

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 6 日現在

機関番号：32511

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2012

課題番号：21500604

研究課題名（和文）身体能力と言語能力に関連した脳内活性の統御メカニズム—社会的認知の観点から—

研究課題名（英文）The integrated mechanism of brain activation associated with physical performance and language proficiency

研究代表者

望月 明人 (MOCHIZUKI AKITO)

帝京平成大学・地域医療学部・教授

研究者番号：40167911

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、運動学習理論と言語習得理論を統合した脳活性化モデルの構築のための基礎研究である。第二言語としての英語音読時において、母語の日本語では測定されなかった脳賦活が観測された。運動課題に関しては、単独運動と二人運動の効果に著しい男女差が示された。RST 指標は言語グループとは相関が弱く、社会性の EQ および運動能力の持久力と相関を示した。言語、社会コミュニケーションや運動といった異種能力間の関連や訓練の波及効果を探るには、今後の性差や年齢差を考慮した分析が必要であることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to investigate the interrelationships between physical performance and language proficiency through brain activities, especially from the viewpoint of social cognition. We attempted to quantify the relationships between physical abilities and the other types of abilities. The results showed significant sex-related differences in the interrelationships among physical, social, and English parameters. A conspicuous difference in the effect on language proficiency between males and females was observed for one of the physical abilities: endurance. Regarding brain activation, Blood Oxygenation Level Dependent activation was significant in specific areas such as the left cuneus (Brodmann Area: BA 17) when the subjects imagined they were performing exercises involving two persons, as compared with the cases when they imagined they were performing exercises involving only one person.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、スポーツ科学

キーワード：トレーニング科学、身体運動学

1. 研究開始当初の背景

(1) 脳機能イメージング研究により、脳機能や脳活動に関する多くの知見が得られている。言語行動に関連した脳内活性メカニズム

や活性部位についても多くの研究が実施されている (Abutalebi, 2008; Awad et al., 2007; Borowsky et al., 2007; Cone et al., 2008; Davis et al., 2008; Szyck et al.,

2008)。また、文字言語と平行して発達する計算のスキルや空間処理のスキルに関しても習得の観点から研究成果が報告されている (Ischebeck et al., 2008; Lonnemann et al., 2008; Zago et al., 2008)。脳機能イメージングは、臨床現場においても活用されている (Ikeda et al., 2003; 桐野, 2001; 桐野他, 2003; Kirino & Berlger, 2002)。身体運動に伴う脳機能と動作習得のための運動学習に関しても研究されている (Forner-Cordero et al., 2007; Lagarde et al., 2005; Vangheluwe et al., 2005)。運動を学習する場合、運動野も感覚野も十分に使って意識下で制御しているため、学習記憶といった脳機能が必要不可欠である。短時間で学習できない難易度の高い運動課題は、シナプス結合の維持と関係しており、運動学習に重要な影響をもたらし得る。シナプス結合の維持については、特に睡眠との関係が研究されている (Cross et al., 2007; Hill et al., 2008)。指回し運動による計算力、読解速度に加え、認知機能の向上も報告されている (中野他, 1996)。

(2) 東根他 (2003, 2004) は、コーディネーション運動と単純運動が脳活性に与える影響を fMRI により測定した。Mochizuki & Kirino (2008) では、被験者がコーディネーション運動をイメージ運動 (motor imagery) と実際の運動 (motor execution) で行い、運動の難易度と脳活性部位と範囲を比較、観測した。また、桐野・東根 (2005) により、コーディネーション運動が情動面の改善・安定につながり、身体面ばかりではなく精神面への効果も期待できることが示唆された。精神面への影響については、社会的認知の側面からの報告がある (Abraham et al., 2008; Corbetta et al. 2008)。

2. 研究の目的

本研究の目的は、運動学習理論と言語習得理論を統合した脳活性化モデルの構築であった。身体運動と言語行動を研究対象とし、具体的には身体能力と言語能力との相互関係、2つの能力が脳内活性に及ぼす影響を特に社会的認知の観点から分析した。脳内活性の測定には、fMRI の手法を使用し、社会的認知能力の段階と脳活性部位における変化を観測・分析した。身体能力と言語能力の観点から脳活性化のメカニズムを解明し、脳活性化モデルを構築するための基礎研究を実施した。

3. 研究の方法

(1) 身体運動と言語行動が、脳活性化に与える影響を観測した。具体的には、運動の難易度と言語の種類を変数として、脳活性の度合・部位を測定した。特に身体能力と言語能

力が社会的認知能力 (個人 vs. 対人の要素) との関係において、どのように脳活性化に影響を与えるのか、その関係を分析した。

(2) 実験被験者は、日本人大学生とし、体力運動能力の結果により上位群と下位群の2グループを用意した。また、同一被験者を英語能力により2グループに分類した。

(3) 実験 1

①運動課題を3種類用意した。
 個人の基本運動 (直線走運動)
 対人の基本運動 (直線ランニングパス運動)
 対人の発展運動 (直線2ボールランニングパス運動)

②言語課題を2種類用意した。

日本語の黙読 (母語)
 英語の黙読 (第二言語)

③上記の運動課題と言語課題を使用し、fMRI による脳内活性測定を各被験者に2セッション実施した。

④運動課題は、視覚刺激として被験者に提示し、被験者はあたかも課題を遂行しているように想起しながら映像の目視 (motor imagery) した。

⑤言語課題は、言語資料を視覚刺激として提示し、運動課題に対応させ、被験者は黙読した。

⑥視覚刺激はコンピュータ制御の元、視野 5.4° x 5.4° の白い背景となる Liquid Crystal Display (LCD) パネルに投射する。被験者は足元に置かれた LCD パネルをヘッドコイルに取り付けた鏡を通して目視した。

⑦各課題の平均された信号値の差を画像単位 (voxel) ごとに統計学的処理をするブロックデザインを採用 (Kirino & Azumane, 2005) した。

(4) 実験 2

①運動課題は、移動するコーディネーション運動とその場で行うコーディネーション運動を各々単独運動と二人運動で実施した。

fMRI 研究実験プロトコル

<セッション1>		<セッション2>		
	時間 (秒) (分)	通し		
言語課題	英語①	126	2:06	2:06
	REST	18	2:24	2:24
	日本語①	126	4:30	4:30
感情課題	人間①	360	10:30	10:30
	動物①			
運動課題	運動(1人)	360	16:30	
	英語②	126	2:06	18:36
言語課題	REST	18	2:24	18:54
	日本語②	126	4:30	21:00
感情課題	人間②	360	10:30	27:00
	動物②			
	英語③	126	2:06	2:06
言語課題	REST	18	2:24	2:24
	日本語③	126	4:30	4:30
感情課題	人間③	360	10:30	10:30
	動物③			
運動課題	運動(2人)	360	16:30	
	英語④	126	2:06	18:36
言語課題	REST	18	2:24	18:54
	日本語④	126	4:30	21:00
感情課題	人間④	360	10:30	27:00
	動物④			

②言語課題は、日本語と難易度の異なる英語の音読を実施した。

③fMRI 内において各セッションの前後に Emotional Intelligence Scale を測定した。

(5) 実験3

- ①言語学習能力の検査：各被験者の第二言語としての英語の学習・運用能力を、TOEICの聴取、読解および合計点数に加え、読書速度をCarverのRate Level Test、語彙数をAccuracy Level Testにより求めた。
- ②ワーキングメモリ容量の検査：各被験者のワーキングメモリ容量を調べるため、1～5文で構成される条件セットの文を音読しながら各行中の指定語を記憶し再生を行うリーディングスパンテスト（RST）の荳阪の日本語版（各条件5セット）を実行し、以下の4種のパラメータを算出した。
 1. 総正再生数（総正答ターゲット語数／総数）
 2. 正再生率（各セットの正答率の全セット平均）
 3. 総正当セット再生数（完全正答したセットの文条件数の合計）
 4. スパン得点（各条件文で正再生数が6割以上の場合には文条件数を加算し、4割の場合は0.5を加算）
- ③社会コミュニケーション力の検査：各被験者の社会適応・コミュニケーション能力を調べるために、英国Baron-Cohenが開発し若林が日本語に訳した3種の社会性指標SQ-EQ-AQ測定用質問紙を用いた。

4. 研究成果

(1) 英語黙読課題に関し、TOEIC総合点は左舌状回(BA 18)の、TOEICリーディングスコアは右脳梁の、TOEICリスニングスコアは右海馬傍回の、RST rateは右中側頭回、右帯状回後部、左上頭頂回の活性とそれぞれ有意な相関を得られた。日本人の英語読解においては、上記部位の活性が視覚処理、音韻処理、記憶との照合、半球間連絡を効率化していることが示された。

(2) 男性被験者の場合、二人による

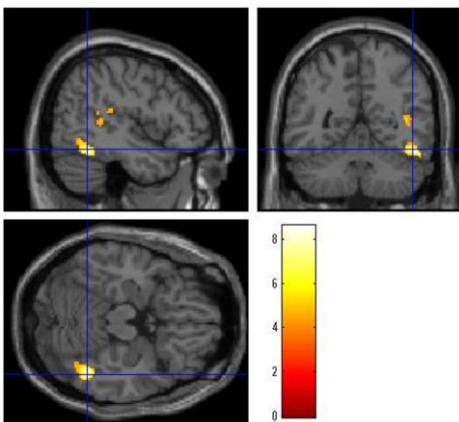


Figure 1 The activation of Rt. Fugiform Gyrus in the exercises by two persons

コーディネーション運動後、英語音読時において、Rt. Fugiform Gyrus (右紡錘状回)、Lt. Inferior Frontal Gyrus (左下前頭回: BA44) と Rt. Middle Temporal Gyrus (右中側頭回) が有意に賦活した。女性被験者は、単独運動後、英語音読時に両側のPostcentral Gyrus (中心後回) が有意に賦活した。

(3) 第二言語としての英語音読時において、母語の日本語では測定されなかった脳賦活が観測された。運動課題に関しては、単独運動と二人運動の効果に著しい男女差が示された。二人運動の相手の性別の影響が示唆された。

(4) 脳内活性に関し、二人の運動における活性は一人での運動と比較し、左楔状回(Broadman Area:BA17)、左楔前部、左中後頭回、紡錘回(BA 18)、右上側頭回において優位であった。二人の運動ではより複雑な視覚処理を行いながらコミュニケーションを図っていることが示された。上側頭回は聴覚処理を担う部位であることより、被験者はMRI内で言語的コミュニケーションを仮想していたと考えられた。フォロー運動における活性はリード運動と比較し左島、中および上側頭回において優位であった。島が活性化されたことより、フォロー運動は陰性な感情を伴う可能性が示唆された。

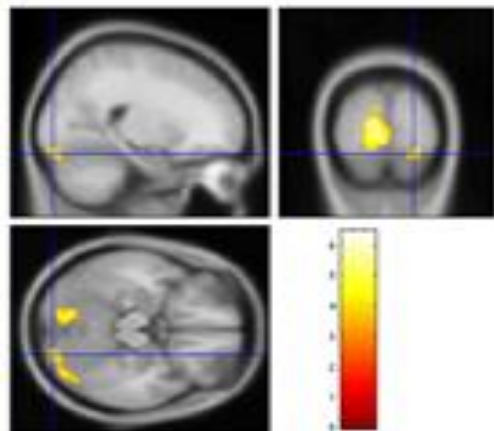


Figure 2 The activation of the BA17 (left), the left precuneus, the left middle occipital gyrus and the fusiform gyrus (right) in the exercises by two persons compared with one person

(5) TOEICと読書速度・語彙数の言語指標グループと同様にRST指標グループ内では相互に強い相関を示したが、社会性3指標グループ内での相関は見られなかった。RST指標は言語グループとは相関が弱く、社会性のEQおよび運動能力の持久力と相関を示した。言語、社会コミュニケーションや運動といった

異種能力間の関連や訓練の波及効果を探るには、今後の性差や年齢差を考慮した分析が必要であることが明らかとなった。中前頭回、辺縁葉(Brodmann Area 28)の活性は、AQ 下位項目のコミュニケーションスキルに関するスコアと有意に相関した。相手に合わせる二人運動における小脳の活性は、AQ の総スコアと相関した。難易レベルの高い英語黙読中の左帯状回、脳梁、右頭頂葉の活性は AQ の総スコアおよび下位スコアと負の相関を示した。同課題中の左側頭葉の活性は、SQ の総スコアと正の相関を示した。AQ や SQ によって評価されるコミュニケーション能力が英語の読解能力とも関連を持つことが示唆された。さらに同課題の右中側頭回、左下前頭回の活性は身長や反復横跳びの成績とも正の相関を示した。

(6) 被験者全群、男性および女性群ごとのデータについては、各群とも社会性指標 (SQ, EQ, AQ) を除くすべてに正規性が保証された。その結果、各群の社会性指標とそれ以外について、それぞれ Spearman と Pearson の相関係数の検定を実施した。

被験者全員の主な指標間の分析の結果では、各検査カテゴリ内の指標間では相関がみられたものの、社会性指標に関しては EQ が RST と相関性を示したのみであった。社会性指標との相関結果では性差が生じ、男性のみ SQ, EQ と語彙数の間に相関が認められ、女性の語彙数には RST が関連した。また、AQ と反復横跳びの敏捷性(quickness)との相関は、男性は負、女性は正となった。

環境認知、言語や運動といった異種能力間の社会生活における関連を探り、個別訓練への指針を得るには、今後、社会性の性差や個人差を生む脳の構造・機能の遺伝的および発達の要因を考慮した分析が望まれる。

(7) 男女差や年齢、身体データなどによる更 Table 1 Gender-segregated Correlation coefficients among TOEIC score, reading rate, vocabulary size, RST rate, quickness and SQ-EQ-AQ (male)

male	TOEIC	Rate	Vocab	RST	Quick	SQ	EQ	AQ
TOEIC	1	.62	.67	-	-	-	-	-
Rate	.62	1	-	-	-	-	-	-
Vocab	.67	-	1	-	-	-.56	-.79	-
RST	-	-	-	1	-	-	-	-
Quick	-	-	-	-	-	-	-	-.74
SQ	-	-	-.56	-	-	1	-.57	-
EQ	-	-	-.79	-	-	-.57	1	-
AQ	-	-	-	-	-.74	-	-	1

Table 2 Gender-segregated Correlation coefficients among TOEIC score, reading rate, vocabulary size, RST rate, quickness and SQ-EQ-AQ (female)

female	TOEIC	Vocab	RST	Quick	Grip	SQ	EQ	AQ
TOEIC	1	.79	-	-	-	-	-	-
Vocab	.79	1	-	-	-	-	-	-.68
RST	-	-	1	-	-	-	-	-
Quick	-	-	-	1	-	-	-	-
Grip	-	-	-	-	-	.63	-	-
SQ	-	-	-	-	.63	1	-	-
EQ	-	-	-	-	-	-	1	-
AQ	-	-.68	-	-	-	-	-	1

正を行っていないが、言語グループ内での指標間の相関は強く、逆に社会性グループ内での指標間の相関は見られなかった。ワーキングメモリの RST 指標は言語グループとは相関が弱いですが社会性の EQ とは相関性を示した。

指標の一部は特定の脳部位および左右半球を結ぶ脳梁の活動と相関を示しているが、言語、社会コミュニケーションや運動といった異種能力間の関連や訓練の波及効果の脳内機序を探り個別訓練への指針を得るには、今後の性差や年齢差を考慮した分析が望まれる。

(8) 社会性と脳活動との予備的解析では、個人運動と比べて対人運動時に、視覚認知系の 17 野はじめ中後頭回、紡錘状回および楔前部、特に左半球優位に活動が見られた。また、AQ と右中前頭、辺縁系、小脳に相関が生じた。

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 8 件)

- ① 伊藤憲治、須藤路子、望月明人、桐野衛二、運動・認知機能の連関分析、第 6 回 21 世紀科学と人間シンポジウム抄録集、査読有、2013、27-29
- ② 伊藤憲治、須藤路子、望月明人、桐野衛二、社会性と運動能力の脳内空間処理に基づく解析、第 27 回日本生体磁気学会大会論文集、査読有、2012、2-9
- ③ 伊藤憲治、須藤路子、望月明人、桐野衛二、社会性と空間・言語・運動能力との連関解析、信学総大論、査読有、2012、212
- ④ 桐野衛二、福田麻由子、稲見理絵、須藤路子、望月明人、伊藤憲治、井上令一、新井平伊、心の理論におけるワーキングメモ

りの役割の functional MRI を用いた検討 (Role of working memory in the Theory of Mind: an fMRI study)、臨床神経生理学、査読有、2012、Vol.40、No.5、442

- ⑤ Sudo, M. M., Mochizuki, A. A., Itoh, K., & Kirino, E. Effects of physical performance and language proficiency on brain activation: From a social cognition viewpoint. Inaugural International Academy of Sportology. 査読有、Vol.1、2011、36-40
- ⑥ 伊藤憲治、須藤路子・望月明人・桐野衛二、空間認知・記憶と社会コミュニケーション・運動機能関連システムの解析、電子情報通信学会基礎・境界講演論文集、査読有、Vol.1、2011、197
- ⑦ Sudo, M. M., Mochizuki, A. A., Ito, K., & Kirino, E. Interrelationships among physical performance, language proficiency and brain activities from the viewpoint of social cognition. Clinical Neurophysiology、査読有、Vol.120、No.1、2010、210
- ⑧ Mochizuki, A. A., Kirino, E. Effects of coordination exercises on cognitive control of emotion in the brain: A functional MRI study. Clinical Neurophysiology、査読有、Vol.120、No.1、2010、209

[学会発表] (計3件)

- ① 望月明人、須藤路子、桐野衛二、伊藤憲治、身体運動と言語行動の脳内活性への効果—コーディネーション運動の観点から—、日本体力医学会、2012年9月15日、岐阜市
- ② 望月明人、伊藤憲治、桐野衛二、須藤路子、身体運動と社会コミュニケーションの関連システム解析—脳内活性分析—、日本体力医学会、2011年9月16日、下関市
- ③ Sudo, M. M., Mochizuki, A. A., Ito, K., & Kirino, E. Effects of physical performance and language proficiency on brain activation: From a social cognition viewpoint. Inaugural International Academy of Sportology、2011年3月5日、順天堂大学(東京)

[図書] (計3件)

- ① 望月明人、明治図書出版(株)、体づくり運動をもっと楽しくするコーディネーション運動、2011、126
- ② 望月明人、日本ウオーキング協会、歩育コーチ養成講座テキスト、2010、全120ページ、pp. 40-51
- ③ 村山友宏・山羽教文・望月明人、三省堂、歩

育のすすめ、2010、全207ページ、pp.180-201

6. 研究組織

(1) 研究代表者

望月 明人 (MOCHIZUKI AKITO)
帝京平成大学・地域医療学部・教授
研究者番号：40167911

(2) 研究分担者

須藤 路子 (SUDO MICHIKO)
順天堂大学・スポーツ健康科学部・教授
研究者番号：60226587

研究分担者

伊藤 憲治 (ITOH KENJI)
帝京平成大学・健康メディカル学部・教授
研究者番号：80010106

研究分担者

桐野 衛二 (KIRINO EIJI)
順天堂大学・医学部・准教授
研究者番号：90276460