

氏名(本籍)	ひら た ち あき (東京都) 平 田 智 秋 (東 京 都)		
学位の種類	博 士 (体育科学)		
学位記番号	博 乙 第 1675 号		
学位授与年月日	平成12年11月30日		
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当		
審査研究科	体育科学研究科		
学位論文題目	変換視適応における階層構造と制御方略		
主査	筑波大学助教授	博士(心理学)	吉 田 茂
副査	筑波大学教授	教育学博士	阿 江 通 良
副査	筑波大学助教授	博士(体育科学)	中 込 四 郎
副査	筑波大学教授	学術博士	菊 地 正

### 論 文 の 内 容 の 要 旨

本論文は、運動制御の階層と方略について意図的介入可能性の観点から、上肢到達運動における変換視への適応過程を検討したものである。変換視法とは、視覚情報を偏位させて提示し、それに伴う運動の変容から視覚-運動協応の再形成過程を検討する手法であり、本研究では運動中の視覚情報だけを反転させる反転視法を採用した。課題としてデジタイザ上でのペン操作により、ディスプレイ上のカーソルを標的へと移動させる到達運動を用いた。到達運動の一般特性として、標的までの軌道はほぼ直線で、速度変化は単峰性の釣り鐘型となる。また反転視の方法としてペンの位置を標的までの軸と直交する成分だけを反転し、カーソルとして実時間提示した。これは鏡に映った文字をなぞるような課題である。反転視と到達運動との組み合わせにより、視覚と運動との協応が再形成される過程を詳細に解析できる。

反転視に適応するには「反転された視覚を用いた、既習運動の遂行、そして運動計画の更新」が必要である。これは既習運動を遂行するとき、感覚入力をどう活用するか、といった問題に関わる。反転視状況では通常どおりに視覚を活用して運動を修正すると(上にずれて見えたら下に直す、など)、視覚が反転されているので誤差が増大してしまう。よって反転視に適応するには、感覚入力としての視覚や筋運動感覚の活用法を、反転視に応じた方法へと工夫する必要がある。本研究では視覚-運動系の階層構造をふまえ、反転視への適応過程を各階層に分けて検討した。階層の中で、遂行する運動の内容を運動開始前に組織する運動計画を高次に、運動中に得られる感覚入力を用いた遂行中の運動修正を低次に位置づけた。そして適応の初期には高次階層に位置する運動計画、適応中期・後期には低次階層の運動修正を対象として反転視適応を検討した。実験から明らかになった階層構造の特性をふまえ、最終的には反転視適応を促す制御方略を提案してその効果をみる。以上、第1章では変換視適応研究の意義と方法を述べ、対象となる問題を設定した。

第2章では初期の適応過程から、運動計画の更新過程における反転視適応を検討した。一般の運動学習では、運動計画の更新を繰り返すことで巧みな運動が習得できる。反転視への初期の適応過程で運動計画を更新する際には、視覚優位性(視覚が筋運動感覚など他の感覚入力を阻害すること)という傾向の中で、反転された視覚や筋運動感覚をどの程度利用するか(感覚入力への重みづけ)、誤差を減らすように重みづけを操作できるかが課題となる。実験1では、上下左右の標的に対して「真っ直ぐ、速く」到達するよう求めた。到達運動の最大速度の時点までを、運動計画の実行成分として定義し、そこまでの角度と標的への直線との差分を角度誤差として、運動

計画で設定されたパラメータの変容を推定した。その結果、試行数に比例して角度誤差は一方向に線形増加を続けた。反転された視覚は通常と同じ方法で活用され、反転のない筋運動感覚への重みづけを増すこともなかった。これから自動的な運動計画の更新過程が実証された。この過程には意図的制御が効かず、試行を重ねるごとに誤差を増加させるようにも機能しうる。実験2で同じ課題で運動を計画する時間を確保して意識化を促したところ、被験者の半数で誤差の線形増加が消失した。よって自動的に運動計画を更新する層とは別の階層が存在することになる。これらの被験者では「ずれて見えた方向に手を動かす」、「標的より上を狙う」、など運動計画の更新に独自の方略が見られた。よって運動計画の層は、更新過程を意識化する条件が整えば柔軟な適応方略を形成しうる。なおここで報告された方略は、視覚や筋運動感覚への重みづけを変更するものではなく、視覚情報の活用法を変更させる方略であった。2つの実験から、誤差を増加させうる自動的な運動計画の層と、方略的な更新の可能な意識的な運動計画の層の存在が実証された。到達運動のような単純な運動でも、反転視に適応するには運動計画の更新過程を意識しうる次元に引き上げる必要がある。よって一般の運動技能においても、誤差が増えたときはその原因を特定し、意識的に運動計画を更新することが必要となるであろう。

第3章では反転視適応の期間を中期・後期まで拡げ、運動修正の適応と運動計画との協応を検討した。実験3では、標的を1つにして試行数を320まで増やし、19.3cm右に位置する標的への510ms以内での到達を求めた。その結果、適応過程には個人差が見られた。好適応者は最大速度までの初期角度の変動が小さく、運動計画の更新が安定していた。また運動修正への反転視の負荷を抑えるように、小さい初期角度へと運動計画が再更新された。さらに運動修正も反転視に適応しており、初期角度以降にも角度誤差が増加するポジティブ試行（運動修正の反転視不適応の指標）が減少した。一方、非適応者は標的に到達した試行の後でも初期角度が変動し、運動計画の更新が不安定であった。また運動修正は機能・適応していなかった。これからまず、安定した運動計画とその再更新により、運動修正への負荷を減らしながら、修正できる誤差の大きさを漸進的に増やす、という適応過程を推定した。そこで実験4では正確さの基準を満たすまで11,000反転試行を行い、完全に適応するまでの過程を検討した（適応後期）。3,500反転試行までは急激に運動の正確さが高まり、大きく加速しても軌道の変動が抑えられるようになった。続く8,500試行までは運動誤差が漸進的に減少したが、ここでは反応時間が再び延長し、より詳細に運動計画が組織されるようになった。また運動後半の修正に長い時間を確保するような速度調整がみられた。評価分類を比較すると、標的を大きく外れる試行は加速期、すなわち運動計画を実行する段階から変動が増大した。そして運動終点の正確さを決定するのは最終100msであると特定した。過剰学習の最終段階で被験者が報告した制御方略は、「運動に軌道全体をしっかりとイメージし、あとは意識しない」であった。まとめると、実験3からは安定した運動計画が運動修正とその適応を促すこと、実験4の最終でも加速期の変動が大きいと標的を大きく外れることから、運動修正の反転視適応にはまず、安定した運動計画が必要である事が示唆される。その後運動修正が反転視に適応するのである。

第4章では到達運動における予測的な運動調整を実証した（実験5）。運動調整に用いる視覚の入力時期を特定するため、到達運動の加速期のみ、減速期のみ、全てで視覚情報を提示する3条件と、運動中は全く視覚情報を提示しない条件の合計4条件を比較した。課題は510msでの標的到達であった。なお実験5は微細な誤差の変化を比較するため、反転視を用いず適応過程も扱わない心理物理的な実験であった。結果、加速期の視覚が標的付近の軌道を円滑にし、終点誤差が減少した。減速期だけで視覚入力がある条件でも、視覚を用いた運動の調整には十分な時間があった。よって加速期の視覚を用いた軌道終盤の予測調整が、到達運動を正確にする。視覚情報の提示時期に応じた制御方略の変化はなく、被験者は予測調整の存在に気付かなかった。よってこの予測的な調整は非意識的な機能であると考えられる。このような非意識的な機構が運動制御の運動修正とは別の低次階層で機能し、運動の速さと正確さを高める。

第5章では、初期の反転視適応に対する言語指示の効果を検証した（実験6）。言語指示は意識的に運動計画を更新する高次階層への介入である。視覚を無視したり、積極的に筋運動感覚を意識する方略ではなく、視覚優位

性の傾向をそのまま活かし、反転された視覚の活用法をさらに反転させる方略を教示した結果、真っ直ぐな軌道が計画された。このような軌道は中期で運動修正の適応を促す際にも重要である。一方、視覚-運動系の低次階層への視覚的な軌道提示は反転視適応を促進しなかった。視覚的な情報提示は適応中期で有効になると推定した。適応初期にはまず、高次階層にアクセスする言語教示、特に感覚入力への重みを変えず、視覚の活用法を変える方略の教示が有効であった。

以上のことから、到達運動における制御構造は意識的運動計画、自動的運動計画、実時間運動修正、実時間予測調整の4層に分けられることが示唆された。適応初期では特に、運動計画の更新におけるパラメータの意識化・安定化が肝要であり、運動開始後は非意識的な水準の処理機構を活用する方略が有効であると考えられる。適応初期には反転された視覚を再反転して運動計画を更新する方略の教示、すなわち高次階層へ言語教示が有効である。今後は適応中期、後期に応じた制御方略、すなわち具体的な心理的構えの有効性を検証することが課題となる。核となるのは、視覚や筋運動感覚への重みづけは変えず、視覚優位性の傾向の中で視覚の活用法を変える方略である。それぞれの状況に応じた視覚の活用法を教示することは、運動学習の指導場面において有用な手がかりとなると考えられる。

### 審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究は、運動制御の階層と方略について意図的介入可能性の観点から、上肢到達運動における変換視への適応過程を検討し、視覚・運動系の階層行動をふまえ、最終的には反転視適応を促す制御方略を提案してその効果をみたものである。その結果、到達運動における制御構造は、意識的運動計画、自動的運動計画、実時間運動修正、実時間予測調整の4層に分けられることが示唆され、適応初期では特に、運動計画の更新におけるパラメータの意識化・安定化が肝要であり、運動開始後は非意識的な水準の処理機構を活用する方略が有効であることが示された。すなわち、適応初期にはまず、高次階層にアクセスする言語教示、特に感覚入力への重みを変えず、視覚の活用法を変える方略の教示が有効であった。これらの成果は運動学習の分野において大きな意義が認められ、学位論文として高く評価できる。他方、層ごとのパラメータを区別する実験をすべきである、速度ピークまでの軌道を詳細に解析すべきである、といった点が今後の課題として指摘された。

よって、著者は博士（体育科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。