

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：32414

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K04501

研究課題名(和文) 要約統計量表象の認知過程：視・聴・触覚における平均感覚量推定への拡張

研究課題名(英文) Statistical summary representation in human observers

研究代表者

時田 みどり (TOKITA, Midori)

目白大学・保健医療学部・教授

研究者番号：40571112

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：検討が進められている要約統計量表象について、その処理過程が感覚モダリティ間で共有されるか否か、実験とモデリング・シミュレーションによって検討した。特に、これまで検討されていない触覚における要約統計量推定について、視・聴覚と一貫した手続きを用いて検討した。結果から、触覚においても、聴・視覚刺激と同様の平均値抽出の処理過程が備わっていることが示唆された。抽出精度の相関分析の結果から、聴覚と触覚には共通の処理過程の存在が示唆されたが、視覚と聴覚及び触覚との間には、そのような過程の存在は認められなかった。また、バイアスの結果から、いずれのモダリティにおいても平均量推定刺激群の過大評価傾向が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

要約統計量抽出の認知過程について、視覚・聴覚に関して個別に検討されており、感覚モダリティ間の共通点・相違点が包括的に検討された例はない。本研究では、新たに触覚条件を加え、一貫した手続きと観察者内要因での行動実験を行なって、要約統計量表象モデルの検証を試みた。結果から、モダリティ固有の表象メカニズムの存在する可能性を示す一方、複数提示された事象の平均値を過大評価する傾向を示した。日常生活の中で、大量の情報の処理を要求される現代社会において、様々な事象の要約統計量推定は、重要な能力であるといえる。このメカニズムの解明は、人に特有の情報処理過程とその生態学的妥当性の理解に貢献するものと思われる。

研究成果の概要(英文)：Many studies have shown that people may have the ability to extract summary statistics over objects/events in a set. However, it has also been shown that different processes may be involved depending on the stimulus types. This study tested whether there might be a common mechanism for summary statistics between visual, auditory, and tactile modalities using stimuli characterized by prothetic continua. The visual stimuli consisted of a series of circles of different sizes; the auditory stimuli consisted of pure tones with different sound intensities; the tactile stimuli consisted of vibrotactile stimulation with different intensities. We tested precision and bias in extracting the average value of the sequence in each modality and performed correlation analysis among them. The results showed significant correlations between precisions in auditory and tactile conditions but negligible correlations between those in auditory and visual and tactile and visual conditions.

研究分野：認知心理学 実験心理学

キーワード：要約統計量 感覚モダリティ 平均量 分散 数量認知

1. 研究開始当初の背景

生体は、外界に存在する複数の事象を短時間のうちに分類し、カテゴリーを与え、カテゴリー内の事象についての平均量（又は平均的特性）を推測することが求められる。平均量の推定は、外界の状況を理解する上で、節約的で効率的な能力であると言えよう。この推測を可能とする認知機能として、要約統計量表象 (summary statistics representation, SSR, または, ensemble perception) の存在が指摘されている (Alvarez, 2010; Whitney & Yamanashi, 2018)。SSR は、複数提示された刺激の平均量又は平均的特性を、短時間のうちに推測する能力と定義され、様々な刺激属性を用いて検討が行われてきた。興味深いのは、個々の刺激量（刺激特性）が特定されなくとも、平均量がある程度の精度をもって推測される点である。これまで、ランダムドット刺激の平均運動方向・平均速度、円の平均面積、平均方位、顔の平均的表情、聴覚刺激における平均周波数等の事象が確認されている。さらに、同時提示された視覚刺激の平均値推定には、刺激属性間で共通の認知過程が存在することが推測されている。一方、平均値推定の精度は、必ずしも属性間で関連が見られないとする知見も示されており (Haberman, Brady, & Alvarez, 2015), その処理過程のより詳細な検討が必要となっている。また、これまでの研究では主に同時提示条件の視覚刺激が対象とされており、その統合的なシステムの解明には、他の感覚モダリティを対象とした検証が必要とされる。

2. 研究の目的

主な目的は、以下の二つである。一つ目に、触覚についての要約統計量表象の特性を明らかにする。二つ目に、視・聴・触覚の比尺度属性を刺激対象として平均感覚量推定の特性を比較検討し、感覚モダリティに依存しない統合的な要約統計量の処理過程の存在を検証する。触覚については、近年、触覚インターフェースの開発等で注目される分野でありながら、SSR 研究での検討は行われておらず、本研究で新規の試みとなる。

3. 研究の方法

研究1では、被験者間計画で、視・聴・触覚の三感覚モダリティごとの平均感覚量推定の精度とバイアス傾向を測定した。研究2では、各モダリティ間の成績の関連性を検討し、平均量推定の共通メカニズムの存在を検証した。

(1) 各モダリティの刺激属性

触覚条件では、触覚刺激提示装置 vibro-tactor (TactileLabs, Haptuator BMIC) から出力される一連の振動刺激を、参加者の左手人差し指先に提示した。周波数は 250Hz とし、振動音が聞こえないようにヘッドフォンでホワイトノイズを提示した。聴覚条件では、異なる音圧の 1000Hz の純音をヘッドフォン (audio-technica ATH-ANC9) で提示した。視覚条件では、大きさの異なる円刺激をモニター上 (LCD monitor EIZO FlexScan EV2480) に提示した。弁別閾値の測定結果を踏まえて、触覚・聴覚刺激の強度を設定した。

(2) 測定値と測定方法

視・聴・触覚で一貫した心理物理的手法を用いて、丁度可知差異 (JND) と主観的等価点 (PSE) を測定し、それぞれ精度とバイアス傾向の指標とした。

(3) 実験の手続き

図 1 a に閾値測定課題の、図 1 b に平均量推定課題の刺激提示手続きを示す。実験参加者は、複数個の刺激で構成された刺激群の平均的な感覚量をイメージし、後続の比較刺激と比較して、どちらが大きいかを判断した。反応は、右手でのキー押しによって行った。

(4) 研究1. 各感覚モダリティにおける平均量推定精度とバイアスの検討

モダリティ条件ごとに 14 名の学部生が参加した。刺激群には 4, 6, 8 の三つのセットサイズを設け、セットサイズ数が平均量抽出の精度とバイアスに及ぼす効果を検討した。

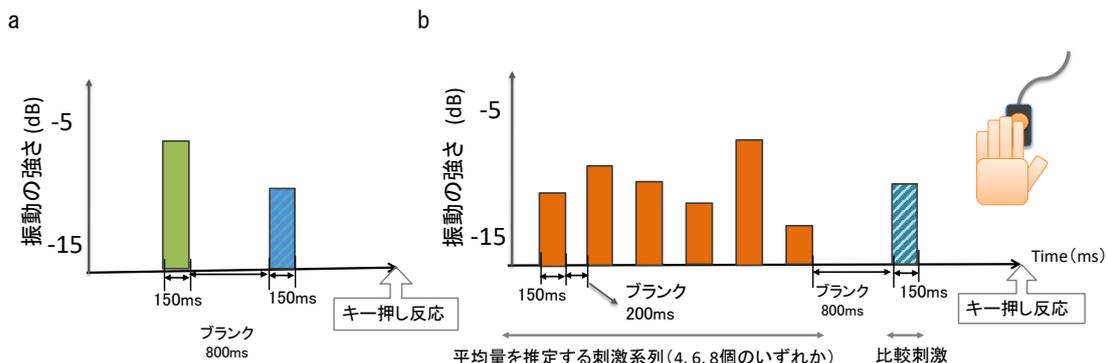


図 1. 触覚条件における実験手続きの概要図。a は、Quest による閾値測定課題の手続きを、b は、平均値推定課題の手続きを示す。いずれの図も y 軸に刺激強度を、横軸に時間を示す。

(5) 研究2. 視・聴・触覚で共通のSSR処理過程の検証

研究1の結果を踏まえて平均量推定刺激群の要素数を5, 6, 7個のいずれかとし, これらをランダムに提示した. 被験者内計画として視・聴・触覚における平均感覚量推定課題を行なった. 学部生24名が参加し, モダリティ条件をランダム順として実験を実施した. 実験手続きは, 要素数を除き, 図1bと同様とした. 各モダリティにおける平均量推定の精度とバイアス傾向について相関分析を行い, 共通の処理過程について検討した.

4. 研究成果

(1) 研究1. 各感覚モダリティにおける平均量推定精度とバイアスの検討

① 触覚刺激における平均感覚量抽出の特性

図2aに, 触覚条件での精度(JND)の結果を, 図2dにバイアス傾向(PSE)の結果を示す. 精度において, 三つのセットサイズ間に有意差はなく, また, その値は単体の刺激の弁別閾よりも小さいことが示された. このことから, 触覚刺激においても平均感覚量の抽出が可能であることが示唆された. バイアス傾向について, いずれのセットサイズ条件でも, 平均量抽出の対象となる刺激群の平均値は, 標準刺激と比較して過大評価される傾向がみられた.

② 聴覚刺激における要約統計量の抽出

図2bに, 聴覚条件での精度の結果を, 図2eにバイアス傾向の結果を示す. 精度について, 三つのセットサイズ間で有意差はなく, また, その値は単体の刺激の弁別閾よりも小さいことが示された. 先行研究と同様に, 聴覚刺激においても平均感覚量の抽出が可能であることが示唆された. バイアス傾向について, いずれのセットサイズ条件でも, 平均量抽出の対象となる刺激群の平均値は, 標準刺激と比較して過大評価される傾向がみられた.

③ 視覚刺激における要約統計量の抽出

図2cに, 視覚条件での精度の結果を, 図2fにバイアス傾向の結果を示す. 触覚, 聴覚条件と同様に, 精度について三つのセットサイズ間で有意差はなく, また, その値は単体の刺激の弁別閾よりも小さいことが示された. 視覚刺激においても平均感覚量の抽出が可能であることが示唆された. バイアス傾向について, いずれのセットサイズ条件でも, 平均量抽出の対象となる刺激群の平均値は, 標準刺激と比較して過大評価される傾向が示された. これは, 同時提示における先行研究の結果を支持するものであった.

④ 視・聴・触覚の比較から示唆されること

研究1の結果から, 触覚においても視覚・聴覚と同様に平均感覚量の抽出が可能であることが明示された. このことから, 視聴触覚いずれの感覚モダリティにおいても, 刺激群の要素数によらず感覚量の抽出が可能であることが示唆された. また, 判断時のバイアスの方向性について, 視覚・聴覚と同様の傾向が認められた. 異なる感覚モダリティ間で同様のバイアス傾向が認められた要因として, 1) 強度の強い刺激を選択的にサンプリングしている, 2) 判断の段階で複数の刺激が提示されている平均量抽出刺激群を選択するという反応バイアスが生じる, の2つが考えられる.

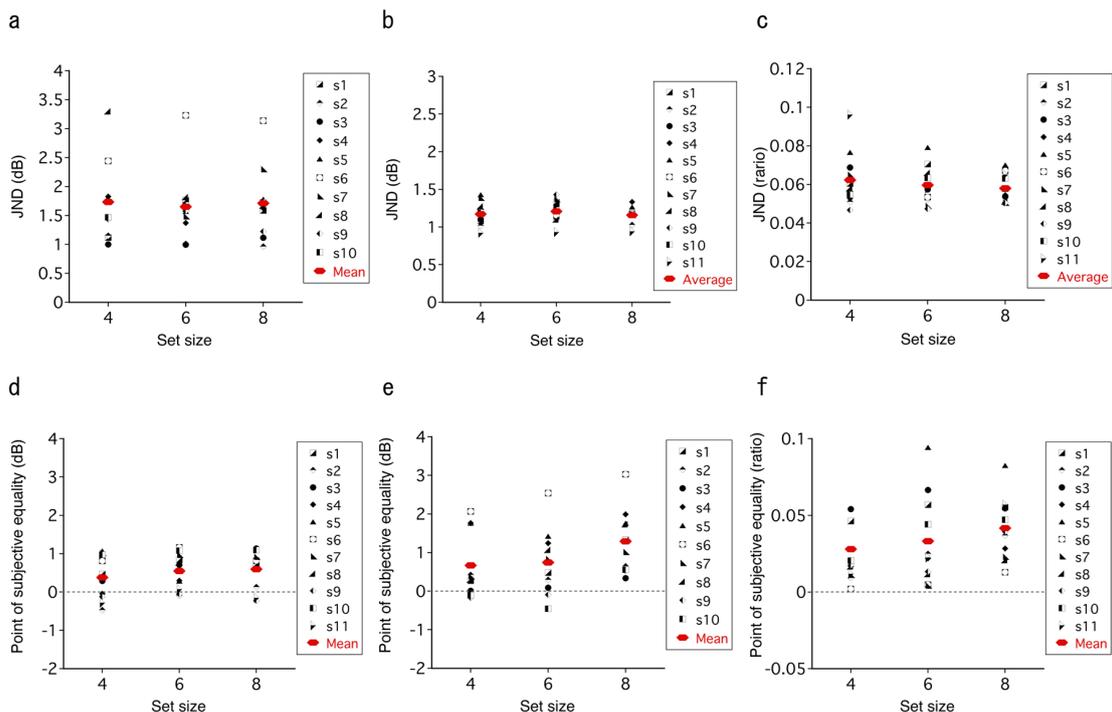


図2. 感覚モダリティごとの平均値抽出精度におけるセットサイズの効果. aは触覚, bは聴覚, cは視覚条件の抽出精度を, d, e, fは各条件の主観的等価点(PSE)を示す.

(2) 研究2. 視覚・聴覚・触覚で共通のSSRメカニズムの検証

研究2の結果を、図3に示す。結果から、主に以下の点が示唆された。

① 平均値抽出における精度(JND)の関連性

図3a, bに示すとおり、視覚と聴覚条件、視覚と触覚条件の精度に有意な相関関係は認められなかった。一方、図2cに示すとおり、聴覚と触覚条件の精度に中程度 ($r=0.45, p<.01$) の相関関係が示された。これらの結果から、視覚と聴覚、視覚と触覚とは、平均値抽出の処理過程に共有される過程は認められないが、聴覚と触覚には共通の処理過程が存在する可能性が示された。

② 平均値抽出のけるバイアス傾向(PSE)の関連性

図3dに示すとおり、視覚と聴覚条件のバイアス傾向に若干の相関関係が認められ、視覚条件でバイアスの大きい参加者は、聴覚条件においても同様の傾向が示された。一方、図3e, fに示すとおり、触覚と視覚、聴覚と触覚条件でのバイアス傾向には有意な相関は認められなかった。ただし、研究1の結果と同様に、いずれのモダリティ条件においても平均量抽出刺激群の過大評価が認められた。

③ モダリティごとの精度(JND)とバイアス傾向(PSE)の関連性

モダリティごとの精度とバイアスの大きさとの関係性を検討するために相関分析を行ったところ、視覚条件では有意な傾向が認められ、精度の低い参加者ほどバイアスが強くなる傾向が示された。聴覚と触覚においては、精度とバイアス傾向に有意な相関関係は示されず、関連性は認められなかった。

④ 研究2の考察と結果の評価

各モダリティについて研究1の結果と比較したところ、被験者計画の相違によらず精度並びにバイアス傾向について一貫性のある測定値が得られた。このことから、実験手続きの信頼性が担保されたものと考えられる。

被験者内計画によって得られた各モダリティの精度の相関関係を検討することによって、共通する処理過程の存在を検証した。抽出の精度の結果から、視覚と、聴覚、触覚では関連性が認められないことから、両者で共通の処理過程が存在している可能性は低いことが示唆された。一方、聴覚と触覚条件では明確な関連性が認められたことから、処理のいずれかの段階に共通する過程が存在する可能性が示唆された。

バイアス傾向についての結果からも、モダリティ間に顕著な関連性は認められなかった。ただし、いずれのモダリティ条件においても、平均量抽出刺激群の過大評価傾向が認められたことから、平均量を推定する際の要素のサンプリングまたは判断のいずれかの段階において、類似した処理過程が関与する可能性が示唆された。これは、研究1や先行研究で認められた傾向であることから、比尺度特性を対象とした要約統計量表象における頑健な特性の1つと考えることができる。

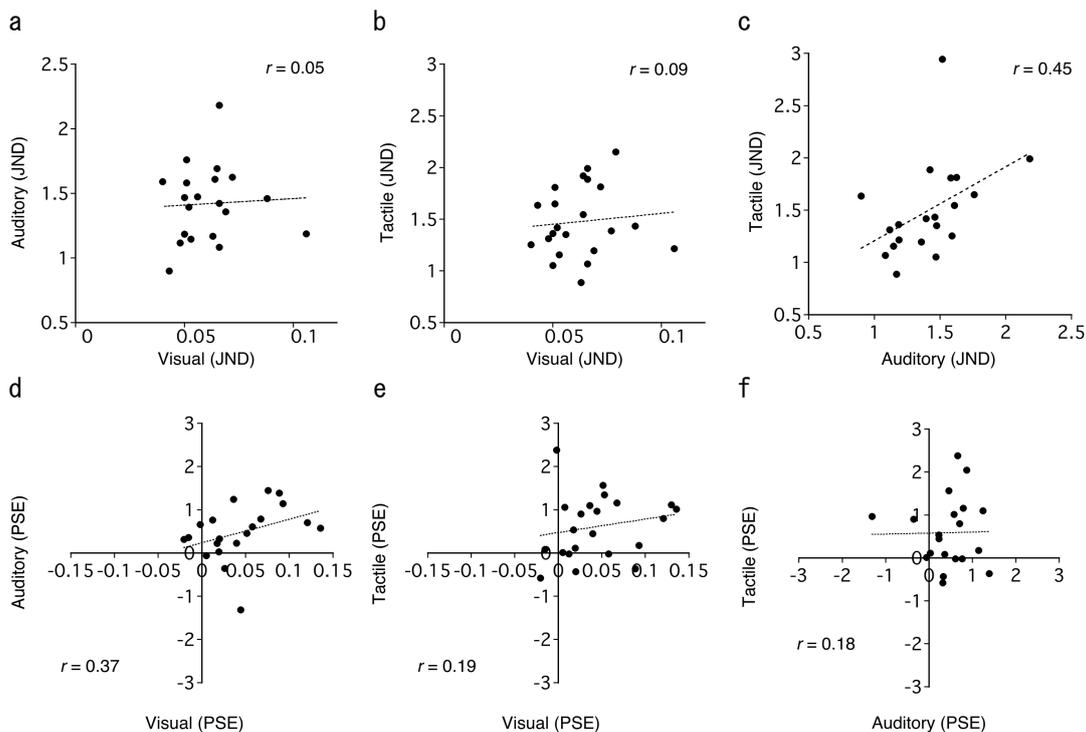


図3. 感覚モダリティ間の平均値抽出精度の相関関係を示す。aは視覚と聴覚、bは視覚と触覚、cは聴覚と触覚の推定精度(JND)の相関関係を示す。d, e, fは同モダリティ間の主観的等価点(PSE)の相関関係を示す。

(3) 感覚モダリティ間で共有される要約統計量の処理過程は存在するか

本研究の一つ目の目的は、触覚についての要約統計量表象の特性を明らかにすることであった。研究1の結果から、触覚においても、聴覚、触覚と同様の特性が示され、要約統計量の抽出が可能であることが示された。二つ目の目的は、要約統計量表象は異なる感覚モダリティ間で共有されるか、モダリティごとに固有の処理過程が存在するかを検証することであった。研究2の結果から、聴覚と触覚間のみ共通の過程の存在が示唆されたが、視・聴・触覚で共通の「モダリティを横断する過程」の存在は認められなかった。

図4に、結果から推測される処理過程の概念図を示す。聴覚と触覚のみで関連性が認められた要因として、提示された刺激の物理特性が類似していることが挙げられる。純音の強度と振動刺激の強度では、感覚体験としては異なる次元であるが、物理特性としては共通する面を有する。そのため、参加者は、250Hzの振動刺激を提示された際、同時に聴覚表象を形成して課題に取り組んだ可能性が考えられる。この点について、触覚条件での学習の効果が聴覚条件での課題成績に転移するか否かを検討することによって確認する必要がある。

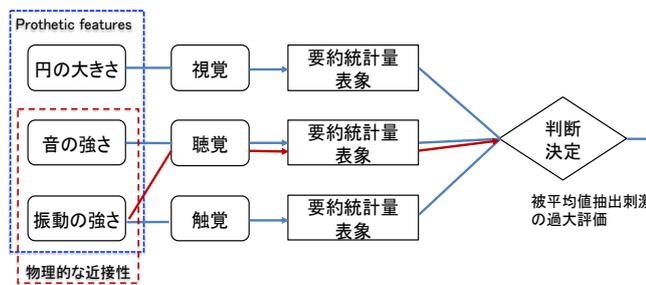


図4. 感覚モダリティに固有の要約統計量表象モデル。赤い点線部分は、聴覚・触覚条件の精度に相関関係が示されたことを説明する要因。

(4) 今後の課題

本研究の結果から、全ての感覚モダリティにおいて要約統計量抽出の精度に顕著な個人差のあることが示された。今後、個人差の要因となる知覚的・認知的な要因を特定し、要約統計量表象の情報処理過程を精査することが重要となる。認知的な要因として、注意機能や記憶の特性が挙げられる。バイアス傾向については、比尺度特性についてのみ生じるのか、他の属性にどのような傾向が生じるかを検討する必要がある。また、操作的な実験刺激での特性が、日常的な事象の要約統計量抽出にどのように反映されているのか、高次の刺激を含むさまざまな刺激属性を用いて検討する必要がある。

【引用文献】

Albrecht, A. R., & Scholl, B. J. (2010). Perceptually averaging in a continuous visual world: extracting statistical summary representations over time. *Psychol Sci*, 21(4), 560-567.

Haberman, J., Brady, T. F., & Alvarez, G. A. (2015). Individual differences in ensemble perception reveal multiple, independent levels of ensemble representation. *J Exp Psychol Gen*, 144(2), 432-446.

Whitney, D., & Yamanashi Leib, A. (2018). Ensemble Perception. *Annu Rev Psychol*, 69, 105-129.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Tokita Midori, Hirota Sumire	4. 巻 15
2. 論文標題 Numerosity Comparison, Estimation and Proportion Estimation Abilities May Predict Numeracy and Cognitive Reflection in Adults	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnhum.2021.762344	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Midoi Tokita, Yi Yang, Akira Ishiguchi	4. 巻 42
2. 論文標題 Can we match the variance across different visual feature?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 42th Annual Conference of the Cognitive Science Society.	6. 最初と最後の頁 3458-3463
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yang, Y., Tokita, M., shiguchi, A.	4. 巻 9(1)
2. 論文標題 Is There a Common Summary Statistical Process for Representing the Mean and Variance? A Study Using Illustrations of Familiar Items	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 i-Perception	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/2041669517747297.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tokita, M., Ishiguchi, A.	4. 巻 14
2. 論文標題 Do we have "sensibility to variation"? Matching variance across different perceptual domains using method of adjustment,	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Annual Report of Cognitive and Kansei Science,	6. 最初と最後の頁 1-7.
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Midori Tokita, Sumire Hirota
2. 発表標題 The Relationships between Numeracy, Numerosity Discrimination, Estimation, and Proportion Estimation
3. 学会等名 2021 APS Virtual Convention (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Midori tokita, Yang Yi, Akira Ishiguchi
2. 発表標題 Can we match the variance across different visual feature?
3. 学会等名 the 42th Annual Conference of the Cognitive Science Society (Virtual Meeting) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tokita, M., Yang, Yi., & Ishiguchi, A.
2. 発表標題 Is the representation of size variance scale invariant?
3. 学会等名 European Conference on Visual Perception, Ku Leuven (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楊 毅 時田 みどり 石口 彰
2. 発表標題 分散認知における学習転移の検討 方位と運動方向に注目してー
3. 学会等名 日本基礎心理学会, 茨木
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tokita, M., Yang, Yi., & Ishiguchi, A.
2. 発表標題 Variance discrimination of sequential visual stimuli: Transfer of practice effect on variance discrimination across features
3. 学会等名 59th Annual Meeting of the Psychonomic Society, New Orleans, LA. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 楊毅・時田みどり・石口彰
2. 発表標題 パラツキ認知における刺激提示方法の効果
3. 学会等名 日本基礎心理学会37回大会、専修大学生田キャンパス、東京
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tokita, M., Yang, Yi., Ishiguchi, A.
2. 発表標題 Variance Discrimination of Empty time Interval: Comparison among auditory, visual and audio-visual condition
3. 学会等名 58th Annual Meeting of the Psychonomic Society, Vancouver (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yang, Yi., Tokita, M., Ishiguchi, A.
2. 発表標題 different summary statistics share a common mechanism? Examining transfer of discrimination practice of mean to variance
3. 学会等名 58th Annual Meeting of the Psychonomic Society, Vancouver (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 時田みどり・楊毅・石口彰
2. 発表標題 パラツキ認知は平均値推定過程を含むかー平均値推定ノイズを投入した限定理想的観察者モデルの導入ー
3. 学会等名 日本心理学会81回大会、久留米大学
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 時田みどり・金野達也・佐藤彰紘・矢崎潔・森田良文
2. 発表標題 把握動作の調整・維持・産出における心理物理的特性の検討
3. 学会等名 日本基礎心理学会36回大会、立命館大学大阪いばらきキャンパス
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 楊毅・時田みどり・石口彰
2. 発表標題 パラツキ認知に共通メカニズムは存在するか - 学習効果による検討 -
3. 学会等名 日本基礎心理学会36回大会、立命館大学大阪いばらきキャンパス
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------