

## 論文の内容の要旨

論文題目 ヒトの統計学習にかかわる聴覚誘発脳磁場応答

氏名 大黒 達也

脳は外界に適応すべく学習するシステムである。学習には様々なレベルがあるが、特に言語や音楽等、高次構造をもつ外界からの刺激を我々はどのように学習しているのだろうか？我々が外国語を学ぶ際は、文法や単語などの言語的知識を体系付けて学んでいる。一方、乳幼児が母語を学習する際は、体系的知識なしに音の塊から単語や構文構造を抽出し理解する事が出来る。更に、音楽的知識のない乳幼児でも聞き覚えのあるメロディとないメロディを識別できるとの報告がある。学習領域固有の知識が無くても新規の情報体系を学習する事が出来るのはなぜなのか？この疑問に関して、学習者が前提知識のない状態で新しい情報にさらされた時、学習領域に依らない領域一般的なメカニズムが発動するとの報告がある。その一つとして統計学習が主張されている。

これまでの統計学習に関する研究に単語分離課題を用いたものがある。これは無意味単語をランダムに並べた音列を被験者に提示すると、音列から単語を抽出していくというものであり、脳波や脳磁図からもこの学習効果が確認されている。単語分離課題を用いた統計学習に関する先行研究において、高確率で遷移した音に比べて低確率で遷移した音に対する P1 や N1 応答のピーク振幅が有意に高くなる事が明らかにされている。音列を統計学習すれば、先行音に続く後続音を予測する事が出来る。これに伴って、高確率で遷移する予測し易い後続音の聴覚誘発応答は減少し、反対に低確率で遷移する予測しづらい後続音の聴覚誘発応答は増加する。更に、高確率で遷移する音は低確率で遷移する音に比べて聴覚誘発応答の潜時が短くなる事が示唆されている。これらの結果から、音列を統計学習した際、高確率で遷移する音と低確率で遷移する音の聴覚誘発応答の振幅と潜時に差が生じると考えられる。一方、反復刺激により聴皮質ニューロンの馴化が起こり、聴覚誘発応答の振幅は減少する。つまり学習者が統計学習している際の聴覚誘発応答の振幅と潜時には、統計学習効果と反復刺激による馴化効果の両方が反映されていると考えられる。P1, N1 応答は音列の統計学習効果の指標となりうる事が示唆されている。

一方、言語や音楽の人工文法モデルとしてマルコフ過程が、自然言語処理や音楽認知、統計学習など様々な研究分野において用いられている。マルコフ過程とは遷移確率モデルであり、次の状態が過去のいかなる状態にも依存せず現在の状態によって決まるというものである。本研究では、マルコフ過程を用いて音列を作成した。単語分離課題もマルコフモデルの一種であると言えるが、音列から単語を抽出するという学習過程が主に言語学習を対象としているのに対し、マルコフ過程に基づいた音列では、音楽や言語等を含む、より領域一般的な統計学習メカニズム

を検証することができる。しかし、マルコフモデルを使って、統計学習が行われていく過程を神経生理学的に検証している研究は非常に少ない。我々は予備実験において、学習が進むにつれて統計的に出現確率の高い刺激は確率の低い刺激に比べて、脳磁場応答が低下するという神経生理学的現象から統計学習効果を客観評価できる事を確認した。一方、学習には、ある情報に対して明示的な意識を伴って学習する顕在学習と、明示的な意識を伴わずに学習する潜在学習に分けられる。本研究では、確率遷移に高次構造を持たせた人工言語・音楽音列の顕在・潜在統計学習を、音列聴取時の脳磁場応答と、聴取後の聴き覚えテストによる行動実験の結果から検証した。マルコフ連鎖に基づく母音列、和音列を作成した。右利き健常者 14 名（24-36 歳，女性 7 名）を対象として、306 チャンネル全頭型脳磁計 VectorView を用いて、刺激音に対する脳磁場応答を記録した。記録後、同じ法則に基づく短い音列を提示し、聞き覚えの有無を強制 2 択で回答させる行動実験を行った。脳磁場応答、行動実験結果とも、反復測定分散分析および下位検定により統計解析を行い、統計学習の効果を判定した。

まず、実験 1 では言語的刺激と音楽的刺激を用いて、領域一般的な統計学習が行われていく過程と獲得知識を相対的に処理していく過程を調べた。その結果、音刺激（音楽的・言語的）に関わりなく、高確率で遷移した音刺激は低確率で遷移した音刺激に比べ聴覚誘発応答の振幅が有意に減少し、統計学習が行われている事が確認された。また、行動実験においても統計学習効果が確認された。これにより、統計学習は学習対象に関わらず領域一般的な学習機能である事が示唆された。また、ピッチ変化は、言語や音楽の統計学習を促進する事が示された。さらに、音列の周波数スペクトルの相対的処理は、ヒトに本来備わっている領域一般的な聴覚機能である事が示唆された。

実験 2 では音楽に領域固有的な pitch class の認知が、領域一般的な統計学習とどのように関わり合っているのかを調べた。その結果、新規の法則に基づく和音音列を学習していく際、領域固有的な pitch class の認知が領域一般的な統計学習を促進する事が示された。また、行動実験においても統計学習効果が確認された。領域一般的な学習と領域固有的な学習は密接に関わり合っていると考えられる。

実験 3 では、言語獲得に関わる単語抽出と語順の統計学習と獲得知識の修正過程を調べた。その結果、単語抽出のみならず、構文構造も統計学習される事が明らかになった。また、行動実験においても統計学習効果が確認された。さらに、獲得知識の修正には新規の学習よりも時間がかかることが示唆された。言語の統計学習においては、先に大きな構造（フレーズ）を学習し、その後、小さな構造の学習（フレーズ内の単語抽出）が続く時間経過が明らかとなった。

実験 4 では学習条件（潜在的統計学習・顕在的統計学習）の違いが統計学習に与える影響について調べた。その結果、学習条件に関わりなく、統計学習が行われる過程が確認された。また、行動実験においても統計学習効果が確認された。さらに、この学習効果は音高が相対的に変化しても持続する事が解った。これにより、統計学習と音高を相対的に処理する機能は、学習者の注意とは殆ど関係なくおこなわれると考えられる。一方、顕在学習条件では潜在学習条件よりも学習効果が早く検出された。

実験 5 では、複数の統計的情報を同時に提示された際の注意の向け方による学習効果の違いを調べた。その結果、双方に注意を向けるより、片方を無視し、もう片方に注意を向ける方が、双方の音列の学習効果が高まることが明らかとなった。また、行動実験においても統計学習効果が確認された。我々は、日常生活において情報を一種類ずつ処理する事は少なく、顕在的または潜在的に複数の情報を同時並列的に処理している。2つの情報に同時に注意を向けて学習すると、神経活動が干渉し合い、学習効果が低下するとの報告がある。本研究結果と合わせると、潜在・顕在学習では神経基盤が異なることが示唆される。

これまで報告されてきた、言語や音楽認知に伴う代表的な事象関連電位として EAN, N400, N600 等が挙げられるが、これらは既に獲得済みの知識を反映するものであり、長期記憶が関与していると考えられる。一方、言語知識のない乳幼児は音列から単語や構文構造を抽出し簡単な文章を作る事が出来る。前提知識が無くても新規の情報体系を学習する事が出来るのはなぜなのかを明らかにする為に、本研究ではオリジナルの遷移規則を用いることで、前提知識の無い成人の短期的な学習がどのように事象関連応答に反映されていくのかを調べた。本研究により、言語・非言語音列の短期的統計学習によって、学習効果が P1 や N1 に反映する事がわかった。高確率で遷移する音刺激に対する応答は低確率のもの比べて振幅が低下する。この結果により、音列の高次構造の学習の初期段階では、学習効果は短期記憶に裏打ちされた前注意処理に関わる、P1 や N1 等の早期成分に反映すると考えられる。そして長期間に渡って学習に伴う記憶のリハーサルを繰り返すことにより短期的な統計知識が長期記憶として変換されると、学習効果は早期成分である P1, N1, MMN よりも、後期成分である EAN や N400 等に反映されるのかもしれない。

本研究によって以下の事が示された。健常成人でも学習方法(潜在的・顕在的)や音刺激(音楽・言語)に関わりなく統計学習がおこなわれる事を明らかにし、統計学習効果を脳磁場応答 P1m, N1m により客観評価出来る事がわかった。高確率遷移した刺激音に対する脳磁場応答は低確率遷移したもの比べて頂点振幅が有意に低下した。また、行動実験においても統計学習効果が確認された。顕在学習は潜在学習よりも早期に学習効果が検出された。二声の母音列の同時聴取においては、双方を顕在学習するより、片方を潜在学習、もう片方を顕在学習する方が双方の音列の統計学習が促進することが示された。音列種によらず学習効果が確認されたことから、統計学習は領域一般的である事が脳磁場応答からも示唆された。顕在学習は短期的な学習効果が期待できる一方、潜在学習は複数の情報を同時並列処理する際に重要な学習戦略であることが示唆された。潜在統計学習の脳磁場応答による客観評価は、個人の学習教育歴の影響を最小化し注意力の低下を来たしている被験者でも施行可能なため、認知症の早期診断等に臨床応用できる可能性が考えられる。