

「聞香」による香りの言語化プロセスと脳内情報構造化機能の解明

理化学研究所脳科学総合研究センター象徴概念発達研究チーム

椎名(日原) さやか、藤井 直敬、入来 篤史

Real world contains enormous environmental information. We receive very diverse information though each sensory organs or receptors and send to central nervous system, recognizing external environment. The human brain seems to be sorting complex information implicitly into simple but structured abstract form. Prefrontal cortex is known to be a place where abstract information is manipulated. We recorded brain activity by NIRS in PFC from Koh-Do experts and beginners during Koh-Boku (premium incense) discrimination task. Experts were well trained sorting subtle and complex koh-boku fragrance into koh-boku names. We found clear difference between two groups. Experts showed highly organized response pattern in PFC but beginners didn't. We found that PFC can organize and implement attentive abstract discrimination process, acquired on demand by interacting with automatic covert processes, which fits to subject's exact dynamic thinking traces.

1. 緒言

思考とは、私達が過去の記憶や経験をもとにして新たな結論を作り出す過程と定義され、脳が取り扱っている高次認知機能の一つであり、プランニング、推論、概念形成、判断などの要素から成り立っている。普段、私達は何気なく推論を通し意思を決定しているが、この際、脳は1)過去の経験を通して得られた知識を参照する、2)多くの仮説を検証する、3)どの結論が現実の世界を一番合理的に解釈できるのか選択する、という作業を行っている。さらに、私達は外部環境から様々な刺激を常に受けているので、脳は絶えず視覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚などの感覚情報を分析し、必要に応じてこれらの情報も仮説に反映させていかなければならない。

思考に関する研究は、機能的核磁気共鳴画像 (fMRI)、ポジトロン・エミッション・トモグラフィ (PET)、近赤外線分光法 (NIRS) などの非侵襲的脳機能測定法と呼ばれるイメージング技術の開発に伴い飛躍的に進み、健常者が実際に思考している最中の脳活動を計測することが出来るようになった。そして、推論を始めとする多くの高次認知機能に“前頭前野”が関連していることが判明してきた (1. Fuster, 2. Mah)。しかしながら、従来の研究で用いられた課題は、見本合わせ課題のような刺激-反応が比較的単純な課題が多く、その一方で私達が日常生活で直面している問題というのは、複雑かつ重層的であり、より現実

的な状況下で行っている意思決定の神経メカニズムの解明を目指すとなると、新たな実験課題の設定が要求される。

そこで我々は推論の神経メカニズムを解明するため今回の実験では、“香道”という芸道を導入した。香道は日本文化において嗅覚を入り口とする伝統芸能で、1000年以上もの歴史を持ち皇族や貴族により伝承されてきたものである (3. Morita)。香道では6種の香木の香りを“聞く”ことを楽しみ、さらにそれを分類し言語化することが求められる。この能力は稽古を積むことで習得していく。初心者は香りを聞くことは出来ても、それを分類、言語化することは非常に困難であるが、熟練者は香りを聞く能力が高いのは当然の事ながら、それを分類し、評価軸のせ、言語的表現をすることが可能になる。つまり、後天的学習により嗅覚刺激を過去の記憶と照合しながら分析・分類し、言語表現をしてゆくのである。この過程は正に推論の過程なのである。

香木の香りは、微弱かつ似通っており、聞香は非常に難しい課題である。例えて言うならば、りんごとみかんを弁別するという簡単なものではなく、香りからりんごの品種を弁別するようなものである。香道がアロマセラピーやソムリエの行うテイスティング (4. Castriota Scanderbeg) と異なるのは、言語表現軸が定まっている点である。言語評価は、“苦、甘、塩辛い、辛、酸”の5つの五味と呼ばれる、通常使う味覚の意味とは全く異なる単語を定量的に組み合わせて行う。この言語的表現法を用いることにより熟練者間で香木の香りを共有することができるのである。このように感覚情報をもとにした推論プロセスの神経メカニズムの研究に、香道は適した実験課題であると言える。

そこで本研究では、二つのグループ、すなわち、香道の熟練者と初心者において、“聞香”中の香りを分類し言語化する過程の局所的脳血流量変化を、抽象的操作を制御していると考えられている前頭前野 (5. Fujii, 2003) をター



Labeling Process during odor discrimination task, “Listening Koh-boku”, in Human prefrontal cortex with near-infrared spectroscopy

Sayaka Shiina-Hihara*, Naotaka Fujii, Atsushi Iriki

Laboratory for Symbolic Cognitive Development, RIKEN Brain Science Institute

ゲットに近赤外線分光法 (NIRS) (6. Watanabe E, 1996, 7. Koizumi H, 2001) を用いて計測・比較することで、従来の研究で知りえることの出来なかった言語を含む、脳の嗅覚情報および高次脳内情報の処理機構の解明を目指した。

2. 方法

2.1 被験者

右利き健常者を被験者とし、香道歴 10-40 年からの熟

練者 (30-65 歳、女性 10 人)、初心者各 10 人 (24-48 歳、男性 3 人、女性 7 人) に実験に参加してもらった。近赤外線分光法 (NIRS、日立 ETG-100) を用い、被験者の頭部に照射プローブ、検出プローブ各 10 本 (図 1 A,B) を両側の前頭前野皮質へ対称に装着し、計 20 チャンネルからの NIRS 信号 (酸化ヘモグロビン量、還元ヘモグロビン量) を非侵襲的に計測した。計測中、被験者には実験課題と対照課題を行ってもらった。

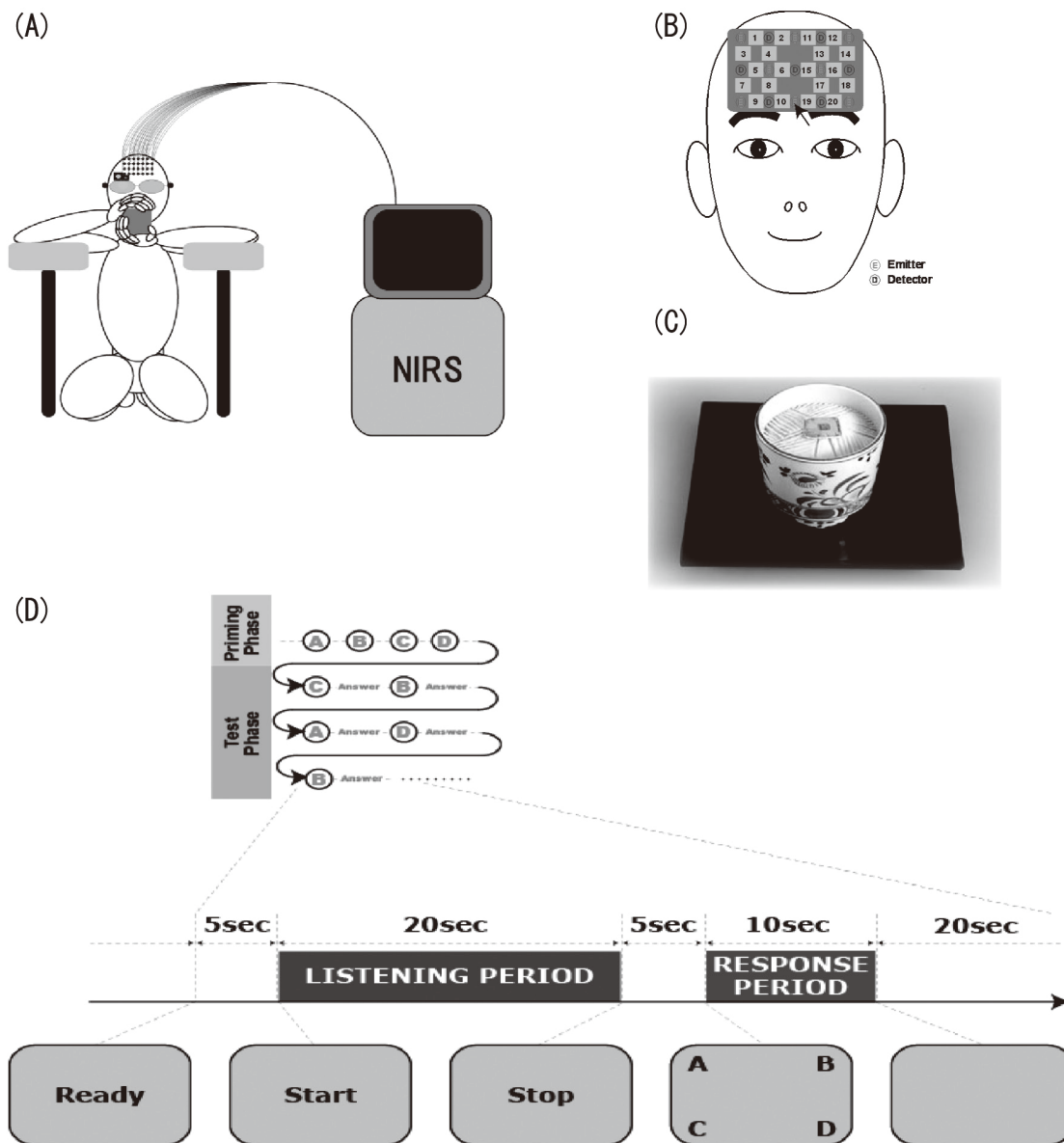


図 1
 A: 実験の模式図……被験者は肘を肘掛に置き NIRS プローブを装着された状態で、香炉を持ち聞香する。
 B: 各 10 本の照射プローブ、検出プローブの配置……番号は記録チャンネル (20 個) を示している。1-10 チャンネルは右前頭葉を、11-20 チャンネルは左前頭葉からの NIRS 信号を計測している。
 C: 香炉……香炉に灰と熾した炭団を入れ、その上に板 (雲母) を乗せ、数ミリ角に切った香木を熱し香りを発散させる。
 D: 実験課題スケジュール……4 種類の香りを聞きそれを記憶する「プライミング期」とプライミング期間中に聞いた香りと現在聞いている香りを比較する「テスト期」から構成される (上段)。被験者にはテスト期は、A-D までの刺激がランダムに渡され、プライミング期中に記憶した香りと、今聞いている香りを比較し、A-D までのどれに該当するかを聞香期 (Listening Period; 20 秒) に考える。反応期 (Response Period; 10 秒) にはその答えをモニタ上に提示された文字 (A-D) を選択・注視することで解答する。被験者は目前に置かれたモニタに提示される指示に従って課題を遂行していく (下段)。

2.2 解析

課題遂行中の酸化ヘモグロビン量 (oxy-HB)、還元ヘモグロビン量 (deoxy-HB) を 10Hz で計測し、血流動態の指標は総ヘモグロビン量 (oxy-HB と deoxy-HB の和) とした。総ヘモグロビン量は、1 試行につき (課題前後も含め)、60 秒間 (600samples/ch) 計測し、多項式適合法、移動平均によるノイズ除去、標準化を行った後、16 試行 × 20 チャンネル × 600sample のマトリックスの画像化・解析を行った。

被験者ごとに各試行、各チャンネルの標準偏差 (SDt ; n=16, SDc ; n=20) とこれらの平均値を求め、閾値を平均値 -2SD と設定し、この閾値以下の値を示した試行、チャンネルをそれぞれ bands in trails (BT)、bands in channels (BC) とした。

2.3 実験課題

嗅覚 (香木) 弁別課題: 嗅覚刺激は 3 種類の香木 (A-C) と 1 種類のコントロール刺激 (D) を用いた。それぞれの刺激は香炉に灰と熾した炭団を入れ、その上に板 (雲母) を乗せ、数ミリ角に切った香木を熱し香りを発散させた (図 1 C)。課題は、この 4 種類の香りを聞き、それを記憶する “プライミング期 - Priming Phase” とプライミング中に聞いた香りと現在聞いている香りを比較する “テスト期 - Test Phase” から構成される (図 1 D)。被験者は目前に置かれたモニタに提示される指示に従い課題を遂行していく。

まず、“プライミング期” (4 試行) では、A-D の 4 種類の香炉を順番に聞いていく。被験者は香炉を手渡され (準備期)、スタートシグナル後 20 秒間香りを聞く (聞香期)。反応期には刺激と対応したモニタ上のアルファベット (A-D) を注視する。20 秒の待機期後、次の香が手渡される。被験者は同様の手続きで各試行を遂行し、A-D の 4 種類の香りを記憶する。

次の “テスト期” (12 試行) では、A-D までの刺激がランダムに選ばれ、被験者へ渡される。被験者は渡された香りを聞き、プライミング中に記憶した香りと、今聞いている香りを比較し、A-D までのどれに該当するかを聞香期に考える。反応期にはその答えをモニタ上に提示された文字 (A-D) を選択・注視することで解答する。待機期後、再び別の香炉が提示され、被験者は同様に香木の種類を答えていく。

2.4 対照課題

味覚 (お茶) 弁別課題: 対照課題としてお茶の弁別課題を (香道熟練者 4 人、初心者 3 人) 実験課題終了後に、実験課題と同様の手順で行った。味覚刺激には 3 種類のお茶を使用し、プライミング期に 3 試行、テスト期に 6 試行行

った。

なお、この実験の成果は 8) Fujii et al. で発表されている。

3. 結果と考察

図 2 A は、初心者 (上段)、熟練者 (下段) における課題遂行中の 5 つのポイントにおける総ヘモグロビン量の信号強度を示している。両群において課題遂行時にヘモグロビン量が経時的に変化していることがわかる。さらに課題中のあるポイントで、同系色で構成される縦軸方向もしくは横軸方向のバンドが観察された (図 2 A 縦、横矢印)。これはある試行中もしくは、あるチャンネルにおいて信号強度の差異が小さいことを意味している。つまり、縦軸方向のバンド (bands in trails, BT) は、ある試行中に記録チャンネル全体がほぼ同じレベルで活動したことを示し、また横軸方向のバンド (bands in channels, BC) は全試行中において同一チャンネルが局所的にほぼ同じレベルで活動しているということを示している。

次に、課題遂行中の上記のバンド (BT、BC) 数を初心者、熟練者ごと算出し、その分布を見た (図 2 B a - 熟練者, c - 初心者、BT ; 黒、BC ; グレー)。その結果、熟練者では聞香期と反応期に BC が多く現れ、BT はほとんど現れなかった。さらに、BC の数を半球ごとにプロットすると (図 2 B -e、黒 : 左半球、点線 : 右半球)、BC は聞香中期から試行終了まで右前頭前野で顕著に増加していた。一方、初心者において BT は課題中全般、BC は聞香中に現れた。課題の正答率は熟練者 (68%)、初心者 (58%) であり、正答率に大差はなかった。BC は BT と異なり、局所的な脳活動を示す指標である。従って、これらの結果は、初心者は課題中前頭前野全体的に使用しているのに対し、熟練者においては右前頭前野を組織的の様式で使っていることを示唆している。

なぜこのような反応差が 2 群の間で生じたのであろうか? 初心者の嗅覚刺激物質に関する知識、経験の少なさが影響しているのだろうか? この問いに答えるため、対照実験として味覚 (お茶) 弁別課題を行った。お茶を弁別刺激として利用した理由は、日本人はお茶を日常的に飲んでいるので、お茶に対する経験・判別能力は被験者間で差異が少ないと考えたからである。刺激の特徴を抽象的に操作するという点に関しては、味覚の弁別過程も香木の弁別過程とほとんど変わらないはずである。

実験課題と同様に、対照課題遂行中のバンド (BT、BC) 数を算出しその分布を図 2 B に示す (b - 熟練者, d - 初心者、BT ; 黒、BC ; グレー)。両群とも BC が出現するのにに対し、BT はほとんど現れなかった。また、我々の予測通り、課題の正答率は両群ともに 100% だった。この結果は、刺激の感覚種に依存せず、過去の経験、知識をもとにした推論過程において前頭前野の活動は NIRs 信号

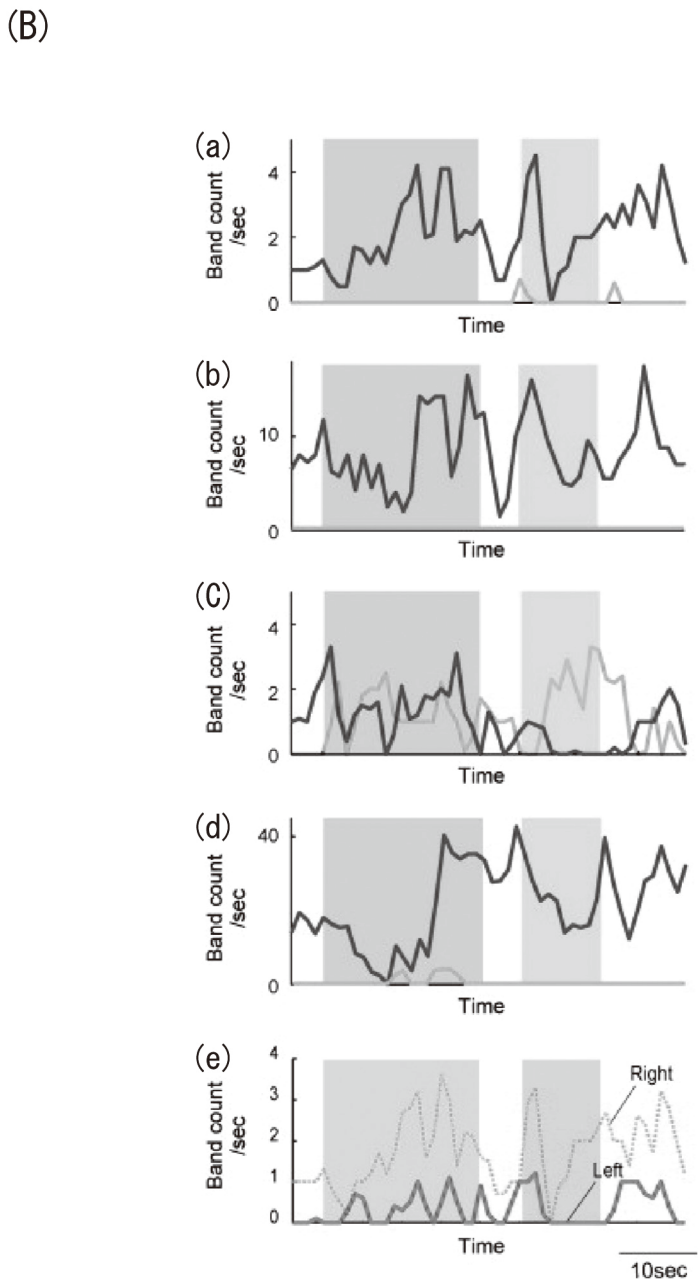
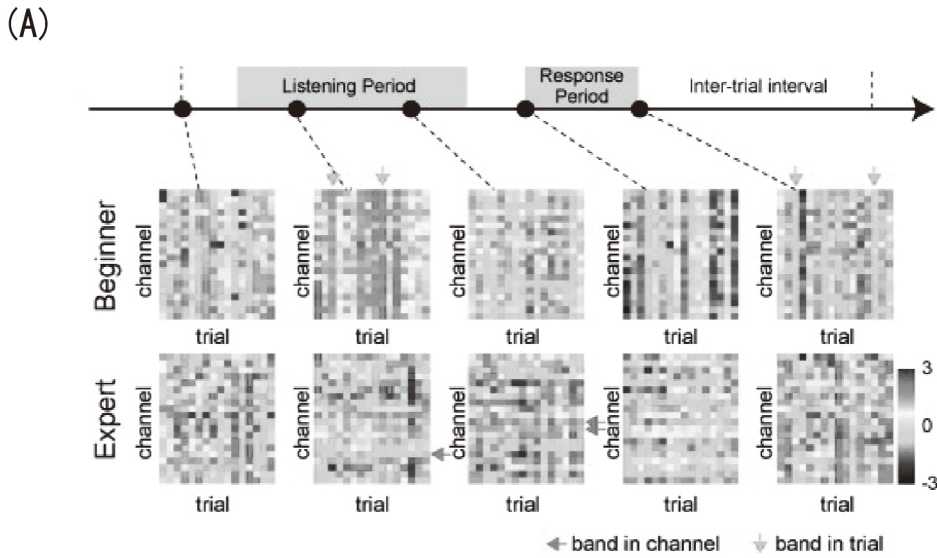


図2
 A: 課題実行中の5つのポイントにおける総ヘモグロビン量のマッピング
 それぞれのチャンネルの総ヘモグロビン量の信号強度がピクセルの色によって示されている。上段が初心者、下段は熟練者である。横軸はトライアル、縦軸はチャンネルを示す。矢印は同色の色で構成されたバンドを示している。
 B: BC、BTの分布
 横軸は時間、縦軸は1秒間のバンドのカウント数である。ダークグレー、ライトグレーの陰影はそれぞれ聞香期、反応期を示している。(a,c): 課題中のバンドカウント、a: 熟練者、c: 初心者 (b,d) 対照課題中のバンドカウント b: 熟練者、d: 初心者。(e) 熟練者における左右半球ごとの課題中のバンドカウント

として検出できるということを示している。

4. 総括

推論は最も基本的な認知的脳機能の一つであり、私達は現実世界における意思決定のほとんどを推論を通して行っている。従来、推論過程の神経機構の解明は非常に難しいとされてきたが、今回私達は香道を利用し、適切な課題設定を作り出すことができた。その結果、“聞香—嗅覚弁別課題”に前頭前野皮質が香道の初心者、熟練者ともに活動しているだけでなく、初心者では課題遂行中全般に前頭前野皮質全体で、熟練者では一過性かつ局所的に右前頭前野で嗅覚情報の推論処理を行っていることが示唆された。また、熟練者の前頭前野のみが、聞香中にダイナミックな修飾を受けていることから、この活動様式は仮説的推論過程の神経活動を反映しているものと考えられる。

謝辞

香道に関し技術的なご指導、ご協力を頂いた山田氏、亀山氏、渡辺氏に深謝致します。また、本研究を遂行するに当たり、御支援頂きました(財)コスメトロジー研究振興財団及び共同研究者に感謝いたします。

(参考文献)

1) Fuster, J. M. Executive frontal functions. *Exp Brain*

Res, 133 (1), 66-70, 2000.

2) Mah, L., Arnold, M. C., & Grafman, J. Impairment of social perception associated with lesions of the prefrontal cortex. *Am J Psychiatry*, 161 (7), 1247-1255, 2004.

3) Morita K. *The Book of Incense: Enjoying the Traditional Art of Japanese Scents*. Kodansha International, TOKYO, 1992.

4) Castriota-Scanderbeg et al. The appreciation of wine by sommeliers: a functional magnetic resonance study of sensory integration. *Neuroimage*. 25 (2) :570-8, 2005.

5) Fujii, N., Graybiel AM. Representation of action sequence boundaries by macaque prefrontal cortical neurons. *Science*, 301 (5637) :1246-9, 2003.

6) Watanabe E, Yamashita Y, Maki A, Ito Y, Koizumi H (1996) Non-invasive functional mapping with multi-channel near infra-red spectroscopic topography in humans. *Neurosci Lett*. 205: 41-44, 1996.

7) Koizumi H, Maki A, Yamamoto T. Noninvasive higher-order brain-function imaging by near-infrared spectroscopy. *Rinsho Shinkeigaku* 41: 1201-1206, 2001.

8) Fujii et al. Prefrontal activity during koh-do incense discrimination. *Neuroscience Research* 59: 257-264, 2007.