

令和元年6月6日現在

機関番号：20103

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K12448

研究課題名（和文）記憶想起における大域脳回路ダイナミクスの解明

研究課題名（英文）Evaluation of functional dynamics in the whole brain during memory retrieval

研究代表者

佐藤 直行（Sato, Naoyuki）

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・教授

研究者番号：70312668

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：脳全体の機能デザインを情報理論の観点で捉える目的で、長文読解の記録・想起に関する海馬神経回路モデルを構築およびヒト被験者実験を実施した。神経回路モデルでは一度の読解経験で数分にわたる文章記憶を想起できることを示した。長文読解において、機能関連回路とデフォルトモード回路の活動に関連があることを示し、大域的な脳回路の制御機構に関する手がかりを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳では視覚、記憶など分散的に処理されているが、読書などの際にはこれらがうまく連動して働く必要がある。この連動の仕組みを明らかにするために、記憶を司る海馬の神経回路をシミュレーションしたところ、一度の読解経験で数分の文章系列を記憶できた。また、文章読解中の脳波と機能的脳画像を調べた結果、記憶成績はサリエンス回路、デフォルトモード回路と呼ばれる脳の広域ネットワークの活動と関連があることが示された。これらの成果は脳がどのように統合的に働くかを理解する上で重要である。

研究成果の概要（英文）：This project was aimed to evaluate functional dynamics in the whole brain during memory retrieval. We constructed a neural network model of the hippocampus which can encode and recall a 6-min word sequence using distributed semantic representation. Moreover, we evaluated electroencephalogram and functional magnetic resonance imaging during literature reading and found that memory performance was associated with the inhibition of saliency network and default mode network.

研究分野：計算論的神経科学

キーワード：脳情報処理 ニューラルネットワーク 脳科学 記憶 認知科学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

脳全体の機能デザインを情報論の観点から議論しようという機運が高まりつつある。しかし、一般に、脳全体の機能デザインを考えるのに適当な課題をうまく設定することは難しい。代表者は先に受けた挑戦の萌芽 (H26~27) で、海馬関連記憶の一例として、長文読解時の記憶貯蔵メカニズムを脳波計測により調べた結果、長文読解における脳機能単位は比較的明瞭で、脳機能デザインの検討にとって有効な題材であると考えられた。また、数十分におよぶ読解経験はワーキングメモリよりもエピソード記憶の働きが強いと考えられ、代表者が提案してきた海馬の神経回路モデルを拡張することが可能と考えられた。

### 2. 研究の目的

研究機関内に、(1) 記憶想起に関わる海馬 連合野 環境のループ系における神経回路モデルを構築し、さらに、(2) 記憶想起時の脳波計測実験により提案したモデルを検証する。これらより、脳全体の機能デザインを検討する。

### 3. 研究の方法

(1) 記憶想起に関わる海馬 連合野 環境のループ系における神経回路モデルの構築  
大規模言語データベースおよび読解中の視線データを用いて長文読解後の記憶回路を構成し、その仮定のもと、その記憶回路および関連部位の神経回路において、どのような神経過程がもっともよくヒト被験者の想起と相関するかを、計算機シミュレーションにより検討する。基盤となる海馬の神経回路モデルはこれまで時系列記憶、物 場所連合記憶などに適用してきたものである。読解時のヒトの眼球運動に基づく言語時系列と言語の分散表現を用いることで、ヒトとモデルの記憶を比較することを試みる。

#### (2) 記憶想起時の脳波計測実験

自由想起における脳活動のモデル予見を検証する目的で、想起時の脳波計測実験を行う。代表者の先の萌芽研究 (H26-27) では、長文読解課題を用いたものの、想起過程は目的外かつ被験者の負担軽減のため計測しておらず、新たに計測を行う必要がある。

### 4. 研究成果

#### (1) 記憶想起に関わる海馬 連合野 環境のループ系における神経回路モデルの構築

長文読解に関する海馬の神経回路モデルを構築した(雑誌論文)。その結果、構築したモデルでは1度の読解経験により数分の単語時系列を記録・想起できることを示した(図1)。これは言語の時系列記憶を海馬の神経回路モデルで扱い得ることを示す意味で重要な成果である。しかし、モデルの想起は、要約的な想起ができないなど、ヒトの文章想起とは性質が異なっていた。一方、研究開始当初は環境ループが数十秒単位の情報処理の理解に必須と考えていたが、代表者の脳波・脳機能画像の結果によれば(雑誌論文)、デフォルトモード回路などの内因的な活動も重要であることが明らかになった。これより、想起における環境とのループ系を検討する場合においても、数十秒単位で変動するこれらの大域機能回路の働きが重要と考えられた。そこで、研究方法を一部変更し、デフォルトモード回路と記憶関連回路の協調に関するモデルを検討した。

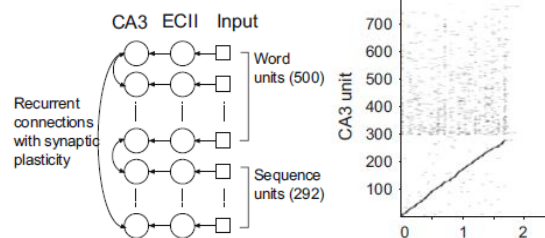


図1 海馬神経回路モデル。(左)モデルの構造。Word unit は単語の分散表現入力、sequence unit 自発活動入力を受ける。(右)文章列の想起活動(横軸は時間(s))。

#### (2) 記憶想起時の脳波計測実験

文章読解中の脳波・脳機能画像を検討した結果、サリエンス回路及びデフォルトモード回路の抑制が記憶成績と関係することを明らかにした(雑誌論文、図2)。記憶想起においてもこれらの大域機能回路の働きの役割が多きことが予想された。そこで、神経回路モデルの構築の方針ともあわせ、デフォルトモード回路と関連するとされる低周波脳波(0.01~0.1Hz)と認知課題との関連に着目し、脳波計測実験を行った。解析にはアーチファクトの少ないデータを要するため、記憶想起課題の予備実験として、

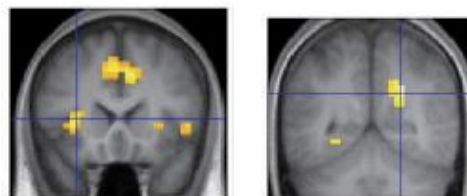


図2 想起成績に関連する記録中の脳活動部位。(左)文単位の想起に関連する部位。MNI (-30, -20, 6)。サリエンス回路に関連する。(右)文単位の想起に関連する部位。MNI(22, -56, 30)。デフォルトモード回路と関連する。

単純反応課題についての脳活動を検討した。その結果、低周波脳波のパワと反応速度が有意に相関するという予備的な結果を得た。これは今後の想起関連課題での脳波解析にも適用できる手法であり意義がある。

#### 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

Naoyuki Sato, Hiroaki Mizuhara, “Successful encoding during natural reading is associated with fixation-related potentials and large-scale network deactivation.” *eNeuro*, 査読有, 5(5), ENEURO.0122-18. 2018

佐藤直行, “ヒト海馬の神経回路モデルの構築”. *人工知能*, 査読有, vol.32, no.6, pp-851-856, 2017

Naoyuki Sato, “Words-in-sequence memory formed by eye movement sequences during reading: A network model based on theta phase coding. *Neural Processing Letters*, 査読有, 2017. doi: <https://doi.org/10.1007/s11063-017-9632-4>

〔学会発表〕(計 6 件)

Naoyuki Sato, Riki Matsumoto, Akihiro Shimotake, Masao Matsushashi, Takayuki Kikuchi, Takeharu Kunieda, Hiroaki Mizuhara, Ryosuke Takahashi, Akio Ikeda, “An electrocorticogram analysis based on the theoretical coupling between subpopulation network structure and cross-spectral power”, Program ID: 514.03, Annual meeting of Society for Neuroscience 2018, San Diego, 2018 年 11 月

Naoyuki Sato, Atsuko Tominaga, “Estimation of student classroom attention using a novel measure of head motion coherence”, International Conference on Neural Information Processing, 2018

佐藤直行, “エピソード記憶の神経メカニズム:「脳を創る」の脳科学研究”, 横浜・函館合同医療研究会, 2018.7.21 (招待講演)

佐藤直行, “意味”をつくるコンテクストの記憶の神経機構。人工知能美学芸術展シンポジウム, 沖縄, 2017.11.25 (招待講演)

Naoyuki Sato, “A theoretical study of subpopulation network structure and electroencephalogram coherence coupling.” poster ID: 752.13, the Annual meeting of Society for Neuroscience 2017, Washington D.C., Nov. 11-15, 2017.

Naoyuki Sato, and Hiroaki Mizuhara, “Subsequent memory-dependent BOLD activation during the natural reading of literature.” 22th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, Geneva, Switzerland, 2016.

〔図書〕(計 4 件)

Naoyuki Sato, Atsuko Tominaga, “Estimation of student classroom attention using a novel measure of head motion coherence”, *Proceedings of ICONIP 2018, Part VI (LNCS 11306)*, 2018, pp.106-117

Naoyuki Sato, “Chapter 25: Episodic Memory and the Hippocampus.” In: (Ed.) Ah A. Moustafa, “*Computational Models of Brain and Behavior*”, Wiley-Blackwell., 2017, pp.345-356

Naoyuki Sato, “Chapter 5:Memory Processing in the Nervous System.” In: (Ed.)Alfons J. Schuster, “*Understanding Information: From the Big Bang to Big Data (Advanced Information and Knowledge Processing)*”, Springer., 2017, pp.83-96

Naoyuki Sato, “Memory of reading literature in a hippocampal network model based on theta phase coding.” A. Hirose et al. (Eds.): “*ICONIP 2016, Part III*”, LNCS 9949, pp. 61-69, 2016

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.fun.ac.jp/~satonao/index-j.html>

## 6 . 研究組織

(1)研究分担者  
なし

(2)研究協力者  
なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。