

両眼視差を用いた立体像の見かけの大きさと調節機能

岩崎 常人, 田原 昭彦

産業医科大学眼科学教室

要 約

目 的：両眼視差を用いて立体像を認識させた場合、知覚される立体像の見かけの大きさが、被験者の有する調節機能と如何に関係しているかについて実験的に検討した。

方 法：被験者 16 例に対して、cathode ray tube (CRT) 画面上で白色の正方形像を呈示し、液晶シャッター眼鏡を用いた時分割方式によって両眼視差を与え、立体像として認識させた。立体像は、CRT 画面から手前に認識される前方像と、遠くに認識される後方像の場合の 2 種類を用意した。立体像の見かけの大きさは、それぞれの立体像を認識させるに当たって使用した正方形像(平面像)の大きさと、両者の立体像の大きさを主観的に比較させた。調節機能は赤外線オプトメータを用い、調節ステップ応答を大きさの比較を検討する実験の前に予め測定した。得られた調節ステップ応答波形から、調節緊張時間と調節弛緩時間を計測し、両者がともに 1 秒以内で

あった群(短縮群)と、両方またはいずれか一方が 1 秒よりも延長していた群(延長群)に群別を行い、両群間での回答の違いを比較した。

結 果：前方像は呈示した平面像に比較して小さく認識される傾向があり、逆に後方像は平面像よりも大きく認識される傾向があるという過去の報告と一致した。群別を行った結果では、短縮群ではその傾向がさらに強く、延長群では弱く、両群の間には明らかに回答パターンに違いがあった。

結 論：両眼視差によって知覚される立体像の見かけの大きさは、調節ステップ応答の特性、特に調節時間と関連していることがわかった。(日眼会誌 105:119-124, 2001)

キーワード：調節、立体像の見かけの大きさ、両眼視差、大きさの恒常性

Apparent Size of Stereoscopic Images with Disparity in Relation to the Function of Accommodation

Tsuneto Iwasaki and Akihiko Tawara

Department of Ophthalmology, University of Occupational and Environmental Health, Japan

Abstract

Purpose : We investigated experimentally the relationship between the apparent size of stereoscopic images with disparity and the accommodative function.

Methods : The judgement of the apparent stereoscopic image size used the subject reply. The size of the forward image, which was produced by crossed visual lines with binocular disparity and by a time-sharing type stereoscopic three-dimensional display using liquid crystal shutter glasses, was compared with the size of the plane image. The size of the backward image produced by uncrossed visual lines was also compared with the size of the plane image. Sixteen normal volunteers were requested to subjectively compare each image with the original plane image on the display screen in relation to its size. Accommodation was measured using an infra-red

optometer to record the step responses (from far to near, and near to far). The subjects were divided into two groups, a fast response group and slow response group.

Results : It was found that the forward image was smaller than the plane image and the backward image was larger than the plane image, and this tendency was remarkable in the fast response group.

Conclusion : From these results, it appears that the state of accommodation affects the perceived size of stereoscopic images with disparity. (J Jpn Ophthalmol Soc 105: 119-124, 2001)

Key words : Accommodation, Apparent size of stereoscopic image, Binocular disparity, Size constancy

別刷請求先：807-8555 北九州市八幡西区医生ヶ丘 1-1 産業医科大学眼科学教室 岩崎 常人
(平成 11 年 7 月 21 日受付, 平成 12 年 7 月 27 日改訂受理)

Reprint requests to: Tsuneto Iwasaki, M.D. Department of Ophthalmology, University of Occupational and Environmental Health, Japan. 1-1 Iseigaoka, Yahatanishi-ku, Kitakyushu 807-8555, Japan

(Received July 21, 1999 and accepted in revised form July 27, 2000)

I 緒 言

両眼視差方式を用いて立体像を認識させる方法は、random-dot stereogram や titmus test として、立体視の研究や検査に応用されている。最近では virtual reality (仮想現実)の映像表現法としても使用される。この方式を用いると、呈示面から前方に像を認識させる場合には、呈示面にある同一の左右像に対して交差性の視差を与えることによって、視線は呈示面より前方で交差し、この位置に左右像が融像され立体感を得る(視線が、呈示面の前方で交差することから、本論文ではこれを交差法と呼び、生じた立体像を前方像と呼ぶ)。逆に、呈示面より後方に像を認識させる場合には、呈示面の後方で視線が交差するように同側性の視差を与える(視線が呈示面の前方で交差しないため、本論文ではこれを非交差法と呼び、生じた立体像を後方像と呼ぶ)。

前方像や後方像を認識させた場合、調節と輻湊の観点からみると、両眼視を維持しつつ調節と輻湊を独立に動作させなければならない。つまり、調節は呈示面の位置に、輻湊は視線の交差する位置にあり、両者の機能に距離の不一致を生じる。通常の状態に比較して、交差法の場合は調節に比べて輻湊は過大であり、非交差法の場合は、逆に輻湊に比べ調節は過大であると考えられる。

ところで、調節と輻湊の量的関係にインバランスが生じると、距離の情報が脳中枢において錯綜し、時に小視症や大視症を訴える場合があるといわれる¹⁾。例えば、小視症は調節麻痺に陥った場合や老視の初期などに観察され、大視症は調節痙攣の場合に観察される。

Iwasaki ら²⁾の報告では、両眼視差法によって知覚された立体像の見かけの大きさは、呈示された像に比べて交差法による前方像は小さく、非交差法での後方像は大きく感じられている。この結果から、小視症や大視症を発症する時と類似した調節と輻湊の量的関係が、両眼視差法によって立体像を認識する場合にも存在すると考察している。ところが、得られた実験結果のすべてに上記の結論があてはまっているわけではなく、逆に前方像を大きく、後方像を小さく認識している例もある。両眼視差法による立体像の見かけの大きさが何故統一した認識結果になっていないかという点に着目し、これを調節機能、特に調節時間と関連づけて実験を行い、立体像の見かけの大きさと調節時間との関係を検討した。

II 方 法

1. 対 象

屈折が他覚的屈折検査によって0～-0.5 Dの範囲にあり、調節力が調節力年齢曲線³⁾⁴⁾から逸脱せず、輻湊近点距離が8～10 cmにある女子学生16例(20～21歳)を被験者とした。実験に使用した以下に示す4通りの視差条件においては、立体像の認識時に複視を訴える例はな

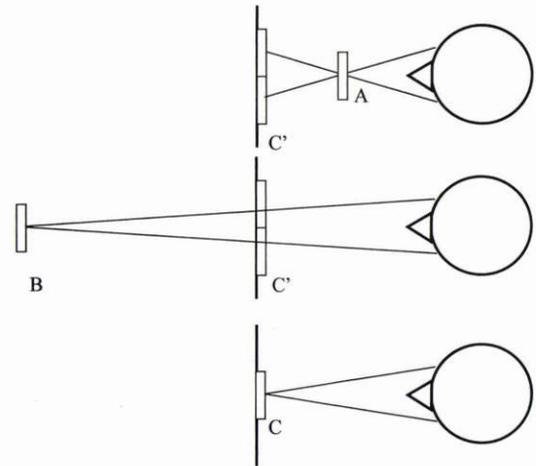


図1 立体像の見かけの大きさの決定法。

A 対 C と B 対 C のそれぞれの場合で C に対する A または B の大きさを比較。

A: 交差法によって cathode ray tube (CRT) 画面前方に認識される立体像(前方像)。

B: 非交差法によって CRT 画面後方に認識される立体像(後方像)。

C: A と B を認識させるに当たって呈示された像 C' と同一の平面像。

かった。

2. 立体映像と平面像の呈示法

液晶シャッター眼鏡を用いた時分割方式によって、静止画像を cathode ray tube (CRT) 画面上に2つ呈示し、両者の像を融像させ画面に対して立体像とした。立体像については、交差法によって呈示画面より手前に認識させた場合(前方像と呼ぶ)と、非交差法によって呈示画面より奥に認識させた場合(後方像と呼ぶ)との2つを用意した。

呈示像には、視角 2° の白色の正方形をコンピュータ(X6800 CZ-611 C, シャープ)によって作製し、これを19インチ CRT 画面(KV-19 HT 1 A, ソニー)上の偶数フィールドと奇数フィールドに、それぞれ水平方向に生じる“ずれ”を与え分割して呈示した。フィールド周波数は60 Hzであった。これらの呈示像を CRT 画面の偶数フィールドと奇数フィールドの信号に同期した液晶シャッター眼鏡(STS 220, ワキタ)を通して、被験者の左右眼でそれぞれ分離して注視させ、立体像として知覚させた。視距離は2 m とし、室内照度は約10 lxであった。

立体像の見かけの大きさを決定するための比較対照図形には平面像を用いた。これは、立体像を認識させる時に呈示像として使用したものと同一である視角を 2° とする白色の正方形像であった。平面像の呈示に関しては、同様の実験環境において、両フィールドの時分割を行わずに画面中央に一つだけ呈示し、同様の液晶シャッター眼鏡を通して観察させた。

3. 立体像の見かけの大きさの決定法

立体像の見かけの大きさの決定は、平面像との大きさの比較を行った。前方像(図 1 A)が平面像(図 1 C)に対して、または後方像(図 1 B)が平面像(図 1 C)に対して、それぞれ“小さい”か“大きい”かを口頭で答えさせた。前方像と後方像の場合ともに、視差はそれぞれ 10.2, 20.4, 30.6, 40.8 min の 4 通りとした。像の呈示時間は、被験者の回答があるまでとし、1 例につき平面像と立体像の呈示順序を無作為に変えることで各 3 回の比較を行った。

具体的な呈示方法の 1 例を示す。例えば、前方像を呈示し画面をクリアーした後、平面像を呈示、明確な回答がなされた場合には次のステージに移り、以下同様に後方像対平面像、平面像対前方像、平面像対後方像、前方像対平面像、後方像対平面像と繰り返した。1 つの視差条件について回答数は合計 48 回となった。結果の集計は、小さいか大きいかの質問に対して、等しいと応える場合もあったため、前方像と平面像との比較では、小さいと答えた回答数と、大きいまたは等しいと答えた回答数に二分し、それぞれを全試行回数で除し%で示した。後方像と平面像とでは、大きいと回答したものと、小さいまたは等しいと答えたもので同様に二分し%で示した。

4. 調節時間の測定

被験者 16 例の調節動態を把握するために、右眼の調節ステップ応答を赤外線オプトメータ(AR 3 SV 6 型, ニデック)で上述の大きさを比較する試行の前に測定し、調節時間を計測した。

ステップ応答の刺激位置は、準静的検査法から得られた全調節反応の最大の屈折値から 1 D 分遠くに相当する位置に近方視標を、また、最小の屈折値から 1 D 分近くに相当する位置に遠方視標を設定した。各被験者によって調節刺激量は異なるが、3~5 D の範囲にあった。両視標の呈示時間はそれぞれ 5 s ずつとし、交互に各々 5 回の刺激を行った。被験者には、いずれの視標の切り替えに対しても即座に明視を行い、かつ明視状態の保持を指示した。視標の形状は、オプトメータ内の視角 3° のスターバーストであった。

赤外線オプトメータからのアナログ信号はコンピュータ(PC-9801 BX 2, NEC)に送られ、A/D ボードによって 80 ms に 1 回の割合でデジタル信号に変換された。得られたステップ応答の解析は、まず、遠方から近方へと、近方から遠方への各 5 つの波形をコンピュータ上で各々 1 つの平均波形とした。次に、この平均波形から調節緊張時間と調節弛緩時間を計測した。調節緊張時間は、近方視標の呈示があった時点から調節反応が終了した時点までを計測し、調節弛緩時間は、遠方視標の呈示があった時点から調節反応が終了する時点までの時間を計測した⁵⁾⁷⁾。

5. 調節時間による被験者の群別

若年者における調節反応は、上述した方法で測定すると、およそ 1 s かまたはそれ以内で終了すると報告^{5)~9)}

表 1 前方像と平面像の大きさの比較

前方像が平面像に対して小さい(小)または大きい・等しい(大・等)と答えた割合(%)

回答	視差(min of arc)			
	10.2	20.4	30.6	40.8
小	75.0	81.3	77.1	81.3
大・等	25.0	18.7	20.9	18.7

表 2 後方像と平面像の大きさの比較

後方像が平面像に対して大きい(大)または小さい・等しい(小・等)と答えた割合(%)

回答	視差(min of arc)			
	10.2	20.4	30.6	40.8
大	37.5	45.8	64.6	62.5
小・等	62.5	54.2	35.4	37.5

されている。そこで、今回選択した被験者の調節緊張時間と調節弛緩時間を基に、両者の時間がともに 1 s 以内であった例と、それらのいずれか一方または両方が 1 s を超えていた例とに群別を試みた。前者を短縮群、後者を延長群と呼ぶ。両群間で、II. 3. 項の方法で得られた立体像の見かけの大きさに対する回答率の比較を行った。

6. 統計処理

群別時の両群における年齢と調節刺激量および調節緊張時間と調節弛緩時間の差については平均値の差の検定(t-test)を用い、両群間における回答率の差に対しては Fisher の正確確率検定(Fisher's exact test)を用いて、危険率 5% 以下を有意差の判定基準とした。

III 結 果

1. 全例における立体像の見かけの大きさ

前方像と平面像の比較では、前方像が呈示された平面像に比べて「小さい」と答えた割合は、いずれの視差の条件においても 75% 以上であり、視差が 20.4 min と 40.8 min の場合には 81.3% と高率であった(表 1)。後方像と平面像との比較では、視差が 10.2, 20.4, 30.6, 40.8 min と大きくなるに従い、それぞれ 37.5, 45.8, 64.6, 62.5% と、後方像が「大きい」と答えた割合はほぼ上昇した(表 2)。しかし、視差が 10.2 min と 20.4 min の場合には、「小さい・等しい」と答えた割合が逆に高率であった。

2. 調節時間

調節緊張・弛緩時間ともに 1 s 以内のものは 16 例中 9 例存在し、残りの 7 例については、どちらか一方または両方が 1 s よりも延長していた。短縮群と延長群に群別された被験者全例の年齢と調節刺激量および調節緊張時間と調節弛緩時間を表 3 と 4 に示す。両群での年齢と測定時に与えた調節刺激量に関して有意差はなく(それぞれ $p \approx 0.302$, $p \approx 0.64$)、また、調節刺激量と調節緊張時間な

表3 短縮群の年齢と調節刺激量および調節緊張・弛緩時間

Sub. #	年齢	調節刺激量(D)	緊張時間(s)	弛緩時間(s)
1-1	20	4	1.00	0.90
1-2	21	4	0.70	0.74
1-3	20	5	0.86	0.90
1-4	21	3	0.62	0.66
1-5	21	4	0.70	0.66
1-6	21	4	0.70	0.82
1-7	21	4	0.86	0.82
1-8	21	4	0.78	0.66
1-9	21	4	0.70	0.82
平均値±標準偏差		4.0±0.5	0.77±0.12	0.78±0.10

表4 延長群の年齢と調節刺激量および調節緊張・弛緩時間

Sub. #	年齢	調節刺激量(D)	緊張時間(s)	弛緩時間(s)
2-1	20	4	2.06	2.50
2-2	20	5	1.34	1.14
2-3	21	3	1.82	0.82
2-4	21	4	1.42	0.90
2-5	21	3	1.26	0.66
2-6	21	4	1.42	0.58
2-7	21	4	0.86	1.54
平均値±標準偏差		3.89±0.69	1.45±0.39	1.16±0.67

表5 短縮群と延長群において前方像が平面像に比較して小さいと認識した割合(%)

群	視差(min of arc)			
	10.2	20.4	30.6	40.8
短縮群	96.3	96.3	92.6	96.3
延長群	47.6	57.1	57.1	71.4

表6 短縮群と延長群において後方像が平面像に比較して大きいと認識した割合(%)

群	視差(min of arc)			
	10.2	20.4	30.6	40.8
短縮群	63.0	66.7	88.9	88.9
延長群	9.5	19.0	33.3	23.8

らびに調節弛緩時間の間での相関係数は、それぞれ $r = -0.11$ と $r = 0.21$ で相関はなかった。調節弛緩時間については有意差はなかった ($p = 0.107$) が、調節緊張時間には有意差があった ($p = 0.00018$)。

3. 短縮群と延長群における見かけの大きさ

表5に前方像と平面像の大きさの比較を各視差毎に示す。いずれの視差の条件においても、短縮群では平面像に比べて前方像が「小さい」と答えた割合は非常に高く、ほ

ぼ100%近くが立体像の見かけの大きさを小さく認識した。これは、全例における結果(表1)よりもさらに高率となった。延長群では、「小さい」と回答する割合が短縮群より著しく少なく、また全例の場合(表1)よりも低くなった。視差10.2分の条件下では、逆に「大きい・等しい」との回答率が上回った。両群間での検定の結果、 p 値はそれぞれ10.2minの場合が $p = 0.00014$, 20.4minで $p = 0.013$, 30.6minで $p = 0.005$, 40.8minで $p = 0.0016$ となり統計的に有意差があった。

表6に後方像と平面像の大きさの比較を各視差毎に示す。短縮群では、視差の上昇に伴い立体像の見かけの大きさを「大きい」と回答する割合が、全例における結果(表2)より高まった。しかし、延長群では、いずれの視差条件でも逆に「小さい・等しい」と回答する割合が、「大きい」と回答する割合よりも高かった。両群間での検定値は、それぞれ10.2minの条件下で $p = 0.0002$, 20.4minで $p = 0.0011$, 30.6minで $p = 0.00008$, 40.8minで $p = 0.000005$ となった。

IV 考 按

両眼視差による立体像が前方像として知覚された場合には、呈示された平面像よりも小さいと認識し、後方像の場合には逆に大きいと認識する傾向があり、過去の報告²⁾と一致した。さらに、調節時間との関係を解析すると、短縮群では、前方像が小さく後方像が大きいと認識する傾向は延長群より強かった。延長群ではその傾向が弱

いか、逆に後方像と平面像の比較に至っては、むしろ後方像を小さいと知覚する傾向にあった。合焦点の時間が速いものが遅いものに比べて調節の能力が高いと考えるなら、前方像を小さく後方像を大きく知覚する現象は調節機能が良好なものほど生じやすいことが新たに判明した。

両眼視差を用いて認識された立体像が、呈示された像よりも見かけ上の大きさが小さく、または大きく知覚される現象については、主観的な経験として指摘されている。その原因については、“大きさの恒常性”¹⁰⁾の補正が強調され過ぎた結果ではないかと推測される¹¹⁾。物体との距離が変化した場合、その変化に応じて網膜上の物体の大きさも変わるはずであるが、感覚上感ずる物体の大きさについてはほとんど変化しない。近接する時には拡大する網膜上の像の大きさを小さく知覚しようとし、逆に遠ざかる時には縮小する物体像を拡大しようとする。その結果、種々の距離にある物体はほぼ同じ大きさに知覚される。小視症は、この大きさの恒常性が崩壊した結果、現れる症状であると考えられている¹³⁾¹⁴⁾。今回の実験の場合も、立体像である前方像は平面像である呈示像より近方に位置し、後方像は遠方に位置している。したがって、大きさの恒常性による補正が強められる方向に作用すれば、前方像はより小さく、また後方像はより大きくなる。

それでは何故今回の実験結果のように、調節機能が良好と考えられる例で大きさの恒常性の補正が強調されすぎたのか。大きさの恒常性を決定づける最も重要な要素は、大きさ・距離不変仮説 (size-distance invariance hypothesis)¹⁵⁾に基づき、距離の正確な認知が考えられている。つまり、奥行き知覚の手がかりが大事であるが、視機能におけるこの手がかりは、主に調節機能と輻湊機能によって得られる。

Duke-Elder ら¹⁾によると、小視症は調節麻痺の時に生じ、大視症は調節痙攣の時に発症するといわれる。近見時において、前者は調節の努力が強要されたため、また、後者は全く調節の努力を要しないために、いずれも視対象への距離判断の誤りが原因しているとする。調節異常による距離の誤認が物体の見かけの大きさを失認させる。小視症の成因については、視対象が置かれている実際の距離に相当しない過度の調節 (inward shift) が起こり、網膜上の像の大きさを直接縮小することにあるとする報告¹⁶⁾もある。これは、Duke-Elder とは逆であるが、やはり調節が原因している。その他にも、物体までの距離に適當しない調節作用が物体を小さく知覚する原因であるとする報告^{17)~21)}は多い。

距離を認知するに当たって、もう一つの手がかりは輻湊からである。例えば、調節の inward shift 説に対しては、Gullstrand と Le Grand の模型眼を使い正確な理論上の大きさが計算された結果、10~12 D の過剰な調節がなされた場合でも、約 2% の大きさの変化しかなく、感覚上での縮小化は起こさないとされる²²⁾²³⁾。また、両眼と単

眼の場合で同様のマイナスの球面レンズを付加することによって生じる見かけの大きさを比較し、調節性輻湊の生じる単眼時に縮小化が大きいこと²⁴⁾や、調節を一定としプリズムによって輻湊の増大を来した場合により縮小化が起こること²⁵⁾、眼内レンズ挿入眼でも見かけの大きさの縮小化が生じること²⁶⁾などが報告されている。

また、両眼外直筋麻痺による眼筋無力症の 68 歳の女性に副交感神経興奮薬である臭化ピロドスチグミンを投与したところ、複視に加え小視症を訴え始め投薬を中止したが、その訴えは消失しなかったとの臨床報告²⁷⁾がある。この症例に対して、片眼を遮蔽するかまたは両眼を基底外方プリズムで矯正したところ、小視症と複視の訴えは消退した。このことから、輻湊が小視症に関与していると結論している。つまり、近接する物体に対しては、本来輻湊がトリガーとなって網膜上の像の拡大を脳が距離に応じて適切に抑制すべきところを、過度の輻湊によってより強い抑制がなされてしまい、補正され過ぎた大きさの恒常性が小視症を訴えた理由であるとする。近年では、調節よりもむしろ輻湊機能が物体の見かけの大きさを決定する主要因であると考えられている。

今回の実験に用いた立体像の認識方法では、調節は呈示面の位置にあるが、輻湊は立体像が認識される視線の交差する位置にあると考えられる。距離の決定において、輻湊の情報が調節の情報より優先する²⁸⁾と仮定するならば、前方像認識時には、輻湊からのインパルスは調節を近方化させ、後方像認識時には逆に輻湊は調節を遠方化させる方向に働く。実験中にもたらされる輻湊性調節が呈示面の距離になされる調節へ何らかの作用を成すなら、このことが調節からの情報を混乱させてしまい、距離の誤認が引き起こされる可能性がある。本来有する調節機能がより良好であれば、この作用が認知されやすいと推察され、短縮群において前方像を小さく、後方像を大きく認識する傾向が強かった理由と考えられる。

知覚される物体の大きさの決定には、距離の認知に関わる調節や輻湊の機能が非常に重要であることはわかっているが、それらのうちいずれか一方なのか、もしくは両者の相互関係によるものなのかは明確に結論されていない。しかし、今回のように調節反応の速さが認識される立体像の見かけの大きさに何らかの影響を及ぼしている事実は、立体像の見かけの大きさを決定するに当たり、調節はやはり重要な因子の一つであることを示す。また、今回の結果から、人間が本来有する大きさの恒常性という、未だにそのメカニズムが解明されていない現象を研究する場合、両眼視差を用いた立体像の認識方法は、有用な実験手段であると考えられる。

本論文の完成に当たりまして、秋谷 忍先生(前産業医科大学眼科学教室教授)に心よりお礼申し上げます。

文 献

- 1) **Duke-Elder S, Abrams D** : Anomalies of accommodation. System of Ophthalmology Vol. V Ophthalmic optics and refraction. In : Duke-Elder S (Ed) : CV Mosby, St Louis, 451—474, 1970.
- 2) **Iwasaki T, Akiya S, Inoue T, Noro K** : Surmised state of accommodation to stereoscopic three-dimensional images with binocular disparity. *Ergonomics* 39 : 1268—1272, 1996.
- 3) **石原 忍** : 日本人の眼の調節力に就いて 新案近点測定器. *日眼会誌* 23 : 203—210, 1919.
- 4) **福田雅俊, 浜田陽子, 丸尾敏夫** : 本邦人に於ける調節力と年齢との関係について. *日眼会誌* 66:181—188, 1962.
- 5) **Iwasaki T** : Effects of a visual task with cognitive demand on dynamic and steady-state accommodation. *Ophthalmic Physiol Opt* 13 : 285—290, 1993.
- 6) **Tucker J, Charman WN** : Reaction and response times for accommodation. *Am J Optom Physiol Opt* 56 : 490—503, 1979.
- 7) **Iwasaki T, Kurimoto S** : Eye-strain and changes in accommodation of the eye and in visual evoked potential following quantified visual load. *Ergonomics* 31 : 1743—1751, 1988.
- 8) **Heron G, Winn B** : Binocular accommodation reaction and response times for normal observers. *Ophthalmic Physiol Opt* 9 : 176—183, 1989.
- 9) **岩崎常人, 秋谷 忍** : 調節および瞳孔の残余効果(after-effect)に及ぼす視距離の影響と調節安静位. *日眼会誌* 96 : 1268—1273, 1992.
- 10) **Boring, EG** : The perception of objects. *Am J Physiol* 14 : 99—107, 1946.
- 11) **畑田豊彦** : 人工現実感に要求される視空間知覚特性. *人間工学* 29 : 129—134, 1993.
- 12) **畑田豊彦** : 疲れない立体ディスプレイを探る. *Nikkeielectronics* 444 : 205—223, 1988.
- 13) **Bender MB, Teuber HL** : Spatial organization visual perception following injury to the brain. *Arch Neurol Psychiatr* 58 : 721—784, 1947.
- 14) **Ceriani F, Gentileschi V, Muggia S, Spinnler, H** : Seeing objects smaller than they are : Micropsia following right temporo-parietal infarction. *Cortex* 34 : 131—138, 1998.
- 15) **Kilpatrick FP, Ittelson WH** : The size-distance invariance hypothesis. *Psychol Rev* 60 : 223—231, 1953.
- 16) **Biersdorf WR, Baird JC** : Effects of an artificial pupil and accommodation on retinal image size. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 56 : 1123—1129, 1966.
- 17) **Zajac JL** : Convergence, accommodation and visual angle as factors in perception of size and distance. *Am J Physiol* 73 : 142—146, 1960.
- 18) **Ono H, Muter P, Miston L** : Size-distance paradox with accommodative micropsia. *Percept Psychophys* 15 : 301—307, 1974.
- 19) **Maturana HR, Varela FJ, Frenk S** : Size constancy and the structure of perceptual spaces. *Cognition* 1 : 97—104, 1972.
- 20) **Maturana HR, Varela FJ** : Size constancy and accommodation. *Perception* 10 : 707—709, 1982.
- 21) **Meeham JW, Day RH** : Visual accommodation as a cue for size. *Ergonomics* 38 : 1239—1249, 1995.
- 22) **Navarro R, Santamaria J, Bescos, J** : Accommodation-dependent model of the human eye with astrophics. *J Opt Soc Am A* 2 : 1273—1281, 1985.
- 23) **Smith G, Meeham JW, Day RH** : The effect of accommodation on retinal image size. *Hum Factors* 34 : 289—301, 1992.
- 24) **Alexander KR** : On the nature of accommodative micropsia. *Am J Optom Physiol Opt* 52 : 79—84, 1975.
- 25) **Hollins M** : Dose accommodative micropsia exist? *Am J Psychol* 89 : 443—454, 1976.
- 26) **Meeham JW, Smith G, Day RH** : Pseudophakes experience apparent minification in an imaging display. *Perception* 23 : 1063—1068, 1994.
- 27) **Michaeli-Cohen A, Almog Y, Loewenstein A, Stolovitch C, Gutman I, Lazar M** : Presumed ocular myasthenia and micropsia. A case report. *J Neuro-ophthalmol* 16 : 18—20, 1996.
- 28) **渡辺 勲, 吉田辰夫** : 眼の調節—輻輳の制御機構. *NHK 技術研究* 23 : 58—76, 1971.