

## 2 化学の授業改善

### (1) ねらい

化学領域においては、高大連携のもとに、興味・関心の高い希望者が受講する放課後講義や実験と、今年度新たに実施したサイエンスアプローチに取り組んだ。特にサイエンスアプローチにおける北海道大学教員による講演では、次の点を重視した。今日のボーダーレスな科学技術を学ぶにあたっては、化学の知識や考え方は不可欠であり、生徒が化学と社会、あるいは化学と他分野との係わり合いについてより深く認識できるようになることを目的とした。また、化学の醍醐味である未知への挑戦をさせる取組「高大連携プロジェクト実験」を今年度新たに設定した。

### (2) 実施概要

< 授業との関連・発展型講義（放課後講義） >

ア 第1回「燃料電池の化学」場所：本校 参加生徒：47名

講 師 北海道大学触媒科学研究センター 大澤 雅俊 教授

教科書の本文中に参考として、燃料電池の原理説明と反応式が記載されている。この講義を設定したのは、燃料電池の装置が高価で、演示するには水素ガスのボンベ等が必要となり、高校の授業では実際の器具を用いるのが難しいためである。

当日は演示用の燃料電池を本校に持ち込み、発電実験を行った。

講義後の質問では、なぜ白金が特に触媒としての能力が高いのか、なぜ水素を供給するときに水を一度通すのか、現状で自分達はどのようなことを学習しておく必要があるのかなど、多岐に渡る多くの質問が出ていた。講演終了後のアンケートでは、燃料電池の構造や反応に使われる触媒に関する記述が多く、将来環境問題に貢献できる研究として取り組みたいとの記述もあった。さらに実際の発電装置に触れたことに対する記述も多く、最も強く生徒の印象に残ったようであった。

環境問題はタイムリーなテーマであった。また、3年生にとっては触媒や触媒の性質を示す遷移金属の内容を学習し終えた直後であり、時期的にとても良かった。

1・2年生にとっては触媒や遷移元素はまだ学習していない分野であるため、平易に解説していただいた。今後もこのようにタイムリーで将来性のあるテーマが生徒の知的好奇心を刺激するために有効と考えている。

イ 第2回「立体不斉合性の化学」場所：本校 参加生徒：38名

講 師 北海道大学理学研究科 宮下 正昭 教授

脂肪族カルボン酸の光学異性体に関係する講義であった。授業では乳酸の他に味の素（L-グルタミン酸ナトリウム）やサリドマイド等の内容を紹介した。この講義を設定したのは、実際に光学異性体がどのように選択的に合成されるか、どのような研究がなされているかを、生徒に身近に感じさせるためである。

講義は、一年生のために分子の形から話が始まり、不斉分子についての説明の後に、生物に効くのはL形であることが説明された。そして、L形の不斉分子だけをどう合成するかに関して、2001年にノーベル化学賞を受賞した野依先生の業

績と、BINAP触媒に関する内容についても説明がなされた。最後に、現在の研究テーマに関し、研究の対象が免疫抑制剤や骨粗鬆症の治療薬・抗ガン剤・農薬等、多岐に渡っているとの説明があった。

全学年とも有機化学の知識が乏しく、3年生においても不斉分子に関する学習を完了していなかったことから、生徒は全体的に十分理解できず、質問があまりなかった。一昨年のノーベル賞受賞に関係するテーマでもあり、生徒の興味を引くと考え実施したが、講義内容が生徒の知識を超えていたため難しくなってしまった。講演終了後のアンケートでは、創薬に関する記述が多く、薬学や生理活性物質に関する興味の高さが表れていた。しかし、光学活性や旋光性については、生徒に十分理解させることができず、有機化学の学習を十分行ってから実施すべきであった。

来年度以降は2年生後期の1・2月頃にこの分野を学習することになるので、今後このような分野に関する2学年対象の講義は、後期に行うのが効果的だと考えている。

#### ウ 第3回「分離・分析の化学」場所：北大講義室・実験室 参加生徒：15人

講師 北海道大学大学院理学研究科 喜多村 昇 教授

中和滴定や酸化還元滴定、金属イオンの分離確認、有機化合物の分離・精製に関する講義を行った。この講義を設定したのは、高校で扱う分離・分析が、沈殿や抽出等のみであるため、現在研究されている最新の分離・分析法について学習する機会を設けるためである。

講義では、高校で学習する測定方法以外に電磁波や光(紫外・可視・赤外)・X線等による測定が紹介された。また、現在のDNA塩基配列の解読には、極微量で繰り返し測定が可能なマイクロチップが利用されており、そのチップにDNAの断片を流して得られた塩基配列に関する情報をコンピュータで解析する方法についても紹介された。

現在研究されているテーマとしては、マイクロチップを利用した化合物の高収率合成やレーザー光を利用した光ピンセットが紹介された。実験終了後には分析化学研究室の実験室を見学し、講義で紹介されていた光ピンセットの装置や様々な実験装置を見学できた。講義終了後のアンケートでは、光ピンセットやマイクロチップに関しての驚きの記述が多く、全く新しい手法に対する関心の高さが表れていた。また、講義終了後に行なわれた実験室見学に関する記述も多く、実際の実験装置や研究者自身による説明に好奇心を刺激されたことが分かる。

このような実際の実験装置の見学や実験室の見学は、生徒にとって将来進むであろう大学を知るうえでも大変有効である。オープンキャンパスと異なり、少人数で研究者から直に説明を受ける機会は大変貴重なものであった。

#### エ 第4回「原子・分子を見て操る」場所：北大ゼミ室 参加生徒：20名

講師 北海道大学大学院理学研究科 魚崎 浩平 教授

原子に関しては、実際の像を見ることは難しい。また、高校の授業内容では、実際に原子や分子を見るために、どのような方法があるか、装置はどのようなものが示す程度の内容しか指導できない。そのため、北大に出かけ専門的な講義を受け、講義終了後に物理化学研究室の実験室見学を行うこととした。

講義は、最初に走査型トンネル顕微鏡(以下STM)や、原子間力顕微鏡(以下AFM)、操作プローブ顕微鏡(以下SPM)の原理説明が行われた。また、探針を強い力で走査することで表面を削ったり、電気化学的に金属原子を選択して析出させたりして原子を操ることができることが説明された。講義終了後、実験室でSTMの探針を白金線から作ったり、実際にSTMの操作を行ったりした。生徒は、各自が作成した探針を使ってグラファイトの表面像を見た。その後、物理化学研究室のその他の実験室を見学し、現在の研究テーマや実験装置について大学院生から説明を受けた。

講演終了後のアンケートでは、実際に操作した実験装置に関する記述が多く、実物を見るだけではなく、直接作業をすることを生徒が望んでいることが分かった。また、研究テーマに関する記述も多く、生徒が研究室でどんな研究が行われているかに強い関心があることが分かった。

今回のような実験室見学は、多人数で行われるオープンキャンパスと異なり、少人数で研究している大学院生から直接テーマや装置の説明を受けることができるため、これは大学・学部・学科を選択するための情報を得る上で、かなり重要と考える。

オ 第5回「癌とその制御」場所：本校 参加生徒：21名

講師 北海道大学大学院理学研究科 坂口 和靖 教授

アミノ酸について、教科書では、分子構造、光学異性体の存在、タンパク質の成分などの内容しか扱っていない。また、授業では生物分野と重なるDNAとの関わりについて一部扱っているが、DNAの情報を基にアミノ酸から特定のタンパク質を合成するところまでの過程は、生物を選択した理系の生徒しか十分に学習していない。このような状況を踏まえ、この講義を設定した。

講義は、各自がアミノ酸の分子模型を作り、構造を理解するところから始まった。次に、結合するアミノ酸の順番が特定のタンパク質を決定することや、その順番はDNAに記載されていることや、何らかの原因でDNAが損傷すると変異したタンパク質が生じ細胞ががん化することが説明された。その中でDNAの構造を理解するために全員でDNAの模型を作り、二重らせん構造を確認した。また、現在の研究テーマとして、がん抑制タンパク質のはたらきと、その構造に関する研究についても説明を受けた。

講演終了後のアンケートでは、アミノ酸やDNA模型の作製に関する記述が多く、模型作製が講義内容の理解に重要であったことが分かった。講義に作業を取り入れることで内容が一層具体的になり、理解も集中力も高まった。今後の講義に関してもこのような作業やより内容の具体的な表示が、十分な知識を持たない生徒の学習に有効であることが分かった。

< 北大で行う実験 >

ア 第1回 「陽イオン分析」

北海道大学大学院理学研究科 喜多村 昇 教授

授業では、溶解度積の内容が化学 で扱われることになっているため、一般的な分離・分析の方法しか扱っていない。より詳しい原理についての理解や実際の分離実験は、化学に興味・関心を示す生徒への発展的学習に必要であると考え、今回の実験を設定した。

午前中は本校教員が実験原理の説明を行い、午後に分離実験を行った。実験は、5種類の金属陽イオンが入った試料溶液から、それぞれの陽イオンを沈殿として分離した。全員の生徒が、それぞれ個別に与えられた試料について正しい実験結果を導き出していた。

実験終了後のアンケートでは、沈殿の生成や溶液の色の変化に関する記述が多く、実験を楽しく行い得られた結果に満足していることが分かった。しかし、実験原理に関しては十分理解出来なかったとの記述もあり、1・2年にとっては内容的に難しいものであった。また、時期を3年生の授業進行にあわせて夏季休業中としたが、3年生は受験のためか、参加者は2人であった。3年生を対象とした日程については、前期の前半にする必要があると考えている。

イ 第2回 「錯体合成」

講 師 北海道大学大学院理学研究科 稲 辺 保 教授

高等学校の実験では、化合物の性質の確認や、酸塩基・酸化還元による定量実験が多く、特に錯イオンを含む錯塩の合成を扱った実験がない。高校の授業で扱わないこれらの事項を補うために、今回の実験を設定した。

今回の実験はトリオキザラートコバルト( ) 酸カリウム三水和物を合成する実験であった。まず、炭酸コバルトを二酸化鉛で酸化して+6価のコバルトイオンにし、シュウ酸ナトリウムを加えて目的の錯体を合成した。参加した生徒は、注意深く指示された実験手順を実行し、十分な収率で目的の錯体を得ることができた。

第1回の「陽イオン分析」と同様に3年生の授業進度に合わせた時期を設定したが、前回の実験と同様に3年生の関心が低く、参加人数が7名ととてもすくない状況となった。来年度は新教育課程の二年生を対象とした日程が良いと考えている。また、生徒は自分で合成した錯体を手にし、とても満足そうであったので、今後は希望者を募集する際に実験の楽しさおもしろさをアピールするとともに、放課後等の時間で簡単な合成や定性の実験などが体験できる機会を作っていきたい。

ウ 第3回 「イオン交換クロマトグラフィー」

講 師 北海道大学大学院理学研究科 喜多村 昇 教授

陰イオン交換樹脂を用いて、金属イオンを分離する実験を行った。はじめに、ガラス管に詰めた陰イオン交換樹脂の上部に試料を入れ、過剰の塩化物イオンとの結合で生じる試料中の金属錯イオンと樹脂を結合させた。次に、水素イオン濃度の異

なる塩酸溶液をガラス管に流し、水素イオン濃度の変化に伴い、塩化物イオンと金属錯イオンの交換比率が変化することを利用してイオンを分離した。ガラス管に流す塩酸溶液の濃度を変えると、溶出する金属イオンの種類の変化によって色も変化する。微妙な色の変化を示すイオンもあり、慎重に実験が行われ、全員が分離に成功した。早く終了した生徒の試料を用いて、分離後のイオン濃度の測定を吸光分析器を用いて測定した。

実験終了後のアンケートでは、実験原理をある程度理解できたとの記述が多かった。特に、溶出する溶液とカラムの色の変化に関する記述が多く、実験中の様々な変化を十分観察できていたことがわかった。

#### < 未知への挑戦 高大連携プロジェクト実験 >

北海道大学大学院理学研究科により、2つのプロジェクト実験が用意された。いずれも、今年度5回にわたり研究室での実験を続けており、1回に5時間以上を費やしている。このプロジェクトは現在継続中であり、次年度にも同じメンバーにより継続されることになっている。未解決問題に対し、本校生が一定の研究成果を得てくれることを期待しているが、未知の課題について探求するときのワクワク感を味わうことで、生徒が一層科学に引かれることを最大のねらいと考えている。

#### ア 「アビエチン酸の消臭効果」参加生徒 9名

森の中では長い年月に渡って動植物の世代交代が行われている。本来生命活動が停止し朽ちていく際には独特の臭気が発生するが、森ではその様な臭いはほとんど感じられない。これは森自身が持つ消臭効果の現れであり、具体的にどの様な物質がその効果を担っているかを調べることにした。

下調べの中で、松ヤニの成分として知られているアビエチン酸に消臭効果があるようなので、手始めにこの物質を対象として実験を行うこととなった。

実験は一定量のアビエチン酸とアンモニア水をサンプル瓶に入れ、消臭効果によって減少するアンモニアの量をガスクロマトグラフで測定した。同温度でアンモニアを飽和させたサンプル瓶のアンモニア量と比較すると、時間およびアビエチン酸の質量に比例して減少していることがわかった。

次に、どの様な形でアビエチン酸がアンモニアを吸収しているかを知るために、大学の測定装置を利用してアンモニアを吸収する前と後のアビエチン酸の変化を測定した。元素分析の結果からは、アビエチン酸とアンモニアは1：1で結合しており、その他に水を2分子吸着している事がわかった。赤外吸光分析では、吸収スペクトルの変化からアビエチン酸がアンモニアとカルボン酸の塩を作っていることがわかった。

1月の冬休み終了までに、以上の結果が得られたので、これらをまとめて2月のSSディで発表した。今後の実験に関しては、ガスクロマトグラフを使ってアビエチン酸の純度を測定するとともに、アビエチン酸をエステル化してカルボン酸としての性質を失わせた場合に、アンモニアを吸収するかを検証する予定である。また、アビエチン酸にアンモニアを吸収させるとアンモニア臭が消えるとともに、別の甘い匂いが生じているようなので、その臭気に関する実験や、アンモニア以外の臭い

物質の吸収についても、次年度に実験を継続していくことになっている。

#### イ 「水中水滴」参加生徒 9名

水溶液では拡散現象によって全体的に均質となる。そのような水溶液の中に、独立した別の水滴を作ることができるのかという疑問から、この実験を行うこととした。立教大学理学部化学科の佐々木研究室のホームページに写真や実験データが載っていたので、それを参考にして実験を始めた。

実験に使用した試薬は界面活性剤(石鹸)で、界面活性剤で包まれた水滴が界面活性剤の並んでいる水面に落下して、水滴と水面の間の空気を挟むようにして界面活性剤の二重膜ができ、水中水滴が生成する。

最初に界面活性剤としてドデシル硫酸ナトリウム(以下SDS)を使用した。様々な濃度で実験を行ったが、水中水滴が生成しなかったので、界面活性剤をオレイン酸に変えて実験を行った。オレイン酸水溶液の濃度を徐々に上げていくと、ある濃度から水中水滴が生成し始めた。その後、濃度を少しずつ大きくしていくと、ある濃度から水中水滴が生成しなくなった。

この実験から、水中水滴が生成するためには界面活性剤の濃度に範囲があり、その濃度範囲のみで水中水滴が生成することがわかった。

また、界面活性剤の濃度がある値以下の時、二重膜を作るための界面活性剤が不足し、ある値以上の時、界面活性剤どうしが集まり二重膜を形成しにくくなることを予想した。表面張力の測定から界面活性剤の濃度が十分であるかどうかがあるので様々な濃度で測定をすると、界面活性剤が水面に限界まで並んでいる時の濃度(臨界ミセル濃度)までは水中水滴が生成せず、その濃度を少し超えた濃度から水中水滴が生成し始めた。その後、濃度をより大きくしていくと表面張力が最大になり、そこからもう少し濃度が高くなったところで、水中水滴は生成しなくなった。この結果は予想を裏付けるものとなった。

また、水中水滴がSDSではできずにオレイン酸でできることは、以下のように考えられる。SDSの場合、疎水部分がすべて炭素-炭素の単結合で出来ているため、直立性が低く、柔らかく曲がってしまい、二重膜を維持できない。オレイン酸の場合は疎水部分に二重結合を含んでいるため、その部分が固定され二重膜を維持することができるようである。

1月の冬休み終了までに、以上の結果が得られたので、これらをまとめて2月のSSディで発表した。実験は次年度も継続し、水溶液のpHや温度との関係、別な物質(界面活性剤以外)を調べることになっている。

実際に、大学レベルの実験を行いそのまとめや発表を生徒自身が体験することで、かなり多くの知識や理解が得られた。高度な機器分析を基に実験を進めていくことになるので、初めは生徒自身の実験にならず、実験に一部参加している形になってしまうことが課題であるが、最近こんな事をしてみたいとか、失敗した測定実験についての説明を聞くと生徒の進歩や変容がわかる。このような実験を行うことは、生徒の進路選択にとって大きな指針となるものであり、今後の大学での学習や研究に対する予行演習になるものとする。

#### <サイエンスアプローチ 化学授業>

1 学年では全生徒を対象に、2 学年では化学希望選択者を対象に授業を行った。

1 学年においては「原子をつくるもの」と題し、通常、粒子として認識されている電子・陽子等の波としての性質が、原子・原子核では重要であり、それらの挙動が生活体験から大きく異なっていることを認識させるため実施した。導入においては、粒子と波の違いを確認させた。次に、「水素原子中の電子の挙動」、「多電子原子の電子の挙動」、「 $H_2 +$  イオンの電子から重水素原子の核力を類推」について、図や表を用いて考察し、原子の性質には電子が、原子核の性質には中間子が重要な働きを担っていることを理解させた。また、原子等を身近なものとして感じられるように、原子核の研究には、日本人の寄与が大きいことを話した。

さらに、課題を与え、考えさせた。例えば、「もし陽子の寿命が短くて、中性子の寿命が十分長ければ、自然界はどのようなものになっているか」など6つのテーマから2テーマを選ばせ、それぞれ200字程度にまとめさせた。ifの世界を考えると、根拠をもって推論を進めていく科学的な思考力・判断力を培うことを目的とした。

2 学年では「亜硫酸ナトリウム水溶液の滴定実験」を行った。

実験1：濃度未知の亜硫酸ナトリウム水溶液の調製

実験2：亜硫酸ナトリウム水溶液の中和反応におけるpH曲線の作成

実験3：亜硫酸ナトリウム水溶液の指示薬による中和滴定

実験4：亜硫酸ナトリウム水溶液の酸化還元滴定

実験3・4による濃度未知水溶液の濃度を比較させ、その違いがなぜ起こったのか、原因を考察し、レポートにまとめさせた。濃度が等しいはずの同一水溶液の濃度が異なっていることで、生徒の知的好奇心を刺激し、生徒がより積極的に考察に取り組むことをねらいとした。

いずれの学年も、生徒は興味・関心をもち、考える楽しさや論理的に推論することの厳しさを実感していた。特に、1年生のレポートでは、教員が予想していなかった推論があり、生徒の感性の良さを見いだすことが出来た。

#### <サイエンスアプローチ 全体講演>

ア 1年生を対象とした講演(11月実施)

北海道大学大学院理学研究科生物科学専攻(高分子機能学)の西村紳一郎教授を講師に

迎え、「生命の謎にせまる化学 - 化学生物学」という演題で実施した。西村教授は特に産学連携での研究活動を活発に実施されており、企業との共同研究などを含む興味深い内容での講演であった。

講演は西村教授の専門分野である糖鎖工学を用いた創薬に関する内容、極寒地でも凍ら

ない水中生物に見られる特殊なタンパク質に関する内容等、日常生活や社会問題と直結した興味深い話題が多く、時に専門的な知識を交えながら理科が苦手な生徒に

もわかりやすい言葉で解説し、多くの生徒が真剣に聞き入った。

また、当日は西村教授の他に同じ研究室で研究を進めている大学教員、大学院生がボラ

ンティアで参加し、同じ分野に関して、実験方法、コンピュータシミュレーションなど全く異なるアプローチで研究を行っていることなどについて紹介があった。

また、講演の合間には活発な質疑応答が行われ、研究のヒントになるような的を得た質

問や、専門的知識を駆使した回答が講師に求められるなど、本校生徒の科学に対する関心の高さが現れていた。

#### イ 2年生を対象とした講演（2月実施）

北海道大学大学院理学研究科化学専攻（分析化学）の喜多村昇教授ほか千葉氏、中富氏

を迎え、「化学と生活」の演題で実施した。前半は各講師が現在行っている研究内容を紹介し、後半は研究内容と日常生活や社会とのつながりについて紹介する内容であった。

前半では、千葉氏が道立衛生研究所で行っている水の分析について、中富氏が生物化学

研究室で行っているカルシウムイオン濃度の調節に関する研究について、喜多村教授が分析化学研究室で行っている光ピンセットについて紹介した。また、後半ではそれぞれの研究分野と社会との関わりについて紹介し、水の分析は水道水などの分析として日常生活に欠かせないものであり、最新の分析技術が応用されているということ、光ピンセットを用いた分析手法はDNAや微細な筋肉組織の固定など生化学の研究にも利用されていること、電子工学分野で開発されるマイクロチップ技術が分析化学に応用され、さらには将来は様々なところで多くの分析が簡便な装置で行えるようになることについて紹介した。生徒からは環境問題に関連した水の分析に関する質問、ナノテクノロジーを利用した光ピンセット技術に関する質問などが多くあり、また、体育系の部活動の生徒からは筋肉に関する質問が多く出るなど活発な議論が行われた。

#### ウ 課題

科学に関心の高い生徒は日常生活の中で自ら調べたり、放課後講義の聴講等で既

りに知識を得ており、事後に実施したアンケートでは「もっと詳しく聞きたかった」「質問時間が短かった」という回答が多く見られた。さまざまな興味・関心を持つ生徒の学習意欲を高めるためには講演の内容を工夫するだけでは難しい。SSディにおいて午前実施される各講義と午後の講演との関連性を一層持たせ、事前指導の充実を図ることが大切である。しかし、SAの中の一部の教科でしか対応できていない状況にある。