

中学校への出前授業での新しい分析技術の導入

- 高専間教員交流制度で得た教育力の利用 -

Introduction of Novel Analytical Method to Delivery Lecture for Junior High School
- Application of Educational Skills Learned from
Faculty Exchange Program of National College of Technology -

押手 茂克・林 真*

福島工業高等専門学校物質工学科

*福島工業高等専門モノづくり教育研究支援センター

Shigekatu Oshite, Makoto Hayashi*

Fukushima National College of Technology, Department of Chemistry and Biochemistry

*Fukushima National College of Technology, Manufacturing Support Center for Education and Research

(2012年10月5日受理)

To enhance the motivation of junior high school students toward studying advanced chemistry in National College of Technology (Kosen), the authors implemented a delivery service of an elementary experiment in analytical chemistry to a neighboring junior high school. This enterprise was based on the author's previous educational program carried out in another Kosen where one of the authors worked in the Faculty Exchange Program of National College of Technology. The "delivered lecture" to the junior high school was comprised of a concise introduction of quantitative analysis and an elementary quantitative analytical experiment based on the homogeneous liquid-liquid extraction (HoLLE) in which one of the authors has been intensively engaged. The introduction of the above advanced method of applied chemistry to the scientific education in the junior high school was intended to facilitate the motivation of participants before entering high school to study advanced sciences intensified in the curriculum of Kosen.

Key words: faculty exchange program of National College of Technology, education skill, educational effects, the homogeneous liquid-liquid extraction method, HoLLE

1. はじめに

独立行政法人国立高等専門学校機構は、「平成22年度授業報告書の国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する事項」において、優れた教員の確保のための手段の一つとして、「採用校以外の教育機関などにおいても勤務経験を積むことができるように人事交流を積極的に図ること」を報告している¹⁾。この高専間教員交流制度は、高専教員の力量を高め、高専全体の教育力の向上を図る目的で、採用された高専以外の高専で一定期間勤務した後に、元の高専に戻ることができる制度として、平成18年度より高専間での人事交流を実施している。更に、長岡技術科学大学、豊橋技術科学大学とも、平成19年度に「高専・両技科大間教員交流制度実施要項」を定め、平成20年度からは実際に教

員交流も実施している。平成22年度には、34人の教員を他高専及び両技科大に派遣し、両技科大から3人の教員を受け入れている。独立行政法人国立高等専門学校の平成22年度の業務実績評価では、本制度は高く評価されている²⁾。福島高専では、平成24年度までに2名の教員が本制度により、採用された高専以外の高専で一定期間勤務している。第一著者は、平成22年度の教員交流派遣者として、福島工業高等専門学校(福島高専)から八戸工業高等専門学校(八戸高専)に1年間の任期で赴任した。

筆者は、従来より、高専低学年の安全教育³⁾や、授業へのマイクロスケール実験の導入とその有効性の検討^{4, 5)}を行ってきた経緯から、八戸高専物質工学科1年の授業で専門分野である分析化学を活かした授業を実施し、その効果と評価を報告した⁶⁾。

その報告において、新しい分析技術（著者の研究する均一液液抽出法 (HoLLE)⁷⁾）を授業に取り入れ、受講学生の分析化学への関心や工学への期待などを向上させる教育効果が得られた。高専間教員交流制度の目的を完全に達成するためには、出先の高専で得た成果を元の高専（福島高専）での教育研究等で十分に活用することが必要である。この新しい試みの教育効果の比較・検討のため、八戸高専物質工学科と同学年での実施が望ましいが、福島高専物質工学科の同学年では担当する授業がなく、同条件での実施が難しかった。そこで、まだ本格的な化学教育を受けていない年代で、分析化学への関心や工学への期待などを向上させる教育効果を得られれば、本校物質工学科1年に八戸高専物質工学科1年に対して試行的に実施した手法が応用できると考えた。そこで、中学校への出前授業を利用することにした。

本論文では、高専間教員交流制度で導入した新しい分析技術の授業への取り入れの試みを中学校への出前授業でも行い福島高専での教育力の向上に活かせるかを検討した結果を報告する。

2. 中学校への出前授業での新しい分析技術の導入

2.1 高専間教員交流で得た教育力

高専間教員交流中に、八戸高専物質工学科1年の「物質工学序論」の1回講義（100分）で教育的効果を検討し、その結果を報告した⁶⁾。検討から、講義内容は以下の6項目を基礎的要素として構成された。

- (1) 工学、分析化学の分野の内容であること。
- (2) 最近の話題を含めること。
- (3) 実験では、高専間教員交流制度の趣旨にそって著者の研究分野（分析化学）から具体的な題材を採ること。
- (4) 実験は、詳しい内容（反応など）が分からなくても、色の変化などの分かりやすい現象を題材にとりあげ、化学への関心が喚起できること。
- (5) 実験は、簡単に実施でき、所定の授業時間内で結果が得られるものであること。
- (6) 講義内容の評価や授業の問題点の検討ができるように、簡単な課題や宿題等を出すこと。

学生の関心を惹く身近な化学の話題とその演示実験を交互に繰り返しながら、工学全体から専門分野にまともを絞り込むことにより（工学への導入→身

近な話題→実験→分析化学→身近な分析化学の話題→著者の研究・実験）、よい結果が得られた⁶⁾。更に、授業評価アンケートを実施し、「授業で気になる内容」と「授業の感想」を学生（39人）に自由に記述させた。その結果、「資源エネルギーについて」（33%）、「金の回収」（23%）、「ダイオキシン問題」（13%）、「均一液液抽出（講義に導入した新しい分析技術）」（18%）、「実験があつてよかった」（49%）に特に高い関心が寄せられていることが明らかになった⁶⁾。これらの結果から、一般的に知られている語句に関連した専門的内容を話題とすると、授業への関心を高められることがわかった。また、講義の最後に新しい分析技術であるHoLLE法の講義と実験を行ったところ、「授業で気になる内容」の記述者のうち23%、「授業の感想」の記述者のうち18%の学生がこの方法に興味を示した⁶⁾。更に、授業評価アンケートの自由記述では、講義や実験の内容の未記述は少なかった。やはり学校の授業でとりあげた内容に関心・興味があつまるようだ。しかし、「授業の感想」の記述では、「分からなかったが、これから分かればよい」など将来的に化学を勉強する意欲を感じさせる前向きな感想が見られた⁶⁾。すなわち、興味を惹くような実験を多く体験させると、その実験の理解に必要な知識への興味や関心を高められる可能性がある。

2.2 「新しい分析技術」を盛り込んだ講義の構成

いわき市の中学校1校で出前授業を行った。この出前授業は中学2年生を対象とし、進路指導の一環として3年生での進路選択に備えるためのものである。上級学校の授業を体験する目的で本校が依頼を受けた。中学校からの出前授業への要望は、高専に興味のある学生24名に実験を行わせることと、上級学校（福島高専）での学習が体験できる授業を提供することの2点であった。

八戸高専物質工学科1年生で検討した授業は「実験の実施」、「著者の研究分野（分析化学）の利用」、「化学の楽しさを伝え、興味を惹くこと」の3要素から構成されていた。そこで、今回も、同じ要素を主に授業を構成することが望ましいと考えた。総授業時間110分のうち、講師紹介、上級学校に関する質疑・応答などに割く時間を除くと、正味の出前授

業の時間はおよそ90分であった。その授業内容を、Table 1に示す。高専を理解させるために、授業の冒頭で福島高専と物質工学科について説明を行った。

Table 1 Contents of Delivery Lecture for Junior High School.

授業形態	授業内容
講義	福島高専の学校紹介 [1] 福島物質工学科で学ぶこと
講義	分析化学：わかる（分離分析），はかる（定量分析）の重要性 [1] 鉄と金の生産量の比較 [2] 金鉱山と携帯電話からの金回収 [3] 水道水中のカルシウムイオン，海水中の金や環境中のダイオキシン
講義	はかる（定量分析）実験の説明 [1] 試薬による試料水中のカルシウムイオンや鉄（Ⅱ）イオンの呈色 [2] 実験（キレート滴定）手順の説明 [3] キレート滴定の終点の説明 [4] 定量計算の説明
実験	はかる（定量分析）実験 [1] 溶液調製などの実験準備 [2] キレート滴定の実施
講義	分析技術の重要性の説明 [1] 試料水中の濃度と実験値との比較 [2] 新しい分析技術と応用
実験	わかる（分離分析）実験：均一液液抽出法の実験 [1] 試薬を用いて，試料溶液中の鉄（Ⅱ）イオンの着色の確認 [2] 低濃度の鉄（Ⅱ）イオンを含む溶液を用いて，[1]と同様の実験 [3] 均一液液抽出法によって[2]の溶液を高倍率濃縮し，呈色の確認
講義	学生からの質問とアンケートの実施

続いて、分析化学の重要な要素である「わかる（分離分析）」、「はかる（定量分析）」を順番に説明し、分析化学の基本的な目的を理解させた。導入部が難しくならないように、鉄、金、携帯電話、カル

シウム、ダイオキシンなどの耳になじみのある語句を選び、話題提供を行った。はかる（定量分析）実験では、試料水中のカルシウムイオン（ Ca^{2+} ）の濃度をキレート滴定で求めた。そこで、日常でふれるものに含まれる特定の物質の「量」を話題にして中学生の興味・関心を高めることを試みた。具体的には、鉄の生産量、金の産出量、金鉱石中の金含有量、携帯電話からの金の回収量、水道水中の Ca^{2+} の量、海水中の金の量、環境中のダイオキシンの量を相互に比較し、身の周りの物質の量にまつわる感覚をつかんでもらうことをねらった。

次に、試料水中の Ca^{2+} の濃度を求めるためのキレート滴定の実験を行った。5つの主要内容（ Ca^{2+} を含まない水溶液にエリオクロムブラックT（EBT）試薬を加えると赤色になること、 Ca^{2+} を含む水溶液にEBT試薬を加えると青色になること、この溶液にエチレンジアミン四酢酸（EDTA）試薬を加えるとEDTAと Ca^{2+} の反応で赤色に戻ること、青色から赤色になるまで加えたEDTAの量から Ca^{2+} の量を求められること、ビュレットの使用法）を簡単に説明し、初学者が先入観として「難しさ」をいだかないように工夫した。試料水中の Ca^{2+} 濃度を求める計算式はこちらから与え、中学生は滴定に使用したEDTA水溶液の体積をビュレットから読み取り、計算式に代入して求めるという作業のみを課した。

最後に、新しい分析技術である均一液液抽出法（HoLLE）の講義とその実験を行った。最初に、鉄（Ⅱ）イオンと試薬（1, 10-フェenantrolin）との反応で生じる赤色の錯体を用いて、鉄（Ⅱ）イオンの濃度の大小が呈色の程度の大小に対応することを理解させた。鉄（Ⅱ）イオンの濃度が低すぎて肉眼では赤色を確認できないような試料水溶液に対してHoLLE法を適用して濃縮し、錯体の赤色を確認させた。

まとめとして、この方法を海水中の金やダイオキシンなどの微量物質の分離濃縮に応用したときの利点を想像させたのちに、質疑・応答と授業内容に関するアンケートを実施した。

2.3 実験

2.3.1 試薬及び器具

0.010 mol/dm³ EDTA 水溶液は、市販のエチレ

ンジアミン四酢酸二ナトリウム二水和物の所定量を蒸留水に溶解して調製した。pH 指示薬として、EBT のエタノール溶液を用いた。ホウ酸緩衝溶液 (pH 10) は、 0.1 mol/dm^3 ホウ酸ナトリウム水溶液と 0.1 mol/dm^3 水酸化ナトリウム水溶液を混ぜ、pH メーターで pH10 に調整して調製した。 $1 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ 鉄 (II) イオン水溶液は、硫酸鉄 (II) アンモニウム (モル塩) の所定量を 0.1 mol/dm^3 塩酸に溶解して調製した。更に、この溶液を 0.1 mol/dm^3 塩酸で、順次希釈して必要な濃度の鉄 (II) イオン水溶液を調製した。 $1 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ フェナントロリン水溶液は、1, 10-フェナントロリン塩酸塩の所定量を蒸留水に溶かして調製した。 0.1 mol/dm^3 ペルフルオロオクタン酸 (PFOA) 水溶液は、ペルフルオロオクタン酸を酢酸緩衝 (pH4.7) 溶液に溶解させて調製した。その他の試薬は、特にことわらない限り一般の市販試薬を用いた。

必要な実験器具類は、 50 cm^3 ビュレット、 100 cm^3 コニカルビーカー、 50 cm^3 スクリュー管瓶、ビュレット台、駒込ピペット、ポリ瓶、点滴瓶、卓上電子天秤であった。

2.3.2 実験

(1) はかる (定量分析) 実験 : キレート滴定

上級学校 (福島高専) での学習を体験したいという中学校からの要望にこたえるため、本校物質工学科2年次の分析化学実験で行っているキレート滴定を題材に扱った⁹⁾。中学校の理科室は、局所排気装置を使用できないため、臭いを発生するアンモニア緩衝溶液は用いず、かわりにホウ酸緩衝溶液を用いた。また、実験時間の制限から中学生に溶液は調製させず、すべての必要な溶液はあらかじめ調製した。

カルシウムイオンを含む水溶液と含まない水溶液に EBT 溶液を 2 滴加えたものをあらかじめ準備し、2つの水溶液でのエリオクロムブラック T (EBT) 指示薬の色の違いを観察した。次に、中学生に卓上電子天秤を用いてカルシウムイオンを含む試料水溶液 (数十 mg/L 程度) 25 g を 100 cm^3 コニカルビーカーに分取させた。その試料溶液に、EBT 溶液を 2 滴加え

させ、先に見せた 2つの水溶液と色の比較をさせた。次に、 0.010 mol/dm^3 EDTA 水溶液を 50 cm^3 ビュレットに入れたのち、EBT 溶液を加えた試料水溶液に EDTA 水溶液を滴下させた。試料水溶液の色が変化した時点における EDTA 水溶液の体積をビュレットの目盛りから読み取らせた。試料溶液中のカルシウムの濃度は、はかり取った試料溶液の質量 (g) と加えた EDTA 水溶液の体積 (mL) から求めさせた。

(2) わける (分離分析) 実験 : HoLLE 法

わかる (分離分析) 実験は、次に示す 2段階で行った。最初に、 $1 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$ 鉄 (II) イオン水溶液 1 cm^3 に L-アスコルビン酸 1 mg を添加して混ぜた後、 $1 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$ フェナントロリン水溶液 1 cm^3 と酢酸緩衝 (pH4.7) 溶液 1 cm^3 を添加して錯体を形成させた (赤色の溶液)。次に、 $8.3 \times 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$ 鉄 (II) イオン水溶液 60 cm^3 に同様にアスコルビン酸とフェナントロリン水溶液を添加したのち、 0.1 mol/dm^3 PFOA 水溶液 (pH4.7) 2 cm^3 、アセトン 2 cm^3 を添加して混ぜ、ほぼ無色の溶液を得た。この 2溶液はあらかじめ調製しておき、中学生にはフェナントロリン水溶液による鉄 (II) イオンの呈色と、鉄 (II) イオンの濃度の大小に対応する色の濃淡を観察させた。

最後に、後者の溶液 (鉄 (II) イオンの呈色が薄くて見えない) に、 4 mol/dm^3 硝酸 10 cm^3 を加えて軽く混ぜ、静置した。その後、容器の底に集まった微小の液体相に濃縮された錯体の色を観察した。錯体が容器の底の微小な液体相に濃縮された様子を Fig. 1 に示す。



Fig. 1 Precipitated droplet on the bottom of the beaker in which Fe(II) ion is concentrated.

2.4 授業内容のアンケート評価

本研究の目的上、高専間教員交流制度で得られた教育力を中学校への出前授業に応用することで、教育的効果がどの程度得られたかを評価する必要がある。そこで、出前授業に参加した中学2年生（24人）について、授業終了後にアンケートを実施した。

(1) 出張授業内容の満足度

出張授業を受けた全生徒の満足度のアンケート結果をTable 2に示す。生徒全員から、満足したという結果が得られたことから、高専間教員交流制度で得た教育力を基礎として構成した授業内容は、計画通りに中学生を満足させることができる内容であったと考えられる。

Table 2 Satisfaction result of questionnaire after the Delivery Lecture.

回答内容	回答者	割合/%
大変満足した (100-80%)	19	79
満足した (79-60%)	5	21
どちらともいえない (59-50%)	0	0
満足しなかった (49%以下)	0	0
未記入	0	0

(2) 授業の説明や作業の難易度

授業説明や作業の難易度に関する結果をTable 3に示す。58%の生徒が「とても簡単だった～普通」、42%の生徒が「難しかった～ちょっと難しかった」と回答した。

Table 3 Impression result of the scientific level after the Delivery Lecture.

回答内容	回答者	割合/%
とても簡単だった	1	4
簡単だった	8	33
普通	5	21
ちょっと難しかった	9	38
難しかった	1	4
未記入	0	0

中学生に上級学校の授業を体験させる趣旨から、本校物質工学科2年次の分析化学実験で行っているキレート滴定を題材に扱った。この選択自体が多くの中学生に難しかったと感じた原因であるか、アンケートの他の項目から検討した。アンケートの質問項目の一つに、「今回の授業の中でよくなかった点（難しかった、よく分からなかった）はありましたか？」を記載し、その結果から上記の点を評価した。

アンケートの結果より、授業内容を難しく感じなかったと見られる中学生の回答は、「なし」58.3%（14名）と未記入12.5%（3名）の合計から70.8%（17名）であった。

一方、授業内容を難しく感じた回答は、「難しかった」4.2%（1名）と「計算が大変だった」4.2%（1名）のみであった。残りの20.8%の回答の内訳は、「試薬の説明をもっと詳しくしてほしいかった」（1名）、「難しいところもあったが、楽しかった」（1名）、「特になく、面白かった」（1名）、「試薬がいろいろあり、よく分からなかった。名前が分かればよかった」（1名）、「高専の科学と中学の科学の違いが分かった。内容は難しかったけど、とても面白かった」（1名）であった。これらの回答は、さらなる化学的知識への意欲の表れとみなせるものであった。

これらの結果から、授業の難易度には問題なく、Table 3での「難しい」と回答した原因は説明不足と考えられる。授業計画の初期段階で極力簡潔な説明にした内容（試薬の説明）を、むしろ詳しく説明した方がより良い授業になったと推測できる。

(3) 授業の内容について

高専間教員交流制度で得た教育力を応用した出前授業が、目的とした分析化学への関心や工学への期待などを向上させる教育効果を得られたのかが重要な問題となる。そこで、アンケートに自由記述として、「今回の授業の中でよかった点（面白かった、ためになった）のは何ですか？」、「次回の出張授業があるならば、どのような授業を希望しますか」、「次回の出張授業があるときに、また参加したいですか？」の3つ質問を記載した。

第一の質問である「今回の授業の中でよかった点（面白かった、ためになった）のは何ですか？」の

回答は、キレート滴定の実験54%、均一液液抽出 (HoLLE) の実験記述25%、金属の量に関する講義13%、記載なし8%であった。上級学校の授業を体験させる中学校の趣旨と、分析化学への関心や工学への期待などを向上させる教育効果の両方を満足しているという結果が得られた。

第二の質問である「次回出張授業があるならば、どのような授業を希望しますか」の回答は、実験の希望79%、特になし4%、記入なし17%となり、次回出張授業への期待が高いことを示す結果を得られた。

第三の質問である「次回出張授業があるときに、また参加したいですか?」の回答は、「はい」88%、「分からない」12% (3人)、「いいえ」0%、記入なし0%となった。「分からない」12% (3人) の回答者は、上記の第一と第二の質問のどちらかにも記述していることから、実験によって参加を考えている生徒と考えられる。総じて、目的とした分析化学への関心や工学への期待などを向上させる教育効果を得られたと考えられる。

3. まとめ

高専間教員交流制度により平成22年度に八戸高専に1年間の任期で赴任した際に得た教育方法である新しい分析技術 (著者の研究する均一液液抽出法) を授業に取り入れる試みを、福島高専に戻った際に教育研究に応用することが可能かを検討した。アンケートの結果から、参加した中学生の分析化学への関心や工学への期待などを向上させる十分な教育効果を得られたと考えられる。

本来は、福島高専物質工学科1年生の化学への初期導入教育において十分な教育効果を得られるか否かを検討したかったが、該当科目を担当していないため実施できなかった。そこで、化学への初期導入教育を受ける前の段階である中学生に、この試みを実施した。新しい分析技術を導入した出前授業は、アンケートの結果から高い関心を得られていることが分かった。更に、アンケートの結果から、より高い知識の希求やさらに実験を希望する生徒の存在が確認でき、学習への高い意欲を感じる事ができた。本出前授業の改善点として、実験の説明での

試薬の説明をより専門的にすることなどが挙げられる。本研究で得られた高専間教員交流制度で得た教育力 (種々の知見) は、福島高専物質工学科1年生の化学への初期導入教育においても十分な教育効果を発祥できるものと考えられる。今後、本方法の実施により福島高専物質工学科の化学の初期導入教育をより活性化できると考えられる。

謝 辞

今回の出前授業に参加して頂いた中学生の皆様及び開催に際してご支援を頂きました中学校の先生方に感謝申し上げます。

高専間教員交流でお世話になりました高専機構、福島高専、八戸高専の教職員の皆様に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 独立行政法人国立高等専門学校機構：独立行政法人国立高等専門学校機構平成22年度事業報告書, p. 44, available from < <http://www.kosen-k.go.jp/information/H22jigyohokokusho1.pdf>>, (accessed 2012-8-3).
- 2) 独立行政法人国立高等専門学校機構：独立行政法人国立高等専門学校の平成22年度に係る業務の実績の評価, p.20, available from < <http://www.kosen-k.go.jp/information/H22hyokakekka.pdf>>, (accessed 2012-8-3).
- 3) 押手茂克, 内田修司, 羽切正英, 芳賀俊彦, 佐藤潤, 林真: 論文集「高専教育」, **33**, pp. 227-232 (2010).
- 4) 佐藤潤, 羽切正英, 内田修司, 林真, 押手茂克: 論文集「高専教育」, **33**, pp. 335-340 (2010).
- 5) 内田修司, 羽切正英, 佐藤潤, 林真, 押手茂克: 福島工業高等専門学校研究紀要, **50**, pp. 55-59 (2009).
- 6) 押手茂克: 八戸工業高等専門学校研究紀要, **45**, pp.39-44 (2010).
- 7) 五十嵐淑郎, 押手茂克: ぶんせき (Bunseki), **9**, pp. 702-707 (1997).
- 8) 荒木峻, 村上徹朗, 鈴木繁喬: 分析化学実験指針, pp. 90-91 (東京化学同人, 東京, 2004).