

独立対象の輪郭運動と要素運動が進行方向知覚に与える影響

横塚敬一・北崎充晃

豊橋技術科学大学大学院 知識情報工学専攻

〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1

1. はじめに

網膜運動像は、外界の対象（物体）運動、対象構造と自己運動の情報に分解されなければならない。実際、これらの運動成分が網膜像には渾然一体となって存在するにも関わらず、人間は適切な対象の運動や構造、そして自己身体の運動を知覚している（北崎，2001 参照¹⁾。これまで我々は、自己運動時の運動視差における対象運動と対象構造の分解（Kitazaki & Shimojo, 1998²⁾）や視覚誘導性自己運動知覚（ベクション）における対象運動と自己運動の分解（北崎・佐藤，1999³⁾）の問題を扱ってきた。本研究では、自己進行方向知覚（ヘディング）における対象運動と自己運動の分解に焦点を当てる。

静止環境下の自己運動をシミュレートしたランダムドット運動を用いた研究において、時間的にも空間的にもまばらな運動情報しかない場合でも、正確に自己進行方向を知覚することができることが報告されている（eg Warren & Hannon, 1988⁴⁾）。しかし、現実の世界では、光景には静止した環境のみならず、動いている物体も含まれることが多い。この問題に着目して、静止環境に加えて独立した対象運動が存在するときの自己運動知覚が主に2つのグループから研究されており、2つの相反する結果が報告されている。1つは対象運動と同じ方向へ進行方向がバイアスされて（ずれて）知覚される（Royden & Hildreth, 1996⁵⁾）という報告であり、もう1つは対象運動と反対の方向へバ

イアスされて知覚される（Warren & Saunders, 1995⁶⁾）というものである。ただし、実際には、両者の実験刺激や被験者のトレーニングの割合などが異なり、単純な比較はできない。

まず我々は、Royden & Hildrethと同様な実験方法を用いて、独立運動対象の奥行きを両眼視差定義で操作し、その影響を調べた（Kitazaki & Yokotsuka, 2001⁷⁾）。その結果、対象運動領域と静止環境領域の奥行きが同じ場合に比べ、視差によって奥行きが異なる場合には、有意に対象運動による進行方向知覚バイアスが減少した（図1）。なお、バイアスはRoyden & Hildrethと同じく対象運動と同方向であった。また、これは拡大運動パタンの焦点（Focus of Expansion）が重畳した並進運動パターンと同じ方向にずれて知覚され、奥行き差によってその効果が影響をうけるという研究（Duffy & Wurtz, 1993; Grigo &

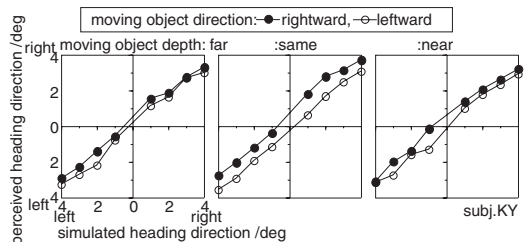


図1 進行方向知覚バイアスに対象運動領域の奥行きが及ぼす効果（Kitazaki & Yokotsuka, 2001⁷⁾：各グラフの横軸はシミュレートした進行方向、縦軸は知覚された進行方向である。●は対象運動が右方向、○は左方向の場合である。3つのグラフは、左から、対象運動領域が奥、同じ、手前の場合である。特に対象運動領域が背景領域と同じ奥行きの際に、対象運動が右の場合には知覚された進行方向は右方向にシフトしており、左方向の場合には左にシフトした。この効果は、奥行き差がある2条件では、減少した。

Lappe, 1998)^{8,9)}とも一致する結果である。ただし、拡大運動パタンの焦点ずれの研究では、並進パタンが手前の場合のみズレが減少するのに対して我々の研究では手前・奥に関わらずバイアスが減少した。しかし、拡大運動パタンの焦点ズレの研究とは、刺激サイズ（特に並進運動が視野全部を覆っている点）や課題が異なる（進行方向判断ではなく拡大焦点の推定）ため、直接的な比較は難しい（詳細な検討は、Royden & Hildreth, 1996)⁵⁾。また、我々は、対象運動の領域サイズが大きい場合にはバイアスが大きくなることも報告した。これらの結果から、対象運動領域の視差やサイズによる静止環境領域からの知覚的分離が自己進行方向の計算過程において利用されていると推察した。

これらの知見をふまえ本研究では、独立運動対象の「輪郭の運動」と「内部要素の運動」が、自己進行方向知覚バイアスに及ぼす影響を調べた。

2. 実験1

独立運動対象について、その輪郭の運動と要素の運動を独立に操作し実験を行なった。また、対象運動領域の奥行きについても両眼視差によって操作した。Kitazaki & Yokotsuka (2001)⁷⁾と同様の方法を用い、ランダムドットからなる前額平行面への観察者前進運動をシミュレートしたものに独立運動対象を重ねたものを刺激とし、自己進行方向知覚を測定した。

2.1 方法

実験の目的を知らない2人が実験に参加した。刺激は20インチCRTディスプレイ（Eizo E66T; 1280 × 492 pixel, 垂直同期周波数120 Hz, 各眼60 Hz左右眼継時切り替えによる両眼立体視）上に提示され、実験はコンピュータ（Silicon Graphics INDY R5000）によって制御された。静止環境として、ランダムドットを前額平行面に800ドット配置（静止背景面; 350 × 280 mm, 35 × 28 deg）し、速度168 mm/sで前方への観察者並進運動（運動開始時の観察者から静止背景面までの距離は570 mm）、進行方向6水準（注

視点から左へ1.2°, 1.8°, 2.7°, 右へ1.2°, 1.8°, 2.7°）をシミュレートした（図2）。この刺激に独立対象（直径100 mm, 10 degの円領域）を重ねて提示し、その境界を左あるいは右に運動させた（輪郭運動条件; 8.4 mm/s）。それとは独立に、内部の点を左または右に運動させる条件と静止条件の3水準を設定した（要素運動条件; 輪郭に対して相対的に, -8.4, 0.0, 8.4 mm/s）。なお、対象運動領域は背景にドットのみ重畳されたため、背景のドットも同時に観察された。また、対象運動領域の奥行きは3水準（静止背景領域に対し0.4°奥, 同じ, 0.4°手前）であり、それらをランダムな順序で提示した。被験者はあご台で頭部を固定し、暗室内でStereo Graphics社のCrystal EYES 3 LCD立体視メガネをかけて570 mmの距離から刺激を観察した。各試行では、シミュレート運動が中央の注視点と共に1秒間提示された後、刺激が消え、被験者はマウスカーソルで知覚した進行方向をポインティングした。各被験者は、進行方向（6水準）×輪郭運動（2）×要素運動（3）×奥行き（3）の条件の組み合わせを、ランダムな順で20回繰り返した。

2.2 結果と考察

被験者の進行方向判断は、操作した進行方向とほぼ同じ方向であったので、ここでは全ての進行方向条件をまとめて平均をとったデータをグラフに示した（図3）。左右6水準の進行方向条件をまとめて平均をとったために、対象運動によるバイアスがなければ、値はゼロとなるはずである。そして、この値が右（左）方向であれば、進行方向知覚が全体的に右（左）にバイアスされたということを意味する。結果は、2人の被験者共

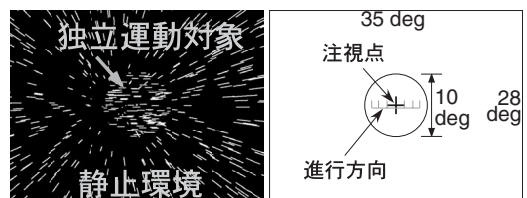


図2 実験1の刺激。左図は刺激の例であり、右図はその模式図である。黒色背景に赤色ランダムドットが配置され、中央には対象運動領域が重畳され、背景領域とは独立に操作された。

に、輪郭運動が左右方向のいずれであっても、内部要素が静止している場合には、バイアスはほとんど生じなかった。また、要素運動が輪郭運動と同じ方向の場合には、同方向へのバイアスが、輪郭運動と反対方向の場合には反対方向にバイアスが生じた。つまり、輪郭運動の影響はほとんどなく、要素運動の方向のみによってバイアスが生じたことが示唆された。また、この要素運動からの進行方向知覚バイアスも、対象領域が背景領域から奥行き分離されることによって減少した。

3. 実験2

実験1では対象運動領域を透明にしてドットのみ背景に重畳したが、実験2では対象運動領域を不透明にして背景を遮蔽する刺激を用いて実験を行なった。これによって、対象運動領域内では背景のドットは観察できず、拡大焦点(FOE)も対象運動によって常に遮蔽された。

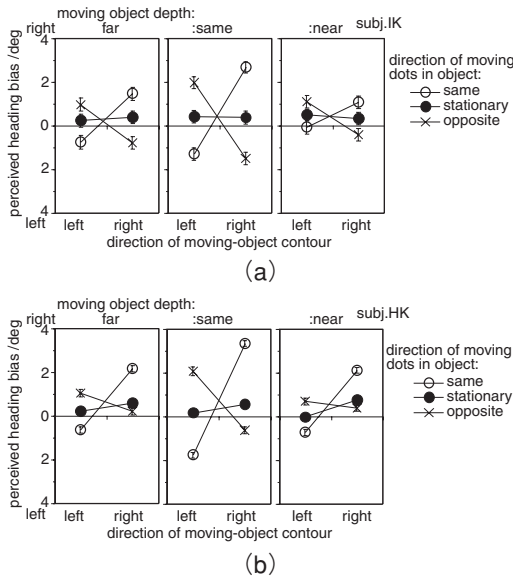


図3 実験1の結果。2人の被験者のデータを示す。各グラフの横軸は輪郭運動の方向、縦軸は知覚された進行方向の全進行方向条件での平均である(バイアスがなければ0となる)。3つのグラフは、左から、対象運動領域が奥、同じ、手前の場合である。●は、内部要素のドットが輪郭に関係なく静止している条件、○は、要素ドットが輪郭と同じ方向に運動する条件(内部輪郭と要素と一緒に運動)、×は、要素ドットが輪郭とは反対方向に運動する条件である。

3.1 方法

対象運動領域を不透明にし、背景を遮蔽するようにした点以外は、手続き・刺激・条件等は実験1と同じであった。被験者も実験1を行なった2人であった。

3.2 結果と考察

結果を図4に示す。結果は、実験1と異なり、被験者IKでは要素運動が輪郭運動に対して同方向か反対方向に関わらず、輪郭運動と同じ方向に進行方向知覚バイアスが観察された。また、被験者HKについても、要素運動が輪郭運動と反対方向であってもバイアスは0か輪郭方向と同方向を示しており、実験1の結果と比べると輪郭運動の効果が強く見られた。これらのことから、対象運動領域が背景領域を遮蔽する不透明な領域で構成される場合には、要素運動の効果よりも輪郭運動の効果が大きいことが示唆された。また、奥行き分離によるバイアスの減少は、実験1と比較して少なかった。

4. 総合考察

今回は「独立対象の運動成分である輪郭の運動と内部要素の運動が自己進行方向知覚バイアスに影響するか」について実験を行なった。実験1では、進行方向をシミュレートする背景

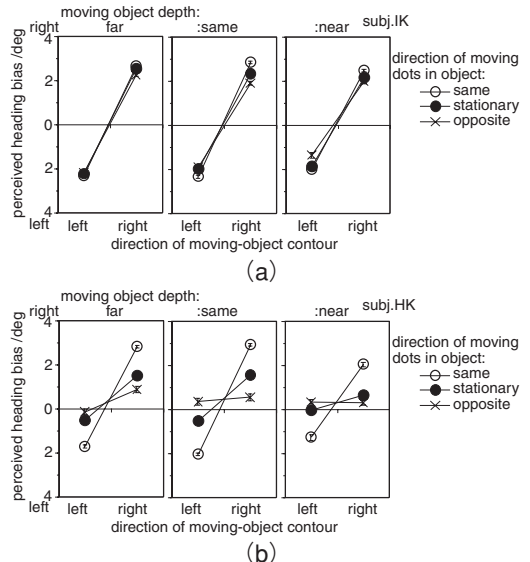


図4 実験2の結果。2人の被験者のデータを示す。グラフの見方は、図3と同様である。

ドットの運動に加えて、拡大焦点(進行方向)付近に独立に運動する対象のドット領域を設定し、その領域の輪郭の運動と内部要素の運動をそれぞれ独立に操作した。そのドット領域を透明とし、背景ドットの運動に重ねて提示した結果、輪郭の運動方向ではなく内部要素の運動方向に自己進行方向知覚バイアスが生じた。実験2では、実験1で用いた刺激を使い、その独立運動対象の領域を不透明とし、背景ドットの運動を遮蔽して提示した。その結果、実験1とは対照的に、要素運動によるバイアスよりも、輪郭の運動によるバイアスの方が強かった。

したがって、本研究から、輪郭運動と要素運動は、ともに自己進行方向知覚に影響を与えることが示された。但し、それぞれの効果は対象運動と背景(静止環境)との関係によって異なり、特に独立運動対象が不透明な場合には、輪郭の運動によるグローバルな運動知覚が進行方向に大きな影響を与えることが示唆された。これは、独立運動対象領域が背景を遮蔽するときには、対象領域が透明な場合に比べて、その輪郭がより知覚されやすく内部要素の運動を捕捉しているからではないかと推察される。

Royden & Hildreth(1996)⁵⁾ が指摘しているように、対象運動による進行方向知覚バイアスが対象運動と同方向であることは、進行方向の計算は、視野内のオプティカル・フローの単純加算では説明できないことを意味する。そこで、視野内の整合性の低い(矛盾した)運動成分を計算し、それを排除したのちに進行方向を計算し、排除された運動成分が対象運動とされるというモデル(Hildreth, 1992 など)¹⁰⁾ がこの現象の説明に適しているとされている。しかし、本研究やKitazaki & Yokotsuka (2001)⁷⁾ が示したのは、オプティカル・フローにおける運動成分の分解のみならず、両眼視差や領域サイズ、遮蔽関係と輪郭などのいくつかの情報によって生じる対象領域の背景領域からの分離が進行方向の知覚に影響を与えるということである。したがって、自己進行方向の知覚は、純粋に光学的なオプティカル・フローからの計算過程のみで成り立つのではな

く、他の視覚モジュールからの対象運動と対象構造の情報も貢献していると考えられる。

謝 辞

本研究は、日産学術振興財団からの研究助成および日本学術振興会からの奨励研究A#12710036の補助を受けた。

文 献

- 1) 北崎充晃：実環境での知覚。 *VISION*, **13**, 11-21, 2001.
- 2) M. Kitazaki and S. Shimojo: Surface discontinuity is critical in a moving observer's perception of objects' depth order and relative motion from retinal image motion, *Perception*, **27**, 1153-1176, 1998.
- 3) 北崎充晃, 佐藤隆夫: 自発的注意が決定する視覚性自己運動知覚。 *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, **4**, 505-510, 1999.
- 4) W. H. Warren and D. J. Hannon: Direction of self-motion is perceived from optical flow. *Nature*, **336**, 162-163, 1988.
- 5) C. S. Royden and E. C. Hildreth: Human heading judgments in the presence of moving objects. *Perception and Psychophysics*, **58**, 836-856, 1996.
- 6) W. H. Warren and J. A. Saunders: Perception of heading in the presence of moving objects. *Perception*, **24**, 315-331, 1995.
- 7) M. Kitazaki and K. Yokotsuka: The depth separation modulates heading bias in the presence of moving objects. *Proceeding of First Asian Conference on Vision*, 19, 2001.
- 8) C. J. Duffy and R. H. Wurtz: An illusory transformation of optic flow fields. *Vision Research*, **33**, 1481-1490, 1993.
- 9) A. Grigo and M. Lappe: Interaction of stereo vision and optic flow processing revealed by an illusory stimulus. *Vision Research*, **38**, 281-290, 1998.
- 10) E. C. Hildreth: Recovering heading for visually-guided navigation. *Vision Research*, **32**, 1177-1192, 1992.