

# 解 説

## 視覚誘導自己運動感覚

近江政雄

ヨーク大学心理学科

(1992年5月28日受理)

### Vection

Masao OHMI

Department of Psychology, York University,  
4700 Keele Street, North York, Ontario M3J 1P3, Canada

#### 1. はじめに

「一体この飛行機はどれぐらいの速さで飛んでいるのだろうか」とアーサーは考えた。しかし周りは完全に真っ暗で、速さを判断する基準を見つけることができなかった。運動の感覚が非常に柔らかで弱く、自分が全く動いていないようにすら感じられた。

その時遠くに小さな点が光っているのが見えたかと思うと、あっという間に大きくなった。アーサーはその物体が大変な速さで飛んで来ると思い、どんな飛行機なのだろうかと目を凝らしてみたが、形がわからなかった。突然アーサーの飛行機が機首を鋭く下げ、その物体と衝突するコースを取った。お互いの速度が余りにも速いので、息をつく間もなく衝突が起こるよう思えた。しかし次の瞬間に、アーサーはうすぼんやりとした銀色の幕が飛行機の周りを取り囲んでいるのに気付いた。後ろを振り返ると小さな黒い点が急速に小さくなっていくのが見え、何が起きたのかに彼はやっと気付いた。

アーサーの飛行機は地下トンネルに突っ込んだのだった。光って見えた物体はトンネルの入り口であり、その物凄い速さは飛行機が入り口に近づく速さであった。周りの銀色の幕はトンネルの丸い壁であり、その中を飛行機は時速数百マイルで進んでいるのだった。

アーサーは恐ろしくなって目を閉じた。

しばらくたって飛行機の速度が落ちているのにアーサーは気付き、さらにしばらくたって飛行機が徐々に静止していくのに気付いた。

アーサーは再び目を開けた。飛行機はたくさんのトン

ネルが集まる十字路のようなところをゆっくりと進んでいた。」

(ダグラス アダムス 「銀河系ヒッチハイカーのためのガイドブック」より)

これは、主人公のアーサーが飛行機で地下へ案内される場面である。飛行機が真っ暗な中を一定速度で進んでいた時には、アーサーは自分が動いていることが全くわからなかった。トンネルの入り口に向かって進んでいたのに、何か光っている物体が自分に向かってくると感じた。飛行機がコースを変えたとたんに彼は自分も動いていることに気付いたが、実は動いていたのは自分の飛行機だけだったのだとわかったのは、トンネルの中に入って入り口が遠ざかっていくのを見てからだった。明るいトンネルの中で目を閉じると自分が動いているのを感じなくなつたが、飛行機が減速し始めるとすぐに気付いた。

アーサーは地球人であるから、われわれも同じ状況におかれれば同じような自己運動(self-motion)の感覚をもつはずであるし、実際にこれと似た体験をしたことは誰にでもある。この場面でのアーサーの自己運動感覚は彼自身の実際の運動とは余り良く対応していないが、われわれが日常動き回る時には自分自身の運動と一致した自己運動を常に感じている。この自己運動感覚の違いをもたらしているのは何だろうか。アーサーの体験をたどってみれば、視覚系からの情報が極端に制限されていたことに気付く。暗黒中あるいは目を閉じていて視覚系からの情報がなかった時には、彼はその自己運動の速度の変化を感じても、自己運動の速度そのものを感じることができなかつた。また、視覚系からの情報があつてもそ

これがきわめて単純だった時には、彼は自己は静止している他の物体が動いていると感じた。これに対してわれわれは日常生活では、自分自身の運動に応じて複雑な視覚系への入力が刻々と変化する豊かな視環境の中で生活している。視覚系が自己運動の感覚にとって重要な役割をはたしていることはしたがって自明でもあろうが、そのゆえんを理解するためには自己運動感覚の基本的なメカニズムである耳前庭感覚系(vestibular system)の特性について述べなくてはならない。

## 2. 耳前庭感覚系による自己運動の感覚

太古の水生動物が持っていた、液体の詰まった穴のなかに感覚毛(cilia)に被われた細胞が入っている原始的器官が進化して、われわれの耳前庭感覚系と聴覚系になったといわれている。この原始的器官は外界の変化や自己の運動によって引き起こされる液体の運動に反応する自己運動感覚システムの起源であり、その基本設計はわれわれの耳前庭感覚系にまで受け継がれている。

耳前庭感覚系は内耳にあって三半規管(semicircular canals)と卵形囊(utricle)・迷路小囊(saccule)からなる。半規管は図1に示すように内リンパ液に満たされた円環状の管であり、卵形囊との結合部の一端に感覚上皮(sensory epithelium)を内蔵する膨大部稜(crista ampullaris)がある。感覚上皮は多毛感覚細胞からなり、その毛はすべてゼラチン状の頂上部(cupula)に向かって突き出している。頭部の回転によって引き起こされる内リンパ液の運動が、頂上部の移動を介して多毛感覚細胞を刺激する。頂上部に働く力、すなわち頭部の角加速度 $\alpha$ と内リンパ液・頂上部の慣性 $H$ の積、と頂上部の角変位量 $\theta$ の間には次のような関係がある<sup>1)</sup>。

$$\alpha H = k\theta + rd\theta/dt + Hd^2\theta/dt^2 \quad (1)$$

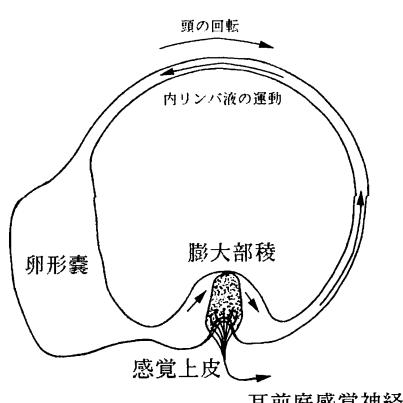


図1 半規管の構造

ここで $k$ は内リンパ液・頂上部の弾性、 $r$ は内リンパ液・頂上部の粘性である。粘性に比べて弾性・慣性は小さいので、(1)式は次のように近似できる。

$$\alpha H = rd\theta/dt \quad (2)$$

(2)式の両辺を積分すれば、頭部の角速度に比例して頂上部が変位することがわかる。すなわち多毛感覚細胞の反応は頭部の角速度に比例しており、半規管は角速度計として機能する。しかし実際に多毛感覚細胞への刺激となっているのは、頭部の角速度ではなく頭部の角加速度である。半規管はその加速度情報を積分することによってはじめて速度を知ることのできる、いわば積分型の角速度計である。

三半規管は互いに直交する水平半規管(horizontal canal)・前半規管(anterior canal)・後半規管(posterior canal)よりなり、図2に示す垂直(yaw)・水平(pitch)・回旋(roll)の三軸のまわりの回転運動に反応することができる。三半規管の第一の反応は自己回転運動の感覚であり、第二の反応は耳前庭眼球反射(VOR: vestibular oculo reflex)である。これは頭部の回転中に網膜像を安定させるために生じる眼球運動で、頭部の回転方向とは逆の方向への追従運動相(slow phase)が、視軸をほぼ正面に戻すための急速運動相(fast phase)によって中断される。半規管は速度ではなく加速度に反応するいわば一過性のシステム(transient system)であるから、これらの反応はわれわれが動き始めたとき・静止したとき・運動の方向を変えたときに生じ、一定速度での運動が続けば消滅する。実際にわれわれが完全暗黒中で受動的に回転する時には、図3に示すように自己運動感覚は角加速度中に増加していくが、回転が一定速度に達してから数秒間以上経つと消滅する。角減速中には角加速度中と逆方向の自己運動感覚が生じ、身体の停止後しばらく経つと消滅する。

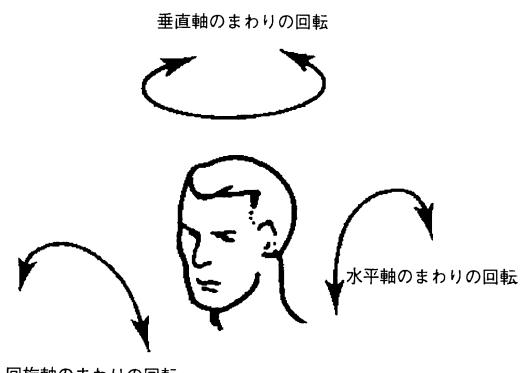


図2 われわれの身体の三つの回転軸

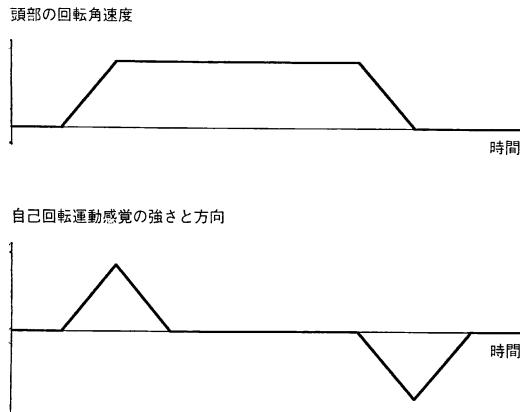


図 3 完全暗黒中での自己運動感覚

卵形囊・迷路小嚢は三半規管の結合部にある内リンパ液に満たされた袋状の腔であり、平衡斑 (macula) と呼ばれる感覺上皮を内蔵している。平衡斑は多毛感覺細胞からなり、その毛はすべて平衡石 (otoliths) と呼ばれる方解石の結晶を含むゼラチン状の液体に向かって突き出している。身体の直線速度の大きさや方向の変化や、頭部の重力に対する傾きによって引き起こされる平衡石の移動が毛感覺細胞を刺激する。半規管と同様、頭部の直線加速度と毛感覺細胞の反応の間に近似的な線形関係があり、卵形囊・迷路小嚢は直線速度計として機能するが、その本態もまた積分型の直線加速度計である。卵形囊はほぼ水平面内、迷路小嚢はほぼ鉛直面内にあって、左右・上下・前後の三方向の直線運動に反応するとともに、重力に対しても反応する。重力に対する反応は持続するが、直線運動に対する反応は一過性であり、一定速度での直線運動を検知することはできない。アーサーが暗黒中で自分自身の運動速度がわからなかつたゆえんはここにある。

耳前庭感覺系が、速度に反応するいわば持続性のシステム (sustained system) ではなく、加速度に反応する一過性のシステムとして設計されたことは、自己運動感覺の基本的メカニズムの構造を簡単化するのに役立ったであろう。下等動物にとって最も重要なのは自分自身の運動の変化に関する情報であり、自分が動き始めたとき・静止したとき・運動の方向を変えたときを教えてくれる耳前庭感覺系は、その基本的要求を十分に満たすことができるシステムである。そして、より高級な自己運動の感覺を必要とするわれわれのような高等動物にとっては、この耳前庭感覺系の“欠陥”は視覚系と身體感覺系 (somatosensory system) によって補われ、われわれは日常の生活において持続した自己運動を感覺すること

が可能になっているのである。

### 3. 視覚系による自己運動の感覺

本解説の主題である視覚系による自己運動の感覺、すなわち視覚誘導自己運動感覚 (vection) は、しばしば錯覚 (illusion) として記述されることがある。しかしながらそれは必ずしも正しい理解とは言えない。前節で述べたように視覚系による自己運動感覚は、身體感覺系によるものとあいまって耳前庭感覺系による一過性の感覺を補い、われわれに持続した自己運動感覚をもたらしている。したがって視覚系による自己運動感覚のシステムは、われわれの自己運動感覚システムの不可欠な部分であり、視覚誘導自己運動感覚は他の二つの感覺系からの情報がない場合の自己運動感覚として位置づけられなくてはならない。

#### 3.1 回転に対する視覚誘導自己運動感覚 (circularvection)

われわれの自己運動には、図 2 に示したように垂直・水平・回旋の三つの回転軸がある。それぞれの回転軸に対して視覚誘導自己運動感覚が存在するわけであるが、今まで最もよく研究されてきたのは垂直軸のまわりの回転に対する視覚誘導自己運動感覚である。これは垂直軸のまわりの回転がわれわれにとってもっとも重要であるからというよりもむしろ、実験装置が作りやすいという実際的理由によるところが大きい。

垂直軸のまわりの回転に対する視覚誘導自己運動感覚の刺激としては、図 4 に示すような被験者の視野を完全におおう回転ドラムが使われる。ドラムが回転し始めるとき、被験者は最初ドラムが回転していると感じるが、数秒経つとドラムの回転についての感覺が弱まり、それと同時に自分自身がドラムと逆方向に回転していると感じ

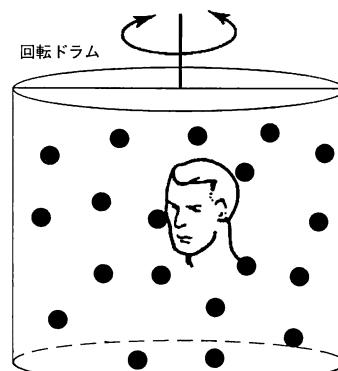


図 4 垂直軸のまわりの回転に対する視覚誘導自己運動感覚の刺激装置

始める。この自己運動感覚はドラムが回転しているかぎり継続し、照明が切られると被験者は自己運動残効 (self-motion after-sensation) を感じる。自己運動感覚の回転速度は刺激の回転速度に依存し、毎秒2度から毎秒100度の範囲では刺激速度と感覚速度の間に線形関係がある<sup>2)</sup>。視覚誘導自己運動を感覚し始めるまでの遅れ時間は刺激の回転加速度の増加につれて減少するが、毎秒毎秒5度以上ではほぼ一定である<sup>3)</sup>。この遅れ時間は、回転が一定速度に達したのちに耳前庭感覚系の反応が消滅するまでの時間とよく一致しており、耳前庭感覚系による情報と視覚系による情報とが補い合ってわれわれの自己運動感覚が生起されていることを意味する<sup>1)</sup>。視覚誘導自己運動残効は、実際に回転した場合と類似していて、まず照明中と同じ方向の陽性残効 (positive after-effect) が感覚され、ついで逆方向の陰性残効 (negative after-effect) が感覚される。これらの自己運動残効は呈示時間の増加につれて増加するが、陽性残効は呈示時間が一分間を越えるとあまり増加しないので、十分に長い刺激呈示の後では被験者は刺激呈示中とは逆方向の自己運動残効のみを感じることになる<sup>4)</sup>。

垂直軸のまわりの回転に対する視覚誘導自己運動感覚は刺激のぼけ・輝度・コントラストなどの空間的要因の影響を受けない<sup>5)</sup>。したがって自己運動感覚を誘導するための視覚系のメカニズムは、刺激の空間的詳細を認識するための視覚系のメカニズムとは明確に区別できるもので、低い空間周波数にのみ応答するものであると考えられている。刺激の空間的詳細は網膜の中心窓 (fovea) によって認識される訳であるから、視覚誘導自己運動感覚は主に網膜の周辺部に与えられた刺激によって引き起こされることになる。Brandt ら<sup>6)</sup>は網膜の中心部を120度まで覆っても視覚誘導自己運動感覚が得られるにもかかわらず、中心部30度のみに刺激を呈示するとほとんど視覚誘導自己運動感覚が得られないことを示した。

この結果から自己運動感覚を誘導するためには網膜の周辺部を刺激する必要があること、したがって広視野の刺激を必要とすることがしばしば強調されるけれども、近年になって Brandt ら<sup>6)</sup>の報告にはいくつかの問題点があることが示されている。第一の問題点は、Brandt ら<sup>6)</sup>の実験では中心部刺激が周辺部刺激に対して著しく小さかったことである。Post<sup>7)</sup>は刺激の大きさを同じにさえすれば、75度までの範囲ではどこに刺激が呈示されても同程度の視覚誘導自己運動感覚が得られることを示した。第二の問題点は Brandt ら<sup>6)</sup>は遮蔽板を回転ドラムの手前に置いて刺激の中心部を覆ったので、運動する

刺激と静止した覆いの間に奥行きが生じていたことである。静止刺激を運動刺激の背景に呈示することによって視覚誘導自己運動感覚が抑制されることが報告されており<sup>8)</sup>、Brandt ら<sup>6)</sup>の結果のみからでは視覚誘導自己運動感覚が網膜周辺部に呈示された刺激によって引き起こされたとは必ずしもいえず、より遠くに呈示された刺激によって引き起こされた可能性もある。

Ohmi ら<sup>9)</sup>は回転ドラムのすぐ手前に透明の広視野静止刺激を呈示し、被験者に刺激を単眼視させて視覚誘導自己運動感覚を測定した。曖昧な奥行き情報しか与えられないために運動刺激と静止刺激の間の奥行き関係が自然に交換するが、運動刺激が遠くに見える、すなわち背景として知覚された時にのみ視覚誘導自己運動感覚が起ることが示された。この結果は視野の大きさよりもむしろ、運動刺激が背景として知覚されるか否かが視覚誘導自己運動感覚にとってより重要な意味を持っていることを示唆する。

背景の優位性と網膜周辺部の優位性の間の相互作用を検討するために、Howard ら<sup>10)</sup>は中心部刺激と周辺部刺激の間の奥行き関係を変えて視覚誘導自己運動感覚を測定し図5に示すような結果を得た。中心部に静止刺激・周辺部に運動刺激が呈示された場合には、中心部刺激と周辺部刺激の間の奥行き関係にかかわらず視覚誘導自己運動感覚が生起された。これに対して中心部に運動刺激・周辺部に静止刺激が呈示された場合には、中心部刺

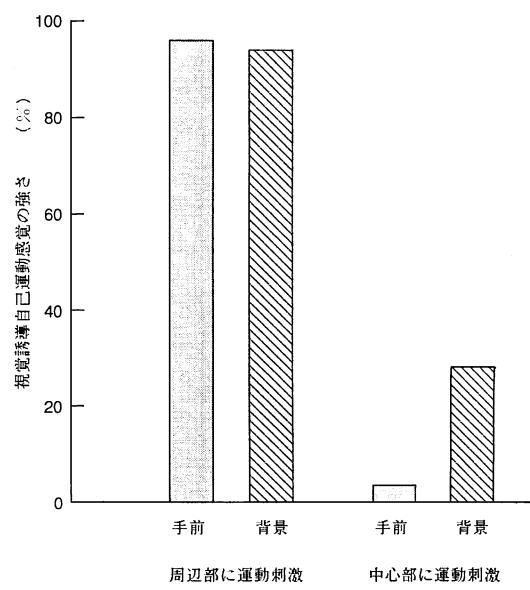


図 5 中心部刺激と周辺部刺激の間の奥行き関係を変えた場合の視覚誘導自己運動感覚の測定結果

激が周辺部刺激の手前に見える時にはほとんど視覚誘導自己運動感覚が生起されないが、背景に見える時には視覚誘導自己運動感覚が生起された。ところで、後者は動いている自動車の窓を通して外界を見るような場合に対応している。このような状況下では視覚誘導自己運動感覚は生じるべきものであり、われわれの視覚誘導自己運動感覚は理にかなった原理によって制御されていると考えられる。

回旋軸のまわりの回転に対する視覚誘導自己運動感覚についても、垂直軸のまわりのものと同様の原理が成り立つことが報告されている。背景に静止刺激が呈示されると視覚誘導自己運動感覚が抑制され、静止刺激の構成要素の密度が高いほど抑制量が多い<sup>8)</sup>。中心部 10 度のみを刺激することによって視覚誘導自己運動感覚を生起することができるが、この際に運動刺激が背景として知覚される<sup>11,12)</sup>。

垂直軸のまわりの自己回転運動感覚と水平・回旋軸のまわりの自己回転運動感覚の間には見逃すことのできない重要な違いがある。それは重力の影響である。われわれが垂直軸のまわりに回転しても重力の寄与は変化しない。しかしそれわれが水平・回旋軸のまわりに回転した場合には、回転角の余弦に比例した重力の寄与があり、卵形囊・迷路小嚢の応答が余弦状に変化する。したがって水平・回旋軸のまわりの回転に対応した視覚刺激のみが与えられた場合には、卵形囊・迷路小嚢の応答が生起されないので、視覚系に誘導された自己運動感覚との間で不一致が生じることになる。実際に、水平・回旋軸のまわりの回転に対する視覚誘導自己運動感覚は、回転角については刺激の回転とは逆方向への 15 度程度の身体の傾きを感じるにもかかわらず、回転速度についてはその方向への継続した運動を感じ続けるという矛盾したものになることが報告されている<sup>13-15)</sup>。また、被験者を仰臥させて重力の寄与が変化しないようにすると、水平・回旋軸のまわりの回転に対しても視覚誘導自己運動感覚が矛盾なく継続し、垂直軸のまわりの視覚誘導自己運動感覚と類似の感覚が得られることも示されている<sup>16)</sup>。

われわれが回転運動をすれば、当然ながらそれに応じてさまざまな身体感覚が生じる。身体感覚系からの反応も、視覚系からのものとともに耳前庭感覚系を補って、持続的な自己運動の感覚に寄与している。実際に、われわれが乗り物に乗って受動的に動く場合と、自分自身で能動的に動く場合とでは異なる自己運動を感じるのは誰もが経験することである。暗黒中で回転する円盤の上で能動的に足踏み (apparently stepping around) を行

うと、耳前庭感覚系の反応が消滅した後でも自己回転運動の感覚が継続する<sup>17)</sup>。また、暗黒中で腕を伸ばして回転ドラムを触れ続けると、視覚誘導自己運動感覚に類似した自己回転運動の感覚が持続して生起される<sup>18)</sup>。

### 3.2 直線運動に対する視覚誘導自己運動感覚 (linearvection)

われわれは左右・上下・前後の三つの方向に直線運動することができるが、このうち最も重要なのは前後方向、特に前方向への運動であろう。われわれが前方向に運動すると、網膜像は図 6 に示すように拡大 (expansion) する。通常、われわれは進行の方向 (direction of heading) を注視しながら前方向に運動するので、網膜像の拡大の中心 (focus of expansion) は中心窓に対応する。したがって前方向の直線運動に対する視覚誘導自己運動感覚を生起するための視覚刺激は、網膜の中心部に呈示された場合には拡大の中心を含むが、周辺部に呈示された場合には中心を含まず、見かけ上相當に異なった刺激になる。

網膜の中心部に視覚刺激が呈示された場合には、垂直軸のまわりの視覚誘導自己回転運動感覚とは異なって周辺部の寄与が少なく、中心窓の近傍が優位性を持っており視野の大きさが 10 度以上あれば前後方向への十分な自己直線運動の感覚が生起される<sup>12,19)</sup>。また、拡大している刺激の手前に透明の静止刺激を呈示しても視覚誘導自己運動感覚は影響を受けないが、拡大している刺激の背景に透明の静止刺激を呈示すると視覚誘導自己運動感覚が抑制される<sup>20)</sup>。すなわち、前方向への運動に対する視覚誘導自己運動感覚においては、垂直軸のまわりの回転の場合における場合と異なって、周辺部の優位性はみられないが、背景の優位性がみられる。

網膜の周辺部のみに視覚刺激が呈示された場合には拡大の中心を含まないから、自分の運動と逆方向に流れるトンネルの内部のパターンのような刺激が与えられる。網膜の周辺部のみを刺激すると前後方向のみならず上下方向についても自己直線運動の感覚が生起され、この場

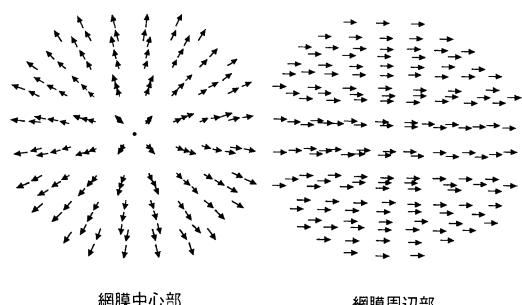


図 6 前方向の運動に対する網膜像の変化

合には周辺部の優位性がみられる<sup>21,22)</sup>。また、周辺部のみに視覚刺激が呈示された場合においても自己直線運動の感覚に対する背景の優位性がみられる<sup>23)</sup>。

#### 4. おわりに

視覚誘導自己運動感覚の生起は普遍的な原理に基づいているように思える。自己運動の方向や視覚刺激の網膜上の呈示部位にかかわらず、視覚誘導自己運動は背景として知覚される視覚刺激によって引き起こされる。背景が静止していれば自己運動が感覚されず、背景が運動していればそれに応じた自己運動が感覚される。この単純な原理はまた、理にかなったものもある。われわれが認識しようとする外界は対象と背景からなっている。外界の座標系において対象はわれわれと独立に運動するので、網膜の座標系において対象が動いて見えた時には、対象が動いた場合と、われわれが動いた場合の両方の可能性がある。これに対して、外界の座標系において背景は常に不動であるから、網膜の座標系において背景が動いて見えるのは、われわれが動いた場合のみである。したがって自己運動の知覚のために背景に関する情報を使うのは最も合理的な判断である。

この自己運動感覚の原理はまた、臨場感に富んだディスプレイシステムの合理的な設計の基本ともなると考えられる。例えば、使用者が十分な自己運動を感覚できるような飛行機シミュレータを作るために、いたずらに高価な広視野ディスプレイを使用する必要性は必ずしもない。むしろ視野の他の部分とは明確に区別されるような形で背景を呈示し、適切な運動情報を与えることのほうが臨場感の促進に役立つであろう。

#### 文 献

- 1) I. P. Howard: *Human Visual Orientation* (John Wiley, Chichester, 1982).
- 2) B. De Graaf, A. H. Wertheim, W. Bles and J. Kremers: "Angular velocity, not temporal frequency determines circularvection," *Vision Res.*, **30** (1990) 637-646.
- 3) G. A. Melcher and V. Henn: "The latency of circularvection during different accelerations of the optokinetic stimulus," *Percept. Psychophys.*, **30** (1981) 552-556.
- 4) T. Brandt, J. Dichgans and W. Büchele: "Motion habituation: Inverted self-motion perception and optokinetic after-nystagmus," *Exp. Brain Res.*, **21** (1974) 337-352.
- 5) R. B. Post, C. S. Rodemer, J. Dichgans and H. W. Leibowitz: "Dynamic orientation responses are independent of refractive error," *Annual Meeting Abstract Issue*, Sarasota (1979), *Invest. Ophthalmol.*, **18**, Suppl. (1979) pp. 40-41.
- 6) T. Brandt, J. Dichgans and E. Koexig: "Differential effects of central versus peripheral vision on egocentric and exocentric motion perception," *Exp. Brain Res.*, **16** (1973) 476-491.
- 7) R. B. Post: "Circularvection is independent of stimulus eccentricity," *Perception*, **17** (1988) 737-744.
- 8) T. Brandt, E. R. Wist and J. Dichgans: "Foreground and background in dynamic spatial orientation," *Percept. Psychophys.*, **17** (1975) 497-503.
- 9) M. Ohmi, I. P. Howard and J. P. Landolt: "Circularvection as a function of foreground-background relationships," *Perception*, **16** (1987) 17-22.
- 10) I. P. Howard and T. Heckmann: "Circularvection as a function of the relative sizes, distances, and positions of two competing visual displays," *Perception*, **18** (1989) 657-665.
- 11) G. J. Andersen and B. P. Dyre: "Induced rollvection from stimulation of the central field," *31st Annual Meeting* (Human Factors Soc., 1987) pp. 263-265.
- 12) G. J. Andersen and B. P. Dyre: "Spatial orientation from optic flow in the central visual field," *Percept. Psychophys.*, **45** (1989) 453-458.
- 13) J. Dichgans, R. Held, L. R. Young and T. Brandt: "Moving visual scenes influence the apparent direction of gravity," *Science*, **178** (1972) 1217-1219.
- 14) R. Held, J. Dichgans and J. Bauer: "Characteristics of moving visual scenes influencing spatial orientation," *Vision Res.*, **15** (1975) 357-365.
- 15) L. R. Young, C. M. Oman and J. M. Dichgans: "Influence of head orientation on visually induced pitch and roll sensation," *Aviat. Space Environ. Med.*, **46** (1975) 264-268.
- 16) I. P. Howard, B. Cheung and J. Landolt: "Influence ofvection axis and body posture on visually-induced self-rotation and tilt," *Motion Cues in Flight Simulation and Simular Induced Sickness* (Advisory Group for Aerospace Research & Development Symposium, Brussels, 1987) pp. 15-1-15-8.
- 17) W. Bles and T. S. Kapteyn: "Circularvection and human performance: 1. Does the proprioceptive system play a role?," *Agressologie*, **18** (1977) 325-328.
- 18) T. Brant, W. Büchele and F. Arnold: "Arthrokinetic nystagmus and ego-motion sensation," *Exp. Brain Res.*, **30** (1977) 331-338.
- 19) G. J. Anderson and M. L. Braunstein: "Induced self-motion in central vision," *J. Exp. Psychol.*, **11** (1985) 122-132.
- 20) M. Ohmi and I. P. Howard: "Effect of stationary objects on illusory forward motion induced by a looming display," *Perception*, **17** (1988) 5-12.
- 21) A. Berthoz, B. Pavard and L. R. Young: "Perception of linear horizontal self-motion induced by peripheral vision (linearvection): Basic characteristics and visual-vestibular interactions," *Exp. Brain Res.*, **23** (1975) 471-489.
- 22) G. Johansson: "Studies on visual perception of locomotion," *Perception*, **6** (1977) 365-376.
- 23) A. Delorme and C. Martin: "Roles of retinal periphery and depth periphery in linearvection and visual control of standing in humans," *Can. J. Psychol.*, **40** (1986) 176-187.