

# 音楽と言語情報の短期的な保持システム

## Short-term Memory for Tonal and Verbal Information

宮澤 史穂<sup>†</sup>, 田中 章浩<sup>†</sup>, 西本 武彦<sup>‡</sup>  
Shiho Miyazawa, Akihiro Tanaka, Takehiko Nishimoto

<sup>†</sup> 東京女子大学, <sup>‡</sup> 早稲田大学  
Tokyo Woman's Christian University, Waseda University  
shiho-m@lab.twcu.ac.jp

### Abstract

The purpose of this study was to examine the relationship between pitch storage and phonological storage in working memory. In a recognition task using musical tones (pitch information), speech sounds (phonological information), and visual patterns, participants were asked to retain two stimulus sequences. In the different type condition, the nature of the first and second stimulus set was different (e.g., one sequence was musical tones and the other was speech sounds). In the same type condition, the nature of the two sequences was the same (e.g., both sequences were musical tones). We found that the recognition rate of musical tones and speech sounds in the different type condition was higher than in the same type condition. The results suggest that pitch storage is independent from phonological storage.

**Keywords** — pitch, working memory, storage

### 1. はじめに

ピッチとは、知覚される音の高さ、もしくは音の物理的な高さのことを指し、全ての音の基本的な特徴である[1]。音楽においてメロディは、音の高さがさまざまに変化することによって、初めてメロディとして認識される[2]。また、言語においてはイントネーションによって文の意味が規定される。例えば、「今日は天気が良い」という発話において句末のピッチが上昇すれば疑問文となり、変わらなければ肯定文となる。つまり、音楽においても言語においてもピッチの変化を知覚することが必要であり、そのためには知覚した音のピッチを次々に保持していくことが求められる。メロディや文はある一定の長さをもったまとまりであるため、メロディや文全体の構造を把握するためには、直前の音を保持するだけでなく、ある程度の期間ピッチを保持することが必要である。したがって、ピッチを短期的に保持することは、音楽

と言語を理解するために重要であるといえる。

情報の短期的な保持は、ワーキングメモリの枠組みから考えることができる。ワーキングメモリは、短期的に情報を保持してリハーサルを行うシステムである [3]。Baddeley のマルチコンポーネントモデルにおいて、ワーキングメモリはいくつかのサブシステムからなり、それぞれ異なる役割を果たすことが仮定されている。視覚的情報を保持するのは、視空間スケッチパッドであり、音韻的情報を保持するのは音韻ループである。さらに、視空間スケッチパッドと音韻ループは、中央実行系によって制御される。

音韻ループは、これらのサブシステムの中で、最も理論化が進んでおり、多くの実験データに基づいたモデル構築が行われている [3, 4]。これらの研究から、音韻ループはリハーサルシステムである構音コントロール過程と、短期的な貯蔵システムである音韻ストアから構成されていると仮定されている。この区分は、脳画像研究からも支持されているものである (例えば, [6, 7])。また、音韻ループにおいて、文字のように視覚的に呈示された情報は、構音コントロール過程に入力される。また、音声のように聴覚的に呈示された情報は音韻ストアに入力されると考えられている。

このようにワーキングメモリのマルチコンポーネントモデルにおいては、視覚的情報と、音韻的情報の 2 種類の情報の保持が想定されている。しかし、ピッチのような視覚的な情報でもなく音韻的な情報でもない情報の保持が、このようなモデルにおいて、どのように位置づけられるのかということは、考慮されていない。

ピッチ情報の保持については、音楽心理学の文

脈で多くの研究が行われている。これらの研究からは、2つの音の再認課題を実施したときに、干渉音として言語音を呈示しても再認成績が低下しないことが示されている [8,9]。例えば、Deutsch [8] は5秒間をあけて2つの純音を呈示し、それらが同じか異なるかの判断を求めた。そして、2つの音の間に干渉音を呈示し、再認成績に与える影響を検討した。その結果、干渉音として数字を呈示したときよりも、純音を呈示したときの方が再認成績が低くなることが示された。また、Pechmann & Mohr [9] では、Deutsch [8] と同様のパラダイムを用い、音の保持に用いることのできる注意資源の量と保持成績との関連を調べた。その結果、干渉音が楽音のときは、注意資源の量に関係なく再認成績が低くなったが、言語音や視覚刺激のときには、楽音の保持に対して十分な注意資源を配分できる条件では再認成績が低下しないことが示された。

これらの結果から、音韻情報とピッチ情報の保持システムは異なっている可能性が考えられる。さらに、これらの研究をふまえ、ワーキングメモリのコンポーネントモデルにおいてピッチ情報の処理に特化したサブシステムが存在することが提唱されている [8, 9]。そのサブシステムは、音韻ループや、視空間スケッチパッドとは独立していると考えられている。また、音韻ループと類似したリハーサル機能と貯蔵機能を持つことが想定されている。

このピッチ情報を処理するサブシステムについて、いくつかの実験的な検討が行われている。リハーサル機能については、音声のピッチ情報 [11]、楽音のピッチ情報 [12, 13] とともに、ピッチ情報は、音韻情報とは異なるリハーサル機能を持つことが示唆されている。例えば、宮澤ら [13]では、二重課題法を用い、音韻刺激と楽音刺激の再認成績に対する、構音抑制と音楽抑制の効果を検討した。構音抑制は、記憶課題遂行中に "the" のような言い慣れた言葉を繰り返すつづやくことが求められる手続きである。これは、構音コントロール過程の働きを妨害する課題としてよく用いられてい

る課題である [4]。また、音楽抑制は、3つの高さの音でハミングを繰り返すことが求められる手続きである。宮澤ら [13]では、一次課題として、音韻情報とピッチ情報の保持課題を用い、二次課題には構音抑制と音楽抑制を用いた。その結果、音韻刺激では構音抑制を行ったときに再認成績が低下し、音楽抑制を行ったときには再認成績が低下しないことが示された。また、楽音刺激では音楽抑制を行ったときに再認成績が低下し、構音抑制を行ったときには再認成績が低下しないことが示された。この結果から、ピッチ情報のリハーサル機能は、音韻情報のリハーサル機能とは異なり、独立していることが示唆された。

貯蔵機能については、音韻ストアが持つ性質と類似した性質を持つかどうかという観点から検討が行われている。Williamson et al. [14] は、音韻類似性効果に対応するようなピッチの類似性効果についての検討をおこなった。音韻的類似性効果とは、B, G, Vのような互いに音韻的に類似した文字系列は、Y, H, Wのような類似していない文字系列と比べて記憶しづらいという現象を指し、音韻ストアの性質を反映していると考えられている。Williamson et al. [14]では、ピッチの類似性を周波数の近さによって定義している。例えば、1000Hzと1050Hzの音の組み合わせは、1000Hzと1100Hzの音の組み合わせよりも類似しているとしている。実験の結果、周波数の近い音から構成された音列は遠い音から構成された音列に比べて記憶成績が低下し、ピッチの類似性効果が存在することが示唆された。この結果からはピッチ情報の貯蔵においても音韻情報の貯蔵と類似した性質を持つことが示唆された。しかし、音韻情報の貯蔵とピッチ情報の貯蔵が独立であるのか、共通であるのかという点については、明らかになっていない。

そこで本研究では、音韻情報とピッチ情報は、独立して貯蔵されているのか、共通に貯蔵されているのかについて検討する。貯蔵機能についての検討を行うためには、課題の中でリハーサルなどの方略を難しくするような手続きをとる必要性が

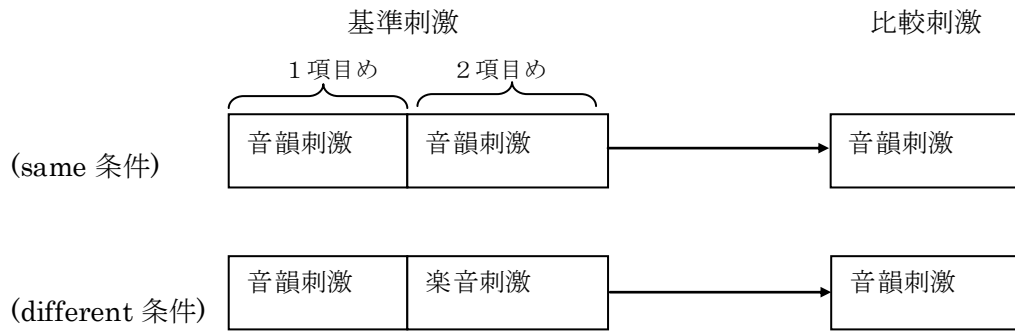


図 1. 基準刺激と比較刺激の組み合わせの例. 1種類の刺激を2項目連続して提示した場合 (same 条件) と2種類の刺激を2項目連続して提示した場合 (different 条件)

あると考えられる [15]. 例えば, 2種類の課題を同時に遂行する二重課題が挙げられる.

以上の研究を踏まえ, 本研究では, 以下のようなパラダイムを用いて, 音韻情報とピッチ情報の貯蔵についての検討を行う. 課題は, 基準刺激と比較刺激が同じか異なるか判断することである. 基準刺激は2項目あり, 項目の組み合わせによって, 2つの条件を設定した. 1つめは, 1種類の刺激を2項目連続して提示した条件である. 例えば, 音韻刺激を2項目連続で提示することである (same 条件: 図 1). 2つめは, 2種類の刺激を2項目連続して提示した条件である. 例えば, 音韻刺激と楽音刺激を連続して提示することである (different 条件: 図 1). この2つの条件の再認成績を比較することによって, 音韻情報とピッチ情報の貯蔵についての検討を行った. 基準刺激を2項目提示することによって, 基準刺激に対してリハーサルなど, 貯蔵以外の方略を使用することが難しくなると考えられる.

貯蔵には容量が存在するため [15], 保持しなければならない刺激数が増えると, 再認成績が低下すると予測される. もし音韻情報とピッチ情報が異なるサブシステムにおいて貯蔵されているとしたら, 基準刺激として音韻刺激または楽音刺激を2項目連続して提示した条件 (same 条件) は, 音韻刺激と楽音刺激を連続して提示した条件 (different 条件) と比べて再認成績が低下することが予測される (same 条件 < different 条件). また, 共通のサブシステムで貯蔵されているので

あれば, 基準刺激として音韻刺激または楽音刺激を2項目連続して提示した条件 (same 条件) と, 音韻刺激と楽音刺激を連続して提示した条件 (different 条件) の再認成績に差がみられないと考えられる (same 条件 = different 条件).

ワーキングメモリのコンポーネントモデルにおいては, 視空間スケッチパッドと音韻ループのような異なるサブシステムは, 共通の注意資源を用いていると考えられている [5]. したがって, もし, 音韻刺激と楽音刺激が異なる貯蔵システムで貯蔵されていたとしても, 1種類の刺激の貯蔵に使うことができる注意資源の減少により, 基準刺激として音韻刺激と楽音刺激の両方を提示した条件 (different 条件) においても, 1種類の刺激を2項目連続で提示した条件 (same 条件) と同様に, 再認成績が低下することも予測される. そこで, 注意資源の減少による保持容量の低下の影響を検討するため, 視覚刺激を含めて提示する条件も設定する. 視覚情報は, 視空間スケッチパッドに保持されているため, 音韻刺激や楽音刺激とは異なるシステムで貯蔵されていると考えられる. したがって, 基準刺激を視覚刺激と組み合わせで提示したときにも再認成績の低下が見られれば, 注意資源の減少によって, 保持容量が低下したと考えられる.

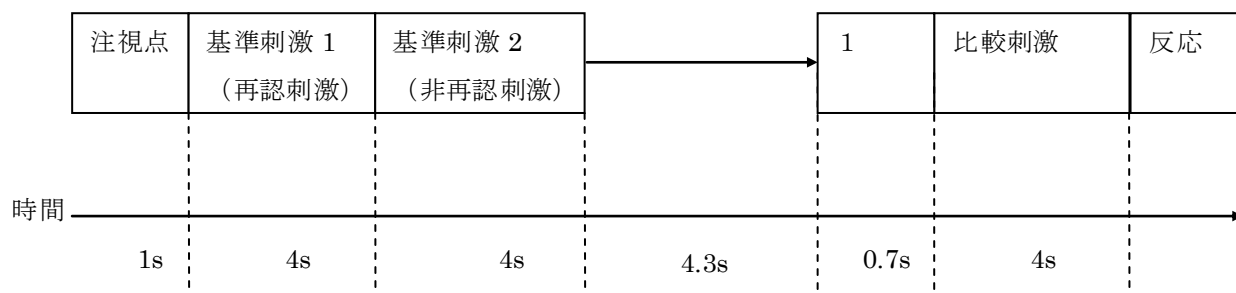


図 2. 1 試行の流れ. 最初に呈示した刺激が再認刺激の場合の例

## 2. 方法

### 2.1 要因計画

3 (再認刺激の種類: 音韻・楽音・視覚) × 3 (非再認刺激の種類: 音韻・楽音・視覚) の 2 要因参加者内計画とした。

### 2.2 実験参加者

大学生・大学院生 16 名 (男性 8 名, 女性 8 名) が実験に参加した。平均年齢は 20.8 歳 (SD = 3.1) であった。参加者の平均音楽経験年数は, 3.4 年 (SD = 4.7) であった。

### 2.3 刺激

音韻刺激として 6 文字からなる音韻列と, 楽音刺激として 4 音からなる音列と, 視覚刺激として白黒マトリクス図形を作成した。以下では各刺激の作成方法を記す。

**音韻列:** B, F, H, J, M, Q, R, L, K の 9 文字を用い, 女性の声で録音したものを用いた。

**音列:** 1 つの刺激の長さは 4s であった。音列はハ長調の音階に含まれる 9 つの音 (D4 から E5) を用い, MIDI 音源のピアノ音を用いた。

**マトリクス図形:** 3×3 のマトリクスの中の 3 マスを黒く塗りつぶしたものを用いた。

全ての刺激において, 比較刺激の半分は基準刺激と同じものを用いた。音韻刺激と, 楽音刺激の残りの半分は 2 つ, または 3 つめの音を変化させた。視覚刺激の残りの半分は黒く塗りつぶしたマスの位置を 1 箇所変化させたものを用いた。

#### 2.3.1 刺激の意味性の検討

音韻刺激については, 隣り合うアルファベットの有意味度を意味性の指標とし, 5 箇所の平均値

を音韻列の有意味度とした。その結果, 実験で用いた刺激 72 種類の有意味度は, 最低値 2.42, 最高値 3.95, 平均値  $3.14 \pm 0.42$  (7 段階評定) であった。秋田 [16] では, 7 段階評定のうち 6 段階目と 7 段階目の値を, 「有意味度が高い」としている。そのため, 本実験で用いた刺激は, 秋田 [16] の定義にしたがえば有意味度が高い刺激ではないと考えられる。

楽音刺激については, 音楽経験が 10 年未満の大学生 10 人を対象に, メロディの調性感について判定する実験を行った。評定には, 三雲 [15] の刺激作成に用いられた方法を用いた。具体的には, 「旋律らしいー旋律らしくない」, 「自然なー不自然な」, 「まとまりのあるーばらばらな」, 「安定したー不安定な」の 4 尺度を用いて, 7 段階で評定を行い, 4 つの尺度の平均値をメロディの評定値とした。その結果, すべての刺激の評定値が 4.5 以下となった。三雲 [16] の実験では, 4.5 以上を調性的な刺激としているため, 今回用いた刺激は, 有意味な刺激ではないといえる。

#### 2.3.2 刺激の難易度の検討

各刺激の再認成績について難易度を統制するために 10 名を対象に予備実験を行った。具体的には, 基準刺激を 1 項目呈示し, 5 秒後に比較刺激を呈示し, 基準刺激と比較刺激が同じか異なるかの判断を求めた。その結果, 平均正答率は音韻刺激: 77.7%, 楽音刺激: 82.9%, 視覚刺激: 85.2% となり, 有意差は見られなかった ( $F(2,18) = 2.16$ , n.s.)。

## 2.4. 手続き

実験は個別に行い、音韻刺激と楽音刺激はパーソナルコンピュータを通して、スピーカーから聴覚呈示を行った。1試行の流れを図2に示す。最初に注視点を1000 ms 視覚呈示し、次に基準刺激を2項目連続で呈示した。基準刺激は再認刺激と非再認刺激から構成された。4300 ms 後、再認刺激が1項目めに呈示した刺激か、2項目めに呈示した刺激かを示すために1または2の数字を視覚呈示し、続いて比較刺激を呈示した。基準刺激、比較刺激ともに、音韻刺激と楽音刺激は聴覚呈示し、視覚刺激は視覚呈示した。その後、再認刺激と比較刺激が同じか異なるかの判断をキーボードを用いて行った。実験は基準刺激の組み合わせと再認課題別に9ブロックから構成された。各ブロックともに16試行実施され、実験全体では練習試行も含め162試行であった。

## 3. 結果

再認刺激の種類ごとの再認率の平均値を図3, 4, 5に示す。再認率を用いて、再認刺激の種類3(音韻・楽音・視覚)×非再認刺激の種類3(音韻・楽音・視覚)の2要因分散分析を行った。その結果、交互作用( $F(4, 60) = 7.62, p < .01$ )が有意であった。下位検定を行ったところ、音韻刺激に対する非再認刺激の単純主効果( $F(2, 90) = 12.63, p < .01$ )と、楽音刺激に対する非再認刺激の単純主効果( $F(2, 90) = 6.60, p < .05$ )が有意であった。Ryan法による多重比較を行ったところ、再認刺激が音韻刺激においては非再認刺激が音韻刺激のときに成績が低下した( $p < .05$ )。また、再認刺激が楽音刺激のときは、非再認刺激が楽音刺激のときに成績が低下した( $p < .05$ )。

つまり、音韻刺激と楽音刺激においては、同一種類の刺激が2つ連続して呈示されたときよりも、異なる種類の刺激と組み合わせて呈示されたときの方が再認成績が高いことが示された。また、再認刺激が視覚刺激のときには、非再認刺激による再認成績の差はみられなかった( $F(2, 90) = 0.72, n.s.$ )。

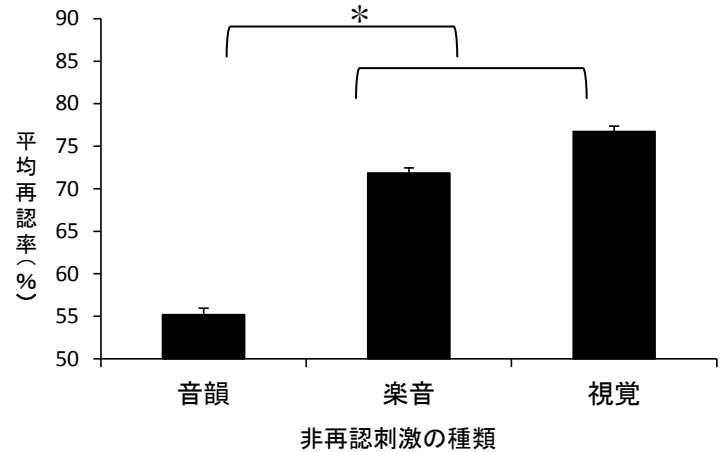


図3. 音韻刺激の平均再認率

\* $p < .05$  エラーバーは95%信頼区間を示す

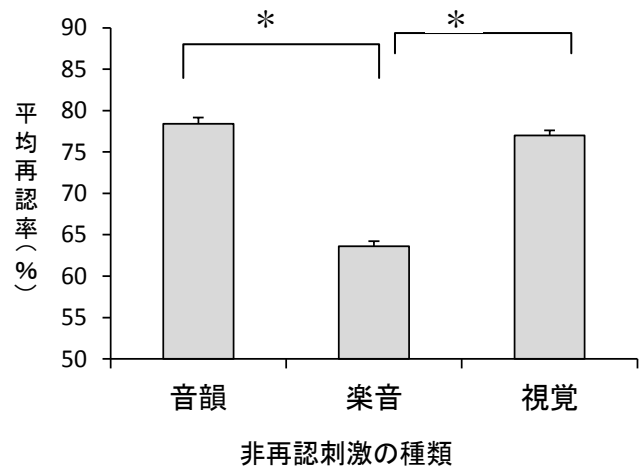


図4. 楽音刺激の平均再認率

\* $p < .05$  エラーバーは95%信頼区間を示す

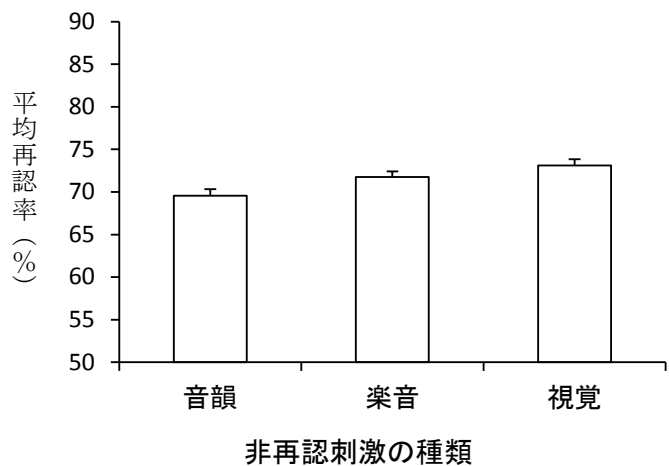


図5. 視覚刺激の平均再認率

エラーバーは95%信頼区間を示す

#### 4. 考察

本実験では音韻刺激と、楽音刺激と、視覚刺激を用い、基準刺激の組合せの違いによる、再認成績の差を検討した。その結果、音韻刺激と楽音刺激において、再認刺激と非再認刺激の種類が同一のとき(same条件)よりも、異なるとき(different条件)の方が再認成績が高いことが示された。この結果は、干渉音が楽音のときは、再認成績が低くなったが、言語音や視覚刺激のときには、再認成績が低下しないという Pechmann & Mohr [8] の知見と矛盾しないものであると考えられる。また、この結果は、楽音のピッチ情報と音韻情報の貯蔵は独立していることを示唆している。

宮澤ら[13]では、音韻情報とピッチ情報が異なるサブシステムにおいてリハーサルされていることを示唆した。この結果と本実験の結果を併せて考えると、ワーキングメモリには、音韻情報の保持を行うサブシステムとは異なる独立したサブシステムが存在し、そのサブシステムはピッチ情報の保持を行っていることを示唆していると考えられる。また、そのサブシステムは、音韻ループの構音コントロール過程に類似したリハーサル機能と、音韻ストアに類似した貯蔵機能を持つことが仮定される。

視覚刺激においては再認刺激と非再認刺激の種類が同一のときと異なるときの再認成績に差はみられなかった。視覚刺激は視空間スケッチパッドを構成している視覚キャッシュに保持されていることが考えられる[3]。視覚キャッシュは短期的な貯蔵庫であるため、非再認刺激が視覚刺激の条件のときの方が、非再認刺激が聴覚刺激の条件のときよりも、成績が低下することが想定される。成績が低下しなかった理由については2つの要因が考えられる。1つは視覚刺激の難易度が楽音刺激と音韻刺激に比べて低かったということである。予備実験において難易度の統制は行なったが、視覚刺激の再認成績が高い傾向は見られた。そのため、視覚キャッシュに保持しておかなければならない刺激の数が多くても、再認成績が低下しなかったことが考えられる。

2つめは、視覚刺激の保持に複数の方略を用いた可能性があることである。今回用いたようなマトリクス図形は、視覚的な記憶に用いる課題として代表的なものであるが、言語的要素が入り込む可能性が指摘されている[18]。つまり、黒く塗りつぶしたマスの形を言語化して覚えたり、黒いマスの場所を「右上」、など、言語化して覚えたりすることも可能であるということである。このように視覚情報の保持に加えて、言語的符号化も行うことで視覚キャッシュにあまり負荷がかからなかったということが考えられる。

#### 引用文献

- [1] Pierce, J. R., (1999) "The nature of musical sound", In D. Deutsch (Ed.), *The psychology of music* (2nd ed.), pp. 1-23. San Diego: Academic.
- [2] 吉野巖, (2000) "旋律 (旋律の音高的側面)", 谷口高士 (編), *音は心の中で音楽になる*, pp. 22-38, 北大路書房.
- [3] Baddeley, A. D., & Hitch, G. J., (1974) "Working memory", In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, Vol.8, pp.47-90. New York: Academic Press.
- [4] 齋藤智, (1997) "音韻ループ研究の展開 — 神経心理学的アプローチと実用的アプローチからの検討", *心理学評論*, Vol.40, No.2, pp.188-202.
- [5] 三宅晶・齋藤智, (2001) "作動記憶研究の現状と展開", *心理学研究*, Vol.72, pp.336-350.
- [6] Awh, E., Jonides, J., Smith, E. E., Schumacher, E. H., Koeppel, R. A., & Katz, S. (1996) "Dissociation of storage and rehearsal in verbal working memory: Evidence from PET", *Psychological Science*, Vol.7, pp.25-31.

- [7] Paulesu, E., Frith, C. D., & Frackowiak, R. S. J. (1993) "The neural correlates of the verbal component of working memory", *Nature*, Vol.362, pp.342-344.
- [8] Deutsch, D., (1970) "Tones and numbers: Specificity of interference in immediate memory," *Science*, Vol.168, pp.1604-1605.
- [9] Pechmann, T., & Mohr, G., (1992) "Interference in memory for tonal pitch : implications for a working-memory model," *Memory & Cognition*, Vol.20, No.3, pp.314-320.
- [10] Berz, W. A., (1995) "Working memory in music: a theoretical model", *Music Perception*, Vol.12, No.3, pp.353-364.
- [11] 田中章浩・高野陽太郎, (2002) "音高情報の能動的保持のメカニズム : 二重課題法を用いた検討", *音楽知覚認知研究*, Vol.8, pp.81-91.
- [12] Schendel, Z. A., & Palmer, C., (2007) "Suppression effects on musical and verbal memory.", *Memory & Cognition*, Vol.35, pp.640-650.
- [13] 宮澤史穂・田中章浩・西本武彦, (2012) "ワーキングメモリにおける音韻情報とピッチ情報の保持システム — リハーサルの観点からの検討 —", *認知科学*, Vol.19, pp.122-130.
- [14] Williamson, V. J., Baddeley, A.D., & Hitch, G. J., (2010) "Musicians' and nonmusicians' short-term memory for verbal and musical seqmilarity and pitch proximity", *Memory & Cognition*, Vol.38, pp.163-175.
- [15] 森下正修・荻阪直行, (2005) "言語性ワーキングメモリにおける情報の貯蔵と処理", *心理学評論*, Vol.48, No.4, pp.455-474.
- [16] 三雲真理子, (1990) "メロディの符号化と再認", *心理学研究*, Vol. 61, pp.291-298.
- [17] 秋田清, (1982) "評定法によるアルファベット 2 字音節の有意味度, 連想価, 学習難易度, 熟知度", *人文學*, Vol.137, pp.19-45.
- [18] 國見充展・松川順子, (2009) "N-back 課題を用いた視覚的ワーキングメモリの保持と処理の加齢変化", *心理学研究*, Vol.80, No.2, pp.98-104.