

語の連想における脳機能計測実験 —NIRS を用いた様々な連想関係の特徴抽出— Functional Brain Imaging Study of Word Association -Detecting Characteristics of Associative Relations among Concepts using NIRS-imaging-

辰巳奈央[†], 吉野加容子[†], 石崎俊[‡]
Nao Tatsumi, Kayoko Yoshino, Shun Ishizaki

[†]慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科, [‡]慶應義塾大学環境情報学部
Graduate School of Media and Governance, Keio University
nt@sfc.keio.ac.jp, yoshika@sfc.keio.ac.jp, ishizaki@sfc.keio.ac.jp

Abstract

We examined hemodynamic changes related to the associative relations among word concepts. Subjects were 10 healthy, right-handed young adults with informed consent. The NIRS measurement point intervals were 9mm and the probes were placed on bilateral areas covered from BA45 to posterior of BA22. The subjects were instructed to look at the visual stimuli. During the action concept stimuli, deoxygenation of hemoglobin occurred in left BA22, while oxygenation occurred in left posterior of BA41. Deoxygenation also occurred in right posterior of BA45 to 44. Thus, it suggests that this response is related to the verb image processing. This study clarified that it is possible to correlate brain activation to the associative relations among concepts.

Keywords — near-infrared spectroscopy (NIRS), Brain function, Associative Relation, Verb

1. はじめに

人間が語を認知する過程において、単語の頻度 (Jacoby, 1981 など) や親近性 (藤田, 1999 や [1]) などの様々な要因が作用することが知られている。しかしながら連想語の浮かびやすさが認知の容易性に関わるという心理実験が報告されている一方で、語と語の関係性や概念連想に注目して行われた脳機能計測実験は少ない。

本研究では健常成人を対象に、単語ペアを認知する際の大脳皮質のヘモグロビン動態を近赤外線分光法 (NIRS; near-infrared spectroscopy) 装置を用いて計測した。NIRS は課題に合わせて解像度を調整可能であり、また fMRI 等に比べて毛細血管優位の脳回信号をより検出するとされ [2], 刺激前後の代謝反応を捉えられる点で有用である。

刺激語には連想概念辞書 [3] から抽出した単語

のペアを用い、単語と単語の連想関係や連想概念距離の差が脳活動に与える影響の検出を行った。

2. 実験方法

対象 慶應義塾大学 SFC 実験・調査倫理委員会で承認された手続きに基づき了承を得た日本語母語の右利き健常成人 10 名 (男性 6 名, 20~28 歳)
実験課題 視覚刺激 (単語ペア) を 1 タスク 200 個程度ランダムに提示。全 3 タスク。

- **タスク 1**: 刺激語と、それに対する連想語が形容詞で表される属性概念語のペア
- **タスク 2**: 連想語が動詞で表される動作概念 (統語的に正しい助詞を補完して提示)
- **タスク 3**: 連想語が各概念の名詞

手続き 対象者には安静状態を保たせ、特に動作は求めずに PC 上で視覚提示した単語ペアを注視するよう指示。提示 1 秒とレスト 3 秒の交互試行。

測定 両側 BA45 から BA22 後部に対し、NIRS 装置 (FOIRE3000, 島津製作所) を用いて 40ms 間隔でサンプリング。側頭領域の頭蓋骨から皮質表面の距離は 11~13mm で空間解像度は 10mm 以下が望ましい [4] ため、測定チャンネル 9mm 間隔で一元配列する高密度プローブを作成し頭蓋へ装着 [5] (左右各 15ch)。また実験システムを作成し、PC (データ提示/記録) と NIRS 装置を同期。

解析方法 各被験者・チャンネル・タスクに対して、脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb), 酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb), 総ヘモグロビン (total-Hb) を、刺激提示時点を基準にベースライン補正し、提示中 1 秒と提示後 1 秒の各区間積算を統計処理。

本研究では従来の研究で重視される総血流量ではなく、神経細胞の活動に伴って細胞が酸素消費した際に起きる毛細血管内での Hb 濃度の変化（低酸素化現象とその後の酸素供給）[5]に注目した。

3. ヘモグロビン解析結果と考察

動詞概念の影響 動詞概念や簡単な統語作用が単語ペアの認知に与える影響を検討するために、タスク間での t 検定を行い他タスクとの反応差を検討した。その結果タスク 2 においては、左側 BA22 (ch29; 聴覚連合野からウェルニッケにかける移行領域)において脱酸素化が起こる一方で、左側 BA41 (ch23, 24; ウェルニッケ後端)において酸素化が起こることが示された。

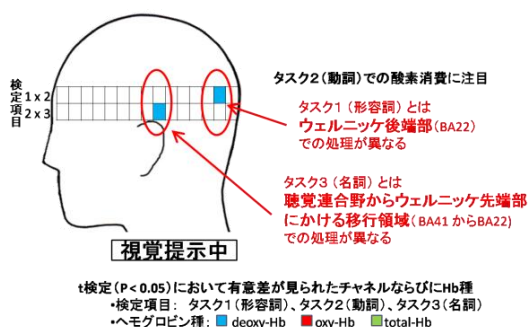


図1 タスク2での酸素消費傾向

また右側 BA45 後部から BA44 (ch5; ブローカ野)の領域では、神経活動に伴い酸素が消費されていることが示唆された。

連想概念カテゴリと Hb 動態の関係 同一カテゴリ試行群のデータを加算処理して作成した5つの概念カテゴリ別データに対して一元配置分散分析ならびに Tukey 検定を行った。その結果、oxy-Hb と total-Hb において、左側頭に側性化することが分かり、特に視覚提示後1秒においては特に左側後半部のウェルニッケ野 (BA22) 周辺の広い範囲において有意差がみられた ($p < 0.05$)。Tukey-HSD テストの結果、右側の ch2 (BA45) においてカテゴリ 3 (部分・材料概念) および 7 (環境概念) のみで酸素消費が確認できた。

カテゴリ 3・7 は実験中に具体的に刺激単語ペアを想像したという実験後報告があった。タスク2(動詞)の実験でも同様の報告があり、右側 BA45 と単語の具体性の関連が示唆された。

連想距離レベルと Hb 動態の関係 距離レベル別データに対して一元配置分散分析ならびに Tukey 検定を行った。その結果、特に左側後半部のウェルニッケ野 (BA22) 周辺において統計的に有意な差がみられた。Tukey-HSD テストの結果、deoxy-Hb において特異的な反応がみられ、タスク2(動詞)においては ch30(ウェルニッケ後端)で距離最短群と最長群のデータ間で有意差がみられた ($p < 0.05$)。連想距離の長短と脳活動の関係を更に検討するために、同一単語に対して、連想距離が近い試行と遠い試行のデータを加算平均したデータを新たに作成し、そのデータに対して更に paired-t 検定を行った ($p < 0.05$)。その結果、連想距離が近い方が酸素を消費することが分かり、特に ch22 (BA44) 周辺において顕著であった。

4. 今後の展望と課題

本研究のシステムは刺激提示と計測データ正確な同期が可能のため、次の実験/解析では刺激語が連想語に与える効果を詳細に検討する予定である。

参考文献

- [1] Ischebeck, et al.,(2004)“Reading in a regular orthography”, Journal of Cognitive Neuroscience, Vol.16, No. 5, pp. 727-741.
- [2] Pouratian, et al.,(2002) “Spatial / temporal correlation of BOLD and optical intrinsic signals in humans.”, Magn Reson Med, Vol. 47, pp. 766-776.
- [3] 岡本, 石崎, (2001) “概念間距離の定式化と既存電子化辞書との比較”, 自然言語処理, Vol. 8, No. 4, pp. 37-54.
- [4] Kawaguchi, et al., (2004) “Theoretical evaluation of accuracy in position and size of brain activity obtained by near-infrared topography.”, Phys. Med. Biol., Vol. 49, pp. 2753-2765.
- [5] Kato, (2004) “Principle and technique of NIRS-Imaging for human brain FORCE.”, Int'l Congress Series, 1270C, p. 88-99.