

## 両眼融合立体視における「奥行き感」の重心動揺への影響

矢野 澄男

NHK 放送技術研究所 ヒューマンサイエンス研究部

〒157 東京都世田谷区砧 1-10-11

### 1. はじめに

自己身体の誘導運動、つまり、客観的には自分が静止しているのに、自己の周囲や外界の視覚対象の運動によって自分が運動しているかのように感じることもある。例えば、この現象は停止中の車両の窓を通して、隣接する車両を眺めている場合にその隣接した車両が動くと、自分自身は停止した車中にもかかわらず自分自身の車両の「動き」の感覚を感じる場合などで経験される。この自己の運動を感じる現象は、視覚誘導自己運動<sup>1)</sup>として知られている。

このような、視覚誘導自己運動は視対象の運動の種類によってもいくつかの種類に分類されて説明されることが多い。基本的には身体座表系で考えれば良いと思われ、前進（後進）、並進、上下運動、そしてそれぞれに対応する座標軸を中心とする回転運動に大別されている。視対象の直線運動、回転運動に対してはそれぞれ、視覚誘導自己直線運動というべき Linear Vection と視覚誘導自己回転運動ともいうべき Circular Vection として知られている。Linear Vection では前進（後進）運動が、一般的にはよく研究されており、いわゆる前進（後進）運動に伴うようなオプティカルフローが視覚刺激パターンとして使われている。一方、Circular Vection では視覚刺激の表示に回転ドラムがよく使われており、その結果として、身体座標系での垂直軸に関する回転運動に対する自己運動感覚が研究されている。

次には、このような自己の運動感覚がどのような自己運動感覚システムから生起されるのか

ということが問題となる。すなわち、自己運動の感覚を生み出す機能、大きく捉えれば、自己の空間定位がどのような感覚系によってなされているかということである。これらの機能は、一般には、前庭感覚系、視覚系、身体（体性）感覚系からの情報によって制御されていると言われている。しかしながら、この3つの感覚系の中で、前庭感覚系は自己の回転運動を検出する半規管、直線運動を検出する耳石器管からなるが、これらの感覚系はいわゆる加速度検出器にほかならない。したがって、これらの一過性の検出システムを補うシステムが視覚系のシステムであると考えられ、自己運動感覚システムの重要な部分を担っていると考えられる。その結果として、視覚系のみへの刺激の入力は他の二つの刺激入力がない場合の自己運動感覚を表すものとして捉えることが可能と考えられる。

さらに、この自己運動感覚をどのように評価するかということは重要なことであり、それは自己運動感覚システムを定量的にどう捉えるかということでもある。自己の運動感の評価にはいろいろな手法が取り入れられているが、これまでは主観的な評価手法が最も多く取り入れられている<sup>2)</sup>。一方では、他覚的な評価手法も試みが生み出されており、その代表的な例が直立姿勢、いわゆる姿勢制御の評価である<sup>3)</sup>。すなわち、この評価手法を採用する考えの背景には自己運動感覚と姿勢制御は密接なかわりがあり、直立した姿勢の保持に前庭系、体性感覚系と視覚系が大きく寄与しているであろうと考えられていることに基づくものである。この評価手法では、最も簡易な手法としては姿勢の変

化，バランスの崩れ，転倒などである。さらには計測の技術を取り入れ，足首の関節の角度，姿勢制御の積分結果としての重心動揺などが評価の指標として，これまでに用いられている。

今回は，このような自己運動感覚の機能を利用し，ディスプレイの表示方式の設計，評価を行うための基礎データを得るために，重心動揺を指標とする計測，実験を行った。対象としたディスプレイは，これまでの自己運動感覚システムの研究のために用いられてきた広視野，あるいは直接的に奥行き方向に配置した視覚刺激ではなく，両眼融合方式により「奥行き感」を与える表示方式である。したがって，両眼視差を付加したディスプレイの手法が視覚系による自己の定位の機能にどのように影響するかを知ることにより，ディスプレイの手法を考える試みであるとも言える。

## 2. 視野の大きさと重心動揺

実験に用いた視標を図1 (a)，(b)に示す。一つのパターンは図1 (a)に示すように両眼視差（本稿では便宜上，両眼視差を左眼，右眼に対応する視標の表示画面上での「ズレ」とする）が零である。したがって，このパターンは，いわゆる平面画像であり，スクリーン上にもみ表示される。その結果，被験者には1枚の平面と

してのみ知覚される。もう一つは，図1 (b)に示すように，表示スクリーンを挟んで，交互にパターンが表示されるように両眼視差を与えたパターンである。このパターンは，「奥行き」のある2つの平面として知覚される。いずれも，白黒2値（1 bit）で表示される矩形のパターンである。また，さらにこれらの提示パターンの「動き」を次のように表示する。最初はスクリーンには，何も表示されていなく，室内は全暗黒の状態である。次に，視対象となる刺激パターンを表示する。まず，提示パターンを30秒間，静止して表示する。次に，60秒間往復運動表示する。提示パターンは一周期が8秒間，すなわち，0.125 Hzの往復反復運動する。さらに，運動終了後，静止し，そのまま30秒間，静止パターンとして表示される。実験では，この時の被験者の重心動揺，頭部運動と眼球運動を測定した。なお，被験者の重心動揺の検出感度をあげ，同時に被験者の固有の足位置による姿勢制御の影響をできるだけ少なくするためにロンベルグの足位置を採用した。

ここでは，これらのパターンの表示画角を約10度から約90度まで変化させて表示し，表示画角の重心動揺へ与える影響の検討を行った結果を述べる。以下では，重心動揺が提示パターンの「静止から動きの切替え部分」等でなく，

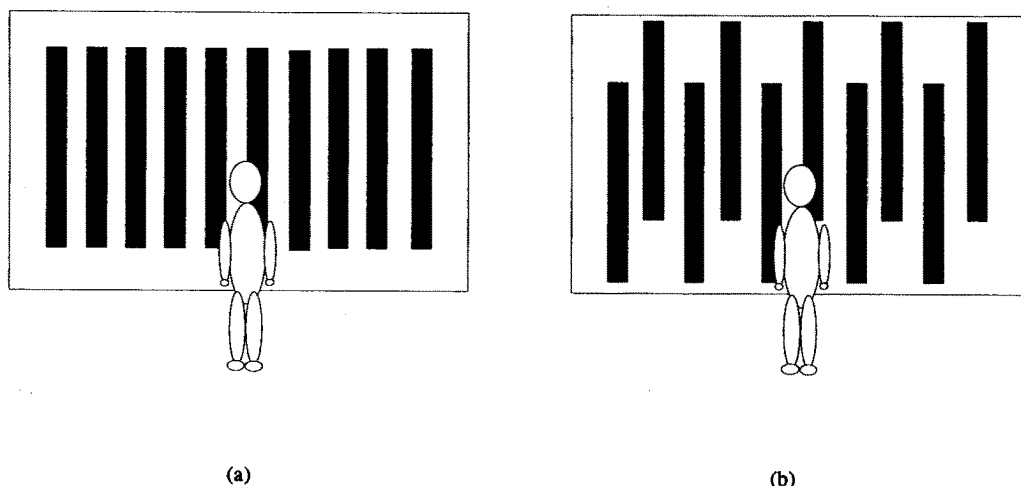


図1 (a) 一枚の平面（視差なし），(b) 二枚の平面（二つの任意の視差）。

定常的な「揺らぎ」が与えられている部分に着目して得られた結果について述べる。

重心動揺は周知のように開眼時と閉眼時では異なり、開眼時の重心動揺の周波数スペクトルは  $1/f$  の形を示すことが知られている。このように、重心動揺の波形は時系列信号の解析対象として捉えられ、線形、非線形解析の手法の試みもなされているが、ここでは最も簡単で、比較的、実験結果の把握が容易と思われる重心動揺の総軌跡長を結果のパラメータとして取り上げる。

実験の結果を図2、図3に示す。図2が平面パターン、図3が両眼立体視パターンの結果である。なお、「動き」の部分に関しては、60秒間の内の後半30秒間のデータを示した。複数被験者の平均値である。結果は、それぞれ、運

動前の静止パターン、運動パターンと運動の後の静止パターンに対する被験者の重心動揺の総軌跡長を示す。図2、3に示す結果では、予想されるように、動きパターンでの重心動揺の総軌跡長が静止パターンのそれよりも大きいのか、もしくは、ほぼ、同程度である。すなわち、姿勢制御に対する外乱が多く、より不安定になっているものと思われる。この不安定さは、自己運動感覚システムへの視覚系からの入力を含む視覚情報の寄与によるものと推測され、結果として重心の「揺らぎ」として表れたものと思われる。

図2の結果のように、平面パターンに対する重心動揺の総軌跡長は、「動き」を含むパターンの前後で大きな変化がなく、同程度である。また、「動き」のパターンに関しても、総軌跡長の変化は「静止」のパターンの変化と同様の傾向を示している。総軌跡長の値は、平面パターンに関しては約30度から約45度位が最も大きく、表示パターンからの影響を強く受けているものと推測される。

一方、図3に示す両眼融合視による立体パターンでは、「静止」と「動き」のパターンの場合で、重心動揺の総軌跡長の変化の傾向がやや異なる。この場合は「動き」パターンに対する値の変化は平面パターンの値に比べて、顕著ではない。また、「動き」より前に表示した「静止」パターンに対する重心動揺の総軌跡長の値は20度位で比較的大きな値を示している。

「動き」より後の「静止」パターンに対する値は平面パターンの値と比較すると、変化の割合は小さいが、総軌跡長の増減は比較的同様の傾向を示している。このことより、立体パターンは、平面パターンに比べてやや小さな表示画角で重心動揺に影響を与えるものと推測され、その値は約20度から45度である。

これまでの表示画角の実験的研究では広視野の画像表示画角を研究している例は多くあるが、これらの結果の一つに、約20度くらいから主観的な広視野効果があるとされている実験結果がある<sup>2)</sup>。また、立体画像の表示に必要な

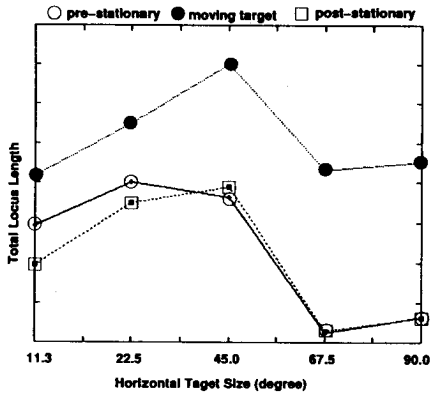


図2 平面パターンでの実験結果

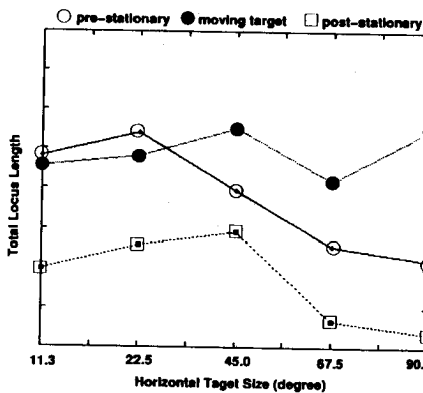


図3 両眼立体視パターンでの実験結果

画角も主観評価実験がなされているが、この結果では30度位の画角が必要とされている<sup>6)</sup>。これらの主観実験から得られた画角はいずれも、今回のような他覚的な評価を行った実験結果よりもやや小さい表示画角が必要とされる表示画角として導出されている。したがって、今後は実験方法をも含め、これらの示された結果の比較検討が大きな課題と思われる。

一方、ヒトの視覚情報処理機構そのものでは、「動き」の処理を行うと考えられている、いわゆる網膜、V1、V2、MT、MST、7aの経路で、特に、今回の実験に関係が深い処理機構はMSTによると考えられる。このMSTでの「動き」の検出での受容野の大きさは注視点から約40度から50度であると言われていることは、今回の実験結果と比較的近い値が得られている<sup>7)</sup>。主観評価実験結果と他覚的な計測結果の検討は今後の検討課題であると思われるが、今後とも、最適な画像システムの設計には、このような他覚的な評価手法によるアプローチも必要であると考えられる。

### 3. 視対象の配置と重心動揺

前述したように、立体パターンと平面パターンでは、重心動揺を指標とした自己運動感の実験結果は異なった結果となった。得られた実験結

果が両眼視差そのものによる影響か、あるいは、両眼視差により生じた視標の配置によるものかを明らかにするために、さらに検討を行った。また、同時に、これまでに行われた視覚誘導自己運動の主観評価実験結果とのいわゆる「すり合わせ」を目的とする試みをも意図して実験を行った。

検討を行った実験での視対象となるパターンの一つは図4(a)に示すように、提示する視標全てに両眼視差を一樣、かつ同時に与え、視標の表示をスクリーン上をも含めて、その前後に一平面として表示し、静止、動きの場合両方ともに同じ制御がなされるパターンである。他の一つは、図4(b)のように提示する矩形波パターンの交互に、両眼視差を零と任意の値を与え、かつ、視差が零の部分は常に静止パターンとして表示する視標である。このパターンに関しては、任意の視差を与えた部分のみに関して静止、動きの制御を行う。いずれのパターンも静止、動きの制御は前述の実験と同様であり、静止、動き、そして静止パターンとして120秒間表示する。計測は、重心動揺と眼球運動の計測を行った。以下、前述の実験の結果と同様に提示パターンの静止、動きの部分に関して、重心動揺に注目した実験結果について述べる。

それぞれの提示パターンに関してある被験者

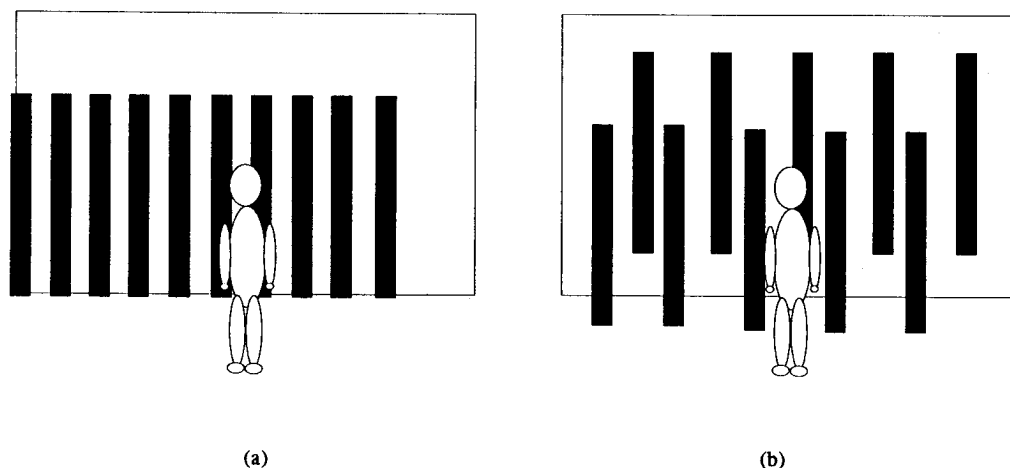


図4 (a) 視差のある一平面、(b) 二平面（一方は視差なしで静止、一方は視差ありで動く）。

の実験結果を図5, 図6に示す。図5が図4 (a) のパターンに対する重心動揺の総軌跡長の結果である。この結果が示すように、視差の変化と重心動揺の結果には明確な関係は読み取れない。図6が図4 (b) のパターンに対する結果である。これらの結果に示されていることは、スクリーン上に静止パターンと動きパターンがあれば、その視標の配置により、重心動揺の総軌跡長の値に明確な関係が読みとれることである。すなわち、静止パターンが動きパターンより後方にある場合の方が、静止パターンが動きパターンよりも前方にある場合に比べて重心動揺の総軌跡長の値が小さい。

このことは、静止パターンの前面に動きパターンがある場合の方が姿勢制御が容易になされているものと推測される。したがってこのパターンに対しては自己運動感が小さいもの思われる<sup>9)</sup>。静止パターンの背面に提示されたパターンが動くという視標に関しては、これまでの研究で示されているように、視対象を外界座標系で把握しているならば、本来、被験者は外界座標系で動くことのない背景が動くというように捉えたならば、本来動くはずのない背景が動くのであるから、自己の運動であると解釈された結果と考えることができる。その結果として、自己の運動を感じ、重心の不安定さが動揺となって表れたと考えられる。

これまでの、被験者自身が視標の「前後」の配置関係を「前後」に配置されているというように「見なす」ことにより自己の運動感が変化するということが見い出されている<sup>9)</sup>。すなわち、視標の「前後」の関係が明確でなければ「見なす」という作業が必要であるが、両眼視差によって「奥行き感」を付加した視標に関しては、そのような作業は必要とされない。このことは、両眼融合視によるディスプレイ方式を含めて奥行きを明瞭に一意的に与える表示方式は、単なる平面ディスプレイに比較して、より容易に表示された視覚刺激が外界座標系での知覚として見なせるような表示手法が可能であることを示唆している。すなわち、より現実に近いディスプレイ表示方法の可能性を示しているものと考えられる。さらに、また、この重心動揺を視標とした実験結果はこれまでに行われた自己誘導運動の主観評価実験と定性的に一致することも示しているとも言える。したがって、両眼融合視による「奥行き感」から与えられる視標の配置の関係によって生起される自己運動感を重心の「揺らぎ」により評価できる可能性が示されているとも考えられる。

4. まとめ

両眼融合方式による立体パターンでの視覚誘導自己運動に関して、観視者の重心動揺を指標とした場合に関し、2, 3の考察を行った実験結果の概説を行った。重心動揺の評価としては比較的簡単な総軌跡長とし、特に、両眼融合方

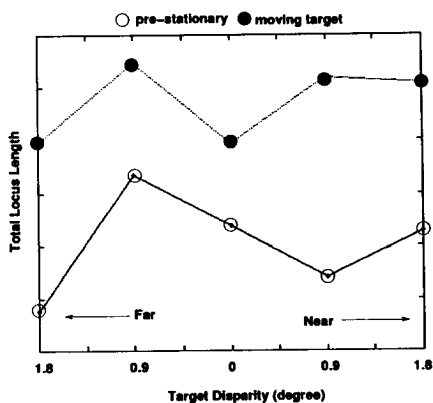


図5 図4 (a) の条件での実験結果

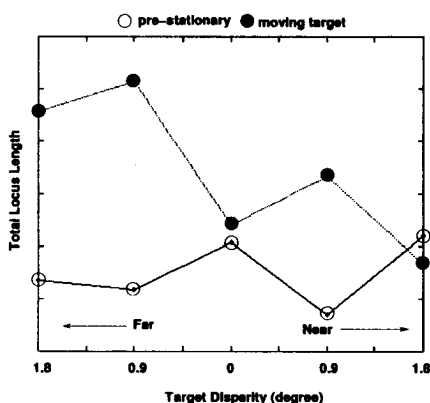


図6 図4 (b) の条件での実験結果

式のディスプレイの評価との関係で述べた。本稿で述べた実験結果は自己運動感覚システムにとって入力の一つである視覚系に関する事に過ぎない。現在、画像のシステムが高度化するにつれ、ヒトの感覚系を高度に利用することを試みている点を考慮すれば、客観的に十分なヒトの機能を示すデータの蓄積がより一層求められる。

この点から考えると、今後は、視覚系からの入力情報のより詳細で定量的な把握のみでなく、前庭系、体性感覚系からの入力情報との協調、競合関係を解明し、他の感覚モダリティとの関係をも明らかにすることより、将来の画像システムの設計に貢献できる知見が得られるものと考えられる。

## 文 献

- 1) 狩野千鶴：自己運動知覚と視覚系運動情報。心理学評論, 34, 240-256, 1991.
- 2) T. Brandt, J. Dichgans and E. Koenig: Differential effects of central versus peripheral vision on egocentric and exocentric motion perception. *Experimental Brain Research*, 16, 476-491, 1973.
- 3) 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. *Experimental Brain Research*, 23, 471-489, 1975.
- 4) F. Lestienne, J. Soechting and A. Berthoz: Postural readjustments induced by linear motion of visual scenes. *Experimental Brain Research*, 28, 363-384, 1977.
- 5) T. Hatada, H. Sakata and H. Kusaka: Psychophysical analysis of the "sensation of reality" induced by a visual wide-field display. *SMPTE Journal*, 89, 560-569, 1980.
- 6) S. Yano and I. Yuyama: Stereoscopic HDTV experimental system and psychological effects. *SMPTE Journal*, 100, 14-18, 1991.
- 7) K. Tanaka and H. Saito: Analysis of motion of visual field by direction, expansion/contraction and rotation cells clustered in the dorsal part of the macaque medial superior temporal area. *Journal of Neuroscience*, 62, 626-656, 1989.
- 8) T. Brandt, E. R. Wist and J. Dichgans: Foreground

and background in dynamic spatial orientation. *Perception and Psychophysics*, 17, 497-503, 1975.

- 9) M. Ohmi, I. P. Howard and P. Landolt: Circularvection as a function of foreground-background relationships. *Perception*, 16, 17-22, 1987.