

同じ遺伝子なのに なぜ見た目が違うのか 双子とミジンコから学ぶ表現型可塑性

○小林 るみ・高木賢治・前澤孝信・柴田典人
(津山工業高等専門学校)

1. はじめに

現在、生物分野を学ぶ学生にとって、遺伝子レベルで生命現象を捉えることは必須である。近年、DNA 配列の変化を伴わないエピジェネティクスという概念・分野が遺伝子発現調節機構を理解する上で主流となっている。そこで学生らがエピジェネティックな遺伝子発現の調節をイメージできる実習が必要であると考えた。同じゲノムを持つクローンであっても、外的要因(エサの量・個体の密度・温度・日照時間など)により表現型に違いが生じる表現型可塑性の実習を開発し、遺伝子発現の調節およびエピジェネティックな発現制御への理解を促すことを試みた。

2. 表現型可塑性とは

生物の形質(表現型)は遺伝的要因だけでは決まるわけではなく、環境など外的要因の影響も受けている。外的要因によって表現型を可塑的に変化させることのできる性質を表現型可塑性と呼ぶ。可塑性とは外から力が加わって生じた変形が、その力が無くなっても元の形に戻らない性質のことをいう。よって表現型可塑性とは、生物が様々な環境条件のもと最適な表現型を発現し適応していく環境適応能力である。表現型可塑性には遺伝子多型による違いは含まれず、同じ遺伝子を持つ生物が外的要因によってその表現型に違いが現われることをいう。

3. エピジェネティックな発現制御と表現型可塑性

私たちの体はさまざまな組織からできており、その組織は細胞からできている。基本的に生物個体はどの細胞も、受精卵に由来する同じ遺伝情報を持っているのにも関わらず別々の種類の細胞になる。実際に細胞によって遺伝子ごとに目印をつけて使う・使わないが選別されている。これがエピジェネティクスである。外的要因により同一個体で表現型の可塑性を誘導できるオオミジンコを実習で使用することで、このエピジェネティクスを学生にイメージさせることができると考えた。

4. オオミジンコの利用

ミジンコはメスが単独でメスを産む単為生殖で繁殖することで、遺伝的にクローンを作り出して増殖する。よってミジンコの親・子・姉妹はすべて同じ遺伝情報を持っている。しかしながらミジンコは外的要因によって表現型可塑性が誘起させる。例えば、エサなどによる栄養条件によって次世代の卵のサイズや数、次世代の体のサイズなど変化が起こる。他にも通常はメスがメスを産む単為生殖で繁殖するが、日照時間の減少・気温の低下など環境が悪化するとオスを産み、有性生殖により休眠卵を作り越冬する。今回用いたオオミジンコはサイズが大きく、実体顕微鏡や目視にて観察が可能であり、オオミジンコに起きる変化や差を見つけやすいと考え使用することにした。

5. 一卵性双生児の表現型可塑性

ヒトに起こる表現型可塑性の理解をしやすいのは一卵性双生児の比較である。一卵性双生児は1つの受精卵が2つに分裂して、それぞれが個体に発生したものである。ゆえに双子は全く同じ遺伝情報を有している。そのため一卵性双生児の外見は非常に似ている。しかし成長していく過程で受ける外的要因にて幾つかの違い(表現型可塑性)が生じる。今回、津山工業高等専門学校にて一卵性双生児を探しアンケート調査を行い、双生児本人たちや親が感じている違いを調査し、実際に一卵性双生児に起こっている表現型可塑性を調べ、実習での表現型可塑性の実例の資料として用いた。

6. オオミジンコを利用した実験の条件設定

オオミジンコの表現型可塑性は飼育条件を変えることによって2週間で誘導できる。例としてエサの量、飼育温度、個体密度、日照時間などが挙げられる。条件を変えることによってオオミジンコの体長の違い、卵の量の違いを持つ個体を得ることができる。筆者はさまざまな条件の違いによる飼育を2ヶ月間行い、学生実習に適した条件を探した。

表1.飼育条件を密度としたときの産まれた仔虫の数

親ミジンコ	1匹	2匹	3匹	4匹	5匹
仔虫					
合計	155	206	165	141	143
1匹につき	155	103	55	35.3	28.6

表1に示した飼育密度による実験では、すべての密度で1本の管瓶内で得られた仔虫の合計がほぼ同じであり、密度に応じて1個体の産卵数が変化していた。これは飼育条件(密度)がオオミジンコに対し外的要因となり産卵数における表現型可塑性が現れたと考えられる。またオオミジンコの体長でも肉眼でわかる表現型可塑性が顕著に現れ、密度による飼育条件は実習に使用できると判断した。

7. 学生実習

オオミジンコの表現型可塑性の実習を10月22日～11月5日の3週にわたり、津山高専 総合理工学科 先進科学系4年生40名に行った。10月22日学生に対し、1匹のオオミジンコから産まれた16～21匹の仔虫を3つの40 mL 菅瓶に1匹・5匹・10～15匹となるように分け入れるように指示をし、室温22度・日照条件(明16時間 暗8時間)の条件下で2週間飼育させた。11月5日の実習当日、学生に一卵性双生児の表現型可塑性についてのプレゼンを行い、実験プロトコルの説明をした。説明後、学生はオオミジンコの大きさの確認・形態の観察・産まれた仔虫のカウントを行った。実習後、表現型可塑性についてのレポートを提出させた。

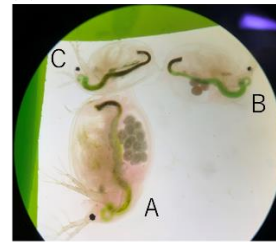
8. 学生実験結果および考察

学生が提出したレポートよりオオミジンコは飼育数1匹>5匹>10～15匹の順に、密度が高いほど体長が小さくなるという結果を全10班が得た(図1)。また産まれた仔虫の数も全10班とも飼育数1匹と5匹はトータル数がほぼ同じで、10～15匹の実験群では産卵をほとんどしていなかった。また今回10班中2班において、飼育数10～15匹の管瓶にいる実験群の中で、育房に休眠卵のある個体が確認された(図2)。オオミジンコが環境の悪化という外的要因により休眠卵をつくったという表現型可塑性を確認することができた。

また学生から提出されたレポートの考察より「同じ遺伝子から違う表現型が現れる」「表現型可塑性は、遺伝子そのものは変化せず環境に合った変化が起きる」

といった表現型可塑性をエピジェネティックに考える考察が多く見られた。

図1 ミジンコの大きさの違い



A 管瓶に1匹飼育したミジンコ
B 管瓶に5匹飼育したミジンコ
C 管瓶に10匹飼育したミジンコ

図2 休眠卵



育房に休眠卵ができたミジンコ

9. 実習開発の考察と今後の課題

学生から得られた考察より、今回の実習開発の目的である表現型可塑性の理解、遺伝子のエピジェネティックな発現制御への理解を促せたと感じられた。実習時に行った双子の表現型可塑性のプレゼンが「同じ遺伝子」という考えを定着させ、さらに飼育密度を変えたオオミジンコの実習によって、実際に起こった表現型可塑性を目にし、その理解度を高めたと考えられる。一方で、学生から提出されたレポートの考察に、外的要因が密度によるもの以外にエサの量による影響であるという記述も多くみられた。今回、エサの影響がないように、オオミジンコに対し十分な量のエサを与えていたのだが、それが十分伝えきれてなかったことが原因であると思われる。この課題を解決すべく、エサの影響を学生が感じることをしない飼育条件、資料の準備を現在再構築している。

10. まとめ

最近、実験の指導のなかでエピジェネティクスという単語が聞こえるようになってきた。iPS細胞の理解やガン治療薬開発などにもエピジェネティックな考え方が必要となってきている。今回実施したこの実習開発が、分子生物学を学んでいく学生たちの礎になることを願っている。最後にこの実習を開発するために宇都宮大学の宮川一志准教授、新潟大学の豊田賢治博士に貴重なアドバイスをいただきました。ここに感謝の意を表します。

なおこの研究は、科学研究費補助金(奨励研究20H00897)の助成をいただいて実施いたしました。