

方位変化は運動からの奥行き知覚の 単独手がかりとなるか？

川端秀典・北崎充晃

豊橋技術科学大学 知識情報工学系

〒 441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1

1. はじめに

静止したライン・テクスチャからの奥行き知覚の研究において、二次元投影画像上に奥行き変化から生じる方位変化があるものと方位変化がないものとを比較すると、方位変化がある場合にのみ奥行きが知覚されることが報告されている (Li & Zaidi, 2000¹⁾). 一方、運動からの奥行き知覚においては、初期にワイヤースケッチを用いた研究がなされており、奥行き知覚には方位と長さの同時変化が必要な条件として報告されている (Wallach & O'Connell, 1953²⁾; Johansson & Jansson, 1969³⁾). 近年では運動視差からの奥行き知覚や運動からの構造復元において、剪断運動 (shearing motion) と圧縮運動 (compressive motion) とを比較した研究が行われている。剪断運動は、運動方向に垂直な速度勾配をもつ運動場であり、圧縮運動は、運動方向に沿った速度勾配を有するものである。Rogers & Graham (1983)⁴⁾ は、運動視差による Craik-O'Brien-Cornsweet 錯視において、圧縮運動の方が剪断運動よりも錯視量が大きいことから、剪断運動からの奥行き知覚の方が感度が高いと結論している。Norman & Lappin (1992)⁵⁾ は、運動からの奥行き曲面弁別において、球、横筒、縦筒、平面の順 (垂直軸周りの回転) で感度が高いことを報告している。これは、圧縮運動のみ (縦筒、平面) よりも剪断運動を含む (球、横筒) 方が奥行きが知覚されやすいことを意味してい

る。また、Lappin, Ahlstorm, Craft & Tschantz (1994)⁶⁾ は、剪断運動は他の運動に比べて感度が高く、運動からの構造復元のプリミティブではないかと論じている。ただし、Nakayama, Silverman, MacLeod & Mulligan (1985)⁷⁾ は、運動知覚の感度は速度勾配の空間周波数が 1.0 cpd 以下では圧縮の方が剪断よりも高いことを報告している。

上記の方位の変化成分、方位と長さの同時変化、および剪断運動は、比較的類似した幾何学的成分を含んでいると考えられる。そこで本研究では、ライン・テクスチャを用いて、運動からの奥行き知覚における方位変化と間隔変化の比較検討を行った。また、特に方位変化と間隔変化による静止成分と運動成分との違いに注目し、実験を行った。

2. 実験 1

2.1 目的

ある平面上に平行に配置した線分群を線分に対して垂直軸周りあるいは水平軸周りに回転させると、その二次元投影像 (透視投影) には、それぞれ方位変化と間隔変化のみが生じる (図 1)。なお、本研究では、このような均一にあるいはランダムに配置した複数の線分からなる刺激をライン・テクスチャと呼ぶ。実験 1 では、平行に均一に配置したライン・テクスチャを用いて方位変化成分と間隔変化成分からの奥行き知覚を比較検討した。

2.2 方法

第一著者と実験の目的を知らない被験者 3 人

の計4人が実験に参加した。実験制御にはコンピュータ SiliconGraphics のO2-R5000, 刺激提示に SONY の21 inch CRT モニタ (GDM-F500) を使用した。

刺激は前額平行面上の900x900 pixelの領域に20本の水平線分/垂直線分を45 pixel(1.26 deg)の等間隔で配置し, 600x600pixel (16.8x16.8 deg)の窓枠でクリッピングした。これは, 線分の端点や全体の形状が奥行き知覚に及ぼす影響を防ぐためである。運動成分は, 垂直軸周りに水平線分が回転する方位変化条件と垂直線分が回転する間隔変化条件の2水準で, 回転角度は2, 4, 6, 8, 16 degの5水準とした。回転方向は前額平行から左あるいは右が奥になる2水準であった。また, 回転速度は25.33 deg/s (4.22 rpm)で固定のため, 角度条件によって提示時間は, それぞれ78.9, 157.8, 236.7, 315.6, 631.5 msであった。この刺激は, 観察距離57 cmにあわせて透視投影され, アンチエイリアシング処理を施されて提示された。

被験者は刺激を単眼観察し, 左右どちらが奥に行くように知覚されたかを強制二肢選択で判断した(奥行き回転方向判断)。各被験者が, 運動成分(2) x 回転角度(5) x 回転方向(2)の条件の組み合わせをランダムな順で20回繰り返した。

2.3 結果と考察

水平線分, 垂直線分ともに回転角度の増大に伴い, 奥行き知覚の正答率は上昇した(図2)。

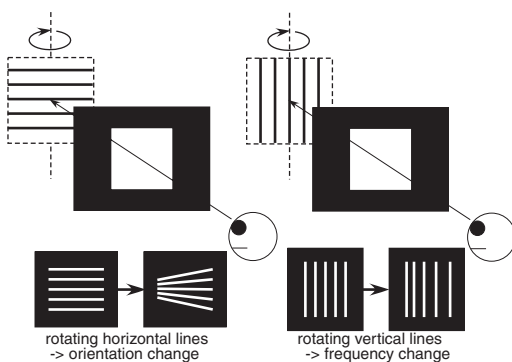


図1 実験刺激シミュレーションの概要。水平線分を垂直軸周りに回転させるとその投影像には方位変化のみが生じ, 垂直線分を垂直軸周りに回転させると間隔変化のみが生じる。

さらに全ての条件において水平線分の正答率は垂直線分よりも高かった。つまり, 運動からの奥行き知覚において, 方位変化の方が間隔変化よりも有効であることが示唆された。ただし, この実験刺激では, 方位および間隔の静止テクスチャ成分が同時に存在している。つまり, 最終フレームだけを観察しても奥行きが判別可能である。実験2および実験3では, この方位と間隔の静止成分を極力排除して, 純粋に動的な方位変化成分・間隔変化成分の奥行き知覚に及ぼす影響を検討した。

3. 実験2

3.1 目的

実験1で用いた刺激の初期方位(前額平行面上での線分の方位)にばらつきを持たせることによって, 平行線分の回転後に生じる方位の静的成分のみから奥行きが知覚される可能性を排除し, 純粋な方位変化成分の影響を検討した。

3.2 方法

初期方位に0, 5, 10, 20, 40 degの5水準のばらつきを持たせた。なお, 0 degでは水平線分のみであり, 他は水平を平均にして前述の数値を分散とする正規分布状のばらつきであった。回転角度は2, 4, 8 degの3水準であった。他は実験1と同様であった。

また, 静止成分のみからの奥行き知覚との比較を行うために, 統制実験として最終フレーム

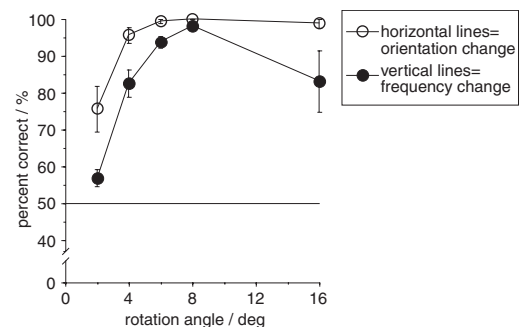


図2 実験1の結果。被験者4人の平均値を標準誤差をエラーバーとしてプロットした。横軸は回転角度, 縦軸は奥行き判断の正答率である。○は, 水平線の垂直軸周りに回転であり, 方位変化成分のみを含む。一方●は垂直線の同回転であり, 間隔変化成分のみを含む。

のみを同じ時間提示させる実験を行った。

3.3 結果

方位変化の動的成分がある場合には、全ての条件において回転角度の増大に伴って正答率が上昇した(図3)。また、動的成分をなくし、最終フレームのみを提示させた統制実験においては全てが水平線分の場合にのみ正答率が上昇した。つまり、線分の初期方位にばらつきがある場合には、ほとんど奥行きは知覚されず、線分が全て平行の場合のみ静止成分が奥行き知覚をもたらした。したがって、方位の静止成分は単独で奥行き知覚をもたらすが、初期方位にばらつきがある場合には静止成分が除去されたと考えられる。そして、静止成分が除去された方位にばらつきがある条件においても、運動条件では奥行きが知覚されたことから、方位変化の動的成分は単独でも奥行き知覚に有効であることが示唆された。

4. 実験3

4.1 目的

実験1で用いた刺激の初期間隔(前額平行面上での線分の間隔)にばらつきを持たせることによって、平行線分の回転後に生じる間隔の静的成分のみから奥行きが知覚される可能性を排除し、純粋な間隔変化成分の影響を検討した。

4.2 方法

初期間隔に1.26 degの0, 12.5, 25, 50, 100%の5水準のばらつきを持たせた。なお、0は全ての垂直線分が等間隔(1.26 deg)であり、他は等

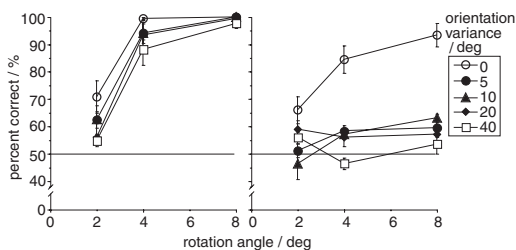


図3 実験2の結果。被験者4人の平均値を標準誤差をエラーバーとしてプロットした。横軸と縦軸は図2と同じ。左は運動が提示された実験であり動的成分を含む場合の結果である。右は統制実験として行った静止フレームのみを提示した静的成分のみからの結果である。各シンボルは、前額平行面での初期方位のばらつきの水準を示す。

間隔を平均に前述の数値を分散とする正規分布状のばらつきであった。回転角度は4, 8, 16 degの3水準であった。他は実験1と同様であった。

また、統制実験として実験2と同じく最終フレームのみを提示させる実験を行った。

4.3 結果

間隔変化の動的成分がある場合には、全ての条件において回転角度の増大に伴って正答率が上昇した(図4)。ばらつきがない条件においてやや正答率が高かった。しかし、運動情報を取り除いた間隔変化の静的成分のみでは、すべての条件に関して回転角度が増加しても正答率は上がらず、やや下降していた。これは、間隔変化の静的成分はまったく奥行き知覚に貢献しないことを示している。そして、間隔変化に関しては動的成分のみが奥行き知覚に貢献していることを示唆した。

5. 実験4

5.1 目的

実験1および実験2では、方位変化の動的成分が単独で奥行き知覚をもたらすと結論したが、従来の研究では、ワイヤーフレームの運動からの構造復元において方位変化のみでは奥行きは知覚できないとされている(Wallach & O'Connell, 1953²⁾; Johansson & Jansson, 1969³⁾)。本研究では透視投影を用いている点が最大の違いであるが、回転に伴い投影像において各線分のグローバルな位置が変化している点も重要なこととし

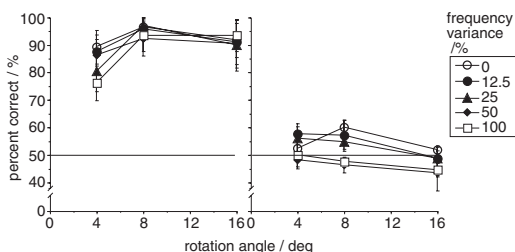


図4 実験3の結果。被験者4人の平均値を標準誤差をエラーバーとしてプロットした。横軸と縦軸は図2と同じ。左は運動が提示された実験であり動的成分を含む場合の結果である。右は統制実験として行った静止フレームのみを提示した静的成分のみからの結果である。各シンボルは、前額平行面での初期間隔のばらつきの水準を示す。

て指摘できる。そこで、ここでは、線分の位置・長さを固定した条件において、局所的な方位変化成分のみから奥行きが知覚されるかを検討した。

5.2 方法

第一著者と実験の目的を知らない被験者2人の計3人が実験に参加した。装置は実験1と同様であった。刺激は900x900 pixelの領域に200本の短い線分をランダムに配置した平面を、600x600 pixel (16.8x16.8 deg)の窓枠でクリッピングした。そして、垂直軸周りの回転をシミュレートした時の方位変化量をあらかじめ算出しておき、回転させる際に各線分の位置と長さは固定したままで、方位変化のみを人工的に加えた。つまり、各線分は同じ位置・同じ長さで、垂直回転軸からの距離に応じて異なる速度で回転した。線分の初期方位は全てが水平線分の場合とランダムな方位をもつ線分の場合の2水準とした。線分の長さは0.84, 1.68, 3.36, 6.72 degの4水準とし、回転角度は16degとした。また、回転速度は152 deg/s (25.316 rpm)で、提示時間は105.2 msであった。被験者の課題は実験1と同じく奥行き回転方向判断であった。

5.3 結果

全てが水平線分の時のみ、回転角度の増大に伴って正答率が上昇したが、初期方位がランダムな場合には、ほとんど奥行きは知覚されなかった(図5)。したがって、位置と長さを固定した場合には、局所的な方位変化成分のみからでは奥行きはほとんど知覚されないことが示唆された。

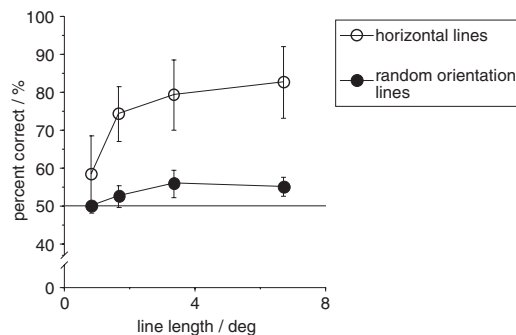


図5 実験4の結果。被験者3人の平均値を標準誤差をエラーバーとしてプロットした。横軸は線分の長さ、縦軸は正答率である。○は全てが水平線分の条件、●はランダム方位の線分の条件である。

6. 総合考察

ライン・テクスチャを用いた運動からの奥行き知覚において、方位変化成分は間隔変化成分よりも有効な手がかりであることが示された。特に方位変化成分に関しては動的成分および静的成分ともに奥行き知覚に有効であった。また間隔変化成分に関しては、静止成分はまったく貢献しないが、運動成分は奥行き知覚に十分貢献することが示された。

局所的な動的方位変化成分においては、位置と長さが変化しない場合には奥行き知覚を生じさせないことが示された。しかし、本実験において線分の位置・長さが変化しないというのは、運動からの奥行き知覚において、むしろ積極的に前額平行面上で静止しているという情報を与えるため、方位変化成分からの奥行き情報と打ち消しあった可能性も指摘される。そこで、今後は、線分の位置や長さの不確定性を持たせて実験を行う予定である。

謝辞

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

文献

- 1) A. Li and Q. Zaidi: Perception of three-dimensional shape from texture is based on patterns of oriented energy. *Vision Research*, **40**, 217-242, 2000.
- 2) H. Wallach and D. N. O'Connell: The kinetic depth effect. *Journal of Experimental Psychology*, **45**, 205-217, 1953.
- 3) G. Johansson and G. Jansson: Perceived rotary motion from change in a straight line. *Perception and Psychophysics*, **4**, 165-170, 1968.
- 4) B. J. Rogers and M. E. Graham: Anisotropies in the perception of three-dimensional surfaces. *Science*, **221**, 1409-1411, 1983.
- 5) J. F. Norman and J. S. Lappin: The detection of surface curvatures defined by optical motion. *Perception and Psychophysics*, **51**, 386-396, 1922.
- 6) J. S. Lappin, U. B. Ahlstrom, W. D. Craft and S. T. Tschantz: Spatial primitives for seeing three-dimensional shape from motion. *Th. V. Papathomas, Ch. Chubb, A. Gorea and E. Kowler (eds): Early vision and beyond*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 146-153, 1994.
- 7) K. Nakayama, G.H. Silverman, D. I. MacLeod and J. Mulligan: Sensitivity to shearing and compressive motion in random dots. *Perception*, **14**, 225-238, 1985.