

博士学位請求論文

(概要書)

ワーキングメモリモデルに基づく

絶対音感保持者におけるピッチ情報処理の研究

宮澤史穂

はじめに

音楽は人類にとって身近なものであり、その起源はネアンデルタール人までさかのぼることができる（Mithen, 2005）。音楽は様々な要素から構成されている。例えば、リズム、メロディ、ハーモニーなどである。その中でメロディはある音の高さから別の音の高さへどれくらい変化したかによって決まる。実際の楽譜を見るとメロディは音が上下することによって作られていることが良くわかる。このようにメロディを構成する上で、音の高さ（ピッチ）は重要な役割を果たす。

本研究では、音楽が持つ情報の中でピッチに焦点を当てて研究を行う。さらに、ピッチに対して、特徴的な認知方略をもつ絶対音感保持者のピッチの保持方略について着目する。絶対音感とは、他の音を参照せずに、ある音（の音名）が何であるか特定することができる能力のことである。1998年に『絶対音感』（最相葉月，新潮社）という本がベストセラーとなったこともあり、その用語は一般的にも知られている。この本がベストセラーとなった理由として、音楽的能力の1つの指標として、絶対音感をとらえる傾向があるということが考えられる。絶対音感とは、その定義の通り「聴いた音の音名がわかる」ということに特徴がある。そのためか、絶対音感を獲得するための教育にも熱心であり保持者の割合も欧米よりも高い傾向にある（宮崎，2004）。筆者が音楽大学の一般教養のクラスで行った簡単な調査では、およそ半数が絶対音感保持者とみなすことができる水準に達していた。しかし、絶対音感保持者がどのように音をきき、それが従来の記憶システムの中でどのように位置づけることができるのかについては、明らかになっていない。そもそも、ピッチ情報の保持システムは、音韻情報の保持システムと比較しても明らかになっていないことが多い。そのため、本論文ではピッチ情報がワーキングメモリの中でどのように保持されているのかを明らかにし、そのモデルを用いて絶対音感保持者がピッチ情報をどのように保持しているのかについて説明を試みる。

以下では、論文の構成にしたがって内容を要約する。

第1章 序論

本章では、ピッチの短期記憶の重要性、絶対音感保持者のピッチ保持について述べたうえで、本論文の構成と目的について述べた。

先行研究をふまえ、本論文では以下の3つの目的について実験的な検討を行った。

- 1) ピッチの保持がどのようにワーキングメモリのモデルの中で位置づけられるのか明らか

かにする。

2) AP 保持者がピッチを保持するメカニズムを明らかにする。

3) AP 研究における NIRS の有効性を検討する。

1 つめの目的については、2 つの行動的な実験を行った (実験 1, 2)。2 つめの目的については、1 つの行動的な実験 (実験 3) と、2 つの脳機能的な実験を行った (実験 4, 5)。

本論文は全 9 章から構成されていた。第 1 章では、本論文で用いる音楽用語の定義を行い、ピッチの短期的な保持の重要性と絶対音感保持者のピッチ保持について簡単に述べた。また、本論文の概要を述べた。第 2 章では、本論文に関係する先行研究をまとめ、5 つのトピックを扱った。また、先行研究を踏まえ、本研究の目的と仮説を述べた。第 3 章と第 4 章では、ピッチ情報の保持がワーキングメモリのモデルの中でどのように位置づけられるのか検討を行った。第 3 章ではリハーサルシステムの観点から、第 4 章では保持システムの観点から検討を行った。第 5 章では、AP 保持者を対象に、第 4 章で用いたものと同じ手法を用いて検討を行った。先行研究から AP 保持者はピッチに対して言語符号化を行うことが示されているため、ピッチに対しても言語と同じような処理を行うことが予測される。第 6 章と第 7 章では、AP 保持者を対象にピッチに関する課題を行っているときの脳活動を、近赤外線分光法を用いて検討を行った。第 6 章では知覚課題を用いて検討を行い、第 7 章では記憶課題を用いて測定を行った。第 8 章では、第 3 章から第 7 章で行った実験から得られた知見をまとめ、総合的な考察を行った。第 9 章では、残された問題点と今後の展望を述べた。

第 2 章 研究の背景と目的

本章では本論文に関係したこれまでの研究についてまとめ、5 つのトピックを扱った。2.1 「音韻情報のワーキングメモリ研究」ではワーキングメモリの基本的な研究、特に音韻ループについて明らかになっていることについて述べた。2.2 「ピッチ情報の短期的な記憶」では、単音とメロディを用いたピッチの保持について調べた研究を概観した。2.3 「ピッチ情報のワーキングメモリにおける位置づけ」では、ワーキングメモリモデルにおいて、ピッチ情報の処理がどのように位置づけられてきたのかについての研究を概観した。2.3 節の内容は、特に実験 1 から実験 3 と密接な関係を持つ。2.4 「絶対音感保持者を対象とした行動的研究」では、まず、絶対音感の定義、獲得など基礎的な知識について述べた。次に、行動的な研究を概観し、ピッチに対する認知方略が非保持者とは異なっていることを示し

た。2.5「聴覚情報の脳機能研究」では、最初に非侵襲的な脳活動の測定法についての概略を述べた。次に、聴覚情報の処理において大脳半球における左右差についての研究を概観する。最後に絶対音感保持者を対象とした研究についてまとめた。最後に、2.6「本研究の目的」では、これらの先行研究をふまえ本研究の目的について具体的に述べた。

第3章 実験1：ピッチ情報のリハーサルシステムの検討

本章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。音韻刺激には、6つの音韻からなるアルファベットを女性の声で読み上げたものを用いた。楽音刺激には、4音からなる音列を用いた。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。構音抑制では一定の高さで「あいう」と繰り返し発声を行い、音楽抑制では、3つの音の高さでハミングを行った。実験の結果、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は再認成績が低下し、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。これは、構音抑制は音韻刺激の再認成績に、音楽抑制は楽音刺激の再認成績に選択的に干渉することを示している。音韻ループの研究と同様な解釈を行えば、楽音刺激の再認成績が音楽抑制を行うことで低下したという結果は、ピッチ情報のリハーサルを行うサブシステムが存在することを示唆していると考えられる。次に、楽音刺激の再認成績が構音抑制を行うことで低下せず、音韻刺激の再認成績が音楽抑制によって低下なかったことから、そのサブシステムは音韻情報のリハーサルを行うサブシステムとは独立していると考えられる。したがって、本実験から得られた結果は、ワーキングメモリには、音韻情報のリハーサル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リハーサルを行っていることを示唆していると考えられる。

第4章 実験2：ピッチ情報の保持システムの検討

本章では、音韻刺激と、楽音刺激と、視覚刺激を用いて、基準刺激として1種類の刺激を2項目連続して呈示した条件と2種類の刺激を2項目連続して呈示した条件における再認成績を比較した。音韻刺激と楽音刺激は実験1で用いたものと同じものを用いた。視覚刺激は、3×3のマトリクスの中の3マスを黒く塗りつぶした図形を用いた。基準刺激のう

ち、再認する方の刺激を再認刺激、再認しない方の刺激を非再認刺激とした。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よりも、異なるときの方が再認成績が高いことが示された。これらの結果はピッチ情報と音韻情報と視覚情報が異なるシステムで貯蔵されていることを示唆している。

したがって、本実験から得られた結果は、ワーキングメモリには、音韻情報の貯蔵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貯蔵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視覚情報の貯蔵を行うサブシステムとも異なることが考えられる。

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。音韻刺激と楽音刺激の結果と同様に考えれば、視覚刺激を非再認刺激として呈示したときには、音韻刺激と楽音刺激を呈示したときよりも再認成績が低下することが予測される。予測通りの結果とならなかった理由としては、視覚刺激の難易度が低かったこと、言語符号化など様々な方法で符号化された可能性があることなどが考えられる。

第 5 章 実験 3：絶対音感保持者を対象とした検討

本章では AP 保持者を対象に実験 2 と同様の方法で実験を行った。その結果、再認刺激が音韻刺激のときには、非再認刺激が音韻刺激のときに、楽音刺激と、視覚刺激のときと比べて有意に成績が低下した。再認刺激が楽音刺激のときは、非再認刺激の種類による再認成績の差はみられなかった。再認刺激が視覚刺激のときは、非再認刺激が楽音刺激のときに、視覚刺激や音韻刺激と比較して再認成績が高くなった。

さらに、実験 2 で得られた非保持者 (NAP) との結果との比較も行った。その結果、音韻刺激においては AP 群と NAP 群において有意な差はみられなかった。楽音刺激においては、全ての条件において AP 群の方が NAP 群よりも再認成績が高かった。視覚刺激においては、非再認刺激が楽音刺激のときに、AP 群の方が NAP 群よりも再認成績が高かった。

音韻刺激が再認刺激のときは、AP 保持者のピッチ情報に対して音韻的に符号化することが考えられるため、楽音刺激を呈示したときも再認成績が低下することが予測されたが、異なる結果となった。NAP 群と同じような結果となった理由としては、2 つのことが考えられる。1 つは、AP 保持者はピッチの保持に音韻的な表象だけでなく、非保持者と同様の物理的な保持形式も用いているということである。そのため、楽音刺激が音韻刺激の干渉

刺激とならなかったことが考えられる。2 つめは AP 保持者のピッチ情報に対する言語符号化は、リハーサル過程で行われているという可能性である。Levitin (1994) は、AP 保持者のピッチ情報に対する音名の符号化は、入力されたピッチ情報の短期記憶と、長期記憶に保持されている音名の表象とを照合することで行われると主張している。この考えと、本研究の結果を併せて考えると、入力されたピッチ情報はピッチ情報の貯蔵庫に入力され、そこで長期記憶との照合が起こり、音名に変換される。その変換された情報は音韻情報のリハーサルシステムでリハーサルが行われるという方略をとっている可能性が考えられる。

楽音刺激の結果は、非再認刺激が楽音刺激の時に、再認成績が低下したという NAP 群の結果とは異なるものとなった。また、音韻刺激と連続して呈示したときは、視覚刺激とともに呈示したときよりも再認成績が低下するという予測と異なる結果となった。その理由として 2 つの点が考えられる。1 つは AP 保持者にとって、楽音刺激を保持する課題は簡単であったということである。そのため、呈示された刺激を全て貯蔵してもまだ貯蔵容量に余裕があり、再認成績が低下しなかったと考えられる。2 つめは、AP 保持者はピッチ情報を音韻的に符号化するだけでなく、非保持者と同じような物理的な形式としても保持していたことである。

視覚刺激の結果は、楽音刺激が再認課題のときと同様に、楽音刺激の難易度が AP 群にとっては低かったことが考えられる。そのため、楽音刺激の保持にあまり注意資源を必要とせず、視覚刺激の保持に注意資源を用いることができたと考えられる。この結果は、音楽家は非音楽家と比べてピッチの保持を行うサブシステムに用いる注意資源が少ないという Pechmann and Mohr (1992) の主張と矛盾しないと考えられる

第 6 章 実験 4：絶対音感保持者と非保持者の脳活動の NIRS を用いた検討

－2 種類の音階を刺激として用いた比較－

本章では、最初に NIRS についての基本事項を概観した。6.1「NIRS の原理と利点」では、NIRS の原理についてや、子どもへの適用が可能であることなどについて述べた。6.2「NIRS の絶対音感への適用可能性」では、AP の研究に NIRS が適していると考えられる理由について述べた。

次に、AP 保持者と非保持者を対象に、2 種類の音階を聴取したときの脳活動を NIRS を用いて測定を行った。行動的な研究から、AP 保持者はオクターブエラーを起こしやすいことが示されている (Lockhead & Byrd, 1981)。つまり、AP 保持者は音を音名で保持しよ

うとする傾向があるため、音名が異なる 2 つの音は、周波数が異なるにもかかわらず、類似した音であると認識してしまうと考えられる。この行動的研究から明らかになった結果を利用し、オクターブ異なる音の組み合わせと、周波数が異なる音の組み合わせを聴かせたときの脳活動の違いを検討することを目的とした。実験では、以下の 2 種類の刺激を用いた。1 つめは、音名が同じで周波数が異なる 2 つの音階の組み合わせ（セッション 1）であり、もう 1 つは音名も周波数も異なる音階の組み合わせ（セッション 2）である。非保持者にとっては、2 組の音階の組み合わせから感じる違いは 2 つの音階の周波数の違いの大きさのみであると考えられる。一方、AP 保持者にとっては、1 組は音名が同じで周波数のみが異なっているため、2 つ音階にあまり違いを感じないと予測される。また、もう 1 組は周波数も音名も異なっているため、2 つの音階に対して大きな違いを感じると考えられる。

実験の結果、セッション 1 では、AP 群と NAP 群の差は見られなかった。セッション 2 では、AP 群では NAP 群と比べて左半球で高い値を示した。また、NAP 群では、左半球より右半球の方が高い値を示した。また、チャンネル別の分析では、セッション 2 において、左半球のチャンネル 2 で NAP 群よりも AP 群の方が高い値を示した。これらの結果から、AP 保持者は知覚段階で音楽的な刺激に対する言語符号化を行っていることが示唆された。

第 7 章 実験 5：絶対音感保持者と非保持者の脳活動の NIRS を用いた検討 ー記憶課題を用いた比較ー

本章では、ピッチの保持課題を用いて AP 保持者と非保持者の課題遂行時の脳活動の比較を行った。AP 保持者と非保持者を対象にピッチの保持課題を行った行動的研究から AP 保持者は、ピッチの保持期間が非保持者よりも長いことが示されている (Sigel, 1974)。また、PET や fMRI を用いた脳機能研究からピッチの記憶課題遂行時には、非保持者でみられる右半球の前頭皮質の活性化が、AP 保持者では見られないという結果が得られた (Schulze et al., 2009; Zatorre et al., 1998) さらに、AP 保持者は左半球の関与が見られるが、非保持者にはみられないという結果も示されている (Wilson et al., 2009)。したがって、NIRS を用いて測定を行った場合にも、同様の結果が得られることが予測される。

本実験ではピッチの保持課題を用い、課題遂行中の脳活動を測定することを目的とする。手続きは、遅延見本あわせ課題の形式を用いた。課題は難易度の異なる 2 種類の試行から構成された。1 つはコントロール試行であり、AP 群、NAP 群の両群ともに簡単に判断することができる試行から構成された。もう 1 つはテスト試行であり、AP 保持者には簡単で

あるが、非保持者には難しい試行から構成された。

実験の結果、ブロッケデザインの分析では、コントロールブロックとテストブロック両方において、NAP 群の方が AP 群よりも、oxy-Hb 群の変化量が大きいことが示された。イベントデザインでの分析では、テストブロックで AP 群は、右半球で左半球よりも oxy-Hb の変化量が大きいことが示された。一方、NAP 群は、左半球よりも右半球の方が oxy-Hb の変化量が大きいことが示された。また、AP 群よりも NAP 群の方がピーク潜時が短かった。これらの結果から、先行研究で用いられた他の脳機能の測定機器と同様に、AP 保持者はピッチ情報の処理に左半球を用いていることが示唆された。また、AP 保持者の特徴を示す指標としては血行動態の変化のみでなく、ピーク潜時も用いることができる可能性も示唆した。これらの実験では、成人を対象に NIRS を用いて、AP 保持者の脳活動の特徴を明らかにすることができたと考えられる。

第 8 章 総合考察

本章では 5 つの実験で得られた結果についての総合的な考察を行った。8.1「実験結果の要約」では、5 つの実験で得られた結果についての要約を行った。8.2「修正ワーキングメモリモデルの提案と絶対音感保持者への適用可能性」では、まず、実験 1 と実験 2 から得られた知見に基づき、修正ワーキングメモリモデルの提案を行った。さらに、聴覚情報処理のモデル、視覚情報処理と長期記憶を含んだモデルを示した。また、提案したモデルを用いて実験 3 から実験 5 の結果についての説明を行った。

本論文で提案する修正ワーキングメモリモデルの聴覚情報処理は以下のような模式図で表すことができる (図 1)。聴覚的な情報は以下のようなルートで保持されと考えられる。入力された聴覚的な情報は、感覚記憶に一時的に貯蔵される。その後聴覚性の分析を経て、音韻情報とピッチ情報に分けられる。音韻情報は、音韻情報の貯蔵庫に入り、リハーサルシステムでリハーサルされる。ピッチ情報はピッチ情報の貯蔵庫に入り、リハーサルされる。また、本モデルでは、ワーキングメモリの前の段階として、感覚記憶と聴覚性分析を仮定している。

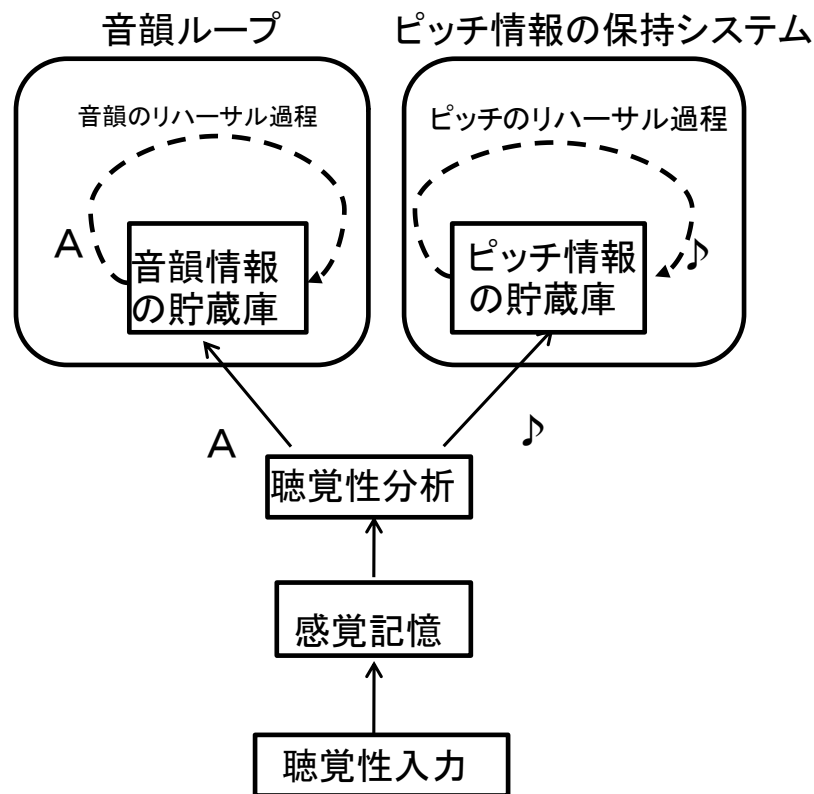


図1 修正ワーキングメモリモデルにおける聴覚情報処理の模式図

第9章 今後の課題

本章では、本論文で提案した修正ワーキングメモリモデルの展開と、AP 研究に対する NIRS の応用可能性について述べた。9.1「修正ワーキングメモリモデルの展開」では、4つの方向性について検討する必要があることを述べた。具体的には、サブシステムの性質を明らかにすること、システム間の相互作用、音楽経験を考慮した検討の必要性、意味性の高い刺激を用いて検討を行うことの必要性である。9.2「AP の獲得の研究と獲得後の課題」では、まず、乳幼児を対象に AP の獲得訓練を縦断的に調査した行動的な研究が行われている。そのような獲得訓練を行っているときの、AP の獲得過程における脳活動を測定することが、AP の獲得についてより明らかにすることができる可能性について述べた。また、AP 獲得後に実際の音楽の演奏に活かすために、相対音感との両立が必要であることについて述べた。