

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：21201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12583

研究課題名（和文）視聴覚運動知覚の脳内表現の解明

研究課題名（英文）Research on neural mechanisms of sound-induced visual motion perception

研究代表者

眞田 尚久（Sanada, Takahisa）

岩手県立大学・ソフトウェア情報学部・准教授

研究者番号：40711007

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、聴覚誘発性視覚運動知覚が起こる時の脳活動を計測し感覚情報の脳内メカニズムを明らかにすることを目的とし、人の心理実験と脳波測定、及び多感覚統合モデルによる検証を行った。研究期間内に主に2つの課題に取り組んだ。視覚運動弁別が聴覚刺激によって受ける影響を、心理物理実験により検証した。課題遂行中に定常状態視覚誘発電位（SSVEP）の計測を行い、聴覚刺激によるSSVEPの振幅変調を検証した。その結果、一部の脳波電極から、聴覚刺激による脳波への影響が確認できた。さらに、感覚統合モデルで説明できるかを検証し結果、最尤推定モデルによる推定ができたが、心理データが過小評価されることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

私たちの認知は、異なる感覚情報が統合された結果だと考えられる。異種感覚情報が一致することで、より確からしい認知が生じる反面、感覚情報に乖離があると、感覚モダリティ間の相互作用によって錯覚や特殊な知覚が生じることもある。本研究の結果から、大脳皮質視覚システムにおいて、聴覚による脳活動の変調が生じていることが示唆された。また、そのメカニズムが感覚情報の重みづけ加算によってある程度説明できることが明らかになった。これらの知見は多感覚認知の様々な現象の理解の一助になると期待される。

研究成果の概要（英文）：We studied Sound-induced Visual Motion Perception (SIVM) to understand its neural mechanisms. We compared the ability to discern motion direction in visual-only and audio-visual conditions, analyzing psychophysical performance and SSVEP (Steady-State Visual Evoked Potential) amplitude. Both psychophysical performance and SSVEP amplitude showed a parallel shift with auditory stimulation. To gain further insights, we used a mathematical model to analyze multisensory integration and estimate psychophysical data. The model partially captured observed trends, providing valuable understanding of SIVM mechanisms. Our research illuminates the interaction and contribution of different sensory modalities to motion perception, advancing knowledge of multisensory integration and serving as a foundation for future studies in this field.

研究分野：視覚神経科学

キーワード：多感覚統合 最尤推定モデル 事象関連電位 視覚運動知覚

1. 研究開始当初の背景

私たちの認知は、異なる感覚情報が統合された結果だと考えられる。異種感覚情報が一致することで、より確からしい認知が生じる反面、感覚情報に乖離があると、感覚モダリティ間の相互作用によって錯覚や特殊な知覚が生じることもある。

ある種の感覚刺激によって異なる種類の感覚が誘発される現象を共感覚と呼び、共感覚を持つ人は、音楽や音声を聴くと色や動きが見えることが知られている。存在しないものが見える現象は共感覚以外にも、薬物による幻視や認知症などでも生じる。また、共感覚者ではなくとも異種感覚刺激によって視覚情報が誘発されることが分かってきており、異種感覚に誘発された知覚として、共感覚に似た感覚が生じ(Hidaka et al., 2011; Hu & Knill, 2010; Teramoto et al., 2010)。しかし、これらの現象の原因と考えられる感覚情報の統合や相互作用の神経メカニズムは不明な点が多く、多感覚統合の神経基盤の解明が必要だと考えられる。

2. 研究の目的

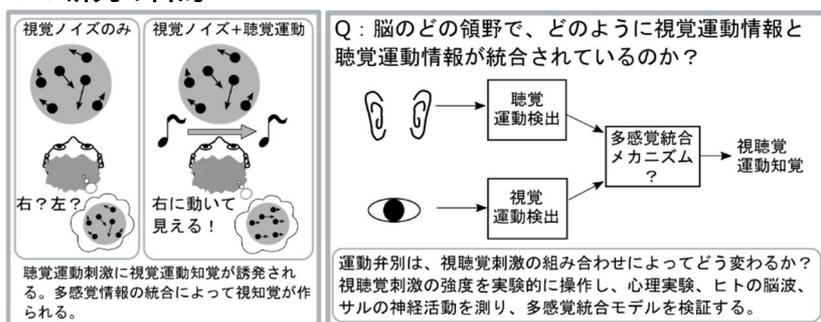


図 1: 研究の概要

視覚ノイズ刺激を見ている状態で音の運動刺激を聴かせると、視覚ノイズ刺激が音の運動方向に動いて見えることが報告されている(Hidaka et al., 2011)。これは脳内で感覚情報が統合される際に視覚と聴覚の相互作用が起こり、誘発された知覚だと考えられる。本研究では、聴覚誘発性の視覚運動知覚が起こっている時の脳活動を調べ、多感覚統合の神経基盤とそのメカニズムを明らかにすることを目的とする。研究は2つの方法で行った。

(1) ヒトの心理実験で、運動方向弁別課題を視聴覚刺激条件で行う。視聴覚運動刺激によって聴覚誘発性運動知覚が生じている時の脳波を測り、心理実験で調べた見えの変化が脳波信号によってどの程度説明できるか検証。

(2) 視聴覚刺激の刺激強度を実験的に操作し、入力刺激の強さと応答の関係から、視聴覚統合メカニズムの推定。

3. 研究の方法

視覚運動方向弁別課題では、視覚刺激に含まれる運動信号の強度(運動コヒーレンス)が弱くなるほど弁別しにくくなり、運動コヒーレンス 0% 条件では弁別率が 50% まで下がる。

しかし、運動コヒーレンス 0% の刺激を見ている状態でも、右方向に動く聴覚刺激を聴かせると、ノイズ刺激が右に動いて見える。この条件では心理物理曲線が左方向にシフトするため、50% 弁別率を示した刺激の運動コヒーレンス(主観的等価点, Point of subjective equality, PSE)も左方向にシフトする。PSE のシフトを推定す

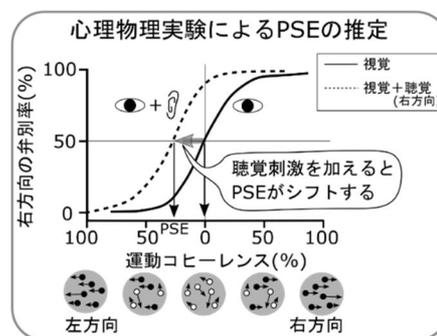


図 2: 心理物理実験による PSE の推定

ることで、聴覚運動刺激によって視覚運動がどの程度誘発されたのかを定量的に測ることができる。

本研究では、聴覚によって視覚が受ける影響を知覚と脳活動を同時に計測し、両者の相関を解析することで、感覚統合の脳内メカニズムを探る。

(1) 心理物理実験と脳波計測による検証

まず聴覚によって生じた運動知覚の誘発の度合いを PSE の推定をすることで定量化する。さらに、課題遂行中に定常状態視覚誘発電位 (SSVEP) を測定し、脳波信号を元に弁別曲線を計算し、PSE を推定する。脳波信号強度が運動コヒーレンスを反映することは既に分かっており (Niedeggen & Wist, 1999) 、心理物理曲線から求めた PSE と、SSVEP によって求めた PSE を比較することで、視覚関連の脳波信号が聴覚情報によりどの程度影響を受けるかを検証した。

(2) 多感覚統合メカニズムのモデル検証

多感覚の知覚判断は最尤推定モデルでよく説明される (Ernst & Banks, 2002) 。Ernst らの実験により視触覚知覚が、視覚、触覚それぞれの単一感覚情報の条件から推定される予測とよく一致することが示されている。聴覚誘発性の視覚運動知覚でも、最尤推定モデルで説明できるかを検証するために両感覚それぞれの刺激強度を操作し、運動方向弁別課題を行った。聴覚運動の刺激強度が強いほど、視覚運動弁別課題の PSE のシフト量は大きくなると予測される。モデルにより視聴覚情報の重み (w_{auditory} , w_{visual}) を推定し、聴覚刺激による PSE シフト量の変化を最尤推定モデルにより再現できるかを検証した。

4. 研究成果

心理物理実験には、視覚運動方向弁別課題を採用し、被験者はランダムドット運動刺激の運動方向を二者択一強制選択する課題を行った。被験者は赤いドットを固視し、固視点の左右どちらかに呈示される視覚刺激と聴覚刺激が同時呈示され、その後キー押しによりランダムドット運動視刺激の運動方向を回答した。実験は視覚刺激のみの条件と視聴覚同時呈示の条件が試行ごとにランダムに選ばれ呈示された。

運動報告弁別課題を、視覚のみ条件、視聴覚同時呈示条件で行い、それぞれの刺激強度ごとの弁別率 (右方向と答えた割合) を計測した。被験者から計測された心理物理曲線を図 3 に示した。刺激強度が高くなると、弁別率が高くなり、聴覚刺激による PSE シフトが確認できた。視覚運動刺激を、フリッカーさせて呈示することで、SSVEP を計測した。視覚刺激のみの条件と、視聴覚同時提示条件で計測を行った結果、どちらの条件でも刺激の強度が高くなるほど SSVEP 振幅は高くなることが分かった (図 4)。

さらに、聴覚刺激を同時提示した条件では、SSVEP の応答曲線のシフトが観察された (図 4B) このことから、心理物理実験で見られた PSE シフトと、SSVEP による脳波振幅の変化に関連性が見られる可能性が明らかになった。

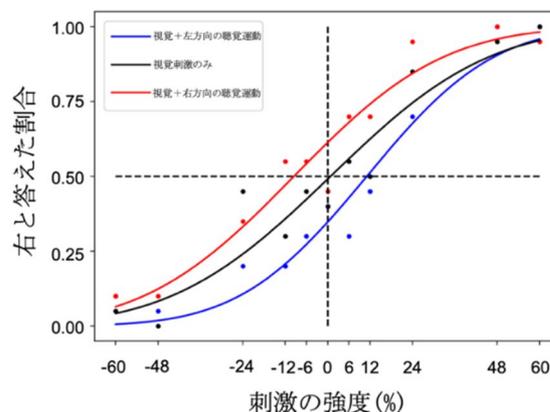


図 3: 視覚運動弁別課題によって得られた心理物理曲線と、視聴覚同時刺激による変化。

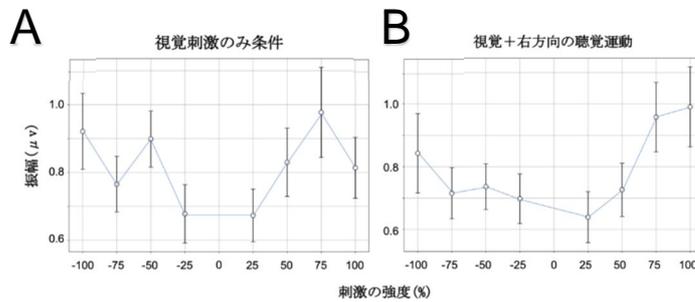


図 4: 脳波電極 P4 の脳活動曲線 A:視覚刺激のみ条件. B:視聴覚刺激条件

次に、視聴覚統合のメカニズムを探るために、3次元物体運動知覚における視聴覚統合メカニズムの解明を目的とし、3次元物体運動知覚における視聴覚統合が最尤推定モデルで説明できるかを検証した。

視聴覚統合のモデル検証のために、新たに心理物理実験を行った。左右・奥行き方向に同時に運動する刺激(図5)を呈示し、被験者は刺激が奥に動いたか手前に動いたかを答えた。試行毎

に刺激の運動方向 θ を変えながら呈示することで心理物理曲線が得られる。視覚刺激には3次元状のドットの集合体(3D cloud)を用い、両眼視差やドットサイズなどの手がかりによって運動を再現した。聴覚刺激にはホワイトノイズを用い、左右方向の運動再現のために両耳間時間差と両耳間強度差を、奥行き方向の運動再現のために音圧変化をそれぞれ適用した。視覚刺激のみ、刺激信頼性を変化させるために奥行き位置のSN比(Binocular Correlation, BC)を複数用いた。BCは値が大きいほどシグナルの比率が大きいことを表す。視聴覚統合が最尤推定モデルで説明される場合、視覚刺激のノイズレベルを上げると視覚への重みが小さくなり、統合後の知覚が相対的に聴覚へ偏ると考えられる。

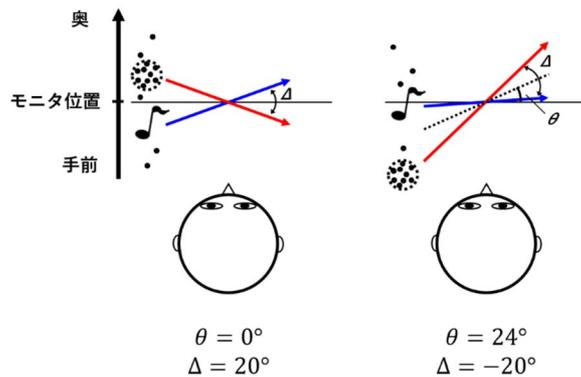


図 5: 視聴覚刺激の模式図。視覚運動刺激と聴覚運動刺激は を中心に ずれた角度に運動するものとした。

被験者01

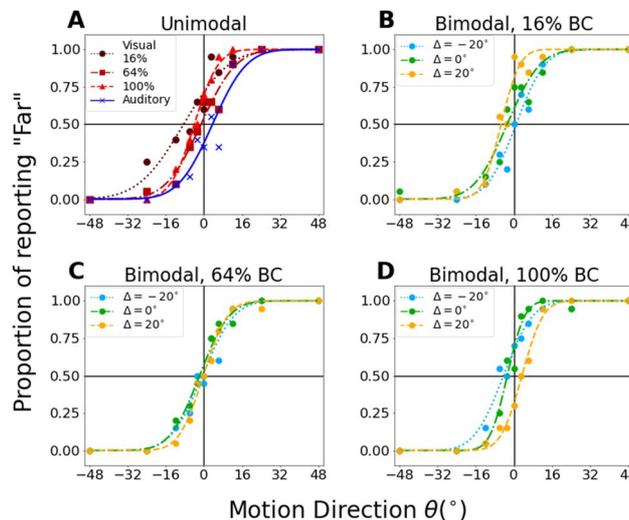


図 6: 被験者 01 の各条件における実験データと心理物理曲線。A: 視覚のみ、聴覚のみ条件。横軸は物体の運動方向 θ° 、縦軸は運動方向を奥と答えた確率。B-D: 視聴覚条件。

実験結果の一例を図 6 に示す。単一被験者の視覚のみ、聴覚のみ条件での心理物理曲線から、BC が大きいほど信頼性も大きくなっていることが分かった(図 6A)。視聴覚同時条件では BC が大きい時は奥と答えやすかったため知覚が視覚へ偏っており、BC が小さくなるにつれて聴覚へ偏った(図 6B-C)。

図 7 に最尤推定モデルによる、単一感覚入力の重みの予測値と推定値を示す。両者とも BC が大きい程視覚への重みも大きくなっているが、モデルは実際の重みを過小評価することが分かった(図 7)。

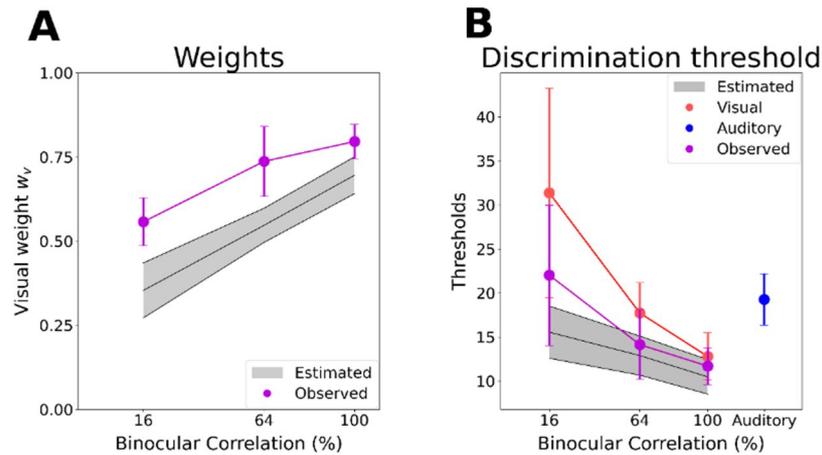


図 7: 最尤推定モデルによる推定値と心理物理実験による計測値の比較 A: 重みの推定値及び計測値の被験者平均。B: 弁別閾の推定値及び計測値の被験者平均。

本研究により、聴覚に誘導されて生じる視覚運動知覚が、SSVEP の振幅の変化と関連する可能性が示され、視聴覚運動の統合メカニズムの一部は最尤推定モデルにより説明できることが示された。

引用文献

- Ernst, M. O., & Banks, M. S. (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature*, *415*(6870), 429. <https://doi.org/10.1038/415429a>
- Hidaka, S., Teramoto, W., Sugita, Y., Manaka, Y., Sakamoto, S., & Suzuki, Y. (2011). Auditory Motion Information Drives Visual Motion Perception. *PLoS ONE*, *6*(3), e17499. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017499>
- Hu, B., & Knill, D. C. (2010). Kinesthetic information disambiguates visual motion signals. *Current Biology: CB*, *20*(10), R436--7. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.03.053>
- Niedeggen, M., & Wist, E. R. (1999). *Characteristics of visual evoked potentials generated by motion coherence onset.*
- Teramoto, W., Hidaka, S., & Sugita, Y. (2010). Sounds move a static visual object. *PLoS ONE*, *5*(8), e12255. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012255>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Jamal Shah, 白石祥之, 内藤智之, 眞田尚久	4. 巻 122
2. 論文標題 深層畳み込みニューラルネットワーク (DCNN)内部ユニットの 2次刺激に対する選択性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 16-19
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 -

1. 著者名 Yoshiyuki R Shiraishi, Hiromichi Sato, Takahisa M Sanada, Tomoyuki Naito	4. 巻 arXiv:2103.02587
2. 論文標題 Reconstructed spatial receptive field structures by reverse correlation technique explains the visual feature selectivity of units in deep convolutional neural networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 arXiv	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) なし	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yoshiyuki R. Shiraishi, Takahisa M. Sanada and Tomoyouki Naito
2. 発表標題 Hierarchical representation of receptive field property in deep convolutional neural network (DCNN)
3. 学会等名 第31回 日本神経回路学会 全国大会 (JNNS 2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 眞田尚久
2. 発表標題 複雑運動情報処理の神経基盤
3. 学会等名 視覚科学フォーラム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takahisa M. Sanada
2. 発表標題 Receptive field properties of complex motion in visual area FST,
3. 学会等名 日本視覚学会2020年夏季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nakka Suma Sailaja, Basabi Chakraborty, Takahisa Sanada
2. 発表標題 Multi-Class Classification of Diabetic Foot Ulcer Images by Pre-trained VGG Models
3. 学会等名 2022年度東北支部連合大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 法靈崎真琉, 白石祥之, 内藤智之, 眞田尚久
2. 発表標題 深層畳み込みニューラルネットワークモデル内部ユニットの周辺抑制効果
3. 学会等名 日本視覚学会2022年夏季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川崎修斗, 法靈崎真琉, 眞田尚久
2. 発表標題 深層畳み込みニューラルネットワークモデル内部ユニットの色組み合わせに対する応答特性
3. 学会等名 日本視覚学会2022年夏季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jamal Shah, 白石祥之, 内藤智之, 眞田尚久
2. 発表標題 深層畳み込みニューラルネットワーク (DCNN)内部ユニットの 2次刺激に対する選択性
3. 学会等名 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 角田遼河, 眞田尚久
2. 発表標題 視聴覚情報処理における感覚間の知覚時間差の測定
3. 学会等名 日本視覚学会2023年冬季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高橋礼, 眞田尚久
2. 発表標題 3次元運動知覚における視聴覚相互作用の最尤推定モデルによる検証
3. 学会等名 日本視覚学会2023年冬季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nakka Suma Sailaja, Basabi Chakraborty, Takahisa Sanada
2. 発表標題 An Efficient Ensemble of Deep Neural Networks for Detection and Classification of Diabetic Foot Ulcers Images
3. 学会等名 The Fifteenth International Conference on Advances in Databases, Knowledge, and Data Applications (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nakka Suma Sailaja, Basabi Chakraborty, Takahisa Sanada
2. 発表標題 Identification and Classification of Diabetic Foot Ulcers by Deep Neural Networks: A Comparative Study,
3. 学会等名 th IEEE International Conference on Knowledge Innovation and Invention (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本視覚学会	4. 発行年 2022年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 360
3. 書名 図説 視覚の事典	

〔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
---------	---------