

機関番号：12301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20591971

研究課題名（和文）だまされる視覚～3次元視覚刺激による空間識の錯乱～

研究課題名（英文）Vision could be fooled: disturbance of spatial perception by three dimensional visual stimulus

## 研究代表者

高橋 克昌 (TAKAHASHI KATSUMASA)

群馬大学・大学院医学系研究科・講師

研究者番号：30326839

研究成果の概要（和文）：めまい感は、視覚、前庭覚、体性感覚いずれかの誤入力によって空間識が破綻して生じると考えられている。視覚の高次中枢であるMST野は、視覚と前庭覚の両方を受け、感覚を統合していることが分かった。MT野は視覚の入力しかなかった。体性感覚の誤入力として、両耳に弱い電流を流したまま足踏みするモデルを考えた。頭部を前屈もしくは後屈し、三半規管の位置を変えると、より体が左右に偏倚することが分かり、ある一つの感覚の異常で、空間識全体が破綻しうることを示した。

研究成果の概要（英文）：The vertigo is thought to be caused by miss-match input of vestibular, visual, and somatic sensation. We revealed that the area MST, which was higher cerebral function of visual, received and integrated both vestibular and visual input. The area MT only received visual input. As to miss-match input of somatic sensation, we evaluated the model of stepping during low current electric stimulation between both ears. Forward or backward flexion of head, which changed the location of semicircular canals, induced more severe horizontal deviation of stepping. Only one miss-match sensation could break down the whole spatial perception.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,800,000	1,140,000	4,940,000

研究分野：平衡医学

科研費の分科・細目：外科系臨床医学・耳鼻咽喉科学

キーワード：空間識、視覚、前庭覚、錯覚、めまい、MST、平衡障害

## 1. 研究開始当初の背景

めまい感は、各種感覚の誤入力によって、空間識が破綻した際に表出される危険信号と考えられている（神経ミスマッチ仮説：

Reason JT, 1978; Takeda N et.al, 2001)。よって視覚の誤入力によっても、めまい感が生じる。ビルの屋上から遠近距離感のつかめない下の地面を見ることで知覚される「高所めまい」は一例である。しかし臨床の現場で

は、めまい診断は本物（前庭由来）か偽（非前庭）かを鑑別することに執着している。偽（非前庭）めまいは、めまい症（原因不明）や脳循環不全などと表現される。これらの中に、視覚の誤入力によるめまいが、多く含まれるのではないかと疑問が湧く。空間識を形成するためには、視覚と前庭入力の情報、脳内のどこか同じ場所に集められて、処理されなくてはならないが、その場所はいまだ分かっていない。

## 2. 研究の目的

- 1) 視覚、前庭、眼球運動の3つの感覚統合があるMT/MST領域は、空間識の中心的役割を担うと考えられており、実験動物を用い、空間識に関わる大脳領域を明らかにする。
- 2) 非生理的な視覚刺激、体性感覚刺激を加えると、空間識に錯乱をきたすかヒト健常者を対象に検討する。

## 3. 研究の方法

### 1) 視覚と前庭感覚との統合

実験用サルをコンピュータ制御で三次元のあらゆる方向に動く台の上に固定した。眼前には視野角90度をカバーするスクリーンを置き、運動視覚刺激や、滑動性眼球運動刺激を提示した。各種刺激は現実世界と合致する方向を正しい方向と位置づけた。例えば、体が右回転するときは周囲の景色は左に流れ、眼球も前庭動眼反射のため左回転する。頭蓋骨に開けた穴からタングステン針を刺入し、MST/MTニューロンの単一記録を行いつつ、上記3つの感覚刺激を単独、あるいは組み合わせて提示した。ニューロンの発火率を解析し、至適運動方向を計算した。

### 2) 電気刺激と視覚刺激による錯乱

電気刺激として、両耳後部に心電図用電極を貼り、1mA以下の直流電流を通電した。電流量は痛みを感じない強さ（痛み閾値以下）で、最大でも1mAとした。被検者全員が1mAでは痛み閾値以下であった。通電中は遮眼で50歩の足踏み歩行を負荷した。頸を曲げない、前屈の2つの条件を、左右耳の陽極を交互に記録した。頭、手、腰に反射マーカを貼り、運動解析システム（VICON社）で記録したマーカの3次元位置情報から、足踏み前後の体の偏倚角度を計算した。

視覚刺激として、ドーム型スクリーンとリア投影のプロジェクター、頭部固定台を組み合わせさせた。周辺視野150度程度をカバーし、より没入感が得る擬似空間を作りだした。めまい感を定量的に測定するため、眼球運動をVideo-Oculographyで記録した。めまい感を知覚する時に生じる僅かな眼球偏位を、記録するため、従来は60Hz（1秒間に60枚の静止画）で構成される動画を、154Hzの高速で記録できるよう改良を加えた。

## 4. 研究成果

### 1) 視覚と前庭感覚との統合

各種刺激を与えたときのMSTニューロンの発火率から、至適運動方向をコンピュータにて計算し、刺激毎に比較検討した。

前庭と視覚：直線運動では、前庭刺激と視覚刺激とは現実世界に合致する方向が至適だった。例えば、あるニューロンは前進する前庭刺激と後退する視覚刺激の時に発火し、両者は反対方向だった。対して、回転運動では両者の刺激方向は現実世界に全く合致せず、正反対だった。例えば、右回転の前庭刺激と右回転の視覚刺激の時に発火した。

視覚と眼球運動：現実世界と合致し、両者は反対方向に至適な運動方向を持っていた。

前庭と眼球運動:前庭動眼反射を忠実に再現し、反対方向に至適だった (図1)。

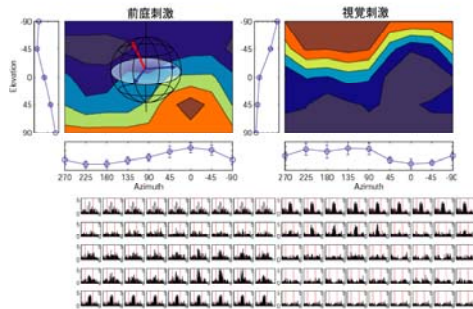


図1 MSTニューロンの反応

次にMTニューロンについてMSTと同様に検討した。結果、前庭と視覚刺激の組み合わせで、弱いながらも前庭感覚の入力が疑われた(図2)。しかし、眼前の注視点を消して全くの暗闇で前庭刺激を加えるとニューロンの反応が完全に消失したことから、網膜上の僅かな注視点の動きに鋭敏に反応(Retinal slip)した結果と思われる、MTには前庭入力は達していないと考えられた。

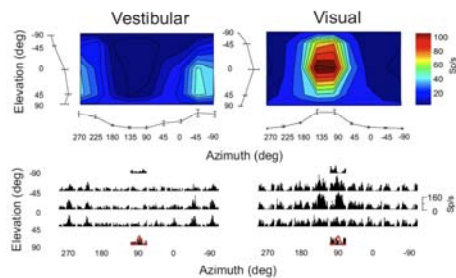


図2 MTニューロンの反応

視覚情報は後頭葉の視覚第一次中枢に達した後、二つの経路に分かれ、一つは形や色の認知を(what経路)、もう一つは位置や動きの認知を(where経路)司る。動きの認知の最高中枢がV5、またはMST領域/MT領域と呼ばれ、頭頂連合野に存在する。両者の領域とも、動く視覚刺激(運動視覚)に反応するが、

MTのニューロンは狭い視野に反応し、MSTは広い視野に反応し、MTが収束してMSTに至ると考えられている。MTは視覚のみにしか反応せず、MSTになって初めて、視覚も前庭覚をも認知する結果は、空間識には広い視野の動きが必要である点からも、矛盾がない。前庭入力をうける中枢の領域は数多く報告されているが、視覚と前庭覚の両方を認知している領域は、MSTにおいて他にはなく、空間識の認知にMSTが大きな役割を果たしていると推測される。

直線運動と回転運動では、ニューロンの振る舞いが異なることが示唆された。直線運動は、すなわち前進後退や上下左右へ直線的に動き、眼球の偏倚は僅かである。対して、回転運動では、前庭動眼反射から眼球は体の動きと正反対の方向に動くことが決められている。網膜上での結像を考えると、眼球の動く方向と視野の動く方向も正反対が自然である。前庭-眼球運動は正反対(現実世界と合致)方向、視覚-眼球運動も正反対(現実と合致)方向なので、残った前庭-視覚の運動が現実世界と合致すると矛盾が生じる。矛盾を解決するためには、前庭と視覚とは直接的な結びつきがなく、眼球運動を介して各々の至適方向が決められると思われる。

## 2) 電気刺激と視覚刺激による錯乱

電気刺激は、被検者が前方を向いた状態で通電しても、足踏み歩行による偏倚は見られなかったが、頸を前屈しつつ歩行すると、陽極側に体が回転した(図3)。健常被検者21名の平均値では、刺激なしで右へ22.1度、右耳陽極で右へ164.1度、左耳陽極で左へ218.4度であった(図4)。統計学的に群間比較を行い有意差があった(ANOVA,  $p < 0.01$ )。電流を強くすると、より偏倚角度が大きくなる傾向にあった。

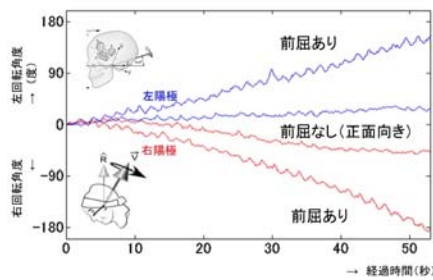


図3 電流通電下での足踏みの一例

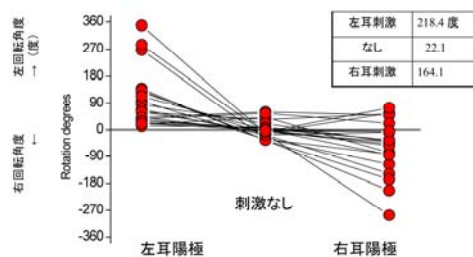


図4 足踏みによる偏倚角度

左右両耳間の直流電気刺激で、各半規管の合力は、頭後方上 18 度を軸とする回転感覚とされている。頸の前屈で回転軸が鉛直上を向き、足踏み下で回転しやすくなると考えられる。今まで、直流電流刺激下での重心動揺についての研究は多く存在したが、頸を前屈して行った報告はない。前屈すると回転軸が上を向き、回転感覚がより強くなるとする理論は、今回の実験で確かめられた。しかし、電気刺激を左右の三半規管の合力のみで考えることには疑問が残る。耳石器や前庭神経自体の刺激も想定され、機序については今後の更なる研究が必要と思われた。

視覚刺激としては、ランダムドットが直線運動（上下左右）、回転運動（左右回り）を繰り返すもので、刺激呈示の間、眼球運動を記録した。視覚刺激と反対方向への眼球偏位が生じた後に、眼球は停止し、直後にめまい

感を自覚した。繰り返し刺激を続けると数秒でめまい感は消失し、再び反対方向に眼球は動き出すも、刺激を注視する集中力がなくなると、眼球運動もめまい感も停止した。注視を呼びかけて注意を促すと、繰り返す反対方向への眼球偏位と数秒のめまい感を反復した。視野中央に静止して動かない注視点（1度の赤色点）を投影すると、眼球偏位もめまい感も生じなかった。周辺視野に注意を払わず、正面の注視点のみに意識を集中すると視運動刺激によるめまい感は弱く、予告なくいきなり周囲の視野が動いたとき、強いめまい感が惹起された。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計6件）

①岡宮智史, 高橋克昌, 古屋信彦: 【危険な頭痛とめまいの診療】めまいの緊急検査と処置. 臨牀と研究 査読なし 2010;87:1066-1072.

②Chowdhury SA, Takahashi K, DeAngelis GC, Angelaki DE: Does the middle temporal area carry vestibular signals related to self-motion? J Neurosci 査読あり 2009;29:12020-12030.

③渡辺行雄, 池園哲郎, 伊藤壽一, 柿木章伸, 肥塚泉, 鈴木衛, 高橋克昌, 工田昌也, 武田憲昭, 土井勝美, 山下裕司, 青木光広, 宇佐美真一, 高橋正紘, 長沼英明, 厚生労働省難治性疾患克服研究事業前庭機能異常に関する調査研究班: メニエール病診断基準. Equilibrium Research 査読あり 2009;68:103-106.

④古屋信彦, 高橋克昌, 宮下元明, 高安幸弘: 急性めまいの考え方・取り扱い方. 耳

鼻咽喉科・頭頸部外科 査読なし  
2009;81:803-811.

⑤Chen A, Gu Y, Takahashi K, Angelaki DE, Deangelis GC: Clustering of self-motion selectivity and visual response properties in macaque area mstd. J Neurophysiol 査読あり  
2008;100:2669-2683.

⑥古屋信彦, 高橋克昌: ENG の基本的手技と日常でよく見られる眼振. 日本耳鼻咽喉科学会会報 査読なし 2008;111:498-501.

[学会発表] (計6件)

① 高橋克昌、めまいと周辺疾患、第10回群馬めまい研究会、2011. 3. 10、群馬ロイヤルホテル (群馬県)

② 高橋克昌、視運動性眼振による前庭機能左右差の検出、第69回日本めまい平衡医学会学術総会、2010. 11. 18、国際会議場(京都府)

③ 高橋克昌、平衡障害を伴う両側急性高度感音難聴の2症例、第9回群馬めまい研究会、2010. 4. 13、群馬ロイヤルホテル (群馬県)

④ 高橋克昌、めまい患者の受診動向について、第68回日本めまい平衡医学会総会、2009. 11. 26、ホテルクレメント徳島 (徳島県)

⑤ 高橋克昌、歩行中の電流刺激による回転感覚、第67回日本めまい平衡医学会総会、2008. 10. 30、秋田ビューホテル (秋田県)

⑥ 高橋克昌、前庭刺激と視覚刺激の頭頂連合野における感覚統合、第109回日本耳鼻咽喉科学会総会、2008. 5. 15、国際会議場 (大阪府)

[図書] (計2件)

① 渡辺行雄、高橋克昌 他、金原出版、メニエール病診療ガイドライン、2011、83

② 高橋克昌 他、金原出版、めまいと平衡障害 第8章 平衡感覚と視床ならびに前庭皮質、内野善生・古屋信彦 編、2010、181

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高橋 克昌 (TAKAHASHI KATSUMASA)  
群馬大学・大学院医学系研究科・講師  
研究者番号：30326839

### (2) 研究分担者

古屋 信彦 (FURUYA NOBUHIKO)  
群馬大学・大学院医学系研究科・教授  
研究者番号：80107606

岡宮 智史 (OKAMIYA TOMOHUMI)  
群馬大学・医学部・助教  
研究者番号：70455963

島田 哲明 (SHIMADA TETSUAKI)  
群馬大学・医学部・助教  
研究者番号：80455964

村田 孝啓 (MURATA TAKAAKI)  
群馬大学・医学部・助教  
研究者番号：10569875