

奥行知覚時の視覚誘発電位における 2 峰性波の性質

宮脇 陽一[†] 柳田 康幸[†] 前田 太郎[†] 館 暲[†]

The Characteristics of Two Negative Peaks on Visual Evoked Potentials with Depth Perception

Yoichi MIYAWAKI[†], Yasuyuki YANAGIDA[†], Taro MAEDA[†], and Susumu TACHI[†]

あらまし 人間の立体知覚過程の客観的理解へ向け、非侵襲かつ高時間分解能という特徴をもつ視覚誘発電位計測に着目した。視差を含む立体図形刺激として Random-Dot Stereogram を被験者に提示した場合、後頭葉に潜時約 200 ms 前後の陰性電位が発生することがよく知られているが、従来これらの実験は比較的狭い視野角での刺激提示がほとんどであった。そこで、本論文では約 40° 程度の広視野での立体刺激提示を行い、その結果、従来には報告されていなかった潜時約 180 ms と約 280 ms の 2 峰性の陰性電位 (N180 及び N280) を再現性高く確認した。更に、立体図形の視差と形状に関する条件を変化させていくつかの実験を行ったところ、N180 成分は比較的低位過程からの影響が強く、対して N280 成分は形状や奥行の認知にかかわる高位過程からの影響が強く現れている可能性があることが示唆された。更に、この N280 成分の振幅変化について解析を行ったところ、中心視における視差検出の優位性が示唆された。

キーワード 立体視, Random-Dot Stereogram, 視覚誘発電位, 2 峰性波, 視野角

1. ま え が き

人間の脳内における認知過程や知覚状態を、その現象に特徴的な生体反応を非侵襲的に計測することにより推定しようとする試みが近年盛んに行われている。筆者らもこのような知覚状態の定量評価へ向けた基礎的検証実験として Random-Dot Stereogram (RDS) を用いた立体図形知覚時の視覚誘発電位 (Visual Evoked Potential, VEP) 計測に着目した [1], [2]。

RDS は両眼視差のみを立体視の手掛りとして含んでおり、単眼ではただのドットの散逸にしか見えないが、両眼で見ることによって初めて奥行と形状をもった面の知覚が可能となる視覚刺激である。このような性質により、1960 年ごろに Julesz が発明して以来、RDS は両眼視差を基本とした立体視研究における基本的ツールとして、視覚心理・生理学実験などに広く用いられてきている。立体視時における VEP 計測においても RDS を刺激として用いた例は現在まで多数報告されており [3] ~ [8]、いずれも潜時約 200 ms 前後の 1 峰性の後頭葉陰性波を対象に解析されている。し

かし CRT を用いた比較的狭い視野での提示実験が多く、またその発生要因の同定については詳細な議論がなされておらず、立体情報の認知過程自身を反映しているかどうかはあいまいであった。

ところで、筆者らのグループで以前行われた Head-Mounted Display (HMD) による指標追従実験によると、HMD の視野角を大きくとることにより追従特性のゲインは増加するが時間遅れも同時に増加するという結果が得られており、これは情報量の増加に伴う視覚処理過程での時間遅れの増加が原因なのではないかと考えられている [9]。

また提示視野の大きい条件のもとで、刺激の種類に依存して VEP の波形に変化が現れるという報告もあり [8]、刺激条件を適当に設定することにより視覚処理過程における反応変化を顕在化させる効果が存在する可能性が示唆される。更に立体視を考えた場合、両眼視差による奥行弁別能力は視野が約 45° より小さくなると低下することが知られており、立体刺激提示においては視角にして 45° 程度の大きな融合領域を確保するのが望ましいと考えられる [10]。

そこで、提示視野角を 40° 付近まで拡大し RDS 刺激による VEP 計測実験を行ったところ、従来には報

[†] 東京大学大学院工学系研究科, 東京都
Graduate School of Engineering, The University of Tokyo,
Tokyo, 113-8656 Japan

告されていなかった 2 峰性の陰性電位が後頭葉を中心に再現性高く確認され、刺激条件に依存した波形の変化が見られた。またこれらの立体視に伴う VEP が、どのような要素に影響を受けるのかを検証するために、視差情報と融像後の形状情報という RDS の立体視において欠くことのできない基本的な要素に着目し、これら二つの観点から条件を切り分けて実験を行った。それらの解析結果により 2 峰性反応の各波形成分に対する意味付けがある程度可能になったのでここに報告する。

2. 実験 A：立体矩形提示実験

2.1 刺激と提示方法

赤緑のアナグリフ法により作製した Static RDS を使用した。最初に立体刺激のないもの (Correlogram, CRG) を 100 ms 提示し、次に正中面上から視角にして偏位 0 (RECT_0), 右 3° (RECT_R3), 右 6° (RECT_R6), 左 3° (RECT_L3), 左 6° (RECT_L6) の位置に矩形が浮き出て見えるようにしたものと、比較のため立体刺激のないもの (CRG) の合計 6 種類の中からランダムに 1 種類を選び 700 ms 提示し、もう一度 CRG を 600 ms 提示した。画面中心には正方形の注視点を設け、各刺激の背景ドットパターンはすべて変えておいた (ただし最初と最後の CRG のみ同じドットパターン)。これを 1 セットとし各刺激系列に対して 25 セット分のデータを 1 回で取得した。各セットの間には CRG を提示し続けるのであるが、その提示時間を 1~2 秒の間で変化させることで刺激の出現が周期的になるのを避けた。この間のデータは保存せず、CRG 対象刺激 CRG の合計 1400 ms 間のデータのみ保存した。これを 3 分程度の休憩を挟んで 4 回行い、各刺激系列に対して合計 100 セット分のデータを取得した (図 1)。

画面は 41° × 31°, 矩形刺激の大きさは 2.4° × 27°, 視差量は約 30', 注視点の大きさは 1.2° × 1.2°, 打点密度は約 40% である。

2.2 実験環境

2.2.1 被験者

両眼視機能正常な視力矯正後の成人男子 4 名, 成人女子 2 名の計 6 名にて測定した。

2.2.2 実験装置

実験装置の概略図を図 2 に示す。被験者にはシールドルームの中に入って椅子に座り、約 1 m の高さから眼前 1 m の距離におかれたスクリーンに提示される

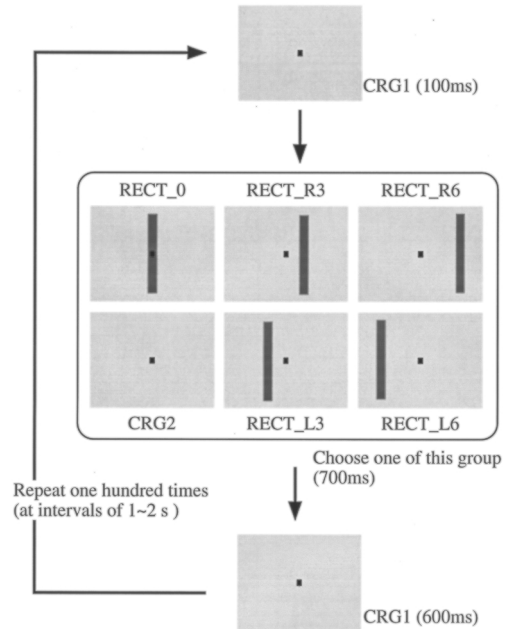


図 1 刺激提示方法

Fig. 1 Presentation of the stereo-rectangle stimuli (RECT).

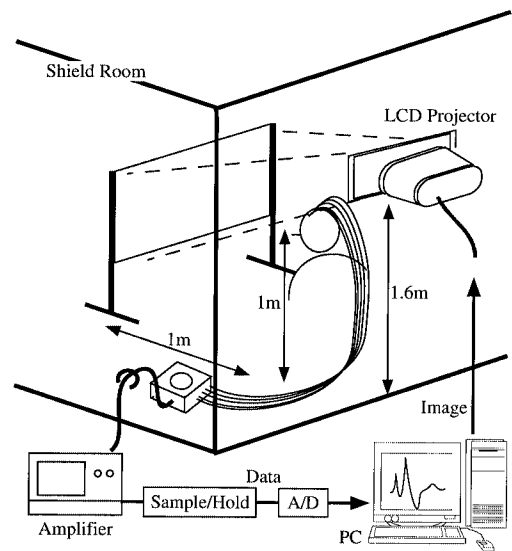


図 2 実験装置概略図

Fig. 2 Schematic of the experimental system.

画像を赤緑メガネをかけて見てもらった。頭部は顎台を用いて固定した。シールドルームの外に床面より約 1.6 m の高さに置かれた液晶プロジェクタ (SHARP

XV-E500) で金網格子付きガラス窓を通して画像を映し出した。なお金網の影響は視認できるほどは現れなかった。画像の平均輝度は約 41 cd/m^2 であった。

2.2.3 計測及び記録方法

電極は国際 10-20 法に従って頭皮上に 19 ch, 及び眼球運動計測用に両下まぶた耳よりに各 1 ch ずつ装着した。前処理として頭皮をアルコールで拭いた後、角質除去用クリームでこすり、専用ペーストをつけインピーダンスを下げ、 $7 \sim 20 \text{ k}\Omega$ の範囲で実験した。不閉電極は両耳たぶ、接地電極は鼻がしらとし、単極誘導法を用いた。

計測には多チャンネル生体アンプ (日本光電 MME-3132) を用い、増幅率を $5 \mu\text{V/V}$ 、総合周波数帯は $0.53 \sim 100 \text{ Hz}$ にとった。脳波計からのアナログ出力をいったんサンプルホールドボードに入れ A/D ボードによりサンプリング周波数 1 kHz で全チャンネル同時サンプリングした。ランダムに選ばれた各刺激に対してそれぞれの刺激系列別にデータをハードディスクに保存し、実験後に 100 回分のデータで加算平均を行った。計測及び画像提示は IBM PC/AT 互換機 1 台で行った。

2.3 実験結果

図 3 に RECT_0 と CRG の代表的トポグラフィを示す。図 3 下部には各電極位置が併記してある。各トポグラフィの上の数字は潜時、下の数字は O1, O2 の 2 電極の振幅の平均値を表している。図 3 からわかるように視差刺激のある RECT_0 では CRG に比べて後頭葉に有意な陰性帯電が見られる。このときの代表的波形が図 4 である。ここでは 2 名の被験者の RECT_0, RECT_R3, CRG の各系列における O1, O2 電極から得られた反応のみを示す。縦軸は振幅を表し、上向きが陰性である。波形を見やすくするため、図には 1 セット分のデータのうち 1000 ms 分のみ示してある。

これを見るとわかるように O1, O2 電極において刺激後潜時約 180 ms と約 280 ms に二つの陰性ピークが現れている。本論文の中では、誘発電位の波形頂点の典型的な呼び方に従って、これら二つの陰性頂点のうちの第 1 成分を N180, 第 2 成分を N280 と呼ぶことにする。先行成分である N180 は立体矩形刺激の提示されていない CRG 系列にも提示された場合と同じように現れているが、それに続く N280 は立体矩形刺激の偏位に反比例して振幅が小さくなり、立体矩形刺激のない CRG で最も小さくなるという傾向を示した。こ

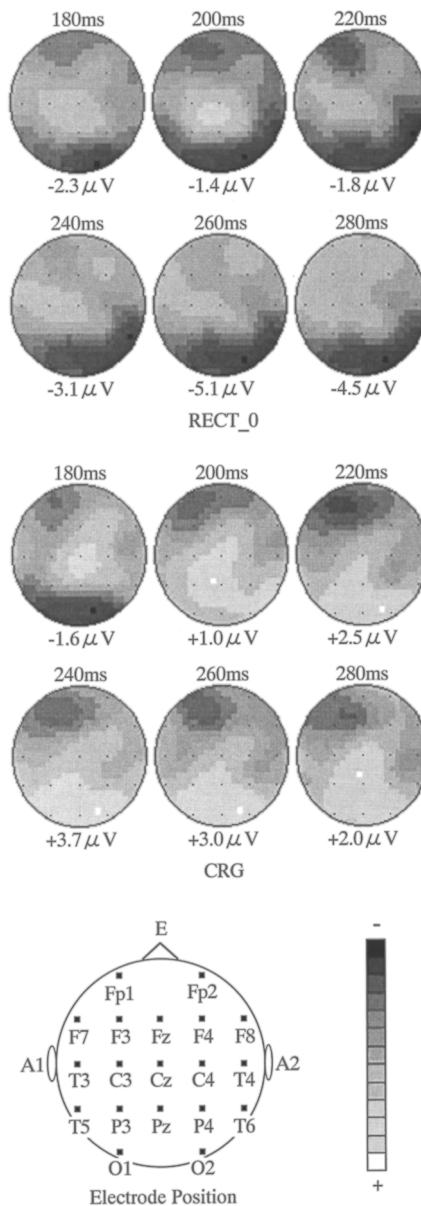


図 3 代表的トポグラフィ

Fig. 3 Examples of the topographies for stereo-rectangle (RECT_0) and correlogram (CRG).

のような 2 峰性反応はどの被験者においても再現性高く確認され、頂点潜時のばらつきもほとんどなかった。また頂点振幅と立体矩形刺激の偏位の関係も電極の状態や個人差による絶対値の違いはあったが、その変化の傾向はおおむね同じであった。これらの結果は数か月の間において同一被験者で測定しても再現性高く確

認められた。この結果より、N180の方は提示刺激の特性にはあまり影響されない知覚過程に起因する反応成分であり、対してN280の方は提示刺激の特性に大きく影響される知覚過程に起因する反応成分であると推測される。

この実験Aの結果から考えると、立体刺激の特徴、若しくは本実験において先行例から大きく変化させたパラメータである視野角が、VEPに何らかの影響を与えていることが予想され、この現象について詳細に検証していく必要がある。視野角との関連を検証することは、実験器具上の制約により本実験システムでは不可能であったため、まず同一の実験システムのもとで提示刺激の特徴とVEPとの関連を探るべく以下の実験B, Cを行った。

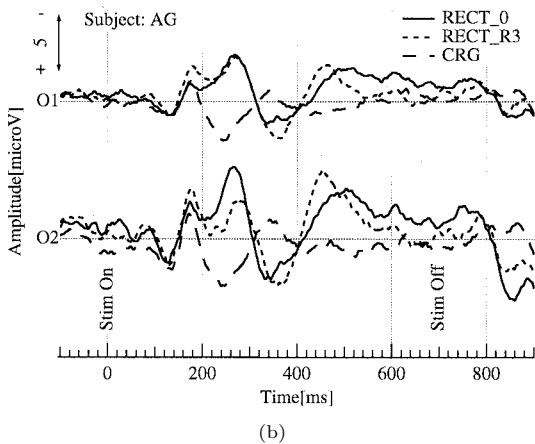
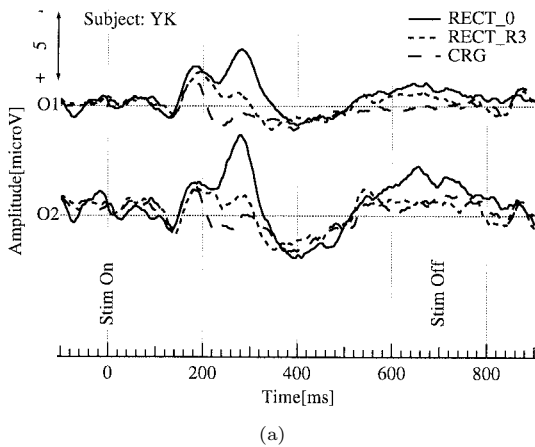


図4 代表的波形例

Fig. 4 Examples of the VEPs for stereo-rectangles with lateral shifts.

3. 実験B：両眼非対応領域刺激実験

実験Aで得られた結果におけるVEPの性質を明らかにするために、以下の実験B及び実験Cでは、まず視差情報と融像後の形状情報というRDSの立体視において欠くことのできない基本的な要素に着目した。

実験Bでは、RDSの特性を生かしつつ形状情報のみを提示可能な刺激を作製、使用し、その際のVEPを実験Aのものと比較し、立体矩形刺激から視差を除去し形状情報のみの提示にした場合にVEPがどのような変化を見せるのかを検討した。

3.1 刺激と提示方法

実験Aで用いた刺激の立体的位置関係は、実世界においては、矩形部が手前にあって奥にある背景面を遮へいしている状態と等価である。このような遮へい関係により奥行の不連続が存在している場合、その側後方に片眼にしか見えない領域が発生する。このような領域のことを両眼非対応領域という(図5)。またその領域は図5にあるように遮へいの前後関係によって一意に決まる。逆にいうと、両眼非対応領域の各眼への与えられ方によって、面の奥行関係が推論できるということである。遮へい関係の幾何学的制約を満たすように両眼非対応領域を提示してやると、実際に視差の付加された両眼対応点はなくとも奥行知覚がなされるという現象がこれまでいくつか報告されており[13], [14], この現象を利用すると、実際の対応視差をつけずに、非対応領域を各眼に適当に提示してやることで、立体形状知覚が得られる可能性があるということになる。

よって、本実験では視差情報をなくし形状情報のみ

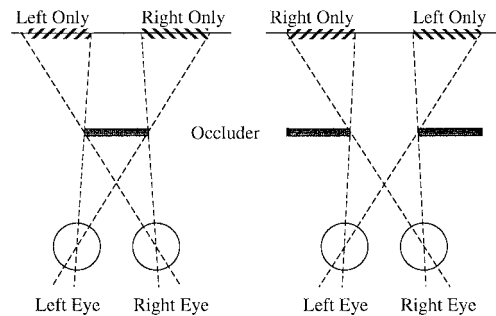


図5 奥行方向の遮へいと両眼非対応領域の関係

Fig. 5 Geometry of the occluding contours and the binocular unpaired regions.

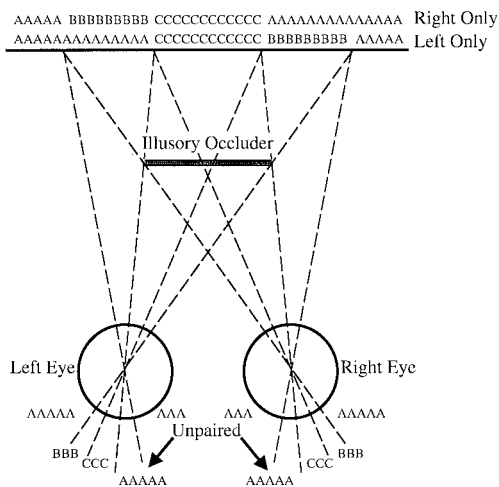


図 6 RDS による両眼非対応領域刺激

Fig. 6 RDS patterns for the unpaired region stimuli.

で立体知覚を成立させるため、実験 A で用いた刺激の矩形内部の点の視差をなくし、非対応領域のみが提示される刺激を用いた。図 6 に作製した非対応領域刺激の概略図を示す。図 6 において AAA は背景用の対応点の領域、CCC は実験 A1 においては視差がつけてあったがここでは背景と同じく対応を両眼でとった領域である。このパターンが眼に投射されると、最も外側の点線の外の AAA の領域、及び中の CCC の領域は対応点をとるのであるが、Unpaired と印した AAA の領域は対応眼のみにしか見えない非対応領域となる。これより、領域 CCC の遮への幾何学的制約を満たす側に非対応領域を示しており、Illusory Occluder がある状態と等価になる。ただし、本来ならば BBB の領域は対応眼にとっては見えない非対応領域なので、パターンを描く必要はないのであるが、本刺激はアナグリフ法による RDS なので、この領域のみをくりぬいてしまうと単眼でこの領域が見えてしまうため、BBB の領域も同じようにパターンを生成しておく必要がある。よって、実際に眼に入る非対応点は CCC の領域の両側となった。これにより、単眼による手掛りは全くなく、矩形領域のみが知覚可能な刺激となった。内観的にはあたかもスライドガラスのようなものがスクリーンに張りついているように知覚された。

この非対応領域を実験 A と同様に 5 種類の偏位をつけて、実験 A と同様の手法で提示した(図 7)。図 7 に

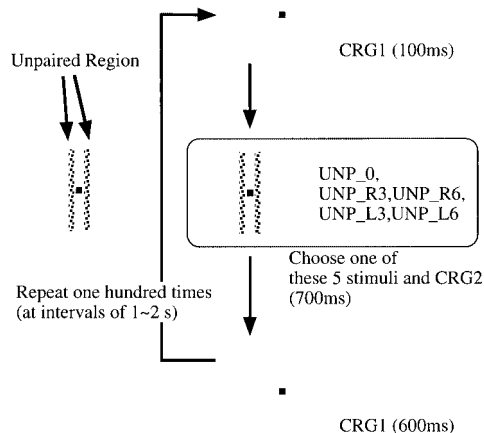


図 7 非対応領域刺激提示法

Fig. 7 Presentation of the unpaired region stimuli (UNP).

において UNP_0 は非対応領域の位置が偏位 0 のものであり、同様に UNP_R3, UNP_R6, UNP_L3, UNP_L6 はそれぞれ右 3°, 右 6°, 左 3°, 左 6° に対応する。

3.2 実験環境

実験 A と同様。ただし被験者は成人男子 2 名、成人女子 1 名の計 3 名で実験を行った。

3.3 実験結果

図 8 に非対応領域刺激の結果と、比較のため実験 A の立体矩形刺激の結果の被験者 2 名の代表例を示す。この図では偏位 0 の立体矩形刺激 (RECT_0) と非対応領域刺激 (UNP_0) 及び CRG 系列の O1, O2 電極から得られた反応のみを示した。図 8 にあるように UNP_0 の場合も RECT_0 の場合と同様に 2 峰性反応が出現した。第 1 成分は、その頂点振幅値及び潜時ともやはり偏位によらずほぼ一定で、立体矩形刺激のものと同値を示した。一方、第 2 成分に関しては、その頂点振幅値の偏位依存性は非対応領域領域が周辺部のものほど振幅値が小さく、CRG で最小になるという立体矩形刺激のものと非常に類似した傾向を示した。この性質より、ここで現れた第 2 成分も N280 とほぼ同一の成分であると考えられるが、その潜時は非常に特徴的で、立体矩形刺激のものと比べ約 10~80 ms の遅れを示していた。この非対応領域刺激で見られた第 2 成分のことも、ここでは便宜上 N280 と呼ぶことにする。

頂点振幅値の偏位依存性に関しては 5.3 で詳しく述

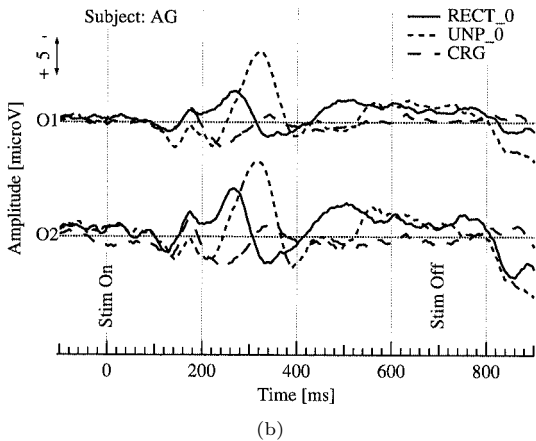
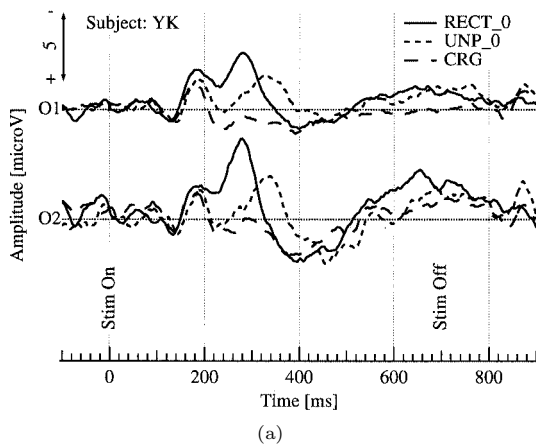


図 8 代表的波形例 (立体矩形刺激と非対応領域刺激の比較)
Fig. 8 Examples of the VEPs for stereo-rectangles and unpaired region stimuli.

べることにし、ここでは二つの成分の潜時に着目する。N180 と N280 の頂点潜時を立体矩形刺激 (RECT) と非対応領域刺激 (UNP) の各偏位についてプロットしたものを図 9 に示す。白ぬきは各被験者ごとの値で黒ぬりはその平均値である。図 9 にあるように N180 の潜時は立体矩形、非対応にかかわらずほぼ一定で、かつ被験者間でばらつきも非常に少なかった。それに対し N280 では非対応領域刺激の方が一律に遅れを示しており、この現象も各被験者間で共通に再現性高く観察された。

立体矩形刺激の場合は立体図形として浮き出ていることが確実に認識されたのであるが、この非対応領域刺激の場合は刺激が出たことを認識できない場合が

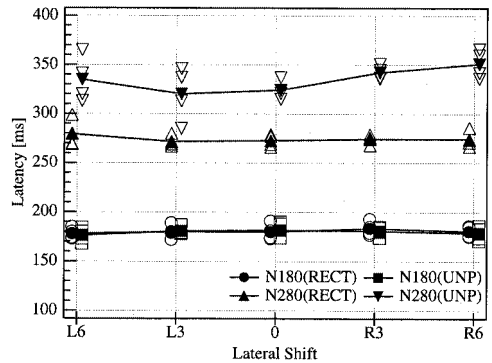


図 9 刺激種と 2 峰性波の頂点潜時
Fig. 9 Latency of the two peaks for stereo-rectangles and unpaired region stimuli.

れにあることを予備実験で確認しており、認識の度合に個人差が認められた。またこの刺激図形は立体矩形部の視差を除去することにより、視覚体験としてまねな幾何的構造となっているため、この刺激を認識する際に被験者の視覚体験に対し矛盾を引き起こしている可能性は否めない。よってこの刺激により純粋に形状情報のみの要素を定量的に見積もっているとはいいがたい。

しかしこの場合においても、N180 は偏位によらず立体矩形刺激の場合と同じ潜時を示しており、また頂点振幅値も立体矩形刺激のものとはほぼ同じであり、偏位による変化も立体矩形刺激の場合と同様にあまり見られなかった。対して N280 の方は、立体矩形刺激と比較すると潜時の遅れが発生しており (図 9)、またその頂点振幅値も偏位に従って大きく変化している (図 16)。すなわち、実験 A でも推測されたことだが、N180 は刺激の特性にはあまり影響されない成分であり、逆に N280 の方は刺激の特性に影響を大きく受けている成分であるということがここからも支持された。

4. 実験 C : 広範囲視差刺激実験

実験 B では形状情報のみの提示を目指したので、今度は逆に形状情報は与えず視差情報のみが提示される条件、すなわち刺激全体に視差をつけ全体的に浮かんで見えるような図形を提示刺激として実験を行った。

4.1 刺激と提示方法

図 10 に提示した広範囲視差刺激の概略図を示す。広範囲視差刺激として、立体矩形刺激の場合と同じだけの視差量 30' を画面全体に一樣につけたもの (Wide

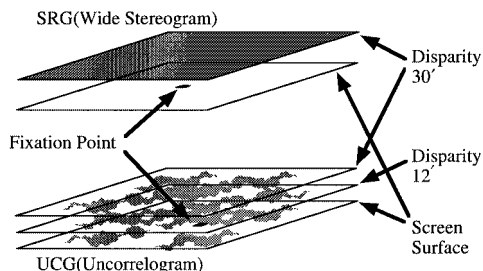


図 10 広範囲視差刺激概略図

Fig.10 Schematic of the wide stereogram (SRG) and uncorrelogram (UCG).

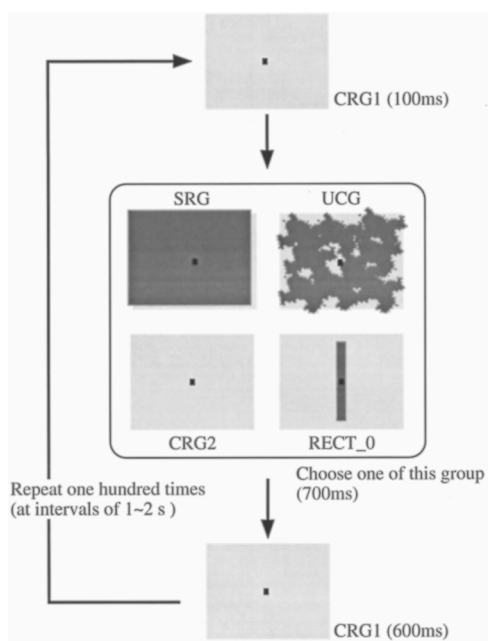


図 11 広範囲視差刺激提示法

Fig.11 Presentaion of the wide stereogram (SRG) and uncorrelogram (UCG).

Stereogram, SRG)と視差量 0, 12', 30' を画面全体にランダムにつけいくつかのまだらな面が重なったように見えるもの (Uncorrelogram, UCG) の二つを用意した。この二つの刺激に比較のため RECT_0 と CRG を混ぜ、合計四つの刺激を実験 A, B と同様な手法で提示した (図 11)。

また表 1 に、実験 C で用いた刺激の特徴的性質を示す。比較のため実験 B で用いた非対応領域刺激 (UNP_0) のものも加えてある。

4.2 実験環境

実験 A と同様。ただし被験者数成人男子 1 名, 成人

表 1 各刺激の特徴的性質
Table 1 Characteristics of each stimulus.

刺激種	相対視差 (単位は arcmin)	形状情報
RECT_0	30	矩形
UNP_0	0 (非対応領域以外)	矩形
SRG	30	全画面一様
UCG	0, 12, 30 (ランダム)	まだら
CRG	0	全画面一様

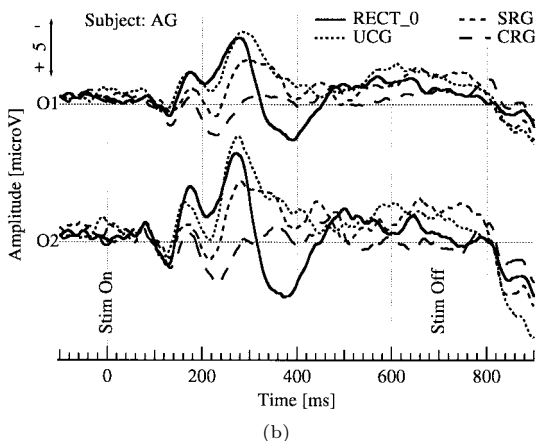
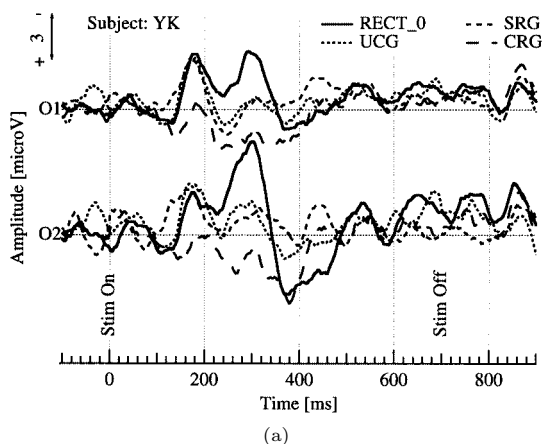


図 12 代表的波形例 (広範囲視差刺激)

Fig.12 Examples of the VEPs for wide stereogram and uncorrelogram.

女子 1 名の計 2 名で実験を行った。

4.3 実験結果

図 12 に代表的な波形例を、実験 A, B と同じく被験者 2 名分を示す。ここでも O1, O2 電極での反応のみに限定して解析する。

図 12 にあるとおり、この場合においても実験 A, B と同様の 2 峰性波が観測された。第 1 成分の N180

の頂点振幅に関しては CRG に対する反応が多少小さく現れたが、他はおおむねこれまでと同じく刺激の種類によらずほぼ一定であった。また第 2 成分の N280 の被験者間での共通の傾向としては、RECT_0, SRG, CRG の順で振幅が小さくなった。UCG に関しては CRG 及び SRG のそれよりは大きく、かつ RECT_0 をやや上回るかそれ以下といった範囲で被験者ごとに多少のばらつきがあった。

この結果に関して、各刺激図形に対してそれぞれの N180 及び N280 の平均頂点振幅を横軸に、その被験者間の分散を縦軸にとったものを図 13 に示す。表 1 と比較しながら図 13 を見てみる。まず N280 の横方向への分布に関してだが、平均振幅の比較的小さい CRG や SRG に共通の特徴は形状情報がない (CRG は単なるランダムドット、SRG は浮き出て見えるが画面全体が浮き出ているため「地」に対する特徴的「図」がない) ことであり、逆に振幅の大きい RECT_0 はこれらとは反対に形状情報が存在する。そして形状情報としてはあいまいな (まだら模様が知覚される) UCG の振幅はほぼそれらの間に位置している。つまり振幅の大きさには形状情報の有無が関与している可能性が示唆される。次に縦方向への分布に関してだが、分散の小さい RECT_0, SRG, CRG の共通の特徴としては、その刺激を見たときにその図形の立体感が確実に得られるものである。つまり RECT_0 や SRG は一様な相対視差で刺激図形が構成されていて、視差をつけた部分が浮き出ていると確実に認識でき、CRG はその反対に相対視差がないため、立体刺激が何もないと

ということが確実にわかる刺激である。対して分散の大きい UCG は視差の分布がランダムであまいなため、浮き出ている部分を定位するのが困難で不安定な立体知覚が生じる刺激である。つまり分散の大きさには立体図形としての認識の安定度が関与している可能性が示唆される。ところで、UCG のように立体としての認識が不安定な刺激として、実験 B における UNP_0 も考えられる (3. 参照)。同時測定は行っていないので直接は比較できないが、その UNP_0 における N280 をこのグラフ上にプロットすると UCG のやや右のあたりに位置し認識は不安定だが形状情報は存在するという領域に収まった。

これとは対照的に N180 の振幅分布は N280 の半分程度の領域にしか広がっておらず、また分散もすべてにおいてほぼ一定で小さい。つまり提示刺激の特性に大きく影響されるのは N280 の方であり、N180 にはそのような影響は少ないということがここからも示唆される。

5. 考 察

5.1 N180 及び N280 について

今回の一連の実験において、N180 は刺激の種類によらず一定の潜時で現れ、また振幅についても刺激間において多少の変化は見られたがその分散はいずれも小さかった。対して N280 は刺激の種類によっては潜時に変化が見られ、振幅及びその分散ともに刺激種に大きく影響されていた。

これらの結果より、N180 はどのような刺激入力に対しても共通的に駆動されるような初期視覚過程での反応、例えば初期段階の特徴抽出過程における反応などに起因する成分であり、N280 は入力刺激の特徴 (視差や形状の有無など) に大きく影響される知覚過程、すなわち立体形状の認知などにかかっている高次視覚過程での反応に起因しているものと考えられる。

ここで実験 C における SRG と RECT_0 に対する反応の違いに着目してみる。SRG の視差量は均一に 30' で RECT_0 の場合と同じであり、また立体図形としての認識に関しても両方とも安定しているにもかかわらず、その誘発電位の振幅は SRG の方が小さい。つまりここで振幅値に関係しているのは視差刺激の数 (打点数) や視差の量ではなく形状情報の有無である。言い換えると、視差刺激の背景に対する面積比、つまり背景に対する特徴的刺激量が問題なのであり、このような観点で見ると RECT_0 に比べ SRG は特徴的な

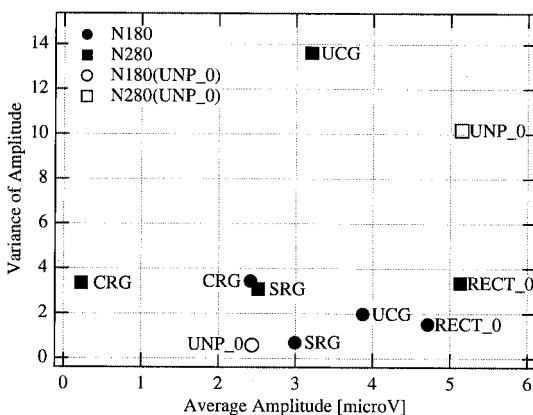


図 13 2 峰性波の頂点振幅平均とその分散

Fig. 13 Average amplitude and variance of N180 and N280 for each stimulus.

領域のない全体的刺激ということになる．このような「図」と「地」の分離や形状情報の処理といったようなグローバルな課題は V4 などの高次視覚野で処理されているといわれている．

しかし，今回行った一連の実験において，主に解析の対象とした O1, O2 電極以外にも Pz 電極付近の頭頂部で潜時 150 ~ 200 ms において O1, O2 電極と同相の電位変動が確認されているが，その変動は O1, O2 電極のものより小さかった．よって，ここまで議論してきた O1, O2 電極における陰性電位は後頭部優位な反応が主要因であると考えられる．誘発電位の発生機序や視覚野の解剖学的構造から考えると，そのような反応は主に V1 などの初期視覚野における処理（例えば両眼視差検出など）を行っている部位からの反応によるものであると考えた方が妥当であるということになり，前述のようなグローバルな受容野をもつ細胞の反応が直接的に現れているとは考えにくい．つまり，N280 の刺激の特性に依存した変化は，高次視覚過程での反応の変化が直接現れたものというより，むしろそのような反応が，O1, O2 電極において最も強く確認できるような部位までフィードバックされ影響を与えているのではないかと考えることができるであろう．

ではなぜこのような 2 峰性の反応が見られたのであろうか．RDS による視差刺激に対し 1 峰性の陰性電位が得られた従来の実験条件と今回の我々の実験条件で大きく異なるパラメータは提示視野の大きさ，すなわち図形自身の大きさのみである．また冒頭でも述べたが筆者らのグループで以前行われた HMD による指標追従実験で，視野の増加が追従特性の時間遅れを増加させた現象も報告されている [9]．つまり今回の広視野提示の場合は従来の狭い視野の場合より処理すべき領域が大きいため，図形認識に際してより広い受容野が必要になり更に高次レベルでの処理が必要とされた，若しくは広視野，狭視野とも同程度の視覚野レベルで全体的図形認識の処理は行われているが処理すべき情報が多く時間がかかる，などの理由により広視野では反応に時間遅れが生じ 2 峰性反応が見られたが，従来の狭視野ではこの差が顕著でなく見かけ上 1 峰性になっていたということなどが考えられる．また Lehmann らはチェッカーボード刺激を上半視野と下半視野にそれぞれ提示した場合，その VEP 反応が異なるという現象を報告しており [15]，今回のように刺激が上下視野周辺部にわたるような大きな刺激を使った場合，そのような効果の影響が 2 峰性波を顕在化さ

せた可能性も考えられる．これらの仮説を検証するためにも，今後は視野角すなわち刺激の大きさを，立体部と背景部を独立に扱いながら変化させ，それらの結果と今回のものを比較しつつこの議論を詳細に行うことが肝要であろう．

5.2 奥行知覚に対する反応の抽出

これら一連の実験により，立体知覚の成分として本質的なのは，刺激の変化により大きく影響された第 2 成分の方であることが予測される．そこでこの第 2 成分 (N280) のみを抽出し解析するために，CRG 系列の反応を参照信号とみなして他の刺激系列の反応からその分を差し引くことにより，単なるドットパター

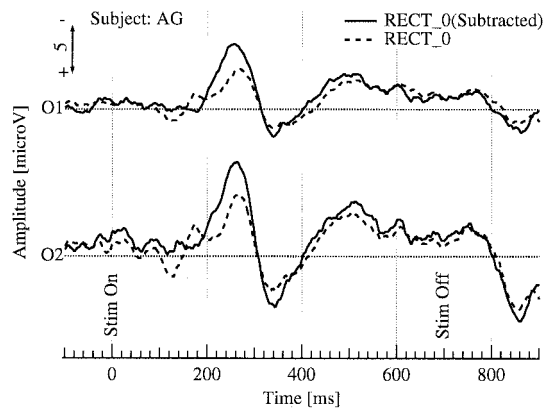


図 14 CRG 減算処理の適用例 (立体矩形刺激)

Fig. 14 Examples of the VEPs for the stereo-rectangle stimulus subtracted CRG response.

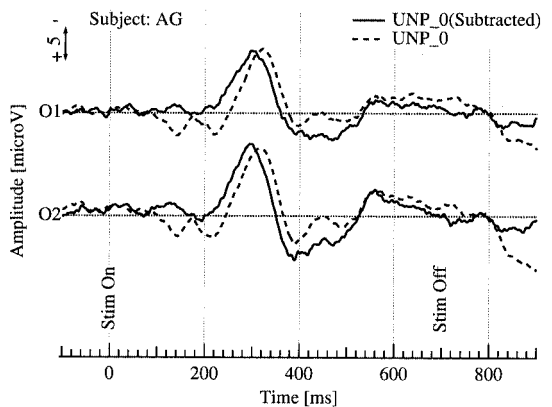


図 15 CRG 減算処理の適用例 (非対応領域刺激)

Fig. 15 Examples of the VEPs for the unpaired region stimulus subtracted CRG response.

ンの変化による反応の影響を除去することを試みた。図 14, 図 15 に RECT_0 と UNP_0 の代表例を示す。

図 14, 図 15 からわかるように N180 成分のピークが減算によって除去され N280 成分だけが残っている。ここでは偏位 0 の例のみ示したが, 他の偏位においても同様の効果が見られ, N280 成分つまり提示刺激に大きく影響を受けた成分のみを抽出できたといえよう。

5.3 偏位度と振幅の関係

前節で導出した減算波形における O1, O2 電極の N280 成分の頂点振幅を偏位度についてプロットしたものを図 16 に示す。ただし, 被験者間での振幅の絶対値の差や, それぞれの実験時における電極状態の差をなくすため, それぞれの偏位における振幅値は各被験者ごとに偏位 0 のもので規格化し, その値をもとにして平均値を算出した。

図 16 を見ると, 振幅は立体矩形刺激, 非対応領域刺激とも矩形領域が正中面上にあるときに最大になり, 周辺部にいくにつれて小さくなった。また同偏位の刺激に対して対側チャンネルの振幅値の方が同側チャンネルのものより大きく, 同チャンネルにおいては対側偏位の刺激に対する振幅値の方が同側偏位のものより大きくなる傾向が見られた。これは中島らの結果 [3] を支持するものであり, 本実験の妥当性を示しているといえよう。この傾向も立体矩形刺激, 非対応領域刺激の両方で同様に見られた。

ところで人間の視覚野の構造として, V1 は鳥距溝を取り囲むように分布しており, 中心視野はその後側

に, 周辺視野はその前側に投射している。また網膜上の単位視角当りの視覚皮質表面での長さを表す皮質拡大率も中心窩から離れるに従って減少するといわれている。今回解析の対象とした O1, O2 電極の位置は後頭部の頭皮上であるため, 視野中心に矩形領域があるときに振幅が大きく, 周辺にいくに従って小さくなるというのは当然であり, この結果からだけでは反応部位の違いを実証したにすぎず, 矩形領域の位置と振幅値の関係について言明するには不十分である。

しかし, ここで RECT_0 と UNP_0 の周辺部における減少傾向を比較してみると RECT_0 の方が UNP_0 より周辺部 (特に R3, L3) と中心部の差が大きくなる傾向が見られた。この二つの刺激に対する反応の間では, 前述のような大脳皮質の構造的影響は全く同じはずであるため, 皮質構造以上に中心視において優位に反応する要因が RECT_0 の方に含まれているということになる。またこの両刺激間の違いは前述のとおり矩形領域内に実際に対応のとれる視差をつけた点が含まれているかどうかだけである。よってこの二つの刺激間での反応傾向の違いは, この視差の有無によってもたらされていると考えられる。つまり, 実際に検出可能で対応のとれる視差刺激を内部にもたない矩形領域が偏位するより, 一樣な対応のとれる視差刺激が内部に含まれている矩形領域が偏位する方が振幅値に与える影響が大きいということである。UNP_0 に対する N280 の振幅値の分散は RECT_0 のそれより大きいため一概には結論づけられないが, VEP 反応に現れ得るような形で中心視の視差抽出における優位性をとらえることができたと考えられるであろう。

6. む す び

本論文では約 40° 程度の大きな視野角のもとで, RDS を用いた立体視時の VEP を測定した。その結果, 従来には報告されていなかった潜時約 180 ms 及び約 280 ms の 2 峰性の陰性波 (N180, N280) が再現性高く確認された。またこのうち N180 成分は刺激種にあまり影響を受けない成分であり, 対して N280 は刺激種に大きく影響を受ける成分であった。これらのことより, N180 は比較的初期の視覚過程からの寄与が大きく, N280 は立体, 形状認知にかかわる高次の視覚過程からの寄与が大きい可能性が示唆された。更に CRG に対する反応波形をその他の刺激に対する反応波形から減算することにより, N180 成分すなわちすべての刺激に対してほぼ共通的に発生する反応成分

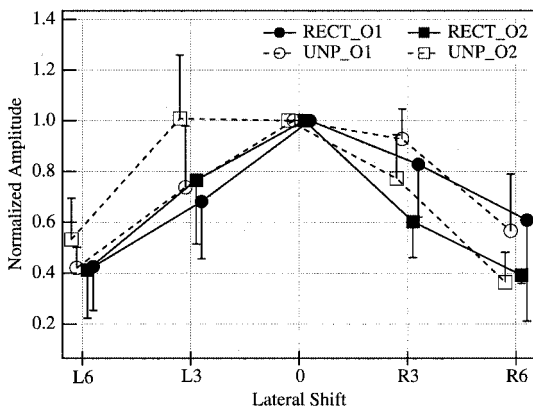


図 16 N280 の振幅値の偏位依存性 (規格化後)
Fig. 16 Dependency of amplitude on the location of rectangle area.

を原波形から除去し、刺激種の影響を受けやすい反応成分すなわち N280 成分を抽出することに成功した。そして立体矩形刺激と非対応領域刺激の減算処理後のそれぞれの波形を比較することにより、視差抽出において中心視に優位性がある可能性を VEP 上から示唆することができた。

このような 2 峰性波の発生に関し、情報量の増大、刺激の大きさなどいくつかの原因が考えられるが、現段階ではいずれも仮説にしかすぎない。今後はこの仮説を検証するために、いくつかの視野条件のもとで実験を行い、2 峰性波の波形変化を調べていくことが望まれる。

謝辞 本実験に快く御協力いただいた被験者の方々、本実験装置の構築に尽力して下さった奥村政彦氏、小林和恵氏に深く感謝致します。

文 献

- [1] 奥村政彦, 小林和恵, 鈴木隆文, 前田太郎, 館 暲, “視差刺激に関する VEP の計測並びに考察,” 第 11 回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp.429-432, 1996.
- [2] 宮脇陽一, 前田太郎, 館 暲, “奥行き知覚時の視覚誘発電位の評価と検討,” 信学技報, MBE96-126, vol.96, no.581, 1997.
- [3] 中島理子, 二唐東朔, “視差刺激に対する網膜重複部からの視覚誘発電位,” 日眼会誌, vol.98, no.3, pp.298-305, 1994.
- [4] 小口芳久, 濱田恒一, 河原哲夫, “視覚誘発電位による立体視の研究,” 日眼会誌, vol.89, no.3, pp.470-475, 1985.
- [5] 濱田恒一, 小口芳久, 河原哲夫, “Static random-dot stereogram による立体視刺激 VEP の研究—刺激条件に関する検討,” 日眼会誌, vol.89, no.4, pp.582-588, 1985.
- [6] 濱田恒一, 小口芳久, 河原哲夫, “各種刺激条件による立体視 VEP の反応性に関する研究—刺激提示方式, 刺激変換時間, 刺激提示時間に関する検討,” 日眼会誌, vol.89, no.9, pp.1059-1063, 1985.
- [7] 飯塚和彦, “静的 random dot stereogram の打点密度の増減に対する VEP 振幅と深径知覚,” 日眼会誌, vol.96, no.8, pp.985-992, 1992.
- [8] B. Julesz, W. Kropff, and B. Petrig, “Large evoked potentials to dynamic random-dot correlograms and stereograms permit quick determination of stereopsis,” Proc. Natl. Acad. Sci. USA, vol.77, no.4, pp.2348-2351, 1980.
- [9] 前田太郎, 荒井裕彦, 館 暲, “頭部運動追従型両眼視覚提示装置の設計と評価,” 日本ロボット学会誌, vol.10, no.5, pp.655-665, 1992.
- [10] 畑田豊彦, “続・生理光学 10—視機能の検査法 IV 立体視機能 1,” O plus E, no.122, pp.168-174, 1990.
- [11] 安達恵美子, 千葉次郎, “視野と VEP,” 眼科 Mook, vol.14, 眼と電気生理, pp.182-189, 金原出版, 1980.
- [12] 下條信輔, “視覚の冒険—イリュージョンから認知科学へ,” 産業図書, 1995.

- [13] K. Nakayama and S. Shimojo, “Da Vinci stereopsis: depth and subjective occluding contours from unpaired image points,” Vision Res., vol.30, pp.1811-1825, 1990.
- [14] L. Liu, S.B. Stevenson, and C.M. Schor, “Quantitative stereoscopic depth without binocular correspondence,” Nature, vol.367, no.6, pp.66-69, 1994.
- [15] D. Lehmann, H.P. Meles, and Z. Mir, “Average multi-channel EEG potential fields evoked from upper and lower hemi-retina: latency differences,” Electroenceph. Clin. Neurophysiol., vol.43, no.5, pp.725-731, 1977.

(平成 10 年 5 月 18 日受付, 11 月 18 日再受付)



宮脇 陽一 (学生員)

平 8 阪大・工・応用物理卒。平 10 東大大学院・工・計数了。現在同大学院・工・先端学際工学専攻博士課程在学中。生体信号計測、視覚情報処理の研究などに従事。計測自動制御学会、視覚学会、日本バーチャルリアリティ学会学生会員。



柳田 康幸

昭 63 東大・工・計数卒。平 2 同大大学院修士課程了。同年同大先端科学技術研究センター助手。平 9 同大大学院・工・計数工助手。音響工学、人工現実感システムなどの研究に従事。平 10 日本バーチャルリアリティ学会学術奨励論文賞。日本音響学会、計測自動制御学会、日本ロボット学会、日本バーチャルリアリティ学会各会員。



前田 太郎 (正員)

昭 62 東大・工・計数卒。同年通産省工技院機械技研入所。平 4 東大先端科学技術研究センター助手。平 6 同大大学院・工・計数工助手。平 9 同専攻講師。工博(東大)。人間の知覚特性と神経回路網モデル、マンマシンインタフェース、テレイグジスタンスの研究などに従事。平 2 計測自動制御学会論文賞, 平 9 同学会学術奨励賞, 平 3 日本ロボット学会技術賞。計測自動制御学会, IEEE, 神経回路学会, 日本ロボット学会, 日本バーチャルリアリティ学会各会員。



館 暁

昭 43 東大・工・計数卒．昭 48 同大大学院博士課程了．工博．同年同大助手．昭 50 通産省工技院機械技研研究員．主任研究官，遠隔制御課長，バイオロボティクス課長，マサチューセッツ工科大学（MIT）客員研究員を経て，平 1 東大・先端科学技術研究センター助教授．平 4 同センター教授．平 6 同大大学院・工・計数工教授．盲導犬ロボット，トレイゲジスタンス，人工現実感などの研究に従事．IEEE/EMBS 学会賞，通産大臣賞，国際計測連合（IMEKO）特別勲功賞などを授賞．IMEKO ロボティクス会議議長，SICE フェロー，日本バーチャルリアリティ学会会長．