

頭位の傾斜が副尺視標のずれ検出精度に及ぼす影響

稲垣尚恵¹⁾・加藤優香²⁾

The effect of head tilt on vernier detection accuracy

Hisae INAGAKI and Yuka KATO

最も高度な視的空間覚であると言われている副尺視力の視標において、頭位の傾斜や視標の傾斜が副尺視標のずれ検出精度に及ぼす影響を検討することを目的とした。頭位の傾斜条件、視標の傾斜条件、視標のずれ条件を独立して操作することにより、各条件での正答割合を求め検討した。その結果、(1)頭位0°(垂直)で、視標が0°に呈示された条件での検出精度が高かった。(2)頭位傾斜がある条件、視標を斜めに呈示した条件では、検出精度は低下した(Oblique effect)。(3)頭位傾斜のない頭位0°条件では、ずれの大小のみが検出精度に影響した。(4)頭位傾斜のある条件では、頭位の傾斜と反対側にずれた副尺視標のずれ検出精度が低下する傾向が見られた。これらの結果から副尺視標のずれ検出にはOblique effectの他に頭位を傾斜させると生じる方位選択性が見られ、前庭系や深部感覚などの関与が示唆された。

Keywords : 副尺視標, 頭位の傾斜, oblique effect, 方位選択性

vernier detection optotype, head tilt, oblique effect, orientation selectivity

1. 緒言

頭を傾けても日常の空間を傾いて意識することはない。本田(2009)によるとこの現象は、「視覚世界の安定性 (visual stability) 」あるいは「視覚的な位置の恒常性 (position constancy) 」と呼ばれ、古くから様々な説明がなされている。しかし、安間・安野・宮川・平井・安間・宮尾・栗屋 (1997)、安野・安間・栗屋 (1997) は、「頭を傾けて外界を見るとなんとなく見にくく、違和感を感じる」とし、この違和感が何に由来をするかという疑問をもとに「ずれ」に関する空間の異方性 (吉田, 1969) や頭位の傾斜によって感じる違和感と視標を斜めに呈示することの差異、ならびにこれによって引き起こされる視機能の低下について、副尺視力を指標として検討した。安間ら (1997)、安野ら (1997) が注目した空間の異方性とは傾斜効果 (oblique effect) であり、ヒトの視覚においては、垂直・水平に比べて斜め方向の感受性が低くなるというものである (Appelle, 1972)。

1) 愛知淑徳大学 健康医療科学部 医療貢献学科 視覚科学専攻

2) 愛知淑徳大学 健康医療科学部 医療貢献学科 視覚科学専攻 学部生

市原(2000)は、副尺視力とは、最小視認閾、最小分離閾、最小可読閾に並ぶ、視力の尺度の1つで、2本の直線のずれを見分けさせたときに、見分けることのできる最小のずれによって示される視力であり、眼光学的な制約や網膜の受容野の大きさの制約を超えたものである。また、視覚系のより高次の処理過程と深く関係しているものであり、「ハイパー視力 (hyper acuity)」と呼ばれると述べている。

Riggs(1966)は、副尺視力の閾値は $2'' \sim 4''$ 、所(1998)は、 $2'' \sim 10''$ としており、他の尺度よりもはるかに小さい。Wilson(1986)は副尺視力には方位選択性のある空間周波数チャンネルも影響を与えているとしている。Whitaker and MacVeigh(1991)は正弦格子を視標として副尺視力を測定したところ、高い空間周波数では低い空間周波数に比べ向かいあって置いた視標間距離に影響を強く受けることを報告している。これらのことから、安間ら(1997)、安野ら(1997)は頭位の傾斜が視機能に与える影響を検討するには視標間の距離を離して呈示した副尺視標を用いることが最適であるとし、固視点(図1-a)、副尺視標(図1-b)を使用して実験を行った。

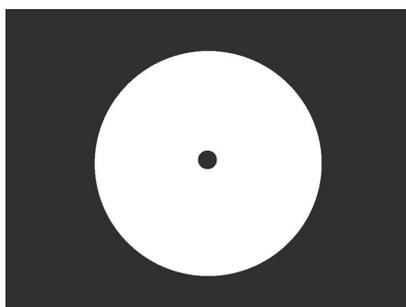


図 1-a 安間ら・安野らの実験で使用された固視点

背景円：直径 17° 固視点：直径 0.9°
視標輝度 7cd/m^2 円形背景輝度 100cd/m^2

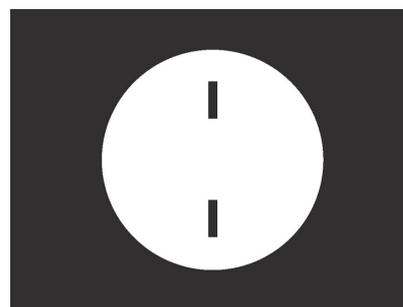


図 1-b 安間ら・安野らの実験で使用された副尺視標

視標の傾斜条件：垂直(90°)
背景円：直径 17°
視標輝度 7cd/m^2 円形背景輝度 100cd/m^2

安間ら(1997)の実験では副尺視標の傾斜の条件は水平方向に 0° (180°)、 15° と 165° 、 30° と 150° 、垂直方向に 90° 、 75° と 105° 、 60° と 120° 、安野ら(1997)の実験では副尺視標の傾斜の条件は水平方向に 0° (180°)、 15° と 165° 、 5° と 175° 、垂直方向に 90° 、 75° と 105° 、 85° と 90° であった。短軸方向のずれの条件は、 $0.00'$ 、 $5.16'$ 、 $10.31'$ 、 $20.63'$ 、 $41.25'$ 、 $82.5'$ の6種類、頭位の傾斜条件は垂直に固定した条件、頭位を右あるいは左に 30° 傾斜させた条件で行った。軸のどちらか一方にずれた時にずれを認知できる最小のずれの大きさ(閾値)と、その反対方向へのずれたときのずれの閾値を比較し、その値が2倍を超えている時にずれ認知の方向性に有意差があったと判断した。その結果、ずれに対する感度には方位選択性があり、視標の傾斜を補正する方向への感度は不良で、視標の傾斜をさらに強める方向への感度は良好であったとしている。また、この方位選択性は視標の傾斜とともに変化し、水平あるいは垂直付近の傾斜範囲で方位選択性が逆転し、この逆転する範囲には、どちらの方向のずれに対しても認知度が高い「ずれ認知中和帯」があるのではないかと考察している。安間ら(1997)、安野ら(1997)は、頭位の傾斜や視標の傾斜によってずれの感度の変化や方位の選択性を明らかにしているが「ずれ認知中和帯」の変化に注目しており、頭位の傾斜や視標の傾斜と oblique effect の関係や頭位や視標の傾斜とずれ方向との関係についてのデータは示されていない。そこで本研究では、安間(1997)、安野(1997)らの実験で使用した副尺視標を使用して、頭位の傾斜条件と視標の傾斜条件に、副尺視標のずれの方向を独立条件に加えることとし、それぞれの条件下での正答割合を測定することにより、頭位の傾斜と視標の傾斜が副尺視標のずれの検出精度にどのような影響を与えるか、について方位選択性に注目して検討することとした。

2. 実験 1

2.1. 目的

副尺視標を垂直, 水平に呈示することにより, 比較視標が標準視標に対して左右, 上下にずれる副尺視標プログラムを自作した。頭位を垂直(0° とした), 左(反時計回り)と右(時計回り)に 30° 傾けた条件で, 副尺視標のずれの正答割合を測定することにより, 頭位の傾斜, 視標の傾斜と視標のずれの方向が副尺視標のずれ検出に与える影響について検討した。

2.2 方法

(1) 被験者

眼疾患がなく, 裸眼またはコンタクトレンズ(以下 CL) 着用時の他覚的屈折値における乱視度数が 0.5D 以下で, 両眼ともに自覚的視力検査で 1.0 以上を有する者で眼位が正位または 10△以内の斜位, Stereo Fly Test で立体視が 40 秒以上の 5 名(平均年齢 21.6±0.55 歳)を被験者とした。眼鏡では頭位傾斜により乱視軸のずれの影響が出る可能性を考慮して屈折矯正手段には, CL のみを使用した(表 1)。

表 1. 被験者のプロフィール

被験者	年齢	視力	矯正方法	他覚的屈折(右眼)	他覚的屈折(左眼)	眼位	Stereo fly test
1	22	1.5	裸眼	S-0.50D C-0.50DA160°	S+0.25D C-0.50DA185°	8△X	40"
2	21	1.5	裸眼	S-2.25D	S-0.50D C-0.25DA25°	8△X	40"
3	21	1.5	SCL (R=S-3.25D, L=S-2.50D)	S-0.75D C-0.50DA25°	S-0.75D C-0.50DA155°	6△X	40"
4	22	1.5	SCL (R=S-3.50D, L=S-3.50D)	S-0.25D	S-0.50D	8△X	40"
5	22	1.5	SCL (R=S-4.75D, L=S-4.75D)	S-0.75D	S-0.75D	6△X	40"

(2) 装置

PC(ProBook 450 G3 Hewlett-Packard Japan, Ltd.), PC モニター(15.6 インチ, 解像度 1366×768pixel, Refresh rate 59Hz) を使用した。

(3) 刺激

刺激である副尺視標は, 安間ら(1997)が行った実験の副尺視標(図 1)を再現し使用した。図 2 に本実験で使用した副尺視標の 1 例(視標の傾斜条件: 垂直, ずれ条件: +10.31')を示した。副尺視標(輝度 0.70cd/m²)は PC モニター上に示された直径視角 17.1° の白色円形背景(輝度 98.07cd/m²)の上に表示した。背景と視標のコントラストは 99%であった。視角 2.2° × 0.4° の 2 個の長方形視標を画面中心(画面上下端から 11.0°, 画面左右端から 19.9°)から長軸方向に一致させて, 9.4°

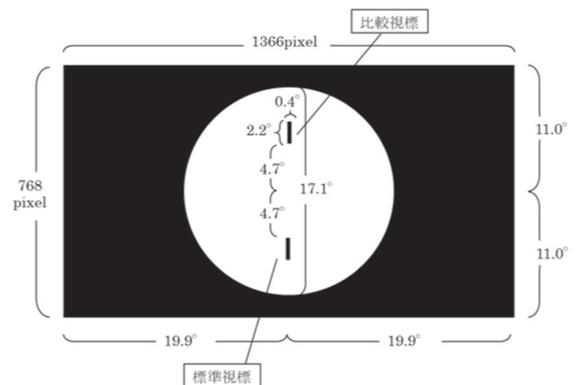


図 2 副尺視標

視標の傾斜条件: 垂直
ずれ条件+10.31'

(中心から副尺視標近位端まで 4.7°) 離して並べた。本研究では頭位の傾斜と副尺視標のずれの方向との関係を検討するために, 視標の呈示方向は左右のずれを検出する垂直条件(視標の傾斜垂直条件)では, 下方の視標を標準視標, 上方の視標を比較視標, 上下のずれを検出する水平条件(視標の傾斜水平条件)では, 向かって右方の視標を標準視標, 左方の刺激を比較視標とした。視標のずれの大きさは, 安間ら(1997)の研究では 0.00', 5.16', 10.31', 20.63', 41.25', 82.49' の 6 段階であったが, 本研究では, 5.16', 10.31', 20.63' の 3 段階とし, 視標の傾斜垂直条件では, 比較視標を向かって左方向にずらし,

-5.16', -10.31', -20.63', 向かって右方向にずらし, +5.16', +10.31', +20.63', の6条件とした。視標の傾斜水平条件では, 比較視標は標準視標に対して上方向にずらし, +5.16', +10.31', +20.63', 下方向にずらし, -5.16', -10.31', -20.63' の6条件とした。刺激の作成, 制御は PsychoPy (ver. 1.82.02) を用いた。

(4) 実験条件

頭位の傾斜条件(以後頭位条件)は, 頭位が垂直である頭位0°(安間らの実験では垂直を90°としたが本実験では0°とした), 頭位-30°(反時計回りに30°傾斜), 頭位+30°(時計回りに30°傾斜)の3条件, 視標の傾斜条件は, 垂直方向を0°とした垂直条件(以下垂直条件), 垂直方向を0°として-90°傾けた水平条件(以下水平条件)の2条件, 副尺視標のずれ度数条件(以下ずれ条件)は, -20.63', -10.31', -5.16', +5.16', +10.31', +20.63' の6条件とした。

(5) 手続き

実験前に実験の概要, 実験参加を中止する自由とそれによる不利益はないことなどを説明し, 了承を得てから実験を行った。

方向の手掛かりを取り除くため実験は暗室で行なった。観察距離は50cmとした。顎台は試行ごとに0°, -30°, +30°に変化させて頭位を固定し, 両眼視の状態では視標がどちらにずれているかを測定した。被験者は実験開始前に練習試行を行い, 実験への理解が十分な状態で実験を開始した。

被験者は, PCモニター上に呈示された固視点(黒色円形: 直径視角0.9°, 輝度0.70 cd/m²)を固視した。被験者が開始したいタイミングでスペースキーを押すと固視点が消え, 無刺激の白色画面が1500msec呈示され, 続いて副尺視標が250msec呈示された。副尺視標消失後, 無刺激の白色画面が呈示され, 被験者は任意のタイミングで視標のずれの方向を傾斜条件が垂直では「左」, 「右」の方向キー, 視標の傾斜条件が水平では「上」, 「下」の方向キーで回答した。回答すると固視点が1500msec呈示され, 各

繰り返し

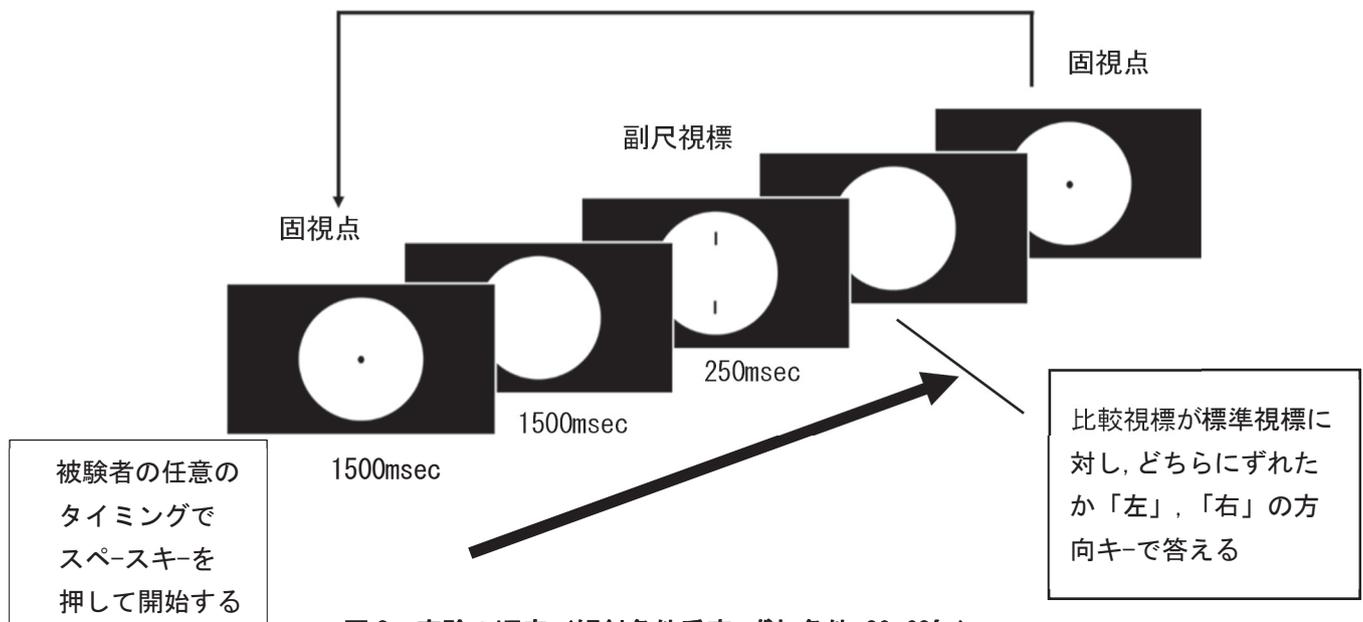


図3 実験の順序(傾斜条件垂直, ずれ条件+20.63')

モニターサイズ: 1366×768pixel
 背景円: 直径=17.1° 固視標: 直径=0.9°
 検査視標: 2.2°×0.4° 250msec出現
 視標間距離=9.4°

条件が繰り返された(図3)。頭位条件3条件×視標条件2条件×ずれ条件6条件を50回繰り返し測定し、計1800回測定した。頭位条件3条件はあらかじめ無作為に設定した。

なお、本研究は愛知淑徳大学大学健康医療科学部倫理委員会の承認を得て行った(承認番号:2018-5)。

2.3. 結果と考察

副尺視標のずれ条件の正答を1、誤答を0とし、試行数で除して正答割合とし、頭位条件×視標の傾斜条件×ずれ条件の3要因分散分析を行った。頭位条件とずれ条件の主効果が有意であった(頭位条件: $F(2, 8964)=145.276, p<.001$, ずれ条件: $F(5, 8964)=133.134, p<.001$)。頭位条件と視標の傾斜条件, 頭位条件とずれ条件の交互作用が有意であった(順に $F(2, 8964)=4.507, p<.05$, $F(10, 8964)=3.901, p<.001$)。視標の傾斜条件における頭位条件の単純主効果は垂直, 水平ともに有意であり(順に $F(2, 8964)=90.514, p<.001$, $F(2, 8964)=59.269, p<.001$)。多重比較(Bonferroni法)の結果から, 視標を垂直に呈示しても水平に呈示しても, 頭位 0° 条件の正答割合が一番高く($p<.05$), 頭位 $+30^\circ$ 条件と頭位 -30° 条件の間には有意差はなかった。

頭位条件とずれ条件では, すべてのずれ条件において頭位条件の正答割合の単純主効果が有意であった($-20.63'$ 条件: $F(2, 8964)=60.210, p<.001$, $-10.31'$ 条件: $F(2, 8964)=75.240, p<.001$, $-5.16'$ 条件: $F(2, 8964)=44.296, p<.001$, $+5.16'$ 条件: $F(2, 8964)=47.840, p<.001$, $+10.31'$ 条件: $F(2, 8964)=81.148, p<.001$, $+20.63'$ 条件: $F(2, 8964)=40.658, p<.001$)。図4に各頭位条件における平均正答割合の副尺度数に伴う変化を示した。多重比較の結果, すべてのずれ条件で頭位 0° 条件の正答割合が高く, ずれ条件 $-20.63'$, $-10.31'$, $-5.16'$ では頭位 $+30^\circ$ 条件の正答割合が有意に低く($p<.05$), ずれ条件 $+5.16'$, $+10.31'$, $+20.63'$ では頭位 -30° 条件で正答割合が有意に低くなった($p<.05$)。

頭位条件と視標の傾斜条件およびずれ条件の3次の交互作用が認められた($F(10, 8964)=2.433, p<.01$)。単純交互作用検定ならびに単純・単純主効果検定を行った結果, 視標の傾斜条件とずれ条件における頭位の単純・単純主効果は有意であり(すべて $p<.001$)。副尺視標を垂直・水平どちらに呈示しても, すべてのずれ条件で頭位 0° 条件の正答割合が高くなった。多重比較の結果, 副尺視標がマイナス側へずれた条件では, 頭位 $+30^\circ$ 条件の正答割合が頭位 0° , -30° 条件より有意に低く, 副尺視標がプラス側にずれた条件では頭位 -30° 条件の正答割合が頭位 0° , -30° 条件より有意に低かった。副尺視標がマイナス側にずれた条件での頭位 0° 条件と頭位 -30° 条件, 副尺視標がプラス側にずれた条件での頭位 0° 条件と頭位 $+30^\circ$ 条件の間に有意差はなかった。

各ずれ条件における頭位条件の単純・単純主効果が有意であった(すべて $p<.001$)。図5a-図5cに各頭位条件での視標の傾斜条件別ずれ条件に伴う平均正答割合を示した。

図5-aによると頭位 0° 条件では, 副尺視標が垂直に呈示されても水平に呈示されても正答割合に有意差はなかったがずれ条件の単純・単純主効果が有意であった($p<.001$)。多重比較の結果, ずれの大きさが同じである $-5.16'$ と $+5.16'$, $-10.31'$ と $+10.31'$, $-20.63'$ と $+20.63'$ 条件の間の正答割合に有意差がなく, それ以外の条件間で有意差があり, 副尺視標が上下, 左右どちらにずれても, ずれ条件が小さいと正答割合は低く, ず

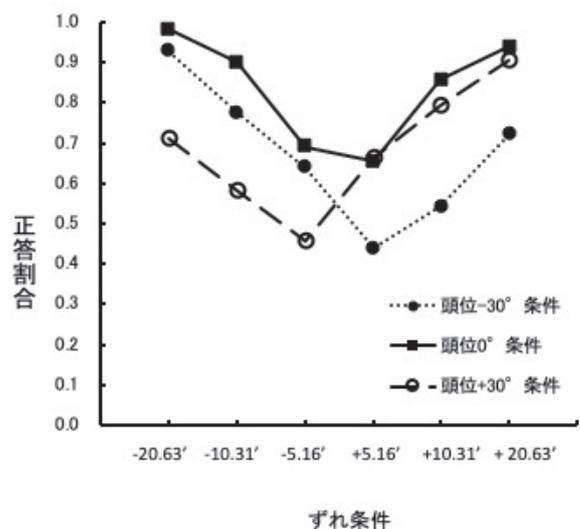


図4 各頭位条件におけるずれ条件に伴う平均正答割合変化

れ条件が大きくなると正答割合が高くなり, 副尺視標の検出精度は, ずれ条件の大小にのみに影響を受けた。

図5-bによると頭位 -30° 条件では副尺視標が垂直に呈示されても水平に呈示されても正答割合に有意差はなかった。ずれ条件の単純・単純主効果は有意で($p < .001$), 多重比較比較の結果は $+5.16'$ より $-5.16'$, $+10.31'$ より $-10.31'$, $+20.63'$ より $-20.63'$ 条件での正答割合が有意に高くなった(すべて $p < .05$)。

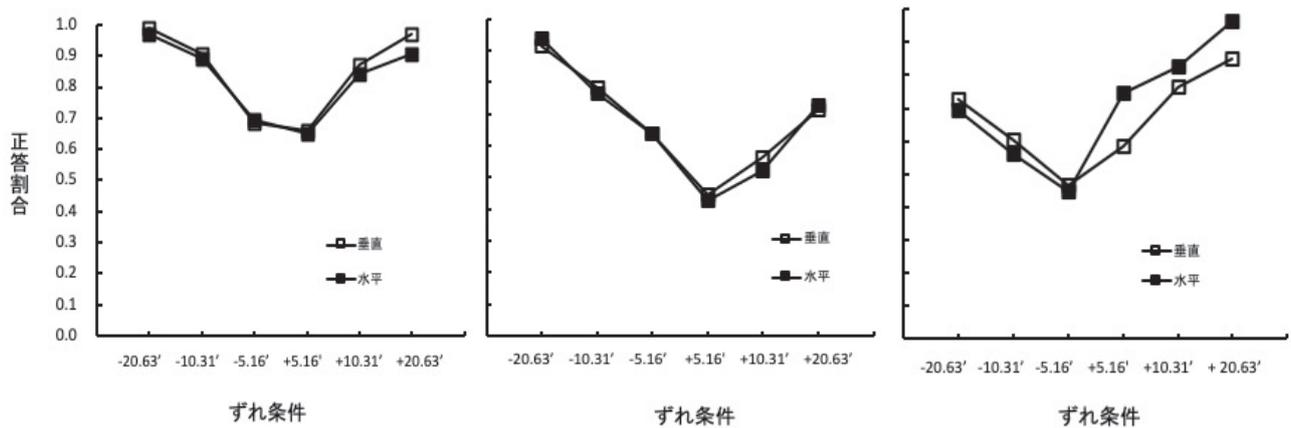


図5-a 頭位 0° 条件における視標の傾斜条件別のずれ条件に伴う平均正答割合の変化

図5-b 頭位 -30° 条件における視標の傾斜条件別のずれ条件に伴う平均正答割合の変化

図5-c 頭位 $+30^\circ$ 条件における視標の傾斜条件別のずれ条件に伴う平均正答割合の変化

図5-cによると頭位 $+30^\circ$ 条件ではずれ条件 $+5.16'$ ($p < .001$) と $+20.63'$ 条件 ($p < .01$) で視標の傾斜条件の単純・単純主効果が有意であり, 水平の傾斜条件での正答割合が高かった。ずれ条件の単純・単純主効果が有意で ($p < .01$), 多重比較の結果, $-5.16'$ より $+5.16'$, $-10.31'$ より $+10.31'$, $-20.63'$ より $+20.63'$ 条件の正答割合が高くなった。

すべての視標の傾き条件, ずれ条件で頭位 0° 条件での正答割合が高くなったことから, 副尺視標の検出精度において, 斜めより垂直・水平方向の精度が高くなる oblique effect が見られた。また, 頭位の傾斜のない頭位 0° 条件の副尺視標の検出精度は, 副尺視標の比較視標が左右にずれても, 上下にずれても, ずれの大きさにのみ影響を受けた。一方, 頭位傾斜がある頭位 $\pm 30^\circ$ 条件では, 頭位の傾斜方向と同じ側に副尺視標がずれた条件で, 副尺検出精度が高くなる方位選択性が明らかとなった。安間ら(1997)は, 副尺視力のずれに対する感度には方位選択性があり, 視標の傾斜を補正する方向への感度は不良で, 視標の傾斜をさらに強める方向への感度は良好であるとしており, 本実験でもこれを支持する結果となった。

副尺視力の oblique effect について, Corwin, R. T., Moskowitz-Cook, A. & Green, A. M. (1977) は, 網膜座標を基準として起こるとしている。本実験での頭位条件と副尺視標の傾斜条件を網膜座標に置き換えると, 頭位 -30° 条件では, 垂直に呈示した副尺視標は網膜座標軸上 $+30^\circ$ に投影され, 水平に呈示した視標は -60° に投影される。頭位 $+30^\circ$ 条件では, 垂直に呈示した視標は網膜座標軸上 -30° に投影され, 水平に呈示した視標では $+60^\circ$ に投影されることとなり, 網膜の座標軸上異なる場所に投影される。しかし, 垂直に呈示されても水平に呈示されても同じ結果となった(図5-b, 図5-c)ことから, 視標が投影される網膜座標軸と関係なく, 頭位の傾斜条件に影響を受けることが明らかとなった。

この現象が、視標が垂直・水平に呈示された時にのみ起こるのか、頭位は傾斜させず、視標を傾斜させた場合にも起こるか、視標の傾きを網膜座標 0° （例：頭位 -30° 条件、視標の傾斜 -30° 条件）に合わせて呈示した場合、頭位 0° 条件での結果と同様に起こるかなどの疑問が残る。そこで実験2では、視標を頭位傾斜と同じ角度に傾斜させて呈示し実験を行うこととした。

3. 実験2

3.1. 目的

実験1において、垂直・水平に呈示された副尺視標の検出精度は、頭位の傾斜がある条件では、網膜座標軸に関わらず、視標のずれが頭位の傾斜と同側である条件の方が、頭位の傾斜と反対側にある条件より副尺検出の精度が高くなることが示された。実験2では、副尺視標を頭位条件と同角度傾斜させ、ずれの検出の正答割合を測定することにより、頭位条件、視標の傾斜条件と副尺視標のずれ条件が副尺視標の検出精度に与える影響について検討することとした。

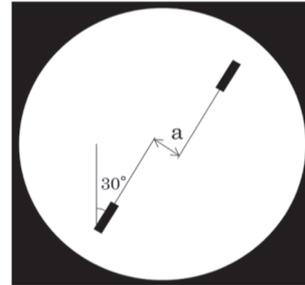


図6 安間らの実験で使用された副尺視標
視標の傾斜条件： $+30^\circ$
 a =ずれの大きさ

3.2 方法

(1) 被験者

実験1と同じ。

(2) 装置

実験1と同じ。

(3) 刺激

副尺視標は、実験1と同じとした。図6に安間ら(1997)の実験に使用した副尺視標を示した。

垂直(0°)から反時計回りに 30° 傾斜したものを -30° 条件、時計回りに 30° 傾斜したものを視標の傾斜 $+30^\circ$ 条件とした。下方の視標を標準視標、上方の視標を比較視標とした。比較視標は標準視標に対して向かって左方向(反時計回り)に $-5.16'$ 、 $-10.31'$ 、 $-20.63'$ 条件の3段階、右方向(時計回り)に $+5.16'$ 、 $+10.31'$ 、 $+20.63'$ 条件の3段階、計6段階ずらして呈示した。

(4) 実験条件

頭位条件は、実験1と同じ、頭位 0° 、頭位 -30° 、頭位 $+30^\circ$ の3条件、視標の傾斜条件は左傾斜(以下 -30°)条件、右傾斜 30° (以下 $+30^\circ$)条件の2条件、ずれ条件は、 $-20.63'$ 、 $-10.31'$ 、 $-5.16'$ 、 $+5.16'$ 、 $+10.31'$ 、 $+20.63'$ の6条件とした。

(5) 手続き

実験開始までは実験1と同じとした。被験者は、PCモニター上に呈示された固視点を固視した。被験者が開始したいタイミングでスペースキーを押すと固視点が消え、無刺激の白色画面が1500msec呈示され、続いて副尺視標が250msec呈示され、副尺視標消失後、無刺激の白色画面が呈示された。被験者は任意のタイミングで視標のずれの方向が反時計回りの時は「左」、時計回りの時は「右」の方向キーで回答した。回答すると固視点が1500msec呈示され、各条件が繰り返された。頭位条件3条件×視標条件2条件×ずれ条件6条件を50回繰り返し測定し、計1800回測定した。頭位条件3条件はあらかじめ無作為に設定した。副尺視標のずれ条件の正答を1、誤答を0とし、試行数で除して正答割合とした。

3.3. 結果

$\pm 30^\circ$ 傾斜させて呈示した副尺視標のずれ条件の正答割合について頭位条件×視標の傾斜条件×ずれ条件の3要因分散分析を行った結果、すべての主効果が有意であった(頭位： $F(2, 8964)=11.116$, $p<.001$, 傾斜： $F(1, 8964)=13.291$, $p<.001$, ずれ： $F(5, 8964)=88.420$, $p<.001$)。

頭位条件と傾斜条件, 頭位条件とずれ条件, 傾斜条件とずれ条件に関して, 交互作用が有意であった (順に $F(2, 8964)=6.332, p<.001, F(10, 8964)=7.879, p<.001, F(5, 8964)=3.778, p<.001)$)。

図7に各頭位条件における平均正答割合のずれ条件に伴う変化を示した。頭位条件とずれ条件の単純主効果検定を行った。ずれ-20.63' 条件

($F(2, 8964)=9.012, p<.001$) ,
 -10.31' 条件 ($F(2, 8964)=11.663, p<.001$) ,
 -5.16' 条件 ($F(2, 8964)=21.506, p<.001$),
 +5.16' 条件 ($F(2, 8964)=3.738, p<.05$) で頭位条件の単純主効果が有意であった。多重比較の結果, 副尺視標の比較視標が標準視標の左側にずれる-20.63' , -10.31' , -5.16' 条件では頭位を左側に傾斜させる頭位-30° 条件の正答割合が高く, 頭位+30° と有意な差があった(すべて $p < .05$)。副尺視標の比較視標が標準視標の右側にずれる+20.63' , +10.31' , +5.16' 条件では, 頭位を右側に傾斜させる頭位+30° 条件の正答割合が高くなった。統計的には+5.16' 条件でのみ頭位0° 条件との間に有意差が見られた ($p < .05$)。

実験2では, 副尺視標が±30° に傾斜しているため, 頭位0° 条件で, 網膜座標軸上視標が斜めに投影される。頭位-30° 条件では視標の傾き-30° 条件, 頭位+30° 条件では視標の傾き+30° 条件が網膜座標軸上の0° と一致する。

頭位条件, 視標の傾斜条件ならびにずれ条件の3次の交互作用が認められた ($F(10, 8964)=2.018, p<.05$)。各頭位条件において各視標の傾斜条件におけるずれ条件の単純・単純主効果が有意であった(すべて $p < .001$)。

図8-a~図8-cに各頭位条件における視標の傾斜条件ごとの副尺視標のずれ条件に伴う正答割合の変化を示した。

図8-aによると頭位0° 条件では, ずれ条件の単純・単純主効果のみ有用で, 副尺視標の傾き条件, ずれ条件ともに有意差はなく, 副尺視標の検出精度はずれの大きさのみ影響された。

図8-bによると頭位-30° 条件では, 副尺視標のずれ-10.31' , -5.16' , +5.16' , +10.31' , +20.63' 条件で視標の傾きの単純・単純主効果が有意で, 多重比較の結果, 視標の傾きが頭位の傾斜と同じ角度である視標の傾き-30° 条件(網膜座標上0° に視標が呈示される)では, ずれ条件-5.16' と+5.16' , -10.31' と+10.31' , -20.63' と+20.63' 条件間の正答割合に有意差がなく, 副尺視標が右にずれても左にずれても有意差はなく, 副尺視標の検出精度はずれの大きさのみ影響された。しかし, 頭位傾斜の角度と異なる視標の傾き+30° 条件(網膜座標上+60° に視標が呈示される)では+5.16' より-5.16' , +10.31' より-10.31' , +20.63' より-20.63' 条件での正答割合が高くなり, 頭位の傾斜と同じ側にずれたずれ条件での正答割合が高くなった。

図8-cによると頭位+30° 条件では, 副尺視標の傾き条件における有意差はなく, 多重比較の結果, 視標の傾斜角度が頭位の傾斜と同じ角度である視標の傾き+30° 条件(網膜座標上0° に視標が重なる)でも, 頭位傾斜の角度と異なる視標の傾き-30° 条件(網膜座標上-60° に視標が呈示される)でも, -5.16' より+5.16' , -10.31' より+10.31' , -20.63' より+20.63' 条件での正答割合が有意に高く(すべて $p < .05$) , 頭位の傾斜と同じ側にずれたずれ条件での正答割合が高くなった。

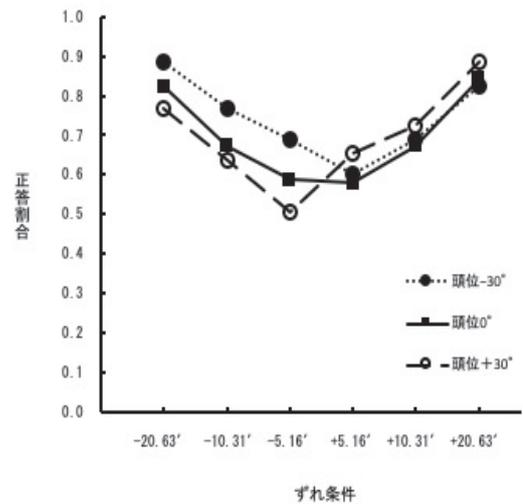


図7 各頭位条件におけるずれ条件に伴う平均正答割合の変化

頭位-30° 条件では網膜座標 0° と副尺視標の傾きが一致する視標の傾き-30° 条件では、副尺視標の検出精度はずれ条件の大小にのみに影響を受けた。しかし、網膜座標上、約+60° に投影される視標の傾き+30° 条件では頭位の傾斜と同じ側にずれたずれ条件での正答割合が高くなった。頭位+30° 条件では網膜座標 0° と副尺視標の傾きが一致する視標の傾き+30° 条件でも、網膜座標上約-60° に投影される視標の傾き-30° 条件でも頭位の傾斜と同じ側にずれたずれ条件での正答割合が高くなり、矛盾した結果となった。

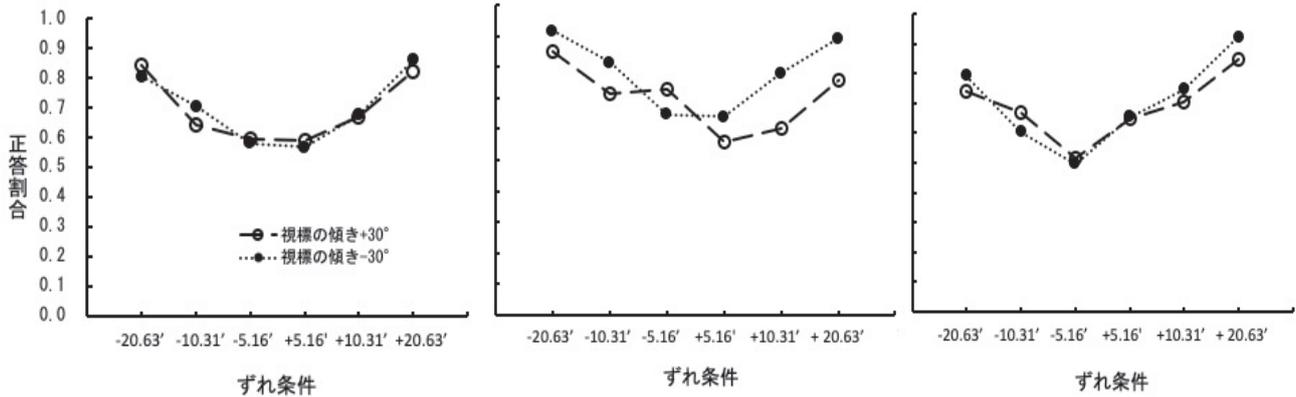


図 8-a 頭位 0° 条件における視標の傾斜条件別の副尺視標のずれ条件に伴う正答割合の変化

図 8-b 頭位-30° 条件における視標の傾斜条件別の副尺視標のずれ条件に伴う正答割合の変化

図 8-c 頭位+30° 条件における視標の傾斜条件別の副尺視標のずれ条件に伴う正答割合の変化

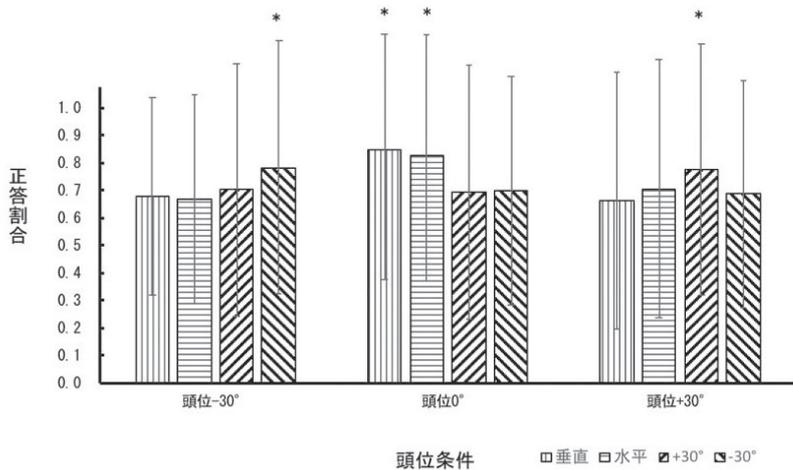
4. 総合考察

頭位の傾斜と視標の傾斜が副尺視標のずれの検出精度に及ぼす影響を、ずれの方向を条件に加えて各条件の正答割合から検討した結果、副尺視標のずれの検出精度には方位の選択性があることが明らかとなった。

頭位の傾斜、視標の傾斜と oblique effect を明らかとするために、実験 1 と実験 2 の結果を各頭位条件での視標の傾きと正答割合を比較した(図 9)。頭位が垂直である 0° 条件では視標の傾き垂直・水平の正答割合が有意に高く、網膜上に斜めに投影される視標の傾き±30° 条件の正答割合が有意に低くなった。また、頭位-30° 条件では視標の傾き-30° 条件、頭位+30° 条件では視標の傾き+30° 条件で正答割合が高くなったことより、本研究の副尺視標のずれ検出においても oblique effect が認められ、網膜座標を基点としており、Corwin et al. (1977), Sarrinen & Levi(1994) の説を支持するものとなった。

頭位 0° 条件では視標の傾き垂直条件、頭位-30° 条件では視標の傾き-30° 条件、頭位+30° 条件では視標の傾き+30° 条件が網膜座標軸 0° に副尺視標が合致していることとなる。図 10 に各頭位条件の網膜座標 0° に視標の傾きが合致した時のずれ条件と正答割合の変化を示した。また、比較のために頭位 0° 条件での視標の傾き斜めである視標の傾き±30° 条件を加えた。

頭位を傾斜させると眼球反対回旋が起こることが知られており、Simonsz(1985)によると眼球反対回旋には、頭位傾斜に伴う前庭回旋眼振である動的反射と、動的反射後に起こる内耳の耳石に由来する静的反射の 2 種類があり、静的反射が代償性眼球運動とされる。外界が傾斜して見えない仕組みはこれら前庭眼球反射や耳石などの要因が挙げられるとしているが、その機序はいまだ明らかにされていない。眼球反対回旋は、大月(2005)によると傾けた角度の 10~30%としている。本研究の場合、網膜は 3° か



*p<.05

図9 各頭位の傾斜条件と正答割合

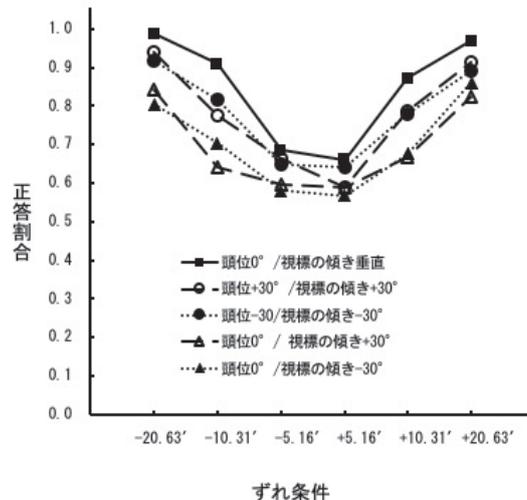


図10 各頭位条件の網膜座標0°に視標の傾きが合致した時のずれ条件に伴う正答割合の変化

ら9° 反対回旋しており、眼球は21° から27° 傾斜していることとなる。Banks & Stolarz (1975) は、コントラスト感度において反対回旋分を6° として頭位45° 条件と51° 条件で比較したが差異は見られなかったとしている。本研究は副尺視標について計測を行ったため Banks & Stolarz (1975) の結果をそのまま当てはめることはできないが、図9, 10より、副尺視標の検出の精度においても垂直・水平方向での感度が高く、その基準は、頭位の傾きに伴う網膜座標軸によることが示唆された。

また、本研究の結果、副尺視標のもうひとつの方位選択性として、頭位の傾斜条件と副尺視標のずれの方向による検出の精度の違いがあげられた。実験1, 2ともに頭位の傾斜のない頭位0° 条件においては副尺視標のずれの検出の精度は、「ずれの大きさ」にのみ影響を受け、視標の傾斜条件や視標のずれの方向は副尺視標のずれ検出精度に影響を与えなかった。実験1では頭位を傾斜させると、垂直・水平に副尺視標を呈示させた場合は、副尺視標を頭位の傾斜と同側にずらした条件での検出精度が副尺視標が頭位と反対側にずれた条件より高くなった。

実験2では頭位-30° 条件と頭位+30° 条件で異なる結果となった。異なった理由としては、効き目、頭位の固定、体位の傾きなどが考えられる。小保内(1932)は、右眼は右に、左眼は左に傾いたものを垂直とみなす傾向があると述べているが本実験では、左右の視力差もなく両眼視良好の被験者を対象に両眼視の状態で行った。また、安間ら(1997)は(1)頭を傾ける性癖、(2)利き目、(3)生来の利き手はどちらかにつき、スピアマンの順位相関、フィッシャー直接確率検定などを行ったが副尺視力の方向選択性との間になら相関を認めることができなかったとしている。

吉田(1972)は主観的垂直・水平は客観的垂直・水平から幾分ずれて感じられるものであるとしており、和田(2011)によると空間識の一つの要素である傾斜感覚は、標準とする上下軸から頭部(あるいは身体)がどれだけ傾いたかという感覚であり、allocentric(他者中心的)な軸である重力軸と、視覚あるいは視覚的イメージによってもたらされる allocentric な外界軸や、体性感覚(もしくは身体感覚)によって作られる egocentric(自己中心的)な身体軸によって影響を受け、重力感覚は主前庭耳石器によって感受されるとしている。本研究は頭位は、条件ごとに角度を測定し顎台で前額と側頭部を固定して行ったが、体の固定は行っていない。また、暗室で行ったため、視覚的イメージによってもたらされる外界軸はほとんどなく、allocentric な重力軸と egocentric な身体軸によって椅子に座して実験を行ったことになる。田村・尾崎・佐田・小林・乾(2012)は重力環境下で自己の傾斜感覚を評価するための

自覚的身体軸 (subjective visual body axis, 以下 SVBA) を用いて 11 名の対象に対して測定したところ、傾斜 0° の時の SVBA (deg) は傾いていない静止画を見た方が暗所の場合と比較して正しい身体軸に近づくこと報告している。これらのことから、本実験では正しい身体軸に修正する視覚イメージがないため試行中に体の傾きが生じた可能性がある。

Corwin et al. (1977) は重力軸を示す縦縞の背景の中に副尺視力刺激を呈示しても、重力軸ではなく網膜上の 0° で副尺視力が高かったと報告している。また、Fahle & Harris(1988)は、線分副尺視標と点副尺視標を使用して、頭位傾斜、側臥位など様々な比較を行っており、副尺視力における方位選択性は、前庭系の関与は少なく、網膜座標系に依存しているとしている。しかし、副尺視標のずれの方向に注目して行った本研究の結果から、頭位傾斜条件の違いによって、副尺視標のずれ検出精度の方位選択性があることが明らかとなり、これらが網膜座標軸と関係なく起こることから、頭位を傾斜させると前庭系をはじめとする身体感覚の関与があると考えた。

Westheimer & McKee(1977), Whitaker & MacVeigh (1991) は、副尺視力は線分の長さやコントラスト、空間周波数や視標間の距離などにも影響を受けるとしている。本研究では安間ら(1997)の研究において使用されたものと同じ 9.7° 離れた線分副尺視標を使用した。論文中に視標作成の根拠は示されていない。今後は、視標間の距離、空間周波数、コントラストを変えてずれを測定し、頭位 -30° 条件と頭位 $+30^\circ$ 条件で異なった結果となった原因、および副尺視標と頭位傾斜と身体感覚の関与について検討をする必要がある。

引用文献

安野雅恵・安間哲史・栗屋忍(1997) 頭位傾斜時の「ずれ認知中和帯」の副尺視力による検討。

日本眼科紀要, 48(6), 744-749.

Appelle, S. (1972) Perception and discrimination as a function of stimulus orientation.: The “oblique effect” in man and animals. *Psychological Bulletin*, 78(4), 266-278.

Banks, S.M. & Stolarz, J.S. (1975) The effect of head tilt on meridional differences in acuity: Implications for orientation constancy. *Perception & psychophysics*, 17(1), 17-22.

Corwin, R.T., Moskowitz-cook, A. & Green, A. M. (1977) The oblique effect in vernier acuity situation. *Perception & Psychophysics*, 21(5), 445-449.

Fahle, M., & Harris, P.J. (1998) The use of different orientation cues in vernier acuity. *Perception & Psychophysics*, 60(3), 405-426.

本田 仁視(編著) (2009) 視覚世界はなぜ安定して見えるのか. 知泉書館, 東京.

市原 茂 (2000) 視覚系の空間特性. 大山 正・今井 省吾・和氣 典二(編) 新編 感覚・知覚心理学ハンドブック. 誠信書房, 東京, 557.

小保内 虎夫 (1930) 視空間構造の実験的研究. 心理学研究, 5(6), 805-845.

大月 洋(2005) 日本眼科学会専門医制度障害教育講座 上斜筋麻痺. 日本眼科会誌, 109 43-61.

Riggs, L.A. (1966) Visual Acuity. Graham, C.H., Brown, J.L., Hsia, Y., Mueller, C.G., Riggs, L.A. (ED) *Vision and Visual Perception*. Jhon Willey & Sons, Inc., New York・London・Sydney. 322-330.

Simonsz, H.J. (1985) The history of the scientific elucidation of ocular counter rolling. *ocumenta Ophthalmologica*, 61, 183-189.

Sarrinen, J & Levi, M.D. (1994) Orientation anisotropy in Vernier acuity. *Vision Research*, 35(17), 2449-2461.

- 田村 敦・尾崎 博和・佐田 吉隆・小林 拓輝・乾 多久夫 (2012) 成人における roll 傾斜中の視覚情報が自覚的身体軸に及ぼす影響. 防衛衛生, 59 (5, 6) , 55-61.
- 所 敬 (1998) 視力検査の現状と問題点. 日本視能訓練士協会誌, 26, 63-66.
- Troutman, V. S. (1994) Prisms in the medical and surgical management of strabismus. Mosby Inc. 不二門尚・斎藤 純子 (訳) (1998) プリズムと斜視 第1版 文光堂, 東京, 34.
- 和田 佳郎 (2011) 宇宙で傾斜は存在するか? -国際宇宙ステーション長期宇宙滞在中における空間式実験計画の紹介- *Equilibrium Research*, 70(2), 115-121.
- Westheimer, G. & McKee, S. P. (1977) Spatial Configuration for visual hyperacuity. *Vision Research*, 17, 941-947.
- 安間 哲史・安野 雅恵・宮川 典子・平井 陽子・安間 正子・宮尾 克・粟屋 忍 (1997) Head Tilt により誘発される Hyperacuity 機能の低下について. 日本眼科紀要, 48(5), 630-635.
- 吉田 俊郎 (1972) 視空間の異方性. 和田 陽平・大山 正・今井 省吾 (編) 感覚知覚心理学ハンドブック. 誠信書房, 東京, 420-423.