

令和 2 年 5 月 21 日現在

機関番号：17401

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2016～2019

課題番号：15KK0092

研究課題名（和文）異種感覚情報統合の学習メカニズムとその神経基盤の解明（国際共同研究強化）

研究課題名（英文）Investigation on learning mechanisms for multisensory integration and their neural mechanisms(Fostering Joint International Research)

研究代表者

寺本 渉 (Teramoto, Wataru)

熊本大学・大学院人文社会科学部（文）・教授

研究者番号：30509089

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,800,000円

渡航期間： 7ヶ月

研究成果の概要（和文）：我々は複数の感覚情報を適切に統合しながら外界を認識している。しかし、こうした異種感覚間統合を実現するためには、脳は各感覚器が受け取る刻一刻と変化する複数の信号の中から、同一事象を発生源とするものを見つけ出すことが必要になる。信号の時空間一貫性に加えて、あらかじめ結びつける信号を決めておくこと（異種感覚間対応学習）が手がかりとなっていると考えられる。本研究では、心理物理学的手法と生理心理学的手法を使って、異種感覚対応学習によって新たに獲得された視聴覚間の対応づけルールの適用に脳のどの領域がどのように関わっているのかという点と、獲得したルールの無自覚的な感覚経験による更新過程を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

感覚入力どうしの統合の仕方やルールの獲得過程に焦点を当てた研究は多数あるが、感覚間の対応づけルールの獲得過程やその神経基盤、獲得したルールの更新過程は未だ十分に解明されていない。本研究では、自らの先行研究によって得た対応づけルールの獲得過程に関する知見を基盤にして、その神経基盤と更新過程を示したものであり、異種感覚間統合の一般原理の解明をいっそう推し進めたものである。また、応用的には、異種感覚情報を利用した高臨場感マルチメディア技術や感覚代行技術の開発を大幅に加速できるものである。

研究成果の概要（英文）：The brain has to know which sensory signals originate from the same external event in order to appropriately integrate information from different sensory modalities and obtain the stable representations of the surrounding environment. While spatiotemporal consistency is one cue to do this task, a prior knowledge acquired from everyday sensory experience (i.e. the mapping between different sensory signals) could be another important cue. Using techniques from psychophysics and neuroscience, this study demonstrated which and how brain areas were involved in this type of mapping between the auditory and visual signals. Furthermore, this study also psychophysically showed how the acquired audiovisual mapping was maintained or updated through unrecognizable sensory experiences.

研究分野：知覚心理学

キーワード：実験心理学 異種感覚統合 異種感覚間対応学習

## 様式 F-19-2

### 1. 研究開始当初の背景

ヒトは、外界を認識する際、視覚情報（顔、車の形）だけでなく、聴覚情報（声、エンジン音）など、複数の感覚情報を無自覚に利用している。こうした異種感覚間統合を実現するためには、各感覚器が受け取る刻一刻と変化する複数の信号の中から、脳は同一事象を発生源とするものを見つけ出すことが必要になる。その際に、時空間的な一致性という基本の手がかりに加え、効率的方略として考えられるのが、過去の経験に基づきあらかじめ結びつける信号を決めておくこと（異種感覚間対応学習）である。従来、時空間一致性による異種感覚間統合に関する知見は数多くあるものの、異種感覚間対応学習に着目した研究はほとんどない。異種感覚相互作用を説明する数理モデルとして、ベイズ統合モデルが適していることは様々な研究によって示されている（例えば、Ernst & Banks, 2002; Ernst, 2007）。これは、複数の感覚入力があった場合、各刺激の信頼度に基づき重みづけを行い（最尤推定）、さらにそれらの多感覚刺激の相関関係に関する先行知識（事前確率）を掛け合わせることで感覚間統合のあり方を決定するというものである。異種感覚間対応学習とはまさに先行知識を獲得する過程にほかならない。異種感覚統合に関する一般原理にさらに迫るためには、異種感覚間対応学習によって獲得された対応づけルールが、感覚入力に対していつどの脳領域でどのように作用しているのか、また、その後の感覚経験によりどのように維持・更新されていくかを明らかにする必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究では、異種感覚間対応学習によって獲得された対応づけルールが、感覚入力に対していつどの脳領域でどのように作用しているのか【課題1、基盤研究B本課題とも一部重複】、また、その後の感覚経験によりどのように維持・更新されていくか【課題2】を明らかにする。

### 3. 研究の方法

【課題1-①】異種感覚間対応学習を端的に表す現象である視覚随伴性聴覚運動知覚現象（sound contingent visual motion: SCVM, Teramoto et al., 2010）に関わる脳領域をfMRI実験によって調べた。SCVMとは、高い音と低い音に合わせて左右に動く視覚刺激を数分間観察すると、事前に聴いた音色の変化と動きのパターンの組み合わせを再現する形で、静止した視覚刺激があたかも動いて見えるようになる現象である（図1）。学習フェーズ（図1右）では2つの視覚刺激を交互に呈示して動きの知覚を生じさせる。これに同期して異なる周波数の2つの音を呈示する。実験参加者は固視点を凝視し、数分間刺激を観察する。テストフェーズ（図1左）では同じ位置で点滅する視覚刺激を提示し、音によって引き起こされる錯覚的な動き量を運動相殺法等により測定する。学習前後での錯覚的動き量の違いこそが、視聴覚間の運動知覚に関する異種感覚対応学習によるものと考えられる。これは視覚的運動と音の高さを扱ったものであるが、多様な刺激の組み合わせが可能である。

【課題1-②】fMRIでは関連する脳領域を見つけ出すことは可能であるが、時間的変化を調べるのは難しい。そこで、32ch脳波計を用いて学習に関連する誘発電位成分を特定し、その成分の時系列変化を観察した（Teraoka et al., 2017）。

【課題2】知覚者本人の自覚（意識的経験）の有無に関わらず、対応付けルールが維持・更新されることを示すため、異種感覚統合を表す典型例かつ異種感覚対応学習の結果であるMcGurk効果（/ba/という音声を[ga]という発話映像とともに提示すると“da”という音声として知覚される；McG）及びその残効であるMcGurk残効（音声/ba/+映像[ga]を視聴し続けると、[ga]映像がない状態で音声/ba/を聴いても、しばらくは“da”と知覚される）を利用した。異種感覚統合においては、影響を与える側（McGurk効果においては映像）が意識的に経験される必要があると考えられてきた（Mudrik et al., 2014）。本研究は、こうした知見に対して、影響を与える側が意識的に経験されなくても対応付けルールが更新されることを示すものである。

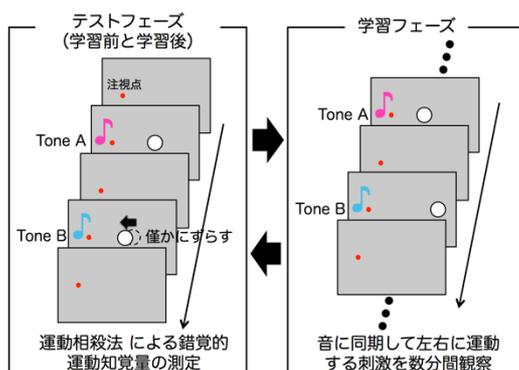


図1. 基本となる実験パラダイム

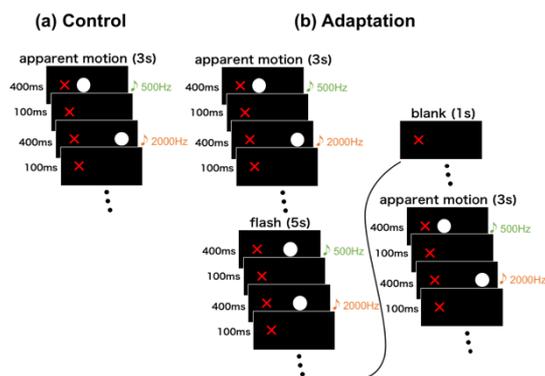


図2. fMRI実験の実験条件

#### 4. 研究成果

【課題 1-① fMRI 実験】 fMRI-adaptation 法を利用して検討を行った (Teramoto, Higuchi, Hidaka, & Sugita, 2016; in prep.)。この方法で重要なのは、学習前後のテストフェーズで提示する刺激系列 (adaptation 条件; 図 2b) である。この条件では、高い音と低い音に合わせて左右に動く視覚刺激を 3 秒間提示した後 (AM1)、高い音と低い音に合わせてその場で点滅する視覚刺激を 5 秒間提示し (FL)、1 秒間ブランクを設けた後、AM1 と同じ刺激をさらに 3 秒間提示した (AM2)。学習フェーズにおいて視覚運動と音高変化の異種感覚間対応学習が成立していれば、学習後の FL では SCVM が生起するはずである。同じ脳領域が繰り返し刺激されるとその領域における BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent) 信号は低下するので、AM1 と SCVM で共通して活動する領域 (視覚運動領域や多感覚領域) では、AM2 提示時には活動低下が見られると予測した。一方、学習前は AM1 と AM2 の間にある FL は他とは質的に異なるので (AM1 で活動する領域は刺激がない状態)、AM1 や FL は AM2 での脳活動にはほとんど影響を与えないと考えられる。この他、コントロール条件として AM1 のみを提示する条件も混ぜて提示した (図 2a)。図 3 には学習前及び学習後において、Control 条件と Adaptation 条件それぞれで活動した脳領域を示す。adaptation 条件に関しては、AM1, FL, AM2 全てまとめて分析したものである。学習前後に関わらず、従来、視覚運動処理や聴覚処理、多感覚情報処理に関わると報告されてきた領域である、V5/MT を含む左中側頭回領域、TE3 野及び下頭頂小葉を含む両側の上側頭回領域、V1, V3A, V3v 及び V3d を含む左楔部が活動していた。ただし、学習後の方が有意な活動を示すボクセル数が減少していた。活動領域に関して解剖学的 ROI 解析を行った (図 4)。その結果、視覚運動処理に関わる左 V5/MT 領域および多感覚処理に関わる両側下頭頂小葉領域でのみ、学習後に BOLD 信号の低下が見られることがわかった (図 4c)。

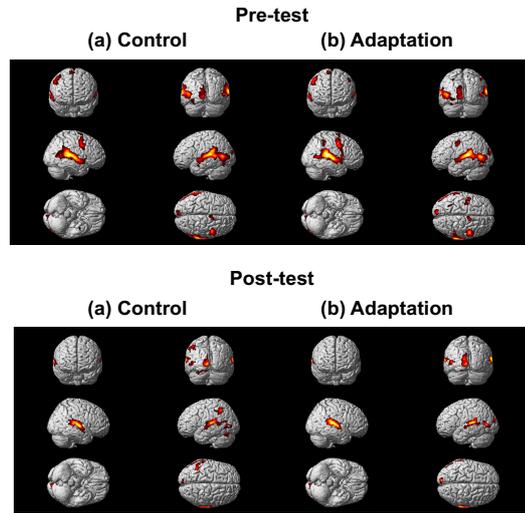


図 3. 学習前後での脳活動の変化

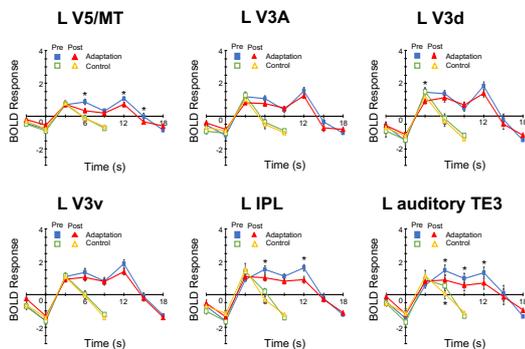


図 4. 解剖学的 ROI 解析の結果 (\*が条件差のあった時間ポイント)

【課題 1-① 誘発電位計測実験】 図 1 右に示した視聴覚刺激を 9 分間観察する学習フェーズの前後で、図 1 右にある刺激を 1 ペアだけ (視覚: 右 (S1) → 左 (S2); 聴覚: 高音 → 低音) 100 試行提示し、それに伴う誘発電位を国際 10-20 法に基づく電極位置のうち 31 の部位 (Fp1, Fp2, Fz, F3, F4, F7, F8, FCz, FC1, FC2, FC5, FC6, Cz, C3, C4, CP1, CP2, CP5, CP6, TP9, TP10, Pz, P3, P4, P7, P8, Oz, O1, O2, P09, P010) から記録した。リファレンス電極は FCz であった。100 試行のうち瞬きや眼球運動等によるアーチファクトのない試行に関して加算平均を行った。有効試行が全試行の 75%以上であった 22 名について解析を行った。学習前後で全く同じ刺激を提示しているため、脳処理に違いがなければ全く同じ波形が観察されるはずであった。図 5 にはその結果を示す。行動データでは有意な SCVM が観察された。誘発電位では後頭葉から頭頂葉にかけての広範な電極で変化があり、S1 に伴う P100, N200 および P300, S2 に伴う N75 と P100 および P300 に有意な振幅の変化が観察された。S1, S2 提示に関わらず比較的早期の成分に違いが認められたことから、視覚情報処理の比較的早い段階で、視聴覚間の異種感覚対応学習に関連した処理が行われていると考え

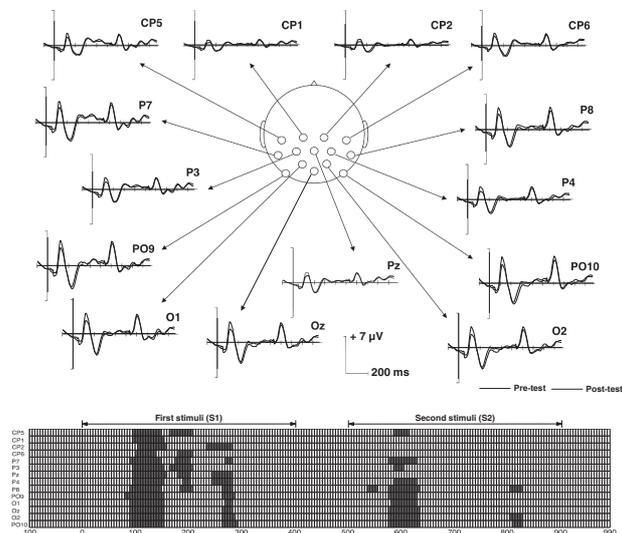


図 5. SCVM 時の誘発電位記録 (下図黒部分が条件差があった時間ポイント)

られる。特に S1 提示時にすでに差異が見られている点が興味深い。視覚的仮現運動知覚は S2 が提示されてはじめて成立する。したがって、S1 に伴う振幅変化は運動知覚と直接関連したものではない。本実験のテストフェーズでは学習が成立していれば、常に右または左の運動が見えるように設定していたため、S1 が提示された時点で運動知覚準備のための処理が働いている可能性がある。

【課題 2 視聴覚間の対応付けルールの意識にのぼらない刺激による更新】まず、図 6 にあるように 8 人のモデルについての McGurk 刺激(音声/ba/+映像[ga])を提示することによって McGurk 残効を誘導した。その後、利き目には連続フラッシュ抑制(Continuous flash suppression: CFS; Tsuchiya & Koch, 2005)を促す視覚パタン(顔刺激の断片がランダムに配置され、その位置が 10Hz で切り替わる)をマスク刺激として提示し、非利き目には[ba]と発話している映像(一致条件)、[ga]と発話している映像(不一致条件)または映像なし(ベースライン)のいずれかを提示した。実験 1 において実験参加者は、聞こえた音声か“ba”か“da”か“ga”かを判断し、その上で映像が見えていたかどうかにも回答を行った。その判断・回答を 8 モデル(試行)分繰り返した後、再度 McGurk 刺激を用いて McGurk 残効を誘導し、判断・回答を行わせるという手続きを繰り返した。その結果、一致条件では他の条件に比べて McGurk 残効が起きにくいことが示された(図 7A)。次に、各条件における McGurk 残効の減衰過程を詳細に調べるため、McGurk 残効を誘導後、40 試行続けて音声弁別と映像の見えに対する回答を行わせた。その結果、一致条件では McGurk 残効がすぐに減衰するのに対して、他の 2 条件では比較的長く効果が残っていることがわかった(図 7B)。これらのデータは意識にのぼらない視覚情報であっても音声知覚に影響を与えることを示している。さらに次の実験では、音声と映像とのオンセットの間に最大 800 ms のずれを加えた。その結果、不一致条件であっても 200 ms のオンセットずれがあると、McGurk 残効が減少することがわかった(図 7C)。また、McGurk 効果自体は音声と映像が 400 ms 程度ずれても効果があることから、意識にのぼらないプロセスでの視覚情報と聴覚情報の統合であるからこそ、狭い統合の時間窓という低次の情報処理が示す特性を持っている可能性が示唆された。

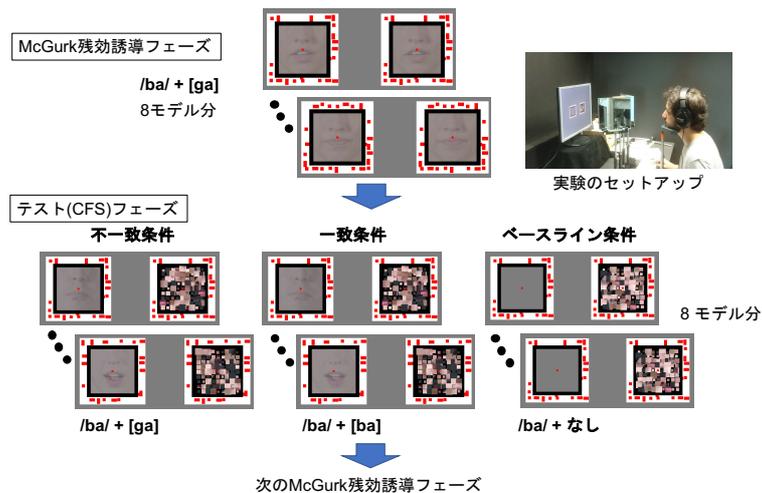


図 6. 非意識視覚情報が音声知覚へ及ぼす影響の実験手続き

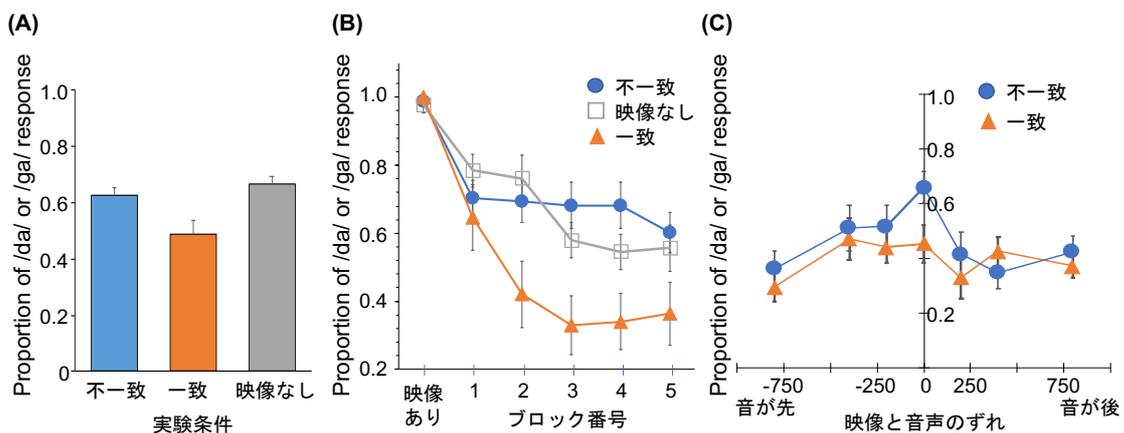


図 7. 非意識視覚情報が音声知覚へ及ぼす影響の実験結果

<引用文献>

- Bertelson, P., Vroomen, J., & de Gelder, B. (2003). Visual recalibration of auditory speech identification: A McGurk aftereffect. *Psychological Science*, 14, 592-597.
- Ernst, M. O. (2007). Learning to integrate arbitrary signals from vision and touch. *Journal of Vision*, 7, 7.
- Ernst, M. O., & Banks, M. S. (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature*, 415, 429-433.
- McGurk, H. & McDonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264, 746-748.
- Mudrik, L., Faivre, N., & Koch, C. (2014). Information integration without awareness. *Trends in Cognitive Sciences*, 18, 488-496.
- Teramoto, W., Hidaka, S., Sugita, Y. (2010). Sounds move a static visual object. *PLoS ONE*, 5, e12255.
- Teramoto, W., Higuchi, S., Hidaka, S., and Sugita, Y. (2016). Sound-contingent visual motion perception: Evidence from functional neuroimaging. *Neuroscience2016*, San Diego Convention Center, San Diego, USA (November 12-16).
- Teraoka, R., Watanabe, O., & Teramoto, W. (2017). An ERP study on sound-contingent visual motion perception. *Interdisciplinary Information Science*, 23(2), 175-178.
- Tsuchiya, N., & Koch, C. (2005). Continuous flash suppression reduces negative afterimages. *Nature neuroscience*, 8, 1096-1101.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5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 Sugita, Y., Hidaka, S., and Teramoto, W.	4. 巻 8
2. 論文標題 Visual percepts modify iconic memory in humans.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-018-31601-4	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 Teramoto, W.	4. 巻 8
2. 論文標題 A behavioral approach to shared mapping of peripersonal space between oneself and others	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-018-23815-3	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 Teraoka, R., Watanabe, O., & Teramoto, W.	4. 巻 23
2. 論文標題 An ERP study on sound-contingent visual motion perception.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Interdisciplinary Information Science	6. 最初と最後の頁 175-178
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4036/iis.2017.S.03	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 Teramoto, W., Kawano, S., Mori, S. and Sekiyama, K	4. 巻 237
2. 論文標題 Word scanning in native and non-native languages: insights into reading with declined accommodation.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Experimental Brain Research	6. 最初と最後の頁 2411-2421
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1007/s00221-019-05588-x">https://doi.org/10.1007/s00221-019-05588-x</a>	査読の有無 有
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8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Teramoto, W., & Hide, M.
2. 発表標題 Rubber hand/foot illusion in older adults.
3. 学会等名 International Multisensory Research Forum (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Teramoto, W.
2. 発表標題 Visuotactile sensory experience shared with others.
3. 学会等名 European Conference on Visual Perception (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kawagoe, T., Kihara, K., & Teramoto, W.
2. 発表標題 Easterners cannot inhibit fixations to eye and nose regions in face.
3. 学会等名 Asia Pacific Conference on Vision 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Teraoka, R., & Teramoto, W.
2. 発表標題 Learning arbitrary associations between visual and tactile features.
3. 学会等名 The 33rd Annual Meeting of the International Society for Psychophysics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Teraoka, R., Ishimoto, W., & Teramoto, W.
2. 発表標題 Learned association of arbitrary visuotactile signals.
3. 学会等名 第10回多感覚研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Teramoto, W., Hidaka, S., & Sugita, Y.	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Cambridge University Press	5. 総ページ数 13
3. 書名 Spatial biases in perception and cognition (chapter 11)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>熊本大学文学部研究者当人ホームページ  <a href="http://www.let.kumamoto-u.ac.jp/ihs/hum/psychology/teramoto.html">http://www.let.kumamoto-u.ac.jp/ihs/hum/psychology/teramoto.html</a></p>
--

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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	エルンスト マーク  (Ernst Marc)	ウルム大学・Department of Applied Cognitive Systems・Professor	