

多種の感覚情報に基づく自己運動知覚 多層の座標系における感覚情報の統合

中村 信次

日本福祉大学 情報社会科学部

Self-motion perception based on multiple sensory information -sensory integration in multi-layered model-

Shinji Nakamura

Faculty of Social and Information Sciences, Nihon Fukushi University

Abstract: Psychophysical model based on multiple sensory integration is proposed in order to describe interaction between self- and object-motion perception. In the model, many sensory sources, such as visual (retinal) motion, vestibular signal, or somatosensory information, as well as motor command (outflow) of the self-motion are considered as inputs for multi-layered integration. Many perceptual phenomena, that is, position constancy during self-motion, conventionalvection and invertedvection which is novel self-motion illusion discovered by us, are consistently interpreted by the model.

Keywords: motion perception, self-motion, multi-layered model, sensory integration,

1. はじめに

我々は、感覚器官によって外部環境の情報を取り入れ、それを正しく認識することにより、初めて環境の変化に対し適応的な行動をとることが可能となる。その際、外部環境に対する自己の位置や運動を正しく認識し、その自己身体に関する情報と外部環境に関する情報を共に利用して、置かれた状況に応じた適切な判断を行うことが重要である。この我々の環境に対する行動的適応に必要な自己身体運動の認識は、単一の感覚モダリティによってその情報が伝達されるのではなく、視覚情報に加え、皮膚表面における触感覚や筋や腱の緊張に関する自己受容感覚を含む体性感覚情報、前庭感覚器官（耳石器および三半規管）による平衡感覚情報などの複数の感覚モダリティが関与する問題である¹⁾²⁾。本論文では、自己運動知覚に関する

多種の感覚情報の統合過程を記述可能な知覚心理学的モデルの構築を目的とする。

Gibsonは、知覚情報処理に関する生態光学的な考察によって、視覚情報の中に観察者の自己運動に関する情報が含まれていることを示し、そのような視覚情報を視覚的自己受容感覚（visual proprioception）と呼んだ³⁾。Gibsonによれば、観察者の移動にともないその視野の光学的配列（optical array）が特異的に流動し、その光学的流動（optical flow）に基づいて観察者の運動を再構成することが可能となる。例えば列車に乗って窓外の風景を観察した場合には、視野の全体において列車の進行方向とは反対方向に風景の流動が生じる。このように視野の全体的な運動は、それとは反対方向への自己運動を指し示す情報となる。またLeeらの一連の実験によって、我々人間をはじめ多様な種の

動物が実際に視覚情報に基づく自己運動情報を利用して、行動のコントロールを行っていることが明らかとなっている（例えば4)5)）。さらにLishman & Leelは、自己運動に関する上述の3種の感覚情報、すなわち視覚、平衡感覚、体性感覚を任意に組み合わせ、それぞれの感覚情報が矛盾する実験状況を作り出し、そのような状況における観察者の自己運動知覚を分析した⁶⁾。実験の結果、どのような感覚情報の組み合わせにおいても、視覚情報が伝える自己運動情報に適合した知覚が生起することが明らかにされた。

これらの検討から、自己運動知覚に及ぼす視覚情報の影響の大きさを理解することができる。このことは、以下に述べる各感覚モダリティの特徴と関連していると考えられる。平衡感覚情報の受容器である前庭感覚器官は、直線加速度を検出する耳石器と回転加速度を検出する三半規管とからなっており、自己身体（正確には頭部）の加速度運動に反応する。ただし、これらの器官は等速度の直線運動および回転運動には反応することができず、静止状態と定常的運動状態とを識別することは不可能である。したがって、前庭感覚器官による平衡感覚情報から正確な自己運動情報を得るためには、身体加速度に関する情報を積分することによって自己運動の速度成分を算出しなければならない。また、体性感覚情報に関しては、自発的に歩いている場合と乗り物等に乗って他動的に運動させられている場合では筋運動感覚は大きく異なってしまう。さらに、例えば自動車に乗っている場合に背中がシートに押しつけられる感覚から自己運動を感じることもあるが、これもシートの素材や着座姿勢によって、その圧覚による情報は変化してしまう。このように、平衡感覚情報および体性感覚情報から自己運動情報を直接得ることは難しく、そのような情報に基づいて自己運動の認識を行うためには、複雑な補正のための処理過程を考えなければならない。一方、視覚情報に関しては、観察者の運動とそれにとまなう視野の光学的流動とは1対1対応しており、視覚情報、より正確には視覚的運動情報から観察者の自己運動に関する情報を一意に決定することができる。自己運動知覚における視覚情報の優位性は、このような各感覚情報の特性を反映しているものと考えられる。

視覚情報が自己運動知覚におよぼす決定的な影響を端的にあげる知覚現象として、以下に挙げる視覚誘導

性自己運動知覚（以下Fischer & Kornmüllerにならいベクション(vection)とする⁷⁾）が知られている。視野の大部分を占める広い領域で視覚刺激が均一に運動するのを観察した場合に、物理的には静止しているはずの自分の身体が、視覚刺激の運動とは反対方向に運動して知覚される。このベクション現象は、自己身体運動知覚における視覚情報の役割を考える場合に非常に重要な意味を持つものと考えられてきており、ベクションの現象特性や、その生起強度に影響をおよぼす視覚刺激特性を明らかにすることにより、自己運動知覚の成立メカニズムを検討する試みが数多くなされてきている⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾の総説を参照)。

ここまで論じてきたように、自己運動知覚に関与する感覚情報の中でも、視覚情報はとくに強い支配的な効果を持つと考えられてきた。したがって、これまで提出されている自己運動知覚に関する心理学的モデルにおいては、視覚情報の役割を中心に考察がなされてきており、他の感覚情報との交互作用に関する検討は少ない。

また、自己運動知覚に関する心理学的モデルを検討する際には、考慮しなければならないもう一つの重大な問題がある。知覚的に誘導された観察者の身体運動が視覚対象の運動知覚に非常に大きな影響を及ぼすことが多くの研究により明らかにされている。さらに、視覚刺激の見えの運動が自己運動知覚に影響をおよぼす事例も数多く報告されており、視覚対象運動に関する情報処理と自己運動に関する情報処理とが独立に存在するのではなく、双方の情報処理の間に相互作用が存在し、両者の間で密接な双方向の情報の伝達が行われていると考える必要がある（対象運動知覚と自己運動知覚との間の相互作用に関する先行研究のreviewについては¹¹⁾参照）。したがって、自己運動知覚の成立メカニズムに関し議論を行い、そのモデル化を図る際には、視覚対象の運動知覚の情報処理プロセスとの間の相互の関連性を記述できるものとしなければならない。

2. 複層の座標系間での情報変換に基づく運動知覚のモデル

上述したように、自己運動に関する知覚情報処理は、対象運動の知覚情報処理過程と相互に密接に関連している。にもかかわらず、その両者を統合的に説明する

理論的枠組みは未だ提出されていない。本論文では、筆者がこれまで行ってきた自己運動知覚に関する知覚心理学的実験の結果、およびこれまでの運動知覚に関する心理学的・生理学的研究の知見を総合することにより、両者の関係を有機的に記述可能なモデルの構築を試みる。

我々は常に身体、頭部、眼球を運動させることによって、外界の情報を能動的に探索している。これらの運動にともない、視覚情報の受容器である網膜の、空間的な位置および方位は複雑に変化する。したがって、外界において対象物が静止している場合においても、観察者の眼球等の運動に依存して対象の網膜像が運動する状況が恒常的に生じる。対象の安定した空間定位を実現するためには、このような不安定な網膜像変動を種々の媒介情報を用いて補正し、網膜像の運動の如何に関わらず外界における対象の真の運動と対応した認識を実現する必要がある（視覚対象の位置の恒常性）。このような外界の視覚対象の安定した空間定位は、対象の運動を、網膜上での位置を規準とする座標系ではなく、観察者の身体、頭部、眼球の運動によって影響を受けない外部空間を基準とする座標系によって表現することで実現可能となる。

ここで、空間情報の表象に関する座標系として、観察者の眼球位置に基づく眼球中心座標系（以下、眼球座標系；e）、頭部の位置に基づく頭部中心座標系（頭部座標系；h）、身体的位置に基づく身体中心座標系（身体座標系；b）、外界の絶対空間に基づく外部空間中心座標系（空間座標系；s）を想定し、各座標系間での情報統合および変換の過程を考える。例えば視覚対象の空間定位に関しては、眼球座標系はその対象が網膜上のどの部位に投射されるか、頭部座標系および身体座標系は頭部および身体に対しその対象がどの方位に位置するか、空間座標系はその対象が外部空間内のどこに位置するかを符号化する。したがって、眼球座標系では眼球位置（凝視方向）の変化によって、頭部および身体座標系では頭部および身体の方角の変化によって、それぞれ外界の静止対象の位置の表象が変容するが、空間座標系では、観察者の眼球、頭部、身体、の運動によって外界の静止対象の表象は変化しない。

また、眼球、頭部、身体等の観察者の身体各部位の位置および運動も、同様に上述した多層の座標系によって表象される。観察者の眼球位置は、頭部、身体、

空間の各座標系において、それぞれ頭部、身体、外部環境に対する方位として符号化され、頭部の方位は身体・空間の両座標系によって、身体の方角は空間座標系によって記述される。視覚対象および身体各部位の各座標系における空間表象は、視覚、体性感覚、平衡感覚等の複数の感覚情報、自発的自己運動に関する運動性情報（運動指令情報）、および他の座標系における空間定位情報を統合することによって決定される。Fig. 1に、視覚対象および自己身体の空間定位に関する情報統合の過程を模式的に示す。図中O, E, H, Bは、それぞれ任意の座標系における視覚対象、眼球、頭部、身体、の運動の表象を示し、e, h, b, sはそれぞれ眼球、頭部、身体、空間の各座標系を示す（したがって、例えばOeは眼球座標系で表象された視覚対象の情報を示す）。

ここで、複層の座標系間の情報変換の過程として、以下の2種類の操作を考える。一つは、ある座標系で表象された任意の対象の情報を、2つの座標系間の関

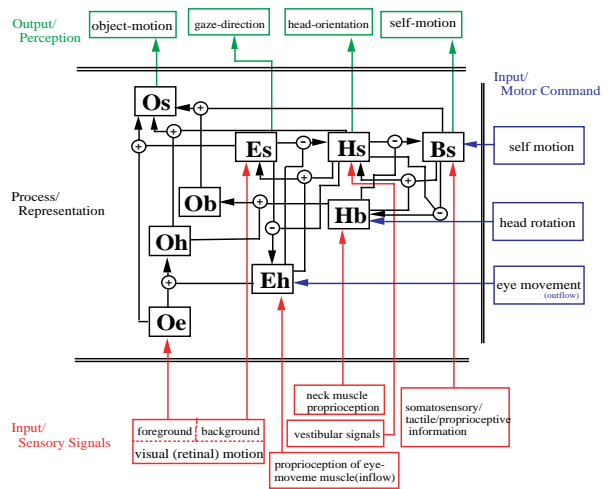


Fig.1 Multi-layered model describing information processing underlying motion perception both of object and self-body. Spatial information about object- or self-motion are integrated and determined via multi-layered representation.

Note: Upper cases indicate represented information about spatial location or motion
O; Object, E; Eye, H; Head, B; Body

Lower cases indicate representation (coordination) systems
s; External-space coordinate, b; bodycentric coordinate, h; Headcentric coordinate, e; retinocentric coordinate

係を示す情報に基づいて、別の座標系でのその対象の表象に変換する過程である。例えば、眼球座標系で表象された視覚対象の運動の情報 (O_e) を、空間座標系における眼球運動の情報 (E_s) に基づき、空間座標系で表象された視覚対象の運動情報 (外部空間内での視覚対象の運動の情報; O_s) に変換する場合は該当する。この変換を順方向変換と呼び、加算記号 (+) で表わすこととする ($O_e + E_s = O_s$)。もう一つは、任意の対象の複数の座標系における表象を用い、複数の座標系間の関係についての情報を抽出する過程である。空間座標系で表象された眼球運動情報 (E_s) と頭部座標系で表象された眼球運動情報 (E_h) から、空間座標系における頭部運動情報 (H_s) を抽出する場合は当てはまる。この変換を逆方向変換と呼び、減算記号 (-) で表わすこととする ($E_s - E_h = H_s$)。また逆方向変換には、任意の座標系における複数の対象の表象の関係から、座標系間の関係に関する情報を抽出する場合も含まれる (例えば、空間座標系における眼球運動情報と頭部運動情報から、頭部座標系における眼球運動情報を抽出する; $E_s - H_s = E_h$)。

この順逆両方向の変換を表わす算術記号 (+ / -) は、情報統合がなされる際の各々の表象が示す運動方向に関する情報を反映する。便宜的に右方向への運動に正の値を付し、左方向への運動に負の値を与えるとすれば、左方向へ速度20での (頭部に対する) 眼球運動を行った場合には、 E_h には -20が代入されることとなる (記述の単純化のため無名数を用いて運動速度を示すこととする)。その際、観察者の頭部が空間内を右方向に速度10で運動していたならば、 $H_s = +10$ となり、 E_h と H_s とを順方向変換することによって、左方向への速度10での観察者の視線方向の変化が生じていたことを示す情報が得られる ($E_h[-20] + H_s[+10] = E_s[-10]$)。反対に、観察者の視線方向が左方向に速度10で運動しているという情報 ($E_s = -10$) を、眼球の眼窩内での左方向への速度20の運動に関する情報 ($E_h = -20$) を用いて逆方向変換することにより、右方向への速度10の頭部運動情報が得られる ($E_s[-10] - E_h[-20] = H_s[+10]$)。また、この順逆両方向の変換の間には、一般の算術加算式と同じく移項の原理が成立する (例えば、 $E_s - E_h = H_s$ $E_s = H_s + E_h$)。

3. 対象運動の認識過程

上述した複数の座標系間の情報変換過程の概念を用いて、視覚対象の運動認識に関する情報処理プロセスを検討する。視覚情報、すなわち網膜像情報には、外界の対象の運動に関わる情報に加え、いわゆる背景の運動に関する情報が含まれている。外界の静止対象の網膜上での運動は観察者の眼球の空間内での運動を反映したものであるため、外界において静止していると考えられる背景刺激を特定し、それを視覚運動情報から抽出することによって、空間座標系における眼球運動の情報 (E_s) を得ることができる。また網膜像情報に含まれる対象の運動に関する情報から、眼球座標系における視覚対象の運動の表象 (O_e) が形成される。眼球運動中の対象の位置の恒常性 (position constancy) の保持機構である比較相殺過程に関する知覚心理学的研究によって、眼球運動の制御中枢からの動眼指令情報 (outflow) や、動眼筋収縮にともなう自己受容感覚情報 (inflow) に基づいて、頭部座標系における眼球運動の情報 (E_h) が算出されることが明らかとされている (例えば¹²⁾等)。 O_e は、 E_h により順方向変換されることによって、頭部座標系における視覚対象の運動の情報 (O_h) に変換される ($O_e + E_h = O_h$)。一方、空間座標系における頭部位置情報 (H_s) は、耳石器および三半規管からの平衡感覚情報によって得られる。 O_h と H_s とを順方向変換することによって、空間座標系における視覚対象の運動 (O_s) を記述することができる ($O_h + H_s = O_s$)。また、Nakamuraは、背景運動情報によって得られる E_s が、視覚対象の運動知覚に大きな影響を及ぼしていることを示しており、 E_s を用いて O_e を直接 O_s に順方向変換することも可能であると考えられる ($O_e + E_s = O_s$)^{13) 14)}。これら一連の過程によって、網膜像に投影された視覚対象の運動を、眼球運動や身体運動によって影響を受けることのない空間座標系で記述することが可能となる。すなわち、それは、外界における対象の運動または静止に関する正しい知覚が達成されることを意味する。

さらに、頸部筋肉の自己受容感覚情報によって、身体座標系における頭部位置の情報 (H_b) が得られる^{15) 16) 17)}。この情報に基づき、頭部座標系における視覚対象の情報 (O_h) を、身体座標系におけるそれ (O_b) に順方向変換することができる ($O_h + H_b = O_b$)。また、筋運動感覚を含む体性感覚情報によって得られる空間

座標系における身体運動の情報 (Bs) を用い、Obから Osが順方向変換によって算出される ($Ob + Bs = Os$)。視覚対象の空間定位に関する情報処理の経路として、このような身体座標系を経由する過程も想定可能である。Fig. 1 に記述した情報処理モデルにおいて、上述した対象運動認識のプロセスに関連する部分をFig. 2 に図示する。

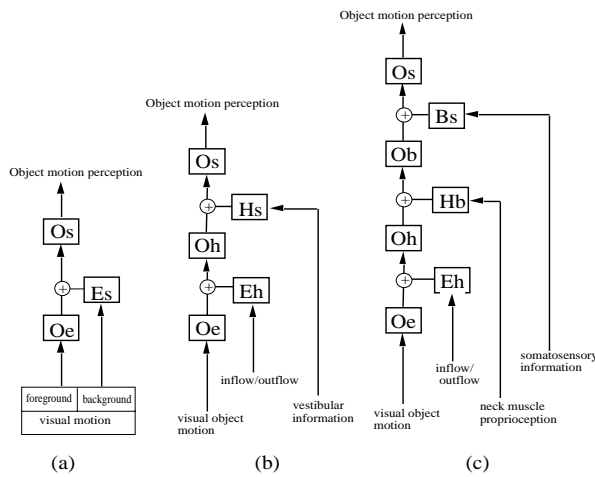


Fig.2 Three possible pathways for object-motion perception
The diagrams are subsets of multi-layered model indicated in Figure 1.
See the text and the Figure 1 for details.

- (a) $Os = Oe + Es$
- (b) $Os = Oe + Eh + Hs$
- (c) $Os = Oe + Eh + Hb + Bs$

4. 自己運動の認識過程

次に、各座標系における観察者の身体各部位の運動情報の変換過程について検討する。上述のように、Ehは動眼指令情報 (outflow) や動眼筋の自己受容感覚に基づく情報 (inflow) によって、Esは視覚情報に含まれる背景刺激運動によって、Hsは平衡感覚情報によって、それぞれ得ることができる。これらの各身体部位情報は相互に影響を及ぼしあう。例えば、EsとHsからEhを逆方向変換によって算出することができる ($Es - Hs = Eh$)。同様に、Es, EhからHsを、Eh, HsからEsを決定することが可能である ($Es - Eh = Hs$; $Eh + Hs = Es$)。またHb, BsおよびHsも、順逆両方向の変換によって相互に影響を及ぼしあうと考えられる ($Hs - Hb =$

Bs ; $Hs - Bs = Hb$; $Hb + Bs = Hs$)。筆者は、このような各座標系間の身体運動情報の統合過程によって、複数の感覚情報によって伝達される身体各部位の運動に関する情報を、矛盾なく安定して表象することが可能となると考える。ベクション知覚の潜時は、自己運動を示す視覚情報と、自己の静止を示す平衡感覚情報および体性感覚情報との間の、身体運動に関する情報の矛盾を、上記の複数の座標系における身体各部位の空間表象間の相互影響過程によって解消し、矛盾のない安定した自己運動の認識を達成するために必要な時間に相当すると理解できる。自己身体の空間定位に関する視覚情報と平衡感覚情報の処理を司る中枢神経系は、相互に抑制的な情報伝達を行う神経回路網を形成していることが知られている¹⁸⁾。上述の各座標系間の情報統合の過程も、同様の神経回路によって実現されているものと推察される。複層の座標系による過剰決定的 (冗長表現的) な空間定位情報を利用することによって、系の一部の損傷やノイズ等による感覚情報の混乱に対しても、安定した空間表象を保持することが可能な頑健な空間定位のシステムが実現されるのであろう。

このようにして形成された観察者の身体各部位の運動情報に基づいて、自己身体運動や凝視方向、頭部方位の認識がなされる。また、この身体各部位の運動情報に関しては、空間座標系に基づく最終的な表象 (空間に対して自己の身体、頭部、眼球がどのような位置にあるのか) 以外にも、複層のシステムの各座標系レベルにおいて形成される中間的な表象も利用可能であり、例えば頭部に対し眼球がどの方位を向いているのか等の認識が成立する。

ここまで議論してきた図式を用いることによって、背景刺激の運動により誘導される自己身体の運動知覚であるベクション (通常ベクション conventional vection) の成立機序を、以下のように記述することができる。網膜像情報から外界において静止していると見なされる背景運動が抽出され、その情報に基づいて空間座標系における眼球運動情報 (Es) が形成される。この際、眼窩内での眼球運動を示すEhや、身体に対する頭部運動を示すHbの情報はなく、これらの情報が統合された結果、空間内での自己の運動 (Bs) が知覚される ($Bs = Es - Eh - Hb$; Fig. 3 参照)。

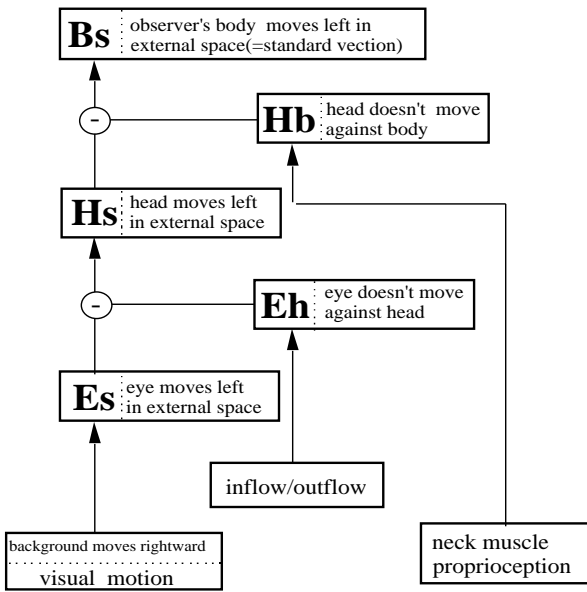


Fig.3 Information processing in perceiving standard vection
 Note: Figure indicates the case where visual pattern (background) moves rightward (leftward standard vection is perceived), as an example.

5. 逆転ベクション

前述したように、通常ベクション知覚は、背景刺激の運動によってそれとは反対方向に誘導される。このことから、従来の自己運動知覚研究では、背景刺激のみが自己運動知覚に影響を及ぼしていると考えられており、前面刺激は自己運動知覚には無関係なものであるとして無視されてきた(例えば19)等)。しかしながら、筆者らは自己運動知覚に及ぼす刺激奥行き構造の効果を詳細に分析することにより、前面刺激がベクション知覚に決定的な影響を及ぼすことを明らかにした¹¹⁾²⁰⁾。具体的には、背景刺激と直交する方向に前面刺激を比較的低速(5~10deg/sec)で運動させた場合に、前面刺激運動と同方向への自己運動知覚が誘導されることを見出した。この新たに発見された自己運動知覚現象を、逆転ベクション(inverted vection)と名付けた。この逆転ベクション知覚の生起メカニズムを、本節で提起した運動認識に関する多層の座標系における空間定位情報の相互変換の枠組みから説明することを試みる。これまでの生理学的な検討によって、視覚誘発性の眼球運動には2つの型が存在することが明らかにされている²¹⁾²²⁾。一方は、発生学的により古い起源を持つ、身体運動にともなう網膜像のずれ(retinal

slip)を最小限に抑えるために誘発される反射的な眼球運動であり、もう一方は、より新しい、外界の対象を中心窩上に捕捉するために必要な意図的な眼球運動である。前者には、眼球追従反応(ocular following response)や視覚運動性ニスタグマスがあり、後者にはサケードや追跡眼球運動がある。この2種の眼球運動の解発機構が協調的あるいは競合的に機能することによって、視覚誘発性の眼球運動が実現される。筆者らはさまざまな検証実験の結果に基づき、前面刺激運動によって誘発される反射的の眼球運動を意図的な追跡眼球運動で相殺することによって生じる眼球運動情報の誤登録を、逆転ベクション生起の要因として仮定した²⁰⁾。すなわち、上記した2種の眼球運動制御システムの相互作用によって、眼球が眼窩内で前面運動と反対方向へ運動しているという、頭部座標系における眼球運動情報(Eh)の誤登録が生起すると考えた。このEhと、前面刺激と直交方向に運動する背景刺激によって示される、観察者の凝視方向は前面刺激運動方向には変化しないという空間座標系における眼球運動情報(Es)を逆方向変換することによって、観察者の頭部が前面運動方向へ運動しているという空間座標系における頭部運動情報(Hs)が知覚情報処理過程に登録

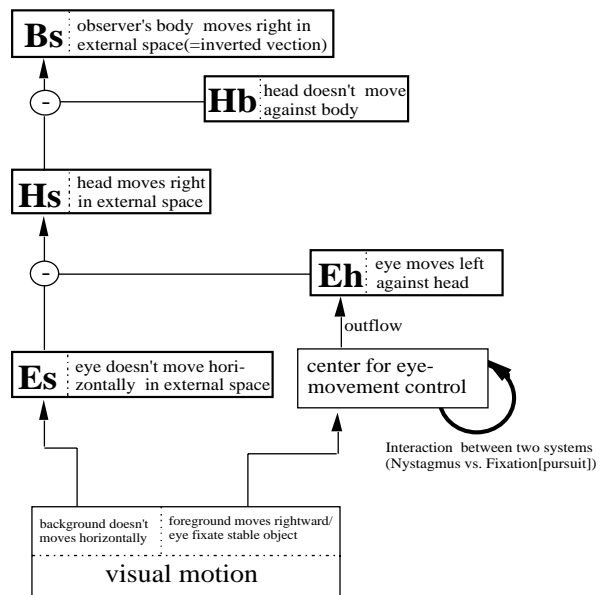


Fig.4 Information processing in perceiving inverted vection
 Note: Figure indicates the case where foreground moves rightward and background doesn't move horizontally (leftward inverted vection is perceived), as an example.

されることとなる ($H_s = E_s - E_h$)。ここで、身体座標系における頭部運動情報 (H_b) は、頭部が身体に対し静止していることを示す。この2種の座標系における頭部運動情報を統合することによって、空間座標系における身体運動情報 (B_s) が表わされることとなり、それに基づき前面刺激運動と同方向への身体運動である逆転ベクションが生起する ($B_s = H_s - H_b$; Fig. 4 参照)。

6. まとめ

本論文で提出したモデルにより、複数の感覚情報および運動指令情報が複層の座標系間の情報変換を通して統合され、自己運動および対象運動の安定した認識が成立する過程を記述することができた。このモデルを用いることによって、相互に密接な関連を持つと考えられる自己運動と対象運動の知覚情報処理過程を有機的に関係づけることが可能となり、これまで別個に検討されることが多かった両者の相互作用を考察する上で有効な理論上の枠組みを得ることができた。

今後は、これらの複数の感覚情報が自己運動知覚に及ぼす影響、とくに感覚情報間の相互作用について定量化を計る必要がある。また自発的な自己運動の場合には、上述した複数の感覚性の情報に加え、行為者の自己運動の意図や、どのような運動を行うのかに関するプランニングの情報も自己運動知覚に影響を及ぼしていると考えられる。この点に関しても今後検討が必要となるであろう。具体的には、Fig. 1 に示した自己および対象運動に関する感覚情報処理の各ステップにおいて、各情報が統合される際のそれぞれの相対的な重み、すなわちゲインを決定していくことが必要となる。

また本論文において、この多層の座標系を用いた感覚情報統合のモデルを用いて、眼球運動中の視覚対象の位置の恒常性知覚の成立メカニズムを記述することが可能であることを示した。しかしながら、視覚以外の感覚モダリティにおいても局所化された空間情報が保持されており、それらの感覚情報に基づく運動知覚も、自己運動にともなう感覚受容器自体の運動の影響を受ける。例えば頭部運動中の音源運動知覚の恒常性(例えば 23)) のように、視覚以外の他の感覚モダリティにおいても、自己運動の情報を用いて対象運動の知覚に及ぼす自己運動の影響を補正し、実際の対象運動

と正しく対応した認識を実現している。上記モデルを拡張することによって、これらの視覚以外の感覚情報に基づく対象運動の恒常的表象を記述しなければならない。

これらのさらなる検討によって、環境への行動的適応に必要な空間認識およびそれに基づく空間的行動について、その心理学的基礎を議論するための理論的枠組みを構築することが可能となろう。

引用文献

- 1) J.Dichgans and T.Brandt: Visual-vestibular interaction: Effect on self-motion perception and postural control. In *Handbook of sensory physiology* (Eds R.Held, H.W.Leibowitz, H.L.Teuber) Springer-Verlag, Berlin (1978)
- 2) R.Warren and A.H.Wertheim: *Perception and control of self-motion.*, Hillsdale, NJ Erlbaum (1990)
- 3) J.J.Gibson: *The ecological approach to visual perception* Houghton Mifflin, Boston, Massachusetts (1979)
- 4) D.N.Lee and E.Aronson: Visual proprioceptive control of standing in human infants. *Perception and Psychophysics*, 15, pp. 529-532 (1974)
- 5) D.N.Lee and J.R.Lishman: Visual proprioceptive control of stance. *Journal of Human Movement Studies*, 1, pp. 87-95 (1975)
- 6) J.R.Lishman and D.N.Lee: The autonomy of visual kinaesthesia. *Perception*, 2, pp. 287-294 (1973)
- 7) M.H.Fischer and A.E.Kornmüller: Optokinetic ausgelöste Bewegungswahrnehmungen und optokinetischer Nystagmus. *Journal für Psychologie und Neurologie (Leipzig)*, 41, pp. 273-308 (1930)
- 8) I.P.Howard: *Human Visual Orientation*: John Wiley, Chichester, Sussex (1982)
- 9) 狩野千鶴: 自己身体の誘導運動の残効について 基礎心理学研究, 8, pp. 46-47 (1989)
- 10) W. H. Warren: Self-Motion: Visual perception and visual control. In *Perception of space and motion* (Eds W. Epstein, S. Rogers) Academic Press, San Diego (1995)
- 11) 中村信次: 視覚誘導性自己運動知覚に関する実験的検討 - 視覚刺激の3次元的な配置の効果を中心として - 名古屋大学文学研究科博士論文 (2002)
- 12) L.Matin: Visual localization and eye movements. In *Handbook of perception and human performance* (Eds K.R.Boff,

- L.Kaufman, J. Thomas), John Wiley, New York (1986)
- 13) S.Nakamura: Effects of background stimulation upon eye-movement information. *Perceptual and Motor Skills*, 82, pp. 627-635 (1996)
 - 14) S.Nakamura: Effects of background motion on eye-movement information. *Perceptual and Motor Skills*, 84, pp. 107-113 (1997)
 - 15) B.Biguer, M. L.Donaldson, A.Hein and M.Jeanerod: Neck muscle vibration modifies the representation of visual motion and direction in man. *Brain*, 111, pp. 1405-1424 (1988)
 - 16) J.L.Taylor and D. I.McCloskey: Illusions of head and visual target displacement induced by vibration of neck muscles. *Brain*, 114, pp. 755-759 (1991)
 - 17) H. O.Karnath, D.Silvering and M.Fetter: The interactive contribution of neck muscle proprioception and vestibular stimulation to subjective "straight ahead" orientation in man. *Experimental Brain Research*, 101, pp. 140-146 (1994)
 - 18) T.Brandt, P.Bartenstein, A.Janek and M.Dieterich: Reciprocal inhibitory visual-vestibular interaction. Visual motion stimulation deactivates the parieto-insular vestibular cortex. *Brain*, 121, pp. 1749-1758 (1998)
 - 19) T.Brandt, J.Dichgans and E.Koenig: Differential effects of central versus peripheral vision on egocentric and exocentric motion perception. *Experimental Brain Research*, 16, pp. 476-491 (1973)
 - 20) S.Nakamura and S.Shimojo: A slowly moving foreground can capture an observer's self-motion - a report of a new motion illusion: inverted vection. *Vision Research*, 40, pp. 2915-2923 (2000)
 - 21) J.Dichgans: Optokinetic nystagmus as dependent on the retinal periphery via the vestibular nucleus. in *Control of gaze by brain stem neurons* (Eds R.Baker, A.Berthoz) Elsevier, Amsterdam (1977)
 - 22) R.B.Post and H.W.Leibowitz: A revised analysis of the role of efference in motion perception. *Perception*, 14, pp. 631-643 (1985)
 - 23) H.Wallach: The role of head movements and vestibular and visual cues in sound localization. *Journal of Experimental Psychology*, 27, pp. 339-368 (1940)