

平成22年 3月31日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2008～2009

課題番号：20033007

研究課題名（和文） 動的環境における感覚・運動連関の予期適応

研究課題名（英文） Anticipatory Adaptation of Sensorimotor Mapping under Unfamiliar Dynamic Environments

研究代表者

近藤 敏之 (KONDO TOSHIYUKI)

東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・准教授

研究者番号：60323820

研究成果の概要（和文）：相反する二種類の視覚運動変換（ $\pm 90^\circ$ の回転マウス）環境下で上肢到達運動を同時学習するには、規則的交互に経験させるよりも、ランダムな順に経験させた方が、同じ経験回数であっても学習効果が高い事が示された。このことは、課題の変更にとまなう内部モデル切り替えの経験回数ではなく、長期的に課題の提示順序が予期できないことが学習に影響する可能性を示しており、運動学習において意識や注意が学習結果に及ぼす影響が少なくないことを示唆している。

研究成果の概要（英文）： We focused on the effect of successive experiences during the simultaneous learning process. It had been reported that simultaneous learning of two opposing force fields with a random order was better than alternating order, even if both have the same total number of experiences. We assumed this was because the alternating schedule gave no chance to retry the same rotational transformation successively. To evaluate this assumption, we compared three training conditions: alternating every trial, alternating every two trials, and changed at random. Experimental results suggested that providing the chance of successive trials had a small positive effect on the simultaneous learning. However the subjects trained under the random condition still showed a significant advantage in comparison with those trained under the other conditions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	4,000,000	0	4,000,000
2009年度	3,200,000	0	3,200,000
総計	7,200,000	0	7,200,000

研究分野：ライフサイエンス（その他）

科研費の分科・細目：電気電子工学・システム工学

キーワード：予期適応，回転マウス，視覚運動変換，相反課題の同時学習

1. 研究開始当初の背景

「鏡に映った絵をなぞる」など、われわれは過去に経験したことがない運動技能を必要とする未知環境であっても、能動的な試行を繰り返すことによって適応することができる。また「自転車に乗る」という運動に代

表されるように、一度身についた運動技能は長期にわたって保持され、必要に応じて適切に想起することができる。このように、人間の運動技能の大半は、生後の運動学習によって体得されたものであると言える。外部環境の運動学(kinematics)や動力学(dynamics)

を仮想的に変更した未知動的環境下の運動学習に関する心理物理実験の結果から、われわれの脳には、環境文脈に応じて適切な運動を生成するための感覚・運動連関が内部モデルとして獲得されると考えられている。

ところで、このような運動学習の心理物理実験では、先に獲得された運動技能が後段の運動学習に少なからず影響することが知られている。これは学習心理学の分野では、転移(transfer)と呼ばれる現象であり、特に後段の運動学習を促進するものは正の転移、逆に阻害するものは負の転移または干渉(interference)と呼ばれる。干渉には「逆行性」と「順行性」の二種類がある。逆行性の干渉とは、新しく獲得された運動の経験によって過去に獲得された運動技能が消去されるなどの影響を受けることである。他方、順行性の干渉とは、過去の経験が邪魔をして新しい運動技能の獲得が阻害されることを指す。

2. 研究の目的

特に運動の目的が互いに対立する、いわゆる相反課題の同時学習では、干渉の影響がより顕著に見られる。たとえば Krakauer らはデジタイザを使用して、視覚運動回転変換(30度または-30度)の下で被験者に到達運動を続けて訓練させたところ、相反する回転変換を同日中に続けて訓練した被験者群は、干渉のため先に訓練した運動技能が保持されなかったと報告している。また Karniel らは、試行ごとに特性が逆転する二つの回転粘性力場(時計回りと反時計回り)の下で到達運動を繰り返し行わせたところ、やはり被験者は二つの環境を同時に学習することができなかったと報告している。一方、Shadmehr らは、被験者に相反する二つの回転粘性力場の下で上肢到達運動を連続して学習させる際、二つの力場の学習間隔を空けるほど(6時間以上)逆行性の干渉が生じないと報告している。

これらの報告に対し、相反課題の同時学習を可能とする訓練方法が最近になって報告され注目を集めている。大須らは、相反する回転粘性力場を用いた同時学習実験において、運動開始前に各力場の特性と関連づけた文脈手がかり(色や形などの視覚刺激、音声などの聴覚刺激)を与えるという条件の下で、いずれかの力場をランダムな順に提示して被験者に経験させた結果、相反する二つの環境を同時に学習させることができたことを報告している。

そこで本研究では、ランダムな順に経験することが、なぜ相反課題の同時学習を促進するのか、という問について、回転マウスを学習課題として用いた運動学習の心理物理実験により明らかにすることを試みる。

3. 研究の方法

図1に実験設定を模式的に示す。被験者は高さが調節可能な背もたれのある椅子に深く腰かけ、右前方に設置したペンタブレッド用コンピュータマウス(WACOM PTZ-631W)を右手で操作した。被験者の前方面には、マウスカーソル(cursor)とターゲット(target)を表示するためのディスプレイを設置した。

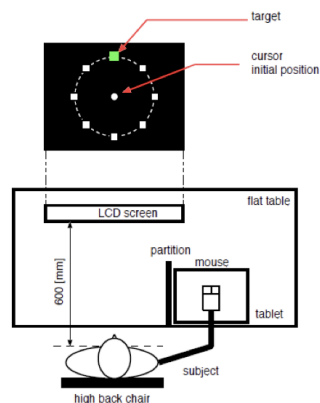


図1 回転マウスの実験環境

実験中、黒い背景のディスプレイには白色のカーソルと黄緑色のターゲットが表示される。ターゲットは、ディスプレイ中央のカーソル初期位置から100 mmの距離にある同心円上の8つの候補位置(鉛直上向きを基準として、時計回りに0度、45度、90度、135度、180度、225度、270度、315度の位置)から、試行ごとにランダムに選択・表示される。被験者にはターゲットが出現後、カーソルをできるだけ速く、まっすぐにターゲットに到達させるように指示した。

この実験では、マウスの位置(x, y)とカーソルの位置(X, Y)の間に、次式に示す回転変換を施した。

$$\begin{matrix} X \\ Y \end{matrix} = \kappa \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{matrix} x \\ y \end{matrix}$$

ここで、 κ はマウスの速度係数、 θ は回転変換の角度である。この実験では、時計回りに90度回転(CW90)、回転変換なし(NULL)、反時計方向に90度回転(CCW90)の3種類の回転マウスを準備した。

各試行の手順は次のとおりである(図2)。

- 1) 被験者はマウスデバイスをホームポジション(タブレットの中心)に移動させる。
- 2) 被験者のマウスクリックと同時に、ディスプレイの背景色を1000ミリ秒間だけ次試行の回転変換と対応する色(CW90は青色(#000080)、CCW90は赤色(#800000))に変化させ、その後は黒色(#000000)にリセットする。

- 3) 背景色が黒色に戻った 1000 ミリ秒後にカーソルとターゲットを表示し、試行を開始する。
- 4) カーソルがターゲットに到達したらディスプレイを消去し、マウスをホームポジションに戻す指示を表示する。
- 5) 上記 1)~4)を一定試行回数繰り返す。

実験は 32 試行を 1 セットとし、各セット中、8 箇所ターゲットがランダムな順に各々 4 回ずつ表示されるように設定した。ただし、同じ位置のターゲットが連続することのないように調整した。また疲労の蓄積を防ぐため、各セット間には 90 秒間の休憩を入れた。

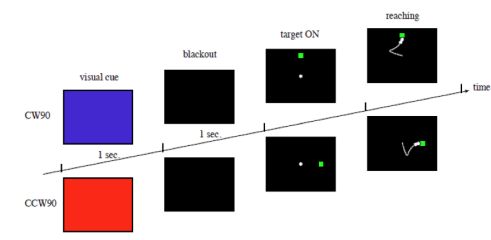


図 2 試行の手順

予備実験より、回転マウスを用いた視覚運動変換課題でも、ランダム学習と交互学習の比較調査を行える可能性が示された。そこで次に「ランダムな順に経験することがなぜ相反課題の同時学習を促進するのか」という本来の疑問について考察した。

ここで我々が着目したのは、同じ環境が連続する回数の期待値（平均連続回数と呼ぶ）である。交互提示(ALT1)では、試行ごとに環境が変化するため、平均連続回数は 1 回となる。一方、ランダム提示(RAND)では、次式で示すように平均連続回数は 2 回となる。

そこで我々は、ランダム提示(RAND)と同程度に環境が連続する 2 回交互条件(ALT2)であれば、RAND と同程度の同時学習効果を期待できるのではないかと、という仮説を立てた。なお平均連続回数が「環境の切替頻度」つまり学習スケジュール中で CW90→CCW90 または CCW90→CW90 となる回数と関連することは自明である。

上記の仮説を検証するため、図 3 のように、CW90 と CCW90 を 2 回ごと交互に学習させる群(ALT2)を含めて同時学習実験を行った。

被験者群	学習スケジュール	平均連続回数
ALT1	b b b b b b b b	1
ALT2	b b r r b b r r	2
RAND	r b b r r b b r	2

図 3 学習スケジュール

この実験は、コンピュータマウスを日常的に右手で使用する 17~23 歳の健常な 9 名の被験者（男性 6 名、女性 3 名）の協力の下に行った。学習に先立ち、すべての被験者に回転変換なし(NULL)条件の下で 1 セットの練習を行ってもらい課題に慣れさせた。その後、各スケジュールに従い計 20 セットの訓練を行ってもらった。全学習セットの終了後、60 分間の休憩を挟んで、運動技能の保持を評価するためのテスト試行を 2 セット (ALT1, RAND を 1 セットずつ) 行った。先の仮説が正しければ、RAND の被験者と ALT2 の被験者の学習効果には違いはなく、ALT1 の被験者のみ運動技能の保持能力が劣るという結果になることが予想される。

実験の結果、すべての群で、学習開始直後と比べて、終了直前の評価指標（角度誤差の積分値）に有意な向上が見られた($p < 0.01$)。そこで、これら三つの群に対し、学習開始直後と学習終了直前の評価指標について、分散分析を行った。その結果、学習開始直後には、有意差は見られなかった ($F(2,9)=0.695, p=0.524$) のに対し、学習終了直前の評価指標には、被験者群間に有意差が認められた (CW90 の場合: $F(2,57)=7.73, p < 0.01$, CCW90 の場合: $F(2,57)=6.31, p < 0.01$)。そこで、多重比較 (Bonferroni 法) を行ったところ、CW90, CCW90 とともに、RAND とその他の条件 (すなわち ALT1 および ALT2) の間に有意差が認められた (CW90 の場合: ALT1/ALT2 ($p=0.0948, n.s.$), ALT1/RAND ($p < 0.00333, **$), ALT2/RAND ($p < 0.0167, *$), CCW90 の場合: ALT1/ALT2 ($p=0.212, n.s.$), ALT1/RAND ($p < 0.0167, *$), ALT2/RAND ($p < 0.00333, **$), ただし、有意水準は $p=0.05/3=0.0167 (*)$, $p=0.01/3=0.00333 (**)$ のように補正した)。したがって、RAND には、ALT1, ALT2 と比べて、同じ環境が連続すること (あるいは環境の切替頻度) 以外に同時学習を促進する効果があることが示唆される。

4. 研究成果

相反する二つの視覚運動課題を被験者に同時学習させる際、ランダムな順に経験させることが効果的であることが先行研究により報告されているが、その理由はまだ明確には説明されていない。本研究では、同じ課題が連続して提示される回数 (あるいは環境が切り替わる頻度) に着目し、交互学習条件であっても、条件を整えることでランダム学習条件と同程度に相反課題の同時学習は可能である、という仮説を立て、実験的にこの仮説の検証を試みた。ALT1 (1回ごと交互学習条件) と ALT2 (2 回ごと交互学習条件) を比較した結果から、試行が連続することは同時学習に対して若干の正の影響を与える可能性も捨てきれないが、有意な差異は認められなかった。

これに対しRAND (ランダム学習条件) では、他の二つの被験者群との間に有意差が認められた。このことから、同じ環境が連続する頻度ではなく、環境の提示順序が不規則で予測不能であることが相反課題の同時学習に効果があることが確認された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件)

1. Takayuki Nozawa, Toshiyuki Kondo, Construction of Reversible Lattice Molecular Automata, International Journal of Modern Physics C, vol.20, no.6, pp.901-929, 査読有, 2009
2. Takayuki Nozawa, Toshiyuki Kondo, A comparison of artifact reduction methods for real-time analysis of fNIRS data, Lecture Notes in Computer Science 5618, pp.413-422, 査読有, 2009.
3. Seimei Abe, Takayuki Nozawa, Toshiyuki Kondo, A Proposal of EMG-based Training Support System for Basketball Dribbling, Lecture Notes in Computer Science 5617, 査読有, 459-465, 2009.
4. Takayuki Nozawa, Toshiyuki Kondo, Effectiveness of Intrinsically Motivated Adaptive Agent for Sustainable Human-Agent Interaction, Lecture Notes in Computer Science 5864, 査読有, pp.179-188, 2009.

[学会発表] (計 18 件)

1. 宮武宏幸, 野澤孝之, 近藤敏之, 視覚運動変換学習における運動プリミティブに関する研究, 第 5 回移動知シンポジウム, 仙台, (3/1, 2010)
2. 山口 寛, 野澤孝之, 近藤敏之, ダーツ投擲における運動技能に関する研究, 第 5 回移動知シンポジウム, 仙台, (3/1, 2010)
3. 近藤敏之, 野澤孝之, 動的環境における感覚・運動連関の予期適応, 第 5 回移動知シンポジウム, 仙台, (3/1, 2010)
4. 野澤孝之, 近藤敏之, NIRS 脳計測データのオンライン分析のためのアーティファクト除去手法の比較, 第 24 回生体・生理工学シンポジウム, 仙台, (9/25, 2009)
5. 中村和人, 野澤孝之, 近藤敏之, 観察による身体イメージの生成と運動学習に関する研究, 第 24 回生体・生理工学シンポジウム, 仙台, (9/25, 2009)
6. 近藤敏之, 視覚運動連関と運動学習, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニク

ス講演会 チュートリアル, 福岡, (5/24, 2009)

7. 近藤敏之, 小林裕也, 野澤孝之, 相反する視覚運動変換の同時学習, 第 21 回計測自動制御学会自律分散システム・シンポジウム, 鳥取, (1/23, 2009)
8. 小林裕也, 近藤敏之, 野澤孝之, 相反する回轉變換の同時学習における試行の連続性の効果, 第 9 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2008), 岐阜, (12/5, 2008)
9. 阿部清明, 野澤孝之, 近藤敏之, 筋電信号を利用した運動技能獲得支援システムの提案, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008, 大阪, (9/1-4, 2008)
10. 米田宏之, 野澤孝之, 近藤敏之, バイオフィードバックを利用したエンターテインメントシステムに関する研究, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008, 大阪, (9/1-4, 2008)

[図書] (計 1 件)

1. 伊藤宏司, 近藤敏之 編著, 環境適応—内部表現と予測のメカニズム—, シリーズ移動知 第 3 巻, pp.87-121, オーム社 2010.

[産業財産権]

該当なし

[その他]

ホームページ等

<http://www.livingsys.lab.tuat.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

近藤 敏之 (KONDO TOSHIYUKI)

東京農工大学・大学院共生科学技術研究院
・准教授

研究者番号 : 6 0 3 2 3 8 2 0

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

野澤 孝之 (NOZAWA TAKAYUKI)

東京農工大学・大学院共生科学技術研究院
・助教

研究者番号 : 6 0 3 7 0 1 1 0