

令和5年度  
修士学位論文

# 記憶の時間的文脈をコードする脳領域の探索

Exploring Brain Regions That Encode the Temporal  
Context of Memory

1265091 今村 拓未

指導教員 中原 潔

2024年2月28日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻  
情報学コース

# 要旨

## 記憶の時間的文脈をコードする脳領域の探索

今村 拓未

エピソード記憶は個人が経験した出来事に関する記憶であり，その出来事の内容に加え時間的文脈や空間的文脈など出来事を経験した時のさまざまな付随情報と共に記憶される [1]．

本研究では，エピソード記憶における時間的文脈をコード可能な脳領域があるのか検討した．時間的文脈をコード可能な脳領域があるのか検討するため，実験1および実験2を実施した．実験1では，10年以上前に発売されたゲームのキャラクター（遠隔記憶）と発売から間もないゲームのキャラクター（近時記憶）を刺激として使用した．この実験1の目的は，これらの遠隔記憶と近時記憶が異なる賦活パターンを示す脳領域を探索することである．参加者には行動実験で近時記憶を学習してもらい，その翌日にfMRI実験で遠隔記憶と近時記憶を想起してもらった．遠隔記憶と近時記憶の賦活パターンの異なる脳領域として「下前頭野・中心前回・帯状回・下側頭回・楔前部・外側頭頂葉・後頭極」において確認された．実験1から楔前部，中心前回，下前頭野，外側頭頂葉においてエピソード記憶の時間的文脈をデコードできることが示唆された．実験2では，道具又はおもちゃの画像を刺激として使用した．実験は午前と午後にそれぞれ3階と5階の部屋で実施した．この実験の目的は，時間に関連している脳領域を探索することである．参加者には行動実験で道具又はおもちゃを実際に部屋の中で使っているところをイメージしてもらい，その翌日にfMRI実験においてそれぞれの刺激をいつ見たかという時間，どこで見たかという場所を回答してもらった．時間に関連した賦活パターンを示した脳領域として「小脳・上前頭回・中心後回・頭頂小葉・縁上回・高次視覚野・後頭極」において確認された．実験2から小脳，上前頭回，中心後回，頭頂小葉，縁上回においてエピソード記憶の時間的文脈をデコードできることが示唆された．本研究によって，エピソード記憶における時間的文脈を表象すると考えられる多くの脳領域

が明らかにされた。実験 1 は近時記憶と遠隔記憶の長い時間間隔において賦活パターンの異なる脳領域の探索を行った。一方、実験 2 は午前と午後の短い時間間隔において時間に関連している脳領域の探索を行った。実験 1 は参加者に画像と名前を想起させており、これには時間以外の文脈が含まれている。一方、実験 2 は参加者に時間について回答してもらっているため実験 1 よりも純粋に時間的文脈を取り出せていると考えられる。

**キーワード** エピソード記憶, 時間的文脈, fMRI

# Abstract

## Exploring Brain Regions That Encode the Temporal Context of Memory

Takumi Imamura

Episodic memory is the memory of events experienced by an individual, and in addition to the content of the event, it is stored along with various incidental information such as the temporal and spatial context in which the event was experienced.

In this study, we examined whether there are brain regions that can encode temporal context in episodic memory. Experiments 1 and 2 were conducted to investigate whether there are brain regions that can encode temporal context. In experiment 1, we used as stimuli a character from a game released more than 10 years ago (remote memory) and a character from a game not long after its release (recent memory). The purpose of this experiment 1 is to search for brain regions that show different activation patterns for these remote and recent memories. Participants were asked to learn a recent memory in a behavioral experiment and to recall the remote and recent memories in an fMRI experiment on the following day. Different patterns of activation of remote memory and recent memory were found in “inferior frontal gyrus, precentral gyrus, cingulate gyrus, inferior temporal gyrus, precuneus, lateral parietal lobe and occipital pole”. Experiment 1 suggested that the temporal context of episodic memory can be decoded in the precuneus, precentral gyrus, inferior frontal cortex and lateral parietal lobe. In experiment 2, images of tools or toys were used as stimuli. Experiments were conducted in the morning and afternoon in rooms on the third and fifth floors, respec-

tively. The purpose of this experiment is to explore brain regions associated with time. Participants were asked to imagine that they were actually using the tools or toys in the room in the behavioral experiment, and the next day, they were asked to answer when and where they saw each stimulus in the fMRI experiment. The brain regions that showed time-related activation patterns were identified in the cerebellum, superior frontal gyrus, postcentral gyrus, parietal lobule, superior marginal gyrus, higher visual cortex, and occipital pole. Experiment 2 suggested that the temporal context of episodic memory can be decoded in the cerebellum, superior frontal gyrus, postcentral gyrus, parietal lobule, and supramarginal gyrus. The present study reveals a number of brain regions that are thought to represent temporal context in episodic memory. Experiment 1 searched for brain regions with different patterns of activation during long time intervals in remote memory and recent memory. Experiment 2, on the other hand, explored time-related brain regions during short time intervals in the morning and afternoon. Experiment 1 asked participants to recall images and names, which included context other than time. Experiment 2, on the other hand, is considered to be more purely temporal in context than Experiment 1, since participants were asked to respond about time.

***key words*** Episodic memory, Temporal context, fMRI

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
<b>第 2 章</b>	<b>実験 1</b>	<b>2</b>
2.1	実験方法 . . . . .	2
2.1.1	実験装置 . . . . .	2
2.1.2	刺激 . . . . .	2
2.1.3	参加者 . . . . .	3
2.1.4	行動実験 . . . . .	4
2.1.5	fMRI 実験 . . . . .	4
2.2	解析 . . . . .	6
2.2.1	使用したソフトウェア . . . . .	6
2.2.2	前処理 . . . . .	6
2.2.3	単変量解析 . . . . .	7
2.2.4	多変量パターン解析 . . . . .	7
2.3	結果 . . . . .	8
2.3.1	アンケート結果 . . . . .	8
2.3.2	単変量解析の結果 . . . . .	8
2.3.3	多変量パターン解析の結果 . . . . .	8
2.4	考察 . . . . .	9
<b>第 3 章</b>	<b>実験 2</b>	<b>11</b>
3.1	実験方法 . . . . .	11
3.1.1	実験装置 . . . . .	11
3.1.2	刺激 . . . . .	11

## 目次

3.1.3	参加者 . . . . .	11
3.1.4	行動実験 . . . . .	11
3.1.5	fMRI 実験 . . . . .	12
3.2	解析 . . . . .	13
3.2.1	使用したソフトウェア . . . . .	13
3.2.2	前処理 . . . . .	13
3.2.3	単変量解析 . . . . .	14
3.2.4	多変量パターン解析 . . . . .	14
3.3	結果 . . . . .	14
3.3.1	fMRI 実験の behavior の結果 . . . . .	14
3.3.2	単変量解析の結果 . . . . .	15
3.3.3	RSA の結果 . . . . .	15
3.4	考察 . . . . .	18
<b>第 4 章</b>	<b>考察・まとめ</b>	<b>20</b>
	<b>謝辞</b>	<b>21</b>
	<b>参考文献</b>	<b>22</b>

# 目次

2.1	遠隔記憶の画像刺激 . . . . .	3
2.2	遠隔記憶の名前刺激 . . . . .	3
2.3	近時記憶の画像刺激 . . . . .	3
2.4	近時記憶の名前刺激 . . . . .	3
2.5	fMRI 実験課題 . . . . .	5
2.6	名前テスト . . . . .	5
2.7	アンケート . . . . .	6
2.8	アンケート結果 . . . . .	8
2.9	近時記憶 > 遠隔記憶の結果 . . . . .	9
2.10	遠隔記憶 > 近時記憶の結果 . . . . .	9
2.11	MVPA の結果 . . . . .	10
3.1	実験 2 の刺激 . . . . .	12
3.2	fMRI 実験課題 . . . . .	13
3.3	時間と場所の平均正答率 . . . . .	15
3.4	時間のセッションごとの平均正答率 . . . . .	16
3.5	場所のセッションごとの平均正答率 . . . . .	16
3.6	時間 > 場所の単変量解析結果 . . . . .	17
3.7	場所 > 時間の単変量解析結果 . . . . .	17
3.8	時間に関連した賦活パターンを示した脳領域 . . . . .	18



# 表目次

2.1 撮像パラメータ . . . . .	2
2.2 SVM モデルと交差検証の設定 . . . . .	7

# 第 1 章

## はじめに

エピソード記憶は個人が経験した出来事に関する記憶であり，その出来事の内容に加え時間的文脈や空間的文脈など出来事を経験した時のさまざまな付随情報と共に記憶される [1]。

本研究では，エピソード記憶における文脈である時間的文脈をコード可能な脳領域があるのか検討した。時間的文脈をコード可能な脳領域があるのか検討するため，本研究では実験 1 および実験 2 を行った。実験 1 では，10 年以上前に発売されたゲームのキャラクター（遠隔記憶）と発売から間もないゲームのキャラクター（近時記憶）を刺激として使用した。この実験の目的は，これらの遠隔記憶と近時記憶が異なる賦活パターンを示す脳領域を探索することである。参加者には，行動実験で近時記憶を学習してもらい，その後 fMRI 実験で遠隔記憶および近時記憶を想起してもらった。実験 2 では，道具又はおもちゃの画像を刺激として使用した。実験は午前と午後にそれぞれ 3 階と 5 階の部屋で実施した。この実験の目的は，時間に関連している脳領域を探索することである。参加者には，行動実験で道具又はおもちゃを実際に部屋の中で使っているところをイメージしてもらい，その後 fMRI 実験においてそれぞれの刺激をいつ見たかという時間，どこで見たかという場所を回答してもらった。

## 第 2 章

# 実験 1

### 2.1 実験方法

#### 2.1.1 実験装置

実験は MRI 装置を使用した。MRI 内の参加者から応答を受け取るためボタンコントローラを使用した。刺激作成および制御は MATLAB R2019b で動作する Psychtoolbox3.014 を使用した。MRI 装置の撮像パラメータは表 2.1 の通りである。

表 2.1 撮像パラメータ

スライス数	72
TR	0.743 [s]
TE	35.6 [ms]
multi band factor	8
voxel size	$2 \times 2 \times 2 [mm^3]$

#### 2.1.2 刺激

遠隔記憶および近時記憶の刺激として、株式会社ポケモンから 2006 年に発売されたポケットモンスターダイヤモンド・パールおよび 2019 年に発売されたポケットモンスターソード・シールドのポケモンの画像と名前をそれぞれ 3 種類ずつ使用した。実際に使用した刺激を図 2.1~図 2.4 に示す。各刺激のサイズは  $500 \times 375$  ピクセルである。背景は、RGB(160, 160, 160)、明るさ 151 である。なお、この論文では使用したポケモンの画像の

## 2.1 実験方法

刺激にモザイク処理を行っている。



図 2.1 遠隔記憶の画像刺激



図 2.2 遠隔記憶の名前刺激



図 2.3 近時記憶の画像刺激



図 2.4 近時記憶の名前刺激

### 2.1.3 参加者

ポケットモンスターダイヤモンド・パールを発売当時にプレイしたことがあり、ポケットモンスターソード・シールドをプレイしたことのない又はあまりプレイしたことのない大学生の男性 26 名、女性 6 名 (19.84±1.70 歳) に対して実験を行った。なお、解析には頭の動

## 2.1 実験方法

きの酷い 1 名と反応時間の遅い 1 名の計 2 名を除外した 30 名 (19.83±1.67 歳) に対して解析を行った。

### 2.1.4 行動実験

行動実験は近時記憶の刺激である 2019 年発売のポケットモンスターソード・シールドのポケモン 3 種類のポケモンの画像と名前 (図 2.3 と図 2.4) の連合について学習してもらう実験である。1 種類のポケモンにつき 25 分間ゲームをプレイしてもらった。これによりポケモンの名前と画像の連合記憶が自然に学習されることが期待される。

### 2.1.5 fMRI 実験

fMRI 実験は、遠隔記憶および近時記憶を想起させる実験である。fMRI 実験の実験課題を図 2.5 に示す。実験の 1 試行の流れは、参加者にまず刺激呈示の合図を提示した。次に参加者に刺激に注目してもらうためボタンを押してもらった。その後、遠隔記憶もしくは近時記憶の画像または名前の刺激を 2 秒間提示した。最後に注視点を 11 秒もしくは 13 秒間提示した。これを 1 試行とし、36 試行の実行を 1run とし、4run 行った。参加者には刺激が提示されている間、ポケモンの名前が提示されている場合、ポケモンの画像を思い浮かべてもらった。ポケモンの画像が提示されている場合、ポケモンの名前を思い浮かべてもらった。実験終了後、参加者に連合記憶が形成されているか確認するための名前テスト (図 2.6) とアンケート (図 2.7) を行った。

## 2.1 実験方法

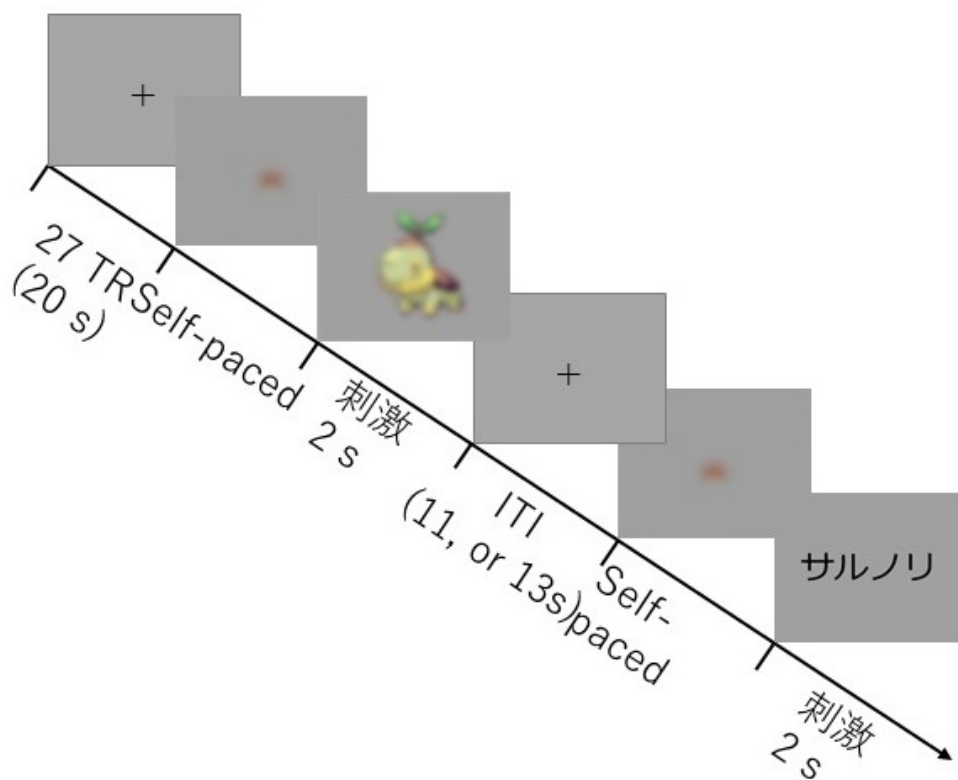


図 2.5 fMRI 実験課題






日付 _____				
氏名 _____		ポケモン名 _____		ポケモン名 _____
		_____		_____
		_____		_____

図 2.6 名前テスト

## 2.2 解析

番号	質問内容
1	あなたがダイヤモンド・パールまたはプラチナをはじめてプレイしたのは何歳ごろですか？
2.	”あなたはダイヤモンド・パール・プラチナの御三家のうち、主にどのポケモンをパートナーに選んでプレイしていますか？名前を書いてください（複数回答可）”
3	あなたがダイヤモンド・パール・プラチナを最後にプレイしたのはいつ頃ですか？ 大体の数字を入れてください（日前・週間前・ケ月前・年前）
4	あなたがソード・シールドのポケモンの画像や名前を見たり知ったりしたのは、 昨日の行動実験がはじめてですか？（はい いいえ）
5	4で「いいえ」を選んだ方は、ソード・シールドのポケモンの画像や名前を 初めて見たり知ったりしたのは大体いつ頃ですか？

図 2.7 アンケート

## 2.2 解析

### 2.2.1 使用したソフトウェア

解析は、Python3.8 および HeuDiConv (Heuristic Dicom Conversion) version0.9.0, fmriprep version20.2.1[2, 3], NiBetaSeries versioin0.6.0[4], FSL version6.0.4, Lipsia の LISA version 3.1.0[5] を使用した。

### 2.2.2 前処理

MRI から得られたデータに対して以下の処理を行った。

1. fMRI で取得した DICOM データを HeuDiConv を用いて脳イメージングデータ構造 (BIDS) へ変換を行った。
2. fmriprep を用いて解剖学的データ前処理と機能的データ前処理を行った。前処理された機能データに対して、独立成分分析 (ICA-AROMA) を用いたモーションアーチファクトの自動除去を行い、モーションノイズを検出した [6]。さらに、FSL の MELODIC 機能により、モーションノイズの除去を行った。

## 2.2 解析

3. 各試行のボクセルの賦活パターン (ベータマップ) を NiBetaSeries を用いて最小二乗分離 (LSS) モデル [7, 8] で算出した.

### 2.2.3 単変量解析

単変量解析では, 遠隔記憶と近時記憶の賦活の差を調べることを目的に実施した. なお, 統計処理は LISA を用いて FDR 補正をした一標本 t 検定を行った.

### 2.2.4 多変量パターン解析

多変量パターン解析 (MVPA) では, 遠隔記憶および近時記憶の賦活パターンを分類することが可能である脳領域を探索することを目的として実施した. 分類にはサポートベクタマシン (SVM) を使用した. SVM に設定したパラメータを表 2.2 に示す. なお, 統計処理は LISA を用いて FDR 補正をした一標本 t 検定を行った.

表 2.2 SVM モデルと交差検証の設定

パラメータ	設定
モデル	サポートベクタマシン (SVM)
カーネルタイプ	線形カーネル
C パラメータ	1
交差検証のタイプ	12 交差検証
交差検証のサブセット数	12



## 2.3 結果

### 2.3 結果

#### 2.3.1 アンケート結果

図 2.8 にアンケート結果を示す。

参加者データ	平均 ±SD
年齢	19.83±1.67(歳)
初めてポケットモンスターダイヤモンドパールをプレイして経過した時間	11.00±2.04(年)
最後にポケットモンスターダイヤモンドパールをプレイして経過した時間	5.85±3.33(年)
ポケットモンスターソード&シールドを初めて知った時期	3.00±3.64(月)
ポケットモンスターソード&シールド名前テスト正答率	0.94±0.23(%)
ポケットモンスターダイヤモンドパール名前テスト正答率	0.99±0.10(%)

図 2.8 アンケート結果

#### 2.3.2 単変量解析の結果

近時記憶 > 遠隔記憶および遠隔記憶 > 近時記憶の単変量解析の結果を図 2.9 と図 2.10 に示す。近時記憶 > 遠隔記憶の単変量解析では、「外側後頭葉・後頭側頭回・下側頭回・紡錘状回・帯状回」において確認された。遠隔記憶 > 近時記憶の単変量解析では、「後頭極」において確認された。

#### 2.3.3 多変量パターン解析の結果

図 2.11 に MVPA において有意差が確認された脳領域を示す。遠隔記憶と近時記憶の賦活パターンの異なる脳領域として、「下前頭野・中心前回・帯状回・下側頭回・楔前部・外側頭頂葉・後頭極」において確認された。

## 2.4 考察

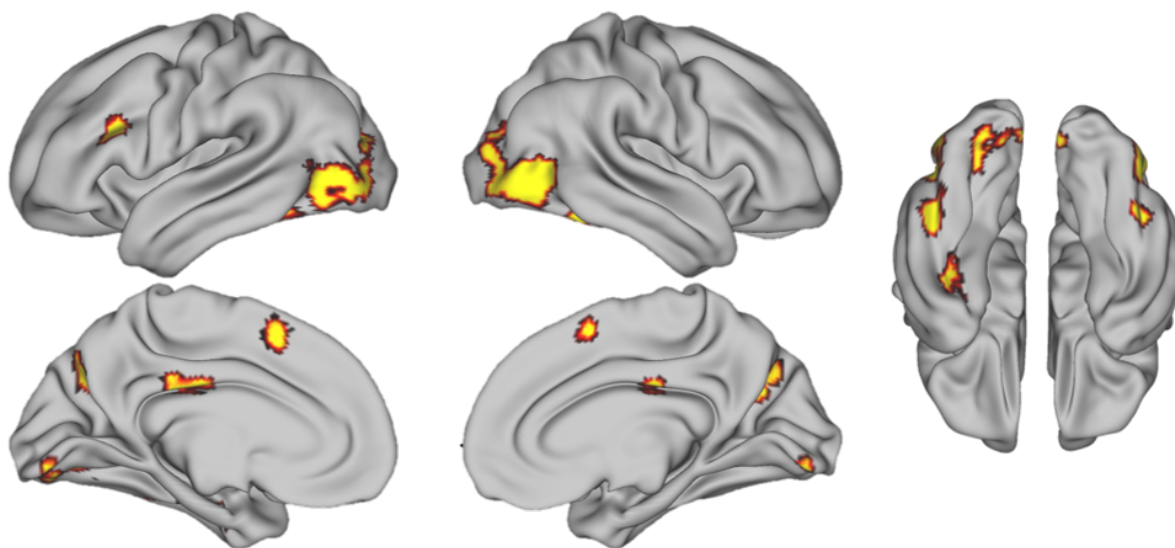


図 2.9 近時記憶 > 遠隔記憶の結果

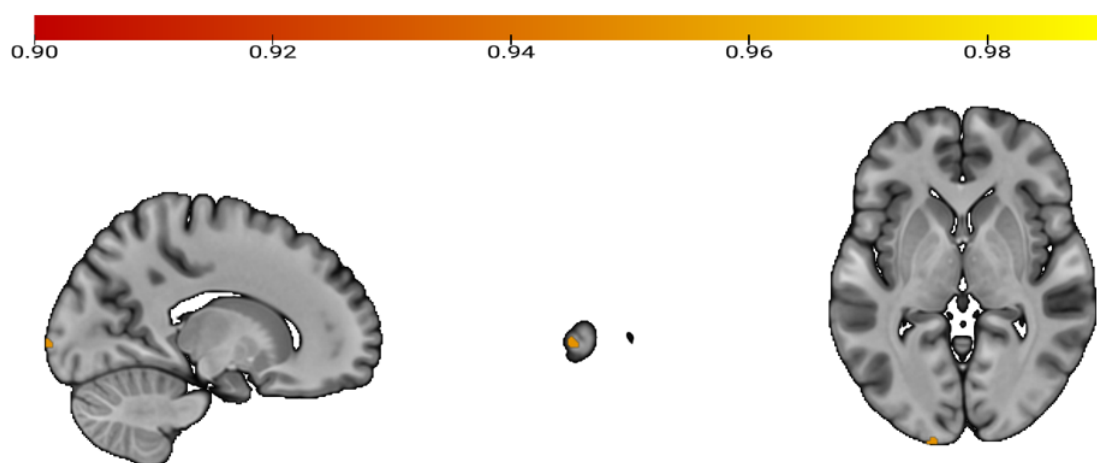


図 2.10 遠隔記憶 > 近時記憶の結果

## 2.4 考察

MVPA の結果から下側頭回などの腹側視覚経路に加えて、楔前部、中心前回、下前頭野、外側頭頂葉において遠隔記憶と近時記憶において異なる賦活パターンが確認された。これらの脳領域の中で、楔前部、中心前回、下前頭野、外側頭頂葉において記憶の文脈、特に時間的文脈をデコードできる可能性があることが示唆された。また、視覚野では遠隔記憶と近時記憶において異なる賦活パターンが確認されたが、解像度の異なる刺激を提示していたためと考えられる。

## 2.4 考察

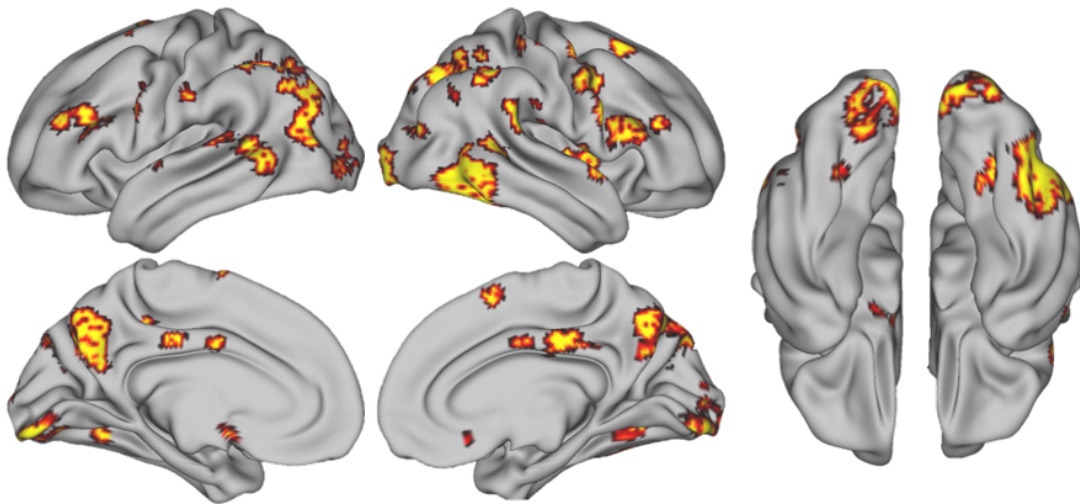


図 2.11 MVPA の結果

しかし、この実験では時間以外の要因により遠隔記憶と近時記憶に異なる賦活パターンを示している可能性を排除することができなかった。

# 第 3 章

## 実験 2

### 3.1 実験方法

#### 3.1.1 実験装置

実験 1 と同様の MRI 装置及びボタンを使用した。刺激作成および制御は Python で動作する PsychoPy-2022.2.1 を使用した。

#### 3.1.2 刺激

標準刺激バンク (BOSS) で取得した図 3.1 の 12 種類の道具またはおもちゃの画像を刺激として使用した。各刺激のサイズは  $500 \times 500$  ピクセルである。刺激の背景は、RGB(160, 160, 160)、明るさ 151 である。

#### 3.1.3 参加者

大学生または大学院生の男性 27 名、女性 10 名 ( $21.44 \pm 2.68$  歳) に対して実験を行った。なお、解析には fMRI 実験での正答率が低い 4 名および実験を中止した 2 名、頭の動きが酷い 2 名の計 8 名を除外した 29 名 ( $21.96 \pm 2.71$  歳) に対して解析を行った。

#### 3.1.4 行動実験

行動実験は、午前と午後にそれぞれ 3 階と 5 階の部屋で実施した。各セッションにおいて参加者に 3 種類の異なる道具またはおもちゃの画像を提示し、部屋の中で実際に使っている

### 3.1 実験方法

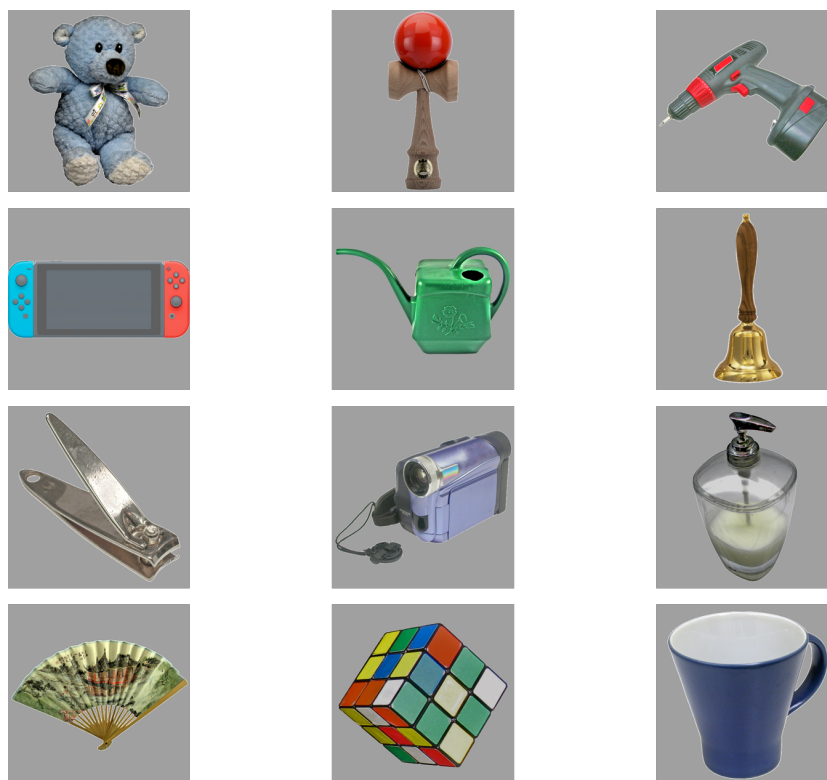


図 3.1 実験 2 の刺激

ところをイメージしてもらい、どのくらいイメージできたかを 1 から 5 の 5 段階で評価してもらった。各刺激をそれぞれ 15 回提示した。

#### 3.1.5 fMRI 実験

fMRI 実験は、行動実験においてイメージしてもらった道具又はおもちゃの画像をいつ、どこで見たかを想起させる実験である。fMRI 実験の実験課題を図 3.2 に示す。実験の 1 試行の流れは、参加者にまず「いつ」もしくは「どこで」という指示を提示した。次に、注視点を 1.5 秒間提示した後に 2 秒間の刺激を提示した。その後、6 秒間の注視点を提示し、参加者は「いつ」と指示された場合は「午前・午後」をボタンの押し分けで回答してもらった。「どこで」と指示された場合は「3 階・5 階」をボタンの押し分けで回答してもらった。最後に 6 秒間から 8 秒間の注視点を提示した。これを 1 試行とし、24 試行の実行を 1run とし、5run 行った。

## 3.2 解析

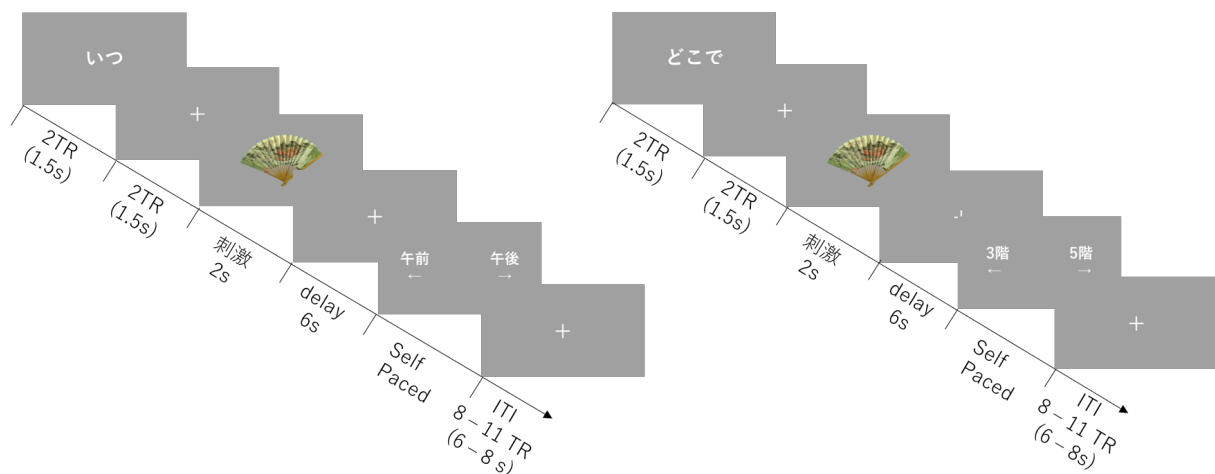


図 3.2 fMRI 実験課題

## 3.2 解析

### 3.2.1 使用したソフトウェア

解析は、Python3.7 および HeuDiConv version0.9.0, fmriprep version 20.0.1[2, 3], FSL version6.0.4, Lipsia の LISA version 3.1.0[5] を使用した。

### 3.2.2 前処理

MRI から得られたデータに対して以下の処理を行った。

1. fMRI で取得した DICOM データを HeuDiConv を用いて脳イメージングデータ構造 (BIDS) へ変換を行った。
2. fmriprep を用いて解剖学的データ前処理と機能的データ前処理を行った。前処理された機能データに対して、独立成分分析 (ICA-AROMA) を用いたモーションアーチファクトの自動除去を行い、モーションノイズを検出した [6]。
3. 行動実験の各セッションごとの時間と場所に基づいて異なるリグレッサーを立てて FSL の GLM でベータマップを算出した。

### 3.3 結果

#### 3.2.3 単変量解析

単変量解析では、時間と場所の賦活の差をとり、時間や場所の処理を行っている脳領域を調べることを目的に実施した。なお、統計処理では LISA を用いて FDR 補正をした一標本 t 検定を行った。

#### 3.2.4 多変量パターン解析

MVPA では、時間や場所に関連している脳領域を調べることを目的に MVPA の分析手法の 1 つである表現類似性分析 (RSA)[9] を実施した。RSA は以下の処理を行った。

1. ベータマップ同士のペアワイズ距離 (非類似度) を計算し、Representational Dissimilarity Matrix(RDM) を作成した。
2. 時間や場所に関連している場合の理想の RDM を作成した。
3. ベータマップから作成した RDM と理想の RDM における変数間の関連性を定量的に評価するため、スピアマンの順位相関係数を計算した。
4. スピアマンの順位相関係数を正規分布へ近似するため Fisher-z 変換を行った。

なお、統計処理では LISA を用いて FDR 補正をした一標本 t 検定を行った。

### 3.3 結果

#### 3.3.1 fMRI 実験の behavior の結果

fMRI 実験の behavior の結果を図 3.3～図 3.5 に示す。時間と場所の正答率に有意差が見られた。

### 3.3 結果

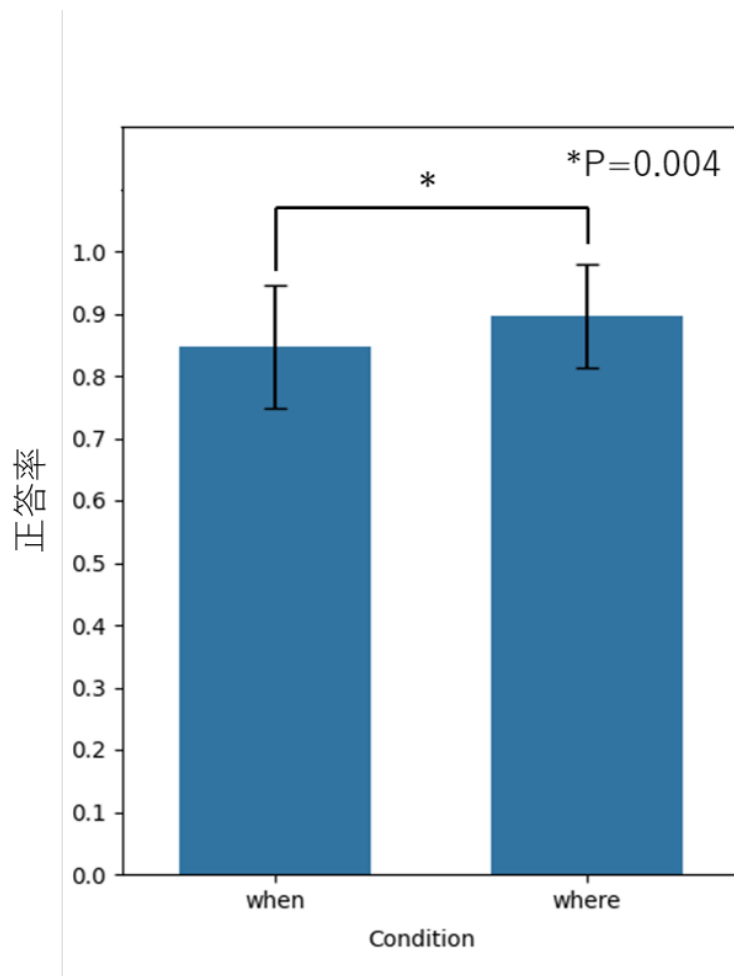


図 3.3 時間と場所の平均正答率

#### 3.3.2 単変量解析の結果

時間 > 場所および場所 > 時間の単変量解析の結果を図 3.6 と図 3.7 に示す。時間 > 場所の単変量解析では、「前頭回・下頭頂小葉・被殻・小脳・尾状核・視床」において確認された。場所 > 時間の単変量解析では、「海馬傍回・縁上回・海馬・後頭回」において確認された。

#### 3.3.3 RSA の結果

時間に関連した脳領域を探すための RSA の結果を図 3.8 に示す。時間に関連した脳領域を探索するための RSA では、「小脳・上前頭回・中心後回・頭頂小葉・縁上回・高次視覚野・後頭極」において確認された。



### 3.3 結果

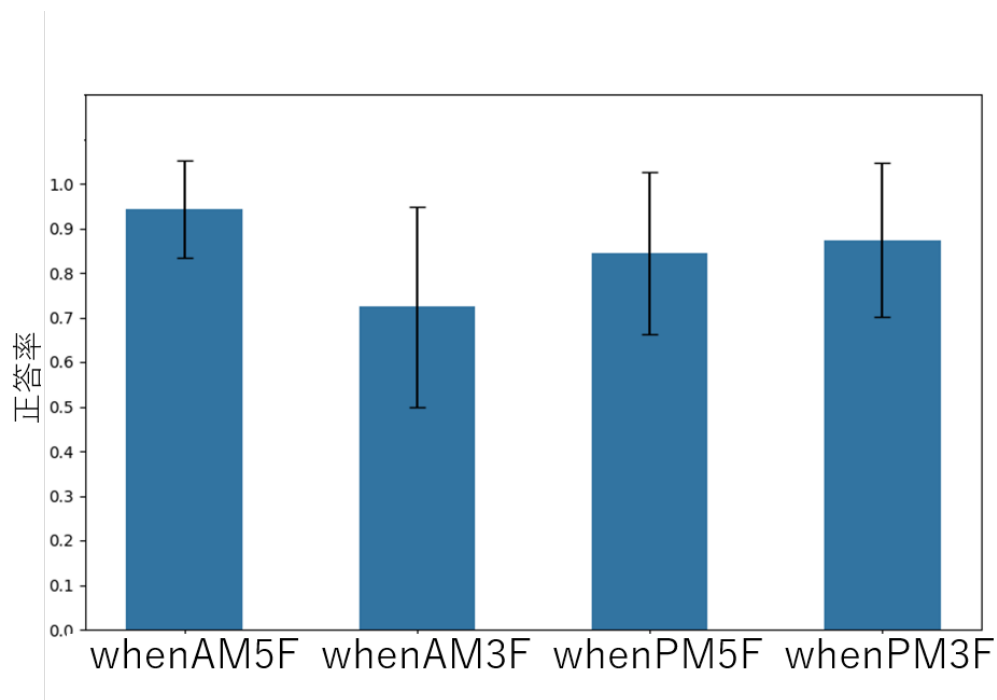


図 3.4 時間のセッションごとの平均正答率

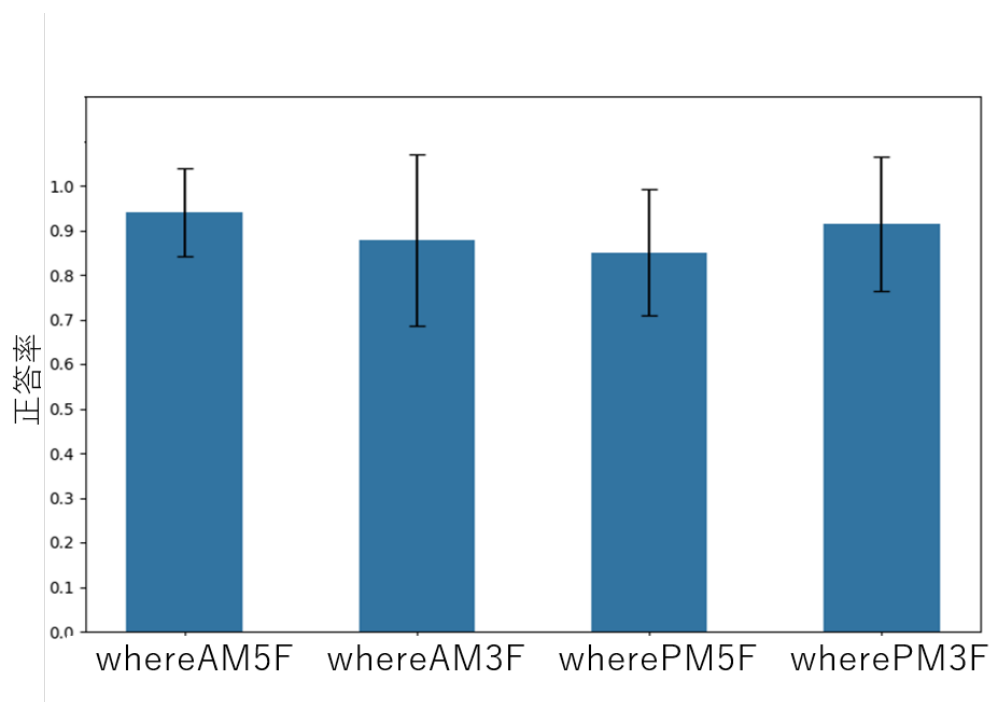


図 3.5 場所のセッションごとの平均正答率

### 3.3 結果

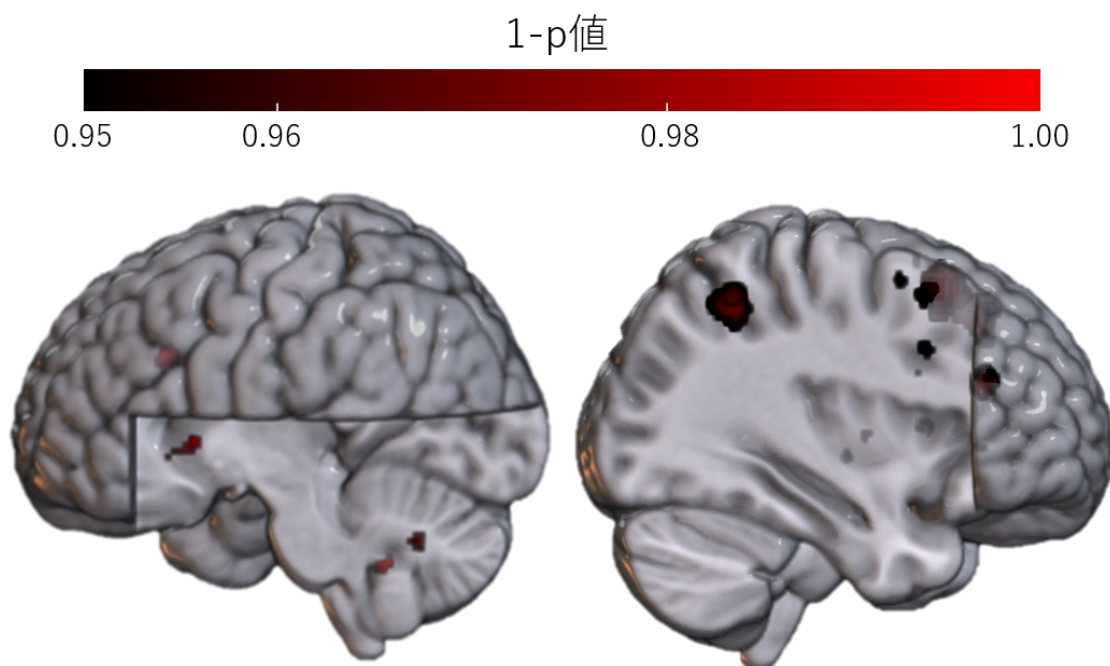


図 3.6 時間 > 場所の単変量解析結果

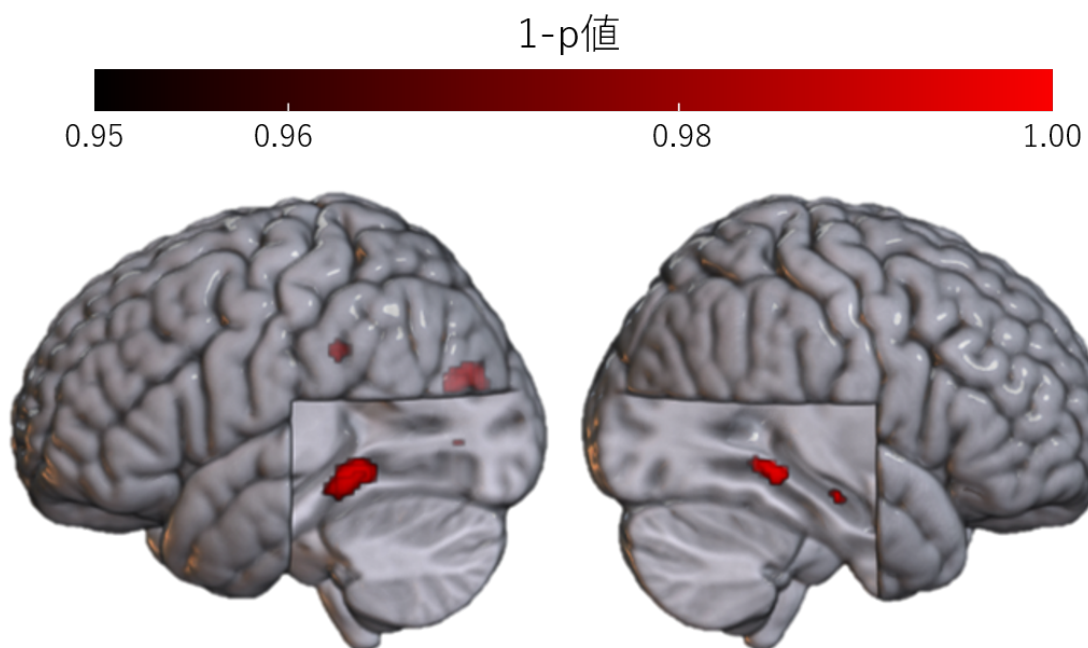


図 3.7 場所 > 時間の単変量解析結果

### 3.4 考察

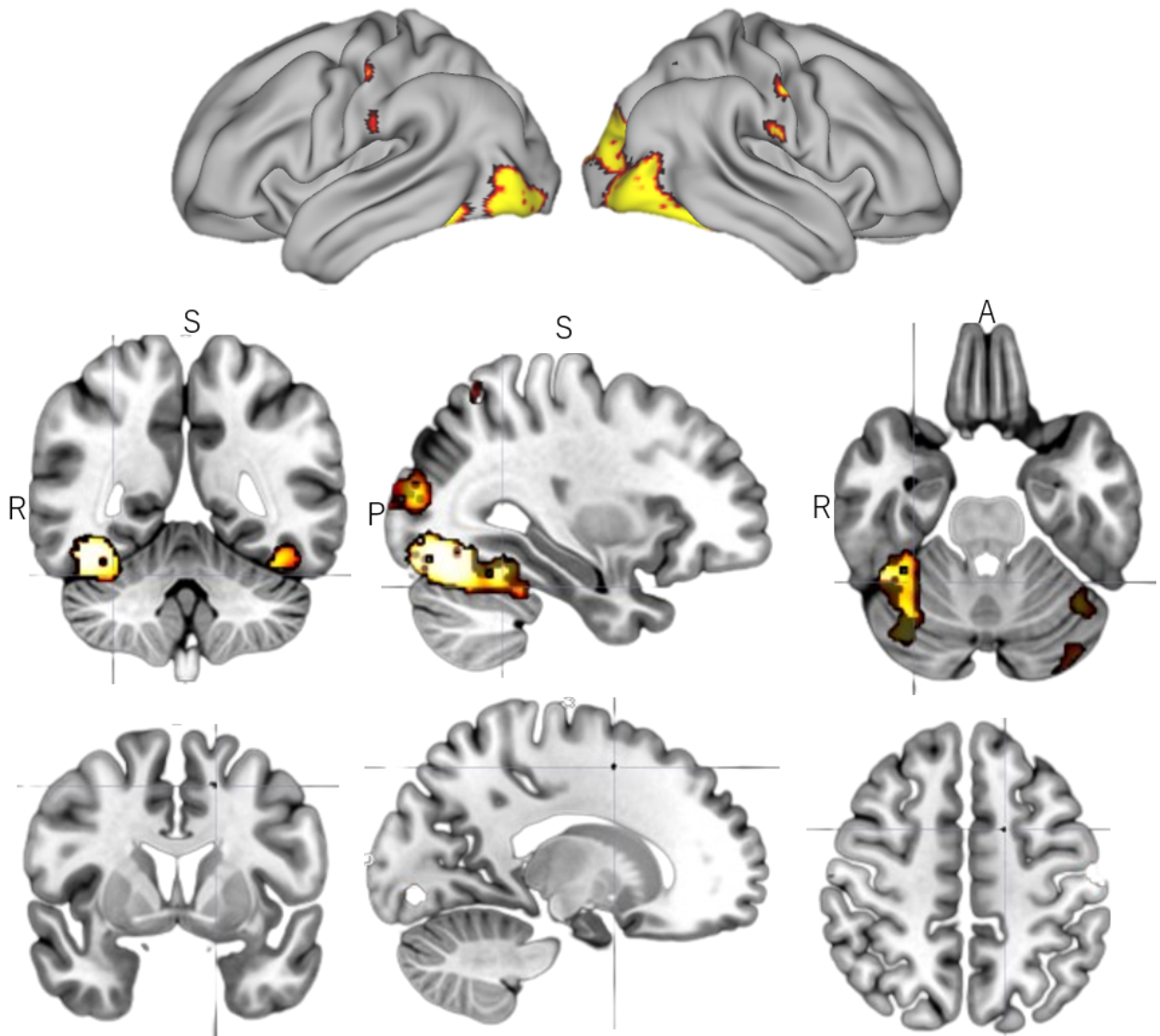


図 3.8 時間に関連した賦活パターンを示した脳領域

### 3.4 考察

時間 > 場所の単変量解析では前頭回，下頭頂小葉，被殻，小脳，尾状核，視床において確認された。被殻においては時間と場所の平均正答率に差があったことから難易度の差により回答の際に意思決定が働いた可能性があると考えられる。場所 > 時間の単変量解析では，海馬傍回，縁上回，海馬，後頭回において確認された。

時間に関連している脳領域を探索するための RSA の結果から，視覚野に加えて，小脳・上前頭回・中心後回・頭頂小葉・縁上回において時間に関連した賦活パターンが確認された。

### 3.4 考察

小脳，上前頭回，中心後回，頭頂小葉，縁上回においてエピソード記憶の時間的文脈をデコードできることが示唆された。視覚野において確認されたが，高次視覚野では道具やおもちゃというモノの認識，後頭極では視覚刺激の入力による影響であると考えられる。

## 第4章

### 考察・まとめ

本研究によって、エピソード記憶における時間的文脈を表象すると考えられる多くの脳領域が明らかにされた。

実験1は遠隔記憶と近時記憶の長い時間間隔において賦活パターンの異なる脳領域の探索を行った。一方、実験2は午前と午後の短い時間間隔において時間に関連している脳領域の探索を行った。実験1は参加者にキャラクターの画像を提示したときにキャラクターの名前を想起してもらい、キャラクターの名前を提示したときにキャラクターの画像を想起させており、これには時間以外の文脈が含まれている。一方、実験2は参加者に時間について回答してもらっているため実験1よりも純粋に時間的文脈を取り出せていると考えられる。

実験1と実験2の多変量パターン解析の結果(図2.11, 図3.8)では、多くの異なる脳領域が確認された。また、実験1からは実験2よりも多くの脳領域が確認された。この原因として、実験1が時間以外の情報を含んでいるためと考えられる。

実験1と実験2において縁上回と中心後回において共に有意差が確認された。このことから、縁上回や中心後回では時間間隔の長短に関わらず、時間的文脈を処理する上で必要であることが示唆された。また、体性感覚野である中心後回において確認されたことから、体性感覚と時間的文脈が関連している可能性も示唆された。

# 謝辞

様々なご指導を頂いた中原潔教授に心より感謝申し上げます。また、実験内容、解析のご指導いただいた王瑞敏助教に心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 脳科学辞典, “エピソード記憶”, <https://bsd.neuroinf.jp/wiki/エピソード記憶>
- [2] Esteban, Oscar, Ross Blair, Christopher J. Markiewicz, Shoshana L. Berlean t, CraigMoodie, Feilong Ma, Ayse Ilkay Isik, “fMRIPrep”, <https://doi.org/10.5281/zenodo.85265>, 2018
- [3] Esteban, Oscar, Christopher Markiewicz, Ross W Blair, Craig Moodie, Ayse Ilkay Isik, Asier Erramuzpe Aliaga, James Kent “fMRIPrep: A Robust Preprocessing Pipeline for Functional MRI”, <https://doi.org/10.1038/s41592-018-0235-4>, 2018
- [4] Kent, James D. and Peer Herholz, “NiBetaSeries ” ,<https://doi.org/10.5281/zenodo.1342291>,2018
- [5] Lohmann G., Stelzer J., Lacosse E. et al. “LISA improves statistical analysis for fMRI”, *Nat Commun* 9, 4014 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06304-z>
- [6] Pruim RHR, Mennes M, van Rooij D, Llera A, Buitelaar JK, Beckmann CF. “ICA-AROMA: A robust ICA-based strategy for removing motion artifacts from fMRI data”, *Neuroimage*,pp.267-277, 2015
- [7] Turner, Benjamin O., Jeanette A. Mumford, Russell A. Poldrack, and F. Gregory Ashby, “Spatiotemporal activity estimation for multivoxel pattern analysis with rapid event-related designs. ” *NeuroImage*, pp.1429-1438, 2012
- [8] Hunar Abdulrahman, Richard N. Henson, “Effect of trial-to-trial variability on optimal event-related fMRI design: Implications for Beta-series correlation and multi-voxel pattern analysis”, *NeuroImage*, pp.756-766, 2015
- [9] Haroon Popal, Yin Wang, Ingrid R. Olson, “A Guide to Representational Similarity Analysis for Social Neuroscience”, *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, pp.1243-1253, 2019

## 参考文献

- [10] Nicholas B. Turk-Browne, “The hippocampus as a visual area organized by space and time: A spatiotemporal similarity hypothesis”, *Vision Research*, pp.123-130, 2019