

## 嗅覚刺激による相反する運動課題の同時学習

## Olfactory Cues to Enhance Simultaneous Learning of Conflicting Motor Tasks

松田英子 \*1\*2  
Eiko Matsuda三澤大地 \*1  
Daichi Misawa近藤敏之 \*1  
Toshiyuki Kondo矢野史朗 \*1  
Shiro Yano

\*1東京農工大学工学府情報工学専攻

Dept. of Computer and Information Sciences, Tokyo University of Agriculture and Technology

\*2日本学術振興会特別研究員

JSPS Research Fellow

Simultaneous learning of two contradicting motor tasks (e.g. with opposing force fields) had been reported to be difficult, while Osu et al 2004. revealed that it is achieved through attributing two contextual cues to the respective motor tasks. For instance, they displayed red color while conducting motor task A, and blue color during motor task B. Based on this previous study, we aim to study if olfactory stimuli can work also as contextual cues. We conducted behavioral experiments, where the participants required to learn arm-reaching tasks in unfamiliar force fields. As contextual cues, we used lemon / lavender flavors, which have opposing functions: Lemon induces noradrenaline, known to affect memory enhancement, while lavender has sedative effect. Our result has shown that both lemon and lavender flavors reduce the amount of error after learning contradicting motor tasks, meaning that olfactory cues work as contextual cues to promote simultaneous learning of contradicting motor tasks.

## 1. 序論

我々は感覚情報を統合し、適切な運動指令を筋骨格系に送ることで身体運動を実行することができる。これを可能にするため、脳内には周囲環境と感覚情報・運動指令の関係が内部モデルとして表現されている。内部モデルの獲得や獲得後の保持に関する先行研究によれば、異なる二つの運動課題を連続して学習する場合、先に獲得された内部モデルが、後の学習に影響を及ぼすこと(順行性干渉)や、逆に後の学習により先の内部モデルが影響を受けること(逆行性干渉)により、相反する運動の同時学習は困難であると言われてきた。一方、その後の研究で、課題の違いを被験者に視覚的に予告して状況を明確にすることで、相反する運動を同時に学習できる可能性が示された[1]。本研究は、これと同様の運動の同時学習が嗅覚刺激によっても行うことができることを示すものである。なぜなら嗅覚刺激には記憶を強化する働きがあることが知られており[2]、特にレモンの香りには記憶の強化を促すノルアドレナリンという神経伝達物質の放出を促進する効果が報告されている[3]。そこで本研究では、相反する運動課題を連続して学習するとき、レモンの嗅覚刺激の有無によって学習が改善されることを検証した(実験1)。また、この結果がレモンの香り自体の効能によるものなのか、それとも刺激の有無そのものが重要なのかを確かめるため、レモンと反対の効能をもつラベンダーの香りを嗅覚刺激として用いた実験を行った(実験2)。

## 2. 実験方法

被験者はすべて右利きの男性健常者であった。実験1は19名(22.2±0.4歳; 実験群9名, 対照群10名)、実験2は11名(22.6±1.5歳; 実験群6名, 対照群5名)であった。

実験にはマニピュラダムと呼ばれる手先の運動を計測・制御できるロボットを用いた。運動は水平面内で行われた。上肢の運動平面上部にはスクリーンがあり、視覚刺激が提示さ

れた。一方、下部にはハンドルがあり、これには回転粘性力場(右回り・左回り)がハンドルの速度に応じて加えられた。

被験者はマニピュラダムの正面に設置された背もたれのある椅子に座り、右手でマニピュラダムのハンドルを握った。手先のスタート位置から15cm先にターゲットが500msの間表示され、ターゲットが表示されている時間内に、できるだけ真っ直ぐ手先をターゲットに到達させることが課題であった。課題の達成度評価には、誤差積分値を用いた。これは5ms毎の手先の $x$ 方向の位置と、課題開始位置とターゲットとを結ぶ( $y$ 方向の)直線からの距離を積分したものであり、真っ直ぐターゲットまで到達している場合に最小値を取る。

実験の過程は、1) 練習, 2) 学習, 3) 干渉, 4) テストの4段階に分かれていた(表1)。「練習」の段階は、ハンドル操作に慣れてもらうことを目的とし、ハンドルに外力が加わらない状態での試行を40回行った。左回りに回転粘性力場が加わる場合を条件A、右回りに加わる場合を条件Bとした時、「学習」では条件A、「干渉」では条件B下でそれぞれ150回の試行を行った。24時間後に「テスト」段階として、「学習」と同様に条件A下で試行を150回行った。実験群には、条件A下である「学習」「テスト」段階でレモンの香りを提示した。一方対照群では、「学習」「干渉」「テスト」すべての段階でレモンの香りを提示した。実験2における実験群は、実験1とは反対に「干渉」段階においてのみラベンダーの香りを提示した。対照群は「学習」「干渉」「テスト」全ての段階でラベンダーの香りを提示した(表2)。

対照群においては嗅覚刺激による手がかりがないため、条件A・Bが影響しあい、「干渉」の段階で「学習」段階で学んだことが阻害され、「テスト」段階の開始直後には誤差積分値が大きくなることが予想される。一方実験群においては、レモンの香りによって二つの条件が弁別できるため、「テスト」段階において誤差積分値は比較的小さいことが予想される。

表 1: 実験 1 実験手順

群	練習 NF 40 回	学習 条件 A 150 回	干渉 条件 B 150 回	テスト 条件 A 150 回
対照群 (N = 9)	×	○	○	○
実験群 (N = 10)	×	○	×	○

○: レモンの香りによる嗅覚刺激あり ×: 嗅覚刺激なし

表 2: 実験 2 実験手順

群	練習 NF 40 回	学習 条件 A 150 回	干渉 条件 B 150 回	テスト 条件 A 150 回
対照群 (N = 6)	×	○	○	○
実験群 (N = 5)	×	×	○	×

○: ラベンダーの香りによる嗅覚刺激あり ×: 嗅覚刺激なし

### 3. 結果・考察

試行毎に誤差積分値の被験者間の平均値を計算した。その推移を図 1 (実験 1), 図 2 (実験 2) に示す。まず条件 A・B が切り替わる直後には誤差積分値の値が増加し、その後緩やかに減少することが分かる。減少の度合いを定量するために、曲線回帰を行った。ヒトの学習は直前に観察された誤差に比例して修正されるため、指数的に誤差が減少すると仮定し、指数関数  $y = f(x) = ae^{-bx} + c$  を用いて近似した。ここで初期誤差  $\alpha = f(1) = ae^{-b} + c$  とし、「テスト」段階での  $\alpha$  の大きさを二つの条件が弁別できている度合いとした。

図 1, 2 より、実験 1・実験 2 ともに対照群では「学習」段階と「テスト」段階での  $\alpha$  にはほぼ変化が見られないが、実験群ではテスト時に低下していることが見て取れる。これを統計的に裏付けるために、群と段階(「学習」「テスト」)間における二要因分散分析を行った。

実験 1 では群間に有意差は見られなかったが ( $p = 0.31$ )、段階間に有意差が ( $p < 0.05$ )、交互作用に有意傾向が見られた ( $p < 0.1$ )。交互作用に有意傾向が見られたため、それぞれの群内の単純主効果について段階間で対応のある t 検定を行った。その結果、対照群では有意差がないのに対して ( $p = 0.35$ )、実験群では有意差があり ( $p < 0.05$ ) 「テスト」段階の  $\alpha$  が「学習」段階に比べて有意に小さくなっていることが示された(図 3)。また、実験 2 についても同様に分析を行った結果、群間に有意差は見られず ( $p = 0.31$ )、段階間に有意差が見られ ( $p < 0.05$ )、交互作用に有意傾向が見られた ( $p < 0.1$ )。交互作用に有意傾向が見られたため、それぞれの群内の単純主効果について段階間で対応のある t 検定を行った。その結果、実験 1 の結果と同様に実験群のみにおいて  $\alpha$  の有意な低下が見られた(図 4)。実験 1・2 の結果を総合すると、嗅覚刺激の有無はその種類に関わらず、相反する運動課題の内部モデルを同時に学習・保持するための手がかりになることが示された。

### 4. 結論

本研究では、運動課題を予測する手がかりとして嗅覚刺激を提示することによって、相反する運動の同時学習が可能となることを示した。レモン・ラベンダーの香りを使用したところ、これらの刺激の種類に関わらず、運動学習が促進されることが明らかになった。香りの種類による効果の違いがないと

すると、条件 A はレモンの香り、条件 B はラベンダーの香り等、複数の異なる嗅覚刺激を用いて運動学習の手がかりとすることは困難である可能性が示唆される。しかし実生活においては、ある香りによって特定の記憶が想起されることは少なくなく、この点についてはさらに検討が必要である。嗅覚刺激は、個人的な記憶の想起に直結していると言われている [4]。本研究では香りの持つ化学的作用に着目し、対照的な効果を持つレモン・ラベンダーに着目したが、その人個人の親密性に基づき嗅覚刺激を選定したら、異なる結果が得られるかもしれない。また、先行研究では視覚刺激を用いていたが、感覚器による学習効率の違いはあるのだろうか。運動学習の手がかりとして最適な感覚刺激を選択することで、運動の同時学習のさらなる効率化が可能となるかもしれない。将来的にはリハビリテーションへの応用を期待している。

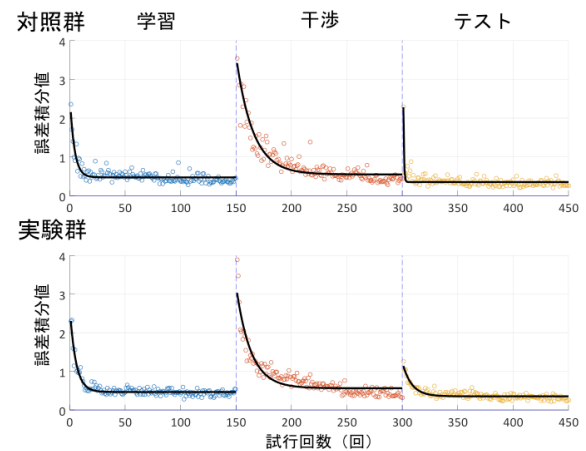


図 1: 実験 1 における、誤差積分値の被験者間の平均値。\*:  $p < 0.05$

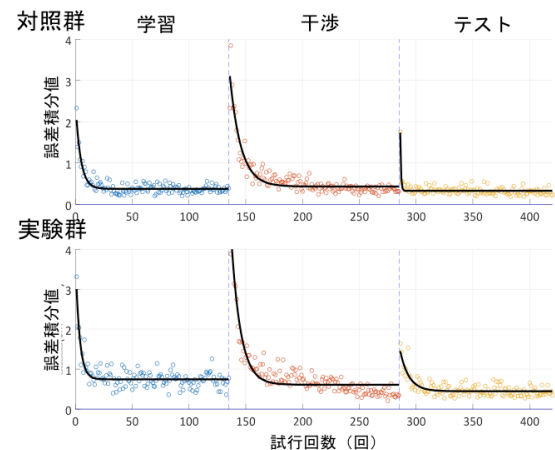


図 2: 実験 2 における、誤差積分値の被験者間の平均値。\*:  $p < 0.05$

## 参考文献

- [1] Rieko Osu, Satomi Hirai, Toshinori Yoshida & Mitsuo Kawato, Random presentation enables subjects to adapt to two opposing forces on the hand, *Nature Neuroscience*, 7 (11), 111-112, 2004.
- [2] Jimbo, Daiki and Kimura, Yuki and Taniguchi, Miyako and Inoue, Masashi and Urakami, Katsuya, Effect of aromatherapy on patients with Alzheimer's disease, *Psychogeriatrics*, 9 (4), 173-179, 2009.
- [3] Lisa Weinberg, Anita Hasni, Minoru Shinohara, Audrey Duarte, A single bout of resistance exercise can enhance episodic memory performance, *Acta Psychologica*, 153, 13-19, 2014.
- [4] Richard J. Stevenson and Caroline Tomiczek, Olfactory-Induced Synesthesias: A Review and Model, *Psychological Bulletin*, 133 (2), 294-309, 2007.

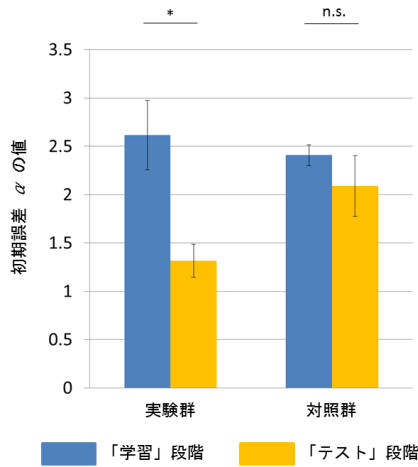


図 3: 実験 1 における各段階間の t 検定

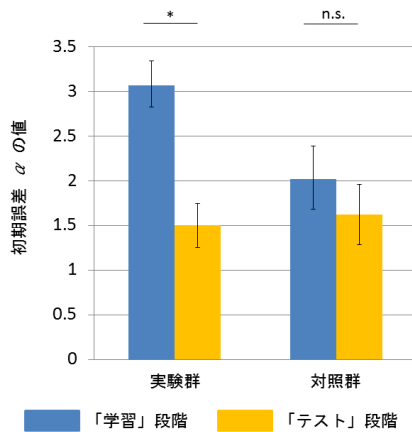


図 4: 実験 2 における各段階間の t 検定

## 謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金（課題番号：JP26120005, JP16H03219）の支援による。ここに謝意を表す。