18. Vection の現象学

飯田 政弘

Vection

Masahiro Iida

Department of Otolaryngology, Tokai University School of Medicine

Vection is similar to self-motion perception, which may be induced by the stabilizing sensory systems: visual, vestibular, and somatosensory. Vection is a common visual illusion from which inferences concerning visual-vestibular interaction may be drawn. There are three kinds of vection: circular vection, roll vection, and linear vection. Circular vection may be caused by the mismatch of the vision-horizontal semicircular canals, roll vection by that of the vision-vertical semicircular canals-otoliths, and linear vection by that of the vision-otoliths. It has been argued that the vestibular nuclei serve as a switch for the perceptual interpretation of seen motion.

Key words: vection, self-motion perception, circular vection, roll vection, linear vection, visual-vestibular interaction

目 次

1. はじめに
2. vection 研究の流れ
3. vection の発現機序についての研究
4. 垂直半規管と vection
5. まとめ

1. はじめに

vection (ベクション) には適切な日本語訳がない。自己運動知覚や擬似運動感覚が当てはまる。自己が実際に運動していないにも拘わらず、あたかも動いていると感じる受動感覚である。運動知覚には、自身が動くと感じる自己運動知覚 (self-motion perception), 対象物が動くと感じる知覚 (object-motion perception), そして自己ならびに対象物が動くと感じる自覚 (perception of objective motion relative to the observer) がある。vec-

tion は自身が動く感覚の self-motion perception に相当し、左右回転の運動感覚である circular vection, 左右へ傾斜する回旋運動感覚の roll vection, 前後方向への運動感覚の linear vection に大別される¹⁾。

vection は視運動刺激が引金となり、視覚と前庭覚の相互の働き (視覚-前庭相互作用: visual vestibular interaction) により発現すると考えられている²⁾。換言すると、視覚と前庭覚に関係した脳の認知エラーによる移動感覚と表現できる。バーチャルリアリティ (仮想現実) 環境下でより現実感を持たせてくれる感覚が vection であり、バーチャルリアリティ下で発現する動揺病症状や平衡失調を誘発する機序に係わっている³⁾。

本稿では、vection に関係した研究を紹介し、その概念を整理してみたい。また、我々が検討した垂直半規管と vection の関係についても述べる。

2. vection 研究の流れ

vection についての研究は、1970年代初めから本格的に始まった。ヒトに周囲を回転するドラムを注視させると、回転ドラムと逆方向の回転感覚 (circular vection) が誘発される⁴⁾。その感覚は周辺視野刺激により誘発され、視野の大きさに依存することが判明している。それによると、視刺激速度が 90-120°/秒以下の周辺視野刺激で誘発され、誘発されるまでの潜時は5-10秒であった。ちなみに、対象物が動く感覚である object-motion perception は vection が誘発される刺激速度より低速で、中心視野刺激で誘発されやすく、潜時は0-3秒と報告されている。また、回転ドラム上の中央に中心視野刺激をその周囲に周辺視野刺激を別個に負荷する実験で、周辺視野刺激方向と逆向きの中心視野刺激を負荷していなくても、circular vection の方向は常に周辺視野刺激方向と逆向きであった。しかし、眼振方向は中心視野刺激時にはその刺激方向と逆向きに (周辺視野刺激方向に)、刺激のない時は周辺視野刺激方向と逆向きであった。この結果から、vection は眼球運動 (視運動性眼振) とは独立した現象であることが推察された。

その後の研究で、circular vection は中心視野刺激でも誘発され刺激部位に関係しないことが判明している⁵⁾。また、roll vection⁶⁾⁷⁾ や linear vection⁸⁾ も周辺視野刺激で誘発されると考えられていたが、roll vection は黄斑部に限局した視野刺激でも誘発され⁹⁾、linear vection は中心視野刺激でも誘発されることが判った¹⁰⁾。

回転椅子上で回転刺激中に頭位傾斜を行うと circular vection が誘発されるが (前庭性コリオリ効果と呼ばれる)、回転刺激を行わない静止状態で回転ドラムを注視させながら頭位傾斜を行ってもこの現象が誘発される (視性偽コリオリ効果と呼ばれる)¹¹⁾。これらの現象は vection の発現に視覚ならびに前庭が関与することを示している⁴⁾¹¹⁾¹²⁾。なお、視性偽コリオリ効果により誘発される vection は回転ドラム速度 (視運動刺激速度) に正の相関を示して周辺視野刺激で誘発されやすい。前庭性コリオリ効果による vection のほうが視性偽コリオリ効果による vection よりも誘発されやすい。

水平性回転刺激後に頭位傾斜を行うと roll vec-

tion が誘発される (前庭性 Purkinje 効果と呼ばれる)。また、回転椅子に付帯するランダムドットパターンのドームを被検者の視野を被うように設置し、椅子に水平性回転刺激を負荷しながらドームを回旋させると、同じ vection が誘発される (視性偽 Purkinje 効果と呼ばれる)。視性偽コリオリ効果では視覚が水平半規管の働きを代用し、視性偽 Purkinje 効果では視覚が耳石の働きを代用していると推測される¹²⁾。実際に、宇宙飛行士が微小重力環境下で垂直方向の運動感覚 (vertical vection) を知覚しその方向が変化したとの報告もある。このことより、微小重力が vection の発現に関係していることが示唆され、重力感知に働く耳石が vection の発現に関係していることが考えられる¹³⁾。

静止起立して、回旋性視運動刺激を負荷すると、回旋視標と逆方向の roll vection が発現する。この時、回旋視標と逆方向に視性垂直 (subjective visual vertical: SVV) と身体垂直軸も偏倚する。しかし身体垂直軸は最終的に視覚脊髄反射 (visuospinal postural compensation) によって回旋視標と同方向に偏倚することとなる¹⁴⁾。この現象は視覚による重力感受機構と前庭 (耳石) による重力感受機構に不一致 (ミスマッチ) が生じるために誘発されると考えられる。これら一連の現象は、視覚と耳石の相互作用で発現することにほかならない^{15)~17)}。もちろん、重力ベクトルを感受する器官として耳石のほかに身体固有覚も関係するが、耳石に比べその働きは重要ではないことが判っている。

実際の臨床例においても、両側性前庭機能消失例で vection や視性垂直の偏倚が誘発され、視覚入力を遮断するとそれらの現象がより顕著となる¹⁸⁾。また、関節の運動 (身体固有覚) が前庭眼反射を亢進 (眼振の潜時短縮、緩徐相速度の上昇、振幅増大) させ、vection を誘発させる¹²⁾。これらは vection が前庭覚、視覚、身体固有覚などが統合的に働いた結果生ずることを示唆している。

以上をまとめると、circular vection は水平面の回旋性視刺激 (視覚に関わる) と水平性回転刺激中 (水平半規管が刺激を受ける) の頭位傾斜により誘発され、視覚と水平半規管が関係した感覚の不一致によると考えられる。roll vection は回旋性視刺激により誘発され、視覚と耳石と垂直半規

表1 vection の種類とその特徴（文献4より改変引用）

Vectionの種類	視覚刺激条件	発現機序
Circular vection	yaw planeでの回転運動	視覚—水平半規管 不一致
偽コリオリ効果		視覚—水平半規管 不一致
Roll vection	roll planeでの回転運動	視覚—垂直半規管—耳石 不一致
偽Purkinje効果		視覚—水平半規管—耳石 不一致
Linear vection	直線運動	視覚—耳石 不一致

管が関係した感覚の不一致となるために発現すると考えられる（表1）¹⁾²⁾⁴⁾。

3. vection の発現機序についての研究

ヒトに回転ドラムの視運動刺激を負荷して vection を誘発させる実験で、その際に発現する眼振がアカゲザルの内側前庭神経核刺激実験で記録されたニューロン活動が類似していることより、vection を誘発させる視刺激は前庭神経核を経由する神経反射に近いものと考えられ¹⁸⁾、vection が誘発された時に発現する視運動性眼振は前庭反射現象であることが考えられる¹⁹⁾²⁰⁾。

また、ヒトにドラム刺激を加えて誘発される vection とサルに視運動刺激を加えて誘発される視運動性眼振が類似していることから、ヒトの vection 発現機序とサルの視運動性眼振発現機序は同じ責任部位と想像される。これを眼振からとらえると velocity storage となり、運動知覚からとらえると vection となる²⁰⁾²¹⁾。

vection の発現には前庭皮質が中心的役割を果たすとされる。実際に、前庭皮質領域に発症した脳腫瘍患者で、vection は減弱し、その持続時間の短縮が認められたことがその証拠とされる²²⁾。

視運動刺激を介する運動知覚系は、視刺激が前庭神経核に投射し、前庭皮質へと伝わる神経回路の反応であり、視覚—前庭相互作用によって調節されると考えられる¹⁸⁾。この神経回路には慣れの現象 (habituation) があり、繰り返す視運動刺激で vection の継続時間は短縮する傾向がある²³⁾。

視運動刺激は外側膝状体から視覚皮質へ至り前

庭神経核に下降する神経回路に伝わり、前庭神経核のレベルで認知（スイッチオン）されれば vection が発現し、認知されなければ（スイッチオフ）対象物が動く object-motion perception として知覚され则认为られている（図1）¹⁾。また、運動知覚のうち特に速度に関する知覚を調節しているのは、視覚皮質と前庭皮質の皮質レベルでの直接的な相互作用によると考えられている¹⁸⁾。

視運動刺激による vection 発現時の脳活動を PET で検討すると、medial parieto-occipital cortex で興奮性活動が認められ、視覚を介した対象物の動きを認知する middle temporal cortex (MT) や middle superior temporal cortex (MST) では興奮性活動は認められなかった。さらに、medial parieto-occipital cortex の興奮性活動が認められる一方、parieto-insular vestibular cortex は抑制性活動を呈していた²⁴⁾。ほかの PET を用いた検討では、温度刺激により前庭皮質は興奮性活動を呈したが、視覚皮質は抑制性活動を呈した²⁵⁾。このことは、相反性の視覚—前庭相互作用が存在することを示唆している。

また、直線加速度刺激で linear vection が誘発されると、medial parieto-occipital cortex と parieto-insular vestibular cortex はともに興奮性活動を呈することが MEG による検討で判明している²⁶⁾。これらの結果は、vection の種類や刺激方法によって認知皮質が異なる可能性を示唆するものである。

運動知覚	潜時	刺激速度	刺激範囲	刺激ドット数
objective-motion (視標の運動知覚)	0 - 3 s
Mixed objective-self motion (視標と自己の複合した運動知覚)	1 - 10 s	> 90 - 120 °/s
self-motion (自己運動知覚)	from 5 - 10 s onwards	< 90 - 120 °/s

図1 circular vection の特徴 (文献1より改変引用)

4. 垂直半規管と vection

空間識の受容器は耳石系であり、そこから前庭神経、視床、そして前庭皮質へ伝達回路があり空間識の認知機能が完成すると考えている²⁷⁾²⁸⁾。

我々の垂直半規管刺激実験で、一側の後半規管が興奮性反応を呈すると、反対側へ回旋する SVV の偏倚が確認された (表2)²⁹⁾。後半規管性良性発作性頭位めまい症で患側後半規管が興奮性反応

表3 垂直半規管の興奮性と roll vection (後半規管性良性発作性頭位めまい症)

	患側	roll vection
1	右	右向き(時計回り)
2	右	右向き
3	右	右向き
4	左	左向き(反時計回り)
5	左	左向き

表2 垂直半規管の興奮と自覚的視性垂直 (SVV) の偏倚

SVV	右耳向き	左耳向き
右・前半規管	1	1
右・後半規管	0	5
左・前半規管	0	2
左・後半規管	4	1

を呈すると (頭位性めまいがおこる)、患側へ向く roll vection が観察された (表3)。この SVV の偏倚は患側後半規管の興奮性反応で眼球が冠状面 (roll plane) で患側耳と逆方向へ偏位した結果おこったものと考えられ、roll vection は SVV に対する代償反応と考えられた²⁾¹⁴⁾。以上より、vection の発現に垂直半規管が関係していることが推察された。

5. まとめ

vection は受動的な疑似運動感覚や自己運動知

覚とされる。視運動刺激が誘因となり、視覚—前庭相互作用により発現すると考えられている。circular vection は水平性回転性視刺激により誘発され、視覚と水平半規管との相互作用で発現する。roll vection は回旋性視刺激により誘発され、視覚と耳石と垂直半規管との相互作用で発現すると考えられている。vection は視覚と前庭覚に関係した脳の認知エラーによる移動感覚と考えられる。

文 献

- 1) Dichgans J, Brandt T: Visual-Vestibular interaction: effects on self-motion perception and postural control. In eds Held R, Leibowitz HW, Teuber HL. *Handbook of sensory physiology*. pp 754–804, Springer-Verlag, Berlin, 1978
- 2) Brandt T: *Vertigo Its multisensory syndromes*. Springer Verlag, Berlin, 1999
- 3) Kennedy RS, Stanney KM: Postural instability induced by virtual reality exposure: development of a certification protocol. *Int J Hum Comput Interact* 8: 25–47, 1996
- 4) Brandt T, Dichgans J, Koenig E: Differential effects of central versus peripheral vision on egocentric and exocentric motion perception. *Exp Brain Res* 16: 476–491, 1973
- 5) Post RB: Circular vection is independent of stimulus eccentricity. *Perception* 17: 737–744, 1988
- 6) Held R, Dichgans J, Bauer J: Characteristics of moving visual scenes influencing spatial orientation. *Vision Res* 15: 357–365, 1975
- 7) Previc FH, Donnelly M: The effects of visual depth and eccentricity on manual bias, induced motion, and vection. *Perception* 22: 929–945, 1993
- 8) Berthoz A, Pavard B, Young LR: Perception of linear horizontal self-motion induced by peripheral vision (linearvection). Basic characteristics and visual-vestibular interactions. *Exp Brain Res* 23: 471–489, 1975
- 9) Anderson GJ, Braunstein ML: Induced self-motion in central vision. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 11: 122–132, 1985
- 10) Nakamura S, Shimojo S: Stimulus size and eccentricity in visually induced perception of horizontally translational self-motion. *Percept Mot Skills* 87: 659–663, 1998
- 11) Brandt TH, Wist E, Dichgans J: Optische induzierte Pseudo-Coriolis-Effekte und Circularvection: Ein Beitrag zur optische-vestibulären Interaktion. *Arch Psychiat Nervnkr* 214: 365–389, 1971
- 12) Brandt T: Visual vertigo and acrophobia. In eds Dix MR, Hood JD. *Vertigo*. pp 439–466, Wiley, Chichester, 1984
- 13) Mueller C, Kornilova L, Wiest G, et al: Visually induced vertical self-motion sensation is altered in microgravity adaptation. *J Vestib Res* 4: 161–167, 1994
- 14) Dichgans J, Held R, Young LR, et al: Moving visual scenes influence the apparent direction of gravity. *Science* 178: 1217–1219, 1972
- 15) Young LR, Oman CM, Dichgans J: Influence of head orientation on visually induced pitch and roll sensation. *Aviat Space Environ Med* 46: 264–268, 1975
- 16) DiZio P, Li W, Lackner JR, et al: Combined influence of gravito-inertial force level and visual field pitch on visually perceived eye level. *J Vestib Res* 7: 381–392, 1997
- 17) Cheung BS, Howard IP, Nedzelski JM, et al: Circularvection about earth-horizontal axes in bilateral labyrinthine-defective subjects. *Acta Otolaryngol* 108: 336–344, 1989
- 18) Waespe W, Henn V: Neuronal activity in the vestibular nuclei of the alert monkey during vestibular and optokinetic stimulation. *Exp Brain Res* 27: 523–538, 1977
- 19) Raphan T, Cohen B: Velocity storage and the ocular response to multidimensional vestibular stimuli. In eds Berthoz A, Melvill JG. *Adaptive mechanism in gaze control*. pp 123–143, Elsevier, Amsterdam, New York, Oxford, 1985
- 20) Takemori S: The similarities of optokinetic after-nystagmus to the vestibular nystagmus. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 83: 230–238, 1974
- 21) Cohen B, Henn V, Raphan T, et al: Velocity storage, nystagmus, and visual-vestibular interactions in humans. *Ann N Y Acad Sci* 374:

- 421-433, 1981
- 22) Straube A, Brandt T: Importance of the visual and vestibular cortex for self-motion perception in man (circularvection). *Hum Neurobiol* 6: 211-218, 1987
- 23) Pfaltz CR, Kato I: Vestibular habituation: interaction of visual vestibular stimuli. *Arch Otolaryngol* 100: 444-448, 1974
- 24) Brandt T, Bartenstein P, Danek A, et al: Reciprocal inhibitory visual-vestibular interaction. Visual motion stimulation deactivates the parieto-insular vestibular cortex. *Brain* 121: 1749-1758, 1998
- 25) Wenzel R, Bartenstein P, Dieterich M, et al: Deactivation of human visual cortex during involuntary ocular oscillations. A PET activation study. *Brain* 119: 101-110, 1996
- 26) Nishiike S, Nakagawa S, Tonoike M, et al: Information processing of visually-induced apparent self motion in the cortex of humans: analysis with magnetocencephalography. *Acta Otolaryngol Suppl* 545: 113-115, 2001
- 27) Miller EF 2nd, Fregly AR, Graybiel A: Visual horizontal-perception in relation to the otolith-function. *Am J Psychol* 81: 488-496, 1968
- 28) Odkvist LM, Gripmark MA, Larsby B, et al: The subjective horizontal in eccentric rotation influenced by peripheral vestibular lesion. *Acta Otolaryngol* 116: 181-184, 1996
- 29) Iida M, Hitouji K, Takahashi M: Does the vertical semicircular canal influence the subjective visual vertical? *J Gravit Physiol* 7: 87-88, 2000
-
- 原稿到着：平成15年5月19日
別刷請求先：飯田政弘
〒259-1193 神奈川県伊勢原市望星台
東海大学医学部専門診療学系耳鼻咽喉科