

令和 元年 5 月 31 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2018

課題番号：15K12621

研究課題名(和文) 周辺視の運動知覚が視覚世界の安定性に果たす役割

研究課題名(英文) Role of the motion perception in the peripheral vision for visual stability

研究代表者

高橋 俊光 (TAKAHASHI, Toshimitsu)

大阪大学・生命機能研究科・招へい研究員

研究者番号：00250704

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、身体の安定性に影響する周辺視に特異的に現れるカーブボール錯視を利用して、視覚世界の安定性の機序を調べた。この錯視では、画面上を縦縞のボールが左(右)方向に自転しながら垂直に落下するときに、周辺視で大きく左(右)にカーブして知覚される。我々は、落下するボールを枠で囲むことにより、周辺視でのカーブ錯視効果が消滅し、囲む枠がボールの自転のlocalな運動と落下のglobalな運動との統合を抑制する1要因であることを示した。また、錯錯視で定位された位置を行動で指し示せることを示した。これにより周辺視での運動体の定位は、両運動統合の後に起き、行動系にも影響することが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々が自由に動き回っても、視覚世界における背景の中の対象の位置や動きは、常に安定に知覚される。しかし、その脳内メカニズムは未だに解き明かされていない。カーブボール錯視では、自転(localな運動)しながら落下(globalな運動)するボールを周辺視で見たときに、両運動が統合されてカーブして知覚される。我々の着眼点は、逆になぜ日常ではそのような周辺視の特異な運動知覚が生じないのか、その要因を探ることにより、周辺視が視覚安定性にどのように関与しているのかを明らかにしていこうという点であり、当該分野の進展に新たな視点で貢献するものである。

研究成果の概要(英文)：We examined the mechanism of visual stability using a curveball illusion which emerged in the peripheral visual field related to the body stability. In this illusion, when a vertically-striped ball falls vertically while rotating horizontally in the left (right) direction on the screen, it is perceived as being curved largely left (right) in peripheral vision. We showed that by surrounding the falling ball with a frame, the curve illusion effect in peripheral vision disappears. It suggests that the surrounding frame is one factor that suppresses the integration of the local motion (ball rotating) and the global motion (ball falling). In addition, it was shown that the illusional position of a falling ball can be pointed by participant's action. It suggests that the localization of the moving object in the peripheral vision would occur after the integration of both movements and also affect the action system.

研究分野：神経生理学

キーワード：周辺視 視覚の安定性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

視覚世界における背景の中の対象の位置や動きの網膜像は、身体(部位)の相対的位置変化とともに、時々刻々と激しく変化するが、脳で座標変換処理され安定に知覚される。近年我々は、連発触覚刺激の時間順序判断の fMRI 用いた研究で、脳内の動きの処理の領域と空間座標を表現する領域が感覚事象の時間順序判断に重要であることを示した (Takahashi et al., 2013)。身体に対する対象の位置変化の知覚に、時間、運動、空間の脳内処理が相互に関わっている証拠と言える。

一方、周辺視野、特に耳側半月状単眼視野が身体の安定性の制御に重要であり (Bessou et al., 1999)、さらに MT 野の周辺視野領域は、その脳部位が損傷すると半月状視野の欠損を特異的に引き起こすとされる retrosplenial cortex から投射を受けることが明らかにされた (Palmer and Rosa, 2006)。すなわち、周辺視は、運動知覚を介し、空間座標を形成するための身体の安定性を保つと予想される。

これらの知見から、周辺視の運動知覚の特性を知ることが、視覚世界の安定性の脳内機序の解明への1つの重要なアプローチになると考えた。

そこで、本研究では、カーブボール錯視という、周辺視における劇的な運動知覚の変調現象に注目することにした (curveball illusion; Shapiro et al., 2010)。この錯視では、コンピュータ画面上をボールが垂直に等速で落下するが、その内側に描かれた縦縞が左(右)方向に動く。これを中心視で見ると単にボールが垂直に落下するが、周辺視では、落下の途中で大きく左(右)にカーブして知覚される (図1)。

この現象について、発見者の Shapiro らは、ボール内の縞模様の動き (local な運動) は、1次運動であり、ボールの垂直な落下運動 (global な動き) は2次運動に対応し、中心視ではこれらが別々に処理されるため、左回転しながら垂直落下するボールはそのまま垂直に落下するよう知覚されるが、周辺視では統合されて処理されるため、左下(右下)方向にカーブして知覚される、と説明している (Shapiro et al., 2011)。

しかしながら、この周辺視特有の「奇異な」運動知覚の現象は、周辺視は運動知覚を介し、空間座標を形成するための身体の安定性を保つという観点からは、真逆の現象のように思える。加えて、運動知覚の感度は中心視よりも周辺視の方が高いにもかかわらず、これらの周辺視での劇的な運動知覚の現象は、日常自覚されることはなく、視覚世界は安定に保たれている。そこで本研究では、この現象の生じる要因を探ることで、視覚安定性の問題に接近する。

2. 研究の目的

我々が自由に動き回っても、視覚世界における背景の中の対象の位置や動きは、常に安定に知覚される。このとき脳でなされる座標変換処理の基本となる空間座標系を形成するメカニズムの一端として、周辺視における運動知覚に注目する。周辺視は身体位置の制御に関与しているという知見がある一方で、周辺視野での運動知覚は、様々な要因により劇的に変調されることが示されている。本研究では、周辺視の運動知覚が空間座標系を形成する役割を担っているという仮説の検証を目的とし、周辺視における劇的な運動知覚の変調現象に注目し、これが起こる要因を探ることで、視覚世界の安定性の問題に迫る。

3. 研究の方法

本研究では3種類の実験を行なった。

(1) 実験1: 周辺視運動知覚における主観的時間

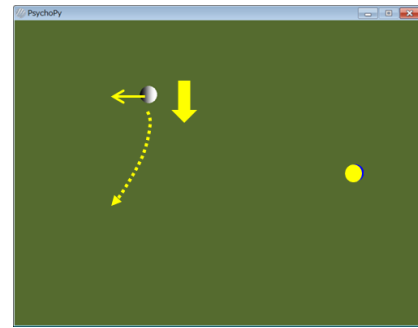


図1 カーブボール錯視
垂直に落下する縦縞模様のボールが左方向に回転している場合、周辺視ではボール自体が左下方方向にカーブしながら落下するよう知覚される(右の丸は固視点)。

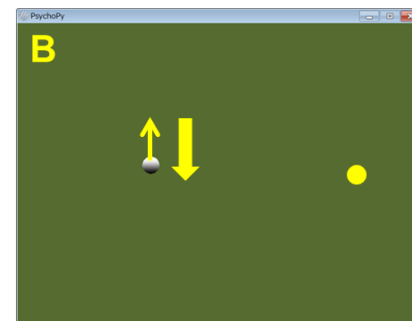
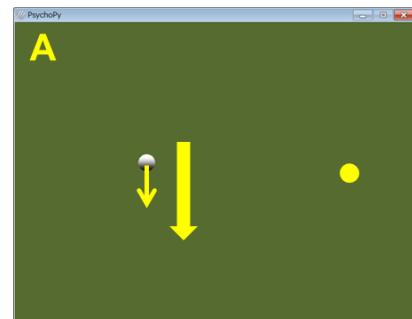


図2 周辺視の運動知覚
周辺視では、(A)落下するボールの横縞模様の動きが落下方向と同じ向きであれば、速く落下するよう知覚し、(B)逆向きであれば、遅く落下するよう近くなる。

第一は、カーブボール錯視を利用した、周辺視で見た運動体の主観的時間知覚に関するものである。ボールの縞模様を縦縞ではなく横縞にして、ボールの回転方向を上または下方向にしてみたところ、周辺視では、回転（縞の動き）が、ボールの落下方向と同じ（逆）であれば、より速（遅）く落下するよう知覚する現象を見つけた（図2）。このボール内の縞の局所的（local）な動きと、ボール自体の全体的（global）な動きの方向との組み合わせにより、ボールが実際よりも速く（遅く）動くように知覚する現象に注目し、周辺視野の物体の運動の主観的知覚のされ方を、参照音の長さと比較することにより、定量化した。

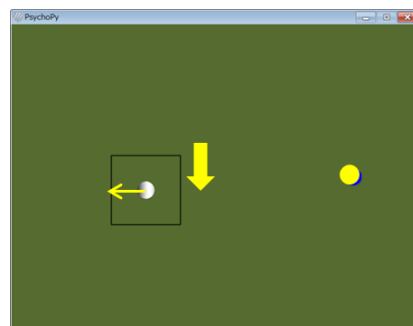


図3 周辺視における1次運動と2次運動の統合要因
落下するボールを囲む枠の出現により、錯視が消失する

(2) 実験2：周辺視における1次運動と2次運動の統合要因

周辺視で知覚されるカーブボール錯視は、単に、localな1次運動とglobalな2次運動が統合処理されて現れるのだろうか。

我々は落下するボールを枠の中心に来るように囲むことにより、周辺視でのカーブ錯視効果に変調されるかどうかを調べた（図3）。枠で囲まれていてもボールの回転というlocalな運動の存在は変わらないので、枠が統合処理に影響を与えないならば、ボールはカーブしていき枠から外へはみ出すと予想される。あるいは、枠内でのみカーブをし、後は縁に張り付いたまま落下する可能性もある。

(3) 実験3：周辺視における運動体の定位

周辺視でのカーブボール錯視により、画面上のボールの位置が実際とは異なる位置に定位されることになる。この周辺視での運動物体の位置の定位は、（1次、2次運動の）統合の後に起きるのだろうか。前に起こるのであろうか。また、この統合は知覚系だけではなく行動系にも及ぶのだろうか。これらを調べるために、実験1の周辺視運動知覚における主観的時間の実験に、フラッシュ・ラグ効果実験を組み合わせた。ここでは落下するボールの横にフラッシュ刺激を提示し、その知覚位置を行動で指し示して答えさせ、実際の提示位置との差（ラグ）を計測した。

4. 研究成果

(1) 実験1：周辺視運動知覚における主観的時間。

健常被験者27名に対し実施した。ボールの回転方向がボールの落下方向と同じForward条件（図2A）、回転が逆方向のBackward条件（図2B）、無回転のStay条件の試行を疑似ランダムに行なった。各試行では、

まず、図4Aの様に、落下する無回転のボールが2つの水平ライン間を通る間に鳴る参照音（beep）の長さを記憶し、次に、beep音なしで、3条件のうちの1つの条件で落下するボールが2つのラインの間を通る時間と先の参照音の長さの大小を判断し、ボタン押しで、長かった（slower）か短かったか（faster）を答えた。これにより、ボールが無回転のStay条件に比べ、落下方向と同じ方向の回転の条件（Forward）の方が落下が主観的に速く知覚された。すなわち、逆方向の回転の場合は遅く知覚された。周辺視で、ボール内の縞の局所的（local）な動きと、ボール自体の全体的（global）な動きが統合されて運動体の主観的時間が知覚される度合いが定量的にとらえられた（図4B）。

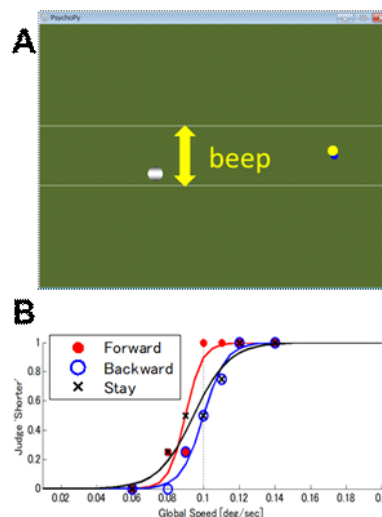


図4 周辺視における主観的時間
(A) 水平ライン間を無回転ボールが落下している間鳴るbeep長さを参照として記憶する。(B)さまざまな物理的な落下速度（横軸 deg/s）に対し、落下するボールが水平ライン間を通過する時間が参照音の長さより短いと答えた率。

(2) 実験2：周辺視における1次運動と2次運動の統合要因

図1のように、周辺視において、左回転しながら垂直落下するボールが、周辺視では左にカーブするよう知覚される通常の錯視条件(「枠なし」)に加え、落下するボールを囲む枠を付ける条件を2条件、すなわち、ボールが落下している間終始付く条件(「終始枠あり」)と、ボールが画面の下半分の位置まで落下してから付く条件(「途中から枠あり」)とを設定した(図3)。結果は、「終始枠あり」条件では、ボールがカーブする錯視は現れなかった。一方、「途中から枠あり」条件では、枠が現れる前はカーブして知覚されていたボールが、枠が現れるやいなやボールが枠の中心位置に戻り、枠とともにまっすぐ落下した。すなわち、周辺視で知覚されるカーブボール錯視は、ボールを囲む枠により、ボール内の縞模様の local な1次運動とボールの落下の global な2次運動との統合を妨げたことになる。

(3) 実験3: 周辺視における運動体の定位

実験1の周辺視運動知覚における主観的時間の実験にフラッシュ・ラグ効果実験を組み合わせ、枠ありと枠なしの条件で行った。ここでは落下するボールの横にフラッシュ刺激を提示し(図5A、提示位置は疑似ランダム)、その知覚位置をマウスカーソルで答えさせ、実際の提示位置との差(ラグ: Error)を計測した。

「枠なし」の場合(図5Bの左側)、ボールの回転がない Stay 条件の Error(ラグ)に比べ、速く落下するように知覚する Forward 条件ではより大きく、逆にゆっくり落下するように知覚する Backward 条件ではより小さかった。このことは、周辺視における運動体の空間定位は、local の1次運動と global の2次運動の統合の後に起きることを示している。一方、「枠あり」の場合(図5Bの右側)、ラグは回転方向の3条件とも差が見られなかった。これは「枠あり」の場合は、定位は local の1次運動と独立に行われることを示している。ここで、いずれも「枠なし」の場合の Stay 条件よりも小さかったことは、Stay 条件でも横縞模様はあるため、動くことで1次運動の成分が存在し、それが枠がないために2次運動成分と統合が起こる可能性が考えられる。

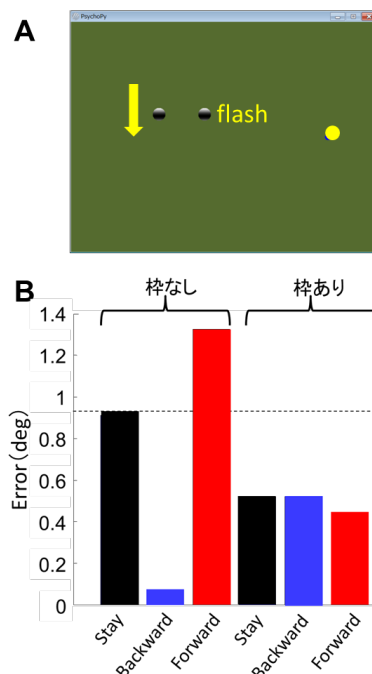


図5 周辺視における運動体の定位 (A) ボールの落下中、ある時点で一瞬2つめのボールがフラッシュする。図はフラッシュの瞬間を示す。(左のボールが落下、右がフラッシュ)。 (B) 各条件でのフラッシュ・ラグ(Error)。

< 引用文献 >

- Takahashi et al., Neural Correlates of Tactile Temporal-Order Judgment in Humans: an fMRI Study, *Cerebral Cortex* August 23: 1952–1964 (2013).
 Bessou et al., Specificity of the monocular crescents of the visual field in postural control, *C R Acad Sci III. Sep*; 322(9):749-57 (1999).
 Palmer and Rosa, A distinct anatomical network of cortical areas for analysis of motion in far peripheral vision, *Eur J Neurosci. Oct*; 24(8): 2389-405 (2006).
 Shapiro et al., Transitions between Central and Peripheral Vision Create Spatial/Temporal Distortions: A Hypothesis Concerning the Perceived Break of the Curveball, *PLoSOne*, October 13 (2010).
 Shapiro et al., A First- and Second-Order Motion Energy Analysis of Peripheral Motion Illusions Leads to Further Evidence of “Feature Blur” in Peripheral Vision, April 29, 2011 (2011).

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計4件)

- Jo T, Yoshimi K, Takahashi T, Oyama G, Hattori N, Dual use of rectangular and triangular waveforms in voltammetry using a carbon fiber microelectrode to differentiate norepinephrine from dopamine, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 査読あり, Volume 802, 1 October 2017, Pages 1-7, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2017.08.037>.
Takahashi T & Kitazawa S, Modulation of Illusory Reversal in Tactile Temporal Order by the Phase of Posterior α Rhythm, *Journal of Neuroscience*, 査読あり, May 24, 2017, 37(21):5298–5308, DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2899-15.2017>.

Takahashi T, Takikawa Y & Kawagoe R, Differences in the Pulsatile Component of the Skin Hemodynamic Response to Verbal Fluency Tasks in the Forehead and the Fingertip, Scientific Reports, 査読あり, 2016, 6: 20978, DOI: 10.1038/srep20978 (2016).

Ohmae S, Takahashi T, Lu X, Nishimori Y, Kodaka Y, Takashima I, Kitazawa S, Decoding the timing and target locations of saccadic eye movements from neuronal activity in macaque oculomotor areas, Journal of Neural Engineering, 査読あり, Jun;12(3), 2015:036014, DOI: 10.1088/1741-2560/12/3/036014.

〔学会発表〕(計 1 件)

Takahashi T & Kitazawa S, Reversal of tactile temporal order judgment correlates with the phase of posterior alpha rhythm, Society for Neuroscience, 2016, San Diego, US, Program No. 85.24/HHH9, 2016.11

〔図書〕(計 0 件)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。