



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Processing Symmetry and Commonalities between Visual and Auditory Working Memory during Spatial Updating [an abstract of entire text]
Author(s)	前澤, 知輝
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。 https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(人間科学)
Dissertation Number	甲第15058号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85421
Type	doctoral thesis
File Information	Tomoki_Maezawa_summary.pdf



学位論文内容の要約

博士の専攻分野の名称：博士(人間科学) 氏名：前澤 知輝 (Tomoki Maezawa)

学位論文題名

Processing Symmetry and Commonalities between Visual and Auditory Working
Memory during Spatial Updating

(空間表象更新における視聴覚作業記憶の共通性と対称性)

This dissertation consists of the following chapters and sections:

Chapter 1. Introduction

- 1.1. Overview of Chapter 1
- 1.2. Visual and Auditory Inputs of Working Memory
- 1.3. Working Memory (The Multicomponent Theory)
- 1.4. Spatial Working Memory
- 1.5. Modality Dependence in Working Memory
- 1.6. Shared Perspective of Spatial Working-Memory Updating
- 1.7. The Outline of the Present Study

Chapter 2. Commonalities of Visual and Auditory Spatial Working Memory

- 2.1. Overview of Chapter 2
- 2.2. Experiment 1 (Correlation between Visual- and Auditory-Spatial Updating)
- 2.3. Experiments 2A and 2B (Modality-Switching Cost)
- 2.4. Experiment 3 (Modality-Switching Cost with Equalized Discriminability)
- 2.5. Summary of Findings

Chapter 3. Processing Symmetry of Visual and Auditory Spatial Working Memory

- 3.1. Overview of Chapter 3
- 3.2. Experiment 4A (Interference Paradigm)
- 3.3. Experiments 4B and 4C (Manipulating Visual and Auditory Discriminability)
- 3.4. Experiments 5A–5D (Comparison to Unimodal Condition)
- 3.5. Experiments 6A–6D (Processing Symmetry in an Encoding Stage)
- 3.6. Summary of Findings

Chapter 4. General Discussion

- 4.1. Modality Generality in Spatial Updating
- 4.2. Processing Symmetry in Spatial Updating
- 4.3. Conclusions

Abstract

Spatial representations of objects are mainly determined through the visual and auditory modalities. Visual and auditory inputs are primarily processed in retinotopic and tonotopic cortical areas, respectively; representations differ in terms of spatial resolution, reference frames, and spatial coordinates. Intriguingly, differences in spatial representations persist beyond perception. Studies have addressed spatial working memory from a multisensory perspective. A small amount of information is temporarily maintained in spatial working memory and manipulated while performing concurrent tasks. One current theory of spatial working memory is based on a model that proposes domain-specific, but modality-general, slave systems of the central executive system; these slave systems allow the rehearsal of a short sequence of movements by focusing and sustaining attention. The model posits that spatial working memory relies either on separate or shared auditory and visual resources. Although a few studies have implied common spatial-auditory components, the general understanding of auditory spatial information updating is incomplete. The present thesis examined functional similarities between visual and auditory spatial working memory (i.e., commonalities and symmetry) during the performance of updating tasks that require navigating through a maze. In Chapter 2, in four experiments, I examined whether visual and auditory targets were updated in a similar manner, such that switching input modality does not interfere with updating accuracy. From the perspective of commonality, I expected no modality-switching cost for updating accuracy with the presentation of mixed cues, compared with unimodal cues. Moreover, through 11 experiments in Chapter 3, I examined whether spatial updating was dominated by auditory or visual information. Considering the processing symmetry of visual and auditory spatial updating, absolute dominance of the visual modality was not expected. The results demonstrated comparable performance (i.e., no cost) between the mixed and single modality navigation task in Chapter 2; moreover, as discussed in Chapter 3, salient stimuli were prioritized regardless of target modality (visual or auditory). These findings imply that spatial inputs are manipulated in working memory through a “modality-general system.” I suggest that this system uses auditory

(or visual) inputs automatically and exclusively for accurate navigation, to compensate for the loss of visual (or auditory) information.

要約

物体の空間表象は主に視覚と聴覚モダリティから獲得される。視覚と聴覚の入力は、初期には網膜や蝸牛から始まり、内側膝状体や外側膝状体を經由する、感覚モダリティに特有の背側神経経路を介して処理される。この分離性は、刺激の空間解像度、空間座標系、感覚記憶における視聴覚情報の持続時間、短期記憶課題における再認成績の違いにも反映されていると考えられる。この分離性が空間作業記憶でも持続する/しない可能性について、多感覚的な観点から研究されている。

空間作業記憶は、一時的に少量の情報を心的に操作するための保持基盤であり、保持機能とそれを制御する実行機能の二つの構成要素が提案されている。特に、空間作業記憶においては、モダリティ特異性をもたない、注意資源に基づく制御システムが、空間的情報の再活性化をするモデルが考えられている。このモデルを仮定すると、視覚と聴覚の空間情報は、内的な注意資源を共有し、同じ容量を共有する非分離システム内で保持される。これまでの空間作業記憶研究では、二つの構成要素のうち保持機能に焦点を当て、記憶容量測定に基づく共通性の検討を行ってきた。具体的には、一方のモダリティ情報が他モダリティの記憶容量を圧迫するか、または複数のモダリティ情報を呈示した場合に記憶可能な表象の数が増加するか、という可能性について、記憶刺激の単一モダリティ条件と混合モダリティ条件の比較を行った。聴覚刺激を保持することが、視覚刺激を保持できる個数を制限した事から、容量の共通モデルが示唆されている。

一方で、単純な情報の保持と再認だけでなく、実行機能(更新等)が課題遂行に関与すると、モダリティ切り替えによるコストが観察できる事がある。このコストは、非空間刺激を用いた **n-back** 課題において、再認標的のモダリティが切り替わると、例えその切り替わりタイミングを作業記憶入力の分析に必要十分な時間(> 1,000 ms)だけ遅延させても生じる。そこで、本稿の第2章では、**n-back** 課題よりも動的な記憶表象の操作が含まれる迷路歩行課題において、この切り替えコストの発生を検討した。具体的には、切り替えコストが小さいか、ない場合、視覚と聴覚の作業記憶更新は同じ注意資源を共有しており、容量の共通モデルと整合した結果を得ることができる。

この注意資源の共有モデルは、二重課題のように、二次的な情報操作に伴う課題成績の低減を測定する干渉パラダイムからも支持する事ができる。しかし、視覚と聴覚更

新が同じ資源を共有し、干渉が生じた場合において、視覚情報の利用に対するバイアスが観察されうる。作業記憶更新における競合した刺激の優先的処理が、常に視覚情報に偏る場合、正しい位置や方向の情報を持つ聴覚入力は無視され、行動の正確度や精度の低下に繋がる。この可能性は、視覚と聴覚入力の弁別性を操作し優位性を逆転することで生じる、聴覚情報利用の逆バイアスを観察する事で排除できる。本稿の第3章では、課題非関連なモダリティを無視しながら更新を行う事態において、干渉と促進効果が視覚と聴覚モダリティで対称的に生じる事を検討した。

第2章では視覚と聴覚更新の機能的な類似性を検討した。より具体的には、標的の位置の更新課題における、視覚と聴覚の空間作業記憶の共通性を4つの実験から特定した。迷路歩行課題では、視覚と聴覚刺激のどちらかが参加者に逐次呈示され、参加者はこの方向手がかりに基づいて目標位置を更新し、最終的な移動地点を同定した。方向手がかりのモダリティが無作為に混在している場合、視覚または聴覚単一に基づく更新の場合と比較して、反応正答率が低下する事が予測される。正答率と時空間エラーパターンの分析の結果、実際にはモダリティ切り替えによる正答率に対するコストは生じず、類似した時空間のエラーパターンが特定できた事から、視覚と聴覚の更新は同じ注意資源を共有している事が支持され、容量の共通モデルと整合した。

さらに、第3章では、視覚と聴覚更新における優先付け処理の対称性を11の実験から特定した。実験における迷路歩行課題では、第2章とは異なり、視覚と聴覚の方向手がかりが同時呈示されていき、参加者はそのどちらかのモダリティを無視し、片方にだけ注意を向けるように教示された。事前の操作によって、視覚刺激(コヒーレント運動)の方向弁別に対する正答率が、視覚刺激の方向弁別成績と一致するか、上回るか、または下回るように調節された。その結果、注意すべき手がかりのモダリティが視覚と聴覚のどちらの場合においても、参加者は顕著な課題非関連手がかりを無視できず、無視手がかりに更新が誘導され、干渉と促進効果が生じた。この結果から、視覚と聴覚の更新は同じ注意資源を共有し、類似した優先付け処理を関係していることが示唆される。

したがって、本研究の空間作業記憶モデルは、更新課題において視覚と聴覚表象は同じシステム内にて保持され、同じ注意資源を基にした制御システムによって操作される、保持と実行機能の二つの要素から構成される。この知見は先行研究で示された空間

作業記憶の共通システムと一貫しており，視覚（あるいは聴覚）情報の損失が，保持と実行機能的側面で等価な聴覚または視覚情報によって補間される可能性を示す。実際に，視覚情報の損失時に聴覚情報を利用した物体検出や距離の推定が行えることが知られており，現実的場面では，双方のモダリティから獲得された情報が，その信頼性に基づく重み付けを介して，情報の統合が起きている事が考えられる。