIによる撮像時、コイルの振動によって騒音が発生するため大きなノイズが発生する [7] が、一定間隔を空けて撮像をするスパース撮像法を用いることで騒音による脳活動の影響を抑制し撮像を行う。本研究では和音聴取時の脳活動をfMRIによって撮像し、その撮像データから長三和音と短三和音をサポートベクターマシンによって識別する。

第2章では，識別に用いた手法及び関連研究について述べる．第3章では実験内容について，実験デザインと試行内容，識別の前処理，識別に用いる各カーネルについて述べる．第4章では各カーネル毎の識別率，識別結果を示し，得られた結果に対する考察を述べる．第5章で研究全体についての総括を述べる．

第 2 章

関連研究と脳活動解析手法

2.1 聴覚に関するブレインデコーディング

近年、脳活動を計測する装置を用いた、聴覚と脳活動の関連についての研究が数多く行われている。本節ではそれらの関連研究について述べる。関ら [1] による、MEG を用いた和音聴取時の印象とその際の脳活動との関係についての研究では、脳半球と和音のグループを要因とした 2 要因の分散分析及び主観評価によって長和音と不協和音の間に有意な差があったことが確認されている。また掛川ら [2] の、音楽聴取時の脳活動を 2chNIRS で計測し、ランダムフォレストとサポートベクターマシンによって既知性識別とジャンル識別に関する研究により、77%および 90%程度の識別が行えることが示されている。添田らの研究 [3] では、音楽について音色や旋律に注意を払った際における脳活動の賦活部位を fMRI によって計測し、左の運動前野が関連していることを示している。

2.2 スパース撮像法

fMRI は、撮像に伴い 100dB 程度の大きな騒音が発生する。聴覚における脳活動を撮像する際、その騒音による影響を取り除く必要があるため、本節ではスパース撮像法を用いた。スパース撮像法について、森らの研究 [4] および平田らの研究 [5] において、fMRI 騒音による聴覚野の反応が表れ始めるまでおそらく 2 秒程度の潜時があるため、撮像を最後の 2 秒程度に集中することで、騒音の影響を避けることが可能であることが示されている。

2.3 サポートベクターマシン

本節では本研究で学習に用いるサポートベクターマシン (Support Vector Machine:SVM) について説明する。サポートベクターマシンは、教師あり学習を用いる識別手法の一つであり、線形しきい素子を利用して2クラスのパターン識別機を構成する手法である。最適化問題を解くことで、訓練サンプルからマージン最大化の原理に従い、線形しきい素子のパラメータを学習する。マージン最大化とは、最も近い訓練サンプルと分離超平面との余裕をマージンが最大となるような分離超平面を求める。これによって未知のデータに対しても高い識別精度を期待できる。この分離超平面の近傍に位置する訓練点をサポートベクトルと呼ぶ。決定関数でクラス判別を行う場合、サポートベクトルのみを使用するため実質的に次元を削減することができる。しかし実問題の識別において線形分離可能であることは稀であるため、サポートベクトルをより高次元の特徴空間に写像することで非線形な識別を行う。この手法をカーネルトリックと呼び、各学習データに対してそれぞれ最適なものを適宜選択する。また SVM においては、それぞれの学習データに対して最適な γ 値と cost 値を設定することが必要である。 γ 値は識別平面の複雑さに関するパラメータであり、cost 値は線形分離不可能なデータに対して、多少の識別誤りを許容する程度を示す。

2.4 fMRI

本節では本研究で脳活動の撮像に用いる fMRI(Functional Magnetic Resonance Imaging) について説明する。fMRI は、MRI(Magnetic Resonance Imaging) を利用して脳活動を視覚化する方法の一つであり、核磁気共鳴現象 (Nuclear Magnetic Resonance:NMR) という物理現象を利用した MRI 装置によって脳活動を撮像し、視覚化する手法である。ある神経細胞が活動するとき、その周辺の毛細血管内の赤血球に含まれる、ヘモグロビンによって運ばれた酸素が消費される。酸素利用の反応によってその部位の血流が増加することが知られており、それを撮像することによって賦活部位を推定する。NIRS などの、脳表面の活動を計測する機器に比べて脳全体を高い解像度で画像化できる。

第 3 章

実験内容

3.1 主観評価調査

脳活動から和音を識別する実験の予備実験として、被験者に和音を提示した際の主観評価を主成分分析することで、長和音と短和音から受ける印象に差があるかを調査した。

3.1.1 被験者

正常な聴覚を持つ 13 名の成人男性 (22 歳 5 名, 23 歳 6 名, 24 歳 2 名), 3 名の成人女性 (各 21 歳) が被験者として参加した。

3.1.2 刺激作成

提示刺激として、Audacity により正弦波を合成した和音を作成する。本実験においては 262Hz, 277Hz, 294Hz, 311Hz, 330Hz, 349Hz をそれぞれ根音とする計 12 種類の長三和音 (C, C#, D, D#, E, F コード) と短三和音 (Cm, C#m, Dm, D#m, Em, Fm コード) を作成した。

3.1.3 実験手順

アンケート実施

被験者にスピーカーから 12 種の各和音をランダムな順序で 20 秒間提示し、被験者にその際感じた印象をアンケートに回答してもらった。アンケート内容は 15 項目の感性語対に、

3.1 主観評価調査

SD 法に基づいた 7 段階評価を設けたものである。実際のアンケート内容は表 3.1 に示す。この際、和音の提示順序による評価への影響をなくすため、被験者を 2 グループに分け、それぞれ和音の提示順のみを変更した同実験を行った。アンケート結果の詳細は付録 A に記載する。

表 3.1 和音聴取時のアンケート内容

		非常に	かなり	やや	どちらでもない	やや	かなり	非常に	
1	静かな	3	2	1	0	1	2	3	賑やかな
2	弱弱しい	3	2	1	0	1	2	3	力強い
3	暗い	3	2	1	0	1	2	3	明るい
4	軽量感のある	3	2	1	0	1	2	3	重量感のある
5	不快な	3	2	1	0	1	2	3	心地よい
6	平凡な	3	2	1	0	1	2	3	刺激的な
7	冷めた	3	2	1	0	1	2	3	熱い
8	落ち着いた	3	2	1	0	1	2	3	激しい
9	人工的な	3	2	1	0	1	2	3	自然な
10	陰気な	3	2	1	0	1	2	3	陽気な
11	楽しい	3	2	1	0	1	2	3	悲しい
12	知的な	3	2	1	0	1	2	3	ワイルドな
13	日常的な	3	2	1	0	1	2	3	ドラマティックな
14	ちまちました	3	2	1	0	1	2	3	壮大な
15	泣ける	3	2	1	0	1	2	3	笑える

主成分分析

アンケートによって得られた値の内、各設問において左側の選択肢を負の値、右側の選択肢を正の値として行列データとし、それを R によって主成分分析した。

3.1 主観評価調査

3.1.4 主成分分析結果

主成分分析の結果は図 3.1 のようになった。第 1 主成分において長和音と短和音間で大きな差異が見られる。第二主成分は C#コードを除き、長和音と短和音にそれほど大きな差異はない。

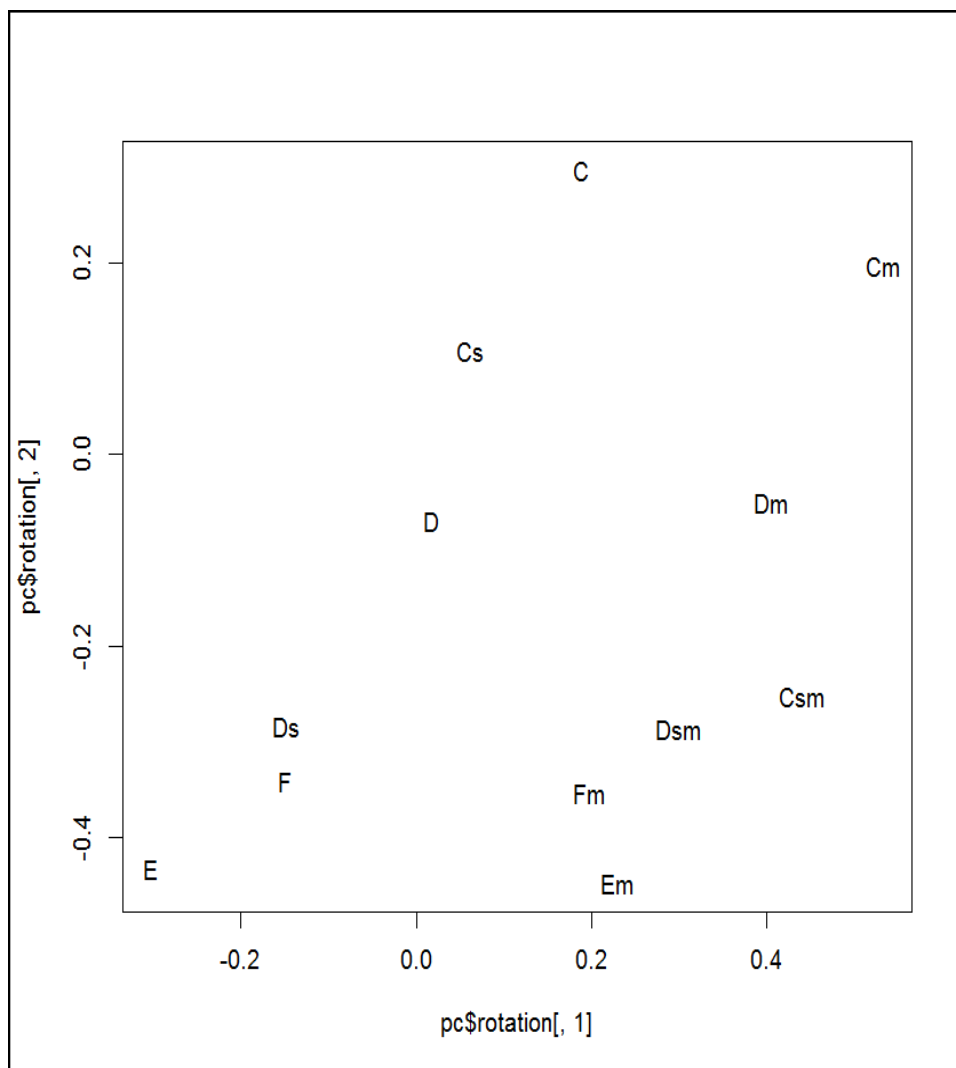


図 3.1 主成分分析結果

3.2 fMRI による撮像実験

3.1.5 考察

長和音と短和音について比較すると、第1主成分に大きな差異が見られたが、第2主成分についてはとりわけ大きな差異は見られなかった。また、第2主成分は同周波数を根音とする長和音と短和音がほぼ横並びとなっていることから、おそらく第2主成分は音の高低による印象の差を表しているものだと考えられる。C#の差異は、おそらく提示音の順番における体感的な違いだと考えられる。以上のことから、長和音と短和音に対する印象は第1主成分を参照することで区別可能である可能性が示唆された。

3.2 fMRI による撮像実験

本項では、実施した実験についての詳細を示す。

それぞれ被験者の情報、作成した刺激、fMRIの計測パラメータ、試行内容、SVMを用いた和音識別の手順について示す。

3.2.1 被験者

正常な聴覚をもつ2名の成人男子(21歳, 23歳)が被験者として参加した。被験者は高知工科大学倫理委員会承認に基づくfMRI装置についての説明、実験の内容と要する時間、安全性、個人情報保護についての説明を受け、同意した上で参加した。

3.2.2 刺激作成

提示刺激として、Audacityにより正弦波を合成した和音を作成する。今回の実験においては262Hz, 277Hz, 294Hz, 311Hz, 330Hz, 349Hzをそれぞれ根音とする計12種類の長三和音(C, C#, D, D#, E, Fコード)と短三和音(Cm, C#m, Dm, D#m, Em, Fmコード)を作成した。

3.2 fMRI による撮像実験

3.2.3 計測パラメータ

本研究では、fMRI 装置として SIEMENS 社の MAGNETOM Verio(3T) を使用する。撮像パラメータは、FOV192mm, 64×64 matrix, フリップアングル 90° , 1 ボクセルあたりのサイズが $3.0 \times 3.0 \times 4.0$ (mm), スライス厚 4mm, スライス数 35 枚, TE50ms, TR3000ms とする。

3.2.4 試行内容

図 3.2 が実験デザインである。fMRI 内の被験者に、ヘッドフォンから 12 種の各和音をランダムな順序で 10 秒間提示する。この際、fMRI の撮像に伴うコイルの振動によって 100dB 程度の非常に大きな騒音が発生する [7]。そこで、その騒音によるノイズを可能な限り取り除く撮像手法として、一定間隔毎の撮像を行うスパース撮像法を用いる。聴覚における脳活動の潜時は 2 秒程度と言われている [4] ため、撮像を提示する聴覚刺激の最後の 3 秒に集中することで、撮像時の騒音の影響を可能な限り少なくする。また、各和音間の影響も考慮し、各和音毎に 8 秒間の無音期間を設ける。被験者に提示した和音とその順序を表 3.2 に示す。これを 10 試行行う。

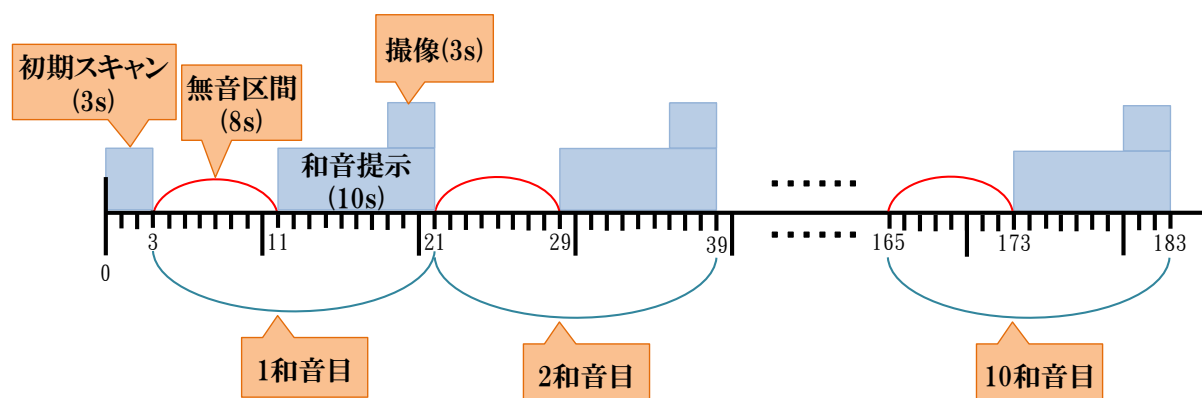


図 3.2 試行内容

3.3 SVM を用いた和音識別

fMRI の撮像データには試行と関係のない信号も含まれる．そこで統計的な解析を行い有意な活動のみを取り出す必要がある．この解析には SPM8 を使用する．fMRI の撮像データは DICOM 形式で保存されるため，MRIConvert を用いて SPM で処理可能な Analyze 形式に変換する．統計解析の前処理は Realign, Normalise, Smooth の順で行う．各条件において有意な活動の見られる脳領域において ROI セッション解析を行い，検出された全クラスターの各ボクセルの座標と輝度を統計量ファイルに保存する．統計解析には t 検定を用い，p 値の有意水準は 0.001 とする．その際の有意な賦活が見られたボクセルを付録 B において示す．更にこのデータセットに対し，外れ値の除去，時間方向でのトレンド除去，ブロック単位での平均化，時間方向のベースラインによる正規化を行う．

以上の処理を行ったデータセットに対し，SVM の各カーネルを用いて長三和音と短三和音の識別を行う．なお，今回の実験においては聴覚野だけでなく脳全体の脳活動から識別率を推定するため，マスキングは行わない．最も良い識別率を求めるため，各カーネル毎にガンマ値が $10^{-5} \sim 10^5$ ，コスト値が $10^{-3} \sim 10^3$ の範囲内でグリッドサーチを行う．

3.3.1 グリッドサーチ

SVM においては適切なパラメータ (γ 値, cost 値) を設定することによって識別率が向上する．そこで特定の範囲内でパラメータの値を変化させ，最も良い識別率を導出する手法がグリッドサーチである．今回は γ 値を 10^{-5} , 10^{-4} , ..., 10^5 までの 11 段階, cost 値を 10^{-3} , 10^{-2} , ..., 10^3 の 7 段階でグリッドサーチした後，その中で識別率が高い付近を再度 γ 値を 11 段階, cost 値を 7 段階で分割してグリッドサーチを繰り返し，最も高い識別率を求める．

3.3 SVM を用いた和音識別

表 3.2 被験者に提示した和音のリスト

提示順	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Run1	Fm	C#m	E	C#	F	C	D#m	D	D#	Em	Cm	Dm
Run2	E	D#	Fm	C#	D#m	D	Cm	C#m	Dm	C	F	Em
Run3	C	F	Dm	Em	C#	Cm	D#m	D#	Fm	C#m	E	F
Run4	C	Cm	C#m	Dm	D#m	C#	D#	D	E	F	Em	Fm
Run5	Fm	F	C#m	Em	Cm	Dm	E	D#	D	D#m	C	C#
Run6	Fm	Em	C	C#m	C#	E	F	D#m	Cm	D	D#	Dm
Run7	Dm	Dm	E	D#m	C	D#	D	F	C#m	Cm	C#	Em
Run8	C	D#	Dm	D	C#	Cm	C#m	D#m	E	Em	F	Fm
Run9	Fm	D#m	D#	Em	F	Cm	D	C#	C	Dm	E	C#m
Run10	Fm	D	F	D#m	E	Fm	Em	Cm	C#	C#m	D#	C

第 4 章

結果と考察

4.1 結果

各カーネルによる識別率を表 4.1 に，その際に使用したパラメータを表 4.2 に示した．更に，各カーネルの識別内容を表 4.3 に示した．最も識別率が良いのは両被験者ともシグモイドカーネルを用いた場合だった．被験者 1 においては線形カーネル及び RBF カーネルも 50%を上回っているものの，被験者 2 においてはそれぞれ 48.33%，50%とチャンスレベル 50%を下回っている．また，短三和音の方が全体的に識別率が高くなっている．

表 4.1 SVM による各カーネル毎の識別率

カーネル	linear	polynomial	RBF	sigmoid
被験者 1	56.67%	50%	53.33%	61.67%
被験者 2	48.33%	50%	50%	55%

表 4.2 SVM による各カーネル毎のパラメータ

カーネル		linear	polynomial	RBF	sigmoid
被験者 1	gamma 値	0.0001	0.01	0.001	1.7
	cost 値	10	0.01	10	500
被験者 2	gamma 値	0.0001	0.01	0.001	0.01
	cost 値	1	0.01	0.0001	300

4.1 結果

表 4.3 SVM による各カーネルの識別結果

linear			
被験者 1		識別されたラベル	
		長三和音	短三和音
実際のラベル	長三和音	32	28
	短三和音	24	36
被験者 2		識別されたラベル	
		長三和音	短三和音
実際のラベル	長三和音	28	32
	短三和音	30	30

polynomial			
被験者 1		識別されたラベル	
		長三和音	短三和音
実際のラベル	長三和音	6	54
	短三和音	6	54
被験者 2		識別されたラベル	
		長三和音	短三和音
実際のラベル	長三和音	6	54
	短三和音	6	54

RBF			
被験者 1		識別されたラベル	
		長三和音	短三和音
実際のラベル	長三和音	25	35
	短三和音	31	39
被験者 2		識別されたラベル	
		長三和音	短三和音
実際のラベル	長三和音	6	54
	短三和音	6	54

sigmoid			
被験者 1		識別されたラベル	
		長三和音	短三和音
実際のラベル	長三和音	34	26
	短三和音	20	40
被験者 2		識別されたラベル	
		長三和音	短三和音
実際のラベル	長三和音	29	31
	短三和音	23	37

4.2 考察

各カーネルでの識別結果において、最も良い識別率はシグモイドカーネルを用いた61.67%及び55%だった。チャンスレベル50%は超えているものの、識別率として見ると高いと言うことはできない。これにはいくつかの要因が考えられる。まずは脳活動撮像の段階で、無音区間中の脳活動の撮像を行わなかったため、ベースラインを正しく算出できなかった可能性が考えられる。次に、スパース撮像法によるノイズの影響の軽減が十分ではなかったか、もしくは各試行で各和音について1度の撮像しかできなかったため、学習データが十分ではなかったか、またはその両方が考えられる。更に、長時間安静な状態で近似した周波数の和音を提示し続けたため、和音に慣れてしまったという可能性が考えられる。そして最後に、長和音と短和音をそれぞれ単体で提示した場合には、脳活動に大きな違いが現れないという可能性が考えられる。また短三和音の識別率が全体的に高くなっているが、これは短三和音として識別されたものが多いため、結果として短三和音の識別率が向上したのではないかとと思われる。

以上の実験結果を踏まえ、識別率を向上させるためには、スパース撮像法の改良が考えられる。本実験デザインは撮像枚数が少なく、また無音区間の撮像も行わなかった。今後は和音提示中に一定間隔の撮像を複数回行う、無音区間の撮像も行うなどすることでサンプル数の増加やベースラインの算出を正しく行えるようになる可能性がある。また慣れが生じないよう、実験時間の調整も必要だと思われる。更に、正弦波の合成による和音だけでなく、楽器による和音や歌声についても実施することで、感情などの面からも検討が可能となる可能性が考えられる。

第 5 章

結論

本研究では、BCI を用いた音楽検索の基礎研究として、音楽の三要素の一つである和音に対し、SVM を用いた脳活動からの和音識別を行なった。正弦波を合成することによって長和音及び短和音を、それぞれ 6 種類ずつ作成し、それを提示刺激に用いた。ランダムな順序で各和音を提示した際の被験者の脳活動を、一定間隔を空けて撮像するスパース撮像法という手法を用いて撮像した。得られた撮像データに対して SVM を用い、各カーネルにおける長和音と短和音の識別率を求めた。この際グリッドサーチによって γ 値を $10^{-5} \sim 10^5$ 、cost 値を $10^{-3} \sim 10^3$ の範囲から最良のパラメータを求めた。その結果、シグモイドカーネルを用いた場合が最も高い識別率が得られることがわかったが、最大でも 61.67% と高い識別率とは言えなかった。今後はこの識別率を向上させるため、撮像手法、提示音の種類、音の提示時間、実験に要する時間など、実験手法を再検討することが求められる。

謝辞

本研究を行うにあたり，終始ご指導ご鞭撻を頂きました卒業論文指導教員の本学情報学群・吉田真一准教授に心より感謝致します。また，副査として本研究の評価をして頂きました本学情報学群・福本昌弘教授及び同学群・繁榊博昭准教授に深く感謝致します。

本学情報学群吉田研究室・小池規伎氏には fMRI 装置の運用，SVM の使用法についてなど研究全体においてのご指導いただきましたこと感謝申し上げます。

最後になりましたが，fMRI 実験に参加していただいた被験者の皆様，及び研究活動に様々な形でご協力いただいた吉田研究室の皆様に感謝致します。ありがとうございました。

参考文献

- [1] 関 大輔, 横澤 宏一, “純正律和音が与える印象と脳磁界活動との関係性の評価,” 電子情報通信学会技術研究報告. NC, ニューロコンピューティング 111(483), PP. 371-376, 2012 年.
- [2] 掛川 茉祐, 小宮山 諒, 菊池 真之, “2chNIRS を用いた音楽聴取時の脳活動解析,” 情報処理学会研究報告. [音楽情報科学] 2013-MUS-100(2), PP. 1-5, 2013 年.
- [3] 添田 直樹, 久保 拓真, 根本 幾, “音楽聴取時の注意の脳活動に対する影響の fMRI 計測,” 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティクス 111(367), PP. 27-29, 2011 年.
- [4] 森 浩一, 外山 崇子, 三井 真紀, 今泉 敏, 志村 洋子, 中島 八十一, “fMRI による聴覚皮質の反応の測定,” 電子情報通信学会技術研究報告, 98(639), PP. 77-84, 1999 年.
- [5] 平田 直樹, 森 浩一, 古屋 泉, “機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) による横側頭回及び上側頭回の音誘発反応,” 国立身体障害者リハビリテーションセンター研究紀要, 22, PP. 9-14, 2001 年.
- [6] 橋爪 寛, “機能的 MRI を用いた, 第二言語習得における外国語音声模倣の神経基盤の解明,” 東北大学大学院医学系研究会科学専攻博士論文, 2011 年.
- [7] 竹本 浩典, 北村 達也, “MRI に基づく音声生成の研究手法の概要,” 電子情報通信学会誌 94(7), PP. 585-590, 2011 年.

付録 A

長和音と短和音に対する印象の主成分分析

本章においては、和音の識別を行う際の基礎研究として、長和音と短和音を聴取した際の印象を SD 法に基づいた感性語対のアンケートで調査し、そのアンケート結果を主成分分析して得られた結果とその考察について示す。

A.1 被験者

正常な聴覚を持つ 13 名の成人男性 (22 歳 5 名, 23 歳 6 名, 24 歳 2 名), 3 名の成人女性 (各 21 歳) が被験者として参加した。

A.2 刺激作成

提示刺激として、Audacity により正弦波を合成した和音を作成する。本実験においては 262Hz, 277Hz, 294Hz, 311Hz, 330Hz, 349Hz をそれぞれ根音とする計 12 種類の長三和音 (C, C#, D, D#, E, F コード) と短三和音 (Cm, C#m, Dm, D#m, Em, Fm コード) を作成した。

A.3 実験手順

A.3.1 アンケート実施

被験者にスピーカーから 12 種の各和音をランダムな順序で 20 秒間提示し，被験者にその際感じた印象をアンケートに回答してもらった．アンケート内容は 15 項目の感性語対に，SD 方に基づいた 7 段階評価を設けたものである．実際のアンケート内容は表 3.1 に示す．この際，和音の提示順序による評価への影響をなくすため，被験者を 2 グループに分け，それぞれ和音の提示順のみを変更した同実験を行った．

A.3 実験手順

A.3.2 主成分分析

アンケートによって得られた値の内，各設問において左側の選択肢を負の値，右側の選択肢を正の値として行列データとし，それを R によって主成分分析した。

A.4 実験結果

A.4.1 アンケート結果

各和音に対する回答結果が表 A.1～表 A.12 である。

表 A.1 C コード聴取時のアンケート結果

設問番号	被験者 16 人 (順不同)															
1	0	-1	-2	-2	-1	-3	-2	-3	-2	1	-1	-1	-2	-2	-1	-3
2	-3	-1	-1	-2	-1	-2	-2	-3	-1	1	-2	-1	-2	-2	-1	-2
3	-2	-1	1	-2	-3	-2	-2	1	-1	1	-1	1	-2	-2	-1	-3
4	0	2	-1	1	1	-1	2	2	1	0	0	1	-1	-1	1	0
5	0	0	1	0	0	1	-1	3	0	2	0	1	-1	2	-1	-3
6	0	0	0	0	0	0	-1	-3	0	-3	0	-1	-1	-1	0	0
7	0	-1	1	-1	-1	-2	-2	-1	0	0	0	1	-1	-1	1	0
8	-1	0	1	-3	-2	-3	-2	-3	-1	0	-1	-1	-1	-2	0	0
9	-2	-1	0	-1	0	-1	-2	2	-1	-2	0	1	-2	-1	0	-2
10	0	-1	1	-2	-1	-1	-2	-1	-1	2	0	1	-2	1	-1	-2
11	1	0	-1	2	1	1	2	-2	1	-2	0	-1	2	-1	0	0
12	0	0	0	1	0	-1	-1	-2	0	0	-1	0	-1	-2	0	0
13	0	0	0	-2	0	0	0	-2	0	-2	0	-1	1	-1	0	0
14	0	0	0	-1	0	1	-1	-2	0	0	0	1	-1	-1	0	0
15	0	0	0	-1	-1	0	-1	1	0	1	0	0	-1	0	0	0

A.3 実験手順

表 A.2 C#コード聴取時のアンケート結果

設問番号	被験者 16 人 (順不同)															
1	0	-3	-2	-1	0	1	-1	1	0	2	-1	1	-2	1	-1	-1
2	0	-3	0	-1	0	-1	-2	1	0	0	0	-1	-3	1	-1	0
3	-1	-2	2	-2	-3	1	-1	1	-2	2	0	1	-3	1	1	-
4	1	2	-1	-1	3	-1	-1	2	1	0	0	1	-1	0	1	0
5	0	0	1	-2	1	1	-1	2	-1	2	0	1	-2	1	-1	-3
6	0	-1	0	-1	0	-2	-2	-2	0	-2	0	-2	-1	-2	-1	0
7	-1	-1	1	-2	-3	1	-2	1	-1	0	-1	0	-2	1	-1	0
8	-1	-2	-2	-3	-2	-1	-2	1	0	0	-1	-1	-2	-2	-1	0
9	-2	0	0	0	0	-1	-2	2	-1	2	0	1	-2	1	-1	-3
10	-1	-1	1	2	-1	1	-1	2	-2	2	0	1	-2	1	-1	-2
11	0	1	-1	-1	2	0	1	-2	0	-2	0	-1	1	-2	0	0
12	0	0	0	-2	0	0	0	-2	0	0	0	-1	-1	-1	0	0
13	0	0	-1	-2	0	1	0	-2	0	-2	0	-1	-1	-1	0	0
14	0	0	0	-3	0	1	-1	2	0	1	0	1	-1	1	-1	0
15	0	0	0	-1	-1	-2	-1	1	-1	1	0	-1	0	0	-1	0

A.3 実験手順

表 A.3 D コード聴取時のアンケート結果

設問番号	被験者 16 人 (順不同)															
1	0	-2	0	1	-1	2	-1	2	-1	2	0	-1	-1	2	-1	0
2	-3	-3	1	1	-1	2	-2	3	-1	2	0	-1	-1	1	-1	-1
3	-1	-3	1	0	-1	3	-2	3	-1	2	0	0	1	1	1	-1
4	-2	3	0	0	0	-2	-1	3	1	-2	0	-1	-1	-1	-1	0
5	0	-1	1	2	0	2	-1	3	0	3	0	1	-2	-1	1	-3
6	-1	0	0	1	0	0	-1	2	0	-2	0	-1	1	-1	0	0
7	-3	-3	1	0	0	2	-2	3	0	0	0	-1	1	-1	1	-2
8	-1	-3	2	-2	-3	-1	-1	1	-1	0	-1	-1	1	-2	-1	0
9	-3	-2	0	0	0	-1	-2	3	-1	-3	0	1	-2	2	0	-3
10	-1	-3	2	2	-1	1	-1	2	-1	1	0	0	-2	2	1	-1
11	0	3	1	2	0	-1	1	-3	1	-2	1	-1	1	-1	0	0
12	0	0	0	1	0	1	0	2	0	0	0	-1	-1	-1	0	0
13	0	0	1	1	-2	1	0	2	0	-2	0	1	-1	-2	0	0
14	0	0	0	0	0	1	-1	3	0	0	0	0	-1	1	0	0
15	0	-2	1	-1	0	-2	-1	2	0	1	0	0	0	0	0	0

A.3 実験手順

表 A.4 D#コード聴取時のアンケート結果

設問番号	被験者 16 人 (順不同)															
1	1	1	1	2	0	2	1	1	-1	1	-1	1	2	1	1	1
2	1	1	1	2	1	1	-1	2	-1	1	0	-1	2	1	1	1
3	1	1	1	3	1	1	1	2	-1	2	0	1	-2	1	1	0
4	0	-1	-1	0	-1	-2	-1	2	1	-1	0	-2	1	-1	-1	-1
5	0	1	0	2	1	3	-1	1	0	3	0	1	-2	1	-1	-3
6	0	0	1	2	0	1	-1	2	0	-2	0	1	-1	-2	0	0
7	0	0	1	1	0	1	-1	1	-1	0	0	-1	-1	0	-1	0
8	1	1	1	2	-1	-2	-1	1	0	-1	-1	1	-1	-1	0	1
9	-1	-1	0	1	-1	-1	-2	2	-2	-3	0	-2	-2	2	-2	-1
10	0	1	2	2	2	2	1	3	-1	1	0	1	-2	-1	-3	0
11	0	-1	-1	-2	-2	-1	0	-2	1	-2	1	-1	1	1	0	0
12	0	0	0	1	-1	-1	0	2	0	0	0	-1	-1	-1	0	0
13	0	0	0	0	0	-3	0	2	0	-2	0	0	1	-1	0	0
14	0	0	-1	0	0	0	-1	2	0	0	0	2	1	1	0	0
15	0	0	1	1	0	0	-1	2	-1	0	0	0	0	-1	-1	0

A.3 実験手順

表 A.5 E コード聴取時のアンケート結果

設問番号	被験者 16 人 (順不同)															
1	2	1	1	2	1	1	-1	3	0	1	0	1	3	1	1	3
2	1	0	1	2	1	3	-1	2	-1	2	0	1	3	0	1	0
3	2	1	3	2	2	-1	-2	3	-1	2	1	1	2	1	1	1
4	-2	-1	-2	1	0	1	1	2	1	-2	0	-1	-1	1	1	0
5	-1	-1	-3	2	1	1	-1	2	0	3	0	1	-1	1	0	-3
6	0	1	-1	1	1	1	-1	2	0	-3	0	1	2	-1	0	0
7	0	0	1	0	0	-1	-1	3	-1	0	0	1	1	0	1	0
8	2	1	1	2	0	-1	-1	3	0	1	0	-1	2	-2	2	2
9	-2	-1	-1	1	-1	-2	-2	2	-1	-3	0	1	-2	2	0	-1
10	1	0	2	3	1	-1	-2	3	0	2	0	1	1	2	2	0
11	0	0	0	2	-1	0	2	-3	0	-2	0	-1	0	-1	0	0
12	0	0	1	0	0	-2	0	2	0	0	1	-1	1	0	0	0
13	0	0	0	1	1	0	0	2	0	-2	0	1	1	0	0	0
14	0	0	0	-1	0	1	1	3	0	0	0	1	2	0	0	-1
15	0	0	1	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0

A.3 実験手順

表 A.6 F コード聴取時のアンケート結果

設問番号	被験者 16 人 (順不同)															
1	0	1	2	2	2	3	2	3	0	2	0	1	2	2	1	3
2	2	1	1	2	1	-1	1	-1	2	3	0	1	2	2	1	3
3	1	1	3	2	3	2	2	3	-1	3	1	2	2	1	1	1
4	-1	-1	-2	-1	-2	-3	-2	-2	2	-2	-1	-1	-1	0	1	-1
5	-1	0	-2	3	0	1	-2	1	0	3	0	1	1	1	0	-3
6	0	1	0	1	1	1	0	3	0	-2	0	1	1	-1	1	1
7	0	1	-1	1	0	1	1	2	0	0	0	1	1	1	1	0
8	0	1	-2	2	0	2	1	3	1	1	0	2	2	-2	1	1
9	0	-1	0	0	0	1	-2	-2	-1	-3	0	1	-1	1	-1	0
10	1	1	2	2	2	2	1	2	0	3	1	2	1	1	1	1
11	0	-1	0	2	-2	-2	1	-2	0	-2	1	-2	-1	-2	0	0
12	0	0	0	0	-2	1	0	2	0	0	1	1	2	0	-1	0
13	0	0	-1	0	0	-1	0	1	0	-2	0	1	1	0	0	0
14	0	0	0	2	0	1	1	1	0	0	0	1	2	1	1	0
15	0	0	1	-1	0	1	-1	2	0	0	0	0	0	0	0	0

A.3 実験手順

表 A.7 Cm コード聴取時のアンケート結果

設問番号	被験者 16 人 (順不同)															
1	-2	-2	-3	-3	-1	-3	-2	-3	-1	-1	-1	-2	-2	-1	-1	-1
2	-2	-3	-3	-3	-2	-3	-2	-3	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-1
3	-3	-3	1	-3	-3	-2	-3	-3	-1	-2	-1	-2	-2	-2	-3	-2
4	3	2	2	-1	2	1	2	3	-1	2	0	1	1	1	3	1
5	1	0	0	-2	0	1	0	-3	0	0	0	-1	-2	-1	-3	-3
6	0	0	-2	-1	-2	-1	0	2	0	-1	0	-1	-2	-1	0	0
7	-3	-1	-1	-2	-3	-3	-1	-3	-1	-1	0	-2	-2	-2	-3	-1
8	-1	0	-3	-3	-2	-3	-1	-3	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1
9	0	-1	1	-1	-2	1	-2	-1	-1	-3	0	1	-2	-1	-2	1
10	-3	-1	-1	-2	-3	-3	-2	-3	-1	-2	0	-2	-2	-1	-3	-2
11	2	1	1	3	3	3	1	3	0	2	0	2	2	1	0	1
12	0	0	0	-1	0	-1	0	2	0	0	0	-1	-1	-1	0	0
13	0	0	-1	-2	0	-1	0	2	0	1	0	0	1	1	0	0
14	0	0	0	-1	0	-1	-1	1	0	0	0	-1	-1	0	2	0
15	-1	-1	-1	-2	-2	-1	-1	-2	0	-2	0	0	-1	-2	-2	-1

A.3 実験手順

表 A.8 C#m コード聴取時のアンケート結果

設問番号	被験者 16 人 (順不同)															
1	-1	-1	0	-2	-1	-2	1	-1	-1	2	0	-1	1	-1	-1	2
2	-3	-2	1	-3	-1	-3	-1	-1	-2	3	-1	-1	2	-1	-2	1
3	-2	-3	-1	-3	-2	-2	-2	-3	-2	-2	-1	-2	-2	-1	-3	-3
4	-1	2	0	1	0	1	1	-1	2	2	0	-1	2	0	1	3
5	0	0	-1	-2	0	0	1	-3	-2	-3	-2	-2	0	1	-3	-3
6	0	0	0	-1	0	1	0	2	0	-1	0	-1	1	-1	0	0
7	-1	-2	-1	-2	-1	1	1	-1	-1	-3	-1	-1	-2	-1	-2	0
8	-2	-1	-2	-1	-3	1	1	1	-1	1	0	-2	-1	-2	0	0
9	-1	-1	0	-1	0	-3	-2	-2	-2	-3	0	-1	-2	-1	-3	-3
10	-1	-2	-1	-2	-1	-2	1	-3	-1	-3	-2	-1	-2	-1	-3	-3
11	1	2	2	2	2	3	1	3	2	2	1	2	0	1	3	3
12	0	0	0	0	0	-1	0	1	-1	-1	0	-1	1	-1	0	0
13	0	0	0	-1	0	1	-1	1	0	0	0	1	0	-1	0	0
14	0	0	-2	0	0	1	-1	-1	-1	1	0	-1	-1	0	2	0
15	0	0	0	-3	-2	-1	0	-2	0	-1	0	-1	0	0	-1	0

A.3 実験手順

表 A.9 Dm コード聴取時のアンケート結果

設問番号	被験者 16 人 (順不同)															
1	0	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-2	-3	0	-1	0
2	-1	-1	-2	-3	-1	1	-2	-2	-1	-1	-1	-2	-3	-1	-1	0
3	-1	-1	1	-3	-2	1	-2	-2	-1	-2	0	-2	-3	-2	-1	-1
4	1	1	-1	1	2	1	1	2	1	1	0	1	-2	1	2	1
5	0	0	0	-1	0	-2	-1	-1	0	-2	0	-2	-2	-1	-2	-3
6	0	0	-2	0	0	1	0	1	0	-1	0	-2	-1	-2	0	0
7	-1	-1	0	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-2	0	-1	-1	-1	-2	-1
8	-1	-1	-3	-1	-1	-3	-2	-2	-1	-2	-1	-2	-1	-2	0	-1
9	-1	0	0	-2	0	-2	-2	-1	-2	-3	0	1	-3	-1	-2	-1
10	0	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-2	0	-2	-3	-2	-3	-1
11	0	1	1	2	2	3	2	2	0	2	0	2	2	2	2	1
12	0	0	-1	-2	0	0	0	-1	0	0	0	-1	-2	0	0	0
13	0	0	0	-1	0	-1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0
14	0	0	0	-2	0	0	-1	-1	0	0	0	1	-1	0	0	0
15	0	0	0	-3	-2	-1	0	-2	0	-1	0	-1	0	0	-1	0

A.3 実験手順

表 A.10 D#m コード聴取時のアンケート結果

設問番号	被験者 16 人 (順不同)															
1	-1	-1	-1	-1	-2	1	1	-1	1	2	0	1	-2	-1	-2	3
2	-2	-3	0	-2	-1	-1	1	-2	1	2	-1	-1	-2	1	-2	0
3	-1	-3	-2	-2	-2	1	-1	-3	-2	-2	0	-1	-2	1	1	-1
4	0	3	-2	2	1	-1	-1	-1	2	-1	0	-1	1	1	-1	0
5	0	-1	-2	-2	0	-1	-1	-3	-1	-1	0	0	-2	0	0	-3
6	-2	0	-1	-1	0	1	0	2	0	1	0	-1	-1	-1	0	0
7	-1	-3	-1	-3	-2	1	-1	-2	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-1	0
8	0	-3	-1	-2	-2	-2	1	1	-1	0	-1	-1	1	-1	1	1
9	-3	-3	3	0	0	-2	-2	-3	-1	-3	0	-1	-2	-1	0	-3
10	-2	-3	-2	3	-3	-1	-1	-3	-1	-3	-1	-1	-1	0	-1	-3
11	0	3	3	0	2	1	1	3	1	2	1	1	1	1	1	0
12	0	0	-1	0	0	-1	0	1	0	-2	-1	-1	0	-1	0	0
13	0	0	-2	-1	0	1	0	1	0	0	0	-1	0	-1	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	-1	1	-1	0	0
15	0	-2	-1	-2	-2	0	-1	-2	0	-2	0	0	0	-1	-1	0

A.3 実験手順

表 A.11 Em コード聴取時のアンケート結果

設問番号	被験者 16 人 (順不同)															
1	1	0	1	1	0	-1	-1	1	0	1	0	-1	-2	1	-1	3
2	1	-1	-1	3	0	1	-1	1	1	2	0	-2	-2	1	-1	0
3	3	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-2	0	-2	-2	-2	-1	-3
4	-2	1	-2	3	1	-1	0	2	2	1	0	-1	1	0	1	0
5	-1	-3	1	2	-1	-1	-1	-1	-1	-2	0	-1	-2	-1	-1	-3
6	0	0	0	3	0	1	-1	2	0	1	0	0	-1	-1	0	0
7	0	-1	0	3	-1	-2	-2	1	0	-2	0	-1	-1	-2	-1	0
8	1	1	-2	3	-1	-2	-1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
9	-3	-1	-1	-1	0	-3	-2	-1	-2	-3	0	-1	-2	-1	-3	-3
10	0	-2	0	1	-2	-2	0	-1	-1	-2	-1	-2	-1	-3	-2	-3
11	0	1	1	-1	2	-1	1	2	1	2	0	2	1	3	0	0
12	0	0	0	2	0	-1	-1	2	0	0	0	-1	0	-1	0	0
13	0	0	-1	2	1	1	1	1	0	0	0	-1	0	-1	0	0
14	0	0	0	2	1	0	-1	1	0	1	0	0	1	1	0	0
15	0	0	0	-1	-1	-2	0	-1	0	-1	0	-2	0	-1	-1	0

A.3 実験手順

表 A.12 Fm コード聴取時のアンケート結果

設問番号	被験者 16 人 (順不同)															
1	0	0	1	-2	0	1	-1	1	1	1	-1	1	3	-1	-1	3
2	1	-1	-2	-2	-2	2	1	2	1	-2	-1	-1	2	-2	-1	3
3	-1	-2	-3	-3	-3	1	1	-1	1	-1	-1	1	2	-1	-1	0
4	0	3	-2	2	0	-2	0	2	1	-2	0	-1	2	0	1	1
5	-1	-1	0	-1	0	1	-1	-1	0	1	-1	0	-2	-1	-2	-3
6	-2	-1	0	-1	-1	1	-1	2	0	1	0	-1	2	-2	0	0
7	-2	-2	-1	1	-1	1	-1	2	0	-3	-1	-1	-2	0	-1	0
8	0	-3	-2	-3	-1	-1	-2	2	1	2	-1	-1	1	1	0	3
9	-3	-3	3	-2	0	-2	-2	-1	-1	-3	0	-1	-2	1	-2	-3
10	-3	-3	-1	2	-3	1	0	-1	0	1	-1	-1	-2	-2	-2	1
11	1	3	-2	2	2	0	0	2	0	1	1	1	1	2	0	0
12	0	-1	-1	0	-1	-1	0	2	0	-2	-1	-1	1	0	0	0
13	0	0	-3	2	-1	1	1	2	0	1	0	-1	0	0	0	0
14	0	0	0	-2	1	1	1	2	0	0	0	0	1	1	0	0
15	0	-1	-1	-2	-1	-1	0	-1	0	-1	0	-1	0	-1	-1	0

付録 B

和音聴取時の有意な賦活ボクセル

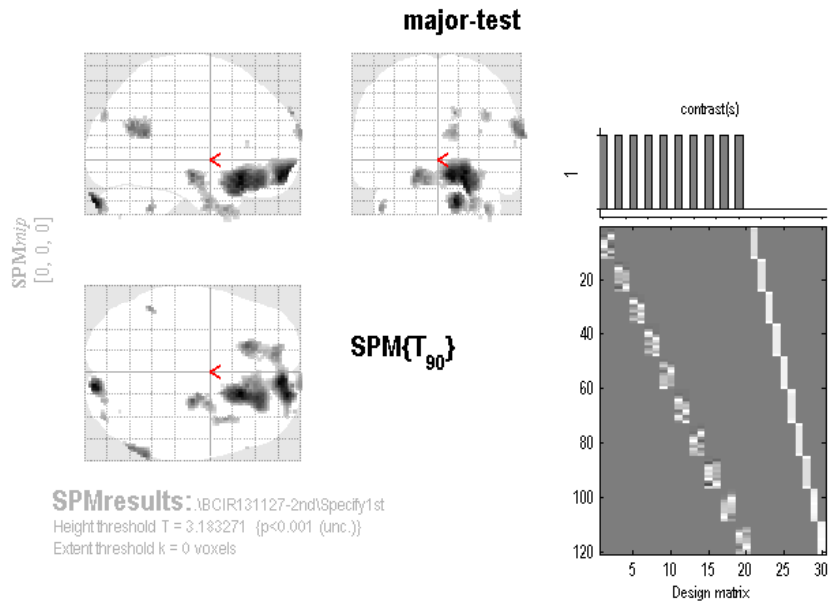
和音聴取時の脳活動から，得られた有意なボクセルの座標の内，被験者 2 のものを表 B.2 及び表 B.1 に示す．被験者 1 は有意なボクセルが 2023 ボクセルと非常に多いため，本節では省略する．ベースラインに対するメジャーコード聴取時とマイナーコード聴取時の賦活部位をそれぞれ図 B.1～図 B.4 に示す．メジャーコード聴取時に対するマイナーコード聴取時の賦活部位を図 B.5 及び図 B.6，マイナーコード聴取時に対するメジャーコード聴取時の賦活部位を図 B.7 及び図 B.8 に示す．

表 B.1 被験者 2 から得られた有意なボクセル座標

x	-52	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-48	-48
y	6	8	8	8	10	10	10	12	12	12	6	6
z	-36	-38	-36	-34	-36	-34	-30	-32	-30	-28	-38	-36
x	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48	-48
y	6	8	8	8	8	8	10	10	10	10	10	10
z	-34	-38	-36	-34	-32	-30	-38	-36	-34	-32	-30	-28
x	-48	-48	-48	-48	-48	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46
y	12	12	14	14	14	6	6	8	8	8	8	8
z	-32	-30	-34	-32	-30	-38	-36	-38	-36	-34	-32	-30
x	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46
y	8	10	10	10	10	10	10	12	12	12	12	12
z	-28	-38	-36	-34	-32	-30	-28	-38	-36	-34	-32	-30
x	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-46	-44
y	12	12	14	14	14	14	14	14	16	16	16	6
z	-28	-24	-38	-36	-34	-32	-30	-28	-36	-34	-32	-38
x	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44
y	6	8	8	8	10	10	10	10	10	12	12	12
z	-36	-38	-36	-34	-38	-36	-34	-32	-30	-38	-36	-34
x	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-44	-42	-42	-42	-42
y	12	14	14	14	14	16	16	16	-60	-60	10	10
z	-32	-38	-36	-34	-32	-38	-36	-34	-40	-36	-38	-36
x	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-42	-40	-40	-40	-38	-38
y	12	12	14	14	16	16	18	-58	14	16	-64	-56
z	-38	-36	-38	-36	-38	-36	-38	-40	-38	-38	-34	-38

表 B.2 被験者 2 から得られた有意なボクセル座標続き

x	-36	-36	-36	-36	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-32
y	-58	-58	-56	-56	-56	-56	-56	-54	-54	-54	-54	-56
z	-40	-38	-44	-40	-42	-40	-38	-50	-48	-46	-40	-42
x	-32	-32	-32	-32	-32	-30	-30	-30	-28	-28	-28	-26
y	-54	-54	-54	-54	-54	-54	-54	-52	-52	-52	-52	-52
z	-48	-46	-42	-40	-38	-42	-40	-48	-50	-46	-44	-42
x	-18	-16	-16	-16	-16	-16	-14	18	18	20	20	20
y	34	34	36	36	38	38	60	20	40	36	38	40
z	-18	-20	-20	-18	-18	-16	-16	-14	-16	-12	-14	-14
x	20	20	20	20	22	22	22	22	24	26	28	28
y	42	46	48	48	34	34	40	40	50	46	44	44
z	-14	-18	-20	-18	-16	-12	-16	-14	-22	-28	-30	-28
x	28	28	28	28	30	30	30	30	30	30	30	30
y	46	46	46	48	44	44	46	46	46	48	48	48
z	-30	-28	-26	-28	-30	-28	-30	-28	-26	-30	-28	-26
x	30	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
y	50	42	44	44	46	46	46	48	48	48	50	50
z	-26	-28	-30	-28	-30	-28	-26	-30	-28	-26	-28	-26
x	34	34	34	34	34	34	36					
y	46	46	48	48	50	50	50					
z	-30	-28	-30	-28	-28	-26	-28					



Statistics: p-values adjusted for search volume

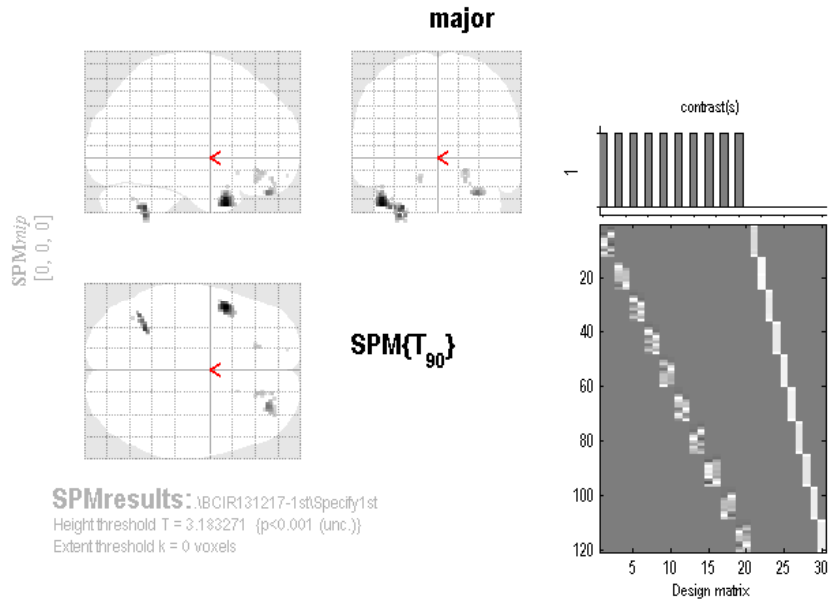
set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm						
p	c	p _{FWE-corr}	q _{FDR-corr}	K _E	p _{uncorr}	p _{FWE-corr}	q _{FDR-corr}	T	(Z _z)	p _{uncorr}							
0.008	13	0.000	0.000	1480	0.000	0.098	0.292	4.63	4.38	0.000	18	22	-16				
						0.126	0.292	4.55	4.31	0.000	20	60	-12				
						0.121	0.292	4.54	4.29	0.000	10	54	-16				
		0.408	0.348	129	0.088	0.127	0.292	4.55	4.30	0.000	12	-94	-34				
						0.936	0.677	3.51	3.39	0.000	24	-86	-38				
						0.458	0.459	4.06	3.88	0.000	24	-16	-14				
		0.306	0.348	159	0.062	0.816	0.569	3.69	3.56	0.000	26	-4	-34				
						0.831	0.569	3.68	3.54	0.000	22	-8	-20				
						0.542	0.520	3.97	3.80	0.000	66	-54	18				
		0.470	0.348	114	0.107	0.629	0.539	3.89	3.73	0.000	60	-64	24				
						0.990	0.856	3.30	3.19	0.001	64	-54	20				
						0.762	0.552	3.76	3.61	0.000	12	64	34				
		0.766	0.637	57	0.245	0.799	0.569	3.72	3.57	0.000	38	10	-40				
						0.975	0.903	11	0.625	0.809	0.569	3.70	3.56	0.000	-48	-50	-40
						0.873	0.755	37	0.348	0.831	0.569	3.68	3.54	0.000	12	70	20
		0.954	0.903	18	0.521	0.895	0.649	3.59	3.46	0.000	38	-86	32				
						0.995	0.909	1	0.909	0.982	0.798	3.35	3.25	0.001	32	66	20
						0.992	0.909	3	0.821	0.985	0.827	3.33	3.23	0.001	60	28	12
0.995	0.909	1	0.909	0.996	0.949	3.22	3.12	0.001	-10	36	-18						
				0.997	0.969	3.20	3.11	0.001	32	-74	-46						

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: T = 3.18, p = 0.001 (0.997)
 Extent threshold: k = 0 voxels, p = 1.000 (0.997)
 Expected voxels per cluster, <k> = 45.410
 Expected number of clusters, <c> = 5.93
 FWEp: 4.840, FDRp: Inf, FWEc: 1480, FDRc: 1480

Degrees of freedom = [1.0, 90.0]
 FWHM = 14.1 14.7 16.1 mm mm mm; 7.0 7.3 8.0 (voxels)
 Volume: 1758656 = 219832 voxels = 431.6 resels
 Voxel size: 2.0 2.0 2.0 mm mm mm; (resel = 415.36 voxels)

図 B.1 被験者 1 のベースラインに対するメジャーコード聴取時の賦活部位



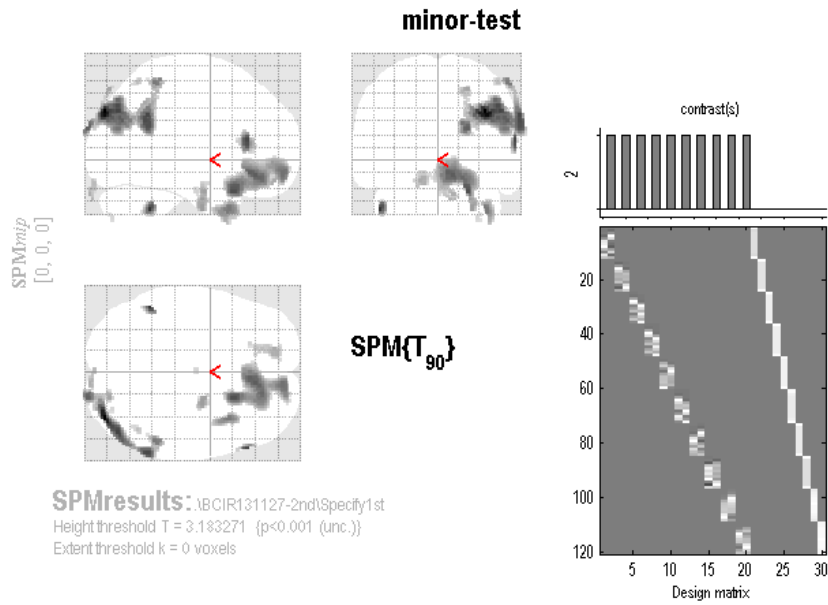
Statistics: p-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level				mm mm mm			
p	C	$p_{FWECorr}$	$q_{FDRcorr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWECorr}$	$q_{FDRcorr}$	T	$(Z_{\#})$	p_{uncorr}			
0.124	15	0.414	0.750	92	0.050	0.585	0.947	4.14	3.95	0.000	-46	10	-38
		0.987	0.863	15	0.409	0.855	0.947	3.87	3.71	0.000	-30	-54	-40
		0.995	0.863	10	0.505	0.919	0.947	3.77	3.62	0.000	-32	-54	-46
		1.000	0.863	2	0.792	0.954	0.947	3.69	3.55	0.000	-40	-58	-40
		0.898	0.863	34	0.214	0.976	0.947	3.62	3.49	0.000	30	44	-28
		0.997	0.863	8	0.555	0.999	0.947	3.35	3.25	0.001	20	36	-12
		1.000	0.863	3	0.737	1.000	0.947	3.32	3.22	0.001	20	48	-18
		0.999	0.863	6	0.615	1.000	0.947	3.32	3.21	0.001	-16	36	-18
		1.000	0.863	1	0.863	1.000	0.947	3.26	3.16	0.001	-46	12	-24
		1.000	0.863	1	0.863	1.000	0.947	3.25	3.15	0.001	24	50	-22
		1.000	0.863	1	0.863	1.000	0.947	3.24	3.14	0.001	22	34	-16
		1.000	0.863	1	0.863	1.000	0.947	3.24	3.14	0.001	-38	-64	-34
		1.000	0.863	1	0.863	1.000	0.947	3.21	3.12	0.001	-42	-60	-36
		1.000	0.863	1	0.863	1.000	0.947	3.21	3.12	0.001	-14	60	-16
		1.000	0.863	1	0.863	1.000	0.947	3.21	3.11	0.001	18	20	-14

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: T = 3.18, p = 0.001 (1.000) Degrees of freedom = [1.0, 90.0]
Extent threshold: k = 0 voxels, p = 1.000 (1.000) FWHM = 11.6 11.7 12.8 mm mm mm; 5.8 5.8 6.4 (voxels)
Expected voxels per cluster, <k> = 23.584 Volume: 1735608 = 216951 voxels = 934.8 resels
Expected number of clusters, <c> = 10.68 Voxel size: 2.0 2.0 2.0 mm mm mm; (resel = 215.71 voxels)
FWER: 5.017, FDRp: Inf, FWERc: Inf, FDRc: Inf

図 B.2 被験者 2 のベースラインに対するメジャーコード聴取時の賦活部位



Statistics: p-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level				mm mm mm			
p	C	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z _z)	p_{uncorr}			
0.000	16	0.005	0.007	645	0.001	0.002	0.028	5.71	5.26	0.000	36	-86	36
						0.045	0.064	4.87	4.58	0.000	48	-76	36
						0.051	0.064	4.84	4.55	0.000	64	-52	32
		0.853	0.739	41	0.323	0.023	0.059	5.07	4.74	0.000	-48	-50	-40
		0.805	0.735	50	0.276	0.046	0.064	4.87	4.57	0.000	60	28	14
		0.000	0.001	1096	0.000	0.069	0.064	4.74	4.47	0.000	22	16	-26
						0.105	0.070	4.61	4.36	0.000	10	34	-14
						0.149	0.078	4.49	4.26	0.000	18	40	-16
		0.488	0.603	110	0.113	0.238	0.101	4.33	4.11	0.000	38	14	-40
		0.738	0.735	62	0.226	0.606	0.251	3.91	3.75	0.000	24	-8	-32
						0.615	0.252	3.90	3.74	0.000	26	-8	-40
		0.958	0.909	17	0.534	0.689	0.295	3.83	3.68	0.000	22	-82	52
		0.788	0.735	53	0.262	0.734	0.328	3.79	3.64	0.000	-16	50	-18
						0.916	0.478	3.55	3.42	0.000	-16	40	-20
						0.993	0.855	3.26	3.16	0.001	-8	54	-14
		0.902	0.783	31	0.392	0.800	0.364	3.71	3.57	0.000	10	-98	-28
						0.890	0.443	3.59	3.46	0.000	0	-94	-20
		0.983	0.909	8	0.684	0.917	0.478	3.55	3.42	0.000	46	-60	58
		0.995	0.909	1	0.909	0.982	0.739	3.35	3.24	0.001	-12	34	-16
		0.987	0.909	6	0.731	0.984	0.747	3.34	3.23	0.001	2	-12	-26
		0.995	0.909	1	0.909	0.986	0.761	3.33	3.22	0.001	-20	30	-18
		0.992	0.909	3	0.821	0.992	0.847	3.27	3.17	0.001	30	-80	-46
		0.995	0.909	1	0.909	0.996	0.942	3.22	3.12	0.001	32	-82	-44

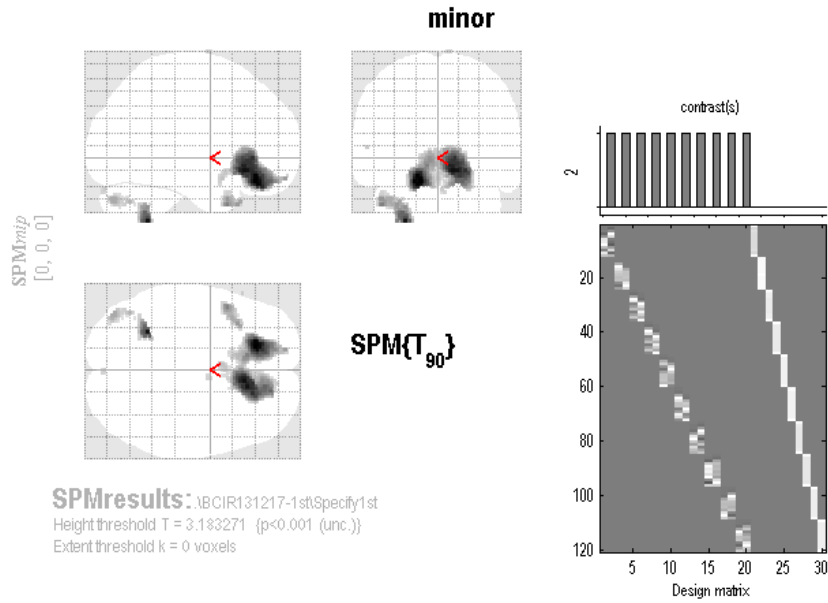
table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: T = 3.18, p = 0.001 (0.997)
 Extent threshold: k = 0 voxels, p = 1.000 (0.997)
 Expected voxels per cluster, <k> = 45.410
 Expected number of clusters, <c> = 5.93
 FWEp: 4.840, FDRp: 5.302, FWEc: 645, FDRc: 645

Degrees of freedom = [1 0, 90.0]
 FWHM = 14.1 14.7 16.1 mm mm mm; 7.0 7.3 8.0 (voxels)
 Volume: 1758856 = 219832 voxels = 431.6 resels
 Voxel size: 2.0 2.0 2.0 mm mm mm; (resel = 415.36 voxels)
 Page 1



図 B.3 被験者 1 のベースラインに対するマイナーコード聴取時の賦活部位



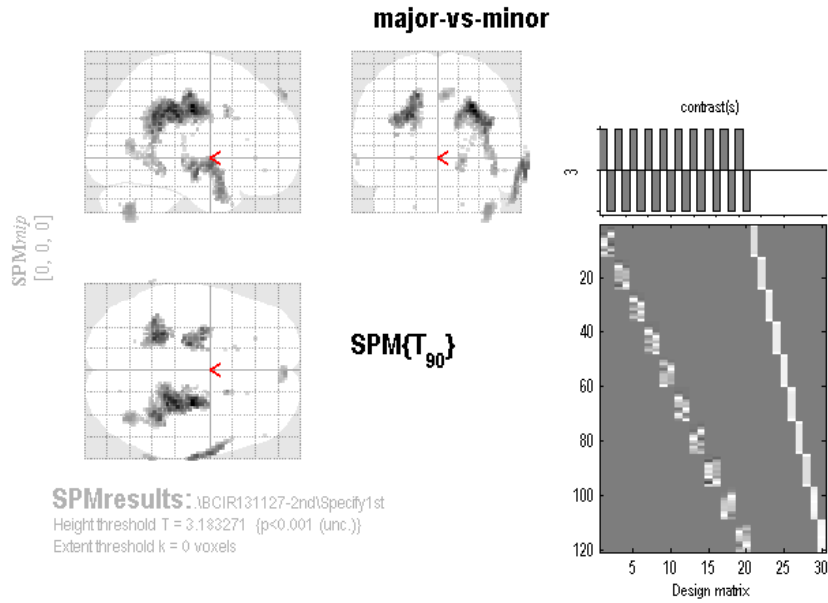
Statistics: p-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	C	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	$(Z_{\#})$	p_{uncorr}			
0.835	8	0.000	0.000	1926	0.000	0.005	0.013	5.64	5.21	0.000	-16	34	-20
						0.012	0.013	5.43	5.03	0.000	10	26	-12
						0.042	0.021	5.07	4.74	0.000	12	32	-2
		0.263	0.091	119	0.029	0.015	0.013	5.35	4.97	0.000	-28	-52	-50
						0.726	0.225	4.01	3.83	0.000	-28	-52	-40
		0.306	0.091	110	0.034	0.550	0.144	4.17	3.98	0.000	-46	12	-38
						0.790	0.254	3.94	3.78	0.000	-34	20	-38
		0.585	0.165	70	0.082	0.916	0.365	3.78	3.63	0.000	-40	-78	-36
						0.984	0.547	3.58	3.45	0.000	-42	-66	-36
		0.999	0.863	5	0.651	0.998	0.755	3.42	3.31	0.000	2	-86	-26
		1.000	0.863	1	0.863	0.998	0.755	3.40	3.29	0.000	-58	24	6
		1.000	0.863	3	0.737	1.000	0.773	3.32	3.22	0.001	8	-4	80
1.000	0.863	1	0.863	1.000	0.990	3.19	3.09	0.001	-38	-62	-38		

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: T = 3.18, p = 0.001 (1.000) Degrees of freedom = [1.0, 90.0]
 Extent threshold: k = 0 voxels, p = 1.000 (1.000) FWHM = 11.6 11.7 12.8 mm mm mm; 5.8 5.8 6.4 (voxels)
 Expected voxels per cluster, <k> = 23.584 Volume: 1735608 = 216951 voxels = 934.8 resels
 Expected number of clusters, <c> = 10.68 Voxel size: 2.0 2.0 2.0 mm mm mm; (resel = 215.71 voxels)
 FWEp: 5.017, FDRp: 4.801, FWEc: 1926, FDRc: 1926

図 B.4 被験者 2 のベースラインに対するマイナーコード聴取時の賦活部位



Statistics: p-values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm				
p	C	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z _≡)	p_{uncorr}					
0.000	43	0.002	0.013	783	0.000	0.083	0.633	4.69	4.42	0.000	28	-16	34		
						0.172	0.633	4.44	4.21	0.000	26	-30	34		
						0.274	0.633	4.28	4.07	0.000	22	-38	34		
		0.064	0.241	325	0.011	0.260	0.633	4.30	4.09	0.000	-26	-40	30		
						0.477	0.633	4.04	3.86	0.000	-36	-46	28		
						0.808	0.734	3.70	3.56	0.000	-22	-52	28		
		0.252	0.570	179	0.049	0.336	0.633	4.19	4.00	0.000	-18	-18	46		
						0.466	0.633	4.05	3.87	0.000	-22	-8	36		
						0.519	0.641	4.00	3.82	0.000	-30	-8	32		
		0.269	0.570	172	0.053	0.426	0.633	4.09	3.91	0.000	68	-12	-12		
						0.457	0.633	4.06	3.88	0.000	66	-2	-8		
						0.644	0.652	3.88	3.72	0.000	62	6	-18		
		0.964	0.909	15	0.561	0.777	0.711	3.74	3.60	0.000	18	12	34		
						0.805	0.734	3.71	3.57	0.000	18	-24	-4		
						0.926	0.783	3.53	3.41	0.000	14	-20	-10		
0.585	0.909	90	0.148	0.835	0.750	3.67	3.53	0.000	40	-66	-40				
				0.906	0.909	3.0	0.400	0.849	0.750	3.65	3.52	0.000	4	58	46
				0.970	0.867	3.41	3.30	0.000	10	54	50				
0.848	0.909	42	0.317	0.873	0.750	3.62	3.49	0.000	36	-64	6				
				0.976	0.872	3.38	3.27	0.001	40	-60	-2				
				0.978	0.909	10	0.643	0.905	0.783	3.57	3.44	0.000	70	-50	0
0.995	0.909	1	0.909	0.946	0.817	3.48	3.36	0.000	-34	-48	16				
0.994	0.909	2	0.860	0.956	0.817	3.46	3.34	0.000	-14	-4	38				

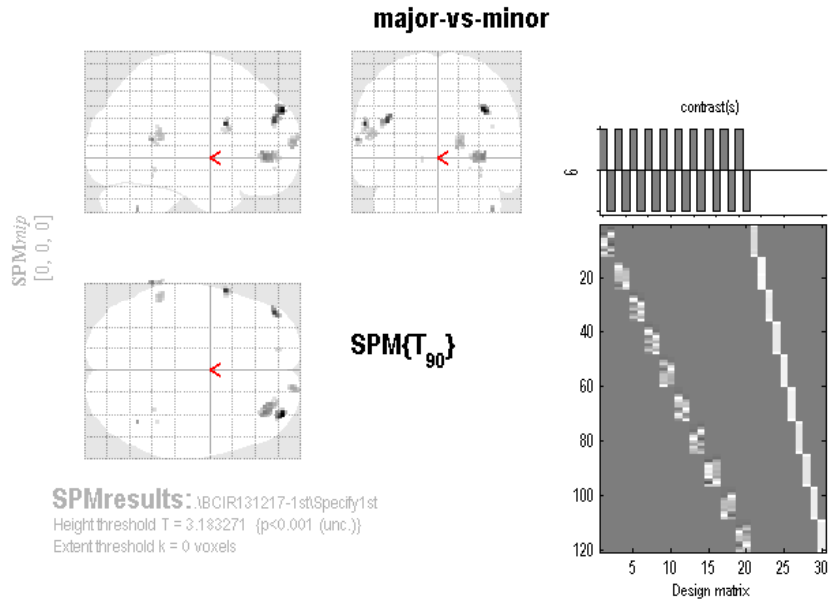
table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: T = 3.18, p = 0.001 (0.997)
 Extent threshold: k = 0 voxels, p = 1.000 (0.997)
 Expected voxels per cluster, <k> = 45.410
 Expected number of clusters, <c> = 5.93
 FWEp: 4.840, FDRp: Inf, FWEc: 783, FDRc: 783

Degrees of freedom = [1.0, 90.0]
 FWHM = 14.1 14.7 16.1 mm mm mm; 7.0 7.3 8.0 (voxels)
 Volume: 1758856 = 219832 voxels = 431.6 resels
 Voxel size: 2.0 2.0 2.0 mm mm mm; (resel = 415.36 voxels)
 Page 1



図 B.5 被験者 1 のマイナーコード聴取時に対するメジャーコード聴取時の賦活部位



Statistics: p -values adjusted for search volume

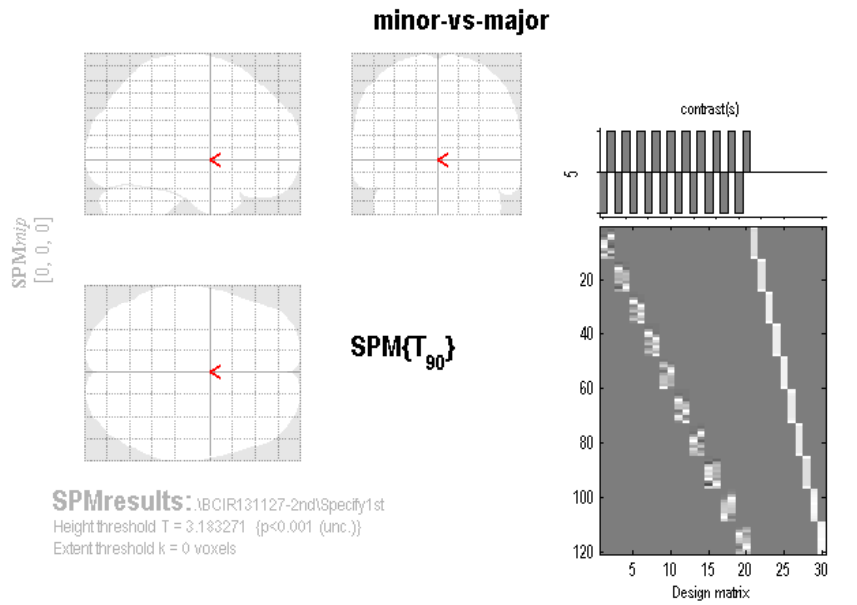
set-level		cluster-level				peak-level				mm mm mm			
p	C	$p_{FWECorr}$	$q_{FDRcorr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWECorr}$	$q_{FDRcorr}$	T	$(Z_{\#})$	p_{uncorr}			
0.124	15	0.957	0.863	24	0.294	0.666	0.990	4.07	3.88	0.000	36	56	34
		0.993	0.863	12	0.463	0.874	0.990	3.84	3.69	0.000	-60	10	24
		0.987	0.863	15	0.409	0.909	0.990	3.79	3.64	0.000	-42	50	26
		0.991	0.863	13	0.444	0.981	0.990	3.60	3.47	0.000	-66	-48	12
		0.766	0.863	50	0.136	0.987	0.990	3.56	3.43	0.000	34	42	-2
						0.999	0.990	3.38	3.27	0.001	28	50	0
		1.000	0.863	2	0.792	0.997	0.990	3.45	3.33	0.000	42	-60	-42
		0.952	0.863	25	0.285	0.998	0.990	3.41	3.30	0.000	16	64	10
		0.987	0.863	15	0.409	0.999	0.990	3.34	3.23	0.001	-56	-42	16
		1.000	0.863	1	0.863	1.000	0.990	3.23	3.13	0.001	32	-48	-16
		1.000	0.863	2	0.792	1.000	0.990	3.21	3.11	0.001	-14	52	-4
		1.000	0.863	2	0.792	1.000	0.990	3.20	3.11	0.001	-62	10	18
		1.000	0.863	2	0.792	1.000	0.990	3.20	3.11	0.001	32	-46	-10
		1.000	0.863	1	0.863	1.000	0.990	3.20	3.10	0.001	24	50	-10
		1.000	0.863	2	0.792	1.000	0.990	3.19	3.10	0.001	-56	12	18
		1.000	0.863	1	0.863	1.000	0.990	3.19	3.09	0.001	42	-44	22

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: $T = 3.18$, $p = 0.001$ (1.000)
 Extent threshold: $k = 0$ voxels, $p = 1.000$ (1.000)
 Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 23.584$
 Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 10.68$
 FWEp: 5.017, FDRp: Inf, FWEc: Inf, FDRc: Inf

Degrees of freedom = [1 0, 90.0]
 FWHM = 11.6 11.7 12.8 mm mm mm; 5.8 5.8 6.4 (voxels)
 Volume: 1735608 = 216951 voxels = 934.8 resels
 Voxel size: 2.0 2.0 2.0 mm mm mm; (resel = 215.71 voxels)

図 B.6 被験者 2 のマイナーコード聴取時に対するメジャーコード聴取時の賦活部位



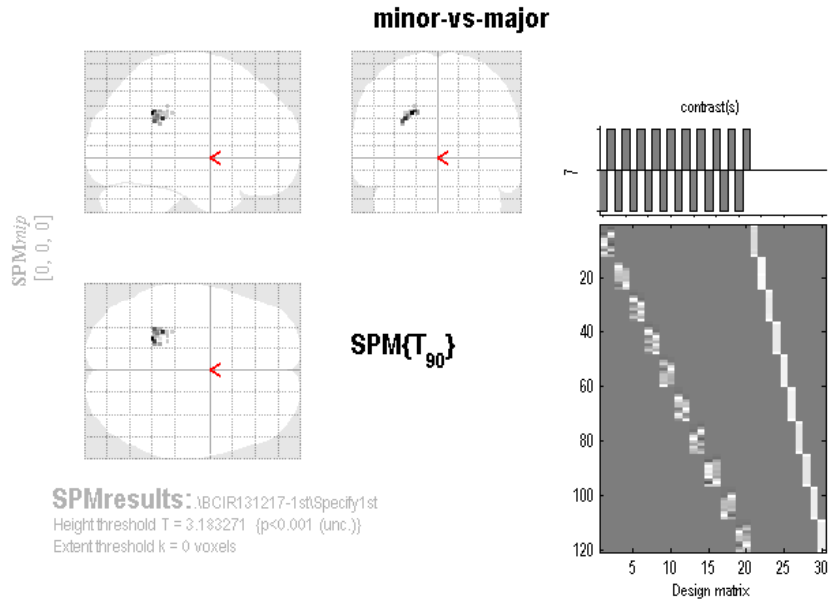
set-level		cluster-level				peak-level				mm mm mm
<i>p</i>	<i>c</i>	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	(Z_{α})	p_{uncorr}

no suprathreshold clusters

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: $T = 3.18$, $p = 0.001$ (0.997)	Degrees of freedom = [1.0, 90.0]
Extent threshold: $k = 0$ voxels, $p = 1.000$ (0.997)	FWHM = 14.1 14.7 16.1 mm mm mm; 7.0 7.3 8.0 (voxels)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 45.410$	Volume: 1758856 = 219832 voxels = 431.6 resels
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 5.93$	Voxel size: 2.0 2.0 2.0 mm mm mm; (resel = 415.36 voxels)
FWEp: 4.840, FDRp: Inf, FWEc: Inf, FDRc: Inf	

図 B.7 被験者 1 のメジャーコード聴取時に対するマイナーコード聴取時の賦活部位



Statistics: p -values adjusted for search volume

set-level		cluster-level				peak-level				mm mm mm	
p	C	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	T	$(Z_{\#})$	p_{uncorr}	
0.981	5	0.998	0.863	7	0.584	0.931	0.980	3.75	3.60	0.000	-22 -48 32
		0.969	0.863	21	0.327	0.974	0.980	3.63	3.50	0.000	-28 -40 28
		1.000	0.863	1	0.863	1.000	0.980	3.27	3.17	0.001	-24 -36 34
		1.000	0.863	1	0.863	1.000	0.980	3.25	3.15	0.001	-20 -36 38
		1.000	0.863	1	0.863	1.000	0.980	3.24	3.14	0.001	-28 -32 32
		1.000	0.863	1	0.863	1.000	0.995	3.19	3.09	0.001	-22 -42 34

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: $T = 3.18$, $p = 0.001$ (1.000)	Degrees of freedom = [1 0, 90.0]
Extent threshold: $k = 0$ voxels, $p = 1.000$ (1.000)	FWHM = 11.6 11.7 12.8 mm mm mm; 5.8 5.8 6.4 (voxels)
Expected voxels per cluster, $\langle k \rangle = 23.584$	Volume: 1735608 = 216951 voxels = 934.8 resels
Expected number of clusters, $\langle c \rangle = 10.68$	Voxel size: 2.0 2.0 2.0 mm mm mm; (resel = 215.71 voxels)
FWEp: 5.017, FDRp: Inf, FWEc: Inf, FDRc: Inf	

図 B.8 被験者 2 のメジャーコード聴取時に対するマイナーコード聴取時の賦活部位