

氏 名 牧田 快

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 1567 号

学位授与の日付 平成24年9月28日

学位授与の要件 生命科学研究科 生理科学専攻  
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 The role of the right cerebellum and the left fusiform gyrus  
during foreign language vocabulary learning enhanced by the  
phonological loop: an fMRI study

論文審査委員 主 査 教授 柿木 隆介  
教授 定藤 規弘  
教授 南部 篤  
准教授 飯高 哲也 名古屋大学

外国語の語彙学習時には、ワーキングメモリ(作業記憶)の構成要素の一つである音韻ループが重要な役割を果たすと考えられている。音韻ループは音韻情報を一時的に保存する音韻貯蔵庫と、入力された音韻情報を繰り返し処理することでその情報をリフレッシュして保持期間を延ばす構音コントロールの2つのサブコンポーネントから構成される。先行研究の結果からは音韻ループでの音韻情報の処理が、特に新規な外国語単語のように聞き覚えのない言語情報の取り込みを促進することが示されており、音韻ループは短期的かつ脆弱な音韻記憶が、より長期的で強固な音韻記憶になるまでの橋渡しの役を担うと示唆されている。しかしながら、外国語の語彙学習において音韻ループがどのように関わるのか、どのような神経基盤が関与するのかは明らかではない。出願者は外国語単語の短期的及び長期的な記憶の形成過程に対する音韻ループの関与する際の神経活動を抽出することを目的とし、24名の健康な日本人を対象として機能的磁気共鳴装置(fMRI)を用いて実験を行った。

一般に記憶に関与する神経領域は、学習の進行に伴ってその活動が減弱することが知られている(repetition priming)。音韻ループが外国語の語彙学習に関与した場合には、そうでない場合と比べて学習の進行度合い、即ち学習成績が向上し、それに伴って語彙学習関連の神経領域の課題関連活動の減弱程度は増強することが予想される。さらに、単語のような多種感覚の情報から成る記憶の想起時には記憶関連領域がその記憶強度に応じて再賦活することが知られていることから、音韻ループを用いて学習した外国語の想起時には、そうでない場合よりも強い活動が予想され、これが音韻ループの長期記憶形成に与える影響を反映する神経基盤である、との仮説を立てた。このような音韻ループと新規外国語の長期記憶形成の相互作用の起こる脳領域として、音韻ループおよび運動の長期記憶に関連する小脳半球、ならびに語彙に関する多種感覚統合に関連する紡錘状回が予想された。

実験ではfMRIによって神経活動を計測しながら、新規の外国語単語に対する学習時と想起時の双方に関わる脳領域を調査した。学習時の課題としては、外国語単語の音声とその単語の意味する概念を画像として同時に呈示し、これをペアとして覚える学習課題を実施した。この学習の際に単語音声を口頭反復して覚える(音韻ループ介在)条件と、数字を読み上げる(音韻ループ妨害)条件を設定、音韻ループの学習への関与を明示的に操作した。また、行動指標として脳活動計測の合間に単語の再認テストを実施し、その成績を被験者の語彙習得率(学習成績)として算出した。想起時の課題としては、学習課題の終了後に学習課題時に用いた単語音声—画像ペアの中から画像のみが呈示され、ペアであった音声を想起する単語想起課題と、単語音声からペアであった画像を想起する画像想起課題を別個に行った。

結果、予想どおり、学習時には被験者の学習成績は音韻ループ介在条件の方が音韻ループ妨害条件よりも有意に高いこと、また学習成績の向上に伴って右小脳、左紡錘状回、右下側頭回の脳活動に、音韻ループ介在条件での学習時に特異的な減弱が見られることが示された。この3つの領域において想起課題を行っている時の神経活動を抽出したところ、単語想起課題の方が画像想起課題よりもその活動値が高いこと、想起する単語が音韻ループ介在条件で学習した単語であった場合に音韻ループ妨害条件で学習した単語の時よりも高い活動値であることが示された。更に被験者の学習成績と単語想起課題中の上記3領域の神経活動値との相関解析から、右小脳と左紡錘状回においてのみ、想起する単語が音韻ループ介在条件で学習した単語であった場合の神経活動と学習成績に正の相関があることが示された。

上記の結果より、右小脳と左紡錘状回の2つの領域が音韻ループによって促進される外国語学習に関与する神経基盤であると考えられる。右小脳は言語性課題の遂行時によく活動することから音韻ループとの関わりが示唆されており、また新規の運動学習時に内部モデル(長期記憶)を形成する場であると考えられている。左紡錘状回は、文字や(盲患者にとっての)点字など単語の処理に関わること、また音声や絵などの多種感覚からなる情報統合に関わることが示唆されている。これらのことから、右小脳において口頭反復を介する、音韻ループの介在する学習によって新規単語の発音パターンが発声運動の内部モデルとして記銘され、これが音韻情報並びに視覚的意味情報とともに「単語」として左紡錘状回にて統合されたと解釈された。以上より、外国語の語彙学習に音韻ループが介在することで右小脳と左紡錘状回が共同的に働き、新規単語の音韻情報、視覚的意味情報、発音パターンがより強固に連合、学習の促進につながったと結論付けられた。

外国語の語彙学習は、作業記憶の一つである音韻ループにより促進される。音韻ループは一時的かつ脆弱な音韻記憶が、より長期的で強固な音韻記憶になるまでの橋渡しの役を担うとされている。しかしながら、外国語の語彙学習において音韻ループがどのように関わるのか、どのような神経基盤が関与するのかは明らかではない。本研究は、外国語単語の短期的及び長期的記憶の形成過程に対する音韻ループの関与する際の神経活動を抽出することを目的として、24名の健康な日本人を対象に機能的磁気共鳴装置(fMRI)を用いて実験が行われた。

一般に記憶に関与する神経領域は、学習の進行に伴ってその活動が減弱することが知られている(repetition priming)。そのため、音韻ループを用いて語彙学習をした場合には、そうでない場合に比べて学習成績が向上し、それに伴って語彙学習関連の神経領域の課題関連活動の減弱程度は増強することが予想される。出願者は、記憶想起時には記憶関連領域が再賦活されることが知られており、音韻ループを用いて学習した語彙の想起時には、そうでない場合よりも強い活動があると予想し、これが音韻ループの長期記憶形成に与える影響の神経基盤である、との仮説を立てた。このような音韻ループと語彙長期記憶形成の相互作用の起こる領域として、音韻ループおよび運動の長期記憶に関連する小脳半球、ならびに語彙に関する多種感覚統合に関連する紡錘状回に注目して実験が行われた。

実験では、学習課題として外国語音声と画像をペアとして覚える課題を実施した。音韻ループの学習への関与を明示的に操作するため、単語音声を口頭反復して覚える(音韻ループ介在)条件と、数字を読み上げる(音韻ループ妨害)条件を設定した。想起課題では、学習した単語音声—画像ペアから画像が呈示され、ペアであった音声を想起する単語想起課題と、単語音声からペアであった画像を想起する画像想起課題を行った。

出願者の予想どおり、被験者の学習成績は音韻ループ介在条件で有意に高く、学習が進むにつれ、右小脳、左紡錘状回、右下側頭回の脳活動に、音韻ループ特異的な減弱が見られた。単語を想起する際には、上記の三領域の内、右小脳と左紡錘状回において、音韻ループ介在条件で覚えた単語を想起する時の活動が音韻ループ妨害条件よりも有意に大きく、その賦活程度は学習成績と正の相関を示された。

この結果は、右小脳において口頭反復を介した学習によって新規語の発音パターンが発声運動の内部モデルとして記憶され、これが音韻情報並びに視覚的意味情報とともに「単語」として左紡錘状回にて統合されたと解釈された。以上外国語の語彙学習に音韻ループが介在することで右小脳と左紡錘状回が共同的に働き、新規単語の音韻情報、視覚的意味情報、発音パターンがより強固に連合したと結論付けられた。

学位論文の内容は、出願者が第1著者としてまとめ、英文原著論文として投稿中である。研究内容は非常にすぐれており、国際的にも高いレベルであると、審査委員全員が判断した。