

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500386

研究課題名(和文) 聴覚による仮想自己空間識体験の脳機能解析と臨床応用

研究課題名(英文) Functional Analysis of Auditory Self-Centered Orientation in Brain Virtual Space for Clinical Application

研究代表者

伊藤 憲治 (ITO KENJI)

東京電機大学・情報環境学部・研究員

研究者番号：80010106

研究成果の概要(和文)：社会生活の基盤となる自己中心の空間識の解析と認知障害者支援への応用を目指した。音響呈示法を制御した認知検査の結果から、聴覚情報の両耳時間差により周囲環境内の対象物の方位が、周波数成分差により距離が認識され、視空間認知とともに脳内に仮想の自他空間を形成し、高次認知行動を統御するワーキングメモリの要素となることが確認された。この成果から、診断や治療・訓練評価のための簡便な社会機能検査法を提案した。

研究成果の概要(英文)：As a basis of social life, functions of self-centered spatial experience were analyzed to aim at assisting individuals with cognitive impairments. The results from tests of perception under controlled acoustic presentation showed that binaural time and spectral differences were used for object orientation and distance respectively to form virtual self-other space with visual cues in brain working memory which execute higher behaviors. Finally, a simplified test method on social functions was proposed for diagnosis as well as therapy and exercise evaluation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：認知脳科学

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：空間知覚, 自己モニタ, 社会認知, ワーキングメモリ, 乱数生成, 線分二等分

## 1. 研究開始当初の背景

近年、ヒトの音声・書字などの言語性、顔表情などの非言語性・情緒性、さらにジェスチャーなど両有性の行動による社会コミュニケーション能力が様々な方面で注目されている。柔軟な人間-機械インタフェースの実現や利用者に即した学習・能力増進システムの開発といった知識メディア分野とともに医療・保健分野が含まれている。後者に関しては、ハラスメント・いじめなどの犯罪によ

る発話困難や心的外傷後ストレス障害、鬱・感情爆発などの性格変容など社会精神コミュニケーション障害が増加している事情がある。

そのため認知・言語および対人の社会コミュニケーション障害に対する診断・治療や社会復帰訓練と評価、簡便な検診を行う医療・保健体制を整えることが急務であるが、社会コミュニケーションには言語性・非言語性行動のメッセージ内容とともに認知・言語運用の

個人能力や性格・感情が反映しているため、従来の心理検査や行動観察、談話・対話構造の分析などでは不十分で、その解明と復活増進支援には高次脳機能情報による客観的、定量的指標が不可欠である。

脳の“where”から“what”さらに“how”に関する高度な処理のためには、最近の分散同期処理に基づく「結び付け問題」(binding problem)の提起から、種々の脳活動情報を統合することが求められている。そのデータベース化が進展すると、社会コミュニケーションは単にメッセージの伝達ではなく背後の思考過程や性格をも反映しているため、これまで困難であった創造性、認知・言語障害性、自閉性、統合失調性などの個人能力の抽出が可能となる。

## 2. 研究の目的

本研究は、近年の社会精神障害者の増加に対処し、診断・治療や社会復帰訓練とその評価や簡便な検診を可能とする医療・保健支援技術の進展に向け、それら障害の根幹となる自己空間認識を取り上げ、自己モニタ認知系の制御により想起される仮想自我変容感と脳機能および認知・言語機能変調の解析および障害者の精神症状との比較を通じて、社会生活能力のうち自己中心環境識に対する客観的、定量的指標を用いた簡易型社会機能検査法の確立を目指した。

## 3. 研究の方法

### (1) 自己中心空間識における脳機能情報の 相関解析法の開発

脳の結合問題をもとに事象関連発振・電位や聴性脳幹反応 (ABR)・誘発反応の大脳皮質と皮質下核・中継核間の神経伝達物質・調節物質と受容体との回路モデルを作成し、誘発・発振とその伝搬の脳内階層性を検討する。

### (2) 自己中心空間識制御法の開発

空間における自己意識を変調する両耳および自由音場による音空間の仮想現実感刺激を付加し、自身の空間定位モニタ機能を調べ、自己認識障害の模擬を可能とする。

### (3) 個人性・障害関連の脳活動抽出法の開発

まず、社会コミュニケーションにおける言語・非言語および社会能力の個人性・障害性に関係の深い大脳皮質および皮質下部位とそれらの連携活動動態を求めため、言語能力検査、ワーキングメモリ計測および社会性の調査を行い、従来の脳波、光トポデータおよびfMRIとの相関解析を行う。

### (4) 発話データによる個人性・障害性に関連した機能モジュールの解析法の開発

空間認知機能とその言語作業記憶への共

働性・干渉性を探るため、ワーキングメモリの検証に使用される音声回答およびキー押しによる乱数生成課題 (RNG: Random Number Generation)を採用し、空間識への負荷刺激による脳の特定モジュール変調法、さらに歌唱音声のプロソディおよび数系列のボタン解析法を開発する。

### (5) 自己認識の社会能力と障害・回復評価のための検査課題とデータ解析法の開発

個人の言語性および非言語性受容・表出能力と、それらの障害性・統合失調性を客観的・定量的に評価するための検査課題時の簡易脳機能計測・解析法を開発する。特に臨床現場で許される時間内で実施可能な空間識検査法を乱数生成課題に追加する。

### (6) 自己認識の社会能力の個別回復・増進訓練システム設計法の開発

これまで社会コミュニケーション障害の回復訓練に用いられてきた認知行動療法や運動療法を解析し、自己認識性社会能力との関連性を求め、個別障害回復・能力増進訓練プログラムの開発準備を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 主な成果

#### ①自己中心空間識における脳機能情報の相関解析法の開発

すでに作成のシナプス-神経回路モデルをもとに、神経伝達物質・調節物質により受容体において発生したシナプス電位群のニューロンによる非線形演算機能を脳の結合問題に適用し、事象関連発振・電位や聴性脳幹反応 (ABR)・誘発反応などの脳機能情報の聴覚空間識を担う大脳皮質と皮質下核・中継核および部位間における誘発・発振および伝搬の脳内階層性を検討した。これまで聴覚中枢の髄鞘化発達は死後脳標本の組織研究に依存していたが、近年は画像診断技術である核磁気共鳴画像 (MRI)により生きた中枢神経系の髄鞘化検出が可能となり、本研究ではこのMRIを用いて左右中枢聴覚伝導路および交叉連絡路の髄鞘化発達を評価し、回路モデルと比較した。また、先天性高度感音難聴児などの聴覚障害者を対象に、中枢聴覚伝導路の髄鞘化の発達程度や異常が空間識を含む聴能力障害に関連することを検証した。

#### ②自己中心空間識制御法の開発

環境空間における自己意識を変調する聴覚情報として、対象音源から両耳に到達するまでの時間差、頭部伝達関数によるスペクトル (音色) 差を取り上げ、両耳ヘッドホンによる音像移動検査ならびにスピーカーアレイによる音源定位検査を同一健常者と神経および感覚器由来の難聴者を対象に行い、種々の音源の仮想空間定位能力を比較した。

音色差を利用できないヘッドホン呈示では対象音源は頭内に定位するが、自由音場による呈示では音源が自己の頭外に定位する実在感を体験出来た。音源が短音になり音色情報が損なわれると自由音場でも音源定位能力は低下するが、この傾向は難聴者で顕著となり、特に聴神経異常の AN (auditory neuropathy) 群では自己と対象音源との関係が不安定となり、自身と融合する現象が見られた。音色の処理は全頭型脳磁図の誘発磁場解析の結果から、大脳側頭平面近傍で行われている可能性を示したが、両耳への音色情報は大脳皮質処理のほか、皮質下でのスペクトルやスペクトル変化の両耳差検出に利用されていると考えられるとした。両耳に音色の変動する刺激を付加することにより、自己空間識の制御や障害の模擬を可能とした。

### ③個人性・障害関連の脳活動抽出法の開発

まず、社会コミュニケーションにおける言語・非言語および社会能力の個人性・障害性を見るため、言語学習能力として TOEIC 点数に加えて Carver の Rate/Accuracy Level Tests の読書速度と語彙数を、ワーキングメモリ容量として、1 ないし 5 条件文を音読しながら各行中の指定語を記憶し再生するリーディングスパンテスト (RST) の日本語版の得点を、社会コミュニケーション力として英国 Baron-Cohen が開発した 3 種の社会性指標測定用質問紙の日本語版の指数、すなわち、システムを分析し行動の規制を抽出しようとする程度を示すシステム指数 SQ (Systemizing Quotients)、他者の感情と思考を推論し、ふさわしい感情で反応する程度を示す共感指数 EQ (Empathy Quotients)、健常成人の自閉症傾向・表現型の程度を示す自閉症スペクトラム指数 AQ (Autism Spectrum Quotients) を、身体・運動能力として身体検査とともに反復横跳び、垂直跳び、握力、長座前屈、12 分間走の成績を求め、気質・性格テスト次元 TCI (temperament and character inventory) と共に相関解析を行った。個人性・障害性データを有する健常者を対象に、脳活動情報として意識下での環境空間変化検出を反映するミスマッチ・ネガティブイティ (MMN) を脳波・脳磁図により、言語脳・非言語脳を結ぶ脳梁や自他の心の理論を反映する前帯状回の活動を機能的 MRI (fMRI) により、さらに生活場面におけるワーキングメモリの各要素に対応する前頭-側頭-頭頂部位の活動を光トポ (NIRS) により求め、個人性・障害性データと相関解析を行った。その結果、これら異種データ間にも関連要素があり、性差・個人差の指標となり得ることを示した。

### ④発話データによる個人性・障害性に関連した機能モジュールの解析法の開発

空間認知機能とその言語作業記憶への共

働性・干渉性を探るため、ワーキングメモリの検証に使用される音声回答およびキー押しの RNG を採用した。数系列の分析には、Baddeley と Cowan のワーキングメモリ・モデルを統合した「軸モデル」を採用した。また、音声のプロソディを抽出し、系列の構造や感情・精神状態との関連を調べた。分析は系列自然数の音韻系列による自己空間内の数表象の更新機能を有する Counting 方略、マグニチュードという視空間手がかりにより活性化される数表象の使用を禁止する Hopping 方略、両者の方略を変更する上位の Switching 機能を中央実行系機能群として想定した。これにより、音韻、視空間情報を統合する Baddeley のエピソード・バッファの概念を Cowan の表象の更新とチャンキングを繰り返しながら表象ネットワーク構造を構成する特殊な記憶容量である Dynamic range of the focus of attention (DRFA) と対応づけられ、さらに心の理論とも関連させることが可能となった。RNG の軸モデルによる分析結果と課題遂行時の光トポによる脳活動との相関分析から、上昇・下降系列などの方略と左右前頭背・内側部が対応して活動を増加・減少させることが判明し、RNG 課題時の光トポも性差・個人差の情報収集に有効であることを示した。

### ⑤自他認識の社会能力と障害・回復評価のための検査課題とデータ解析法の開発

特に臨床現場で可能な時間内で実施可能な簡便な空間認知検査法を開発し、RNG 課題との関連を調べた。言語の重要要素である数の表象と人の外界認識に中心的な役割を果たす視空間認知との間に密接な関係があることから、線分 2 等分 (Line Bisection: LB) 課題を採用した。ここでは、水平の線分に左または右端で交わる斜線を追加し、水平または斜線のどちらかを 2 等分することにした。水平線分のみでは有意な左右へのずれは認められなかった。斜線追加により、水平線 2 等分には左右差が見られるようになったが、斜線自身の 2 等分には差は見られなかった。このことは自己中心空間で斜線による基軸変換が発生していることを示すものと思われた。RNG 課題において大きい数を生成する傾向の高い被験者ほど、その後の LB 課題において右よりに分割する傾向が高いことを示され、RNG 課題はこれまでワーキングメモリにおける中央実行系 (注意) 機能の課題として採用されてきたが、この課題により視野空間に影響を与えることが明らかになった。RNG および斜線付き LB 課題が、空間処理のメカニズムや病態の解明さらに検査に有用であることが証明された。

### ⑥自他認識の社会能力の個別回復・増進訓練システム設計法の開発

ワーキングメモリ理論を基に、身体・運動

能力、言語学習・運用能力とリーディングスパンの成績、社会コミュニケーション能力（システム化・共感・自閉性：SQ-EQ-AQ）の調査結果、音声とキー押し乱数生成および線分2等分の認知検査データ、光トポ・脳波・fMRIの脳機能情報をデータベース化し、性差や年齢差を含めた個性・障害性抽出を試みた。しかし、その信頼性を高めるためには大量のデータを必要とする。そこで、複数の基礎・臨床研究グループで実験データを共有し、データベースの蓄積と解析の双方向標準化プラットフォームの準備的システムを作成した。このシステムではインターネットを通じて実験データをアップロードし、即座に解析および診断結果が得られるようになると同時に、アップロードされた実験データはデータベース更新に利用されることになる。このシステムによってデータを共有するためには実験パラダイムの標準化が不可欠になる。標準化を厳密に遵守することで、均質なデータの取得が可能になることが期待された。

### (2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

乱数生成課題や線分2等分課題、ワーキングメモリや心の理論などを基にした社会認知・コミュニケーション能力の解析は、英米、スイス、カナダなど諸外国で研究が進められており、本研究は日本文化と日本語環境における情報を発信したことになる。

しかし、ランダムキー押し課題を例にとると、同じキー押しの遂行において、フィードバック音を弱肉・強食を模擬したMOUSEまたはCATの鳴き声または無し、とすることにより、追い込み・追い込まれ、またはその間の葛藤状況を作り出すだけで、他者（コンピュータ）の意図を理解する設定となり、複数の前頭実行系機能の活性が観察されている。社会コミュニケーションにおける高度な意図の伝達問題をも対象可能にしていることを初めて示したといえる。

### (3) 今後の展望

本研究で得られたデータから、母語と外国語による結果の違いが表層的な原因ではなく、空間識に根ざした問題であることが判明した。また、男女差や年齢差も顕著であった。しかし、乱数生成課題や線分2等分課題が数概念を利用している利点を生かして、イギリス・スイスなど海外の研究者へも研究参加の呼びかけ、母語による男女・各年代のデータ収集が望まれる。

今後は、認知リハビリテーション分野で強く求められるであろう誂え型認知・言語リハビリテーション用ゲーム、音楽療法、運動療法といったプログラムの開発整備が急務である。このためには個々の認知・言語機能の

評価が必要となる。近い将来には、リハビリプログラムの作成と認知・言語機能の評価は統合しなくてはならず、来たるべきクラウド環境における誂え型認知リハビリテーション用プログラムの開発と評価システムの在り方についての検討が進められるべきと思われる。ソフトウェア界全体がクラウドコンピューティングへ移行する状況では、認知リハビリテーション用ソフトウェアとともに評価システムも必要な脳情報を絞り込み、無線で簡便に装着可能なWeb型インタフェースの開発が必須である。そのためにも、本研究は次世代型認知リハビリテーションゲームソフトウェアや認知・言語機能への新たな運動療法の開発のための基盤生成の準備にもなった。本格整備への移行が急務である。

### 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5件）

- ① 亀田弘之, 税田竜一, 原田俊信, 石鍋 仁, 伊藤憲治, 久保村千明, 服部峻, 池淵恵美, DYCSS3 認知リハビリテーションのためのゲーム集試作プロジェクト. 信学技報 TL2010-1:1-6, 2010. <査読有>
- ② Matsubayashi J, Kawakubo Y, Suga M, Takei Y, Kumano S, Fukuda M, Itoh K, Yumoto M, Kasai K. The influence of gender and personality traits on individual difference in auditory mismatch: A magnetoencephalographic (MMNm) study. Brain Res 1236:159-165, 2008. <査読有>
- ③ Sano M, Kuan CC, Kaga K, Itoh K, Ino K, Mima K. Early myelination patterns in the central auditory pathway of the higher brain: MRI evaluation study. Int J Pediatr Otorhinol 72:1479-1486, 2008. <査読有>
- ④ 水落智美, 湯本真人, 狩野章太郎, 伊藤憲治, 山唄達也. 音色のカテゴリー知覚の聴性誘発 N1m 潜時への反映. 日生体磁気論 20:59-65, 2008. <査読有>
- ⑤ 伊藤憲治, 黒木聡三, 関本荘太郎, 加我君孝. Auditory Neuropathy と音源定位. ENTONI 93:50-7, 2008. <査読無>

〔学会発表〕（計18件）

- ① 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. 2011年電子情報通信学会総合大会. 東京, 15 Mar 2011.
- ② 花村光貴, 板垣文彦, 伊藤憲治, 丹羽真二. 視野空間に影響する乱数生成. 2011

- 年電子情報通信学会総合大会. 東京, 15 Mar 2011.
- ③ Sudo MM, Mochizuki AA, Itoh K, Kirino E. Effects of physical performance and language proficiency on brain activation: from a social cognition viewpoint. 1st Congress of International Academy of Sportology. Tokyo, Japan, 22 Feb 2011.
- ④ Sudo MM, Mochizuki AA, Itoh K, Kirino E. Interrelationships among physical performance, language proficiency and brain activities from the viewpoint of social cognition. ICCN 2010 (29th International Congress of Clinical Neurophysiology). Kobe, Japan, 30 Oct 2010.
- ⑤ 伊藤憲治, 板垣文彦, 関本荘太郎, 野澤真一, 丹羽真一. 聴覚空間情報の高次認知過程に対する効果-ワーキングメモリに基づく脳機能解析-. 2010年電子情報通信学会総合大会, 仙台, 19 Mar 2010.
- ⑥ 板垣文彦, 伊藤憲治, 三浦祥恵. 外国語習得の基礎過程. 2010年電子情報通信学会総合大会. 仙台, 19 Mar 2010.
- ⑦ Kameda H, Itoh K, Kubomura C, Saita R, Harada T, DYCSS3. Computer game development for cognitive function rehabilitation - Report of ongoing cross-disciplinary project-. ICTA2009. Beijing, China, 11 Dec 2009.
- ⑧ Ando M, Yumoto M, Itoh K, Masaki K, Yatomi Y. Mismatch response as a prediction error signal in the forward model. 18th International Congress on Brain Electromagnetic Topography (ISBET2009). Kyoto, Japan, 1 Oct 2009.
- ⑨ 野澤真一, 茂木健一郎, 伊藤憲治, 板垣文彦. インターネットによる乱数生成課題データの蓄積と臨床応用のための標準化プラットフォームの設計. 2009年電子情報通信学会総合大会, 松山, 20 Mar 2009.
- ⑩ 伊藤憲治, 板垣文彦, 野澤真一, 三浦祥恵, 丹羽真一. キー押しランダム生成課題における「意図」の問題. 2009年電子情報通信学会総合大会. 松山, 20 Mar 2009.
- ⑪ 高田美絵, 湯本真人, 伊藤憲治, 眞崎桂, 安東恵, 佐藤文雄, 矢富裕. 自然落下運動の視聴覚予測と聴覚応答の減衰. 第38回日本臨床神経生理学学会学術大会. 神戸, 12 Nov 2008.
- ⑫ 水落智美, 湯本真人, 狩野章太郎, 伊藤憲治, 山嵜達也. 音色処理の初期段階における脳磁場測定. 第38回日本臨床神経生理学学会学術大会. 神戸, 12 Nov 2008.
- ⑬ 安東恵, 湯本真人, 伊藤憲治, 眞崎桂, 高田美絵, 佐藤文雄, 矢富裕. 運動聴覚

- 連関事象における予測誤差検出とフォワードモデルの更新. 第38回日本臨床神経生理学学会学術大会. 神戸, 12 Nov 2008.
- ⑭ 伊藤憲治. 乱数生成課題における音声認識・分析のシステム化に向けて. 日本心理学会第72回大会. 札幌, 19 Sep 2008.
- ⑮ Ogata E, Yumoto M, Itoh K, Mizuochi T, Karino S, Yamasoba T. Neuromagnetic responses to audiovisual vowel stimuli. 16th International Conference on Biomagnetism. Sapporo, Japan, 26 Aug 2008.
- ⑯ Mizuochi T, Yumoto M, Karino S, Itoh K, Yamasoba T. Categorical perception of timbre shapes the auditory-evoked N1m. 16th International Conference on Biomagnetism. Sapporo, Japan, 26 Aug 2008.
- ⑰ Itagaki F, Turk DJ, Itoh K, Miura S, Niwa S, Kono S, Gotoh D, Kawasaki S. Strategies for random key pressing under cat-and-mouse conditions. XXIX International Congress of Psychology. Berlin, Germany, 25 Jul 2008.
- ⑱ Mizuochi T, Yumoto M, Karino S, Itoh K, Yamasoba T. FO independency of auditory evoked N1m latency is vocal sound specific? 14th Annual Meeting of Organization for Human Brain Mapping. Melbourne, Australia, 18 Jun 2008.

〔図書〕(計2件)

- ① Sudo MM, Mochizuki AA, Itoh K, Kirino E. Effects of physical performance and language proficiency on brain activation: from a social cognition viewpoint. Inaugural International Academy of Sportology. Juntendo Univ, in press.
- ② Itoh K, Kuroki S, Sekimoto S, Kaga K. Sound localization and lateralization of auditory neuropathy. Neuropathies of the Auditory and Vestibular Eighth Cranial Nerves (eds Kaga K, Starr A), Springer: Tokyo-Berlin-Heidelberg-NY, 37-42, 2009.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 憲治 (ITO H KENJI)  
東京電機大学・情報環境学部・研究員  
研究者番号: 80010106

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

根本 幾 (NEMOTO IKU)  
東京電機大学・情報環境学部・教授  
研究者番号：40105672

湯本 真人 (YUMOTO MASATO)  
東京大学・医学部附属病院・講師  
研究者番号：30240170

関本 荘太郎 (SEKIMOTO SOTARO)  
東京大学・大学院医学系研究科・助手  
研究者番号：00010059

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

丹羽 真一 (NIWA SIN-ICHI)  
福島県立医科大学・医学部・教授  
研究者番号：30110703

(4) 研究協力者

David J TURK (デービット J ターク)  
Univ Aberdeen School Psychol, UK  
Ass Prof