

第 23 回大会特集●より効果的な支援をめざして——学習支援から問う特別支援教育——

教育講演⑤

脳科学より褒めの教育効果を考える

定 藤 規 弘

キーワード：向社会行動，機能的 MRI，褒め

Key words: prosocial behavior, functional MRI, praise

LD 研究, Vol.24 No.1, 61-67, 2015

I はじめに

褒めは他者による肯定的な評価のことで、社会的承認と捉えることができ、人間が無事に生きていくための重要な条件の一つである。近年急速な発展を遂げた人間の脳機能画像法により、社会的承認は、基本的報酬や金銭報酬と共通の神経基盤をもつことが明らかになった。社会的承認の理解は、他人の性質や意図を正確に認知するための情報処理過程である社会能力の発達と密接に関連していることと共に、褒めの学習に及ぼす効果について解説する。最後に、ヒトの社会能力について物質レベルから行動レベルに至る統合的理解を目指すために、ミクロからマクロレベルにいたる各階層で進行している神経科学の研究成果を人文諸科学と結びつけていくための結節点としてのイメージング研究の重要性を論ずる。

II 脳機能画像法

1. 概 観

局所の神経活動、特にシナプス活性と局所脳血流は平行しているといわれ (Raichle, 1987)、局所の脳血流の変化を測定することにより、局所脳神

経活動の変化を知ることができる。イタリアの生理学者 Mosso は、脳外科手術後に頭蓋骨に欠損の出来た患者で大脳皮質の拍動を計測し、精神活動に伴い局所的に増強することから、局所脳循環は精神神経活動により変動すると結論した (Mosso, 1881)。Roy と Sherrington は、脳局所の活動に伴う代謝亢進がその部位の脳血流の増加をもたらすことを動物実験から推論した (Roy & Sherrington, 1890)。Fulton は、後頭葉に動静脈奇形のある患者の、「頭の中で雑音がする」という訴えから、この雑音が動静脈間の血圧差により発生し、血流に比例するものであると推論し、実際単に開眼しているときより、読書しているときのほうが音の大きいことを記録、局所脳血流と精神活動の強度が相関することを結論した (Fulton, 1928)。このように原理は古くから知られていたが、1970 年代以降の医用画像技術の急速な進歩と心理学的実験手法の結合によって初めて、人間の精神活動に関連する脳活動を非侵襲的に計測・画像化することが可能となった。

2. 医用画像技術の進歩

医用画像技術は、光（あるいは電磁波）の応用による人体の可視化技術である。可視化された情報には形態と機能があり、前者は主に X 線画像診

断学、後者は核医学として発展してきた。前者は1895年レントゲンによるX線の発見 (Roentgen, 1895)、後者は1896年ベクレルによる自然放射能の発見 (Becquerel, 1896) を端緒とする。ヒト脳血流測定はまず核医学的手法により可能となった。これは、脳血流に比例して脳局所に貯留するような物質を放射性同位元素で標識し、体外から計測するものである。まず1960年代の ^{133}Xe ガスによる計測が行われた。ついで1972年のHounsfieldによるX線コンピュータ断層撮影法 (CT) の発明を契機に、断層画像再構成技術が脳血流測定に取り入れられ、1980年代には、ポジトロン断層画像 (PET: positron emission tomography) を用いて局所脳血流を定量する方法が確立した。

波長の長いラジオ波を利用して体内情報を画像化する磁気共鳴画像法 (magnetic resonance imaging, MRI) は、水素原子の核磁気共鳴現象を利用した画像法である。核磁気共鳴現象は1946年 Bloch (Bloch, 1946)、Purcell (Purcell et al., 1946) により独立に発見され、主に化学領域で発展した。1970年代に入り、医学上のきわめて重要なテーマである腫瘍の悪性良性の鑑別に役立つという報告 (Damadian, 1971) から、核磁気共鳴現象から医用画像を作成しようという機運が高まり、1973年にLauterburによってMRIが発明された (Lauterbur, 1973)。生体内に豊富にある水の水素原子は均一静磁場下に置くと、特定の周波数のラジオ波を吸収 (共鳴)、放出 (緩和) する (核磁気共鳴現象)。この現象は静磁場と平行にコイルをおくことにより徐々に減衰する交流電流として検出でき、この交流電流は磁気共鳴 (MR) 信号と呼ばれる。このMR信号に埋め込まれた位置情報をCTの原理により取り出す。得られた画像は、主に生体内組織間の組成の違いに起因する水素原子の分布密度と緩和速度の違いを反映する。このため撮影パラメータを変更することによりさまざまな組織間のコントラストを強調した画像を得ることができる。

3. 機能的MRI

MRIはその高いコントラスト分解能から、初期臨床応用においては、脳の解剖学的詳細を画像化する方法とみなされていた。しかし1990年代に入って血中の酸素を内因性の造影剤とする局所脳血流変化の画像化が成功した。神経活動亢進時に起こる、血管内の血液酸素化のバランスの局所的変化による、わずかな信号増強をとらえているので、blood oxygen level dependent (BOLD) method と呼ばれている。酸化ヘモグロビンと還元型ヘモグロビンは、磁性的性質が異なることが古くから知られており (Pauling & Coryell, 1936)、還元型ヘモグロビンが血管内に存在することにより、血管周囲の磁場の局所的不均一が惹起される。局所磁場不均一の存在により、BOLD信号は、それが存在しない場合より小さくなる。神経活動亢進時には、脳血流の増大により、脳組織の酸素摂取を上回る酸素が供給されるため、局所還元型ヘモグロビンが減少する。このため、BOLD信号は増加する (Ogawa et al., 1990)。心理学的に設計された課題遂行中のBOLD信号の変動を捉えて課題関連領域を同定する方法を機能的MRIと呼ぶ。機能的MRIはMRI装置そのものの高速化と画像統計処理手法の洗練に伴って、21世紀初頭より爆発的に普及し、認知科学全般における重要な手法として広く受け入れられている。

Ⅲ 社会的承認としての褒めと報酬

褒めは、評価者が有効とみなしている基準に基づいて、成果、成績、属性などに対して下される肯定的な評価 (Kanouse et al., 1981) であり、社会的承認と捉えることができる。人が無事に生きていくための条件として木村 (2012) は、(1) 心身が健康であること、(2) 生活を営むための資金があること、(3) 周囲の人達に受け入れられていることの3点を挙げている。木村は、内因性鬱病では、この3点がそれぞれ取り返しの付かないかたちで不可能になったという妄想が、それぞれ病氣

妄想、貧困妄想、罪責妄想となることに言及している。この点から、社会的承認は人間の本質にかかわるものと考えられる。

社会的承認は、他者を利するための自発的な行為（向社会行動）をすることにより得られる。向社会行動とは、他者を利するための自発的のことで、遺伝的に無関係な個体間の役割分担と共同に重要な役割を果たすとされている。「人間は金銭報酬とそれにかかる金銭コストの比を最大にすべく理性的に振る舞う」という行動モデルで人間の経済活動をよく説明することができる。さらに利他行動を説明するために、報酬は、金銭に限らず、社会的承認も報酬となる、という概念へと拡張がなされたのが社会交換理論であり、それによると、利他行動も、社会報酬を最大にするような行動として選択されるのであり、経済行動と同一の枠組みで説明できるとしている。実際、ヒトは他者からの良い評判・評価を報酬として予測することによって向社会行動を選択することが実験的に明らかとなっている（Bateson et al., 2006）。

「ヒト特有の利他性の進化」に関する理論的研究においては、血縁関係がなく、直接のお返しも期待できない他者に利益を与える行為が、なぜ進化しうるのかについて、間接的互惠性という概念をおいて説明している。つまり、良い評判が報酬として（AがBを助けると、それゆえに無関係なCがAをたすけるという）間接互惠性に基づく協力関係を生成・強化し（Nowak, 2006; Nowak & Sigmund, 2005; Milinski et al., 2001）、それによって社会を形成し、淘汰圧に耐えたというものである。

これらの所見は、良い評判としての褒めが報酬として脳内で処理されていることを示唆するものである。そこで「社会的行動の誘因となる他者からの良い評判の獲得は、金銭報酬獲得時と同様に報酬系を賦活させる」という仮説のもと機能的MRI実験を行った。健常成人被験者に他者からの良い評判と金銭報酬を知覚させると、報酬系とし

て知られる線条体の賦活が共通して見られた（Izuma et al. 2008）。さらに、他者からの良い評判は、寄付という利他行為の動機を増強し、その際線条体の活動が増加することが判明した。具体的には、被験者に機能的MRI装置内において寄付するかしないかの意思決定課題を行わせ、その際にその選択が他者から見られているか否かも操作した。そうすると他者から見られている場合に寄付する場合（高い社会的報酬を期待）と、他者が見ていない場合に寄付せずお金を自分のものにする場合（社会的コストなしで金銭報酬の獲得を期待）に特に高い活動が、両側の腹側線条体で見られた。この結果は線条体においてさまざまな報酬が「脳内の共通の通貨」として処理されていることを示しており、日常の社会的意思決定において線条体が重要な役割を果たしていることが示された（Izuma et al., 2010）。

IV 褒めと社会能力の関係

一方で、金銭報酬と社会報酬（評判）の違いとして、自分自身の評判の理解には、他者の心的状態を汲み取ることが必要（Amodio & Frith, 2006）である。このような能力のことを心の理論と呼び、他者の性質や意図を正確に認知するための情報処理過程（Brothers, 1990）としての社会能力の主要な機能と考えられている。意図の認知とは、行為の予測を含意する。実際、意図は、行為に先立ち、行為を因果する心的過程（Searle, 1983）として、意図には2種類あるとされている。行為の中には、身体運動と、その身体運動と即時的に結合した行為内意図があり、それが因果作用を起こして行為を成立させるとともに、これを二つ合わせた行為に対して、因果作用を持つ事前意図がある。前者は行為と同時にあるが、後者は先立つものという意味で「事前」である。行為内意図を理解するための神経基盤は、行為模擬（シミュレーション）に関連する mirror neuron system であると考えられている（Sasaki et al., 2012）。一方事前意図を充

足する経路は複数ありうる (motor equivalence) ため、その行為を予測するためには、行為者の行動特性と文脈の理解あるいは知識が必要になってくる。文脈の理解を要する活動として、語用論が挙げられる。語用論とは、社会的文脈の中で言葉を使うことであり、比喩、皮肉が挙げられる。文字通りでない (non-literal) 言語使用が特徴であり、その理解には話者の (事前) 意図を正確に認知することが必要である。語用論に共通して関与する領域として、内側前頭前野が描出されている (Uchiyama et al., 2012)。この領域は、褒められた時には活動するが金銭報酬を得た時には活動しない (Izuma et al., 2008)。このことから、他者から見た自分の評価は、内側前頭前野により表象され、さらに線条体により社会報酬として「価値」付けられることが想定された。すなわち、社会的報酬には、線条体を含む報酬系と、心の理論の神経基盤の相互作用が関与していることが明らかとなった。

V 内発的動機づけを介した褒めの教育効果

褒めて育てることの目的は、内発的動機づけの促進とそれに因る、創造性、生涯学習の強化である (Henderlong & Lepper, 2002)。内在性動機づけとは、行為そのものに内在する喜びや楽しみに導かれて行為に関与することであり、これに対して外発的動機づけとは外来性の圧力や強制によって行為に関与することとされる (Henderlong & Lepper, 2002)。内発的動機づけの特徴として、(1) 行動決定における自律性、(2) 強みを発達させる経験としての高レベルの挑戦とそれに見合う技術、(3) 活動により自分の潜在能力を引き出し、個人的に重要なゴールに向けて先進したという自己実現の感覚 (Deci & Ryan, 1985) が挙げられている。

内発的に動機づけられた行為における主観的状态の特徴として (1) 楽しんでおり (Deci & Ryan, 1985), (2) 興味を持っており (Deci & Ryan, 1985),

(3) 自己表現の感覚 (Waterman, 1990), (4) 目標が明確で、迅速なフィードバックがあり、技能と挑戦のバランスがとれている活動をしているとき集中して、時間経過と自我感覚が消失、行動をコントロールできている感覚と、世界との一体感を得るような“フロー”体験 (Csikszentmihalyi, 1975, 1990) の生まれることが記載されている。さらに内発性動機づけは“幸福”の予測因子でもある (Waterman et al. 2008)。

VI 褒めの使い方についての議論

教育の目的たる内発的動機づけを促進するために、褒めをどのように用いるかについて、褒めの有効性を規定する要素の議論がなされているので紹介する (Henderlong & Lepper, 2002)。

1. 誠実さ

褒めは、“読心”過程を介しているため、褒め手と受け手の関係に依存する。(相手が)助けてくれる、という信念としての信頼があれば、相手の褒めはそのままに受取られる。信頼を得るには誠実さが必要であり、Grice (1980) によれば誠実な言語コミュニケーションとは、以下のようなものである。言語コミュニケーションの意図として、害を与えることなく助けるという向社会行動が前提にあり、情報については、状況に適切な情報を、虚偽なく、必要な量だけ十分に曖昧さを避けて提供すること。そしてその礼儀として、押し付けずに、選択肢を与え、そして友好的であること。

2. 成功の原因

能力は、自己制御の外にあるため、これに成功の原因を帰することによって失敗を恐れることがあるとされている。その一方で、努力は自己制御の内にあり、自らの行動による改善の可能性を示すことから、自己制御の観点からは、能力より努力が適切であるとされている。

3. 自律性

行為決定における自律性が内発的動機付けにおいて重要であることから、相手の自律性が褒めの根拠であることを明確にする必要がある。ここで注意すべきは、行為決定における動機の由来で、外来性報酬への依存は、内発的動機を損なうことが知られている (Murayama et al., 2010)。褒めも外来性報酬であることを留意しておく必要がある。

4. 能力と自己効力感

しかしながら、能力を増強するフィードバックとして褒めが機能すると、自己効力感を増し、内発的動機を増強する。逆に他者との比較は、規範への依存を増強し、逆境に弱くしてしまう可能性が指摘されている。

以上をまとめると、信頼されていることを前提として、努力と自律性を褒めの根拠であることを明確にし、パフォーマンス増強に資する具体的フィードバックを与えることにより、内発的動機づけを促進し得る。

Ⅶ 褒めの学習定着効果

スポーツコーチングにおける褒めの効果は、内発的動機付けを介したパフォーマンス増強であると捉えられてきた。しかしながら、運動学習には練習に因る獲得と、その後の定着の2つの段階が想定されており (Robertson et al., 2004)、後者に対する褒めの効果は不明であった。我々は、ピアノやタイピングに典型的に見られる系列手指打鍵運動 (sequential finger tapping) の学習定着に対する褒めの効果を検証した (Sugawara et al., 2012)。参加者は系列手指打鍵運動 (Walker et al., 2002) を練習した後、成績のフィードバックの異なる3群に分けられた。自己称賛群は参加者自身の成績について称賛が与えられる映像を観察する群、他者称賛群は自己称賛群と同一の映像を、別の参加者の成績に対するものとして観察する群、

非称賛群は参加者自身の成績が称賛なしで呈示されるのみの群であった。翌日に再度実験室を訪れた参加者は、前日学習した運動系列を再度遂行するように求められた。結果として、自己称賛群の成績の向上率は、他の2群に比べて有意に高いことが示された。一方で、新奇な運動系列の成績では3群間に有意な差は認められなかった。これらの結果から、「褒められること」によって手続き運動技能の定着が促進される可能性が示唆された (Sugawara et al., 2012)。

Ⅷ 人間の社会行動と脳科学研究を結びつける社会脳研究

社会能力発現機構の理解は、心理学モデルの構成と検証にかかっている。すなわち、個体と環境の相互作用を心的過程として捉え、モデル化し、それを検証することが必要である。脳機能画像法は、ある心的過程と特定の脳構造を非侵襲的に対応付ける (脳定位) 有力な手法であり、脳という場を制限条件として与えることにより、心理モデルの構成と検証に寄与する。また、その心的過程に対応する脳構造から得た情報を用いてモデル形成が可能となる。その際に、脳構造に関する現在の脳科学全般の知識を利用することができることから、脳機能画像法は、現在膨大な知見を集積しつつある脳科学領域の情報を、教育学を含めた人文科学諸分野に結びつけるための、重要な接点を形成する (図1)。

一方、さまざまな空間的解像度での神経科学的な知見は主に動物実験に依っており、その情報をどのようにヒトの行動に結びつけるのかが重要な課題である。特にヒトとモデル動物の種間の高次脳機能の違いは大きいことから、表現型の類似性だけではなく、脳活動領域、神経回路からシナプスおよび分子まで、各階層における社会性の中間表現型を見出していくことが必須であり、その際に各階層間をシームレスに繋いでいくための手法としてのイメージング科学が必要である。

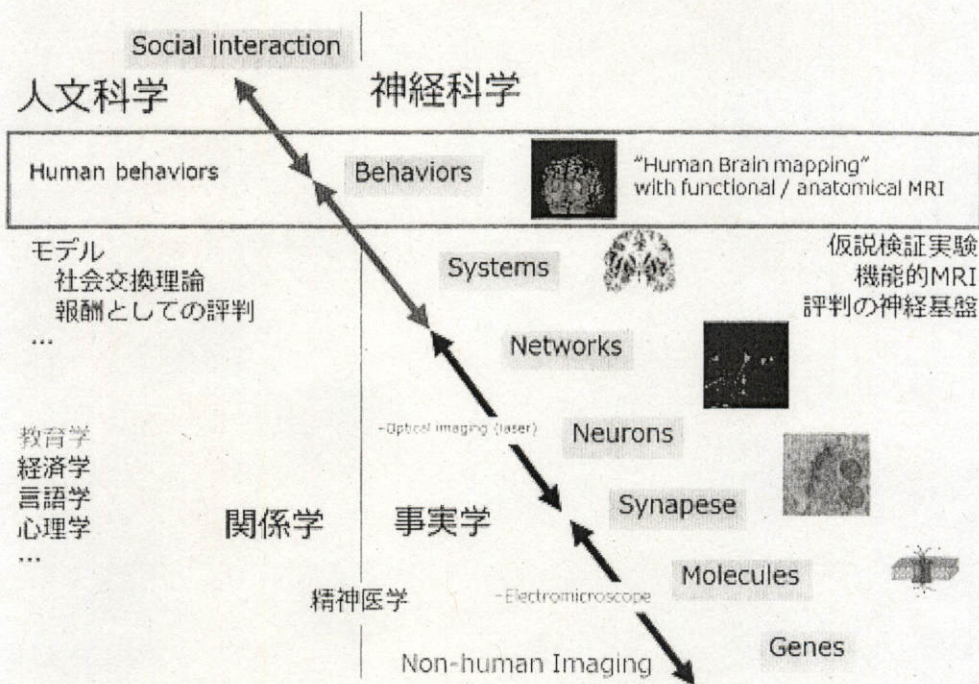


図1 人間の社会行動と脳科学研究を結びつける社会脳研究

脳活動領域，神経回路からシナプスおよび分子まで，各階層における社会性の中間表現型の解析に果たす画像情報の役割は極めて大きい。社会能力を担う神経基盤は，マクロレベルからミクロレベルにおける脳領域間の関係性にあると想定されており，その機能的・解剖学的連結の網羅的解析（コネクティクス）を，種間を越えて統合的に解析するためのシームレスイメージングプラットフォームを形成することが必要である。

IX まとめ

現代社会における問題の多くは，人間の精神や社会的行動に関連しており，その解明にはヒトとモデル動物を用いた脳の研究が不可欠であり，その社会実装が望まれている。科学技術の加速度的な発展による情報化，少子化，高齢化などによる生活環境や社会環境の劇的な変化のなかで，人が本来有する能力と個性を適切に発揮することを支える研究を推進する効果が期待される。ヒトの社会性について，その物質レベルから個体ならびに

集団行動レベルにいたる統合的理解を目指し，人文諸科学，認知科学，神経科学，医学，工学，進化生物学，霊長類学からコンピュータ科学にいたるまで，広汎な真に学際的な研究の推進が必要である。本稿では，社会的承認である褒めは，基本的報酬や金銭報酬と同様の神経基盤をもち，心の理論を経由して向社会行動を促進するとともに，学習の機会増加と結果の定着に関与すること，褒めを用いた介入における留意点を含めて議論した。

文献

- Amodio, D.M., & Frith, C.D. (2006) : Meeting of minds: The medial frontal cortex and social cognition. *Nat Rev Neurosci*, 7, 268-277.
- Bateson, M., Nettle, D., & Roberts, G. (2006) : Cues of being watched enhance cooperation in a real-world setting. *Biol Lett*, 2, 412-414.
- Becquerel, H. (1896) : Emission de radiations nouvelles par l'uranium metallique. *Compt Rend*, 122, 1086.
- Bloch, F. (1946) : Nuclear induction. *Phys Rev*, 70, 460-474.
- Brothers, L. (1990) : The social brain: A project for

- integrating primate behaviour and neurophysiology in a new domain. *Concepts in Neurosci*, 1, 27-151.
- Damadian, R. (1971) : Tumor detection by nuclear magnetic resonance. *Science*, (80-) 171, 1151-1153.
- Deci, E.L. & Ryan, R.M. (1985) : *Education. In Intrinsic Motivation and Self-determination in Human Behavior*. Plenum Press, New York, pp.245-271.
- Frith, U. & Frith, C.D. (2003) : Development and neurophysiology of mentalizing. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 358, 459-473.
- Fulton, J.F. (1928) : Observations upon the vascularity of the human occipital lobe during visual activity. *Brain*, 51, 310-320.
- Grice, H.P. (1980) : *Studies in the Way of Words*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Henderlong, J. & Lepper, M.R. (2002) : The effects of praise on children's intrinsic motivation: A Review and Synthesis. *Psychol Bull*, 128, 774-795.
- Izuma, K., Saito, D.N., & Sadato, N. (2008) : Processing of social and monetary rewards in the human striatum. *Neuron*, 58, 284-294.
- Izuma, K., Saito, D.N., & Sadato, N. (2010) : Processing of the incentive for social approval in the ventral striatum during charitable donation. *J Cogn Neurosci*, 22, 621-631.
- Kanouse, D.E., Gumpert, P., & Canavan-Gumpert, D. (1981) : The semantics of praise. In J.H. Harvey, W. Ickes, & R.F. Kidd (Eds.) : *New Directions in Attribution Research*. Erlbaum, Hillsdale, NJ, pp.97-115.
- 木村 敏 (2012) : 臨床哲学講義. 創元社.
- Lauterbur, P.C. (1973) : Image formation by induced local interaction: Examples employing nuclear magnetic resonance. *Nature*, 243, 190-191.
- Milinski, M., Semmann, D., Bekker, T.C.M., & Krambeck, H. J. (2001) : Cooperation through indirect reciprocity: Image scoring or standing strategy? *Proc R Soc L B*, 268, 2495-2501.
- Mosso, A. (1881) : *Ueber den Kreislauf des Blutes in Menschlichen Gehirn*. Verlag von Veit & Company, Leipzig.
- Murayama, K., Matsumoto, M., Izuma, K., & Matsumoto, K. (2010) : Neural basis of the undermining effect of monetary reward on intrinsic motivation. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 107, 20911-20916.
- Nowak, M.A. (2006) : Five rules for the evolution of cooperation. *Science*, 314, 1560-1563.
- Nowak, M.A. & Sigmund, K. (2005) : Evolution of indirect reciprocity. *Nature*, 437, 1291-1298.
- Ogawa, S., Lee, T.M., Kay, A.R., & Tank, D. W. (1990) : Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 87, 9868-9872.
- Pauling, L. & Coryell, C. (1936) : The magnetic properties of and structure of hemoglobin, oxyhemoglobin and carbonmonoxyhemoglobin. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 22, 210-216.
- Purcell, E.M., Torrey, H.C., & Pound, R.V. (1946) : Resonance absorption by nuclear magnetic moments in a solid. *Physiol Rev*, 69, 37.
- Robertson, E.M., Pascual-leone, A., & Miall, R.C. (2004) : Current concepts in procedural consolidation. *Nat Rev Neurosci*, 5, 1-7.
- Roentgen, W.C. (1895) : Uber eine neue Art von Strahlen. *Sitzungsber Phys Med Ges Wurtzbg*, 132-141.
- Roy, C.S. & Sherrington, C.S. (1890) : On the regulation of the blood supply of the brain. *J Physiol*, 11, 85-108.
- Sasaki, T.A., Kochiyama, T., Sugiura, M., Tanabe, H.C., & Sadato, N. (2012) : Neural networks for action representation: A functional magnetic-resonance imaging and dynamic causal modeling study. *Front Hum Neurosci*, 6, 236.
- Searle, J.R. (1983) : *Intentionality: An Essay in the Philosophy of Mind*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sugawara, S.K., Tanaka, S., Okazaki, S., Watanabe, K., & Sadato, N. (2012) : Social rewards enhance offline improvements in motor skill. *PLoS One*, 7, e48174.
- Uchiyama, H.T., Saito, D.N., Tanabe, H.C., Harada, T., Seki, A., Ohno, K., Koeda, T., & Sadato, N. (2012) : Distinction between the literal and intended meanings of sentences: A functional magnetic resonance imaging study of metaphor and sarcasm. *Cortex*, 48, 563-583.
- Walker, M.P., Brakefield, T., Morgan, A., Hobson, J.A., & Stickgold, R. (2002) : Practice with sleep makes perfect: Sleep-dependent motor skill learning. *Neuron*, 35, 205-211.
- Waterman, A.S., Schwartz, S.J., & Conti, R. (2008) : The implications of two conceptions of happiness (hedonic enjoyment and eudaimonia) for the understanding of intrinsic motivation. *J Happiness Stud*, 9, 41-79.