

機関番号：13904

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21730592

研究課題名（和文） 視覚と前庭感覚のオンライン制御による知覚・行動連関の解明

研究課題名（英文） Perception-action interaction investigated by on-line control of visual and galvanic vestibular stimulations

研究代表者

北崎 充晃 (KITAZAKI MICHITERU)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90292739

研究成果の概要（和文）：

ヒトが歩いたり姿勢を制御する時に利用する視覚情報と前庭情報について、ヒトとの動きに応じてオンラインで制御を加え、歩行や姿勢制御がどのように変化するかを調べ、また長期順応によってそれがどのように変化するかを調べた。その結果、視覚と前庭感覚にそれぞれ異なる重みをかけて加算した結果が歩行・姿勢の制御に利用されていることを定量的に明らかにした。そして、その重み付けが個人によって大きく異なること、自らの運動と連動した情報操作への長期暴露・順応によってその重み付けが変化しうることを示した。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study was to investigate effects of on-line modulation of visual and/or vestibular stimulations on human walking and postural control, and to see plasticity of human control of posture by adapting to visual and vestibular on-line modulations. We found that human control of posture and walking can be quantitatively modeled by a weak fusion of weighted linear summation of visual and vestibular information. The weights for vision and vestibular sense were different for individuals and could be changed into the direction of long-term adaptation of visual or vestibular on-line modulation with voluntary movements.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：自己運動知覚，姿勢制御，視覚，前庭感覚

## 1. 研究開始当初の背景

知覚研究の大きな流れとして、単一モダリティ研究から複合モダリティ研究への流れがある。古くは腹話術効果（視覚による聴覚定位の捕捉）があり、ダブルフラッシュ錯視（聴覚による視覚時間特性の捕捉；Shams, Kamitani & Shimojo, Nature 2000）やラバーハンド錯視（視・触覚による体性感覚の捕捉, Botvinick & Cohen, Nature 1998）など強固なクロスモーダル知覚現象が報告され、生理学的にも比較的初期の皮質において感覚の複合・融合処理が行われていることが報告されている（Macaluso, Frith & Driver, Science 2001）。そして、複数モダリティの融合をベイズ理論と線形加算モデルでシンプルに説明する試みがある（Ernst & Banks, Nature 2002）。これらは、より一般的で生態学的に自然な状況におけるヒトの知覚を解明しようという要求に基づいている。

本研究では、人が姿勢の制御や歩行の制御に用いている視覚情報と前庭感覚情報に焦点を当て、その複合感覚統合メカニズムを明らかにすることを目的とする（図1）。

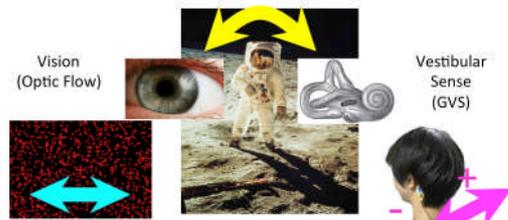


図1 本研究が対象とする視覚情報と前庭感覚による姿勢制御

これまでの我々の研究により、視覚情報と前庭感覚情報が異なる時間特性（潜時）を持って線形加算され、それぞれのモダリティの重みには個人差が大きいことが分かった。そこで、次に目指すべきは、さらにダイナミックな複合感覚からの自己運動知覚・行動制御の研究であり、身体運動に応じて変化する視覚情報と前庭感覚情報が、自己運動知覚・行動制御をいかに変えるかを明らかにする。

## 2. 研究の目的

視覚および前庭感覚からの自己運動知覚・行動制御について、ベイズ理論と線形加算モデルによる説明を目的とする。具体的には、実験参加者の身体運動をモニタし、それに連動してオンラインで視覚刺激と電気前庭刺激を制御する。これによって、知覚しつつ行動している時のダイナミックな知覚・行動連関を扱うことが可能となる。解明すべき問題は、以下である。(a) 視覚情報および前庭感覚情報にどのような重み付けをして線形加算するのか。(b) 特にオンラインで身体行動と知覚入力（視覚、前庭感覚）を操作したときに、重み付けは変化するのか（可塑

性）、変化するならそのタイムコースはどうか。(c) 身体運動に連動した視覚・前庭感覚情報のオンライン制御によって、重み付けを変化させることができるか。それはどのような条件か。

## 3. 研究の方法

身体運動をモニタし、それに連動してオンラインで視覚刺激および電気前庭刺激を制御する実験システムを構築する。それを用いて、自己運動感覚（ベクシオン）、立位時の姿勢制御、歩行時の進路変化、進行方向知覚（ヘディング）、および進行方向操作（車のステアリング）を対象課題として、視覚情報および前庭感覚情報の重み付け線形加算モデルの妥当性を検討する。身体運動の途中に介入制御を行い、フィードフォワード制御とフィードバック制御の重み付け線形加算モデルの妥当性の検討をベイズ理論による推定とともに行う。このようにして、ダイナミックな知覚・行動連関を実証的に解明する。

### (1) 身体連動オンライン視覚刺激・電気前庭刺激制御システム構築

身体運動をモニタし、それに連動してオンラインで視覚刺激および電気前庭刺激を制御する実験システムを構築する。視覚刺激は、大型スクリーン（120インチ）あるいはCRTディスプレイに提示し、電気前庭刺激は、DAボードから使い捨て電極を介して両耳裏の乳様突起に与える。磁気式の三次元位置方位計測センサを身体各部に装着し、一台のコンピュータで処理し、電気前庭刺激および視覚刺激をオンラインで制御する。身体運動計測、視覚刺激提示、および電気前庭刺激提示を全て60Hzで更新し、時間遅れは1/60s(16.67ms)以内に収める。

### (2) 視覚情報および前庭感覚情報の重み付け線形加算モデルの検討

ベクシオン、立位時の姿勢制御、歩行時の進路変化、および進行方向知覚を対象として、身体運動のオンセット（始まり）との同期や身体運動との連続的同期によって、視覚刺激あるいは電気前庭刺激を操作した実験を行い、視覚と前庭感覚の重みを算出する。そして、フィードフォワード制御とフィードバック制御の重み付け線形加算モデルを検証する。

### (3) フィードフォワード制御とフィードバック制御の線形加算モデルの可塑性検討

身体運動に連動してオンラインで視覚刺激・電気前庭刺激に介入制御を行い、重み付けを変化させることができるか、それはベイズ理論からの推定と一致するかを検討する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 身体連動オンライン視覚刺激・電気前庭刺激制御システム構築

高速なコンピュータ、磁気式 3D トラッカー、および高時間解像度の AD/DA ボードを組み合わせ、VisualC、OpenGL、GLUT とマルチスレッド・プログラミングによって、システムを構築した (図 2)。

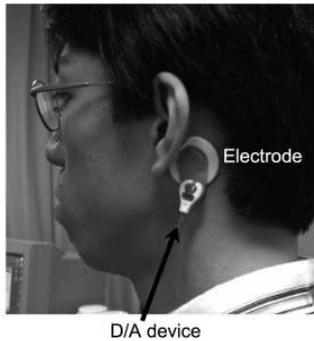


図 2 歩行経路計測実験の装置と様子。頭部のバンドに磁気式 3D トラッカーが装着され、頭部位置を計測しながら、オンラインで電気前庭刺激を両耳後ろの乳様突起に与える。正面スクリーンにもオンラインで制御される視覚刺激が提示された。

##### (2) 視覚情報および前庭感覚情報の重み付け線形加算モデルの検討

ベクシオン、立位時の姿勢制御、歩行時の進路変化、進行方向知覚について、視覚刺激と電気前庭刺激を同時提示し、知覚と行動を計測した。その結果、ベクシオンについては電気前庭感覚刺激の影響が全く生じなかった。このことからベクシオンが純粋に視覚のみに依存していることが示された。進行方向知覚については、定性的な影響が観察されたが、定量的にはモデルにフィットしなかった。これは、前庭感覚の時定数が大きく、進行方向知覚で必要とする時間解像度と乖離しているために影響が限定的であることを示唆している。

姿勢制御および歩行方向の知覚については、定量的な線形加算モデルのフィッティン

グが可能であった (図 3, 4)。視覚が電気前庭刺激よりも先に提示される時には、時定数が視覚の方が前庭感覚よりも早いことから、視覚と前庭感覚の乖離が生じる。しかし、その条件でも線形加算モデルが適合できており、フィードフォワード、フィードバック双方で線形加算が行われていることが示唆された。

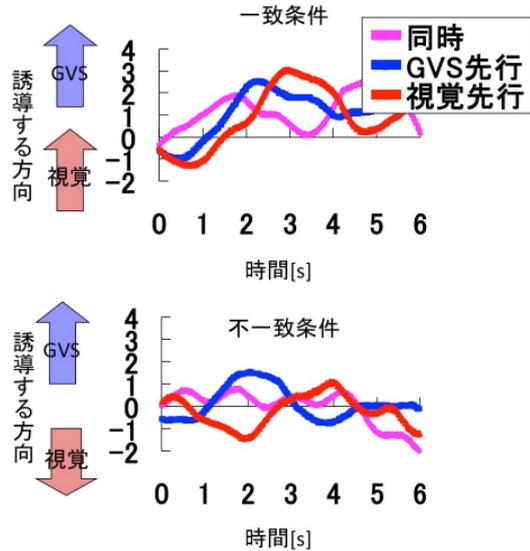


図 3 歩行経路計測実験の結果。視覚刺激と電気前庭刺激 (GVS) を同時、GVS 先行、視覚先行と提示タイミングを操作して提示し、歩行経路を計測した結果、視覚と前庭感覚が逆方向の場合には、相殺され歩行経路のずれが小さくなった。

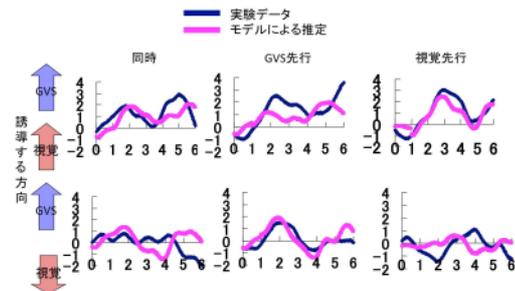


図 4 歩行経路計測実験のモデル・フィッティング。視覚単独、電気前庭刺激単独での歩行経路のずれを個人毎に計測し、そのデータから最適な重み付けでモデル化を行い、推定データを生成した。実験データを非常によく説明した。

##### (3) フィードフォワード制御とフィードバック制御の線形加算モデルの可塑性検討

身体運動に連動してオンラインで視覚刺激・電気前庭刺激に介入制御を行い、重み付けを変化させることができるかを、姿勢制御

について検討した。

視覚あるいは電気前庭感覚による身体動揺を増強する方向に自発的な身体運動に同期してオンラインで刺激を制御し、7日間の順応を行うと、増強した方向に重み付けの変化（可塑性）が生じた（図5、表1）。

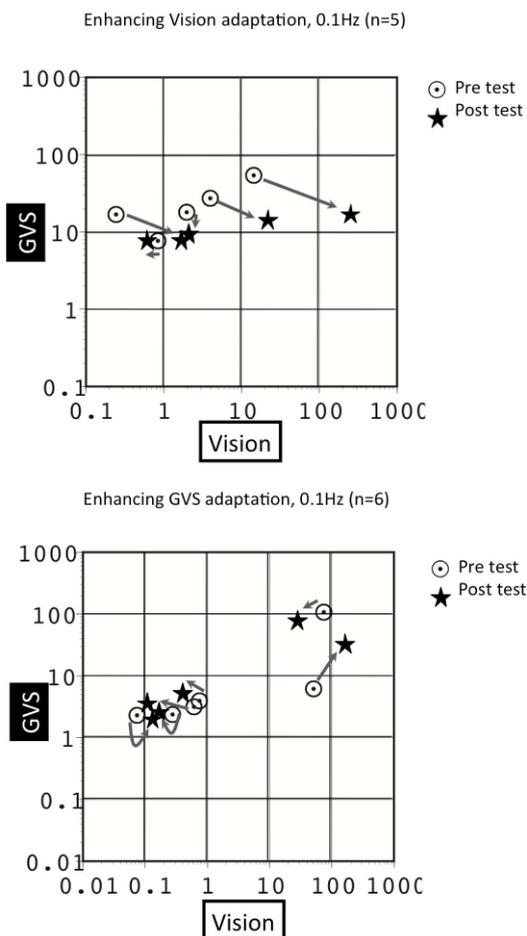


図5 (上) 視覚による身体動揺を増強する刺激を与えた場合の順応による重み付けの変化。(下) 前庭による身体動揺を増強する刺激を与えた場合の順応による重み付けの変化。

表1 視覚と前庭感覚の長期順応による重み付けの可塑性のまとめ。

	[Visual motion]	[GVS]
[Enhanced]	+ Visual sway - GVS sway at low freq.	- Visual sway + GVS sway at low freq.
[Inhibited]	No effect	- Visual + GVS sway at high freq.

ただし、これは低い周波数での運動（ゆっくりした運動）に限定された。また、視覚・前庭感覚を抑制する方向への刺激への順応では効果が得られなかった。

これらの成果は、複数感覚を用いた次世代通信をより効率的に行う方法の提案や、リハビリテーション、障害への補助技術などへの応用が可能である。たとえば、視覚のみならず前庭感覚を通信することで、遠隔地のロボットや他者の身体感覚をリアルに体験することが可能であるが、通信状況により視覚あるいは前庭感覚の情報の精度やSN比が劣化する可能性がある。そのとき、劣化していない感覚を適切な時空間ずれを加えて増強して提示することでリアリティを損なわずに通信できるだろう。前庭感覚に障害があるとまっすぐ立ったり、歩いたりすることが困難になるが、そのときに損なわれていない感覚、たとえば視覚や聴覚による姿勢の情報提示を増強すれば、適切に制御可能となり、またそれを長期的に体験することで、損なわれていない感覚を重視する行動形式が獲得される可能性がある。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計3件）

- (1) Kitazaki, M. and Kimura, T. (2010), Effects of long-term adaptation to sway-yoked visual motion and galvanic vestibular stimulation on visual and vestibular control of posture, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 19(6), 544-556. 査読有り
- (2) 安藤惇, 外山純一, 繁柁博昭, 松寄直幸, 北崎充晃 (2010), 定常視覚誘発電位によるドライビングシミュレータの定量的ステアリング操作, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 15(1), 33-40. 査読有り
- (3) 松寄直幸, 原澤賢充, 繁柁博昭, 森田寿哉, 伊藤崇之, 齊藤隆弘, 佐藤隆夫, 相澤清晴, 北崎充晃 (2010), 能動的観察による映像酔いの低減, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 15(1), 41-44. 査読有り

〔学会発表〕（計9件）

- (1) 北崎充晃 (2010), 表情と音声からのクロスモーダル情動認知, 日本認知科学会冬のシンポジウム, 2010年12月11日, 東京, [招待講演]
- (2) Mizutori, H., Matsuzaki, N. and Kitazaki, M. (2010) Motion sickness

- induced by visual motion and galvanic vestibular stimulation, ASIAGRAPH 2010 in Tokyo, Tokyo, 16<sup>th</sup> October 2010. Proceedings of ASIAGRAPH 2010 in Tokyo, 103-104.
- (3) Yoshida, M., Wakata, K., Matsuzaki, N. and Kitazaki, M. (2010) Driver's gaze control to modulate steering performance in accuracy and workload, Asian-Pacific Conference on Vision, Taipei, Taiwan, 24<sup>th</sup> July 2010. Vision, 22(Supplement), 51.
- (4) Kamatani, Y. and Kitazaki, M. (2010) Spatio-temporal resolution of steady-state visual evoked potentials for a brain-computer interface, Asian-Pacific Conference on Vision, Taipei, Taiwan, 26<sup>th</sup> July 2010. Vision, 22(Supplement), 96.
- (5) Kitazaki, M. (2010) Presence of self-motion: Vection, or action, IMRF (Annual meeting of the International Multisensory Research Forum), Liverpool, UK, 18<sup>th</sup> June 2010. Proceedings of the 11th Meeting of the International Multisensory Research Forum, 66.
- (6) Kitazaki, M., Onimaru, S. and Sato, T. (2010) Vection and action are incompatible, 2nd IEEE VR 2010 Workshop on Perceptual Illusions in Virtual Environments (PIVE 2010), Waltham, MA, USA, 22<sup>th</sup> March 2010. Proceedings of 2nd IEEE VR 2010 Workshop on Perceptual Illusions in Virtual Environments (PIVE 2010), 27-28.
- (7) 北崎充晃 (2010), 複合感覚からの自己運動の知覚と制御, 日本認知科学会「パターン認識と知覚モデル」研究分科会第2回研究会「アクションと知覚」, 2010年3月5日, 東京, [招待講演]
- (8) 北崎充晃 (2009), バーチャルリアリティにおける多感覚研究, 多感覚研究会, 2009年12月16日, 仙台, [招待講演]
- (9) Kitazaki, M., Kimura, T., Inoue, Y., and Matsuzaki, N. (2009) Modification of visual and vestibular control of posture by long-term adaptation to body-movement-yoked visual motion and galvanic vestibular stimulation, JVRC 2009 (2009 Joint Virtual Reality Conference of EGVE - ICAT - EuroVR), Lyon, France, 9<sup>th</sup> December 2009. Virtual Environments 2009 (2009 Joint Virtual Reality Conference of EGVE - ICAT - EuroVR), Hirose, M., Schmalstieg, D., Wingrave, C. A., and Nishimura, K. (eds), pp.137-143. [Best Paper Award Honorable Mention]

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

北崎 充晃 (KITAZAKI, MICHITERU)  
 豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号： 90292739