

能動的頭部運動と視覚運動情報の非整合環境下における 順応効果

高原 邦光・岡嶋 克典・高瀬 正典

防衛大学校応用物理学教室 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20

Adaptation Effect in a Conflicting Environment between Active Head-Motion and Retinal-Motion Information

Kunimitsu TAKAHARA, Katsunori OKAJIMA and Masanori TAKASE

Department of Applied Physics, National Defense Academy, 1-10-20, Hashirimizu, Yokosuka 239-8686

We investigated whether an adaptation effect occurs in a virtual environment, in which an extent of retinal image motion caused by head rotation was modulated independent of an extent of the rotation. We defined a value "Gain," as the ratio of "the rotation angle of retinal motion in the virtual environment" to "the rotation angle of head motion in the real environment." Subjects rotated their heads in the adaptation phase in which one of five Gains (0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5) was used; the phase lasted one of four periods (1, 2, 3, 5 min). Immediately afterwards, they adjusted the Gain to enable them to perceive a "stable environment" in the test phase. The results showed that adjusted Gains in the test phase tended to shift to the adaptation Gains, indicating that the perceptual system adapts to the virtual environment within a few minutes. In addition, we tested whether the adaptation effect occurs in the motor system, and found that the motor system is not modulated by immersion in the virtual environment.

1. はじめに

眼を動かしたとき、網膜上で視対象の位置が変化しているにもかかわらず、視覚世界は静止して知覚され、いわゆる「位置の恒常性」が成立している¹⁾。体や頭を動かして周囲を見渡すときも、この位置の恒常性が成り立ち、外界が動くようには感じられず、網膜像の動きは自分の運動として知覚され、「外界の安定性」が保たれている²⁾。普段は成立しているこの視覚系と他の感覚系の整合的な関係を、非整合な状態に置き換え、人間の知覚システムの順応および可塑性を調べる研究として、「逆さメガネ」の実験がよく知られている。この逆さメガネを通した像は、左右または上下に反転して網膜上に届く。したがって観察者は、この逆さメガネを通して左右または上下が反転した世界を見ることになる。逆さメガネを装着すると、位置の恒常性が崩壊し、激しい視野の動揺を感じるが、着用3日目ほどでメガネ着用によって生じた視野の動揺や気分の悪さ

もおさまるといわれている²⁾。

仮想現実感技術を用いて、視覚運動情報と身体運動情報の整合性が成立しない仮想空間に人間が置かれた場合でも、当初は逆さメガネ装着時と同様に安定した外界の知覚は得られず、日常の世界との違和感を覚えるものと考えられる。しかし、長時間そのような非整合な環境に居続けると、その仮想空間に適応し、違和感がなくなることが予想される。特に、逆さメガネのような質的な変化（左右、上下の反転等）ではなく、量的な変化（体の動きの大きさに対して視覚情報の動きの大きさが変化する等）の場合、短時間に順応が生じる可能性がある。量的な変化の実験例として、「プリズム」を使った実験が行われている。たとえば右に30 deg ずれて見えるプリズムを装着した場合、当初は視覚系と身体運動系の対応がとれず、ターゲットにボールを正確に当てることができないが、10~30球投げ続けるとボールがターゲットに当たるようになり、プリズム着用時の視覚-運動系の対応づけが新たに構築されることが報告されている³⁾。そこで本研究では、能動的な頭部運

E-mail: okajima@cc.nda.ac.jp

動情報と視覚運動情報が整合的および非整合的な視覚刺激を、可動立体視ディスプレイ上に3次元コンピュータグラフィックスを用いて立体的に提示し、数分間における被験者の非整合環境に対する順応効果、順応効果の時間的推移およびその特徴を2種類の実験を行って調べた。

実験1では、「外界の安定性」を判断基準に用いて、順応効果の有無を調べた。われわれの知覚システムが非整合環境に対して適応できるならば、能動的に非整合環境を観察しているうちに、その非整合環境においても「外界の安定性」が獲得されるものと考えられる。過去の研究において、自発的な頭部の動きに対する環境の変位を、頭部の動きの40%にした黒白の影の縦縞による周期的な刺激を円筒型のスクリーンに映して、10分間の自発的な頭部運動によりこの刺激に順応後、その順応効果が生じることが示されている⁴⁾。また、モーター付きの回転イスとヘッドマウントディスプレイ(HMD)を用いて、身体運動の回転角度情報に対して網膜上ではその1/2の回転角度情報しか与えない仮想空間の中で、受動的な身体運動を45分間繰り返して順応させると、前庭系がその仮想空間に順応することが報告されている⁵⁾。前者の能動的観察条件のほうが後者の受動的観察条件より短時間で順応効果が生じた理由は、次のように推測される。すなわち、自発的な頭部運動を利用した前者の実験では、仮想空間内の対象の位置関係に関する何らかの3次元モデルと筋運動情報の使用により、自己と対象との空間的把握を、受動的観察時の実験に比べてより正確に行うことができたために、後者の受動的観察条件よりも短時間のうちに順応が進むことが考えられる^{6,7)}。また、1 Hzの自発的な頭部運動をその振幅の60%で動く光点を注視しながら6分間実施した後、その順応効果が生じる⁸⁾ことから、自発的な頭部運動に対する環境の変位が非整合な仮想空間における順応が、6分よりも短い時間内に発生する可能性がある。さらに、過去の実験⁴⁾の頭部運動は頭部だけの運動であるが、本実験では、上半身の運動に付随させた頭部運動を実施しながら刺激に順応することで、上半身の体勢感覚の情報が利用可能となり、より順応効果が促進されることが予想される。

実験2では、自発的な頭部運動による方位判定を行い、非整合環境の順応による身体運動系自体の変化を調べた。非整合環境に順応する前の方位判定の結果と比較して、非整合環境に順応した後の方位判定の結果に変化が見られれば、身体運動系自体が非整合環境の順応により変化したことを示すことができる。これら2つの実験結果から、短時間(数分間)における能動的観察条件における知覚システムの、非整合環境に対する順応特性ならびにメカニズム

について検討する。

また、過去の研究⁴⁾で提示された刺激は、視野全体を覆うものであったが、本実験では水平視野角は43.6 degに限定されている。もし本実験の結果で順応効果が認められれば、VR(virtual reality)技術を用いた視覚実験の研究ツールとしての有効性も示すことができると考えられる。

2. 方 法

2.1 装 置

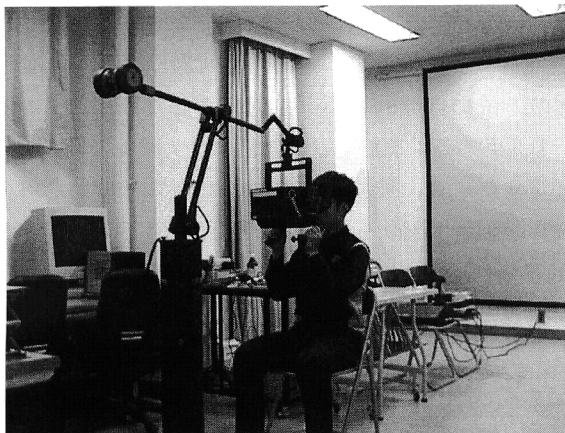
グラフィックス・スーパーコンピューター Onyx-RE2 (Silicon Graphics Inc.) を使用し、3次元グラフィックスライブラリー (Open GL) により作成した視覚刺激を、立体視が可能な高解像度ステレオスコープ Boom3C (Fakespace Inc.) に提示した。画面水平視野角は43.6 deg、垂直視野角は37.2 degである。焦点距離は72 cmで、画面の解像度は左右とも1280画素×960ラインである。Boom3Cの視点位置は、6個のポテンシオメーターによって機械的・電氣的に検出され、分解能は4000カウント/360 degおよび位置検出回数は70回/sである。また位置検出から描画が完了するまでの遅れは1/60 s以内である。被験者は、Boom3Cのディスプレイを覗き込みながら、両手でアームをつかみ、手で任意の方向にほとんど力を要せずに動かして頭部を振ることができる。実験の概観をFig. 1(a)、実験装置の概略図をFig. 1(b)に示す。

2.2 仮想空間とゲイン

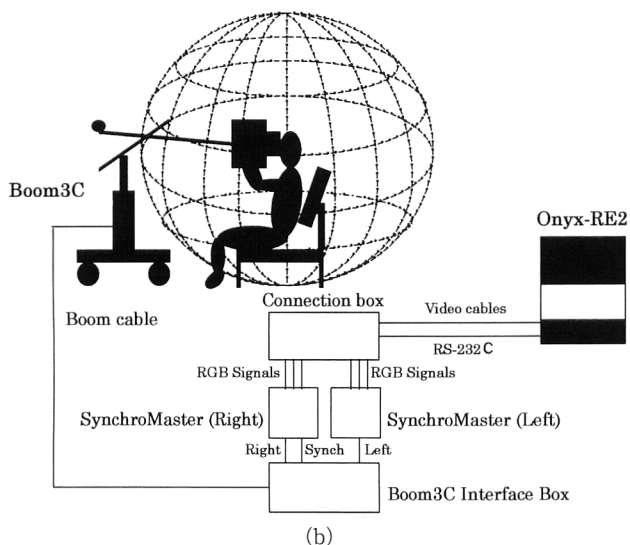
本実験では、静止している球の内部を、被験者が球の中心から観察している状況を設定し、実験開始時の正面位置を0 degとする仮想空間を構築した。地面に対して水平な頭部回転角度を X deg、その際の網膜上の回転角度を Y deg とし、ゲイン $= Y/X$ と定義した。能動的な頭部運動情報と視覚運動情報が整合状態にあるときはゲイン $= 1.0$ であり、非整合状態にあるときはゲイン $\neq 1.0$ である。たとえば、頭部回転角度 (X) が45 deg のとき、静止球内における網膜上の回転角度 (Y) が22.5 deg となるような非整合環境は、ゲインが $22.5/45 = 0.5$ の仮想空間である (Fig. 2 参照)。また刺激の垂直成分に関しては、全実験を通じてゲイン $= 1.0$ としたが、被験者にはできるだけ水平に動かすように指示した。

2.3 刺 激

白背景の仮想空間において、半径72 cm、縦32本、横32本、太さ2ピクセルの黒色のワイヤーフレームによる静止球を、コンピュータグラフィックスを用いて描き出した。この半径はBoom3Cの焦点距離と同じに設定した。椅子に座った被験者が、静止球の内壁部を球中心位置から



(a)



(b)

Fig. 1 Overviews of the apparatus (a) and the experimental system (b).

観察している状態をシミュレートし、画像はゲインと被験者の視点変化に応じて動く。各トライアル開始時に、被験者の頭部の位置が静止球の中心になるように調整した。

2.4 被験者

被験者は、実験1, 2ともに年齢22~27歳のKT, TO, HS, TTの男性計4名であり、全員視機能および視力は正常である。被験者KTは著者の一人であるが、その他の3人は実験の目的を知らされていない。

2.5 実験方法

2.5.1 実験1 自己運動と視覚運動情報が非整合な環境への順応効果

能動的頭部運動と視覚運動情報の関係が非整合な環境に対する順応効果を、「外界の安定性」を評価基準として調べた。1つのトライアルは、1つの順応段階および1つのテスト段階から構成される。実験条件は、順応段階におけるゲイン(0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5)と順応時間(1,

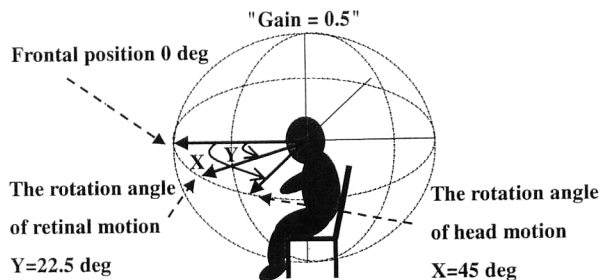


Fig. 2 Schema of the virtual environment in the experiment. The Gain is represented as the ratio of “the rotation angle of retinal motion in the virtual environment” to “the rotation angle of head motion in the real environment” during active head movement. In this situation, the Gain is 0.5 because the rotation angle of retinal motion is 22.5 deg at 45 deg’s head rotation.

2, 3, 5 min) の組み合わせの計20種類である。この20種類の実験条件をすべて1回ずつ実施することを1セッションとし、1セッション中の実験順序はランダムに設定された。順応段階において、能動的頭部運動と視覚運動情報が整合(ゲイン=1.0)または非整合(ゲイン=0.5, 0.75, 1.25, 1.5)な刺激を、両手でアームをつかんで頭部を回転方向に自発的に左右に振りながら、各指定時間内だけ観察する。また頭部運動は、被験者が仮想空間の画像がなめらかに動いて見える範囲内の速さで、無理なく行えるペース(周期)でできるだけ上下にゆらさずに実施するように指示した。頭部運動の振幅は左右約45 degであった。順応刺激を観察後、すぐにテスト段階に入る。テスト段階での開始時のゲインの値は、順応刺激のゲイン ± 0.25 幅内でランダムに設定され、順応段階のときと同様に頭部運動を行いながら、外界が安定するようにゲインの値を増減するように被験者に指示した。ゲインの増減が完了するまでの時間的制限は設けなかったが、12~20 s程度であった。ゲインの調節は、Boom3Cのアーム上に取り付けられたボタン(左:ゲイン減, 右:ゲイン増)により行われ、ゲインの値はリアルタイムに画像に反映された。被験者はゲインの調節が終了すると、正面位置(0 deg位置)を向いて両ボタンを同時に押して1トライアルを終了させた。また1トライアル終了後、被験者はBoom3Cから一度頭部を外した後、被験者が実験を無理なく実行できるペースで次のトライアルへと進んだ。各被験者とも全10セッション実施した。

2.5.2 実験2 自己運動と非整合な視覚運動情報に順応した後の身体運動系の変化

非整合環境に順応した後の身体運動系の出力の変化を調べるために、順応後に視覚情報が無い環境(Boom3Cの画面が暗黒の状態)において、自発的な頭部運動による方

位判定を行った。実験1と同様に1つのトライアルは1つの順応段階と1つのテスト段階から構成され、順応条件はゲイン (0.5, 1.0, 1.5) と順応時間 (1, 2, 3, 5 min) の組み合わせの計12種類とした。この12種類の実験条件をすべて1回ずつ実施して1セッションとし、実験1と同様に1セッション中の実験順序はランダムに設定された。被験者は、順応段階で実験1と同様に自発的に両手でアームを動かして頭部を振りながら、順応刺激を観察する。その直後のテスト段階では、まず Boom3C の画面を一様白色状態にし、仮想空間内の 0 deg の位置に “center” の文字を表示する。被験者は、その文字が正面にくるように頭部を動かし、Boom3C のボタンを押すと画像は暗黒となる。被験者は、地面に対して水平に、正面位置から 30 deg の方位 (左右どちらか一方) に自発的に頭部を回転させ、ボタンを押す。その後、再び Boom3C の画像は白背

景に “center” の文字に置き換わり、被験者は正面位置に再び向き直る。続けて、先に方位判定した向きと逆側 30 deg の方位に自発的に頭部を回転させた後、ボタンを押す。1 トライアルを終了させた。また実験1と同様に1 トライアル終了後、被験者は Boom3C から一度頭部を外した後、被験者が実験を無理なく実行できるペースで次のトライアルへと移行した。各被験者とも全5セッション実施した。また各被験者の 30 deg の方位判定の偏り (バイアス) を求めるために、順応なしの状態での 30 deg の方位を判定する control 実験も別に行った。この control 実験の結果が、順応後のテスト段階で身体運動系の出力が順応段階の影響を受けて変化したかどうかを判断する際の基準値となる。

3. 結果および考察

3.1 実験 1

Fig. 3 に実験1の結果を示す。グラフの横軸に順応時間、縦軸にテスト段階において被験者が調節した「外界の安定」をもたらすゲインの値の10 トライアルの平均値を示す。各シンボルは、順応段階におけるゲインの種類を示す。Fig. 3 から、被験者 KT と TT は順応時のゲインが 1.0 (整合環境) の場合を除き、テスト段階で調節したゲインの値が、日常の世界におけるゲイン 1.0 から、順応段階のゲインの値の方向にシフトしていることがわかる。また t 検定により、テスト段階で調節したゲインの値が、順応段階におけるゲインが 1.0 のときにテスト段階で調節したゲインの値に対して、統計的に有意差があることが、KT は順応段階のゲインが 0.5 { $t(3)=9.79, p<0.001$ }, 0.75 { $t(3)=3.70, p<0.02$ }, 1.25 { $t(3)=3.65, p<0.02$ } および 1.5 { $t(3)=7.81, p<0.002$ }, TT についても 0.5 { $t(3)=21.6, p<0.0001$ }, 0.75 { $t(3)=15.1, p<0.0003$ }, 1.25 { $t(3)=2.75, p<0.04$ }, 1.5 { $t(3)=8.51, p<0.01$ } で確認された。また TO は 0.5 { $t(3)=3.59, p<0.02$ }, 1.25 { $t(3)=2.81, p<0.05$ }, HS は 0.5 { $t(3)=4.56, p<0.01$ }, 0.75 { $t(3)=2.62, p<0.04$ }, 1.5 { $t(3)=2.91, p<0.04$ } において、統計的に有意差があることが確認された。またテスト段階で調節したゲインの値のシフトは、非整合環境に対する順応時間が1分経過した段階ですでに生じており、順応時間の経過とともにわずかにシフト量は大きくなっている。以上の結果は、被験者が短時間 (数分) のうちに非整合環境に対してある程度適応し、自己と外界との新しい対応関係を構築できたことを示している。

Fig. 3 から被験者間で非整合環境に対する順応効果の大

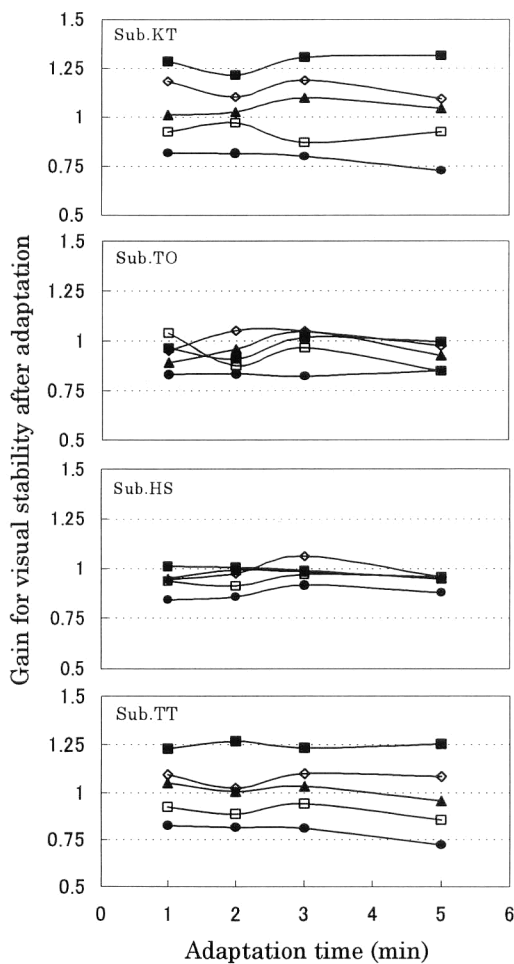


Fig. 3 Results of four subjects (KT, TO, HS, TT) in Experiment 1. The different symbols denote the results under different Adaptation Gain (AG) conditions: AG=0.5 (filled circle; ●), AG=0.75 (open square; □), AG=1.0 (filled triangle; ▲), AG=1.25 (open diamond; ◇) and AG=1.5 (filled square; ■).

小の違いが見られるが、その理由としてテスト段階におけるゲインの調節時間、眼球運動、頭部回転角速度、頭部運動の振幅の個人差が考えられる。ゲインの平均調整時間を求めると、KT, TO, HS, TTの各被験者でそれぞれ12, 18, 18, 20 sとなる。しかし、非整合環境におけるすべての実験条件で順応効果が見られた被験者KTとTTの平均調節時間が、4人の中の最小値と最大値である12 sと20 sであることから、順応効果は平均調節時間の長短に依存しないといえる。また今回の実験では、非整合環境を観察している際の被験者の眼球運動を測定していないが、VOR（前庭動眼反射）が頭部運動中に画像を安定させる働きをしていることから⁹⁾、眼球運動の個人差が実験結果の差に影響を及ぼしている可能性も考えられる。しかし、本実験ではBoom3Cを用いてかなり大きな振幅で頭部を回転しながら刺激を観察しているため、VORだけでは補償できないと考えられる。また過去の研究においても、HMDを使用した実験で、受動的に身体の回転運動に対する視覚情報が1/2である非整合な仮想空間に対する順応効果が、VORの変化だけでは説明できないことが示されている¹⁰⁾。したがって、同様の種類の仮想空間を用いた本実験においても、テスト段階時に調節されたゲインのシフトが、VORの利得の変化だけによる結果ではないと考えられる。最後に、頭部回転速度と頭部運動の振幅の個人差が、実験結果の個人差を生じさせた可能性が残る。今回は、被験者にある程度自由に頭部を動かしてもらったが、これらの個人差の影響を除去するために、頭部運動を制御した上で実験を行い、その結果を検討する必要があると考えられる。

また、テスト段階で調節したゲインの値（順応刺激のゲインが1.0の場合を除く）が、それぞれの順応刺激のゲインの値に完全に一致しておらず、これは非整合環境に完全に順応していないことを示唆している。この理由として、非整合環境に対する順応時間の不足および実験で刺激の特性がその要因として考えられる。すなわち、本実験における順応時間は、数分間という比較的短い時間だったため、非整合環境に対して完全に順応するためには順応時間が不足していた可能性がある。過去の研究⁴⁾においても、順応時間が10分間で完全には順応時の刺激に順応できていない結果が報告されている。また今回、視覚刺激としてワイヤーフレーム状の静止球を用いたが、その刺激は周期的な非常に単純なパターンであり、頭部の絶対的な回転位置情報を得ることができなかつたことが影響していたことも考えられる。またテスト段階で被験者がゲインを増減する間に、さまざまなゲインの刺激を見ることで、順応

段階時の非整合環境に対する順応効果が薄れ、テスト段階で調節したゲインが整合な値（ゲイン=1.0）のほうに戻ってしまった可能性も考えられる。また全被験者とも、順応段階時のゲインが0.5のときは、非整合環境への順応効果が出ていることから、非整合環境を示すゲイン（0.5, 0.75, 1.25, 1.5）間で順応効果の生じやすさの違いがある可能性も考えられる。

実験1の結果から、水平視野角43.6 degの刺激提示でも十分な順応効果が生じることが示され、過去の研究⁴⁾で使われた視野全体を覆う刺激が、順応効果を生じるために必ずしも必要でないことが示された。今後は、視野サイズおよび周辺視野が順応効果に及ぼす影響を調べるために、さまざまなサイズの刺激を用いた実験や網膜上の刺激の提示位置を限定した実験も実施する予定である。

以上の実験1の結果をまとめると、量的な個人差はあるものの、身体運動情報と視覚運動情報を mismatch させた仮想空間の中で、自発的な頭部運動をわずかに数分間行うだけで、非整合状態における視野の安定性に対する順応効果が生じることが、実験的に示されたといえる。

3.2 実験 2

Fig. 4に実験2の結果を示す。左右の方位判定の結果に差がなかったため、左右の方位判定の結果を統合して平均値で示している。各シンボルは、順応段階におけるゲインの種類およびコントロール実験時の結果を示す。Fig. 4から、非整合環境下での順応後においても、自発的な頭部運動によって、概ねコントロール実験時と同じ方位に頭部を回転できていることがわかる。すなわち、身体運動系は順応段階後も変化していないことを示しており、実験1の非整合環境に対して順応した結果（テスト段階でのゲインの変化）を、身体運動系自体の順応では説明できないことを意味している。このことから、実験1の結果のゲイン変化は、身体運動系自体によるものではなく、視覚系に関連した部位により生じていることが示唆される。自発的な頭部運動による方位判定は、網膜外情報が強く影響すること^{11,12)}、および受動的運動時に比べて自発的な運動時のほうが、網膜外情報の相互作用を使ってより正確に自己運動方向を判断できること¹³⁾が知られている。したがって、能動的観察条件における空間位置の判断は、身体運動系の情報が大きく作用しているため、身体運動系の出力は順応段階の影響を受けずに変化しなかつたと考えられる。

また、非整合環境に対する順応効果が生じたと考えられる視覚系に関連した部位は、具体的には視覚系自体または視覚系と身体運動系の対応付けを行っている部位の2通りの可能性が考えられる。前者については、視覚系自体の自

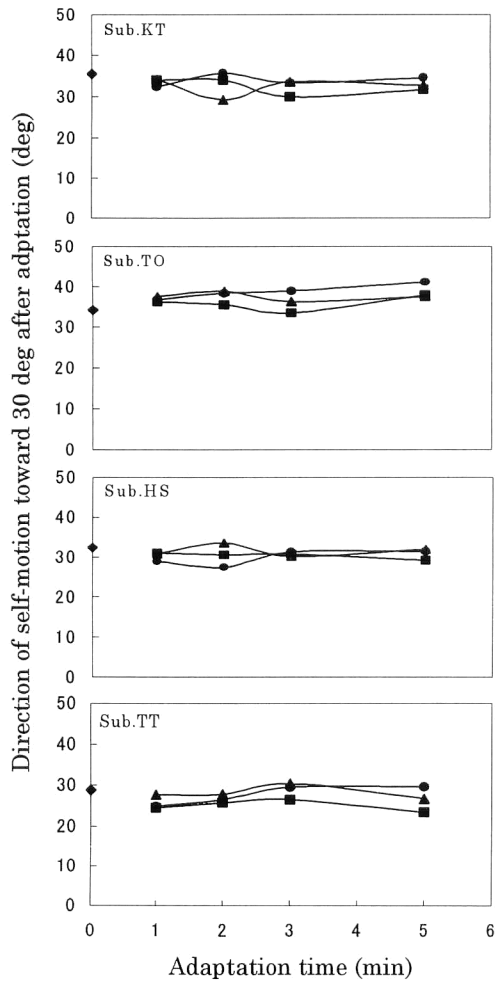


Fig. 4 Results of four subjects (KT, TO, HS, TT) in Experiment 2. The different symbols denote the results under different Adaptation Gain (AG) conditions: AG=0.5 (filled circle; ●), AG=1.0 (filled triangle; ▲), AG=1.5 (filled square; ■) and the control condition (filled diamond; ◆).

発的な頭部回転運動に伴う順応によって、視覚刺激の運動速度に対する感度低下（速度残効）が生じ、順応段階のゲインにかかわらず、テスト段階でゲインを1.0よりも大きな値に調節することが予想される。順応段階のゲインが1.25, 1.5の場合は、テスト段階で調節したゲインが1.0を上回る結果（Fig. 3）となっており、この結果は上記の速度残効の論理で説明可能である。しかし、順応段階のゲインが0.5, 0.75のときは、テスト段階で調節したゲインの値は1.0を下回っており、速度残効の論理ではこの結果を説明することができない。したがって、視覚系自体の非整合環境への順応という考えでは、今回の実験結果（Fig. 3）は説明できないといえる。一方、順応効果を視覚-運動系の対応付けの変化と考えれば、本実験の結果を次のように説明できる。すなわち、視覚情報からの頭部回転位置を示す信号と、運動系から発火する頭部位置を示す信号の

対応付けが、非整合環境に順応中に変化し、その変化量が実験1のテスト段階時のゲインのシフト量として現れたと考えるのである。具体的に説明すると、「位置の恒常性」を維持するために、網膜上の視覚的運動情報 V_V から身体運動情報 V_H を差し引く過程 $V = V_V - kV_H$ (V は知覚される外界の運動速度, k は係数) が存在していると考えられるならば、外界の安定は $V=0$ のときに得られると定式化できる。 V_V や V_H の実体は神経信号である。実験2の結果は V_H が非整合環境に対する順応で変化していないことを意味しており、また視覚系自体の順応では今回の非整合環境に対する順応を説明できないことから、 V_V もほとんど変化していないと考えられる。したがって、係数 k の値が変化することにより、非整合状態に適応できたと考えれば、以上の実験結果を矛盾なく説明することができる。すなわち、異なるモダリティー間（今回は視覚系と身体運動系）の結合過程における両者のゲイン調節を係数 k で表し、この k の値が知覚を安定させるために変化し、非整合な環境において順応することができるというモデルが成り立つと考えられる。

4. ま と め

自発的頭部運動と視覚運動情報の関係が非整合な環境に対する順応効果について、バーチャルリアリティーの技術を用いて「視野安定」の観点から調べた。その結果、能動的頭部運動と視覚運動情報が非整合な環境に数分間順応しただけで、外界が安定するゲインが整合的な値（ゲイン=1.0）から順応時のゲインに近い非整合な値（ゲイン≠1.0）にシフトすることが示された。またそのシフト量は、順応刺激のゲインの非整合性が強いほど大きいことが示された。しかし、自発的な運動を伴う非整合環境への順応効果は、身体運動系の出力（方位判定）に対しては見られなかった。したがって、順応過程は視覚系と身体運動系からの情報を統合する部位において生じているものと考えられる。

今後は、実験結果の個人差の要因を検討するために、被験者の頭部運動を一定に制約するとともに、非整合環境を観察時の眼球運動も測定し、自発的運動を伴う際の感覚情報の統合および空間認識のメカニズムについて調べていく予定である。

文 献

- 1) 本田仁視：“眼球運動と知覚現象”，新編 感覚・知覚心理学ハンドブック，大山 正，今井省吾，和気典二編（誠心書房，1994）pp. 866-871.

- 2) 積山 薫：“身体表象と感覚間調和・行動適応”，知覚の可塑性と行動適応，牧野達郎編（ブレーン出版，1998）pp.103-141.
- 3) T. A. Martin, J. G. Keating, H. P. Goodkin, A. J. Bastian and W. T. Thach: “Throwing while looking through prisms II. Specificity and storage of multiple gaze-throw calibrations,” *Brain*, **119** (1996) 1199-1211.
- 4) H. Wallach and J. Bacon: “Two kinds of adaptation in the constancy of visual direction and their different effects on the perception of shape and visual direction,” *Percept. Psychophys.*, **21** (1977) 227-242.
- 5) I. Viaud-Delmon, Y. P. Ivanenko, A. Berthoz and R. Jouvent: “Sex, lies and virtual reality,” *Nat. Neurosci.*, **1** (1998) 15-16.
- 6) 櫻井研三，加藤健二：“仮想環境での空間学習における能動的観察の優位性”，*Vision*, **7** (1995) 137-142.
- 7) K. Okajima, T. Oda and M. Takase: “Neon color spreading promoted by motion information,” *Opt. Rev.*, **5** (1998) 124-127.
- 8) R. B. Post: “Adaptation to altered visual-vestibular feedback: Mechanisms of maintenance and recovery,” *Percept. Psychophys.*, **59** (1997) 148-154.
- 9) T. Probst, R. Loose, M. Niedeggen and E. R. Wist: “Processing of visual motion direction in the fronto-parallel plane in the stationary or moving observer,” *Behav. Brain Res.*, **70** (1995) 133-144.
- 10) Y. P. Ivanenko, I. Viaud-Delmon, I. Siegler, I. Israel and A. Berthoz: “The vestibulo-ocular reflex and angular displacement perception in darkness in humans: adaptation to a virtual environment,” *Neurosci. Lett.*, **241** (1998) 167-170.
- 11) S. M. Ehrlich, D. M. Beck, J. A. Crowell, T. C. A. Freeman and M. S. Banks: “Depth information and perceived self-motion during simulated gaze rotations,” *Vision Res.*, **38** (1998) 3129-3145.
- 12) M. S. Banks, S. M. Ehrlich, B. T. Backus and J. A. Crowell: “Estimating heading during real and simulated eye movements,” *Vision Res.*, **36** (1996) 431-443.
- 13) J. A. Crowell, M. S. Banks, K. V. Shenoy and R. A. Andersen: “Visual self-motion perception during head turns,” *Nat. Neurosci.*, **1** (1998) 732-737.