

平成 22 年 4 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19520505

研究課題名（和文） ワーキングメモリ機能のシステムとして捉える言語学習機能  
そのモデルの確立と実践 -研究課題名（英文） working memory functioning in Language acquisition  
The model and its application

研究代表者

板垣 文彦（ITAGAKI FUMIHIKO）

亜細亜大学・国際関係学部・教授

研究者番号：10203077

研究成果の概要（和文）：

乱数生成（RNG）課題は音声系列によってランダムという概念を表現する点で言語と類似している。この課題は新しい解析法によって前頭葉機能評価との対応づけが可能なワーキングメモリ課題として発展してきたが、外国語の学習過程で重要になるワーキングメモリ機能と記憶構造を検討した結果、視空間的な方略によって記憶の負荷を低減させて外国語音声を追唱するシャドーイング法が効率の良い学習法として提案された。

研究成果の概要（英文）：

With a new analysis method, random number generation (RNG) has developed as a task of the working memory, which is verifiable from the standpoint of frontal lobe activation. The performance of RNG is similar to speech in representing a concept of "randomness" by a sequence of numbers. The aspects of executive functions and memory capacity, which contribute to the second language acquisition, were examined. A shadowing method of learning with visual presentation was proposed as an effective one.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：人文学

科研費の分科・細目：言語学・外国語教育

キーワード：ワーキングメモリ、実行系機能、乱数生成課題、語学習得、シャドーイング

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 乱数生成課題の「軸モデル」分析

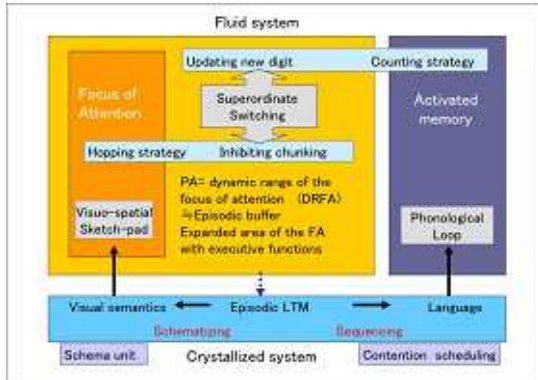
数をなるべくデタラメ生成させる乱数生成（RNG）課題はワーキングメモリ（WM）の中央実行系評価の課題として広く認知されている。ランダム性の程度は、さまざまな生成方略の変換（Switching）で達成されると考えられて

きた（Baddeley, 1986）。板垣（2005）は生成された数系列の対頻度マトリックスにおける分散（ランダム性評価）を、人間に特有なステレオタイプ反応成分とそれらを除いた純粋な系列依存性の2種類に分離・評価する「軸モデル」を提案した。さらに、この軸モデルは音韻情報と視空間情報の統合モジ

ルールである Episodic Buffer (Baddeley, 2000) の概念と  $4 \pm 1$  の容量限界を持つ Focus of Attention (Cowan, 1999, 2001, 2005) の概念を統合的に扱う乱数生成課題に特化された WM モデルとして発展してきた (板垣, 2005)。

図 1. 軸モデル (板垣, 2005)

Baddeley(2000) の Multiple component Model



の修正モデルとして表現した軸モデル

軸モデルでは以下の 5 指標の評価を行なう。

**Counting 方略:** 第 1 の生成速度促進である数系列の音韻特性を用いて Activated memory 内に新しい数表象を活性化し、Focus of Attention 内に送り込む手がかりを生成する。

**Hopping 方略:** 第 2 の生成速度促進であり、Focus of Attention 内に保持されている数表象の空間的特性 (象徴距離、マグニチュード) を用いて自然数スキーマからもっとも弁別しやすい単独の数表象を切り出す。

**NTC 値 (Non-Time-Consumed 軸値):** Hopping 軸に直交する非速度軸であり、人間の生成に特有な同数反復回避傾向の反応バイアスを反映する。この値が小さいことは同数反復を意味するが、それは Focus of Attention 内の数表象が 1 つしかないために生じており、この同数音韻の反復によって Hopping 方略から Counting 方略への方略変更を促す。

**PA 値 (Previous Association 値):** ランダム性から上記の要因を除いた純粋な系列依存性を反映する。数表象の音韻特性と視空間特性を利用したとの生成方略の循環 (Switching) によって維持される WM 容量 (Dynamic Range of the Focus of attention; DRFA) を反映する。DRFA 容量は時間の経過の中で Focus of Attention 内で次々に入れ替えられていく数表象間のリンクの多様性を表現される記憶容量であり、Baddeley の提唱する Episodic Buffer 容量に対応する。

**Efficiency:** 生成速度には、ステレオタイプ反応であり速度促進的な、の 2 つの速度要因と、の DRFA 容量による方略循環のための時間的コスト (Switching cost) が反映さ

れている。しかし、DRFA 容量のコアとなる Focus of Attention に保持可能な数表象個数は 3 から 5 ( $4 \pm 1$ ) の個人差があり、この容量が大きいほど DRFA に拡大するため Switching cost が小さくてすむ。その処理効率 (Efficiency) の高さを重回帰分析の標準残差値で評価する。

(2) RNG 課題が反映する知能のバランス

「軸モデル」指標は直接的には知能の下位検査項目評価と相関を示さないが、全検査 IQ を統制した WAIS 知能検査の下位検査との偏相関では、

Counting 方略 (自然数系列の生成傾向) は言語性 IQ の低下、並びに理解、類似の下位検査の低下に関連する。

Hopping 方略 (数表象の象徴距離を利用する反応傾向) は、数唱の下位検査の上昇 (記憶容量の増大) に関連する反面、単語と絵画配列の下位検査の低下 (概念の説明困難性とエピソードの時系列がたどれなくなる) ことに関連する。

Efficiency の上昇は符合下位検査の上昇 (学習能力の高さ) に関連する。

という 3 点が見いだされた (板垣, 2004)。

の特性は生成速度を統制しない RNG 課題で明らかになった個人の情報処理方略の違いを反映していると考えられる。

は、軸構造の切り出しが間違っていれば得られるはずのない結果であり、モデル全体の妥当性を支持する知見である。

(3) 近赤外線トポグラフィ (NIRS) を用いた前頭葉機能分析法の発展

多数の実験参加者について RNG 課題遂行時の前頭葉部位の血中酸化ヘモグロビン量 (Oxy-Hb) の相対的变化量を 52 c hNIRS により計測し、軸モデル評価値との間で産出した相関パターンを RNG-NIRS マッピングと呼ぶ。その分析の結果、Counting 反応は意味へのアクセスに関わると考えられる左中側頭回 (BA21) の抑制と状況の変化への気づきに関する右下前頭回 (IFG: BA44) 領域の活性に、一方、Hopping 反応はブローカ野の活性に関わることが見いだされた。これは Activated memory と Focus of Attention 内においてそれぞれステレオタイプ反応である反応傾向が相互の記憶容量に対しては実行系機能になることを示している。この RNG-NIRS マッピングは、新しい評価軸が構成された場合、その評価値をこのデータセットに関して再計算することで、どの前頭葉部位の活性に関連しているかを検討することが可能である。

#### (4) 語学習得能力に関する予備実験

軸モデルは、音韻情報を表象空間に取り込み、新しい意味構造を構築し、そのチャンキングを行うという連続的な学習過程を反映しており、その構造は言語習得におけるシャドウイング学習の有効性を支持している。英語教課程履修者7名を対象にして1年間のシャドウイング学習過程を検討した結果、最後に実施したTOEIC英語能力試験とそれ以前の1年間で3期に別けて実施したRNG課題の間には、前、中、後期すべてでCounting評価値がTOEIC得点と有意な相関を示した( $r = -.73$ 、 $-.85$ 、 $-.93$ )。一方、同数反復傾向を反映するNTC評価値はTOEIC検査時期に近い後期の評価値のみがTOEIC得点と高い相関を示した( $r = -.03$ 、 $-.18$ 、 $-.84$ )。これらの結果は語学能力には、ある程度個人内で安定した実行系機能(言語性IQにも関わるCountingの更新機能)と短期的に変動する実行系機能(未知の実行系機能を持つ同数反復)の2つが関与していることを示している。

## 2. 研究の目的

RNG課題と軸モデルはその遂行に利用する表象を数に限定することで「言語」を表象操作と概念構成に関わる記憶過程に分けて分析することを可能にした。具体的には、その言語処理過程は、時系列的な音声系列によって表象を更新し、同じ時系列に含まれている文法的な手がかりによって象徴空間に意味構造を構築し、それらをチャンキングするという過程の循環として表現される。そのことにより軸モデルはシャドウイング学習の有効性を理論的に支持しているが、本研究の目的は、軸モデルと脳機能の関連を詳細に検討することによって、脳機能活動としての裏付けがあるWM特性を背景として言語習得法としてシャドウイング学習を発展させることである。特に短期間でTOEIC評価に影響を与えるNTC評価が学習過程においてどのような意味を持つかについて明らかになれば、学習効率を促進することによって、学生の語学学習への動機づけを高めるといふ相乗効果が期待できる。

## 3. 研究の方法

予備研究ではTOEIC得点を語学習得の達成度評価として用い、RNG課題の軸モデル評価指標との対応関係を検討したが、それは学習量、動機づけの高さのある統制できる少数の英語教職課程の履修者を対象にしたことで可能になったが、それらの学習環境が満たされない対象に規模を拡大しただけでは言語学習に関与するWM特性の分析は困難である。本研究では、以下の3つの視点からWMと脳

機能、ならびにWMと言語に関する検討を行う。

(1) これまでの研究から前頭葉の異なる部位の活性と非活性に關係していることが明らかなCounting評価値について詳細なRNG-NIRSマッピング解析を行ない、言語習得に関わるWM特性を検討する。また、この結果に基づき、RNG課題を外国語の音韻数表象を用いて生成した場合に軸モデルのどの過程に影響が出るかを検討する。

(2) これまで実行系機能が含まれていないと考えられていたNTC評価値がTOEIC成績に關連したことから、RNG-NIRSマッピングでNTC評価値に關連する可能性がある両側眼窩前頭皮質(Orbitofrontal Cortex: OFC, BA11)について、この領域の活性に關連するキー押しランダム生成課題の側面からその意味を検討する。この領域の活性は言語理解の背景にある「共感性」に関わる部位として注目されており、他者のキー押しを予測する、自分のキー押しが予測されるのを回避する、という意図評価を組み込んだ評価軸を設定して、RNG-NIRSマッピングによる分析を行なう。

(3) 学習時間と動機づけが統制できる学習グループとして、8ヵ月間で初歩から中国語を学習し、中国でのインターンシップ開始以前に中国語3級合格を求められている「夢カレッジ」生を対象にして語学試験成績と軸モデル評価の關連を検討する。

## 4. 研究成果

(1) Countingに関する詳細なRNG-NIRSマッピング

Counting軸評価に対応する自然数系列%を上昇系列%と下降系列%の割合に分離すると、上昇系列%が左中側頭回の非活性に、下降系列%が右下前頭回の活性に対応した(図2)。このことから下降系列%は、数表象の活性とFocus of Attentionへの数表象の更新を引き受ける実行系機能であると解釈できる。図では示さないがHopping方略による活性領域は上昇系列%の非活性部位に重複しており、音声から意味を引き出せないステレオタイプ化した上昇系列自然数の生成をHopping方略が禁止している構造が考えられる。

また、生成速度の促進は左右の前頭前野背側部(DLPFC)領域の非活性に關連したが、上昇・下降の自然数の生成について%評価ではないそのままの数対頻度はその評価の中に生成速度促進、つまり、Switching機能低下の要因が含まれていることになる。RNG-NIRSマッピングの結果、上昇系列の自然数対頻度評価は両側のDLPFC領域の非活性に關係したが、下降系列のそれは左



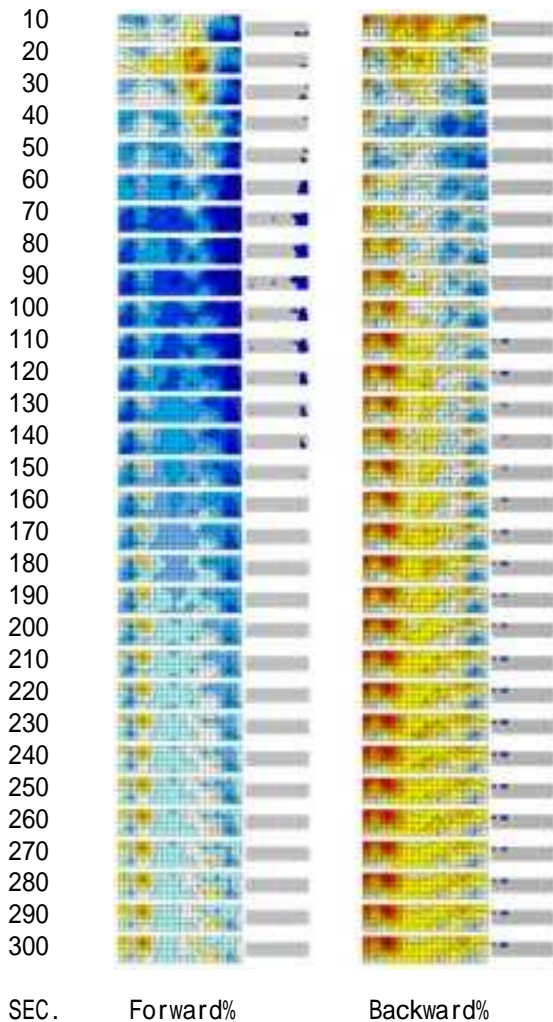


図2 RNG-NIRS マップ

10秒ごとの累積評価に基づく相関値、各30マップを表示。左パネルは約60秒後から140秒にかけて上昇系列自然数%が左中側頭回の活性と有意な負の相関(青色:非活性)を示すこと、右パネルは約110秒後から以後継続的に下降系列自然数%が右下前頭回と有意な正の相関(赤色:活性)を示すことを表している。

DLPFC領域の非活性のみに焦点づけられていた。上昇系列数対頻度の影響が両側のDLPFC領域に拡がるのは上昇系列の生成のステレオタイプ化とHopping方略の機能不全の両方が関与しているためであると予想される。

(2) 外国語音韻の使用とCounting方略

上記のRNG-NIRSマッピングはCounting方略における上昇系列の生成はステレオタイプ反応であり、下降系列のそれは実行系機能であることが示唆している。Counting方略は数表象の音韻を利用した方略であることから、外国語の音韻数表象を用いることが情報処理上の負荷になっているとすれば上昇系の自然数系列の生成が下降系のそれを上回るはずである。このことを検討するために過

去に実施した3実験のデータを再分析した。1つはItagaki & Baques(2004)の実験で、スペイン語とそれに対して相対的に語長の短いカタラン語の2つを母語とするバルセロナ自由大学の大学生36名のデータで、参加者にはスペイン語とカタラン語、外国語としての英語の3種類で無作為の順でRNG課題の遂行を求めた。もう1つはItagaki(2002)の実験で使用した33名のデータであり、参加者には最初に日本語、次に英語によるRNG課題の遂行を求めた。最後は未発表データ(2000)であり、外国語としての英語生成を母語としての英語生成と比較する目的でイギリス人大学生81名に、Even条件(ランダム性と速度の両方を同程度努力する)、Speed条件(ランダム性と生成速度について1:2の割合で速度の方をより努力する)という2つの条件でRNG課題の遂行を求めたものである。この結果、母語のスペイン語に比較して外国語の英語での生成の方が、また、母語の日本語に比較して外国語の英語での生成の方が、下降系列よりも上昇系列の自然数対頻度を有意に上回った。それに対して英語を母語とする場合の英語生成では下降系列の生成が上昇系列の生成を上回り、生成速度を促進した場合にも変化はなかった。さらに外国語の音声でRNG課題を遂行した場合に処理効率が低下していることから、数表象の更新のための方略循環が空回りしていることが示唆された。

(3) キー押しランダム生成課題

先行研究ではNTC評価値が短期間でTOEICスコアとの相関を示したが、その意味を探るため、この評価との関連が示唆されるFOC領域(BA11野)の活性に関連しているキー押しランダム課題についてRNG-NIRSマッピングで検討した。分析軸の構成には、最初にランダム生成(BASE)条件で施行し、次いでその反応傾向に基づいて次の反応をコンピュータが予測し、それ

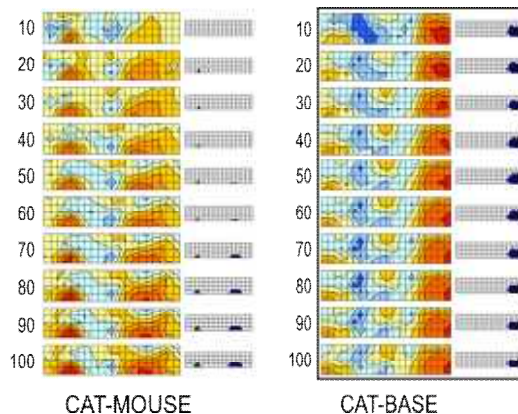


図3 キー押し課題のRNG-NIRS マップ

10秒ごとの累積評価による相関値、各10マップを表示。

を避けようとするコンピュータの選択を実験参加者が当てる(CAT 条件)、そのコンピュータの予測を実験参加者が避ける(MOUSE 条件)、という2つの条件で課題を実施した。

とに基づき軸構成には24データを用い、その RNG-NIRS マッピングの相関値算出には100秒の遂行時間が得られていた16データを用いた。その結果、CAT-MOUSE 軸評価値には FOC 領域(BA11)の活性が、CAT-BASE 軸評価値にはブローカ野を含む下前頭回(IFG)の活性との関係が見いだされた(図3)。この2つの領域はそれぞれ認知的な共感性と、ミラーシステムに関わる感情的な共感性に関わっていることが指摘されている(Shamay-Tsoory et al., 2008)。この結果で興味深いのは、分析結果が「ランダムな生成」のみを求めた BASE 条件のデータを用いている点である。つまり、この場合、他者の意図を予測に関する「意図」はキー押しランダム課題の個人差として暗黙裏に含まれているものである。また、FOC 領域に関わる認知的な共感性と IFG 領域に関わる感情的な共感性のどちらも、「他者の反応を予測する」CAT 条件の反応パターンを評価軸の極に設定している。共感性に関わる側面が空間的な情報処理に関係していること(Thakkar et al., 2010)、並びにエラーの処理時間に関係していること(Larson et al., 2010)が示唆されているが、CAT 条件での反応傾向は、その両方に当てはまる。BASE 条件と MOUSE 条件では  $3 \times 3$  の視覚的なキー配列において中心にある5のキーに反応が集中するのに対して CAT 条件ではその中心集中傾向が抑制されており、生成時間も1キーあたりの反応時間が BASE 条件平均 0.76 秒、MOUSE 条件平均 0.82 秒に対して CAT 条件平均は 1.19 秒と遅れている。

この研究は、言語習得の情報処理過程を直接反映するのではなく、その背景にある共感的な認識力の重要性を示唆する結果となったが、共感性と言語の関連は、久野著「談話の文法」や、Kuno, Kaburaki (1977) の Empathy and Syntax において言語における視点の問題、つまり、空間的処理の問題として以前から指摘されていたものである。現在のところ、BASE 条件と MOUSE 条件の違いの側面は明らかになっていないが、それらは表象空間である DRFA 容量の維持に貢献するものであるはずである。例えば感情的な共感性能力に関わるとされるブローカ野の活性は音声 RNG 課題で考えれば Hopping 機能の重要性を示唆するものである。一方、認知的な共感性に関わるとされる FOC 領域の活性が NTC 評価に関連しているとすれば、それは DRFA 容量を収縮させないためのモニター機能に関連していると予想される。先行研究において NTC 評価が短期間で TOEIC 得点と関連するようになった理由としては、その期間に1回45分の長めの

シャドーイング学習の実践を研究参加者に要求した点が関連していると考えられる。

#### (4) 中国語集中学習者の RNG 研究

比較的学習時間の要因が統制されている集団として、ゼロから中国語を学び、集中的な学習で中国語3級に合格することを求められている「夢カレッジ」コースの履修する日本人大学生を対象にし、RNG 課題によって8ヶ月後の中国語能力の達成度を予測できるかどうかについて検討した。実験参加者は夢カレッジ生17名、ならびに対照群として日本に留学中の中国からの留学生24名を対象とした。日本人学生の RNG 課題は学習開始直後の2008年5月(17名)と検定試験受験後の2009年1月(12名)の2回で、日本語と中国語の順番で実施した。中国人留学生には5月に、中国語、日本語の順で RNG 課題を実施した。中国語 RNG 課題を実施した場合、自然数の上昇・下降系列%に関しては、中国人留学生では差は認められなかったが(19.91% vs. 20.72%)、日本人学生では中国語の学習初期では上昇系列%の方が有意に下降系列%を上回った(18.45% vs. 11.15%,  $p < 0.01$ )。しかし、学習後期になると同様の傾向は存在するが、その差は有意ではなくなった(18.42% vs. 12.14%,  $p > .10$ )。逆に、日本語 RNG 課題を実施した場合、上昇・下降系列%に関しては、中国人留学生で上昇系列%の方が有意に下降系列%を上回った(28.45% vs. 16.43%,  $p < 0.01$ )。一方、日本人学生では2回とも有意差は認められなかった(1回目、15.40 vs. 14.71,  $p > .10$ 、2回目、13.17 vs. 14.51,  $p > .10$ )。また、学習初期の12名について RNG 課題評価値と8ヶ月後の中国語検定試験成績の相関を検討したところ、中国語の RNG 課題では有意な相関は得られなかったが、日本語 RNG 課題に関しては Hopping 方略値がリスニング、ライティング、合計得点すべてで有意な相関を示した(Listening  $r = .63, p < .01$ , Writing  $r = .52, p < .05$ , Total  $r = .69, p < .01$ )。

#### (5) 軸モデルに基づくシャドーイング

ここでは軸モデルに基づいて実践してきた英語学習の具体的なシャドーイング方法について解説する。学習教材として必要なものは、訳本が存在する長めの洋書小説や物語、その朗読 CD 音源、日本語の翻訳本、単語帳である。実際の学習で使用したのは、Kafuka on the shore, The Golden Compass, Blink の3冊中の1冊である。

訳本小説を先に読み、内容理解しておく。登場人物の配置、人間関係、状況をイメージする。これは DRFA の表象構造を1度母語で構築することであり、後からシャドーイングする文章を意味

として組み立てる負荷を低減させる役割を持っている。また、一人の著者が書いたテーマの決まった内容であるため、同じ単語が繰り返し出現することにより語彙知識の定着が期待される。

音源 CD を聞きながら洋書小説の文章を追い、知らない単語に線を引き、訳本で意味を確認する。その文脈での意味だけを理解するので辞書は用いない。1 ページを超えない範囲で 移行する。

英文小説の CD ブックをやや大きめの音量で聞き、同時に、洋書の文章を目で追いながら、最初は小さい声で追唱する。本実験で明らかになったように、慣れない音声を構音することに注意容量が使われると意味を取り出すことができなくなるため、当初は自分の音声生成の負荷を小さくし CD の音声で表象の更新を補うようにする。

自分の声を大きくすると共に、表象空間内の動きを示す動詞、表象空間の構成を示す前置詞に意識を向ける。

ここで RNG 課題とシャドーイング学習の根本的な相違点について指摘しておく必要があるであろう。RNG 課題に求められているのは DRFA 容量を個人の容量限界まで拡張することであり、それには時間のかかる方略循環によって保持されている表象を次々に入れ替えていくことが必要である。一方、音声言語はすべて Focus of Attention 内に更新すべき表象系列で構成されており、その意味の構築には DRFA 容量を個人の限界まで拡張する必要はない。このように考えると言語学習は表象選択の葛藤を伴うような実行系機能を多用しない処理効率重視の方法で学習するのが最も適していると考えられる。そのため本研究によるシャドーイング学習では DRFA 容量の構築とチャンキングをスムーズにするため、 の訳本を事前に読むこと 自身の発声を補うために CD 音源を大きめにし聴く、の 2 点を強調している。

#### (6) まとめ

本研究では、語学学習におけるシャドーイング学習の意義と有効性をワーキングメモリの理論的な側面から分析した。本研究はこの学習法をワーキングメモリ機能の個人差を考慮したオーダーメイドの学習法に応用するための基礎研究として位置づけられる。特に、言語を表象空間の操作である「視点」の問題として扱うことによって、「共感性」との関連が示唆されたが、その成果の多くは近赤外線脳ペクトロスコーピー(NIRS)を用いた脳機能研究を基礎にしている。この点についてはさらなる研究が必要であるが、乱数生成課題は NIRS 計測の基本課題としてもっとも相性がよく、RNG-NIRS マッピングの手法が一般化できれば、脳機能研究を活かした語学教育を着実に推進できるものと考えている。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

板垣文彦、外国語習得の基礎、亜細亜大学・学術文化紀要、17、in press.

[学会発表](計9件)

Itagaki F, Turk DJ, Itoh K, Miura S, Niwa S, Kono S, Goto D, Kawasaki S. Differential activation of the frontal lobe by suppressing stereotyped responses for forward or backward counting in Random Number Generation, The XXIV Annual Cognitive Section Conference, British Psychology society. 2007.8.21, Aberdeen.

板垣文彦、ワーキングメモリと言語習得、亜細亜大学総合学術文化学会、2007年10月6日、東京。

板垣文彦、三浦祥恵、丹羽真一、乱数生成方略の男女差と統合失調症、第5回日本ワーキングメモリ学会大会、2008年3月8日、京都。

Itagaki F, Turk DJ, Itoh K, Miura S, Niwa S, Kono S, Goto D, Kawasaki S. Strategies for random key pressing under cat-and-mouse conditions, XXIX International Conference of Psychology, 2008.7.25, Berlin.

Itagaki F, Turk DJ, Working memory capacity in random number generation, 4<sup>th</sup> European Working Memory Workshop, 2008.9.3, Bristol.

板垣文彦、三橋秀彦、言語習得と乱数生成課題、第6回日本ワーキングメモリ学会大会、2009年3月7日、京都。

板垣文彦・三浦祥恵、乱数生成課題における実行系機能(方略競合と方略循環)、第7回日本ワーキングメモリ学会、2010年3月6日、京都。

三浦祥恵・板垣文彦、乱数生成課題における上昇・下降自然数系列と知的要因に関する再検討、第7回日本ワーキングメモリ学会、2010年3月6日、京都。

板垣文彦・伊藤憲治・三浦祥恵、外国語習得の基礎過程、電子情報通信学会総合大会、2010年3月19日、仙台。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

板垣 文彦 (ITAGAKI FUMIHIKO)  
亜細亜大学・国際関係学部・教授  
研究者番号：10203077