

# 英語学習におけるメタ認知ストラテジーの脳科学的効果 光トポグラフィによる選択的注意の観測

大石晴美  
木下 徹

## 1. はじめに

選択的注意は、O'Malley(1990)において、外国語習得を促進するためのメタ認知ストラテジーとしてあげられている。では、外国語習得過程において、選択的注意とは何であろうか。選択的注意が活性されると、認知的にも脳科学的にも学習効果はあがるのだろうか。我々の生活には、非常に多くの情報が氾濫しているが、すべての情報を受け入れているわけではなく自らにとって必要な情報だけを選別して生活をしている。その情報を取捨選択する注意が人の情報処理システムにおける「選択的注意」である

O'Malley & Chamot(1990)では、学習が促進されるいくつかのメタ認知ストラテジーを取り上げているが、その中で選択的注意(selective attention)は、planning, monitoring, evaluationと並んで、学習を効率的に進める方法であるとしている。選択的注意は、学習者がテキストの中の多くの情報から、理解に必要な情報を選択して取り入れる時に働く。

Schmidt(1999)および Simard & Wong(2001)では、学習時の注意容量には限界があり、選択的に課題に向けられなければならない、学習には不可欠のものであるとしている。McLaughlin *et al.* (1983)でのAttention-processing Model においては、言語習得が進むにつれ、注意の働きはコントロール処理からオートマチック処理に移行していくとしている。このことからすると、英語学習においても学習を重ねていくうちに、選択的注意は、意識的から無意識に働くようになっていくことが英語学習における目標であるといえる。しかし、言語習得において選択的注意は、

実際に意識的から無意識的に働くように移行していくかということはお、議論の対象になっている。

これまでの、外国語教育における言語処理研究では、学習者へのアンケートなどから認知的経験則による理論に留まっており、その客観性、特に、測定の直接性については一定の限界があることが指摘されてきた。この点に関して、1990年以降、大幅に言語と脳機能研究が飛躍的に進み、技術革新によって開発されたPET(陽電子放出型断層撮影装置)、fMRI(機能的磁気共鳴画像装置)、MEG(脳磁計)といった非侵襲的な装置が広く利用できるようになってきた。これらは非侵襲ということで、実験に当たって異物を挿入することもなく、人体を傷つけることなく脳の活動が計測できるようになったことを意味する。しかし、これらの装置は、大がかりで、かつ、身体の動きや姿勢について、種々の制約もあるため、学習者の自然な状態での言語処理に関するデータを採取することには、なお、多くの困難が存在する。

これに対して、1995年には、光トポグラフィ装置が開発され、90年代後半から日常の環境の中で計測ができる簡易性が脳機能の研究に大きく貢献し始めた。光トポグラフィは空間解像度や測定された現象の解釈にあいまいさがあるといった問題は残されているものの、人を対象とした実験では、自然な状態で採取された、客観的なデータが得やすく、かつ、視覚化されて表示もできるという点においてこの研究分野をリードするものとなった。

このような、脳画像イメージングの技術進歩を背景にして、本稿では、言語習得における注意の働きに注目する。言語習得における選択的注意とは何か、学習過程における選択的注意はどのような効果があるのか、といった問題に関して、英語の上級学習者と初級学習者を対象に光トポグラフィを使用し脳内活性状態を観測し、これまで理論的、間接的に推測されるにとどまっていた学習における選択的注意の働きを脳科学の面から検証することとする。

## 2. 実験

実験課題：初級学習者よりも中級および上級学習者の方が、学習における選択的注意を働かせているのか。

#### 実験参加者

英語学習者	15名	(TOEFL393～620点)	
初級学習者	5名	最低393点	最高420点
中級学習者	5名	最低420点	最高550点
上級学習者	5名	最低553点	最高620点

#### 実験手順

- 学習歴についてのアンケートと実験承諾書記入
- 光トポグラフィのプロブ装着
- リスニング課題提示(休憩40秒 課題40秒 休憩40秒)
- 内容理解度テスト(4択式7問)
- 理解した内容報告
- アンケート(内容理解、メタ認知ストラテジーについて)
- インタビュー(計測血流量と参加者の意識的現象照合)

#### 実験材料

- 英語準1級のリスニング問題
- 課題テスト(14点満点で採点、TOEFLとの相関関係  $r = 0.89$   $p < 0.01$ )

#### 理解度測定

理解力の測定方法として、多肢選択式7問(14点満点、比率で表示)とリコール・プロトコル方式で理解した内容を口頭で報告してもらった。多肢選択式の解答は、内容が正確に把握されていなくても解答できる場合があるため、確認の意味で、口頭式のリコール・プロトコル方式を採用した。評価方法としては、理解されている命題数で14点満点で採点し、正答率で処理をした。実際には、選択式とプロトコル式の得点の全員を対象にした相関関係は、 $r=0.85$ ( $p.<0.01$ )と高かったため、選択式の得点を統計処理には採用した。問題方法と解答の言語は母語の日本語にした。理由は、目標言語では、言語使用の困難さによる干渉があるとの報告があることから(Lee, 1986; Wolf, 1993)、理解した内容をより正確に報告してもらうためである。

#### データ処理方法と統計分析法

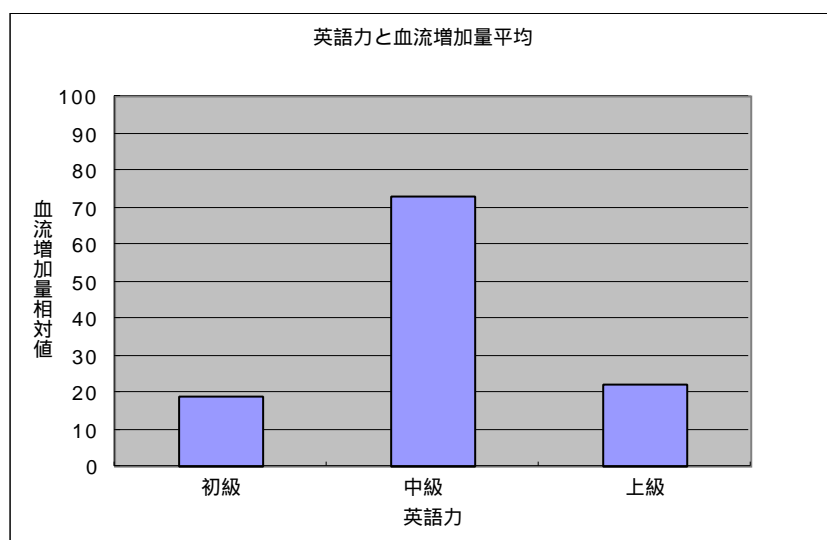
光トポグラフィにより計測された脳内血流量は、ヘモグロビン濃度で示され、その単位は、次の式で求められている。 $\text{Mmol} \cdot \text{mm} = (\text{Hb分子量mol}) / 10^{-3} \cdot \text{光路長} (\text{mm})$ 。データ解析の際には、課題提示中40秒間のデータをマハラノビス処理によって、解析範囲のヘモグロビン濃度データを、データの分散に対する相対値として扱うことにより正規化した。これにより、変化量のレンジが異なるヘモグロビン濃度データの変化の割合を同一尺度で比較することができる(詳細は日立メディコETG100用マニュアル参照のこと)。さらに、移動平均処理によって前後5秒のデータから平均を求めて各時刻のデータを置き換え、ノイズを抑えたデータを求め、そのデータに基づいて処理をした。統計分析は、データ数が少ないことと正規分布をしないことから、ノンパラメトリック法を採用した。2群の差の検定に関しては、マン・ホイットニーを用いた。尚、段階仮説の検証方法については、TOEFLの得点によって実験参加者を習熟度別に初級学習者と上級学習者の2群に分け、それぞれの群において、課題遂行中の左脳と右脳の脳内血流増加量を比較した。

### 3. 実験結果

初級、中級、上級の各群に対して、それぞれのペアに対して、マン・ホイットニー検定を、危険率にボンフェローニの修正を加えて行った。その結果、初級と中級、中級と上級は、危険率1%で有意な差が認められた。他方、初級と上級の間では有意差は検出されなかった。

#### マンホイットニ - U 検定結果

初級 - 中級	U値0	(下側1 上側25)	** p < 0.01
上級 - 中級	U値0	(下側1 上側25)	** p < 0.01
初級 - 上級	U値8	(下側4 上側21)	n.s.



#### 実験課題について

課題遂行時の学習者の言語野の血流増加量は、初級学習者から中級学習者になるにつれ増加し、中級学習者から上級学習者になるにつれ減少していることが観測された。したがって、本実験課題の「初級学習者よりも中級および上級学習者の方が、学習における選択的注意を働かせているのか」についての答は、初級学習者よりも中級学習者の方が本課題に向ける注意量は多かったと解釈することができる。しかし、上級学習者では、血流増加量については、中級学習者より有意に少なく、他方、初級学習者とは有意差がなかった。ただし、これについては、大脳皮質の表面的な血流量であることも考慮して、初級学習者の選択的注意の課題の向け方と上級学習者の課題の向け方には大きな違いがあると言える。初級学習者については、学習の動機付けが低く注意が向けられない状態であり、上級学習者においては、課題に多くの(意識的な)注意を向ける必要がないと思われる。

この点について総合的に考察すると、学習者が進むにつれて選択的注意は意識的・コントロール的から無意識的・自動的に活性するようになると解釈することができる。初級学習者においては、本来ならば必要のない脳内部位にまで負荷が

かかってしまうことになり、不必要な労力を費やすため、学習者の疲労度は大きいことになる。

## 4 . 考察

### 4 . 1 脳血流量からの選択的注意活性化度観測の可能性

選択的注意は脳内の NRT(視床網様核)で機能しているとされている。人の脳内の情報処理能力には限界があるため、外界で多量に流れている情報の中から脳で処理すべき情報と処理する必要のない情報を取捨選択することが必要である。この取捨選択をする機能が選択的注意であることは前項でも触れた。したがって、選択的注意は、注目する必要がある情報だけでなく、注意する必要のない情報に対して処理が行われないように抑制する働きをし、積極的に情報を無視することとしても働く(苧阪、1996)。

人が意識的に注意を向けたのか否かについてはどのように判断できるのだろうか。その基準として、報告可能性(reportability)が広く採用されているが、これは、必ずしも報告可能であることが意識に対する必要かつ十分な要件として仮定しているものではないとされる。ただ、人の心的状態についての仮説をたてるためのデータ収集法として今までのところ、これが有用な方法である(Dennett, 1991)ということにすぎない。明らかに、人は意識していても、無意識であると報告したり、無意識的処理をしても、成果が見られれば、意識的処理であるとしてしまう場合も多い。

近年、ことに意識と注意の研究が盛んになってきた。一つの理由には、客観的に人の意識、無意識を観測できる可能性がでてきたことにある。具体的には、1)脳の高次機能の解明が進み、脳の働きを通して意識を考えることが現実味をおびてきた。2)意識を科学的に捉えるキー概念である注意の脳内メカニズムがある程度解明されつつあり、注意が情報を束ねる働きをもつことが判明してきた。3)脳が行う無意識的情報処理のプロセスの解明も進んできた。4)意識という高次な脳の情報処理の計算的モデリングが進んできた。これらに加えて、5)直接脳を観察できる非侵襲的方法(ニューロイメージング装置)、つまり最先端の脳の機能画像化のテクノロジーが発展してきたことがある。こうした方法により認知

神経科学を中心として脳の高次機能の働きが明らかにされ、意識という霧につつまれたものを、脳の働きを通して明らかにする手がかりが得られてきている(芋阪、2000)。

第二言語習得や外国語学習の分野でも、言語処理の自動化について注意機能の観点から脳機能イメージングによる研究が注目されている。これまでの第二言語習得のモデルについての理論的枠組みは、意識的注意と無意識的注意の働きを、学習者の主観的報告によって判断する方法等に大きく依存せざるを得なかったのに対し、近年の技術革新により、脳画像イメージングの技法が人間の認知的メカニズムの客観的観察法として、脳神経学の分野だけでなく心理学、言語学の面でも脚光を浴びてきている。例として Segalowitz(2001)は、言語処理の自動化と脳機能の関連性についての研究の重要性を主張している。また、Tomlin & Villa(1994)においては、Posner & Peterson(1990)および Posner & Carr(1992)が、注意と脳血流の関連性をPETで明らかにしたとして、第二言語習得と注意の脳科学的研究の必要性が主張されている。

脳血流量の増加が著しい状態の学習者の内面変化について、心理作用の面から考察すると、Dulay *et al.*(1982)では、第二言語の学習に関連するものとして3つの心理作用が説明されている。これらの作用のうち2つは「フィルター」と「オーガナイザー」と呼ばれる無意識的な作用であり、もう一つの作用は、意識的な「モニター」作用であるとされている。言語学習者は、聞いた音声や読んだ文字情報をすべてインプットできるわけではない。学習者の習熟度、動機、ニーズ、態度、感情などによって、言語情報がフィルターにかかり、その結果が、言語学習の速度や内容に影響を及ぼすとされている。この考えを援用するとフィルターをスムーズに通過することができる時には、血流量の増加は少なく、うまく通過しない場合には、血流増加量は多いと解釈することができる。

先述したように、光トポグラフィは非侵襲的観測法の一つである。このような脳機能測定方法によって、注意が活性化すると脳血流量が増加する傾向にあるという結果が得られるようになった。ただし、脳血流量と注意の関係は一対一対応の現象ではなく、課題遂行中に何か他の刺激により意識や注意の高揚があった可能性を考慮に入れる必要があり、注意は、脳血流量が増加する一つの要因ではあるが全てではないことも留意する必要がある。

#### 4.2 脳血流量と気づき仮説

脳血流量は、Schmidt(1990)の掲げる「気づき仮説」(noticing hypothesis)においても判断材料となりうる。学習の内面で「気づき」が起こる時は、意味に焦点が向けられ、インプットが増強される。また、意味の焦点化が起こると、脳内のワーキングメモリで注意をコントロールすることができる。この時点において、注意はワーキングメモリ内に情報をインプットするため、そして、ワーキングメモリ内の情報を検索するために有効に働くことになる。

van Patten(1994)では、学習者が情報のインプットを受ける時は、言語の形式よりも意味処理に焦点が向けられる傾向があると報告されている。さらに、意味に焦点を向けられるがため、インプットがおこる時に文法項目が見落とされてしまいがちであるとも指摘している。ただし、この原因は、言語情報をインプットするための脳内の容量は限りがあるためであり、注意の焦点が、言語形式にあてられるのか意味にあてられるかについては、学習者がどのような内容の題材を理解するのかによるとしている。また、Schmidt(2001)も、学習時には、注意は不可欠のものであり、第二言語習得を成功させるためには、言語形式に注意を向けさせる必要があるとして、言語形式に対する注意の役割を重視している。

さらに、いくつかの研究例が意味と言語形式への注意が統合可能なことを主張しており、学習者は学習過程において言語形式に焦点をあてながら、同時に意味処理にも注意を向けることが必要であるとしてインプット強化 (Input enhancement) の重要性が議論されている。van Patten(1994)は、言語処理がインプットからインテイクに移行する効果的教授法を考案した。それによると、文法事項のインプット強化をしながら内容に即した絵を選ぶことなどで、内容を理解することに焦点をあてたタスクを与えることにより、文法の力が伸びたとしている。また、学習者の注意が言語形式に向きすぎると意味への注意がおろそかになり、反対に意味への注意を向けると、内容を理解しながら言語形式にも注意を向けることができるとし、意味と言語形式の統合的処理が促進することを示唆している。このような状況から、こうした気づきによる現象についても、与えられた課題遂行中の脳血流量変化と気づきの関連性を明らかにする可能性が広がったと考えることができる。



#### 4.3 メタ認知ストラテジーとしての選択的注意

メタ認知ストラテジー使用状況も血流量で活性状態を推測できる可能性がある。本論で注目している選択的注意は、学習過程に使用するメタ認知ストラテジーであり、学習者がこれを効果的に働かせることで学習が促進される。近年、読解過程においてメタ認知ストラテジーが重要視され、学習者を単に学習結果で判断するのではなく、学習過程、つまり、課題遂行時に学習者の認知レベルでは、どのように言語が情報として処理されているのか、また、どのようなストラテジーを利用すれば効果的な言語情報処理が行われるのかということ明らかにしようと研究が進んできた。そうした、学習者の内面での認知的働きを探るためには、学習者が自己の読解プロセスを学習者自身において把握するためのメタ認知能力を調査した多くの研究結果が報告されている(e.g. Carrel,1989; Barnett,1988)。

認知の認知とも言われているメタ認知は、一般的な認知の上のレベルにあるとされ、メタ認知ストラテジーと理解能力の関連性については、効率よく処理が進み学習結果を向上させることができるストラテジーについて研究がなされてきた(Block,1986)。そうしたストラテジーを有効利用することによって、言語処理の流暢さに結びつけることができる。

情報処理の自動化論について考えてみると、自動的処理がなされるということは、ストラテジーが自動的に働くこととみなすことができる。メタ認知ストラテジーとは、「自己の認知を認知する」ストラテジーであるため、一般的には、意識的なものであると思われがちであるが、注意の自動化論では、同じ学習者の内面でおこる現象を、意識的なものと無意識的なものに区別している。一方、Kirby(1988)は、意識的なプロセスをストラテジー、無意識的、自動化されたものをスキルと呼んで区別し、これらは相互に作用、影響しあうものであるとしている。Paris(1983)は、ストラテジーは「内容理解のために学習者が使う戦術」であり、スキルは「自動的情報処理テクニック」であるとしている。また、Dole(1991)でも、スキルは「高度にルーティン化した、ほとんど自動的な行為」であり、ストラテジーは、「意識的で、具体的に示された柔軟なプラン」と区別して定義している。しかし、Paris *et al.*(1991)では、無意識的な作業とされるスキルも意識的に使用される場合もあり、その間の明白な断層はないとし、英語学習の熟達者でも、新しい情報は、意識的に処理をすることを主張している

選択的注意の活性度に関しては、Carr & Curran(1994)では、第二言語習得は、学習が進み情報が蓄積されることにより、選択的注意に向けられる容量が増加し、結果的に、理解が促進されるとしている。しかし、同時に、学習課題が複雑である場合には、注意の果たす役割は制限されるとしている。また、Mellow(1996)では、学習が自動化されていない文法的項目については、注意を活性化させる認知的資源が豊富である方が、資源が限られている場合に比べて言語を正確に使用することができるとし、注意の向け方は、課題の難易度や指示、コンテキストなどにより異なると主張している。

これまでに提唱されてきたいくつかの言語習得モデルにおいても、効果的な学習過程では、学習者の内面で、注意を自動的・無意識的に働き、自ら気づき(noticing)、意識(awareness)が向けられ情報のインプットがなされ、そして、認知レベルで意味的処理がなされたあとインテイクの段階に移行されていくことが主張されている(Schmidt, 1995; Robinson, 1995; Muranoi, 2000)。つまり、言語習得が進むと言語情報処理方法は、選択的注意が、自動的・無意識的に働き、インプットからインテイクの段階にスムーズに進んでいくと解釈することができる。本実験で得られた英語力と脳血流量の関係からも、言語習得が進むと言語処理が自動的・無意識的に処理するようになる。すなわち、学習段階において、自動的・無意識的に学習者が自ら「選択的注意」に向け、「気づき」がおこり「インプット」が行われ「インテイク」に移行していくことが脳科学的に検証できる可能性が高まったと言える。

## 5. まとめ

本実験では、光トポグラフィを利用して言語課題遂行中の脳血流量を実測し、「選択的注意」を測定する可能性、また、「気づき仮説」を実証する可能性について考察した。人が意識的に注意を向けたのか否かについて判断するのは、自己報告という手段があるが、これでは、学習者や指導者の主観的データに留まってしまう。この点を補足するために、注意研究の分野では、最先端の脳の機能画像化のテクノロジーの発展があり、意識を科学的に捉えるキー概念である注意の脳内メカニズムが解明され、情報操作に関与していることが次第に明らかになりつつあ

る。

本研究では、非侵襲的装置である光トポグラフィを使用した。英語学習者を TOEFL の得点によって分類し、英語能力と脳内血流量との関係について、選択的注意という観点から実験を行った。その結果、脳内血流量は、初級学習者から中級、上級学習者へと移行する段階で、初級から中級へと移行するころは増加していき、上級学習者になるにつれ、再度減少することが確認された。ただし、この血流量変化は、英語力および英語学習者の選択的注意による影響だけでなく、その他の要因も影響を及ぼしている可能性も否定はできない。

今後の課題としては、英語力(ability)と注意(attention)に加え、不安(anxiety)、態度(attitude)等と英語課題遂行時の血流増加量との相関関係についても探求していき、どのような要因が選択的注意を活性化させるのかについて、学習者の脳内メカニズムを総合的に検討を加えていくことが求められている。

## 参考文献

- Barnett, M.A. (1988). Reading through context: how real and perceived strategy use affects L2 comprehension. *Modern Language Journal*, 72, 150-160.
- Block, E. L. (1986). The comprehension strategies of second language readers. *TESOL Quarterly*, 20: 463-494.
- Carr, T. H., & Curran T. (1994). Acquisition of procedural skills from examples. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 20, 1332-1340.
- Carrell, P. L. (1989). Metacognitive awareness and second language reading. *Modern Language Journal*, 73, 121-134.
- Dennett, D. (1991). *Consciousness explained*, Boston, MA: Little, Brown & Co. (山口泰司訳、1998、『解明される意識』、青土社)
- Dole, J. A. (1991). Moving from the old to the new: Research on reading comprehension instruction. *Review of Educational Research*, 61, 239-264.
- Dulay, H., Burt, M., & Krashen, S. (1982). *Language Two*. Oxford: Oxford University Press.
- Kirby, J. R. (1988). Style, strategy, and skill in reading. In R. Schmeck (eds.), *Learning*

大石晴美・木下 徹

- Strategies and Learning Styles*, 229-274. New York: Plenum Press.
- Lee, J. F. (1986). Background knowledge and L2 reading. *Modern Language Journal*, 70, 4, 350-354.
- McLaughlin, B, Rossman, T., & McLeod, B. (1983) Second language learning: An information-processing perspective, *Language Learning*, 33, 135-158.
- Mellow, J. D. (1996). On the primacy of theory in applied studies: A critique of Pienemann and Johnston (1987). *Second Language Research*, 12, 3, 304-318.
- Muranoi, H. (2000). Focus on form through interaction enhancement: Integrating formal instruction into a communicative task in EFL classrooms. *Language Learning*, 50, 4, 617-673.
- O'Malley & Chamot A. U. (1990). *Learning Strategies in Second Language Acquisition*. CUP.
- 芋阪直行 (1996). 『意識とは何か』、岩波科学ライブラリー岩波書店
- 芋阪直行(編)(2000). 『ワーキングメモリ』、京都大学学術出版.
- Paris, S. G. (1983). Becoming a strategic reader. *Contemporary Educational Psychology*, 8, 293-316.
- Paris, S. G., et al. (1991). The development of strategic readers. In Barr, R., Kamil, M. L., Mosenthal, P. B., & Pearson, P. D. (eds.) (1996), *Handbook of Reading Research 2*, 609-640. New York: Longman.
- Posner, M. I. & Carr, T. H. (1992). Lexical access and the brain: Anatomical constraints on cognitive models of word recognition. *American Journal of Psychology*, 105, 1-26.
- Posner, M. I. & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.
- Robinson, P. (1995). Attention, memory, and the "noticing" hypothesis. *Language Learning*, 45, 283-331.
- Schmidt, R. (1990). The role of consciousness in second language learning. *Applied Linguistics*, 11, 129-158.
- Schmidt, R. (2001). Attention. In Robinson, Peter (Ed.). *Cognition and Second Language Instruction*, 3-32. Cambridge, UK: Cambridge Press.
- Simard, D., & Wong, W. (2001). Alterness, orientation, and detection: The conceptualization

of attentional functions in SLA. *Studies in Second Language Acquisition*, 23, 103-124.

Segalowitz, N. (2001). Automaticity and Second Language Acquisition. In C. Doughty & M. Long (eds.), (2001) *The Handbook of Second Language Acquisition*. Oxford: Blackwell Publishers.

Tomlin, R. S., & Villa, V. (1994). Attention in cognitive science and second language acquisition. *Studies in Second Language Acquisition*, 16, 2, 183-203.

van Patten, B. (1994). Explicit instruction and input processing. *Studies in Second Language Acquisition* 15, 225-241.

Wolf D. (1993). Issues in reading comprehension assessment: Implications for the development of research instruments and classroom tests. *Foreign Language Annals*, 26, 3, 322-331.

