

# 意味のない文字単位を意味のある語彙単位に結合するプロセス に関連する脳活動の検討

田邊 梨樹 【 認知神経科学研究室 】

## Examination of Brain Activity Related to the Process of Binding Nonsensical Letter Units into Meaningful Lexical Units

TANABE, Riki 【 Laboratory of Cognitive Neuroscience 】

### 1 はじめに

書き言葉による読解は、意味をもたない文字単位を、意味をもつ語彙単位（単語や文節）へと結合する認知過程に依存している。日本語では、通常の文章表記において単語間のスペースが存在しないため、読者は視覚の手がかりに乏しい状況下でも、内在的な句読点処理や文構造の解析を通じて意味理解を行っていると考えられる。そこで、日本語話者の自発的な読書速度は、句読点やスペースを含まない文章を読解する場合においても、読者自身の内在的な句読点処理過程を反映していると仮定された。この仮定を検証するため、文章を一文字ずつ視覚的に提示し、読者が自己ペースで読み進める「自己ペース逐次文字列読解課題（self-paced sequential letterstring reading task）」が新たに開発された [1]。

本課題を用いることで、各文字に対する反応時間（reaction time; RT）を個別に測定することが可能となる。先行研究では、文末からの相対位置に基づいて RT を分析した結果、平均 RT は文末に近づくにつれて段階的に減少し、文末位置において急激に増加することが示されている [1]。この RT パターンは、発話における「息継ぎ」や意味処理の完結と対応している可能性があり、本課題が自然読解における時間的ダイナミクスを捉える有効な手法であることを示唆している。

本研究では、自己ペース逐次文字列読解課題を用いるとともに、AMED が策定した国際脳 MRI 標準撮像プロトコルである HARP（Harmonized Protocol）に準拠した fMRI データを取得する。従来の容積ベースの fMRI 解析では、脳回が複雑に折り畳まれた皮質領域において空間精度が不十分となり、解剖学的位置の曖昧化や連合野機能に対する感度低下が課題とされてきた。そこで本研究では、HARP に基づく高品質な MRI データを活用し、自己ペース逐次文字列読解課題中の脳活動を皮質表面レベルで解析することで、言語処理に関与する皮質領域の機能をより精緻にマッピングすることを目的とする。

### 2 実験方法

#### 2.1 実験装置

本実験は、3 テスラ MRI スキャナーを用いてデータを取得した。MRI 撮像パラメータは、スライス数=72, TR=0.743s, TE=35.6ms, multi band factor=8, voxel size=2 × 2 × 2mm<sup>3</sup> である。被験者の反応は、MRI 対応ボタンコントロールを用いて取得した。刺激の作成および提示制御には、心理学実験用ソフトウェアである PsychoPy を用いた。

#### 2.2 被験者

高知工科大学の学生 13 名（平均年齢 19.38 歳, SD=1.00, 男性 8 名, 女性 5 名, 右利き）に対して実験を行った。

#### 2.3 実験手順

本実験は、安静時測定フェーズおよび課題実施フェーズの 2 フェーズから構成される。安静時測定フェーズでは、AMED 国際脳 MRI プロトコル HARP に準拠し、安静時 fMRI ならびに構造画像（T1 強調画像および T2 強調画像）の撮像を行った。安静時 fMRI では、位相エンコーディング方向を Anterior-to-Posterior (A → P) および Posterior-to-Anterior (P → A) で交互に反転させた条件により、計 4 run の撮像を行った。この手法により、位相エンコーディング方向に依存して生じる EPI 画像の幾何学的歪みが特定方向に偏ることを防ぎ、歪み補正の精度向上を図った。課題実施フェーズにおける fMRI 撮像においても、同様に位相エンコーディング方向を反転させた条件を用いた。課題実施フェーズでは、MRI スキャナー内において自己ペース逐次文字列読解課題を実施し、課題中の fMRI データを取得した。なお、これら 2 フェーズは原則として別日に実施したが、被験者の都合等により、実施順序が入れ替わる場合や、同一日に両フェーズを連続して実施する場合もあった。

自己ペース逐次文字列読解課題では、かな文字からなる日本語文章を、一文字ずつ視覚的に提示した。実験開始前に、被験者に対して以下の 3 点を説明した。第一に、ボタン操作により文章が一文字ずつ表示されること、第二に、自身のペースでボタンを押し、黙読によって文章の意味を理解すること、第三に、提示される文章

は句読点を含まない単純な文章で構成され、各文章は互いに独立していることである。

これらの指示を行った後、本実験で使用しない刺激セットを用いてトレーニングランを実施し、被験者に課題操作に十分に慣れてもらった。その後、本試行として自己ペース逐次文字列読解課題を実施した。本課題では、各ランにつき175文字から成る10文が提示され、計6ランを実施した。また、意味をもつ文章の前後には、それぞれ20文字から成る無意味文字列を提示した(図1)。

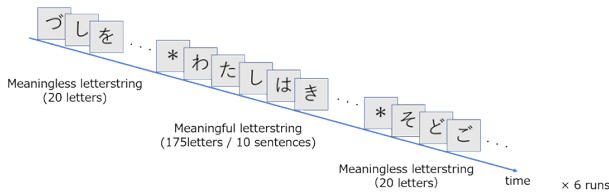


図1 自己ペース逐次文字列読解課題の手順。  
文献 [1] より引用。

## 2.4 解析

行動データ解析では、被験者13名それぞれについて、自己ペース逐次文字列読解課題中に提示された意味のある文章を対象とし、異なる文章間で同一の文末からの相対位置にある文字に対する反応時間を平均化した。この解析は、文末に向かう反応時間の推移が先行研究で報告されている傾向と一致するかを確認し、本課題が適切に機能していることを検証することを目的とした。

fMRIデータ解析では、実験手順で取得した課題fMRIデータを用い、無意味文字列の読み(Nonsense条件)と意味をもつ文章の読み(Sentence条件)における脳活動の差異を検討した。前処理および皮質表面解析には、AMED国際脳MRIプロトコルHARPに基づき取得した構造画像(高解像度T1強調画像およびT2強調画像)を用い、空間的歪み補正およびマルチモーダル表面位置合わせ法を含むHuman Connectome Project(HCP)パイプラインを適用した。各被験者についてデザインマトリックスを作成し、一般線形モデル(GLM)解析を行った。その後、Sentence条件およびNonsense条件に対応する回帰係数( $\beta$ 値)を推定し、両条件の差を表すSentence - Nonsenseのコントラストを定義することで、意味処理に特異的な脳活動を表すコントラストマップを算出した。

## 3 実験結果

被験者13名について、自己ペース逐次文字列読解課題において提示された意味のある文章を対象とし、異なる文章間で同一の文末からの相対位置にある文字に対する反応時間(RT)を平均化した結果を、図2に示す。

図2における青丸は、被験者13名の平均RTを示し、誤差棒は平均値の標準誤差( $n = 13$ )を表している。その結果、先行研究と同様に、平均RTは文末に近づくにつれて段階的に減少し、文末位置において急激に増加する傾向が確認された。

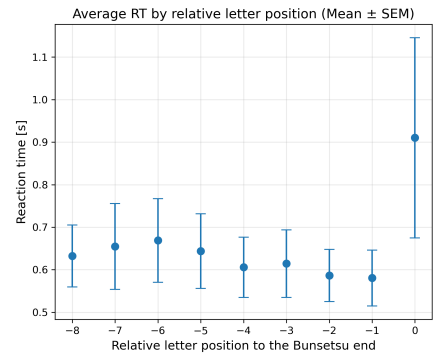


図2 文末からの相対位置に基づく平均反応時間の推移

Sentence - Nonsense コントラストについて、各被験者の結果を統合した $\beta$ マップを図3に示す。意味をもつ文章の読みにおいて、左半球のBroca野(BA44, 45), Area 55b, STSva/vp, PSL (Perisylvian Language Area), PGIなど、言語処理に参与するとされるcore language networkに属する領域でBOLD信号の増加が認められた。特に、中前運動野に位置する左55bおよび外側溝後端に位置する左PSLの活動は、本実験において明確に同定された。一方、PSLに隣接する頭頂葉のPFおよびPFmにおいては、相対的なBOLD信号の低下が観察された。

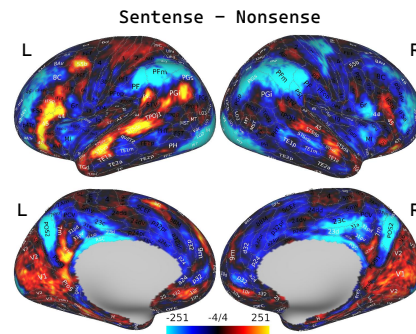


図3 Sentence - Nonsense コントラストの群レベル $\beta$ マップ

## 4 考察・まとめ

本研究により、自己ペース逐次文字列読解課題において、従来報告されてきたBroca野(BA44, 45)およびSTSva/vpの活動に加え、これまで活動の同定が不明瞭であった皮質小領域であるArea 55bやPSLの明確な賦活が認められた。さらに、PSLに隣接するPFおよびPFmにおいては、相対的なBOLD信号の低下が観察された。PFおよびPFmは、帯状回や弁蓋皮質と機能的に関連し、デフォルトモード・ネットワークの一部として知られており、本研究の結果は、言語処理におけるこれら領域の機能的役割の解明に新たな示唆を与えるものと考えられる。以上より、本手法は、言語回路の精緻な皮質マッピングと機能分化を検討するための有効なプラットフォームになるものと期待される。

## 参考文献

- [1] Ryutaro KASEDO et al., Development of a Self-paced Sequential Letterstring Task, 2021