

ハーモニー認知と空間的処理の関連：ERAN を指標として

橋本 翠・宮谷真人

The relation of harmony cognition and spatial processing: An event-related potential study using ERAN

Midori Hashimoto and Makoto Miyatani

ハーモニー処理を反映する ERP 成分として、ERAN が報告されている。本研究では、ハーモニー処理の基礎となる調性階層性が脳内において空間的性質をもつ心的表象として表現されていると仮定し、心的回転課題の遂行が ERAN に及ぼす影響について調べることで、この仮定が妥当であるかどうかを検討した。調性階層性の表象が空間的性質をもつならば、心的回転という空間的要素をもつ課題を同時に行うことで、ERAN の振幅が小さくなると予測した。心的課題、視覚探索課題、および静止画注視課題を遂行中の 12 名の成人から、ナボリの六を含む和音進行に対する ERP を記録した。その結果、心的回転課題条件の ERAN の振幅が、他の 2 条件に比べて小さかった。これは、空間的課題を行うことにより、空間的性質をもつ調性階層性に基づく調性の確立が妨害された結果であると考えられる。

キーワード：ハーモニー，ERP，ERAN，空間的処理，調性階層性

問 題

これまで、ハーモニーの認知処理に焦点をあてた心理生理学的研究は、ハーモニー処理に特有の ERP (event-related potentials) 成分である ERAN (early right anterior negativity) の存在と性質を明らかにすることを目的の一つとしてきた。音楽経験の有無との関連性について、Koelsch, Gunter, Friederici, & Schröger (2000) は、ERAN は、非音楽経験者でも、音楽経験者と比較すると振幅は減衰するものの惹起することを報告している。また、ERAN 成分のラテラルリティ、どのようなハーモニー処理機能に由来するのか、自動性などについて、必ずしも一貫した知見が得られていない。例えば、ラテラルリティについて、Koelsch et al. (2000) は、右側前頭で優勢に惹起すると報告しているが、Leino, Brattico, Tervaniemi, & Vuust (2007) は、左右両側に出現する EAN (early anterior negativity) を報告している。また、Koelsch et al. (2000) は、ハーモニーの処理が言語の統語処理と類似しているという観点から、ERAN は音楽的文脈に対する音楽的期待からの逸脱に起因するとしているが、一方、Leino et al. (2007) は、音楽的文脈からの逸脱というよりはむしろ、西洋音楽における音楽規則からの物理的な逸脱によって出現する成分であると主張している。さらに、ERAN 成分もしくは EAN 成分は、

標準刺激からの逸脱音に対して提示後約 220—350 ms というかなり早い潜時帯で出現する陰性電位であり、ミスマッチ陰性電位 (mismatch negativity: MMN) と類似した成分であることから、ERAN 成分と MMN の異同に関する検討も行われてきた。その結果、MMN 同様に、刺激に注意を向けなくても ERAN は自動的に惹起するという報告 (Koelsch et al., 2000; Koelsch, Gunter, Schröger, Tervaniemi, Sammler, & Friederici, 2001; Loui, Grent-t Jong, Torpey, & Woldorff, 2005; Maidof & Koelsch, 2008) がある一方、橋本 (2011) では、非注意の状況下では ERAN は惹起しなかった。

本研究は、こうした一貫性を欠く研究結果を統一的に理解するための工夫として、ハーモニー認知を支える処理過程の性質に焦点を当てる。まず、ERAN 惹起の背景として、ハーモニー処理の基礎となる調性階層性 (tonal hierarchy) の存在が不可欠であると仮定する。調性階層性とは、調性的文脈をもつ音楽を聴いたとき、心内で、その調のもととなる主音が最も安定する重要な音の高さとして認知されることであり、その安定性が、主音を始めとし、次に主音以外の主和音構成音、その他の全音階音、非全音階音という順で階層的になっている性質のことである (Krumhansl, 1979, 1990; Krumhansl & Shepard, 1979)。この調性階層性は、調性に関する心理学的表現として多く用いられ、ハーモニーを考察するうえで有用である。Krumhansl & Shepard (1979) は、プローブ音法を用いて調性階層性を調べる心理学的な実験を行った。ある音楽的文脈 (例えば、和音配列など) とプローブ音 (半音階上の 12 のピッチの音からランダムに抽出) を提示し、参加者はプローブ音が音楽的文脈にどの程度適合しているかを 7 段階で評定した。その結果、より安定性のあるプローブ音ほど評定が高いことが示された。また、Krumhansl & Kessler (1982) は、12 の要素 (例えば、ハ長調の 3 つのカデンツ F-G-C など) に続けてプローブ音を提示し、プローブ音が要素とどの程度音楽的に合っているかについて 7 段階で評定を行った。その結果、調性の関係はトースであるということを示した (Krumhansl, Bharucha, & Kessler, 1982)。つまり、ある 2 つの調性間の相関が高ければ高いほど、空間的表現において両者は近接することになる。これらの結果は、調性階層性の確立が音楽的文脈を認知するうえでも重要な役割を担っており、その処理過程には空間的要素が含まれることを示唆している。

Bharucha (1984) は、音楽的文脈形成に大きな役割を担っている音楽的期待 (musical expectation) を図式的期待 (schematic expectation) と事實的期待 (veridical expectation) の 2 つに分けている。前者を特定の文化に特化せず、自然発生的でより一般的な図式、すなわちスキーマによってもたらされるものとし、後者を実際の音楽のある部分や特定の記憶、例えば、馴染みのある曲においては、実際に後に続くフレーズについての期待を生み出すようなものとしている。この 2 つの期待のうち、図式的期待には、ある曲の流れの安定性を決定するような情報が埋め込まれており、これが調性階層性であるとしている。つまり、調性をもつある曲を聴いたとき、ある調の下で音や和音の相対的な安定性を反映するものと解釈できる。さらに Bharucha (1987) は、図式的期待が知覚のメカニズムからどのように生じるのかということニューラルネットワークモデルとして示している。これは、音の高さを表すユニットが和音を表すユニットと結合をもっており、和音を表すユニットがさらに調性を表すユニットと結合をもつというモデルである。こうしたモデルでも示されているように、調性階層性と空間的処理は何らかの関係性をもつ可能性が考えられる。

これらのことから、本研究では、調性階層性が空間的性質をもつ心的表象として表現されていると仮定し、空間的処理を妨害すると想定される課題を遂行することが、ERAN に及ぼす影響について検討する。空間的処理についての心理学的な研究に、Shepard & Metzler (1988) が心的回転における刺激の次元と課題のタイプの効果について検討したものがある。刺激として、2次元 (平面) 図形と3次元 (立体) 図形があった。図形提示後に、その図形を平面上で回転させたものを含む複数の図形が提示された。実験参加者の課題は、さまざまな角度に回転して提示された図形が以前に学習した図形と同じであるか、もしくは鏡像であるかを判断することであった。その結果、2次元図形でも3次元図形でも、テスト刺激の回転の角度が大きくなるほど、反応時間が遅延した。また、2次元図形よりも3次元図形に対する反応時間が長かった。これらの結果について、回転角度の効果については心的回転操作という空間的処理の負荷の大きさに起因しており、また、2次元図形よりも3次元図形の方が、空間的負荷が大きいと考えられている。

草坂 (1994) は、計算課題と空間課題を用いて、左右半球のアルファ波ピーク周波数の変化の検討を行った。その結果、計算課題における左半球優位とは対照的に、空間課題としての3次元図形の心的回転作業中、右半球における活動が左半球より大きいことが示された。特に、前頭右半球では、その傾向が著しく、この結果は、大脳の右半球で空間的情報処理が行われていると考える今までの研究報告をある程度支持するものと考えられる (Galin & Ornstein, 1972; Rebert & Low, 1978)。

これらの研究から、3次元図形の心的回転課題が認知処理に大きな負荷をもたらすこと、またそれが特に前頭右半球で行われることが示唆される。ERAN が右前頭優位に出現すること、調性階層性が空間的性質をもつ心的表象として表現されると考えられることから、ハーモニー処理と空間的処理には関連性があることが予想される。

そこで、本研究では、空間的処理が必要な3次元図形の心的回転課題と、必要な程度が小さい2次元図形の視覚探索課題を遂行中の実験参加者からERANを記録した。ワーキングメモリ研究で用いられる二重課題法 (三宅・齊藤, 2001) では、一次課題と二次課題の2つの課題を同時に実験参加者に課し、一次課題だけの場合と比べてどの程度成績が低下するかを調べることにより、一次課題に関与しているワーキングメモリの下位システムを特定する。この考え方を踏まえると、ERAN 惹起の背景にある調性階層性が空間的性質をもつ心的表象として表現されているならば、2次元的視覚探索課題遂行条件ではERANは大きな影響を受けないが、3次元図形の心的回転課題の遂行により、ERANが出現しなくなるか、振幅が低下すると予想できる。さらに、本研究では、ハーモニーによる文脈形成過程にも着目し、音楽的文脈の統合を反映して惹起するとされるN5成分 (Koelsch et al., 2000) を指標として、空間的処理課題の遂行が文脈形成過程に及ぼす影響について検討した。

方 法

実験参加者 19歳から24歳の成人12名 (うち3名男性、平均年齢21.8歳) であった。いずれの参加者も、課題遂行に支障のない視聴覚機能を有していた。実験開始前に参加者全員に実験について紙面および口頭で説明し、実験参加の了解を得た。

実験刺激 音刺激条件として逸脱のない条件 (以下, in-key とする)と 2 つの逸脱条件 (ナポリの六条件 : 以下 Neapoli, 7th 条件 : 以下 7th) の 3 つを設けた (Figure 1)。3 条件のすべての実験刺激は, 4 つの声部によって構成された 5 つの和音による和音進行で, 1—4 番目の和音の提示時間は 600 ms, 5 番目の和音提示時間は 1200 ms であった。32 種類の異なる和音進行を無作為順に配した計 160 個の和音を 1 試行とし, 1 ブロックは 5 試行からなっていた。和音と和音, または和音進行と和音進行との間に無音部はなく, 1 つの和音, あるいは和音進行の提示後, 連続して次の刺激を提示した。全和音進行のうち, 50%がある音階内のみの音からなる和音進行に基づいた逸脱のない条件 (in-key), 25%が和音進行の 3 番目にナポリの六または 7th コード (Neapoli/3rd or 7th/3rd) を配置した和音進行, 25%が和音進行の 5 番目にナポリの六または 7th コード (Neapoli/5th or 7th/5th) を配置した和音進行であった。なお, すべての和音進行はトニックで始まり, 2 番目にトニック, サブメディアント, サブドミナント, メディアントのいずれかを, 3 番目にサブドミナント, ナポリの六または 7th コードのいずれかを, 4 番目にドミナント 7th, 5 番目にトニック, ナポリの六または 7th コードのいずれかを配した。全音楽刺激の 20%で, ピアノ以外の弦楽器音を用いた。

In-key



Neapoli/3rd



Neapoli/5th



7th/3rd



7th/5th



Figure 1. 実験で用いた和音進行の例 (最上段 : in-key, 2 段目 : 和音進行の 3 番目に Neapoli の逸脱音, 3 段目 : 5 番目に Neapoli の逸脱音, 4 段目 : 3 番目に 7th の逸脱音, 5 段目 : 5 番目に 7th の逸脱音)

音刺激は、音楽作成ソフト“singer song writer8.0VS”のMIDIによってピアノ音、もしくは弦楽器音を用いて作成した。音刺激は、眼前から60 cm離れて置かれたスピーカーによって、60 dBの大きさで提示した。刺激提示の制御、トリガー信号の制御には、Psychology software Tool, Inc.製E-primeを使用した。

課題条件 妨害課題条件として、2次元刺激を用いた視覚探索課題（以下、2D課題）、3次元刺激を用いた心的回転課題（以下、3D課題）、対照課題（以下、CON課題）の3条件を設けた。2D課題の刺激は、Venderplas & Garvin (1959)の2次元図形、3D課題の刺激は、Shepard & Metzler (1998)の3次元図形で、それらを画面上にランダムに配置した。また、ターゲット刺激は、画面中央に丸または四角で囲った中に提示した。CON課題の刺激は、静止した風景画像であった (Figure 2)。

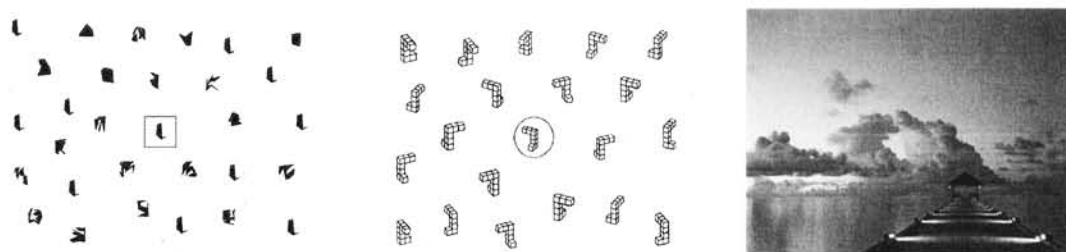


Figure 2. 妨害課題で用いた視覚刺激の例 (左：2次元課題，中央：3次元課題，右：対照課題)

課題 実験参加者の課題は、音刺激を聴取している間、各妨害課題条件で指示された課題を行い、1試行終了ごとに紙面にて報告することであった。2D課題では、画面中央の赤い四角で囲まれた中に提示されたターゲット刺激と同じ図形が画面上にいくつあるかを数えた。3D課題では、ターゲット刺激を垂直方向の軸を中心として時計周りに90°回転させた図形と同じ図形が、画面上にいくつあるかを数えた。CON課題では、静止した風景画像を注視した。

手続き 実験は個別に行った。実験参加者は、脳波測定用の電極を装着した後、椅子に座り、顔面固定台に頭部を固定し、目からモニターまでの距離を60 cmに保つようにした。3つの妨害課題条件のそれぞれで2ブロック実施した。各課題の実施順序はランダムであった。音刺激について、ピアノ以外の音色の存在や、逸脱音（ナボリの6および7thコード）の存在や性質については伝えなかった。1ブロックごとに適度な休憩を挟み、各試行は参加者のペースで開始された。

記録および分析 脳波は、Ag/AgCl電極を用い、国際式10%法に基づく13部位（Fp1, Fp2, F7, F8, F3, F4, C3, C4, FT7, FT8, Fz, Cz, Pz）から鼻尖を基準に導出した。脳波および眼電図は、高帯域遮断30 Hz、低帯域遮断0.08 Hzのデジタルフィルターを用いて、日本光電社製デジタル脳波計（Neurofax EEG-1100）により、サンプリング周波数200 Hzで記録した。電極インピーダンスは5kΩ以下とした。

ERPについて、ERANとN5という2つの成分を分析した。まず、3つの音刺激条件 (in-key, Neapoli, 7th) 別に、瞬き等の顕著なアーチファクト ($\pm 80 \mu\text{V}$ 以上) のない試行について刺激提示前 100 ms から提示後 600 ms の区間を加算平均して ERP を算出した。すべての条件について 21 回以上の加算回数が得られた 10 名の参加者のデータを分析対象とした。F3 と F4 で記録された ERP の刺激提示後 310—320 ms 区間の平均電位を ERAN 振幅とした。次に、全試行を前半 (以下, pre) と後半 (以下, post) に分け、in-key 刺激に対する ERP を加算した。32 回以上の加算回数が得られた 10 名の参加者のデータを分析対象とした。Fz で記録された ERP の刺激提示後 420—480 ms 区間の平均電位を N5 振幅とした。統計分析には反復測定分散分析を用い、多重比較には Tukey の *HSD* 法を用いた。有意水準は.05 に設定した。

結 果

行動指標

2D 課題の正答率は 96.7%，3D 課題の正答率は 85.0%であった。

生理指標

ERAN 成分 F3, F4 で記録された第 3 位置および第 5 位置の和音に対する ERP の総加算平均波形を妨害課題条件別に Figure 3 と Figure 4 に示す。第 5 位置の ERP の視察によると、刺激提示後約 130 ms を頂点とする陰性の頂点を形成した後、2D 条件と CON 条件の Neapoli 刺激に対する ERP では、約 315 ms を頂点とする陰性の成分が観察された。Neapoli 刺激 ERP および 7th 刺激 ERP から in-key 刺激 ERP を引き算した波形を Figure 5 に示す。

この成分について詳細に検討するために、刺激提示後 315 ms を中心として、310—320 ms の区間平均電位を算出し、逸脱位置 (3, 5) ごとに、音刺激 3 (in-key, Neapoli, 7th) × 課題 3 (2D, 3D, CON) × 導出部位 2 (F3, F4) の 3 要因分散分析を行った。その結果、第 3 位置においては、刺激 × 部位の交互作用が有意であった ($F(1,9)=5.87, p<.05$)。部位別の多重比較の結果、F4 導出の ERP は、Neapoli 条件 ($0.7 \mu\text{V}$) よりも 7th 条件 ($-0.04 \mu\text{V}$) でよりネガティブであることが示された ($p<.01$)。第 5 位置においては、課題の主効果が有意傾向を示した ($F(2,18)=3.02, p<.07$)。多重比較を行ったところ、3D 課題 ($0.6 \mu\text{V}$) よりも CON 課題 ($-1.5 \mu\text{V}$) の ERP がよりネガティブであった ($p<.07$)。その他の主効果および交互作用は有意でなかった。

N5 成分 Fz から導出した第 1 位置、第 3 位置、および第 5 位置の和音に対する ERP の総加算平均波形を重ね描きして Figure 6 に示す。CON 条件の第 1 位置和音に対する ERP を視察すると、刺激提示後約 350 ms から 200 ms 程度持続する陰性成分 (N5) が観察できる。この成分について、420—480 ms の区間平均電位を算出し、刺激音の位置 (1, 3, 5) × 試行経過 (pre, post) × 課題 (CON, 2D, 3D) の 3 要因反復測定分散分析を行った。その結果、刺激位置の主効果 ($F(2, 18)=2.66, p<.09$) が有意傾向を示した。さらに、刺激位置と試行経過の交互作用 ($F(2, 18)=3.81, p<.05$) が有意であった。刺激位置の主効果について多重比較を行ったところ、第 5 位置 ($0.1 \mu\text{V}$) よりも第 1 位置 ($-1.2 \mu\text{V}$) で、ERP がよりネガティブであった。また刺激位置 × 試行経過の交互作用について下位検定を行っ

たところ、試行の前半において、第5位置 (0.7 μV) よりも第1位置 (-1.8 μV) で、ERPが有意にネガティブであることが示された。

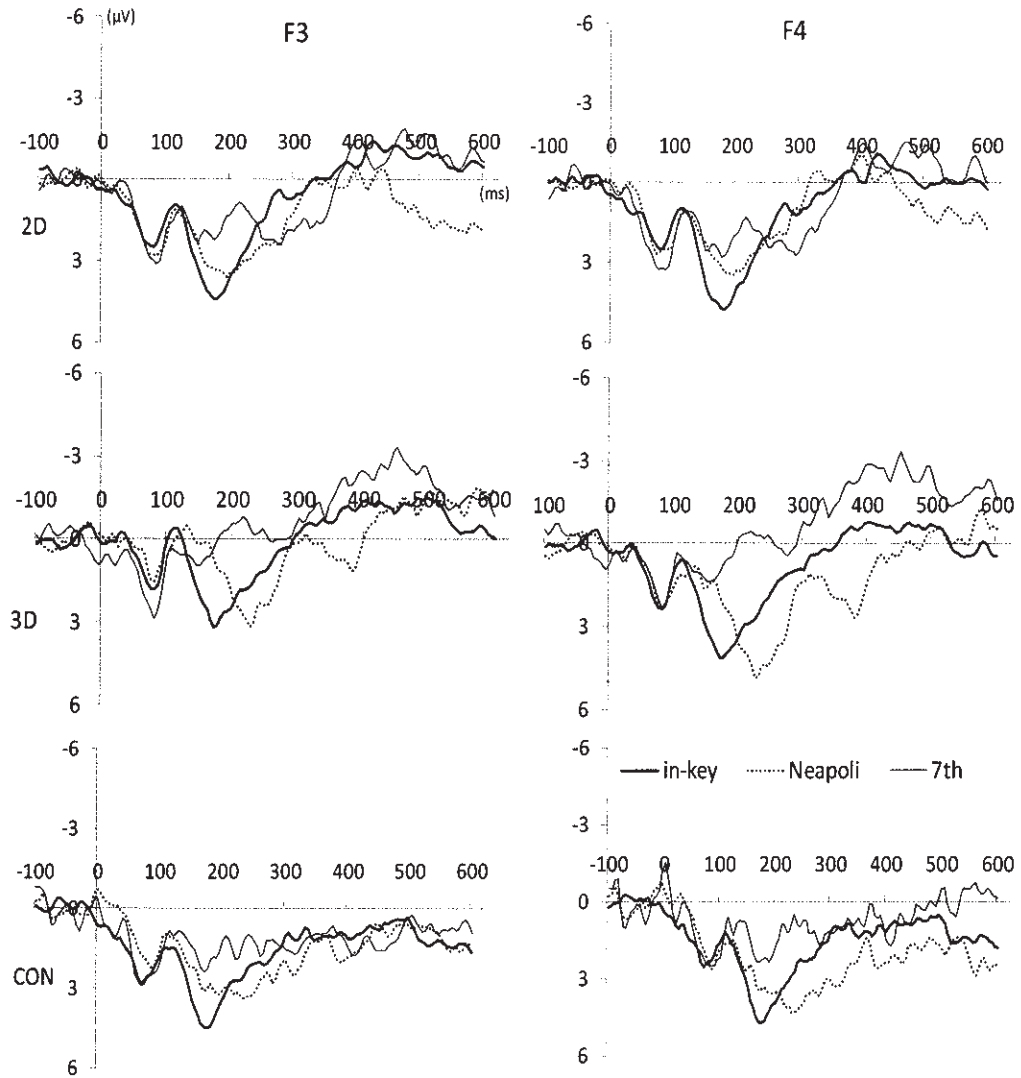


Figure 3. F3 および F4 における第3位置の in-key 刺激, Neapoli 刺激, 7th 刺激に対する ERP の総加算平均波形の重ね書き (N=10, 上: 2D 条件, 中: 3D 条件, 下: CON 条件, 左: F3 導出, 右: F4 導出, 太実線: in-key, 点線: Neapoli, 細実線: 7th)

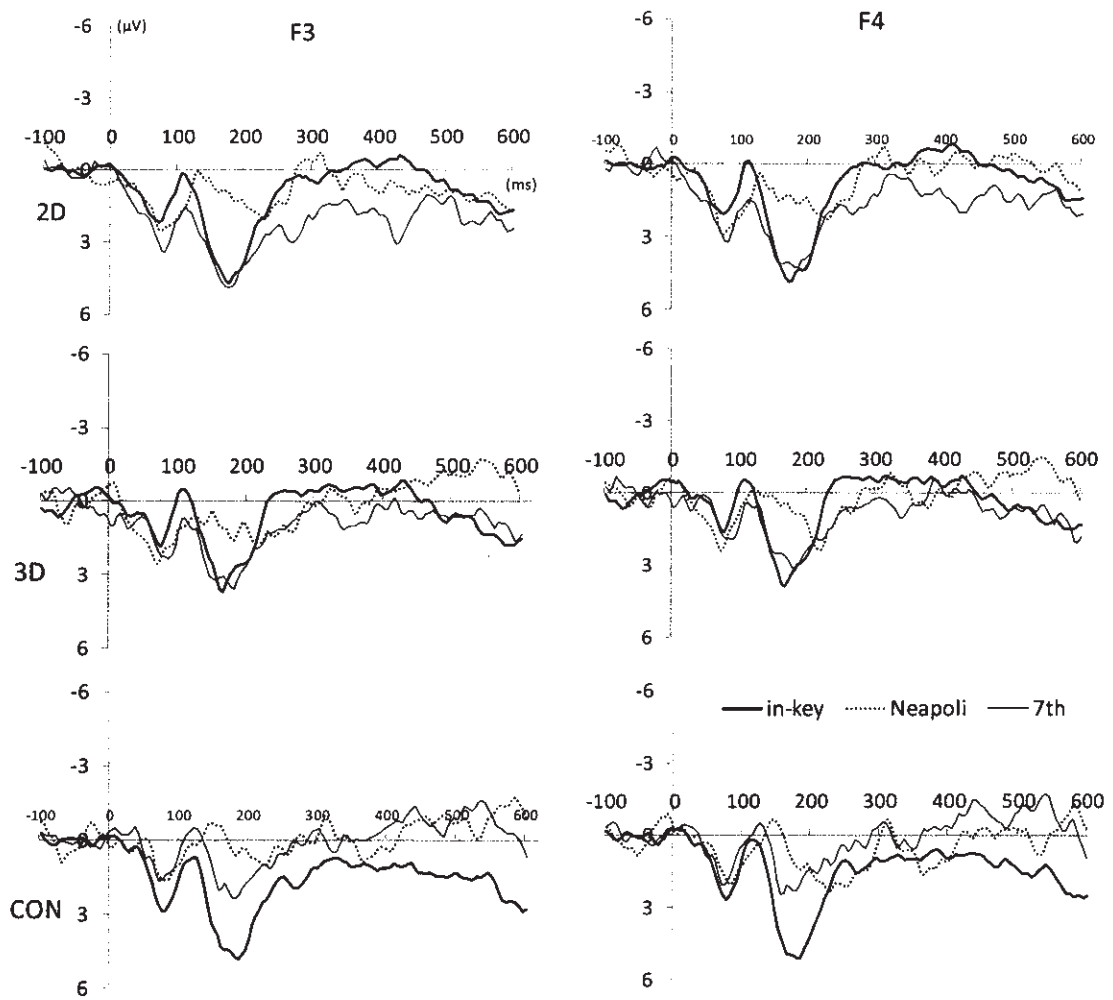


Figure 4. F3 および F4 における第 5 位置の in-key 刺激, Neapoli 刺激, 7th 刺激に対する ERP の総加算平均波形の重ね書き ($N=10$, 上: 2D 条件, 中: 3D 条件, 下: CON 条件, 左: F3 導出, 右: F4 導出, 太実線: in-key, 点線: Neapoli, 細実線: 7th)

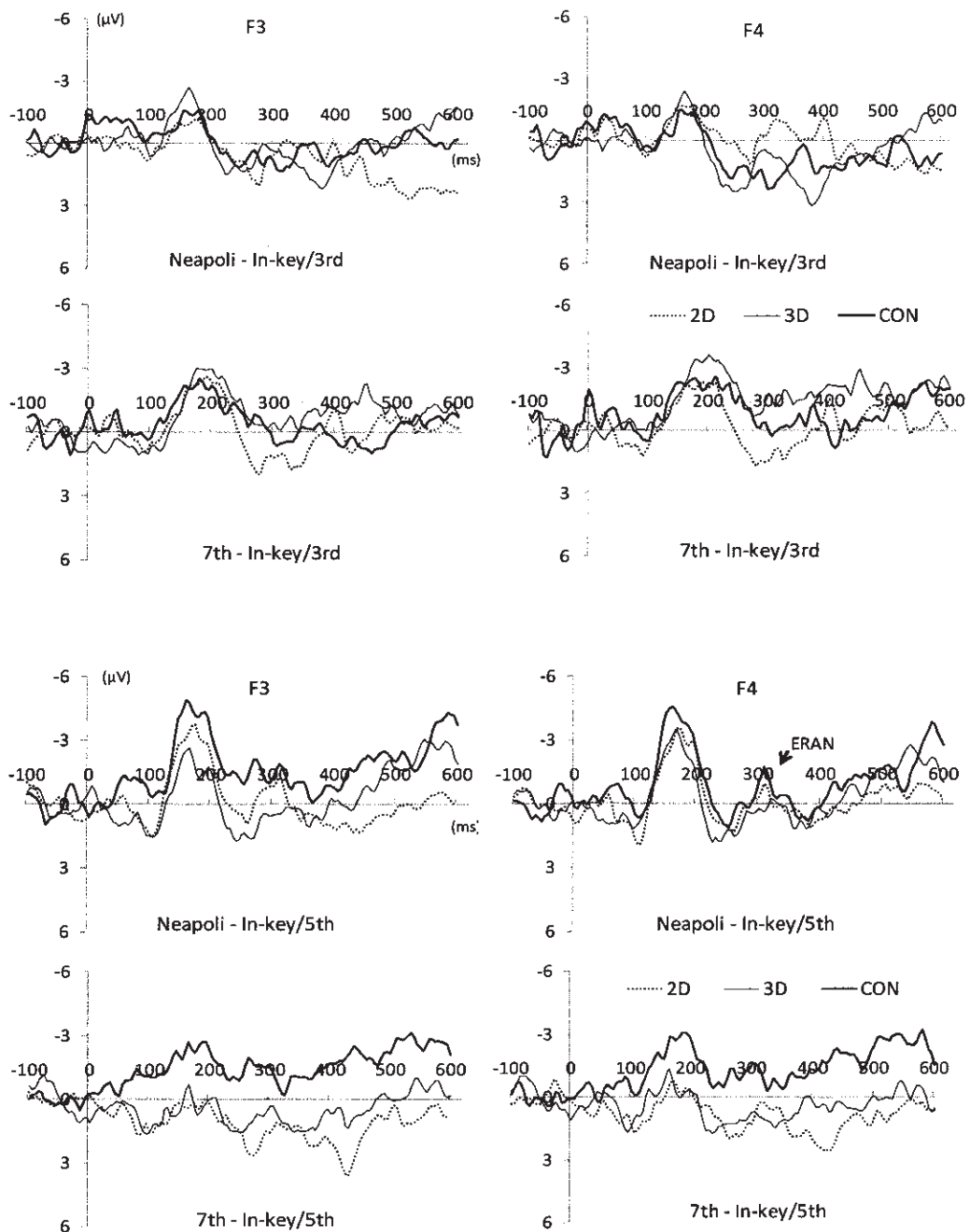


Figure 5. F3 および F4 における第 3 位置 (図の上半分), 第 5 位置 (下半分) の Neapoli 刺激に対する ERP および 7th 刺激に対する ERP から in-key 刺激に対する ERP を引き算した差分波形 (上: Neapoli-in-key, 下: 7th-in-key, 左: F3 導出, 右: F4 導出, 太実線: CON 条件, 点線: 2D 条件, 細実線: 3D 条件)

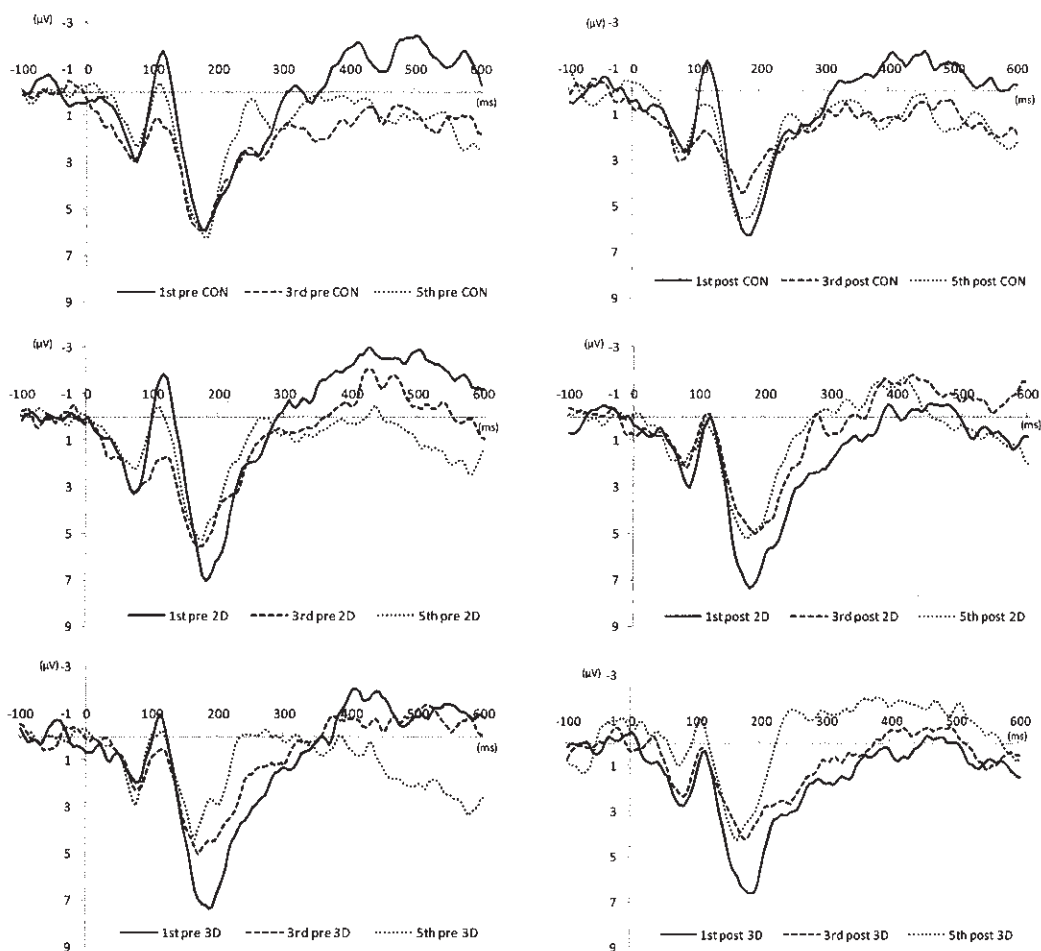


Figure 6. Fz から導出した in-key 刺激に対する ERP の総加算平均波形 (N=10, 上 : CON 条件, 中 : 2D 条件, 下 : 3D 条件, 左 : 前半, 右 : 後半, 実線 : 第 1 位置, 破線 : 第 3 位置, 点線 : 第 5 位置)

考 察

本研究では、調性階層性が脳内において空間的性質をもつ心的表象として表現されていると仮定し、心的回転課題の遂行が ERAN に及ぼす影響について調べることにより、この仮定が妥当であるかどうかについて検討することを目的とした。同じ視覚課題でも、より空間的要素の強い心的回転課題の遂行が ERAN 出現を妨げることを示すことができれば、調性階層性の脳内における表象に、空間的情報が含まれていると推測できると考えた。

ERAN 成分 Figure 4 の波形の視察では、第 5 位置の逸脱 Neapoli 和音に対する ERP において、3D 課題条件と比較すると CON 課題条件で波形がよりネガティブである。これは、3D 課題の遂行

により、調性の確立が妨害された結果であると理解できる。つまり、調性の確立と空間的処理との間に何らかの関係がある可能性が示された。ただし、この条件差に関しては、統計的に有意な結果ではなく、妨害課題の種類を変えたり、高振幅の ERAN が出現する刺激を工夫するなどして、統計的に信頼できる結果が得られるかどうかを再度検討する必要がある。

異なる音色の和音の検出課題の成績が、2D 課題条件に比べて 3D 条件で低いことから、2D 課題に比べて 3D 課題の難易度が高かったと考えられる。したがって、波形の視察から見てとれる 2D 課題条件と 3D 課題条件の ERAN の違いは、妨害課題の難易度に起因する可能性がある。橋本 (2011) で ERAN の惹起には注意が必要であるという結果が得られていることから、課題の難易度の影響は排除できない。しかし、橋本 (2011) のように 2 つの音刺激を同時に提示するのではなく、単に視覚的課題を同時遂行させた場合には、その視覚課題の難易度がかなりの高水準であっても、ERAN が観察されたという報告 (Loui et al., 2005) があり、認知的負荷の違いのみで本研究の結果を説明するよりも、課題の性質が空間的な要素を持っているかどうかについての影響も加味して検討することが妥当であると考えられる。調性階層性の脳内表象の性質について、本研究の結果のみで明確な主張をすることはできないが、同時課題の遂行が ERAN に及ぼす影響を調べるという方法が、今後音楽認知における調性階層性の役割を検討するうえで有効な方法の一つであることが示された。

N5 成分 Koelsch et al. (2000) が報告した N5 成分の潜時帯の ERP は、試行の前半においては、第 1 位置、第 3 位置、第 5 位置の順でよりネガティブとなり、和音の進行に伴い文脈が形成される過程が反映されていると考えられる。試行の後半においては、和音位置による振幅差が消失し、ハーモニーの聴取を重ねることによって、十分な文脈形成が行われたことが示唆される。これらの結果は、Koelsch et al. (2000) の報告と一致する。統計的に有意な空間課題遂行の影響は観察されなかったが、Figure 6 の視察によると、CON 課題の N5 潜時帯の ERP は、試行前半でも試行後半でも第 1 位置の和音に対して最も陰性になっているが、2D および 3D 課題の試行後半では必ずしもそうっておらず、同時課題を遂行することによる負荷が文脈の統合にも何らかの影響を及ぼした可能性が考えられる。これらの結果も、ハーモニーによる音楽的文脈形成における調性階層性の役割を検討するうえで、同時課題の遂行が ERP に及ぼす影響を調べるというアプローチが有効であることを示唆している。

本研究で得られた結果は、ハーモニーの処理と空間的処理との関連性を示すものとなった。先述のように、ハーモニーの処理において鍵となるのが調性階層性の確立である。Rauscher, Shaw, & Ky (1993) は、音楽 (モーツァルト) と空間的課題遂行との関連性について検討を行った。その結果、スタンフォードビネー知能検査の空間推理課題の得点が、無音状態やリラックス状態の後よりも、モーツァルトの音楽を聴取した時に高くなった。また、Rauscher, Shaw, & Ky (1995) は、同じくモーツァルトの効果に焦点を当てた実験で、スタンフォードビネー知能検査の紙切り問題および短期記憶課題を行ったところ、紙切り問題で有意な効果が示された。これらの結果について、紙切り問題は空間的な処理を必要としていることから、空間的課題と類似した課題であることが考えられ、モーツァルトの楽曲は大脳皮質の興奮パターンの形成を促進し、空間的課題を遂行しやすくなる効果があると解釈されている。Rauscher et al. (1993, 1995) の結果は、モーツァルトの音楽聴取の効果を示

したものであるが、モーツァルトの楽曲も当然ハーモニーを持つものであり、聴取の際には、調性階層性の確立が行われている。それにより、Bharucha (1987) が提案するニューラルネットワークが活性化し、空間的処理に関わる脳領域の活動が高まり、その結果、空間推理課題などの得点が高くなったことが考えられる。

モーツァルトの音楽に限らず、本研究で用いた和音も含め、調性をもつ音楽の処理にはハーモニーの処理が必要であり、ハーモニーの処理には調性階層性の確立が必要であり、その調性階層性の確立には空間的処理が必要である。本研究でも、3次元図形の心的回転課題を行うことにより空間的処理に使用される資源が奪われ、調性の確立が妨害された結果、ERANの振幅が減衰する結果となったと考えられる。

引用文献

- Bharucha, J. J. (1984). Anchoring effects in music: The resolution of dissonance. *Cognitive Psychology*, **16**, 485-518.
- Bharucha, J. J. (1987). Music cognition and perceptual facilitation: A connectionist framework. *Music Perception*, **5**, 1-30.
- Galin, D., & Ornstein, R. (1972). Lateral specialization of cognitive mode: An EEG study. *Psychophysiology*, **9**, 412-418.
- 橋本 翠 (2011). 音楽的文脈の認知に関連した ERAN に対する注意の効果 広島大学大学院教育学研究科紀要 第三部 (教育人間科学領域), **60**, 225-232.
- Koelsch, S., Gunter, T., Friederici, A. D., & Schröger, E. (2000). Brain indices of music processing: “Nonmusicians” are musical. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **12**, 520-541.
- Koelsch, S., Gunter, T., Schröger, E., Tervaniemi, M., Sammler, D., & Friederici, A. D. (2001). Differentiating ERAN and MMN: An ERP study. *NeuroReport*, **12**, 1385-1389.
- Krumhansl, C. L. (1979). The psychological representation of musical pitch in a tonal context. *Cognitive Psychology*, **11**, 346-374.
- Krumhansl, C. L. (1990). *Cognitive foundations of musical pitch*. Oxford: Oxford University Press.
- Krumhansl, C. L., Bharucha, J. J., & Kessler, E. J. (1982). Perceived harmonic structure of chords in three related musical keys. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **8**, 24-36.
- Krumhansl, C. L., & Kessler, E. J. (1982). Tracing the dynamic changes in perceived tonal organization in spatial representation of musical keys. *Psychological Review*, **89**, 334-368.
- Krumhansl, C. L., & Shepard, R. N. (1979). Quantification of the hierarchy of tonal functions within a diatonic context. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **5**, 579-594.
- Leino, S., Brattico, E., Tervaniemi, M., & Vuust, P. (2007). Representation of harmony rules in the human brain: Further evidence from event-related potentials. *Brain Research*, **1142**, 169-177.

- Loui, P., Grent-`t Jong, T., Torpey, D., & Woldorff, M. (2005). Effects of attention on the neural processing of harmonic syntax in Western music. *Brain Research Cognitive Brain Research*, **25**, 678-687.
- Maidhof, C., & Koelsch, S. (2008). Effects of selective attention on neurophysiological correlates of syntax processing in music and speech. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **23**, 9, 2232-2247.
- 三宅 晶・齊藤 智 (2001). 作動記憶研究の現状と展開 心理学研究, **72**, 336-350.
- 荻坂満里子 (1994). ワーキングメモリの認知神経心理学的研究—脳波からのアプローチ— 風間書房
- Rebert, C. S., & Low, D. W. (1978). Differential hemispheric activation during complex visuomotor performance. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, **44**, 724-734.
- Rauscher, F. H., Shaw, G. L., & Ky, K. N. (1993). Music and spatial task performance. *Nature*, **365**, 611.
- Rauscher, F. H., Shaw, G. L., & Ky, K. N. (1995). Listening to Mozart enhances spatial-temporal reasoning: Towards a neurophysiological basis. *Neuroscience Letters*, **185**, 44-47.
- Shepard, S., & Metzler, D. (1988). Mental rotation: Effects of dimensionality of objects and type of task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **14**, 3-11.
- Venderplas, J. M., & Garvin, E. A. (1959). The association value of random shapes. *Journal of Experimental Psychology*, **57**, 147-154.