

# 大学教員による高等学校における出張実習の医療薬学導入 への教育効果に関する考察

伊藤 陽一<sup>1</sup>、川嶋 剛<sup>1</sup>、五十鈴川 和人<sup>1</sup>、出雲 信夫<sup>1</sup>、  
金子 正裕<sup>1</sup>、川嶋 芳枝<sup>1</sup>、西 弘二<sup>1</sup>、飯淵 興喜<sup>2</sup>

<sup>1</sup>横浜薬科大学 薬学部, <sup>2</sup>横須賀学院高等学校 理科 (生物科)

平成 25 年 11 月 13 日 (水) 及び 11 月 20 日 (水) 日実施

## 要旨

普段体験することのない大学での高度な知識に触れることで、横須賀学院高等学校の学生に対し探究する能力と態度を育てることを目的とした実習をおこなった。実習では PCR 法を用いて実際にヒトアルデヒドデヒドロゲナーゼ遺伝子 (*ALDH2*) の増幅をシミュレーションし、増幅遺伝子を制限酵素で切断して遺伝子型のタイピングをおこない、遺伝子多型と多型が与える影響に関しての実験講義がどのような教育的効果を上げるのかを調査した。その結果、高校生は実験に積極的に取り組み遺伝子多型の講義に好奇心を持って向き合い内容を積極的に理解しようとする事が明らかとなり、実験講義の教育効果が確認できた。

## 緒言

今日の我が国では益々の高齢化社会を迎え、医学の発展なくしては成り立たない時代となっている。しかし少子化の影響により、医療需要者に対する提供者の数が不足する問題を抱えている。これに対し若者への早期的な医療薬学への興味関心を抱かせる機会は重要なものとなる。

今回の横須賀学院高等学校における高等大学実習教育は、大学の専門的な知識を早い段階で高校教育に取り入れることで、学力向上はもとより医療薬学に触れることのできる、またとない機会となりえる。

本論文では、平成 25 年 11 月 13 日（水）及び 11 月 20 日（水）に行った「PCR 法（ポリメラーゼ連鎖反応法）による DNA 増幅と遺伝子多型の解析」の一連の実験を行うことによる教育効果を検証した。本研究で行う実験授業では、PCR 実験によってアルデヒドデヒドロゲナーゼ遺伝子（*ALDH2*）を増幅する過程をシミュレーションし、増幅した DNA を制限酵素で実際に切断したのちアガロースゲル電気泳動により分離して、ヒト遺伝子の多型解析の手法を体験することを目的とした実験を行ってもらう。これらの一連の実験を通じて、「遺伝情報の発現」における遺伝情報の変化、すなわち、同一種内でのゲノムの多様性を理解させる。また、PCR 実験では DNA 複製の原理、遺伝子を扱った技術について、特に遺伝子の増幅技術に触れ、バイオテクノロジーとしての遺伝子の増幅技術を理解し、有用性を理解させる。*ALDH2* の多型検出では、制限酵素の特性および使用法、電気泳動法の実験手法について理解を深めることを目指す。

## 材料及び方法

### PCR（ポリメラーゼ連鎖反応）のパワーポイントによる説明

PCR 法の原理（1）に関しては、実験が始まる冒頭にパワーポイントを用いて説明した。あわせて今回の増幅 DNA はヒトのアルデヒドデヒドロゲナーゼ遺伝子（*ALDH2*）を仮定し、*ALDH2* 遺伝子が第 12 染色体長腕（12q24.2）に位置し、13 個のエキソンを有していること、*ALDH2* 遺伝子のコードするタンパク質の機能、多型の存在について染色体写真と模式図を用いて説明し、その以後、PCR 反応を実際におこなった。

### PCR による DNA の増幅

古細菌 *Thermoplasma volcanium* GSS1 (*T. volcanium*) のスーパーオキシド不均化酵素遺伝子 (*tv sod*) と、8-オキソグアニン DNA グリコシラーゼ遺伝子 (*tv agog*) を PCR で増幅した。*Tvsod* の増幅には *Nde* I 5' Tv-sod ; 5'-ATC ATA TGG CAG AAA CCT GGG AGA T-3' と *Sal* I 3' Tv-sod ; 5'-ATG TCG ACT CAG CAT TTG AAA GCT TCG T-3' の 2 種のプライマーを用いた。*Tvagog* の増幅には (*Nde* I 5' Tv-ogg) 5'-ATC ATA TGG ATT TTA ACC AGT ATT T-3' と (*Sal* I 3' Tv-ogg) 5'-TAG TCG ACT TAC TTT ATA ACT GTC CCT G-3' の 2 種のプライマーを用いた。PCR 反応は、50ng の *T. volcanium* ゲノム DNA, 1×*ExTaq* buffer (タカラバイオ), 200 μM dNTPs (タカラバイオ) 5' と 3' のプライマーセット, 1U の *Ex Taq* DNA polymerase (タカラバイオ) を用いて全量 50 μL として増幅した。反応は 95°C, 3 分の後, 95°C, 1 分 ; 50°C, 1 分 ; 72°C, 1 分を 35 サイクル繰り返すことで DNA を増幅した。増幅産物は *tv agog* が 615 bp, *tv sod* は 618 bp である。

### 制限酵素による遺伝子タイピングのパワーポイントによる説明

続いて、制限酵素がDNAの特定の塩基配列を認識して切断する酵素であることを説明し、DNAを切断することによって、同じ遺伝子でも塩基配列の多型によって切断されるものと切断されないものが存在すること、したがって、制限酵素による切断パターンを見ればどのような遺伝子を持っているかを判別することが出来る、遺伝子のタイピングが出来ることを説明し、その後、制限酵素による遺伝子タイピングを実際におこなった。

### 制限酵素による遺伝子タイピング

PCRで増幅したDNAは *tvagog* DNA を5  $\mu$ L 分注したものをAさんのDNA(野生型ホモに相当)とし、*tvagog* と *tv sod* DNA を2.5  $\mu$ L ずつ分注したものをBさんのDNA(野生型/変異型ヘテロに相当)とし、*tv sod* DNA を5  $\mu$ L 分注したものをCさんのDNA(変異型ホモに相当)として制限酵素 *EcoRV* (タカラバイオ) で切断した。切断はPCR反応後の3種類の分注DNAを5  $\mu$ L、1 $\times$ H buffer (タカラバイオ) に5U/ $\mu$ L の制限酵素 *EcoRV* を1  $\mu$ L 加えて全量10  $\mu$ L として37 $^{\circ}$ C恒温水層中で15分から20分切断した。

### 遺伝子多型と疾患の関係のパワーポイントによる説明

制限酵素でDNAを切断している間に、遺伝情報とはDNAの塩基配列情報であることを説明し、塩基配列の変異が形態形成に与える影響や疾患発症のメカニズムについてがん遺伝子、がん抑制遺伝子の変異を例に説明した。その後、電気泳動によるDNAの分離機構に関して説明し、その後、アガロースゲル電気泳動によるDNAの分離を実際におこなった。

### アガロースゲル電気泳動によるDNAの分離

DNAの制限酵素 *EcoRV* による切断の後、6 $\times$ 色素液(0.1% ブロムフェノールブルー、0.1% キシレンシアノール、3% グリセロール)を2  $\mu$ L ずつ加えて全量を12  $\mu$ L として1% アガロースゲルを用いてジーニアス小型電気泳動装置(SKバイオ)により100V、約20分分離した。泳動バッファーは1 $\times$ TAE(40mM トリス-酢酸 / 1mM エチレンジアミン四酢酸二ナトリウム)を用いた。

### アルデヒドデヒドロゲナーゼ遺伝子多型が与える影響のパワーポイントによる説明

アガロースゲル電気泳動を行っている間に、今回検出するシミュレーションをおこなったアルデヒドデヒドロゲナーゼ遺伝子の遺伝子頻度の人種差や、多型がアルコール代謝や食道がんの発症に与える影響について解説し、その後、ゲルの写真撮影を実際におこなった。

## 写真撮影と結果の解釈

泳動後のアガロースゲルは 10  $\mu$ L の 10 mg/mL エチジウムブロマイド (EtBr) が入った 200 mL の 1 $\times$ TAE に浸して DNA を染色し、紫外線照射装置 (3UV Transilluminator、フナコシ) を用いて 302 nm の紫外線 (UV) を照射することでバンドを可視化してポラロイド写真撮影装置で写真撮影した。ゲルの染色、写真撮影は教員スタッフが行った。撮影した写真は、参加学生に 1 枚ずつ配布し、結果の解釈について説明し、実験を終了した。



図1 実習中の様子

## 結果

ヒト *ALDH2* には第 12 エキソンに塩基配列多型が存在することが知られている (2)。野生型遺伝子 (*ALDH2-1*) では 5'-TAC ACT GAA GTG AAA-3' という塩基配列によりこの部分のアミノ酸配列は Tyr-Thr-Gln-Val-Lys となるが、変異型遺伝子 (*ALDH2-2*) では 5'-TAC ACT AAA GTG AAA-3' となり傍点下線を付した G が A にトランスバージョンした結果、アミノ酸配列は Tyr-Thr-Lys-Val-Lys となる。このアミノ酸置換 (E487K) により正常型ホモ接合体

(1/1型), ヘテロ接合体(1/2型), 変異型ホモ接合体(2/2型)の3種類の遺伝子型が存在することになる。3種類のうちのどの遺伝子型を持っているかは制限酵素 *Eco57I* による切断の有無を調べることで判断することができ, 酒に強いかわ弱いかが分かる。

実際にヒトのアルデヒドデヒドロゲナーゼ遺伝子をコードする DNA 領域を用いる場合は, 臨床研究倫理委員会の承認を受けなければならない。本実験は横浜薬科大学の臨床研究倫理委員会の承認を受けておらず, 従ってヒト *ALDH2* をコードする DNA 領域を用いることはできない。そこで制限酵素 *EcoRV* で1か所切断される *tvagog* DNA をヒト野生型 *ALDH2-1* とし, *EcoRV* で切断されない *tvsoD* DNA をヒト変異型 *ALDH2-2* として実験に用いた。

電気泳動が終了した後のゲルを撮影した。この結果から, ヒト *ALDH2* を用いた時と同様の結果が得られた事が分かる。

## 考察

今回の実験は高校生物の領域でも紹介されている分野を実際に体験し, 大学教育基準の講義を高校生にも体験してもらった。内容は専門的な知識を伴う高度なものだが, 高校生にとっても貴重な経験と捉えており, 真剣な眼差しと姿勢で取り組んでいる姿が伺えた。高校生に対し普段経験しない実習による専門的な知識は, 向上心と学習能力の向上を与えるものと考えられる。反応中に行われた説明に関しても熱心に聞き入っており, 遺伝子多型の具体的な例を挙げることで遺伝子の種内変異に実感を持てた様子だった。また聞き取り調査によるアンケートに対しては, 自分が自らの手で遺伝子タイピングを行ったことで医学研究を身近に感じた, という声も聞かれた。また医療薬学に大変興味を持った学生も見られたことから, 今後の医療の担い手となりえる学生の育成を早期より目指し, 将来を見据えた学習効果を高めることも期待できる。このような機会は学生のみならず, 提供する大学教員にも高校教育の現状を知る良い機会であり, 双方にとって多大な教育効果を得られた。今回の実績を活かし今後も継続して互いに学んでいくことが大切である。

## 参考文献

- (1) Saiki, R. K., Scharf, S., Faloona, F., Mullis, K. B., Horn, G. T., Erlich, H. A. and Arnheim, N. (1985) Enzymatic amplification of  $\beta$ -globin genomic sequences and restriction site analysis for diagnosis of sickle cell anemia. *Science* **230**: 1350-1354.
- (2) Takeshita T., Morimoto K., Mao X.Q., Hashimoto T., Furuyama J. (1994) Characterization of the three genotypes of low  $K_m$  aldehyde dehydrogenase in a Japanese population. *Hum. Genet.* **94**:217-223



# 大学教員の高校での出張講義による健康意識の向上に関する考察

五十鈴川 和人<sup>1</sup>、五十鈴川 知美<sup>1</sup>、出雲 信夫<sup>1</sup>、伊藤 陽一<sup>1</sup>、  
金子 正裕<sup>1</sup>、川嶋 剛<sup>1</sup>、川嶋 芳枝<sup>1</sup>、西 弘二<sup>1</sup>、橋本 哲也<sup>2</sup>

<sup>1</sup>横浜薬科大学 薬学部, <sup>2</sup>藤沢翔陵高等学校

## 要旨

数年前から積極的に種々の媒体を通じて、分かりやすく喫煙による有害性が報じられている。そのため、喫煙者の禁煙への意識がたかまり、喫煙者が減少している。また、喫煙できる環境も喫煙スペースを設けて非喫煙者と隔離するようになってきている。喫煙者を取り巻く社会環境が変化していく状況で、タバコをやめるために積極的に治療しようと動きが医療現場に表れている。そこで、高校生に体の仕組みを理解してもらい、喫煙者自身への有害作用、喫煙者の周囲にいる人たちへの有害作用を薬学的な要素を取り入れて講義を行った。その結果、喫煙が肺や血管が損傷を与え、加齢とともに種々の病気を引き起こすこと、青少年の喫煙は身体の成長に悪影響を及ぼすことを高校性は理解したことがわかった。

## 緒言

がんは、昭和 56 年以降我が国における最も大きな死亡原因となっており、3 人に 1 人ががんによるものである。また、喫煙が肺がんだけでなく、その他のがんを引き起こす誘因となることはよく知られている。日本人の喫煙率は、厚生労働省国民健康調査(平成 24 年)によると 20.7%であり、男性の喫煙率は 34.1%、女性の喫煙率は 9.0%である。年々、喫煙率は低下しているが、5 人に 1 人が喫煙していることになる。さらに喫煙が原因と考えられる死亡者数は 13 万人(2005 年)を超えている(日本肺癌学会資料より)。喫煙者が禁煙した場合、禁煙期間が長くなるほど肺がんのリスクが大きく低下することも明らかになっている。

一般的に、喫煙をするとタバコの煙に含まれる 4,000 種類を超える物質が喫煙者の肺に取り込まれる。それらの物質のうち約 200 種類が有害物質であり約 60 種類が発がん物質であることがわかっている。このような物質を毎日体内に取り込むことにより、ヒトの組織や血管を形成する細胞が徐々にボロボロになっていく。細胞が本来持っている機能を果たせなくなると、がん、高血圧、糖尿病、心臓血管疾患、認知症などの疾患を引き起こす事に

なる。このような事態を引き起こさないために必要なことは、有害物質を摂取しない、つまりタバコを吸わないということである。

タバコは、喫煙者にとって有害なだけでなく、周囲の人々にとっても悪影響を及ぼす。タバコの煙は、2種類ある。喫煙者が吸入する主流煙と喫煙者の周囲にいる人が吸入する副流煙である。主流煙だけでなく副流煙にも多くの有害物質が含まれているため、一般家庭で喫煙者がいれば必ず非喫煙者も副流煙を吸入している。さらに、副流煙が絨毯や壁などに染み付くため、タバコを吸っていないときにも有害物質を吸入することになる。喫煙は家族全員の健康に大きな害を及ぼしている。

今回の講演を聞くことにより、タバコを吸うことにより喫煙者自身と非喫煙者への健康被害を理解し、高校生の喫煙に対する意識の変化を考察する。

## 対象

藤沢翔陵高等学校生徒および教員

## 方法

パワーポイントを用いて実施した。

内容

- (1) 日本人の喫煙状況を把握する。
- (2) 喫煙による肺の組織変化
- (3) 未成年者の喫煙状況と成長に与える影響
- (4) 喫煙が薬剤の作用に及ぼす影響
- (5) 受動喫煙による健康被害
- (6) 神奈川県公共的施設における受動喫煙防止条例

## 結果

高校生は、長期間の喫煙による肺の変化に大変驚いていた。喫煙すれば必ず病気になるわけではないが、病気になる危険性が極めて高くなることを理解した。体の成長が続いている期間に喫煙することが、身体形成（身長）、運動能力などに大きな影響を与えることを理解した。さらに、副流煙を周囲の人が吸入する受動喫煙が、喫煙者以上の健康被害を及ぼすことに驚いていた。

## 考察

高校生がタバコを吸い始めるきっかけは2つある。1つは家族の誰かが吸っていて、興味本位で手を出す場合とテレビを見ていてタレントのタバコを吸うしぐさがかっこいいと感じた場合である。「好奇心」や「なんとなく」吸ってみようかなという程度の些細なことである。初めてタバコを吸ったときに高揚感が得られる人は少ないようだが、カッコよく見せたいとか大人であるところを見せたいと思う気持ちがタバコを手放せない理由であろう。しかし、喫煙が習慣となってしまうとやめることができなくなってしまう。ニコチン依存症である。タバコに含まれるニコチンを摂取するとニコチンが脳に到達し、快楽や快感をもたらすドーパミンという物質を放出させる。ニコチンは時間の経過とともに脳から消失していくのでドーパミンの放出が減少する。体はドーパミンによる快感を回復しようとしてニコチンを切望するようになる。つまり、再びタバコが吸いたくなるという状況が生じる。ニコチンを摂取することにより生じる快楽は、次の快楽への欲求を生じさせるだけであり、ストレスを与えているだけにすぎない。このようなニコチン依存症に陥っている場合には、自分自身の意志だけで禁煙をすることは大変難しい。医療機関の助けを借り治療することが必要になってくる。体内からニコチンを排除することが目的であるが、急にタバコをやめても長続きすることはない。そのため、タバコの本数を減らしたり、ニコチンガムやニコチンパッチとよばれるものを使い、徐々に体内のニコチンを減らしていくことが完全にタバコをやめるためには必要である。積極的に禁煙指導をしている調剤薬局で指導してもらうことも有効な手段である。

安易に喫煙を始めることが自分自身だけでなく周囲の人の健康にも悪影響を与えることを十分に理解し、健康な体を自分で守ることを実践してほしい。

## 参考資料

- ・「喫煙問題に関するスライド集」2011年度日本肺癌学会 禁煙推進委員会
- ・「たばこの健康影響評価に関する考え方」独立行政法人国立がん研究センター がん対策情報センターたばこ政策研究部
- ・「神奈川県公共的施設における受動喫煙防止条例」

# 大学教員の小中学校教員等に対する 薬物乱用防止教育研修効果に関する考察

田口 真穂, 篠塚 達雄

横浜薬科大学 薬学部

平成 26 年 7 月 24 日 実施

## 要旨

近年、我が国の青少年の抱える健康課題は多様化、深刻化している。特に、薬物乱用問題については危険ドラッグの登場や社会情勢の変化が著しく、早急に対応が必要な課題のひとつである。そこで、小中学校における薬物乱用防止教育を充実強化させるために、教育現場での問題点等を調査し、指導者の研修を行った。事前調査の結果、現在の社会問題に対して、指導教育を行うためには、保健学習の内容だけでは不十分であること。専門的知識の不足による指導に対する不安があること、新しい教育用資材の要望等が挙げられた。薬物乱用防止教育は、学級活動や学校行事、総合学習、道徳等の時間を活用して児童生徒の発達段階に合わせた教育を行うことが必要であり、外部の専門家の協力を得ながら効果的に行うことが重要であると考えられた。

## 緒言

薬物乱用防止に関わる指導は、体育科及び保健体育科の学習指導要領にて、小学校から高等学校まで児童生徒の発達段階に応じて学習する内容が配置されている。小学生では、「病気の予防 エ 喫煙、飲酒、薬物乱用と健康」にて、5・6年生を対象に、シンナーなどの有機溶剤を取り上げ、一回の乱用でも死に至ることがあり、乱用を続けると止められなくなり、心身の健康に深刻な影響を及ぼすこと、法律で厳しく規制されていることに触れらとされている。中学生では、「健康な生活と疾病の予防（ウ）薬物乱用と健康」にて、3年生を対象に、覚せい剤や大麻を取り上げ、摂取によって幻覚を伴った激しい急性の錯乱状態や急死などを引き起こすこと、薬物の連用により依存症状が現れ、中断すると精神や身体に苦痛を感じるようになるなど様々な障害が起きることを理解できるようにするとされている。また、薬物乱用は、個人の心身の健全な発育や人格の形成を阻害するだけでなく、社会への適応能力や責任感の発達を妨げるため、暴力、性的非行、犯罪など家庭・学

校・地域社会にも深刻な影響を及ぼすこともあることを理解できるようにすることが示されている。さらに、指導要領の解説では、喫煙、飲酒、薬物乱用などの行為は、好奇心、なげやりな気持ち、過度のストレスなどの心理状態、周囲の人々の影響や人間関係の中で生じる断りにくい心理、宣伝・広告や入手のし易さなどの社会環境などによって助長されること、また、それらに適切に対処する必要があることを理解できるようにするといった内容が掲げられている。通常、薬物乱用防止を取り扱う時間は小学校では1時限、中学校では2時限程度であり、中学校では、喫煙・飲酒等も含めた心理状態や広告宣伝を見抜く力や断り方などに指導の為、さらに2時限程度を計画案として設定している地方自治体が多い。

小学校と中学校の最も大きな違いは、個人生活における健康・安全に関する内容を科学的に理解できるようにすることであり、単に知識や記憶としてとどめるのではなく、生徒が現在及び将来の生活において健康・安全の課題に直面した場合に、科学的な思考と正しい判断の下に意志決定や行動選択を行い、適切に実践していくための思考力・判断力などの資質や能力の基礎を育成することが求められている点である。

これらの学習指導要領における教育目標のいくつかの項目における学習効果を上げることを目的として、平成26年7月24日に文部科学省助成事業「喫煙、飲酒、薬物乱用防止に関する指導参考資料」薬物乱用防止研修会（横浜開催）にて、「横浜市における薬物乱用防止教育の実践」について研修を行った。本論文では、教育現場での問題点のヒアリング調査及び、効果的な教育実践への提唱による研修効果を検証した。

## 方法

学校関係者等から薬物乱用防止教育を行う際に現場で問題となっていることについてヒアリング調査を行った。調査結果を踏まえて、横浜市における薬物乱用防止教育の実践について、指導者研修を行った。対象は、学校教育関係者等：教諭（保健体育・道徳・特別活動・生徒指導担当）、養護教諭、保健主事、栄養教諭、管理職、学校医、学校歯科医、学校薬剤師、行政担当者等とした。

研修には、パワーポイントを使用し、下記の項目について講義を行った。

1. 薬物事犯・不正薬物流入等の状況と法令の整備・取締りなどの対策
2. 薬物乱用依存患者の現状
3. 危険ドラッグについて
4. 第四次薬物乱用防止五か年戦略における教育の位置づけ
5. 薬物乱用防止教室を開催する際の注意点
6. 横浜における実践教育プログラムの検討

## 結果

1. 薬物乱用防止教育を実施する際の問題点として、下記の意見が得られた。
  - 1) 薬物乱用問題の実態に精通した教員の育成
  - 2) 学習指導で対応しきれない地域の現状に即した指導教育
  - 3) 教科外での教育時間の確保
  - 4) 外部講師との連携方法
2. 学校関係者を中心に、薬物乱用問題の実態に関して講義を行った。統計的資料及び対策等を示し、特に、喫緊の課題となっている危険ドラッグを含めた薬物乱用の危険性について、現実に起きている事例を中心に講義を行った。危険ドラッグの経験率は、大麻や覚醒剤と同程度に達しており、中学生の1000人に2人は危険ドラッグ経験者であることを説明すると、大変驚いた様子であった。それと同時に、危険ドラッグに対する教育の必要性を強く感じられていた。体育科・保健体育科の学習指導要領で定められている役割について明らかにし、関連科目として道徳や特別活動の学級活動や学校行事、総合的な学習の時間等を示し、それぞれの科目で取り扱うべき内容について解説を行った。その結果、学校保健計画に位置付ける必要性をご理解頂き、今後の学校内で学校年間計画を立てる際に生かしていきたいという声が寄せられた。外部講師との連携については、事前準備と講師との打ち合わせのポイントを説明した。事前事後の指導や学習対象者の認識や理解度を講師に伝えること、学習内容を明確化し、発達段階に応じた指導となるよう学校側の要望を伝えることも必要であること等を示した。現場からは、必要性は理解できるが、外部講師と綿密な打ち合わせを行う時間や機会を設けるのは難しいとの意見があった。特に神奈川県では小学校での薬物乱用防止教室の実施率が低く、薬物乱用防止教育は地域性を有することから、教育委員会等から横浜市スタンダードの実践教育プログラムを開発する等のサポートを行うべきとの意見もあり、今後の検討課題となった。

## 考察

乱用状況の変化は著しく、薬物乱用・依存問題は時代・社会の変化と共に刻々と変化している。その対策とした指導や、防止教育もその時々の実情に即したものでなければならない。特に、近年社会問題となっている危険ドラッグ等については、緊急性を有する状況にも関わらず、教育現場での指導体制が十分ではない。「薬物乱用防止教室」などの指導は、医師、薬剤師、研究者、警察官、麻薬取締官等を講師として招いて行うことによって、より有効なものにすることができる。内容は、講師の専門性を考慮すべきであるが、あくま

でも、一次予防の立場から乱用を始めさせないことが主なねらいであり、内容については事前に打ち合わせを行い、「必要な内容」及び「不適切な情報」を明確にすべきである。

中学校からは、小学校でも取り扱われた「心身への影響」や「意思決定能力の育成」に加えて、「社会的問題」や「防止の対策」についての内容が盛り込まれる。さらに、科学的に理解を深めることと示されており、授業内で実験によるデータや統計的なグラフ、臨床的なデータ等を利用する工夫が求められている。これらを十分に取り入れ、学習効果を高めるためには、指導者として薬学研究者を迎えることも有用であると考えられた。また、講義以外の学校における薬物乱用防止に関する指導も極めて重要な意味を持つため、各学校の指導者の養成も不可欠であり、今後、積極的に地域の授業研究会等で実態を踏まえた効果的な防止教育の推進について指導者研修を開催して行くことも考慮していくべきである。

### 参考文献

- (1) 「平成 25 年中の薬物・銃器情勢 確定値」警察庁薬物銃器対策課，平成 26 年 3 月
- (2) 中学校学習指導要領解説（保健体育編） 文部科学省
- (3) 小学校学習指導要領（体育編） 文部科学省
- (4) 「薬物使用に関する全国住民調査」厚生労働省研究班調査報告書 平成 25 年
- (5) 「飲酒・喫煙・薬物乱用についての全国中学生意識・実態調査」：厚生労働省研究班調査報告書，平成 25 年 3 月
- (6) 喫煙，飲酒，薬物乱用防止に関する指導参考資料小学校篇：公益財団法人日本学校保健会，平成 22 年
- (7) 喫煙，飲酒，薬物乱用防止に関する指導参考資料中学校篇：公益財団法人日本学校保健会，平成 23 年

## 高校生が大学で研究発表することの教育効果に関する考察

川嶋 剛<sup>1</sup>、五十鈴川 和人<sup>1</sup>、出雲 信夫<sup>1</sup>、伊藤 陽一<sup>1</sup>、金子 正裕<sup>1</sup>、  
川嶋 芳枝<sup>1</sup>、西 弘二<sup>1</sup>、三品 百合衣<sup>2</sup>、山口 舞<sup>2</sup>、飯淵 興喜<sup>3</sup>

<sup>1</sup>横浜薬科大学 薬学部, <sup>2</sup>横須賀学院高等学校 理科 (化学科), <sup>3</sup>横須賀学院高等学校 理科 (生物科)

平成 26 年 8 月 24 日 実施

### 要旨

高校生にも口頭発表する機会を設ける学会が増えてきており、そこで発表することによって高校生は研究者から質問や助言を受けることになる。高校生にとって大学の研究者から質問や助言を受けることや討論をすることに、どのような教育的効果が見られるのかを調査した。その結果、高校生は大学での自分たちの研究成果の発表を歓迎しており、質問を受けることや討論をすることを肯定的に受け止め、そのことで研究意欲が高まることが分かった。

### 緒言

平成 24 年度から施行された高等学校学習指導要領(以下今次学習指導要領)では、理科のいずれの科目についても日常生活や社会との関連を図りながら事物や現象に対する関心を高め、目的意識をもって観察、実験を行い、科学的に探究する能力と態度を育てるとともに、基本的な概念や原理・法則を理解させ、科学的な見方や考え方を養うことが目標としてあげられており、学習した内容が日常生活や社会とかかわることを示すことで、生物や生物現象に対して興味・関心を高め、生物を学習する動機付けとすることが示されている。

また今次学習指導要領では、理科各科目の「探究活動」は大項目ごとに設定されており、具体的な課題の解決ができるよう、適切な材料と方法を用いて観察、実験などを行い、科学的に探究する方法を習得させ、報告書を作成させたり、発表を行う機会を設けたりすることが求められている。

これらの目標を達成する一助として、横須賀学院高等学校では理科学部の課外活動として、栄養繁殖性のノアサガオ(以下ケープタウンアサガオ)の他感作用(アレロパシー)とその作用物質(アレロケミックス)に関する研究を継続して行っている。ケープタウンアサガオは三浦半島で鑑賞用や法面緑化用として導入されたものが、雑草化して遊休農地などに逸脱して繁茂する。極めて旺盛な繁殖力を持ち、同種のマルバルコウなどが暖地の

強害性雑草として問題となっていることからこの地域に立地する同校の理科学部が研究テーマとして取り上げることとなった。ケープタウンアサガオは栄養繁殖性であり紫外線強度の強い夏の日中花卉が萎縮しないこと、蔓の伸長速度が速いこと、茎葉からの脱分化速度が速く容易に繁茂すること、切断面から乳汁を分泌し、これに触れると人によっては軽度の接触性皮膚炎を起こすことなど様々な点で興味深い特徴をもつ。それらの特徴の中で、ケープタウンアサガオが周辺植物の成長を妨げながら優占種として生息範囲を拡大することに着目し、その他感作用について横浜薬科大学との教育研究連携協定にもとづき高大連携による探究活動をおこなっている。具体的には他の植物に対する成長阻害効果を持つ他感物質の活性測定を行ってきた。

高校生は、平成 26 年 8 月 24 日に横浜薬科大学において、これまでの研究成果をまとめて発表した。発表に当たりこれまでの成果をまとめて報告書として配布資料を作成するとともにパワーポイントによる発表用資料を作製し、それをもとに研究発表をおこない、続いて今後の研究の進め方についての討論をおこなった。本論文では高校生が大学で研究成果を発表し研究者から指導を受けることを高校生自身がどのように受けとめるかを聞き取り調査により考察する。

## 調査

### (1) 目的

課外活動で科学的研究を行っている高校生にとって、大学教員に対して自分たちの研究成果を発表し、研究の将来の方向性に関して討論することは、高校生にとってどのような教育的効果があるのかを検証する。

### (2) 対象

横須賀学院高等学校理科学部の高校生 4 名による「他感作用がレタスに及ぼす影響」に関する研究発表

### (3) 面接法による意識調査

対象は研究発表に参加した 5 名、質問項目は発表してよかったこと、討論して感じたこと

## 結果

### (1) 発表

研究成果をまとめたスライドはパワーポイント（マイクロソフト）を用いて作製し、配布資料はパワーポイントで作製したスライドを配布資料用に印刷したものを使用した。スライドの内容は配布資料と同じであった。

### (2) 討論

大学教員側からは、植物から化学物質を抽出する方法の1つとしてお茶の葉に熱湯をついでお茶を入れる操作を熱水抽出の例として提示された。また、相思樹（ソウシジュ）からのエタノール抽出、朝鮮人参からブタノール抽出法などが紹介され、また、ヤブカラシからの有機溶媒抽出の実演を見たのち、それぞれの抽出法に関して難易度や高校で実行可能かが議論された。

## 考察

生徒は発表前から資料作りに積極的に取り組み、大学の先生に自分たちの研究成果を伝えることに「怖いような感じ」を持ちながらも「楽しみ」にしており、良い経験ととらえていた。発表内容はケープタウンアサガオの持つ因子がレタスの成長抑制作用を持つことを定量的に評価したもので、質問に対しては「専門的だった」が「内容に意外性があり面白かった」という印象を持っていた。

生徒自身がレタスの成長を阻害する因子が水溶性の配糖体ではないかという仮説を持っていた。一方、その単離法についてはカラムクロマトグラフィーを用いた分子ふるいに過度に拘泥している面があり、お茶の葉から熱水抽出で水溶性の有効成分を抽出する方法が日常的に行われていることを指摘することで「あらためて気づいた」。下図は有機溶媒抽出を実演している様子である。高校生は、有効成分の抽出が「意外と自分たちにも簡単にできるかもしれない」と考え、「やってみよう」という感想を持ち、研究に対するモチベーションも上がったことがわかった。

今回のように高校生の行っている課外活動での研究活動を大学教員が支援・助言することは学会でおこなわれる発表とは異なり、規模は小さくなるがより内容に詳細にわたって密に配慮した助言をすることが出来るという利点がある。今回の調査から、わずかなコメントでも高校生にとっては大きな励みになることは確実で、より多くの大学教員が様々なテーマで課外活動において科学的研究を行っている高校生を支援・助言できるシステムが構築されるのが望ましいと考える。



大学教員が有機溶媒による成分抽出を裏庭のヤブカラシの葉で実演しているところ

### 参考文献

「アレロパシー：他感物質の作用と利用」，藤井義晴 著，農文協，東京，2000年 230頁

# 高校生への生物学実験に対する大学教員のアプローチ

出雲 信夫<sup>1</sup>、小林芳子<sup>1</sup>、辻真貴<sup>1</sup>、五十鈴川 和人<sup>1</sup>、伊藤 陽一<sup>1</sup>、  
金子 正裕<sup>1</sup>、川嶋 剛<sup>1</sup>、川嶋 芳枝<sup>1</sup>、西 弘二<sup>1</sup>、野口 香苗<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>横浜薬科大学 薬学部, <sup>2</sup>橘学苑高等学校)

## 【要旨】

高校の生物学において学ぶ生体の機能を理解するために、哺乳動物を用いて各臓器の観察を行い、その働きについて実験を行い、これらの実験講義がどのような教育的効果を上げるのかを調査した。その結果、高校生は実験に積極的に取り組み、生体の仕組みに好奇心を持って向き合い内容を積極的に理解しようとする事が明らかとなり、実験講義の教育効果が確認できた。

## 【目的】

高校の生物学において学習する生体の仕組み・働きについて深く理解し、生物学に興味を持つことを目的に、生体を構成している臓器・組織の形・色・大きさなど形態上の特徴を観察する。

## 実験材料・方法

実験動物には雄性ラットを用いた。実験器具としては、固定板・アルミバット・シャーレ・キャピラリー(1本)・脱脂綿・試験管・カミソリ刃・マイクロピペット・200  $\mu$ lチップ・pH 試験紙・ミクロスパーテルなどを使用した。実験試薬としては、麻酔の導入としてイソフルランを用い、その後、ソムノペンチルを用いた。小腸のぜん動運動を観察するためアセチルコリンを用いた。また、摘出した臓器の働きを観察できるようにタイロード液(栄養液)を用いた。

## 生体の仕組みについてパワーポイントによる説明

命の大切さについて、実験が始まる冒頭に説明した。その後、薬などが生体の中に入ってきた場合を例にし、生体のしくみを説明した。生体に投与された薬物がどのように臓器を通過し吸収され、肝臓などで代謝され、全身に分布され尿中などに排泄されるかを各臓器の働きを含め、図を用いて説明を行った。その後、ラットの開腹した写真を見せ実際に解剖を行った。

## 生体の摘出と観察

手袋をした手でケージ内のラットの尾の付け根をつかみ、体重を測定し、吸入麻酔薬であるイソフルランを用い麻酔をかけた。その後、ソムノペンチルを腹腔内に投与した。

固定板に固定し、四肢をタコ糸で縛り、解剖板の四隅に開いた穴にタコ糸を通し固定した。腹部をピンセットで持ち上げ、正中線に沿って切り開き、腹部の臓器を観察した。

観察終了後、腹部内の臓器から胃と十二指腸をアルミバットに摘出した。その後、小腸と肝臓をタイロード液が入ったシャーレにそれぞれ摘出した。さらに、胸部をピンセットで持ち上げ横隔膜の上部から胸部上部まで切開し、左右に切り開き心臓・肺を観察した。心臓をアルミバットに摘出し、心臓の動きを観察した。

## 呼吸運動の観察

首中央部を切り開き、気管をハサミで一部切開し、キャピラリーを気管に挿入し肺の変化を観察した。挿入部分を軽く指で押さえ、空気が漏れないように空気を送り込み、肺の膨らむ様子を観察した。

## 血液の観察

事前に作成済みのスライドを用い血球の様子を、顕微鏡で観察した。また、ルミノール液を血液に噴霧し暗室の中での様子を観察した。

## 消化器の働き

摘出した胃と十二指腸を開き、それぞれの pH の違いを pH 試験紙にて色の変化を確かめた。また、タイロード液内の小腸をシャーレにうつし、小腸にむけて試験管内のアセチルコリンをマイクロピペットで 200  $\mu$ l 投与し、小腸のぜん動運動の様子を観察した。

## 肝臓（酵素）の働き

摘出した肝臓を湿らせた脱脂綿上で約 5 mm 幅に切る。2 つの肝臓片を作成し、肝臓片の片方を試験管に入れ、約 80 °C で温めた。適量の 3%  $H_2O_2$  (過酸化水素・オキシドール)が入った 2 本の試験管に、常温の肝臓片と 80 °C で熱した肝臓片をそれぞれのミク로스パーテルで同時に入れ、試験管内の反応を観察した。

## 脳の働きについて説明と観察

脳の各部位の働きについて説明した。その後、摘出された脳を観察し、様々な部位に分画を行った。

## 【結果】

教科書でしか学んだことのない生体を観察し、その働きについて理解することを目的に様々な実験を行った。その結果、摘出した心臓は、自動能を有し拍動を続けることが分かった。肺は、呼吸を司る臓器であることを、実際にキャピラリーを用いて空気を流し込むことで、肺がどのように膨らみ生体が呼吸を行っているかを理解した。また、呼吸することで血液に酸素が流入し、心臓の働きにより全身に送られているが、その働きに重要な役割を示すのが赤血球である。その赤血球を観察することで、より深く理解することができた。消化器は、様々な栄養や薬物などを吸収する上で、最も重要な臓器である。吸収するためには、食物などを細かくする必要があるため、胃は酸性が強く、その下の十二指腸は、アルカリ性を示している。それらを pH 試験紙により理解した。また、小腸に副交感神経の伝達物質であるアセチルコリンを用いることで、どのように小腸がぜん動運動を起こし、食物を運搬しているかを理解した。肝臓は様々な働きを有しているが、その 1 つに代謝があり、薬物や毒物などを無毒化する反応である。この働きは酵素によって行われる。また、酵素はタンパク質でできており、熱を加えることで、酵素は変性を起こし、働きを失うことが考えられる。そこで、肝臓片の 1 つを 80℃で熱し、酵素を失活し、失活してないものとの反応の違いを観察することで酵素の働きを理解した。さらに、脳は様々な働きを行っている臓器であり、それらを部位に分け観察し理解した。

## 高校生からの終了後のアンケート結果

- 少し怖かったですですが、とても勉強になりました。
- 高校では体験できないことを出来たし、とても良い経験となったと思います。
- 普段、見ることのできない生物の体、また、そのしくみを見たり学べたりすることが出来て、とても面白かったです。
- 解剖をして、肺が膨らむところなどを見ることなどができ大変ためになったと思いました。
- 血を見るのが苦手で、怖かったです。でも怖い以上にたくさんを知ることが出来て良かったです。
- 体験できないことやらせて頂き、驚くことが多くとても楽しかったです。心臓を取り出してもまだ動いていることが一番驚きました。
- 体の構造がよくわかって良かったです。心臓を取り出しても動いている所に感動しました。
- 薬物に関する分野のことについて知らなかったことが多かったので、そこに対する関心が深まったのでよかったです。

### **【考察】**

今回の実験のように、生体の働きを勉強し、観察と実験を行うことで高校生の学習のモチベーションが上昇することがうかがわれた。生体には様々な働きがあり、私たちは生きるため食物を分解し吸収し栄養としている。また、疾患などになった場合には薬物を服用するが、薬物も食物と同じように生体に吸収し、分布、代謝の後、排出される。今回の実験ではそれぞれの臓器の働きを理解することを目的に様々な実験を行った。参加した生徒は、真剣に取り組み実験中に行った説明に関しても熱心に聞き入っていた。最初は怖がっていた生徒も自分の体に起こっていることと実感したと考えられる。生物学をより深く理解するために実験を通して行うことは、学習効果が上昇することが明らかとなった。

# 大学教員の高校での出張実験による教育効果の向上に関する考察

川嶋 剛<sup>1</sup>、石橋 雪子<sup>1</sup>、川嶋 芳枝<sup>1</sup>、五十鈴川 和人<sup>1</sup>、  
出雲 信夫<sup>1</sup>、伊藤 陽一<sup>1</sup>、金子 正裕<sup>1</sup>、西 弘二<sup>1</sup>、飯淵 興喜<sup>2</sup>

<sup>1</sup>横浜薬科大学 薬学部, <sup>2</sup>横須賀学院高等学校 理科 (生物科)

平成 26 年 10 月 28 日、29 日 実施

## 要旨

高校生が実験や観察を行い、探究する能力と態度を育てるために、PCR 法を用いて実際にヒトアルデヒドデヒドロゲナーゼ遺伝子 (*ALDH2*) の増幅をシミュレーションし、増幅遺伝子を制限酵素で切断して遺伝子型のタイピングをおこない、遺伝子多型と多型が与える影響に関しての実験講義がどのような教育的効果を上げるのかを調査した。その結果、生徒は実験に積極的に取り組み遺伝子多型の講義に好奇心を持って向き合い内容を積極的に理解しようとする事が明らかとなり、実験講義の教育効果が確認できた。

## 緒言

平成 24 年度より高等学校学習指導要領の改訂は、数学、理科及び理数の各教科・科目年次進行により段階的に適用されている。「生物基礎」「生物」においても「化学」「物理」「地学」などの科目と同様に旧課程の「Ⅰ、Ⅱを付された科目」とは教育目的および内容が大きく変更されている。

「生物基礎」では、日常生活や社会との関連を図りながら生物や生物現象に対する関心を高め、目的意識をもって観察、実験を行い、探究する能力と態度を育てるとともに、生物学の基本的な概念や原理・法則を理解させ、科学的な見方や考え方を養うことが目標としてあげられている。また、この科目で学習した内容が日常生活や社会とかわることを示すことで、生物や生物現象に対して興味・関心を高め、生物を学習する動機付けとすることが示されている。さらに、DNA など現代生物学の基盤となる内容等を学ぶことを通して、日常生活や社会と「生物基礎」の学習の内容にかかわりがあることを示し、生物や生物現象への関心を高めることがねらいとしてあげられている。

「生物」は、「生物基礎」との関連を図りながら、生物や生物現象を更に広範に取り扱い、生物学的に探究する能力と態度を身に付けさせるとともに、生物学の基本的な概念や原

理・法則の理解を深めさせ、科学的な自然観を育てる科目として位置付けられている。「生物」においては、生物や生物現象を分子の変化や働きを踏まえて扱う内容、動物や植物について主に個体レベルでみられる現象やその仕組み、生態や進化など生物界全体を概観する内容など、マイクロレベルからマクロレベルまで幅広い領域を学ぶように構成されている。特に、「探究活動」が大項目ごとに設定されており、具体的な課題の解決の場面で用いることができるよう、適切な材料と方法を用いて観察、実験などを行い、生物学的に探究する方法を習得させ、報告書を作成させたり、発表を行う機会を設けたりすることが求められている。

それらの改訂指導要領における教育目標のいくつかの項目における学習効果を上げることを目的として、本論文では、平成 26 年 10 月 28 日、29 日に行った「PCR 法（ポリメラーゼ連鎖反応法）による DNA 増幅と遺伝子多型の解析」の一連の実験を行うことによる教育効果を検証した。本研究で行う実験授業では、PCR 実験によってアルデヒドデヒドロゲナーゼ遺伝子 (*ALDH2*) を増幅する過程をシミュレーションし、増幅した DNA を制限酵素で実際に切断したのちアガロースゲル電気泳動により分離して、ヒト遺伝子の多型解析の手法を体験することを目的とした実験を行ってもらおう。これらの一連の実験を通じて、「遺伝情報の発現」における遺伝情報の変化、すなわち、同一種内でのゲノムの多様性を理解させる。また、PCR 実験では DNA 複製の原理、遺伝子を扱った技術について、特に遺伝子の増幅技術に触れ、バイオテクノロジーとしての遺伝子の増幅技術を理解し、有用性を理解させる。*ALDH2* の多型検出では、制限酵素の特性および使用法、電気泳動法の実験手法について理解を深めることを目指す。本実験を行うことでこれらを効果的に学習できるのかを検証し考察した。

## 材料及び方法

### PCR（ポリメラーゼ連鎖反応）のパワーポイントによる説明

PCR 法の原理 (1) に関しては、実験が始まる冒頭にパワーポイントを用いて説明した。あわせて今回の増幅 DNA はヒトのアルデヒドデヒドロゲナーゼ遺伝子 (*ALDH2*) を仮定し、*ALDH2* 遺伝子が第 12 染色体長腕 (12q24.2) に位置し、13 個のエキソンを有していること、*ALDH2* 遺伝子のコードするタンパク質の機能、多型の存在について染色体写真と模式図を用いて説明し、その以後、PCR 反応を実際におこなった。

### PCR による DNA の増幅

古細菌 *Thermoplasma volcanium* GSS1 (*T. volcanium*) のスーパーオキシド不均化酵素遺伝子 (*tvsoD*) と、8-オキソグアニン DNA グリコシラーゼ遺伝子 (*tvagog*) を PCR で増幅した。

*Tvsod* の増幅には *Nde* I 5' Tv-sod; 5'-ATC ATA TGG CAG AAA CCT GGG AGA T-3' と *Sal* I 3' Tv-sod; 5'-ATG TCG ACT CAG CAT TTG AAA GCT TCG T-3' の 2 種のプライマーを用いた。*Tvagog* の増幅には (*Nde* I 5' Tv-ogg) 5'-ATC ATA TGG ATT TTA ACC AGT ATT T-3' と (*Sal* I 3' Tv-ogg) 5'-TAG TCG ACT TAC TTT ATA ACT GTC CCT G-3' の 2 種のプライマーを用いた。PCR 反応は、50ng の *T. volcanium* ゲノム DNA, 1×*ExTaq* buffer (タカラバイオ), 200 μM dNTPs (タカラバイオ) 5' と 3' のプライマーセット, 1U の *Ex Taq* DNA polymerase (タカラバイオ) を用いて全量 50 μL として増幅した。反応は 95°C, 3 分の後, 95°C, 1 分; 50°C, 1 分; 72°C, 1 分を 35 サイクル繰り返すことで DNA を増幅した。増幅産物は *tvagog* が 615 bp, *tv sod* は 618 bp である。

### 制限酵素による遺伝子タイピングのパワーポイントによる説明

続いて, 制限酵素が DNA の特定の塩基配列を認識して切断する酵素であることを説明し, DNA を切断することによって, 同じ遺伝子でも塩基配列の多型によって切断されるものと切断されないものが存在すること, したがって, 制限酵素による切断パターンを見ればどのような遺伝子を持っているかを判別することが出来る, 遺伝子のタイピングが出来ることを説明し, その後, 制限酵素による遺伝子タイピングを実際におこなった。

### 制限酵素による遺伝子タイピング

PCR で増幅した DNA は *tvagog* DNA を 5 μL 分注したものを A さんの DNA (野生型ホモに相当) とし, *tvagog* と *tv sod* DNA を 2.5 μL ずつ分注したものを B さんの DNA (野生型/変異型ヘテロに相当) とし, *tv sod* DNA を 5 μL 分注したものを C さんの DNA (変異型ホモに相当) として制限酵素 *EcoRV* (タカラバイオ) で切断した。切断は PCR 反応後の 3 種類の分注 DNA を 5 μL, 1×H buffer (タカラバイオ) に 5U/μL の制限酵素 *EcoRV* を 1 μL 加えて全量 10 μL として 37°C 恒温水層中で 15 分から 20 分切断した。

### 遺伝子多型と疾患の関係のパワーポイントによる説明

制限酵素で DNA を切断している間に, 遺伝情報とは DNA の塩基配列情報であることを説明し, 塩基配列の変異が形態形成に与える影響や疾患発症のメカニズムについてがん遺伝子, がん抑制遺伝子の変異を例に説明した。その後, 電気泳動による DNA の分離機構に関して説明し, その後, アガロースゲル電気泳動による DNA の分離を実際におこなった。

## アガロースゲル電気泳動による DNA の分離

DNA の制限酵素 *EcoRV* による切断の後、6×色素液 (0.1 % ブロムフェノールブルー, 0.1 % キシレンシアノール, 3 % グリセロール) を 2 μL ずつ加えて全量を 12 μL とし、1 % アガロースゲルを用いてジーニアス小型電気泳動装置 (SK バイオ) により 100 V, 約 20 分分離した。泳動バッファーは 1×TAE (40 mM トリス-酢酸 / 1 mM エチレンジアミン四酢酸二ナトリウム) を用いた。

## アルデヒドデヒドロゲナーゼ遺伝子多型が与える影響のパワーポイントによる説明

アガロースゲル電気泳動を行っている間に、今回検出するシミュレーションをおこなったアルデヒドデヒドロゲナーゼ遺伝子の遺伝子頻度の人種差や、多型がアルコール代謝や食道がんの発症に与える影響について解説し、その後、ゲルの写真撮影を実際におこなった。

## 写真撮影と結果の解釈

泳動後のアガロースゲルは 10 μL の 10 mg/mL エチジウムブロマイド (EtBr) が入った 200 mL の 1×TAE に浸して DNA を染色し、紫外線照射装置 (3UV Transilluminator、フナコシ) を用いて 302 nm の紫外線 (UV) を照射することでバンドを可視化してポラロイド写真撮影装置で写真撮影した。ゲルの染色、写真撮影は教員スタッフが行った。撮影した写真は、参加生徒に 1 枚ずつ配布し、結果の解釈について説明し、実験を終了した。

## 結果

ヒト *ALDH2* には第 12 エキソンに塩基配列多型が存在することが知られている (2)。野生型遺伝子 (*ALDH2-1*) では 5'-TAC ACT GAA GTG AAA-3' という塩基配列によりこの部分のアミノ酸配列は Tyr-Thr-Gln-Val-Lys となるが、変異型遺伝子 (*ALDH2-2*) では 5'-TAC ACT AAA GTG AAA-3' となり傍点下線を付した G が A にトランスバージョンした結果、アミノ酸配列は Tyr-Thr-Lys-Val-Lys となる。このアミノ酸置換 (E487K) により正常型ホモ接合体 (1/1 型)、ヘテロ接合体 (1/2 型)、変異型ホモ接合体 (2/2 型) の 3 種類の遺伝子型が存在することになる。3 種類のうちのどの遺伝子型を持っているかは制限酵素 *Eco57I* による切断の有無を調べることで判断することができ、酒に強いかわ弱いかが分かる (図 1)。

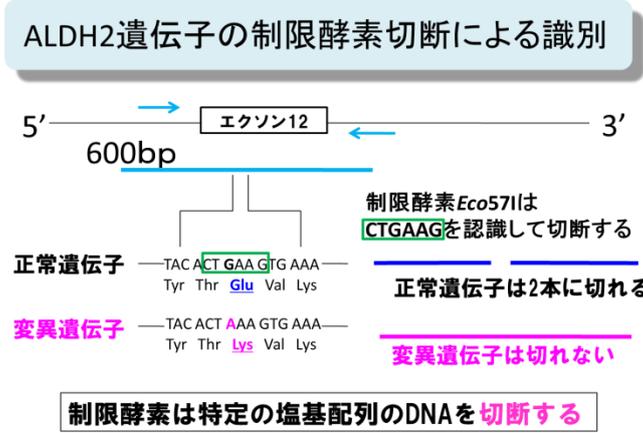


図1 ALDH2 遺伝子の第12エキソンに見られる一塩基多型 (SNP)

実際にヒトのアルデヒドデヒドロゲナーゼ遺伝子をコードするDNA領域を用いる場合は、臨床研究倫理委員会の承認を受けなければならない。本実験は横浜薬科大学の臨床研究倫理委員会の承認を受けておらず、従ってヒトALDH2をコードするDNA領域を用いることはできない。そこで制限酵素EcoRVで1か所切断されるtvagog DNAをヒト野生型ALDH2-1とし、EcoRVで切断されないtvwod DNAをヒト変異型ALDH2-2として実験に用いた。

電気泳動が終了した後のゲルを撮影した写真が図2である。この結果から、ヒトALDH2を用いた時と同様の結果が得られた事が分かる。

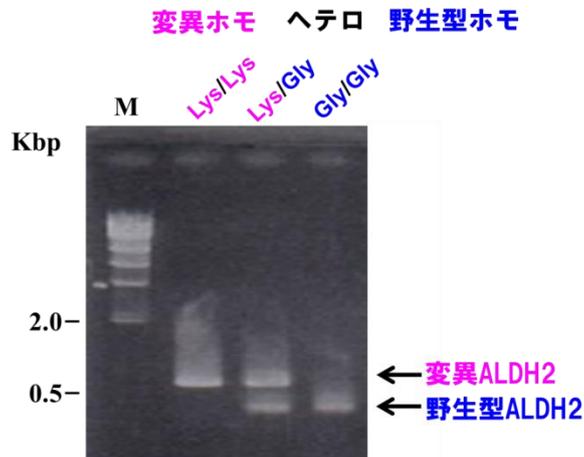


図2 ヒトALDH2 遺伝子多型タイピングのシミュレーション結果

## 考察

今回の実験のように、生命現象と物質に関する学習活動と関連させた実験を行うことで生徒は実験前から期待しており学習のモチベーション上昇に寄与することがうかがわれた。反応中に行われた説明に関しても熱心に聞き入っており、遺伝子多型の具体的な例を挙げることで遺伝子の種内変異に実感を持てた様子だった。また、自分が自らの手で遺伝子タイピングを行ったことで医学研究を身近に感じた、という声も聞かれた。実験を通して、検証、分析・解釈などを具体的な事例について行う手法は学習効果が上がるということが本研究を通じて明らかとなった。また、今回は導入部分のみの説明に留めたが、医学薬学に大変興味を持った生徒も見られたことから、疾患の発症メカニズムや薬剤の作用機序などに関しても具体的な例を挙げながら説明を試みることで、日常生活や社会との関連を図りながら生物や生物現象に対する関心を高め、目的意識をもって観察、実験を行い、生物学的に探究する能力と態度を育てることに助けになると考えられる。



図3 開始直前の風景



図4 制限酵素を入れる



図5 PCR装置に集まり説明を受ける



図6 説明を聞く（後方立ち見は見学の先生）



図7 電気泳動装置にサンプルをのせる(2)



図8 ゲルの染色と撮影



図9 ゲルを見ながら説明を受ける



図10 結果が予想通りで喜ぶ

## 参考文献

- (1) Saiki, R. K., Scharf, S., Faloona, F., Mullis, K. B., Horn, G. T., Erlich, H. A. and Arnheim, N. (1985) Enzymatic amplification of  $\beta$ -globin genomic sequences and restriction site analysis for diagnosis of sickle cell anemia. *Science* **230**: 1350-1354.
- (2) Takeshita T., Morimoto K., Mao X.Q., Hashimoto T., Furuyama J. (1994) Characterization of the three genotypes of low  $K_m$  aldehyde dehydrogenase in a Japanese population. *Hum. Genet.* **94**:217-223

# 大学水準の電子回路実験による高校生に対する 実験先行型教育に関する考察

八木 健一郎<sup>1</sup>、甲斐 俊次<sup>1</sup>、加藤 真介<sup>1</sup>、木浪 信之<sup>2</sup>

<sup>1</sup>横浜薬科大学 薬学部, <sup>2</sup>鎌倉高等学校 理科

## 要旨

高校生が大学水準の電子回路実験を通じて、高校物理の理論を修得するための実験先行型教育の一環として、コンデンサーを応用したフィルタ回路に関する実験を行った。2種類のフィルタ回路の周波数特性をオシロスコープで測定し、カットオフ周波数を求めた。学生同士によるグループディスカッションを行ったところ、(1)フィルタ回路の応用、(2)コンデンサーの種類、(3)リアクタンスに含まれる $2\pi$ の理由(4)測定器のS/N比について活発な議論が飛び交った。大学水準の実験にもかかわらず、すべての理論を理解し、あらゆる疑問を解消しようとする高校生の積極的な姿勢がうかがえた。

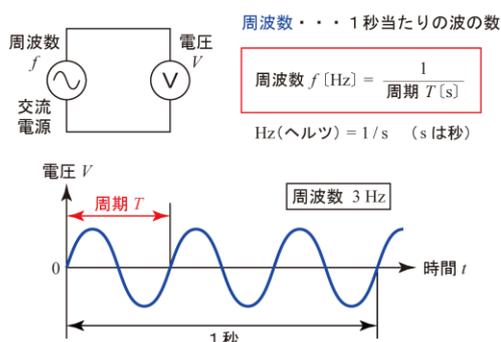
## 序論

新たに改訂された高等学校学習指導要領によれば、「物理基礎」と「物理」にはほぼ共通して、目的意識をもって観察、実験などを行い、物理学的に探究する能力と態度を育てるとともに、物理学の基本的な概念や原理・法則の理解を深め、科学的な自然観を育成することを目標に掲げている。また、「物理基礎」と「物理」の各項目に探究活動が設けられており、各項目の学習活動と関連させながら観察、実験を行い、報告書を作成させたり発表を行う機会を設けたりすることとある。指導要領の改訂により、理論と実験の両側面から物理学の勉学に取り組むための、より実践的な教育が要求される。

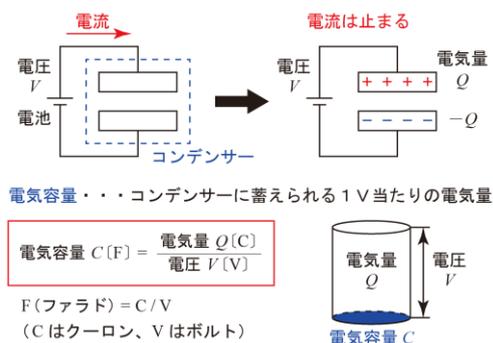
本論文では、実験先行型教育のモデルケースとして、大学水準の電子回路実験を行い、高校生の理論修得に対する教育効果を検証した。実験先行型であることをより確実にするため、当該実験に関する理論を未修得の高校1年生、2年生を対象とした。実験に先立ち、実験に関連する専門用語と物理量について、詳細な理論に踏み込まず、図1の資料を用いて簡潔に説明した。あらかじめ専門用語や物理量を示し、実験を通じてそれらを経験的に

理解することは、理論の修得に極めて有効である。多くの場合、専門用語や物理量の理解と理論の修得がほぼ並行して行われており、専門用語や物理量の理解が曖昧のうちに理論の修得を試みる高校生も少なくない。この点で、実験先行型教育の方が理論先行型教育よりも有効であると考えられる。ただし、実験の実施後、なるべく期間を開けることなく理論を修得することが望ましい。

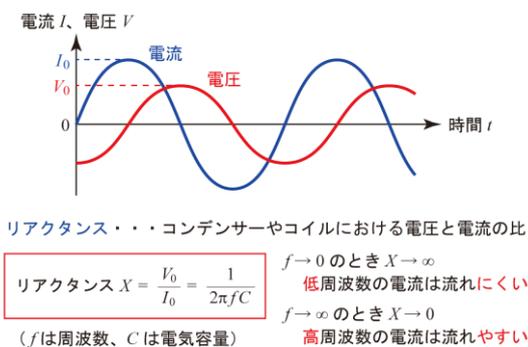
### § 1. 交流の周波数



### § 2. コンデンサーの電気容量



### § 3. コンデンサーのリアクタンス



### § 4. ローパスフィルタとハイパスフィルタ

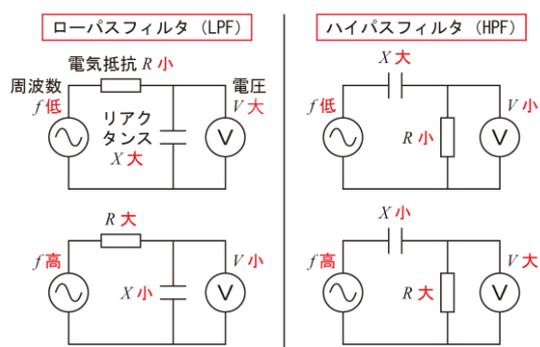


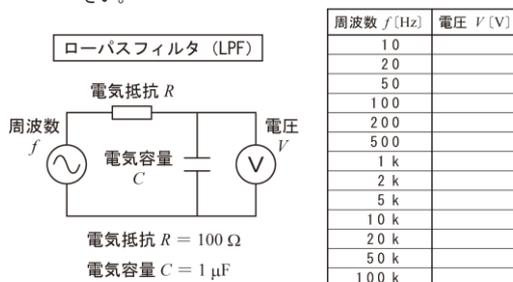
図1 専門用語と物理量の説明

## 実験

本実験では、ローパスフィルタ回路とハイパスフィルタ回路の2種類のフィルタ回路の周波数特性を測定した。両フィルタ回路はともに、100 Ωの電気抵抗と1 μFのコンデンサーの直列接続により構成され、ローパスフィルタ回路ではコンデンサーにかかる電圧を、ハイパスフィルタ回路では電気抵抗にかかる電圧を出力電圧とする(図2)。交流電源には自作のファンクションジェネレータを用い、10 Hz から 100 kHz の周波数範囲の正弦波をフィ

ルタ回路の入力電圧とし、その出力電圧を Tektronix 製オシロスコープで測定し、そのデータをグラフ用紙にプロットした (図 3)。実験に取り組む高校生の様子を図 4 に示す。

**実験 1** 下図のローパスフィルタについて、電圧  $V$  を縦軸に、周波数  $f$  を横軸にプロットしたグラフを作成しなさい。また、電圧が減少する周波数と  $1/(2\pi RC)$  を比較しなさい。



**実験 2** 下図のハイパスフィルタについて、電圧  $V$  を縦軸に、周波数  $f$  を横軸にプロットしたグラフを作成しなさい。また、電圧が増加する周波数と  $1/(2\pi RC)$  を比較しなさい。

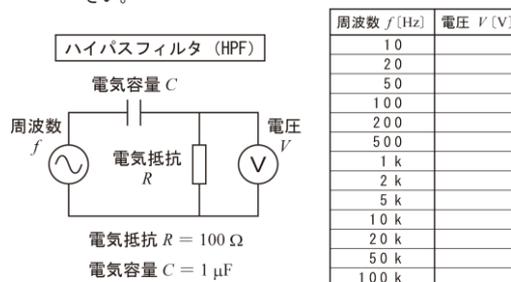


図 2 実験の説明

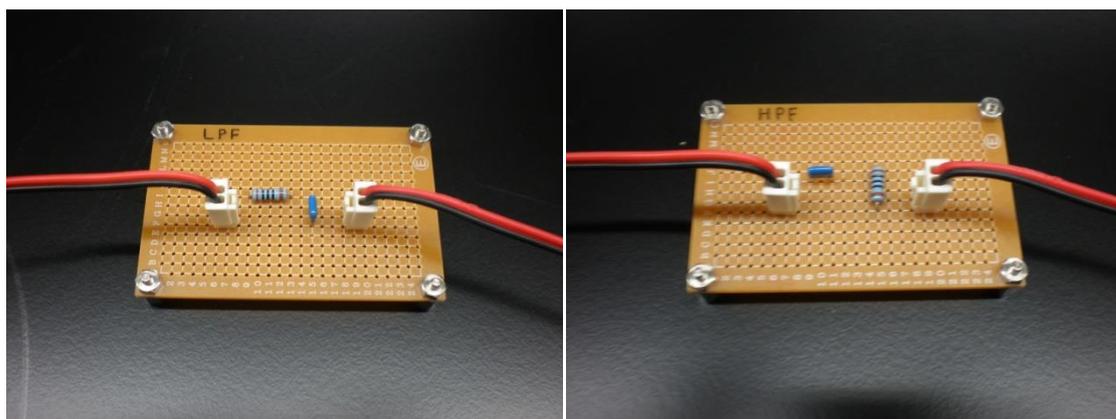


図 3 ローパスフィルタ回路 (左) とハイパスフィルタ回路 (右)

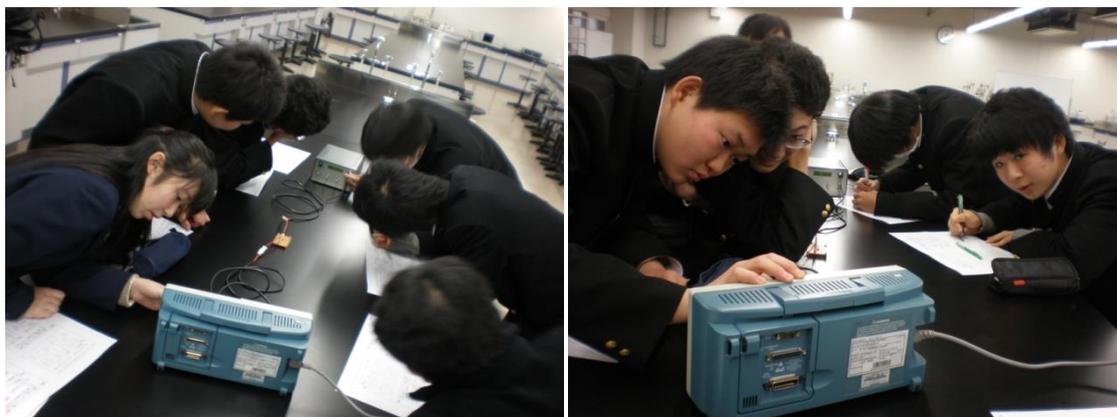


図 4 実験に取り組む高校生の様子

## 結果

ローパスフィルタ回路およびハイパスフィルタ回路の周波数特性を図5に示す。ローパスフィルタ回路の出力電圧は、1 kHz 付近で急激に減少する。一方、ハイパスフィルタ回路の出力電圧は、1 kHz 付近で急激に増加する。両フィルタ回路の出力電圧が一致する周波数は約 1.5 kHz であり、そのときの出力電圧は入力電圧の約 70%である。この周波数をカットオフ周波数という。電気抵抗  $R = 100\Omega$  と電気容量  $C = 1\mu\text{F}$  のコンデンサーで構成されたフィルタ回路のカットオフ周波数は、

$$f = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times (100\Omega) \times (1\mu\text{F})} = 1591\text{Hz}$$

となる。

ローパスフィルタ回路では、カットオフ周波数より低周波数の交流を通過させ、カットオフ周波数より高周波数の交流を遮断する。反対に、ハイパスフィルタ回路では、カットオフ周波数より高周波数の交流を通過させ、カットオフ周波数より低周波数の周波数を遮断する。

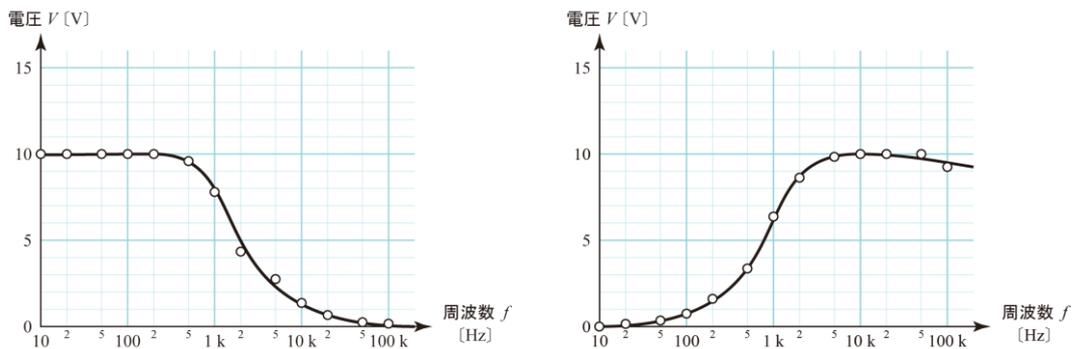


図5 ローパスフィルタ回路（左）およびハイパスフィルタ回路（右）の周波数特性

## 考察

実験終了後、フィルタ回路の理論について解説した。フィルタ回路では、カットオフ周波数において、電気抵抗  $R$  とコンデンサーのリアクタンス  $X = 1/(2\pi fC)$  が等しいことから、カットオフ周波数は、

$$R = X = \frac{1}{2\pi fC}$$
$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

となる。また、カットオフ周波数におけるフィルタ回路の出力電圧は、

$$V = \frac{R}{Z}V_0 = \frac{X}{Z}V_0$$

と表される。ここで、 $V_0$  は入力電圧であり、 $Z$  はフィルタ回路のインピーダンスである。カットオフ周波数におけるインピーダンスは、 $R = X$  より、

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{2}R$$

である。したがって、カットオフ周波数におけるフィルタ回路の出力電圧は、

$$V = \frac{R}{Z}V_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}V_0 \approx 0.7V_0$$

となる。これらの理論は実験結果をよく説明する。

最後に、高校生同士によるグループディスカッションを行った。主な議題は以下の通りである。

(1) フィルタ回路の応用：人間の可聴域は 20 Hz から 20 kHz であり、それ以外の周波数の音は聞こえない。オーディオ機器は電気信号を音に変換するが、可聴域以外の周波数の電気信号はフィルタ回路で遮断される。

(2) コンデンサーの種類：コンデンサーにはいくつかの種類があり、それぞれ用途が異なる。整流回路などに用いられる電解コンデンサーには極性があり、交流回路には使えないので注意する必要がある。

(3) リアクタンスに含まれる  $2\pi$  の理由：周波数  $f$  の正弦波は  $y = A\sin(2\pi ft)$  と表され、リアクタンスに含まれる  $2\pi$  はこれに起因する。角周波数  $\omega = 2\pi f$  を用いると、リアクタンスは  $X = 1/\omega C$  となり、より簡潔に表される。

(4) 測定器の S/N 比：測定する信号には必ず雑音が含まれる。信号が大きければ雑音は無視できるが、信号がゼロに近づくと雑音は無視できなくなる。

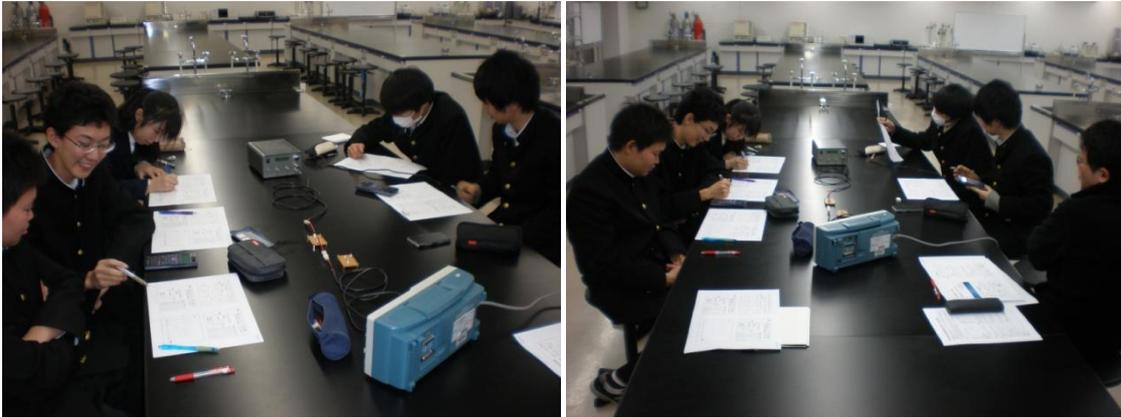


図6 グループディスカッションを行う高校生の様子

## 結論

実験先行型教育のモデルケースとして、大学水準の電子回路実験を行い、高校生の理論修得に対する教育効果を検証した。ローパスフィルタ回路およびハイパスフィルタ回路の周波数特性を測定したところ、カットオフ周波数は約 1.5 kHz であり、そのときの出力電圧は入力電圧の約 70%であった。これらの結果は、フィルタ回路の理論でよく説明できる。学生同士によるグループディスカッションを行ったところ、(1) フィルタ回路の応用、(2) コンデンサーの種類、(3) リアクタンスに含まれる  $2\pi$  の理由、(4) 測定器の S/N 比について活発な議論が飛び交った。大学水準の実験にもかかわらず、すべての理論を理解し、あらゆる疑問を解消しようとする高校生の積極的な姿勢がうかがえた。

# 高校生の探究活動能力に及ぼす大学における 高度な実験の効果について

加藤 真介<sup>1</sup>、伊藤 陽一<sup>1</sup>、甲斐 俊次<sup>1</sup>、八木 健一郎<sup>1</sup>、木浪 信之<sup>2</sup>

<sup>1</sup>横浜薬科大学 薬学部, <sup>2</sup>神奈川県立鎌倉高等学校

## 要旨

高校生に座学で学んだことを大学における高度な実験により理解を深めさせると、初めて目にする現象についても修得した知識で説明できるようになるかどうかを調査した。はじめに「放射線と物質との相互作用」に関する基礎知識を講義により修得させた。次に講義で説明した現象を2つの実験により実際に観察させた。第1の $\beta$ -線の物質による吸収実験では、この放射線が講義で学んだとおりアルミ板により効率よく減弱していくことが確認された。第2の $\gamma$ 線の物質による吸収実験では、この放射線が鉛板では効率的に減弱するがアルミ板ではそうならないことが確認できた。最後に霧箱を用いた放射線の飛跡観察の実験を行い、ここで観察される放射線が何であるかを考察させた。その結果、霧箱の原理を考慮することで観察された放射線が $\gamma$ 線ではないことを推測することができた。以上のことは、より高度な実験の経験は高校生の観察された現象を分析する能力を高める結果、探究活動能力を向上させる可能性があることを示している。

## 緒言

現行の高等学校学習指導要領（以下、「指導要領」とする。）において、「物理基礎」及び「物理」の学習目的は、物理的な事物・現象に対する探究心を高め、目的意識をもって観察、実験などを行い、物理学的に探究する能力と態度を育てることと述べられている<sup>1)</sup>。さらに観測・測定された量との関係からより普遍的な法則を見だし、その法則から新しい事物・現象を予測したり、説明したりすることができるようになることを求めている<sup>1)</sup>。この点については探究活動の教育目標の中でより具体的に記載されている。すなわち、情報の収集、実験による検証、実験データの分析・解釈を实践させ、仮説の設定、法則性の導出につなげ、最終的には具体的な課題の解決の場面でこれらの方法を用いることができる

ようになることを目指すよう記されている<sup>1)</sup>。したがって、高校物理学の教育においては、探究活動の向上が期待できる有効な実験を伴う指導法を検討する必要がある。

物理学的現象の法則性や初めて観察する事象を説明し得る理論の構築には、より高度な実験によって得られたデータの解析が効果的である。なぜならば、観察された現象が条件を変えることによって、具体的にどのように変化するかを高度な分析によって得られた正確な数値で把握できれば、そこに隠れている原理の発見が容易になるからである。例えば、指導要領には物理学的現象の理解において学ぶべき項目の一つとして、原子核の構成、原子核の崩壊に関する知識が挙げられているが、この項目に関連した現象の観測には、原子核の崩壊によって放出される放射線の測定実験が適切である。この場合、目に見えない放射線がどのように他の物質と相互作用しているかを具体的な数値をもって理解でき、現象の理論的な解釈が容易にできるようになる。従って、探究活動の教育目標である課題を解決できる能力の養成に適した実験系であるといえる。

本研究では、高度な放射線計測実験により座学で学んだ現象の理解を深めさせ、そこで得られた理論をもって、次に観察する霧箱における放射線飛跡の出現という現象を説明できるようになるかを調査し、大学における高度な実験教育が高校生の探究活動の向上に有益か否かを検証する。

## 材料及び方法

### 放射線と物質との相互作用のパワーポイントによる説明

原子には陽子と中性子の数のバランスより、不安定な原子核を有するものが存在することを示し、これが放射線放出の要因となっていることを説明した。ここでは、代表的な放射線の種類と本体を理解させ、放出された放射線が他の原子と出会ったときにどのような挙動を示すのか、すなわち物質との相互作用を各放射線についてイメージできるようにした。さらに各放射線を遮へい（吸収）するためにはどのような物質が適当かを理解できるようにした。また、放射線測定の原理が物質との相互作用を利用していることも解説した。

### $\beta^-$ 線の物質による吸収実験

放射線測定実験装置の GM 計数管のキャップをとり、 $\beta^-$ 線を測定できる状態にした。はじめに測定台に線源を置かずに自然放射線の量（バックグラウンド，BG）を調べた。BGの測定は本来長い時間をかけて行った方が精度は上がるが、時間的制約から 1 分間で行った。尚、 $\beta^-$ 線源の放射線量の測定もすべて 1 分間で行った。 $\beta^-$ 線源として、ストロンチウム-90 ( $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ ,  $7.4 \times 10^5$  ベクレル以下) を用いた。線源を測定器より距離 15 cm の位置に固定し、計数率を求めた。さらに線源の前にアルミ吸収板(0.5 mm、1.0 mm、2.0 mm 各 2 枚)

をセットして場合の計数率を測った。アルミ板の厚みを次第に増やしながら同様の測定を行った。また、厚さ 3.0 mm のアクリル吸収板を用いた場合についても測定した。BG 計数率を差し引いた正味計数率と吸収板の厚みの関係を片対数グラフにプロットした。

### γ線の物質による吸収実験

放射線測定実験装置の GM 計数管のキャップを装着し、γ線を測定できる状態にした。測定台に線源を置かずに BG を調べた。測定時間は時間的制約から 0.5 分間とした。γ線源(セシウム-137 ( $^{137}\text{Cs}$ )  $1.0 \times 10^6$  ベクレル以下)を距離 15 cm に固定し、同じ測定時間にて計数率を求めた。さらに線源の前に鉛吸収板 (5.0 mm、10.0 mm、15.0 mm 各 1 枚) をセットし、測定を行った。鉛板の厚みを次第に増やしながら同様の測定を行った。また、先の実験で β<sup>-</sup>線を十分に吸収できた厚みのアルミ吸収板を用いた場合についても測定した。BG 計数率を差し引いた正味計数率と吸収板の厚みとの関係を片対数グラフにプロットした。

### 霧箱の原理のパワーポイントによる説明

放射線の飛跡を間接的に観察することができる霧箱の原理を説明した。ここでは、冒頭の講義「放射線と物質との相互作用」で学んだことを基礎にすれば起こっている現象が理解できるように解説をした。さらに用いる放射線源から α線, β<sup>-</sup>線および γ線が出ていることを解説した。

### 霧箱による放射線の飛跡の観察

以下の手順で霧箱を作成し、放射線の飛跡を観察した。プラスチック容器 (およそ 10 cm × 10 cm × 5 cm) の底に黒い紙を敷き、容器上部の内側に容器を一周するようにスポンジテープを貼り付けた。容器の蓋の内側中央部に放射線源となるマントル(トリウム-232 ( $^{232}\text{Th}$ ) を含む) を両面テープで貼り付けた。スポンジテープに十分な量のエタノールをしみ込ませ、蓋をして容器を密閉し、容器の底面全体と同サイズのドライアイスの上に置き放置した。10 分後、部屋を暗くし、容器の横側から LED 懐中電灯にて光をあてて、飛行機雲上の放射線の飛跡を観察した。飛跡から、観察された放射線の種類を推測させた。

## 結果

$\beta^-$ 線の物質による吸収実験では、はじめの講義で学んだとおりアルミ板の厚みが増すについて測定される $\beta^-$ 線が明らかに減っていくことが確認できた。典型的な実験結果例を以下に示す（図1）

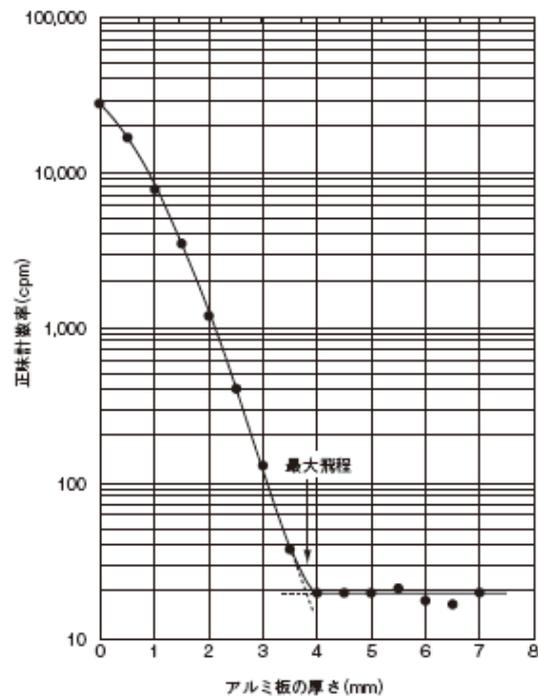


図1  $\beta^-$ 線のアルミ吸収板による吸収曲線

これに対して、アクリル板を用いた場合は、 $\beta^-$ 線の減弱はほとんど観察されなかった。さらに $\gamma$ 線の物質による吸収実験を行ったところ、鉛板の厚みが増すについて測定される $\gamma$ 線が減っていくことが確認でき、講義で学んだ内容を確認することができた。典型的な実験結果例を以下に示す（図2）

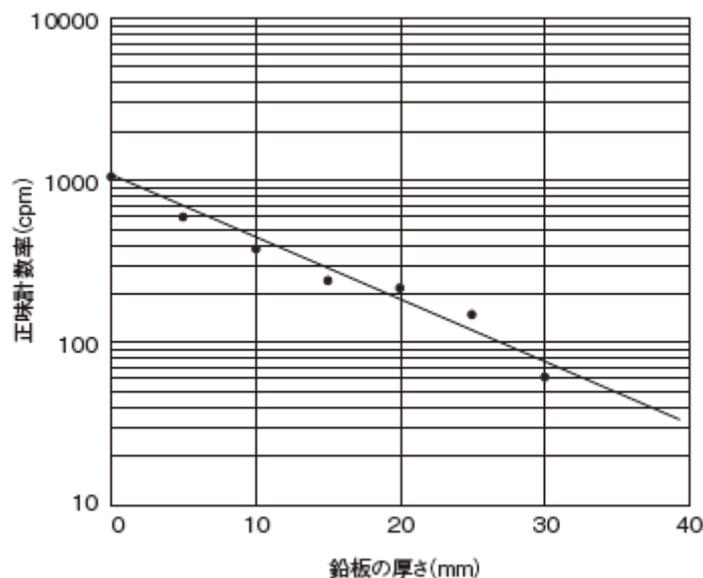


図2  $\gamma$ 線の鉛吸収板による吸収曲線

これに対して、 $\beta^-$ 線を十分に減弱させることができた厚みのアルミ板 (4.0 mm~5.0 mm) では  $\gamma$ 線を減弱させることはほとんど出来なかった。

次に霧箱を用いて放射線の飛跡を観察したところ、主に2種類のパターンに分類できることが分かった。一つはほぼ直線状に伸びて消えるもので、もう一つはカーブを描いて消えるものであった。これらの結果から、観察された放射線の種類は何であるかを考察させた。その結果、霧箱において放射線と相互作用している物質は比較的原子番号の小さい原子から成る空気とエタノールであることから、飛跡を観察できるのは物質と相互作用しやすい $\alpha$ 線または $\beta^-$ 線であり、 $\gamma$ 線ではないと受講生は推測した。

## 考察

今回、座学で学んだことを高度な実験によって理解を深めさせることで、初めて目にする現象についても修得した知識で説明できるようになるかを調査し、これが指導要領に記載された高校物理の学習目標を達成する方法として適切であるかを検証した。このとき一般的な高等学校では容易に扱えない放射線測定機器を用いて、「放射線と物質との相互作用」に関する実験を行った。

最初の講義の中で、放射線の本体が何であるかを十分に理解させ、そこから予想できる放射線の物質中での挙動をイメージさせた結果、受講生は極めて実験データの解釈をスムーズに行い、かつ自ら予想を立てながら実験を進めることができた。このことは科学的デ

一タを通して現象を実感させることが、座学で学んだ知識の理解を深めさせるために有効であることを示している。さらに高度な機器を利用した実験は、正確な数値を通して現象を把握できるため、観察した現象から科学的な規則性を見出そうする姿勢の育成にも効果的であったと考えられる。

次に霧箱による飛跡観察において観察された放射線の推測実験により、高度な実験で理解を深めた原理を用いて、受講生が初めて観察する現象を解析できるかを確認した。その結果、放射線の飛跡観察は初めてであったにもかかわらず、各放射線の特性と物質を構成する原子の原子番号との関係を使って、空気とエタノールとの相互作用によって飛跡を作り出せるのは、 $\alpha$ 線と $\beta^-$ 線であり、 $\gamma$ 線ではないと推測することができた。これは既に明らかにされている事実と一致するものであった<sup>2,3)</sup>。このことは、実験によって基礎的知識の理解を深めることが、はじめて出会った現象を分析できる能力を引き出すことに役立ったことを示している。さらには、既に得られた知識で説明できない現象に出会ったとき、それを解明しようとする探究活動の芽生えにつながるものと思われる。

以上のことから、高校で学ぶ物理学において、大学での高度な実験を体験させることは、高校生の探究活動を高めるために有益であると結論付ける。



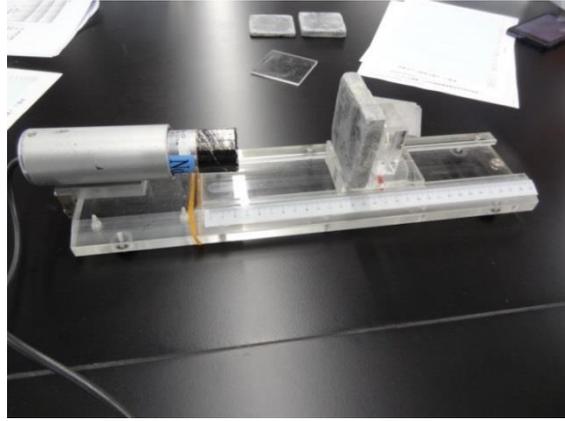
「放射線と物質との相互作用」の講義



GM 計数管とスケーラー装置



鉛板による  $\gamma$  線の吸収実験



測定実験の様子



霧箱の作成



放射線飛跡の観察

### 参考文献

- (1) 文部科学省：高等学校学習指導要領解説 理科, pp 25-48 (2009).
- (2) 大野新一：霧箱による  $\alpha$  線飛跡観察からわかること. 放射線教育 **10** (1), pp15-22 (2006).
- (3) C. Ó Ceallaigh: Nuclear Scattering of Fast  $\beta$ -Particles in the Cloud-Chamber Projected Form of Mott's and Other Scattering Formulae with Tables. *Proceedings of the Royal Irish Academy. Section A: Mathematical and Physical Sciences.* 53, pp.133-144 (1951).

# 大学水準の化学合成実験による高校生に対する 実験先行型教育に関する考察

八木 健一郎<sup>1</sup>、伊藤 陽一<sup>1</sup>、甲斐 俊次<sup>1</sup>、加藤 真介<sup>1</sup>、木浪 信之<sup>2</sup>

<sup>1</sup>横浜薬科大学 薬学部, <sup>2</sup>鎌倉高等学校 理科

## 要旨

高校生が大学水準の化学合成実験を通じて、高校化学の理論を修得するための実験先行型教育の一環として、食用油と水酸化ナトリウムのけん化反応による石けん（脂肪酸ナトリウム）の合成に関する実験を行った。シャボン玉を生成することにより、石けんの合成を確認するとともに、石けんを添加することにより水の表面張力が低下することを理解した。ミセルや塩析、表面張力などの界面活性剤の性質は、物理化学や物理薬剤学などの薬学部の科目で習得する理論である。大学水準の実験にもかかわらず、すべての理論を理解し、あらゆる疑問を解消しようとする高校生の積極的な姿勢がうかがえた。

## 序論

新たに改訂された高等学校学習指導要領によれば、「化学基礎」と「化学」にほぼ共通して、目的意識をもって観察、実験などを行い、化学的に探究する能力と態度を育てるとともに、化学の基本的な概念や原理・法則の理解を深め、科学的な自然観を育成することを目標に掲げている。また、「化学基礎」と「化学」の各項目に探究活動が設けられており、各項目の学習活動と関連させながら観察、実験を行い、報告書を作成させたり発表を行う機会を設けたりすることとある。指導要領の改訂により、理論と実験の両側面から化学の勉学に取り組むための、より実践的な教育が要求される。

本論文では、実験先行型教育のモデルケースとして、大学水準の化学合成実験を行い、高校生の理論修得に対する教育効果を検証した。実験先行型であることをより確実にするため、当該実験に関する理論を未修得の高校1年生、2年生を対象とした。実験に先立ち、実験に関連する物質の構造や性質について、詳細な理論に踏み込まず、図1の資料を用いて簡潔に説明した。あらかじめ物質の構造や性質を示し、実験を通じてそれらを経験的に

理解することは、理論の修得に極めて有効である。多くの場合、物質の構造や性質の理解と理論の修得がほぼ並行して行われており、物質の構造や性質の理解が曖昧のうちに理論の修得を試みる高校生も少なくない。この点で、実験先行型教育の方が理論先行型教育よりも有効であると考えられる。ただし、実験の実施後、なるべく期間を開けることなく理論を修得することが望ましい。

### § 1. 食用油と石けんのちがいを

☆ 食用油・・・脂肪酸とグリセリンのエステル

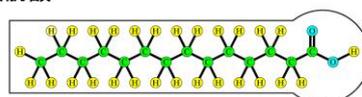
☆ 石けん・・・脂肪酸ナトリウム

☆ 脂肪酸・・・ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$

☆ グリセリン・・・ $\text{CH}_2(\text{OH})\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH}$

### § 2. 物質の構造 その1

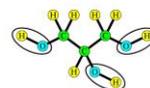
☆ 脂肪酸



アルキル基（疎水基）      カルボキシ基（親水基）

☆ グリセリン

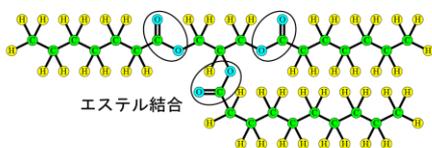
プロパンの3つの炭素原子  
それぞれにヒドロキシ基が  
置換した3価アルコール



ヒドロキシ基

### § 3. 物質の構造 その2

☆ 食用油



食用油は、グリセリン1分子に対し脂肪酸3分子が  
エステル結合したトリアシルグリセロール

### § 4. 食用油のけん化反応

☆ エステルの加水分解反応



※ R、R'はアルキル基

☆ けん化反応



食用油                                  石けん          グリセリン

食用油と水酸化ナトリウムがけん化反応すると、  
石けん（脂肪酸ナトリウム）とグリセリンが生成する。

図1 物質の構造とけん化反応の説明

## 実験

本実験では、市販の4種類の食用油（サラダ油2種類、ごま油、オリーブ油）と水酸化ナトリウムをけん化反応させ、石けん（脂肪酸ナトリウム）を合成した。食用油各 10 mL をメスシリンダーにとり、3 mol/L 水酸化ナトリウム液 10 mL およびエタノール 20 mL と併せて三角フラスコに入れ、約 80°C で 20 分間加熱した（図2）。この反応液を飽和食塩水 100 mL に混合し、塩析した石けんを布でろ過し、精製水で洗浄したのち、固形石けんとして収集した（図3、図4左）。得られた石けんを水に溶かし、シャボン玉を生成することにより、石けんの合成を確認した（図4右）。

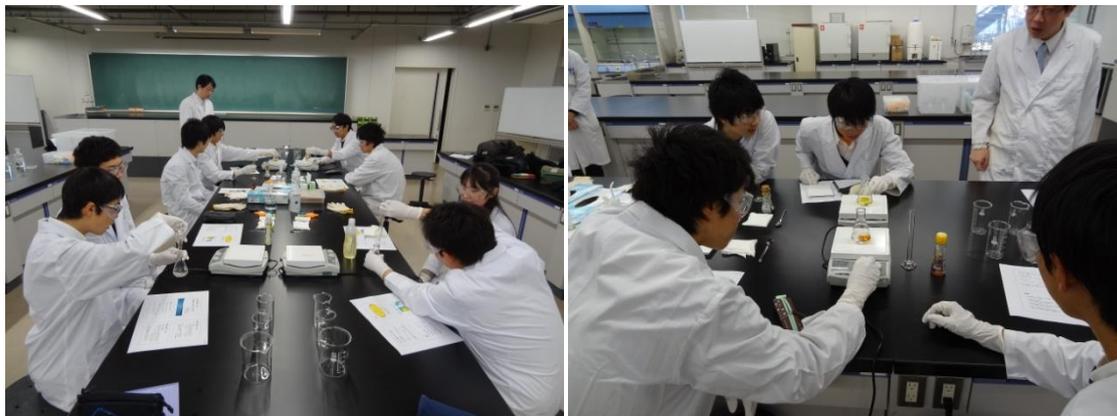


図2 食用油と水酸化ナトリウムのけん化反応



図3 石けんの塩析 (左) とろ過 (右)



図4 石けんの収集 (左) とシャボン玉の生成 (右)

## 結果と考察

食用油は、グリセリン1分子に対し脂肪酸3分子がエステル結合したトリアシルグリセロールである。食用油は塩基性溶液中で加水分解され、脂肪酸塩とグリセリンを生成する。これをけん化反応という。けん化反応によって得られた脂肪酸塩が石けんである。本実験では、4種類の食用油と水酸化ナトリウムをけん化反応させ、それぞれの石けん（脂肪酸ナトリウム）を合成した。食用油は疎水性相互作用のため水に対する溶解度が極めて低く、水に不溶である。一方、石けんは水溶液中において親水基で覆われたミセルを形成するため、水に可溶である。けん化反応の過程において、不溶性の食用油から可溶性の石けんへと変化する様子を目視で確認した。

ミセルを形成した石けんに多量の塩を添加すると、ミセルの表面を覆うカルボキシ基の負電荷が対イオンで中和され、ミセル同士の分子間相互作用により石けんは凝集し、析出する。これを塩析という。本実験では、合成した石けんを飽和食塩水に混合し、塩析した石けんをろ過し、精製水で洗浄した後、固形石けんとして収集した。

石けんは代表的な界面活性剤である。石けんを水に添加すると、石けん分子が水の表面に吸着し、水の表面張力を著しく低下させる。純水の表面張力は約 70 mN/m であり、他の液体と比べて大きい。表面張力が大きいほど、表面付近の液体分子は不安定になり、できるだけ表面積を縮小しようとする力が働く。これを表面張力という。表面張力のため液体は球形を保とうとする性質があり、表面積の大きな薄膜を形成することは極めて困難である。しかしながら、石けん水のように表面張力の小さな液体であれば、薄膜を形成することが可能となる。本実験では、石けん水の薄膜であるシャボン玉を生成することにより、石けんの合成を確認するとともに、石けんの添加により水の表面張力が低下することを理解した。

## 結論

実験先行型教育のモデルケースとして、大学水準の化学合成実験を行い、高校生の理論修得に対する教育効果を検証した。4種類の食用油と水酸化ナトリウムをけん化反応させ、それぞれの石けん（脂肪酸ナトリウム）を合成した。シャボン玉を生成することにより、石けんの合成を確認するとともに、石けんの添加により水の表面張力が低下することを理解した。ミセルや塩析、表面張力などの界面活性剤の性質は、物理化学や物理薬剤学など薬学部の科目で習得する理論である。大学水準の実験にもかかわらず、すべての理論を理解し、あらゆる疑問を解消しようとする高校生の積極的な姿勢がうかがえた。

# 高大連携による相互教育の活性化と高校生の学習意欲の向上に関する取り組み

甲斐 俊次<sup>1</sup>、伊藤 陽一<sup>1</sup>、加藤 真介<sup>1</sup>、八木 健一郎<sup>1</sup>、木浪 信之<sup>2</sup>

<sup>1</sup>横浜薬科大学 薬学部、<sup>2</sup>神奈川県立鎌倉高等学校 理科

## 要旨

高大連携による相互教育の活性化と、高校生が実験などにより、化学的に探究する能力と態度を育てるため、大学の実験室で実際にアスピリンを合成し、核磁気共鳴スペクトル (NMR) 法によりその構造を確認する実験を行った。生徒は実験に積極的に取り組み、身近に存在する医薬品を自らの手でつくり、構造を確認することで、化学に対する興味・関心が高められたことが推察された。

## 緒言

高等学校と大学が連携して行う教育活動 (高大連携) は、平成 11 年に中央教育審議会 (中教審) が提出した答申 (初等中等教育と高等教育との接続の改善について) を機に普及し、本学でも平成 18 年の開学以来、出張授業、出張実験等により近隣の高等学校との教育交流を活発に行ってきた。これから先も、高等学校の生徒の視野を広げ、進路に対する意識や学習意欲を高めるとともに、大学の求める学生像および教育内容等への理解を深め、かつ高等教育・大学教育の活性化を図っていくため、高大連携を積極的に進めていくことが望まれている。

また、平成 24 年の高等学校の学習指導要領の改訂により、基礎的・基本的な知識・技能の習得と思考力・判断力・表現力等の育成との両方が重視されるようになった。「化学基礎」と「化学」では、他の理科系科目 (物理、生物、地学) と同様、旧課程の「化学Ⅰ」、「化学Ⅱ」の目的、内容が大きく変更されている。

「化学基礎」は、中学校で学習した内容を基礎として、日常生活や社会との関連を図りながら物質とその変化への関心を高め、観察、実験などを通して、化学的に探究する能力と態度を育てるとともに、化学の基本的な概念や原理・法則、化学の果たす役割を理解さ

せ、科学的な見方や考え方を養うことを目標としている。そのため、化学特有の考え方や化学的に探究する方法を学ばせるとともに、日常生活や社会で利用されている具体的な事例を取り上げて化学の果たす役割を理解させ、生徒の化学に対する興味・関心を高めるようにすることを重視している。

「化学」は、「化学基礎」との関連を図りながら、更に進んだ化学的方法で自然の事物・現象に関する問題を取り扱い、観察、実験などを通して、化学的に探究する能力と態度を身に付けさせるとともに、化学の基本的な概念や原理・法則の理解を深めさせ、科学的な自然観を育成することが目標とされている。そのため、観察、実験などを通して探究的な活動を行うことが重要であり、化学の概念や原理・法則も、単に記憶するだけではなく、常に物質の示す具体的なふるまいと結び付けて理解させることが必要とされる。探究的な活動では、具体的な課題解決の場面で用いることができるよう、観察・実験などを通して化学的に探究する方法を習得させ、報告書を作成させたり、発表を行う機会を設けたりすることが求められている。

このような学習指導要領の改訂による学習意欲の向上と、高大連携による教育の活性化を図る目的で、平成27年1月10日（土）に神奈川県立鎌倉高等学校と本学との高大連携講座を行った。講座の内容は、解熱・鎮痛薬などとして広く使われているアスピリンの合成とその構造解析についての講義と実習である。アスピリンの合成は、本学の化学系実習Ⅱで実際に行っており、ほぼ同じ内容で実施した。構造解析は、化学物質の構造決定に用いられている機器分析法全般に関する講義と、合成したアスピリンの構造確認のために用いる核磁気共鳴（NMR）スペクトル法について、原理など基礎的な内容の講義とこの実習で合成した試料の測定を行った。

## 方法

### 日時と場所について

平成27年1月10日（土）13時30分から16時30分まで、横浜薬科大学の化学系実習室Ⅰ（E21）と中央機器室NMR室（D14）で行った。

### 参加人数とグループについて

生徒は8名（1年生4名、2年生4名）で、2名ずつ4グループに分かれて実験を行った。

### アスピリンの歴史についての説明

実験の前に、アスピリンが医薬品として発売されるまでの経緯について説明した。古くからヤナギに鎮痛作用を有することが知られ、そのエキスがサリシンと名付けられたこと、サリシンを加水分解してサリチルアルコールに、さらに酸化してサリチル酸が合成されたが、胃腸障害があったこと、その後、サリチル酸のアセチル化によりアスピリンが合成され、1899年にドイツのバイエル社から発売されたことなどを説明した。

### アスピリンの合成についての説明

アスピリンの合成について説明した。アスピリンはサリチル酸のアセチル化により合成されるが、このアセチル化はエステル化反応の一種であること、エステル化はアルコール（サリチル酸の場合はフェノール）とカルボン酸との脱水縮合反応であること、アセチル化の試薬として用いる無水酢酸は酢酸二分子から水がとれた酸無水物であることを説明した。

### 実験方法についての説明

実験方法について説明した。サリチル酸 1.5 g を 100 mL のビーカーに入れ、無水酢酸 4 mL、濃硫酸 1~2 滴を加え、50°C の水浴上で 15 分間攪拌すること、その後、結晶析出まで冷却し、冷水 40 mL 加えてよく攪拌した後、吸引ろ過し、結晶を水 10 mL で 2 回洗うことを説明した。今回の実験では再結晶を行わなかったが、再結晶が物質の精製の一手段であることとその方法についてもあわせて説明した。

### 実験の実施

アスピリンの合成を実際に行った。実験の際は、安全のために必ず保護メガネを着用することを伝えた。サリチル酸は共通実験台にある上皿天秤で秤取し、無水酢酸と濃硫酸はドラフト内で加えた。攪拌、冷却、ろ過は各グループの実験台で行った。4 グループとも結晶を得ることができた。

## 化合物の構造決定、機器分析法についての説明

反応物を結晶析出まで冷却している間、化合物の構造決定・機器分析法について説明した。機器分析法にはX線結晶解析、元素分析、質量スペクトル、紫外・可視吸収スペクトル、赤外吸収スペクトル、核磁気共鳴スペクトル、旋光度・旋光分散スペクトル、円二色性スペクトルなどがあり、それらにより、分子式、分子量、官能基の種類、水素や炭素の並び方、原子や分子の空間的配置などがわかること、また、それぞれの測定法に使う電磁波の種類について説明した。

## 核磁気共鳴スペクトル法 (NMR) についての説明

続いて、今回の実習で実際に使用する核磁気共鳴スペクトル法 (NMR) について説明した。NMR では核スピンのエネルギー吸収・放出現象を見ている。まず、原子核は核スピンの固有の角運動量とそれによって生じる核磁気モーメントをもつこと、さらに、正の電荷をもち、自転しているため、磁場が発生し、磁石とみなすことができること、この核磁気モーメントが強い磁場下に置かれると、エネルギー (電磁波) を吸収・放出することが核磁気共鳴現象であることを説明した。次に、この核磁気共鳴現象は原子核の磁石が無数に集まった集合体と見ると、普段は核スピンの磁石がどれも勝手な方向を向いているが、ここで一定方向に強力な外部磁場をかけると、核スピンは外部磁場の方向に沿ったものと、それに逆らったものとの二種類に分かれてしまうこと、逆方向の核スピンの方がエネルギーは高く、磁場と同じ方向の核スピンの数はずかしく少なくなること、このエネルギーの差に相当するエネルギーをもつ電磁波 (ラジオ波) を照射すると、エネルギーの低い準位の核スピンの準位が上がることで、この現象が終われば核スピンは元の状態に戻ること、二つのエネルギー準位の差は、その核が所属する原子のまわりの環境に敏感で、水素核 ( $^1\text{H}$ ) では、ベンゼン環の水素とエタノールのメチル基の水素のエネルギー差が異なり、この差が化学シフトの値に対応していることを説明した。また、今回合成するアスピリンの水素原子の NMR ( $^1\text{H-NMR}$ ) スペクトルは、ベンゼン環の部分の 4 つの水素が化学シフト値 7~8 ppm 付近に 1 個ずつのピークとして、アセチル基のメチル基の 3 つの水素が化学シフト値 2~3 ppm 付近に 3 つ分まとめた 1 つのピークとしてあらわれること、サリチル酸の水素原子の NMR スペクトルは、ベンゼン環部分のピークはアスピリンと同じようにあらわれるが、アセチル基のメチル基のピークはあらわれないので、このピークを確認することで、合成した化合物がアスピリンであることの確認になることをあわせて説明した。

## 合成した化合物の NMR 測定

各グループが合成した化合物の結晶をそれぞれ少量ずつ NMR 測定管に入れ、重クロロホルム（クロロホルム-d, 0.05v/v% TMS 含有）を加えて溶かし、NMR 測定試料とした。中央機器室の NMR 室（D14）へ行き、各グループの試料の NMR を測定した。初めに NMR 装置（JEOL ECA500）の説明を行い、希望者から順に測定した。最初に測定した試料について、モニター上で測定データの解析と説明を行い、アスピリンに特有なピークが 2~3 ppm 付近にあらわれていることを確認した。以後の測定でも、アスピリンに特有なピークがあらわれ、4 グループの合成した化合物がすべてアスピリンであることを確認した。最初に測定した試料の測定チャートは、参加した生徒に 1 部ずつ配布した。

## 実験のまとめ

実習室に戻り、アスピリンの水素原子の NMR スペクトルについて再度説明し、NMR 室で配布した測定チャート上にあるピークの確認を行い、実験を終了した。

## 考察

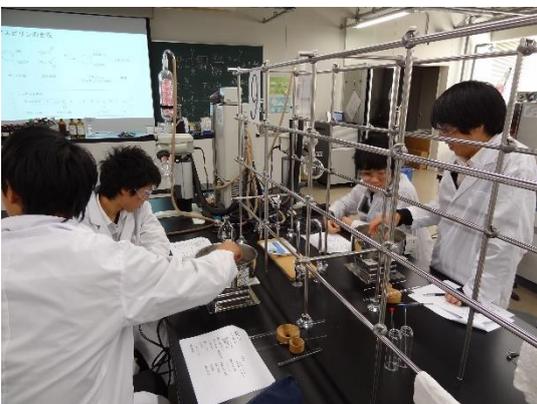
講座に参加した生徒は、初めの説明から熱心に聞き入っており、実験にも積極的に取り組んでいた。化学の実験は初めてとのことであったが、一つ一つの実験操作が大変滑らかで、初めてとは思えない手際の良さであった。全グループがアスピリンの結晶を得ることができた。身近に存在する医薬品を自分たちの手でつくるということで、興味深く実験を行っているようであった。また、NMR測定では、初め生徒たちは、自ら作った試料が本当にアスピリンであるのか心配していたが、アスピリンであることが確認されると、安心した様子になったことが印象的であった。このような日常生活に用いられているものを、実際に合成し、構造の確認を行うことで、生徒の化学に対する興味・関心を高めることに寄与することができ、学習意欲の向上に役立つものと考えられる。



実験全体の説明を聞く



試料、試薬を秤取



反応中



吸引ろ過



NMR 測定準備



NMR 測定の説明を聞く

