

■ 要約

※研究発表会要約集の内容を一部改変

研究の目的

「ミントのにおいがする文房具で集中力 UP」などといったにおい刺激と学習効率に関する提言を耳にすることがあるが、におい刺激によって記憶学習効率は変化するのだろうか。本研究ではにおい刺激がその後の動物の学習にどのように影響するかを調べることを目的に、キイロショウジョウバエ（以下、ハエと略す）が好む・嫌うにおい刺激を与えられる経験がその後の記憶学習効率に与える影響を検証した。

方法

1. ハエのにおいに対する嗜好性の検証：一方ににおい溶液を、もう一方に蒸留水（コントロール）を含ませた綿棒をさしたチューブを用意し、ハエの3分間の動向を観察した。実験は3分間行い、におい溶液側、蒸留水側それぞれの滞在時間を算出した。
2. ハエが熱と色の連合学習を行うかの検証：『緑は危険な色である』という熱と色の連合学習を行うかを調べた。「ハエ5匹を緑のチューブに入れ、55°Cの熱刺激を与えた(図2)。その後ハエをT字管に移し、緑と青のどちらの方向に進むかを観察した(図3)。」^(※)
3. におい刺激が記憶学習効率に与える影響の検証：ハエ5匹を、におい溶液を含ませた綿棒を両端にさしたチューブに5分間入れた(図1)。その後は方法2の(※)と同様。



図1. におい刺激の付与



図2. 熱と色の連合学習

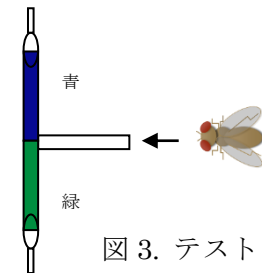


図3. テスト

結果

1. ハエは蒸留水と比較してフルーツジュースのにおいを有意に好み、グレープジュースのにおいを有意に忌避した。
2. ハエは熱と色の連合学習を行った。熱刺激を与えた後では、テストで青に進むハエの割合が有意に増加した。
3. 蒸留水を用いた（におい刺激を与えなかった）とき、熱刺激を与えることで青に進むハエの数が有意に増加した。におい刺激と熱刺激を与えることで、蒸留水を用いたときと比較して学習効率は低下した。

本研究では、連合学習前ににおい刺激を経験することによって、その後の記憶学習効率が低下することが明らかになった。この理由の一つとして、におい刺激が脳内の学習入力経路、または学習後の出力経路に影響を及ぼすことが考えられる。この仮説を証明するために、連合学習を行った後でにおい刺激を与え記憶学習効率を検証する実験が有効であると考えている。研究の発展により、将来的には生存に必要とされる記憶の形成、摂食行動・におい刺激や視覚情報の受容という複雑なネットワークの詳細を明らかにすることが可能となる。

■ 研究内容

A. 研究の動機・目的

「暗記物は夜寝る前に勉強すると効果的だ。」「集中力が低下してきたときにランニングをすることで、その後の勉強の効率が上がる。」などといった神経のはたらきと学習効率に関する提言を耳にすることがある。では、交感神経が有意にはたらいているときと副交感神経が有意にはたらいているときで、記憶学習能力に差があるのかどうか、より効率良く学習できる状況を人為的に生み出すことはできないか。この疑問に対して、キイロショウジョウバエ（以下、ハエと略す）を用いることで解決の糸口を見つけられる可能性がある」と教員 B より助言をいただいた。ショウジョウバエは遺伝学的な解析を行うことが容易なモデル動物の1つであり、変異体を用いることで学習記憶機能と関連する分子を明らかにすることが出来る。昆虫類と哺乳類の視覚や嗅覚といった感覚情報処理部の構造を見ると、形態は異なるものの、回路のつながり方には共通点が非常に多い。五感のうち視覚、嗅覚、味覚、聴覚（重力感覚）の4つについて言えば、感覚器からの情報を処理する低次感覚中枢は類似した神経回路をもっていることが分かってきている。したがって、ハエを実験に用いることは、基本となる記憶学習メカニズムを理解することに繋がると考えられた。

私は「ミントのにおいがする文房具で集中力 UP」「チョコレートの香りでリラックス」などといったにおい刺激と学習効率に関する提言を耳にしたことがあった。そこで本研究では、一時的に与えたにおい刺激が動物の学習にどのように影響するかを調べることを目的に研究を行った。具体的には、ハエが好むにおいや忌避するにおいにさらされる経験が、その後の記憶学習効率にどのような影響を与えるかを調べた。本研究を通じて、におい刺激の脳への作用やにおいの嗜好性と学習効率の関係性を明らかにできると期待した。将来的には、ヒトがどのような条件下で記憶学習を行うことが最も有効なのかを明らかにし、より良い学習環境作りに役立てたいと考えている。

B. 研究の過程

I. ハエのにおいに対する嗜好性の検証（2013年後期-2014年前期；学部1-2年次）

1. 概要

身近な物質を用いハエのにおい刺激に対する嗜好性の検証を行った。実験器具や実験場所を提供してくださった教員 A から「ハエはコーヒーのにおいを忌避する」「ハエはグレープやバナナ、モモのにおいが好きである」ということを教わったため、これらのフルーツを含む溶液を好み、コーヒーのにおいを忌避するのではないかと仮説を立てた。ヒトはほのかな香水のにおいを心地よく感じるが香水をつけすぎると臭いと感じるように、物質濃度の多寡によってハエの反応が変わることも知られているため、各物質の希釈系列に対しても嗜好性を検証した。

2. 材料・器具

キイロショウジョウバエ *Drosophila melanogaster* (実験には羽化後 4 日の雄を用いた)

コーヒー (原液: ブレンディーインスタントコーヒー 0.5 g を湯 1000 μ L に溶かしたもの)

グレープジュース (Welch's GRAPE)

フルーツジュース (Tropicana やさしい甘さのフルーツブレンド)

(上記 3 種の溶液の原材料名の詳細は表 1 を参照。)

綿棒、ガラスチューブ (以下チューブと略す)、ストップウォッチ、電子天秤、ビーカー、葉さじ、ピペットマン

表 1: 実験に使用したにおい溶液の原材料名

におい溶液名	原材料
コーヒー	コーヒー豆(生マメ 生産国名: インドネシア・ブラジル・他)
グレープジュース	ブドウ、酸味料、香料、甘味料
フルーツジュース	果実(オレンジ、モモ、ブドウ)、砂糖類、酸味料、香料、増粘剤

3. 方法

① 左端の綿棒にコーヒー (原液、10 倍希釈、 10^2 倍希釈、 10^3 倍希釈)、グレープジュース (原液、10 倍希釈、 10^2 倍希釈、 10^3 倍希釈、 10^4 倍希釈、 10^5 倍希釈)、フルーツジュース (原液、10 倍希釈、 10^2 倍希釈、 10^3 倍希釈、 10^4 倍希釈、 10^5 倍希釈)、右の綿棒にはお湯もしくは蒸留水 (コントロール) をそれぞれ 40 μ L 含ませた (図 1)。溶液の温度を合わせるためにコーヒーでの実験時はお湯を、ほかの 2 溶液での実験時は蒸留水を用いた。

② 綿棒をさしたチューブにハエを 1 匹入れた。

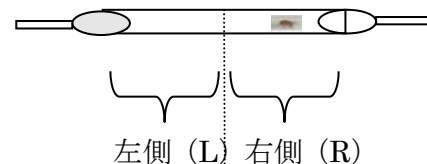
③ 3 分間、ハエの動向 (2 区画の境界線上を通過した時間) を観察・記録した。

④ 計測終了後、左側と右側の各区画に滞在していた時間を算出した。

コントロールは実験日毎にとり、ほぼ同じ結果が得られることを確認した。

図 1. 実験器具

左端ににおいの物質、右にぬるま湯もしくは蒸留水を含ませた図。点線は区画の境界を示す。



II. ハエが熱と色の連合学習を行うかの検証 (2014 年後期; 2 年次)

1. 概要

ハエに学習させその効率を調べるために、熱と色を使った学習方法を確立することを目的とした。この方法は、熱刺激がハエにとって罰になるものであり、ハエの外界感知には視覚情報

が使われることを利用している²⁾。学習に用いることが出来る色、罰と感じる熱刺激、におい刺激を与える時間の条件について検討をした結果、ハエは緑色に誘引され、青色には嗜好性を示さない傾向があるということ、55℃の熱刺激を罰と認知し、熱刺激を与えすぎるとハエは死んでしまうことが分かった。このような試行錯誤の末、本検証を「本来であれば誘引される緑色は、危険な色である」と学習させる「学習」、「青色と緑色のどちらの方向を選ぶか」という学習の効率を試す「テスト」の2段階で行った。仮説は、テストで青色を選択するハエが多くなるというものであった。誘引傾向にある緑色を感知しながら罰となる熱刺激を与えられることで、緑色と身の危険を連合させて覚え、緑を避ける行動をとると考えたからである。

2. 材料・器具

キイロショウジョウバエ *Drosophila melanogaster* (実験には羽化後4日の雄を用いた)
チューブ、セロハン、綿棒、ホットプレート

3. 方法

① 学習

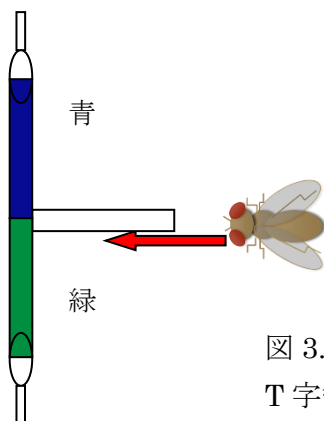
緑のセロハンを巻いたチューブにハエを5匹同時に入れ、両端を乾いた麺棒で閉じた。表面温度が35℃、または55℃のホットプレート上でチューブに5秒間熱刺激を与え、次の5秒間はプレートからチューブを外すという操作を10回繰り返した(図2)。



図2. 学習時

緑のセロハンを巻いたチューブに熱刺激を与えている状態。

② テスト



片側に緑、もう片側に青のセロハンを巻いたT字管に熱刺激を与えたハエを入れ、ハエが最初に青と緑のどちら側に進むかを検証した。セロハンの色配置はランダムに行った(図3)。

図3. テスト時

T字管は机の上に寝かせた状態であり、図の右側からハエを入れた。

III. におい刺激が記憶学習効率に与える影響の検証（2014 年後期；2 年次）

1. 概要

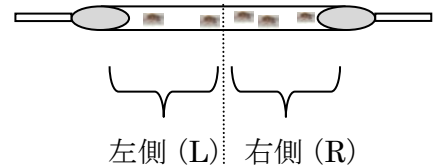
II の熱と色の連合学習の直前にハエをにおい刺激を与えることで、その経験が後の記憶学習効率に与える影響を検証した。本検証をハエににおい刺激を与える「経験」、熱と色の連合学習を行う「学習」、学習効率を見る「テスト」の 3 段階で行った。

好みのにおい刺激が与えられると脳がリラックスし、例え生命の危機になりうる熱刺激を与えられてもハエの学習効率は低下すると仮説を立てた。忌避するにおい刺激が与えられたときは脳が一時的に活性化され、ハエの学習効率は向上すると予想した。

① 経験

ハエ 5 匹をチューブに入れ、40 μ L の各溶液を含んだ綿棒で両端をとじ、5 分間チューブ内で静置した（図 4）。

図 4. 経験時



② 学習

ハエを緑色のセロハンを付けたチューブに移し、II と同様の方法で学習させた。

③ テスト

II と同様の方法で学習効率をテストした。

C. 教員または上級生の協力があった場合は、その役割（個人名・学校名などの情報は記載しないこと。）

1. 同級生 A の役割：2013 年後期から 2014 年後期まで、ともに実験を進めた。
2. 教員 A の役割：考察、実験方法、PI 値の設定への助言。実験設備・ハエの提供。参考文献の教示。
3. 教員 B の役割：実験にハエを用いることの助言。2013 年後期（1 年次）、2014 年前期（2 年次）、2014 年後期（2 年次）の 3 回にわたる研究発表会の提供。
4. 上級生 A の役割：研究レポートへの助言（2013 年 2 月）。特に、学術レポートを書く上での目的の書き方、方法の書き方、検定手法について助言。
5. 上級生 B の役割：参考文献の教示。ハエが罰だと感じる熱刺激が 45°C 前後であるという自身の実験結果の教授。