

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：37102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2014～2017

課題番号：26380998

研究課題名（和文）運動に対する感覚フィードバックの遅延への順応機構の解明

研究課題名（英文）Investigation of adaptation mechanism to delayed sensory feedback on voluntary action

研究代表者

菅野 禎盛 (Sugano, Yoshimori)

九州産業大学・経営学部・准教授

研究者番号：90352103

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000 円

研究成果の概要（和文）：自発的な動作（例えばボタン押し）に対する遅延感覚フィードバック（例えば光や音）を繰り返し体験すると、当初感じられていた遅れが時間の経過とともに消失する。このとき同時性の知覚そのものが変化していることが先行研究から示されている（時間的再校正）。本研究は、運動感覚間の時間的再校正が感覚モダリティにどの程度特化しているのかまたその神経相関物は何かを心理物理実験と脳波測定（EEG）により系統的に検討することを目的とした。一連の心理物理実験の結果、時間的再校正のメカニズムには感覚モダリティに共通の部分とそれぞれに固有の部分があることが示され、脳波測定からは初期知覚処理の関与が示唆された。

研究成果の概要（英文）：If we repeatedly experience the delay between one's own action (e.g. a button press) and the sensory feedback thereof (e.g. a flash or click), the perceived delay will disappear as we adapt to that delay. It has been shown that perception of synchrony between action and feedback is shifted after exposure to the delay (temporal recalibration: TR). Present study explored to clarify to what extent the sensorimotor TR depends on each sensory modality and to specify the neural correlates of the TR, via psychophysical experiments and EEG measurements. The psychophysical experiments showed that the TR consists of both amodal and modality-specific part. The EEG measurements showed that an early perceptual processing plays a role in the TR.

研究分野：実験心理学

キーワード：国際情報交換 オランダ 多感覚知覚 視覚 聴覚 順応 時間知覚 感覚運動協調

1. 研究開始当初の背景

自発的な動作(例えばボタン押し)の直後に何らかの外的信号(例えば光や音)がフィードバックとして与えられると、人はそこにしばしば因果関係を知覚する。そして、知覚される因果関係は動作と外的信号のタイミングのずれが小さいほど強いことがよく知られている(Blakemore et al., 1999)。しかし、近年の研究からは遅延フィードバックを繰り返し体験すると順応が生じ、感じられる遅れが小さくなることが示されている(Stetson et al., 2006; Heron et al., 2009; Sugano et al., 2010)。この順応は時間的再較正(temporal recalibration)と呼ばれ、それが生じた時には動作のタイミングとフィードバックのタイミングの同時性の知覚そのものが変化していることが実験的に示されている。驚くべきことに、遅延に順応した後で遅れの無いフィードバックを呈示すると、動作の開始より前に感覚フィードバックが到来したかのように因果関係の知覚が逆転して感じられる(図1)。



図1 動作に対する遅延感覚フィードバックに順応することで生じる同時性知覚の変化(時間的再較正)

このように因果関係の知覚を逆転させるほど柔軟に人の時間知覚システムが変化し得ることは驚くべきことである。先行研究からは、順応していない感覚モダリティにも時間的再較正が転移することが示されており(Heron et al., 2009; Sugano et al., 2010)、感覚モダリティに共通の普遍的な単一のメカニズムを示唆する結果が報告されている。そのようなメカニズムとしては例えば、感覚モダリティに共通した単一の体内時計(クロック)が存在し、その動作が遅延フィードバックへ順応によって変化するというメカニズムが考えられるであろう(Wenke & Haggard, 2009; Sugano et al., 2012, 2014)。しかしながら近年、単一メカニズム説では説明できない現象が報告されている。例えば、異なる大きさの視覚刺激と聴覚刺激のタイミングのずれに対して同時に順応(時間的再較正)が生じ得ること(Roseboom & Arnold, 2011; Yuan et al., 2015)、遅延視覚フィードバックへの順応によって生じた時間的再較正が聴覚フィードバックに対しても転移する一方、聴覚から視覚へは転移が生じないこと(Sugano et al., 2012)、右手と左手に異なる遅延を与えるとそれぞれの手に異なる大きさの順応を引き起こすことができること(Sugano et al., 2014)など、である。これらの研究は、時間的再較正のメカニズムが四肢や感覚モダリティごとに別々に存在している可能性を示唆している。

さらに、時間的再較正がどの情報処理レベル(運動遂行のレベル、感覚受容のレベル、時間知覚のレベル、タイミングを判断するレベル、など)で生じているのかについても不明な点が多い。もし単一メカニズム説が正しいのであれば、それはフィードバック刺激の感覚モダリティに依存しない運動遂行のレベル、または時間知覚のレベル、あるいは高次の認知・判断のレベルであると考えられる。しかし、もし時間的再較正が感覚モダリティごとに特化しているのなら、それは感覚知覚レベルのメカニズムによるものであろう。この点について、これまでの研究では確定的な結論が出ていない。

2. 研究の目的

本研究では著者の研究グループのこれまでの研究をさらに発展させ、感覚運動間の時間的再較正が感覚モダリティにどの程度特化しているかを検討することを目的とした。それにより、われわれが運動のタイミングを制御する際に感覚モダリティごとに異なるメカニズムを用いているのか、またそのメカニズムがどのような神経過程に対応しているのか、ということをも明らかにする。

本研究では、この問題を心理物理実験と非侵襲的な脳機能計測(脳波測定)により系統的に検討し、感覚運動協調のタイミングを制御するメカニズムと神経相関物の特定を目指す。脳波測定を用いる理由は、それが機能的磁気共鳴画像法(fMRI)、脳磁図(MEG)、近赤外線分光法(NIRS)などの手法と比較して時間分解能が高く手軽である、という利点を持っているためである。時間的再較正に関わる神経過程は短時間で素早く生じていることが示唆されているため(Stekelenburg et al., 2011)、脳波データの時間分解能が高いことは本研究にとって特に利点となる。

3. 研究の方法

本研究では、三つの実験により遅延フィードバックへの順応のメカニズムについて検討した。最初の実験では、時間的再較正が感覚モダリティにどの程度局在しているのかを心理物理学的手法により検討した。次の実験では時間的再較正が運動の遂行に関わる過程で生じているのか、それともフィードバック刺激の知覚に関わる過程で生じているのか、という問題について同じく心理物理学的手法により検討を加えた。最後の実験では、脳波(EEG)測定により時間的再較正の神経相関物を特定した。心理物理実験では従来の時間順序判断(temporal order judgement: TOJ)課題の代わりに、新しい実験パラダイムである同期タッピング課題を用いることでデータ取得の効率化と安定化を図った。

本研究で用いる同期タッピング課題は、音楽知覚認知研究の分野で用いられてきた長い伝統を持つ(Repp, 2005)。しかしながら、それを時間的再較正の研究に応用したのは

著者のグループが最初である (Sugano et al., 2012)。感覚運動間の時間的再較正に関するこれまでの研究では時間順序判断 (temporal order judgement: TOJ) 課題ないし同時性判断 (synchrony judgement: SJ) 課題が主に用いられてきた (Stetson et al., 2006; Heron et al., 2009; Sugano et al., 2010)。しかしこの方法は、主観的同時点を得るために刺激を多数回繰り返し呈示しなければならず、また反応をばらつかせたり偏らせたりしようとする反応バイアスが混入する余地もあるという欠点がある。さらに、TOJ/SJ 課題はこの種の実験に慣れていない参加者にとっては難しい課題であり、信頼性の高いデータを得ることが比較的難しい。本研究で導入する同期タッピング課題はこれらの難点を克服することができる。つまり同期タッピング課題は TOJ/SJ 課題に比べ、(1) 試行数が少なくすむ、(2) 主観的判断を伴わない課題であるため反応バイアスの混入を回避できる、(3) TOJ/SJ 課題に比べて容易である、という利点がある。

同期タッピング課題により時間的再較正を測定する実験手続きは一般的に以下のようなものである。実験参加者は一定の時間間隔 (0.5 秒~1 秒程度) で数回から数十回繰り返しボタン押し動作をする。このとき、ボタン押し動作に対する感覚フィードバックとして視覚刺激もしくは聴覚刺激を主観的に同期させて (50 ミリ秒程度) もしくは遅延させて (150 ミリ秒程度) 呈示する (順応段階)。実験にもよるが、遅延の大きさは予め教えられれば気づくが、そうでなければ気づかない微妙な程度に設定する。これは実験参加者が遅延にはっきりと気づいてしまうと反応を意図的に歪めてしまう恐れがあるためである。そして順応段階の直後、同じ感覚刺激が今度はペース信号として一定の時間間隔 (0.5 秒~1 秒程度) で数回繰り返し呈示される。実験参加者の課題はペース信号のオンセットに同期してボタン押し動作をすることである (テスト段階)。ペース信号に対するボタン押し動作の相対的なタイミングの差がペース信号とボタン押しの主観的な同時点 (point of subjective simultaneity: PSS) を反映する指標となる。順応前後でこの大きさが変化すれば時間的再較正が生じたとみなす。

4. 研究成果

(1) 実験 1 : 時間的再較正のメカニズムは感覚モダリティごとに特殊化しているか

実験 1 では、遅延視覚フィードバックへの順応により生じる同時性知覚の変化 (時間的再較正) が、同期フィードバックを視覚的ではなく聴覚的に呈示しても消去されることを明らかにした (Sugano et al., 2016)。これは、視覚フィードバックによる時間的再較正と聴覚フィードバックによる時間的再較正が共通の基盤を持っていることを示唆し

ている。しかしその一方、遅延聴覚フィードバックによる時間的再較正は同期視覚フィードバックによって完全には消去されなかった。このことは、聴覚における時間的再較正が視覚における時間的再較正よりも強力であること、また聴覚に特有のメカニズムが働いている可能性を示唆している。

実験は事前テスト、遅延フィードバックに対する順応、そして事後テストの順で実施された。順応段階で実験参加者は右手で一定の時間間隔 (約 750 ミリ秒) でボタン押しを行い、それに伴って短い光もしくは音が主観的に同時に (50 ミリ秒) もしくは遅延して (150 ミリ秒) 呈示された。このとき、ボタン押しに伴って光が呈示される試行と音が呈示される試行は交互に実施され、光が同期している場合には音は遅延して、光が遅延している場合には音は同期して呈示された。これを実験条件とし、光も音も同期もしくは両方とも遅延した条件を基準条件として用意した。事前テストと事後テストでは実験参加者は光もしくは音をペース信号とした同期タッピング課題を行い、ペース信号とボタン押しの時間差が両者の主観的同時点に対応するデータとして測定された。

もし光と音に対して独立して時間的再較正が生じるのであれば、順応段階で交互に呈示されるもう一方の感覚フィードバックの遅延が同じであろうが (基準条件) 異なっていく (実験条件) 最終的に生じる時間的再較正の大きさは変わらないはずである。逆にそれぞれの感覚モダリティで生じた時間的再較正が相互に影響を与え合うのであれば (クロストーク) 遅延フィードバックと同期フィードバックを交互に呈示する実験条件では、基準条件よりも時間的再較正が小さく生じるはずである。実験の結果を図 2 に示す。図 2 の縦軸は基準条件での時間的再較正の大きさから基準条件でのそれを差し引いた差を表しており、時間的再較正が視聴覚間でどの程度クロストークしているかを反映する。ここで、時間的再較正の大きさ

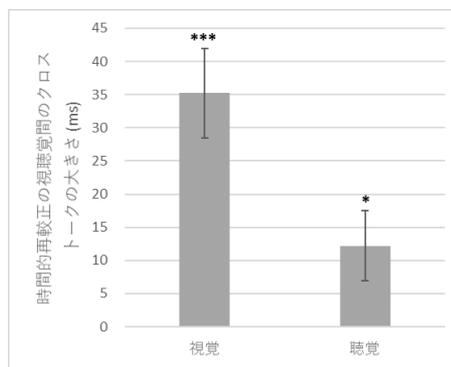


図 2 感覚フィードバックを視覚と聴覚で交互に呈示したときに生じる時間的再較正のクロストーク (Sugano et al., 2016)。縦軸は視覚と聴覚のフィードバック遅延が異なる場合 (実験条件) の時間的再較正の大きさから、同じ場合 (基準条件) のそれを差し引いた差であり、視聴覚間のクロストークの大きさを反映する。

は遅延条件での順応後のペース信号とボタン押しの時間差から同期条件でのそれを引いた値としている。図2からは、視覚で聴覚より大きな時間的再校正のクロストークが生じていることが分かる。

(2) 実験2：時間的再校正は知覚処理に影響を及ぼすか

実験2では、動作と遅延感覚フィードバックの間に生じる時間的再校正が、フィードバック刺激を知覚する処理過程で生じているのか、それとも動作を遂行する処理過程で生じているのかを切り分けることを試みた。実験では遅延感覚フィードバックへの順応後にその刺激に対する単純反応課題を実施し、遅延フィードバック刺激に対する知覚処理速度が時間的再校正の前後で変化しているかを検証した。もし時間的再校正の前後でフィードバック刺激に対する単純反応時間に違いが生じているのであれば、時間的再校正が知覚処理過程の変化によって生じていることが示唆される。

実験は動作（ボタン押し）に対して遅延感覚フィードバック（ボタン押しの150ミリ秒後に短い光または音を呈示）を80回繰り返し与えて時間的再校正を生じさせた後、その音に対する単純反応課題と同じ感覚刺激をペース信号とした同期タッピング課題を行わせ、感覚刺激に対する知覚処理速度の変化と、動作と感覚刺激の主観的同時点の変化をそれぞれ測定した。これらのテスト課題の前には順応の効果が消失しないように上乘せの遅延感覚フィードバックを試行ごとに7回呈示した。なお基準条件として動作に対して主観的に同期した短い光または音（動作の50ミリ秒後）を呈示する条件も用意した。

実験の結果、フィードバックとして短い音を呈示した条件（聴覚条件）では時間的再校正に伴う反応時間の短縮が見られ、時間的再校正に伴い聴覚処理の速度が変化していることが示唆された。その一方、フィードバックとして短い光を呈示した条件（視覚条件）では反応時間の変化は見られなかった（図3）（Sugano, Keetels, Vroomen, 2017）。この結果は、実験1と同様に聴覚の時間的再校正が視覚のそれよりも強力に生じること、さらに聴覚の時間的再校正の少なくとも一部が知覚処理過程の変化によって引き起こされていることを強く示唆している。

(3) 実験3：時間的再校正による知覚促進の神経相関物は何か

この実験では、実験2で示唆された聴覚的時間的再校正における知覚処理促進がどのような神経過程に対応するのかを脳波測定により明らかにすることを目的とした。実験手続きは実験2より簡略化し、7回のボタン押しに対して遅延聴覚フィードバック（150ミリ秒）を呈示した後、同じ聴覚刺激をランダムなタイミングで3回呈示して反応時間を

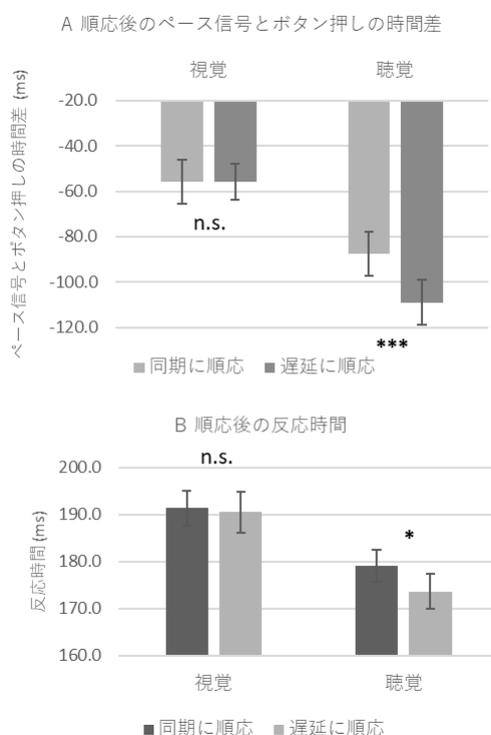


図3 時間的再校正に伴う知覚処理速度の変化 (Sugano et al., 2017)。(A) フィードバック刺激の遅延に順応した後のペース信号とボタン押しの時間差、(B) 順応した刺激に対する反応時間。聴覚ではペース信号とボタン押しの時間差も反応時間も同期条件と遅延条件の間に有意な差が見られるが、視覚ではどちらも有意差が見られない。

測定した。これを1試行とし20試行を短い休憩をはさんで2回繰り返し実施した。なお基準条件として同期聴覚フィードバック（50ミリ秒）を呈示する条件も用意した。遅延条件と同期条件の実施順序は実験参加者間でカウンターバランスした。

課題遂行時の脳波は拡張10-20法により配置された64箇所 Ag-AgCl アクティブ電極 (BioSemi, Amsterdam) によりサンプリングレート 512 Hz で記録した。基準電極は左右の乳様突起上の電極の平均とし、上下左右の眼球運動を右目上下部と左右こめかみの4つの電極で記録した。測定された脳波データは0.1~30 Hzのバンドパスフィルタ (24 dB/octave) で処理した後、聴覚刺激のオンセットを基準に加算平均し聴覚誘発電位を得た。

聴覚刺激に対する単純反応時間の分布および課題遂行時の聴覚誘発電位を図4に示す。実験参加者ごとに単純反応時間の分布に対して指数ガウス関数 (Luce, 1986) を当てはめ、平均反応時間と指数ガウス関数の3つのパラメータ (μ , σ , τ) について統計的分析を行った。分析の結果、反応時間の平均値は同期条件と遅延条件で有意差が見られなかったものの、指数ガウス関数のパラメータの1つである τ について有意差が認められ、遅延条件では同期条件よりも τ が小さかつ

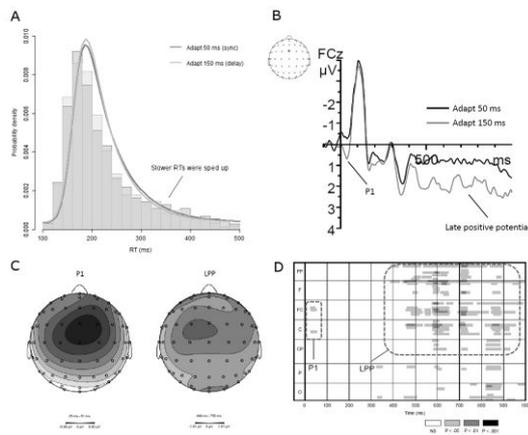


図4 遅延聴覚フィードバックへの順応で生じる時間的再較正の神経相関物 (Sugano, Stekelenburg, de Schipper, & Vroomen, 2017)。(A) 同期聴覚フィードバックもしくは遅延聴覚フィードバック順応後の聴覚刺激に対する単純反応時間のヒストグラムおよびそれに対して当てはめた指数 - ガウス曲線の集合平均。(B) 同期聴覚フィードバックもしくは遅延聴覚フィードバック順応後の単純反応時間課題遂行時の前頭 中心部電極 (FCz) で観察された聴覚誘発電位。P1 成分 (25 ~ 50 ミリ秒) と LPP 成分 (350 ~ 750 ミリ秒) において条件差が認められる。(C) P1 成分 (左) と LPP 成分 (右) の同期フィードバック条件 (50 ミリ秒) と遅延フィードバック条件 (150 ミリ秒) の差分波形の等電位マップ。(D) 同期条件と遅延条件での聴覚誘発電位の差分波形に対する測定点別 t 検定の結果。

た (それぞれ 54.9 ミリ秒、と 60.5 ミリ秒) (図 4A) は遅い反応時間の分布を支配するパラメータであり、これが遅延条件で統制条件より小さいということは遅延聴覚フィードバックに順応することで知覚処理が促進されたことを示している。

一方、単純反応課題遂行中の脳波を音のオンセットを基準に加算平均して得られた聴覚誘発電位からは、P1 成分 (25 ~ 50 ミリ秒) と LPP (late positive potential) 成分 (350 ~ 750 ミリ秒) で同期条件と遅延条件の間に有意な差が見られ (図 4B) 両者とも前頭から中心部が発生源であると推定された (図 4C)。また、LPP は P1 と比べてより広範囲の頭蓋位置において同期条件と遅延条件の差が有意となった (図 4D)。

以上の結果から、遅延聴覚フィードバックへの順応により知覚処理が促進されること、そしてその知覚促進は P1 に反映される非常に初期の処理と LPP に反映される比較的后期の処理の両方で生じていることが示唆された。今後、P1 と LPP が具体的にどのような処理過程を反映しているのかについてさらなる研究を重ねる必要があるであろう。

<引用文献>

Blakemore, S. J., Frith, C. D. & Wolpert, D. M. Spatio-temporal prediction modulates the perception of self-produced stimuli. *J. Cogn. Neurosci.* **11**, 551-559 (1999).
Heron, J., Hanson, J. V. M. & Whitaker, D.

Effect before cause: supramodal recalibration of sensorimotor timing. *PLoS One* **4**, e7681 (2009).

Luce, R. D. *Response times: Their role in inferring elementary mental organization.* (Oxford University Press, 1986).

Repp, B. H. Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. *Psychon. Bull. Rev.* **12**, 969-992 (2005).

Roseboom, W. & Arnold, D. H. Twice upon a time: multiple concurrent temporal recalibrations of audiovisual speech. *Psychol. Sci.* **22**, 872-877 (2011).

Stekelenburg, J. J., Sugano, Y. & Vroomen, J. Neural correlates of motor-sensory temporal recalibration. *Brain Res.* **1397**, 46-54 (2011).

Stetson, C., Cui, X., Montague, P. R. & Eagleman, D. M. Motor-sensory recalibration leads to an illusory reversal of action and sensation. *Neuron* **51**, 651-659 (2006).

Sugano, Y., Keetels, M. & Vroomen, J. Adaptation to motor-visual and motor-auditory temporal lags transfer across modalities. *Exp. Brain Res.* **201**, 393-399 (2010).

Sugano, Y., Keetels, M. & Vroomen, J. The build-up and transfer of sensorimotor temporal recalibration measured via a synchronization task. *Front. Psychol.* **3**, (2012).

Sugano, Y., Keetels, M. & Vroomen, J. Concurrent sensorimotor temporal recalibration to different lags for the left and right hand. *Front. Psychol.* **5**, (2014).

Sugano, Y., Stekelenburg, J., de Schipper, F. & Vroomen, J. ERP correlates of sensory facilitation after exposure to delayed auditory feedback. *Proceedings of the 33rd Annual Meeting of the International Society for Psychophysics (Fechner Day 2017)* 118 (2017).

Wenke, D. & Haggard, P. How voluntary actions modulate time perception. *Exp. brain Res.* **196**, 311-318 (2009).

Yuan, X., Bi, C. & Huang, X. Multiple concurrent temporal recalibrations driven by audiovisual stimuli with apparent physical differences. *Attention, Perception, Psychophys.* **77**, 1321-1332 (2015).

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

[1] Yoshimori Sugano, Mirjam Keetels, Jean Vroomen, Audio-motor but not

visuo-motor temporal recalibration speeds up sensory processing, PLOS ONE, 査読有, 12 巻 12 号, 2017, e0189242 DOI: 10.1371/journal.pone.0189242.

- [2] Yoshimori Sugano, Mirjam Keetels, Jean Vroomen, Auditory dominance in motor-sensory temporal recalibration, Experimental Brain Research, 査読有, 234 巻 5 号, 2016, 1249-1262 DOI: 10.1007/s00221-015-4497-0

〔学会発表〕(計 10 件)

- [1] 菅野禎盛, イェルーン・ステケレンブルフ, フロウケ・デ・スキッパー, ジョン・フローメン, 遅延聴覚フィードバックへの順応に伴う知覚促進の神経相関, 第九回多感覚研究会(熊本), 2017 年 12 月
- [2] Yoshimori Sugano, Jeroen Stekelenburg, Frouke de Schipper, and Jean Vroomen, ERP correlates of sensory facilitation after exposure to delayed auditory feedback, The 33rd Annual Meeting of the International Society for Psychophysics (Fechner Day 2017) (Fukuoka, Japan), 2017 年 10 月
- [3] 菅野禎盛, イェルーン・ステケレンブルフ, フロウケ・デ・スキッパー, ジョン・フローメン, 遅延聴覚フィードバックへの順応に伴う知覚促進の神経相関, 日本心理学会第 81 回大会(久留米), 2017 年 9 月
- [4] Yoshimori Sugano, Mirjam Keetels, Jean Vroomen, Temporal recalibration after motor-auditory delay is accompanied with reduction of auditory latency, 31st International Congress of Psychology (ICP2016) (Yokohama, Japan), 2016 年 7 月
- [5] Yoshimori Sugano, Mirjam Keetels, Jean Vroomen, Motor-auditory, but not motor-visual temporal recalibration involves a shift in perceptual latency, 17th International Multisensory Research Forum (IMRF) (Suzhou, China), 2016 年 6 月
- [6] Yoshimori Sugano, Mirjam Keetels, Jean Vroomen, Motor-auditory temporal recalibration is more potent than motor-visual to shift a perceptual latency, 第 7 回多感覚研究会(東京), 2015 年 11 月
- [7] Yoshimori Sugano, Mirjam Keetels, Jean Vroomen, Perceptual latency of sensory stimuli is changed with motor-auditory but not with motor-visual temporal recalibration, (共催)電子情報通信学会ヒューマン情

報処理研究会, 日本バーチャルリアリティ学会 VR 心理学研究委員会, 日本認知科学会知覚と行動モデリング(P&P)研究分科会(福岡), 2015 年 7 月

- [8] Yoshimori Sugano, Mirjam Keetels, Jean Vroomen, Asymmetrical cross-talk between a motor-visual and a motor-auditory temporal recalibration, 16th International Multisensory Research Forum (IMRF) (Pisa, Italy), 2015 年 6 月
- [9] 菅野禎盛, ミリアム・ケートルス, ジョン・フローメン, 遅延のある音と遅延のない光に同時に時間的再調整は可能か, 日本心理学会第 78 回大会(京都), 2014 年 9 月
- [10] Yoshimori Sugano, Mirjam Keetels, Jean Vroomen, Can we adapt a delayed sound and non-delayed flash after voluntary action concurrently? 15th International Multisensory Research Forum (IMRF) (Amsterdam, the Netherlands), 2014 年 6 月

〔その他〕

- [1] ホームページ
<https://yoshimorisugano.wordpress.com/>
- [2] アウトリーチ活動
第 9 回多感覚研究会・熊本大学人文社会科学系国際研究拠点(共催)「錯覚の大展覧会(五感の錯覚からわかる心のしくみ)」デモンストレーション展示『どっちが先?! ~ 鳴らす前に鳴ってしまう音! ~』熊本大学くすの木会館レセプションルーム(黒髪北キャンパス), 2017 年 12 月 17 日
ノートパソコンを用いて、一般向けに錯覚のデモンストレーションを行った。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅野 禎盛 (SUGANO, Yoshimori)
九州産業大学経営学部・准教授
研究者番号: 90352103

(2) 研究協力者

ティルブルフ大学(オランダ)社会行動科学部・認知神経心理学科 (Tilburg University, School of Social and Behavioral Science, Department of Cognitive Neuropsychology, The Netherlands)

フロウケ・デ・スキッパー (Frouke de Schipper)

ミリアム・ケートルス (Mirjam Keetels)
イェルーン・ステケレンブルフ (Jeroen Stekelenburg)

ジョン・フローメン (Jean Vroomen)